

102-51-6161

MOTC-IOT-100-TDB001

運輸部門能源消耗與溫室氣體 減量評估模型之建立



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 3 月

ISBN 號碼
及條碼

GPN : 1010200607
定價 530 元

102-51-6161

MOTC-IOT-100-TDB001

運輸部門能源消耗與溫室氣體 減量評估模型之建立

著者：黃宗煌、黃銘崇、李堅明、陳艾懃、尹相隆、蘇漢邦、
黃韻勳、楊晴雯、莊建鏘、黃耿信、藍靖瑜、金宛嫻、
林心榆、黃新薰、朱珮芸、楊智凱

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立
/ 黃宗煌等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運
研所，民 102. 03

面；公分

ISBN 978-986-03-6364-7(平裝)

1. 交通管理 2. 能源節約

557

102005141

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立

著者：黃宗煌、黃銘崇、李堅明、陳艾懃、尹相隆、蘇漢邦、黃韻勳、
楊晴雯、莊建鏘、黃耿信、藍靖瑜、金宛嫻、林心榆、黃新薰、
朱珮芸、楊智凱

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw(中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 102 年 3 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：530 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

GPN：1010200607 ISBN：978-986-03-6364-7（平裝）

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-6364-7(平裝)	政府出版品統一編號 1010200607	運輸研究所出版品編號 102-51-6161	計畫編號 100-TDB001
主辦單位：綜合技術組 主管：黃新薰 計畫主持人：黃新薰 研究人員：楊智凱、朱珮芸 聯絡電話：02-2349-6868 傳真號碼：02-2712-0223	合作研究單位：千禧決策科技股份有限公司 計畫主持人：黃宗煌 研究人員：黃宗煌、黃銘崇、李堅明、陳艾 懃、尹相隆、蘇漢邦、黃韻勳、 楊晴雯、莊建鏘、黃耿信、藍 靖瑜、金宛嫻、林心榆 地址：臺北市忠孝東路3段100號9樓 聯絡電話：03-5619571		研究期間 自100年02月 至100年11月
關鍵詞：溫室氣體、整合模型、運輸部門可計算一般均衡模型、運輸能源			
<p>摘要：</p> <p>「推動永續綠色運輸，落實節能減碳政策」為交通部重要施政方針之一，為落實運輸部門節能減碳政策，尋求成本有效的方式推動減量策略，建立運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型為決策之重要工作。本計畫在「能源國家型科技計畫」之架構下，擔負運輸部門節能減碳決策支援之重要任務。</p> <p>由於運輸衍生性需求的本質，使運輸部門與其他經建部門存在密不可分的關係。過去相關評估工作多由運輸需求分析模式探討節能減碳之成效，較少由運輸-能源-經濟等3個構面進行整合性評估。基此，本計畫延續99年度「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」計畫，完成評估模型之建構並用以分析當前綠色運輸政策之減量成效。</p> <p>在模型建構過程中，本計畫完成文獻與各部門研究成果之蒐集與回顧、模型與資料庫建置、模型案例分析、節能減碳成效估算、運輸部門減量目標估算，以及參與COP 17國際會議、舉辦模型交流會及「綠運輸節能減碳發展政策」成果發表會等工作。本計畫成果可提供交通部門更準確的節能減碳相關預測與評估資訊，可支援交通部、地方政府相關主管機關作為節能減碳施政之重要參據。。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102年3月	662	530	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：1.本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Construction of an Assessment Model of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission Reduction in Transportation Sector			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-6364-7(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200607	IOT SERIAL NUMBER 102-51-6161	PROJECT NUMBER 100-TDB001
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Hsin-Hsun Huang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsin-Hsun Huang PROJECT STAFF: Chih-Kai Yang, Pei-Yun Chu PHONE: +886 2 23496868 FAX: +886 2 27120223			PROJECT PERIOD FROM February 2011 TO November 2011
RESEARCH AGENCY: Millennium Decision Technology Ltd. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Huang Huang PROJECT STAFF: Chung-Huang Huang, Ming-Chorng Hwang, Chien-Ming Lee, Ai-Chin Chen, Xiang-Long Yin, Han-Pang Su, Yun-Xun Huang, Chin-Wen Yang, Chien-Hua Chuang, Gen-Shin Huang, Jing-Yu Lan, Wan-Xian Jin, Xin-Yu Lin ADDRESS: 9F., No.100, Sec. 3, Zhongxiao E. Rd. Da'an Dist., Taipei City 106, Taiwan (R.O.C.) PHONE: +886 3 5619571			
KEY WORDS: greenhouse gas, integrated model, computable general equilibrium model of the transportation sector, transportation energy			
ABSTRACT: <p>"Promoting sustainable green transportation and implementing energy conservation and carbon reduction policies" is one of the primary administrative policies of the Ministry of Transportation and Communications. In order to implement the energy conservation and carbon reduction policies of the transportation sector and seek cost-effective ways to introduce emissions reduction strategies, establishing an assessment model of energy consumption and greenhouse gas reduction of the transportation sector is an important task in policy making. The project exists under the framework of the "National Science and Technology Program – Energy", and is charged with the important task of providing energy conservation and carbon reduction policy support for the transportation sector.</p> <p>As the transportation sector is characterized by derived demand, there is a close relationship between the transportation sector and other sectors in economic development. In the past, most studies on the assessment of the effectiveness of energy conservation and carbon reduction were based on the analysis model of transportation demand, and rarely looked at the aspects of transportation, energy, and economics in a comprehensive manner. Thus, as a follow-up study of the 2010 project named "Construction of a Framework for the Assessment Model of Energy Consumption and GHG Emission Reduction of the Transportation Sector", the project completed the construction of an assessment model for use in analyzing the effectiveness of emissions reduction with current green transportation policies.</p> <p>During the process of constructing the model, we completed the collection and review of literature and research findings of various sectors, established a model and database, analyzed the case studies of the model, assessed the effectiveness of energy conservation and carbon reduction, and set up emissions reduction targets for the transportation sector. Furthermore, we participated in the 17th session of the Conference of the Parties (COP 17), as well as held exchange meeting on the model and achievement presentation of the "development policies on green transportation: energy conservation and carbon reduction". The outcomes of this project can provide the transportation sector with more accurate forecasting and assessment information about energy conservation and carbon reduction, as well as assist the Ministry of Transportation and Communications and the related competent authorities of the local governments in making policies on energy conservation and carbon reduction by providing them with important references.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2013	NUMBER OF PAGES 662	PRICE 530	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景與目的	1-1
1.2 研究範圍與對象	1-2
1.3 研究內容與項目	1-2
1.4 研究方法與步驟	1-4
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 運輸部門能源消耗與溫室氣體排放概況.....	2-1
2.1.1 全球運輸部門能源消耗與溫室氣體排放.....	2-1
2.1.2 全球主要國家運輸部門排放狀況.....	2-7
2.2 國內外運輸部門節能減碳政策.....	2-15
2.2.1 國際運輸部門節能減碳政策.....	2-16
2.2.2 我國運輸部門節能減碳政策.....	2-23
2.3 國內外運輸部門節能減碳相關之研究成果.....	2-31
2.3.1 國際運輸部門節能減碳相關之研究成果.....	2-31
2.3.2 國內運輸部門節能減碳相關之研究成果.....	2-45
2.3.3 國內外運輸部門節能減碳相關研究成果小結.....	2-51
2.4 小結	2-52
第三章 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型	3-1
3.1 模型定位與功能	3-1
3.2 模型整體架構	3-3
3.3 運輸部門 CGE 模型	3-9
3.3.1 CGE 模型基本要件	3-9
3.3.2 數學模型設定	3-11

3.3.3 求解軟體與程式撰寫	3-20
3.4 運具能源消耗預測模型	3-21
3.4.1 分析範圍界定	3-21
3.4.2 變數選取	3-22
3.4.3 能源消耗量歷史趨勢分析	3-24
3.4.4 模型建構	3-30
3.4.5 模型參數校估	3-31
3.5 小結	3-35
第四章 資料需求與來源	4-1
4.1 基礎資料庫架構	4-1
4.2 運輸 CGE 模型資料庫	4-2
4.2.1 社會會計矩陣	4-2
4.2.2 產業關聯表	4-9
4.2.3 社經資料	4-10
4.2.4 彈性參數	4-17
4.3 運輸能源消耗量與溫室氣體排放量推估	4-18
4.3.1 能源消耗量推估	4-18
4.3.2 能源消耗量趨勢分析	4-34
4.3.3 運輸部門溫室氣體排放推估方法	4-38
4.3.4 運輸部門溫室氣體排放推估結果	4-41
4.4 小結	4-45
第五章 基線推估與案例評估	5-1
5.1 運輸部門基線推估	5-1
5.1.1 運具能源消耗預測模型基線	5-1
5.1.2 運輸 CGE 模型基線	5-9

5.2 模擬案例評估	5-19
5.2.1 公共運輸補貼之動機與目的	5-19
5.2.2 政策評估流程	5-20
5.2.3 補貼公共運輸票價在 CGE 模型中之影響機制	5-23
5.2.4 政策評估結果	5-26
5.3 小結	5-29
第六章 運輸部門節能減碳行動方案成效估算 MRV 機制建立	6-1
6.1 運輸部門 MRV 機制建立	6-1
6.1.1 IPCC 溫室氣體盤查指引與優良作法	6-1
6.1.2 國際 MRV 制度發展	6-5
6.1.3 我國環保署溫室氣體 MRV 制度	6-8
6.2 運輸部門行動方案估算	6-9
6.2.1 運輸部門節能減碳行動方案介紹	6-10
6.2.2 計算公式修正與整理	6-13
6.2.3 參數彙整與更新	6-19
6.3 小結	6-24
第七章 節能減碳策略之減量成本	7-1
7.1 減量成本的範疇與內涵	7-1
7.2 影響減量成本推估結果的因素	7-4
7.3 總體經濟成本與 McKinsey 成本	7-7
7.4 節能減碳策略之減量成本	7-18
7.5 小結	7-19
第八章 結論與建議	8-1
8.1 結論	8-1
8.2 建議	8-5

參考文獻	R-1
附錄 1 計畫摘要.....	附錄 1-1
附錄 2 期中審查意見回覆與處理情形	附錄 2-1
附錄 3 期末審查意見回覆與處理情形	附錄 3-1
附錄 4 第一次專家學者座談會議程與會議記錄	附錄 4-1
附錄 5 第二次專家學者座談會議程與會議記錄	附錄 5-1
附錄 6 模型交流會議程與會議資料	附錄 6-1
附錄 7 「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會議程與實錄..	附錄 7-1
附錄 8 COP 17 暨 CMP 7 出國報告	附錄 8-1
附錄 9 CGE 模型基本要件	附錄 9-1
附錄 10 溫室氣體盤查指引與優良作法	附錄 10-1
附錄 11 行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則 ..	附錄 11-1
附錄 12 國家溫室氣體登錄平台管理要點	附錄 12-1
附錄 13 行動計畫減量估算.....	附錄 13-1
附錄 14 國內油品市場現況.....	附錄 14-1
附錄 15 國內汽燃費徵收現況.....	附錄 15-1
附錄 16 車輛數推估.....	附錄 16-1
附錄 17 國內外運輸部門節能減碳模型研究	附錄 17-1
附錄 18 國內外 MRV 發展現況	附錄 18-1
附錄 19 簡報資料.....	附錄 19-1

圖目錄

圖 1.4-1 研究流程圖.....	1-6
圖 2.1-1 全球部門別能源消耗量成長率趨勢	2-3
圖 2.1-2 全球溫室氣體排放量(1970-2005)	2-5
圖 2.1-3 全球化石燃料燃燒各部門CO ₂ 排放量	2-6
圖 2.1-4 德國CO ₂ 排放及減量目標	2-8
圖 2.1-5 德國歷年CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距	2-8
圖 2.1-6 德國運輸部門各運具CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距....	2-10
圖 2.1-7 美國CO ₂ 排放及減量目標	2-10
圖 2.1-8 美國歷年CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距	2-11
圖 2.1-9 美國運輸部門各運具CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距....	2-12
圖 2.1-10 日本CO ₂ 排放及減量目標	2-13
圖 2.1-11 日本歷年CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距	2-13
圖 2.1-12 日本運輸部門各運具CO ₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距..	2-15
圖 2.2-1 減量策略的效果與範疇	2-16
圖 2.2-2 英國車輛能效標籤.....	2-18
圖 2.2-3 美國車輛能效標籤.....	2-20
圖 2.3-1 EPPA 家計部門巢式架構圖	2-35
圖 2.3-2 BERG 家計部門消費巢式架構.....	2-36
圖 2.3-3 NEMS 各模型間之連結關係	2-37
圖 2.3-4 EPPA/MARKAL 運輸部門之對應關係	2-39
圖 2.3-5 EPPA/MARKAL 模型體系	2-41
圖 3.2-1 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型關聯圖	3-4
圖 3.2-2 運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型之變數對映	3-7

圖 3.2-3 政策評估機制與流程.....	3-8
圖 3.3-1 CGE 模型描述經濟周流	3-10
圖 3.3-2 一般產業部門生產巢式結構	3-12
圖 3.3-3 一般產業部門生產巢式結構(續).....	3-13
圖 3.3-4 運輸服務業部門生產巢式結構	3-14
圖 3.3-5 運輸服務業部門生產巢式結構(續).....	3-15
圖 3.3-6 家計部門私人運輸服務生產決策	3-18
圖 3.4-1 能源別公路汽油、柴油歷史消耗量趨勢	3-24
圖 3.4-2 能源別鐵路電力合計歷史消耗量趨勢	3-25
圖 3.4-3 能源別北捷、高捷、高鐵、臺鐵電力歷史消耗量趨勢	3-25
圖 3.4-4 能源別鐵路柴油歷史消耗量趨勢	3-26
圖 3.4-5 能源別航空燃油歷史消耗量趨勢	3-26
圖 3.4-6 能源別國際水運燃油歷史消耗量趨勢	3-27
圖 3.4-7 能源別水運(不含國際水運燃油)歷史消耗量趨勢.....	3-27
圖 3.4-8 運具別汽油自用小客車、汽油機車歷史消耗量趨勢	3-28
圖 3.4-9 運具別汽油營業小客車歷史消耗量趨勢	3-28
圖 3.4-10 運具別自用小貨車歷史消耗量趨勢	3-29
圖 3.4-11 運具別營業小貨車歷史消耗量趨勢.....	3-29
圖 3.4-12 參數校估流程.....	3-31
圖 4.1-1 模型資料庫與資訊平台資料庫之關係	4-2
圖 4.2-1 人口預測.....	4-11
圖 4.2-2 臺灣就業狀態.....	4-12
圖 4.2-3 99 年臺灣就業者行業結構	4-13
圖 4.2-4 臺灣就業者職業結構趨勢	4-13
圖 4.2-5 勞動報酬佔家庭收入比重(職業別).....	4-14

圖 4.2-6 各職業別平均家庭勞動報酬	4-15
圖 4.2-7 臺灣歷年所得分配概況	4-15
圖 4.2-8 國際能源價格設定值.....	4-16
圖 4.3-1 公路部門各車種歷年能源消耗變化趨勢	4-38
圖 4.3-2 運輸部門溫室氣體排放量變化趨勢	4-44
圖 5.1-1 GDP 與 GDP 成長率基線預測結果	5-9
圖 5.1-2 單位運量 GDP 基線預測結果	5-10
圖 5.1-3 OECD 國家單位運量 GDP 之歷史趨勢	5-10
圖 5.1-4 軌道運輸運量基線預測結果	5-11
圖 5.1-5 公路客運運量基線預測結果	5-12
圖 5.1-6 私人運輸運量基線預測結果	5-12
圖 5.1-7 貨運運量基線預測結果	5-13
圖 5.1-8 客、貨運總運量基線預測結果	5-13
圖 5.1-9 客運運具結構基線預測結果	5-14
圖 5.1-10 軌道客運能源消耗量基線預測結果	5-15
圖 5.1-11 公路客運能源消耗量基線預測結果.....	5-16
圖 5.1-12 私人運輸能源消耗量基線預測結果	5-16
圖 5.1-13 貨運能源消耗量基線預測結果	5-17
圖 5.1-14 客、貨運能源總消耗量基線預測結果	5-18
圖 5.2-1 模型之政策評估流程.....	5-22
圖 5.2-2 補貼公共運輸票價在 CGE 模型中之影響機制	5-24
圖 5.2-3 各項政策工具評估情境單位能源之減量成本	5-26
圖 5.2-4 消費者福利變化.....	5-27
圖 6.1-1 MRV 標準執行政序.....	6-5
圖 6.1-2 德國溫室氣體排放管理之 MRV 架構.....	6-7

圖 7.3-1 麥肯錫減量成本曲線之定義	7-7
圖 7.3-2 部門邊際減量成本曲線與邊際成本曲線	7-13
圖 7.3-3 部門最適核配量之決定	7-14
圖 7.3-4 減量成本推估結果-跨國模型比較	7-17

表目錄

表 2.1-1 2003-2030 年 OECD 及非 OECD 國家能源消耗量概況	2-1
表 2.1-2 2003-2035 年全球部門別能源消耗量	2-2
表 2.1-3 2007-2035 年全球運輸部門能源消耗量	2-3
表 2.1-4 2007-2035 年全球公車客運能源消耗量	2-4
表 2.1-5 2007-2035 年全球運輸部門貨運能源消耗量	2-4
表 2.1-6 IEA模擬基線 2000 至 2050 年各類運輸工具CO ₂ 排放占比	2-7
表 2.1-7 德國運輸部門各運具CO ₂ 排放量	2-9
表 2.1-8 美國運輸部門各運具CO ₂ 排放量	2-11
表 2.1-9 日本運輸部門各運具CO ₂ 排放量	2-14
表 2.2-1 美國購買使用潔淨能源車輛之稅費折扣	2-20
表 2.2-2 國外運輸部門的減排策略選項	2-21
表 2.2-3 國外運輸部門各類運具之主要節能減碳策略	2-22
表 2.2-4 各運輸系統的運具使用分佈(依據不同旅次目的地).....	2-23
表 2.2-5 2008 年能源使用二氧化碳(CO ₂)排放量跨國比較表	2-25
表 2.2-6 我國歷年綠色運輸政策一覽表	2-27
表 2.3-1 運輸部門 CGE 模型相關文獻	2-32
表 2.3-2 EPPA/MARKAL 子模型特色與功能.....	2-40
表 2.3-3 影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放的關鍵因素	2-44
表 2.3-4 系統動態模型政策模擬情境說明	2-49
表 3.4-1 模型變數彙整表.....	3-23
表 3.4-2 能源別「聯立方程式同時校估模型」校估結果	3-32
表 3.4-3 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」校估結果	3-33
表 3.4-4 「單一方程式獨立校估模型」校估結果	3-34

表 4.1-1 模型所需關鍵性資料.....	4-1
表 4.1-2 運輸 CGE 模型之社會會計矩陣架構	4-5
表 4.1-3 社會會計矩陣編製結果	4-6
表 4.1-4 運輸 CGE 模型產業部門分類	4-8
表 4.2-1 家計部門之運輸相關消費支出結構	4-9
表 4.2-2 運輸服務業能源消耗佔能源總消耗比重	4-10
表 4.2-3 CGE 模型文獻中之替代彈性	4-17
表 4.3-1 公路部門總耗油量公式	4-19
表 4.3-2 歷年車輛登記數統計量	4-21
表 4.3-3 歷年各車種年平均行駛里程	4-22
表 4.3-4 歷年車輛燃油效率值.....	4-23
表 4.3-5 歷年車輛平均年耗油量推估結果	4-24
表 4.3-6 歷年各車種年總耗油量推估結果	4-25
表 4.3-7 歷年公路客貨運年總耗油量推估結果	4-26
表 4.3-8 市區公車、一般客與及國道客運年總耗油量推估結果	4-27
表 4.3-9 鐵路部門總耗油量公式	4-28
表 4.3-10 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-1	4-29
表 4.3-11 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-2	4-30
表 4.3-12 航空運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站).....	4-31
表 4.3-13 航空部門總耗油量公式	4-32
表 4.3-14 水運運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站).....	4-33
表 4.3-15 水運部門總耗油量公式	4-34
表 4.3-16 全國歷年能源消耗統計	4-35
表 4.3-17 運輸部門歷年能源消耗統計(含電力).....	4-36
表 4.3-18 公路各車種歷年能源消耗佔公路運輸比例	4-37

表 4.3-19 運輸部門相關化石燃料溫室氣體排放係數	4-40
表 4.3-20 運輸部門歷年CO ₂ 排放量推估統計(含電力)	4-42
表 4.3-21 運輸部門歷年CO ₂ 當量排放量推估統計(含電力)	4-43
表 4.3-22 運輸部門溫室氣體排放量公式	4-44
表 4.4-1 運輸 CGE 模型與輔助模組資料庫	4-46
表 5.1-1 能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量預測結果	5-2
表 5.1-2 運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量預測結果.....	5-3
表 5.1-3 能源別「聯立方程式同時校估模型」CO ₂ 當量排放量預測結果 .	5-4
表 5.1-4 運具別「聯立方程式同時校估模型」CO ₂ 當量排放量預測結果 .	5-5
表 5.1-5 「單一方程式校估模型」能源消耗量預測結果	5-6
表 5.1-6 「單一方程式校估模型」CO ₂ 當量排放量預測結果	5-7
表 5.1-7 能源別與運具別聯立方程式模型校估結果比較表	5-8
表 5.1-8 客運各運具運量佔比	5-14
表 5.1-9 客運各運具能源消耗量	5-17
表 5.2-1 模擬情境設定說明.....	5-25
表 5.2-2 油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸補貼之運具移轉效果...	5-27
表 5.2-3 本所「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(2/3)」評估結果	5-28
表 5.2-4 油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸補貼之能耗減量效果...	5-28
表 6.1-1 溫室氣體排放源與部門分類	6-2
表 6.1-2 溫室氣體抵換分類.....	6-3
表 6.1-3 NAMAs 與 MRV 之關係.....	6-6
表 6.2-1 國家節能減碳總行動方案	6-11
表 6.2-2 「國家節能減碳總行動方案」中之運輸部門行動方案	6-12
表 6.2-3 行動方案成效評估所需參數彙整	6-20
表 6.2-4 行動方案評估所需資料項目及其來源	6-21

表 7.1-1 減量成本衡量指標與推估方法	7-3
表 7.3-1 核配的邊際成本效果.....	7-13
表 7.3-2 總體經濟成本與 McKinsey 成本比較表.....	7-15
表 7.4-1 提升公共運輸策略之單位能源減量成本	7-18

第一章 緒論

1.1 計畫背景與目的

行政院於 97 年 6 月 5 日第 3095 次院會中通過「永續能源政策綱領」，揭櫫我國二氧化碳排放量於 2025 年回到 2000 年的水準。行政院並於 98 年 12 月成立「節能減碳推動會」，督導行政部門推動節能減碳工作，交通部亦已將「推動永續綠色運輸，落實節能減碳政策」列為重要施政方向之一。而「節能減碳推動會」綜整之「國家節能減碳總行動方案」中，亦將推動「能源國家型科技計畫」列為行動計畫之一，本能源科技研究計畫即已納入前述「能源國家型科技計畫」。

為落實我國節能減碳相關政策，以及建立運輸部門各項節能減碳策略之評估模式，本所自 96 年起，已著手辦理「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立」3 年期計畫，對於各種相關之模型架構進行初步探討。由於運輸本質上是衍生性需求，運輸部門與其他經建部門互動密切而不可分割，過去相關評估工作多從運輸需求分析模式探討節能減碳的成效，較少從運輸—能源—經濟三個構面整合評估，因此本所於 99 年度辦理「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」計畫，嘗試從運輸規劃、能源技術與總體經濟面，開發與應用運輸系統節能減碳政策評估工具，以進一步評估我國運輸部門溫室氣體減量目標與因應策略。

基此，本計畫主要目的在依據前揭 99 年度計畫成果，就運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型所需要之參數進行蒐集與校估，並完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，以作為後續年度發展運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之基礎。減量評估模型將具備經濟面與能源相關策略與措施當作輸入參數之功能，用以評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效，並可將成果回饋至模式，進一步評估對經濟、能源以及運輸需求等面向之影響。

模型構建與決策支援系統發展過程中，必須持續評估我國運輸部門能源消耗與二氧化碳排放趨勢，以及運輸部門節能減碳策略方向及行動方案之妥適性，以提供交通部或其它相關部會制定節能減碳策略之具體參考；同時根據氣候變化綱要公約精神及我國節能減碳相關政策指示，參採與我經濟規模

相似國家最新發展情勢，進而研訂出我國運輸部門可行的溫室氣體減量目標與因應策略。

1.2 研究範圍與對象

本計畫主要目的在依據前揭 99 年度計畫成果，完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，由運輸—能源—經濟三個構面，整合評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效與影響，並據以研訂我國運輸部門可行的溫室氣體減量目標與因應策略。99 年度計畫成果已勾勒評估模型之基本架構，其中已包含了評估總體經濟與產業關聯效果之可計算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型、運輸部門能源消費預測模型及其他輔助模組等，整體架構與脈絡十分清楚，本年度則進一步基植於該架構上，完成實證評估模型之建構，並以實際案例說明模型建置成果，因此本年度主要研究範圍與對象包括：

1. 建立足以分析運輸—能源—經濟三構面之實證評估模型；
2. 配合模型建立，編製模式資料庫；
3. 參變數定義釐清與比對；
4. 基線校估與檢討；
5. 運輸部門節能減碳策略分析與結果呈現；
6. 政策建議與策略研擬。

1.3 研究內容與項目

為完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，本年度主要工作項目包括四大項，茲分別說明如下：

1. 文獻蒐集回顧

- (1) 持續蒐集國內各部門相關研究計畫之成果資料，釐清計畫間彼此之關聯性，以作為模式建構之參考資料。
- (2) 持續蒐集國內外運輸部門推動節能減碳相關政策與措施資料，以作為我國研訂運輸部門節能減碳政策之參考資料。

2. 完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置
 - (1)檢討修正前(99)年度所發展之運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構，並進行參數資料蒐集與校估作業，以完成評估模型之建置。
 - (2)依評估模型所需之參數，蒐集暨整理國內外現有運輸能源消耗與溫室氣體排放基本參數資料（包含公路、軌道、航空及海運）。
 - (3)進行評估模型參數之彙整與校估。
 - (4)以 2025 年提升公共運輸使用率至 30%作為案例，利用評估模型進行分析，並進一步探討私人運具轉換公共運輸之運具所能產生之減碳效果。
 - (5)編製評估模型之操作手冊。
3. 持續進行運輸部門節能減碳行動方案成效估算
 - (1)配合我國相關能源政策所訂定之具體行動方案，利用所建立之模型架構及所能掌握之參變數資料，並以 MRV(MEASUREMENT, REPORTING AND VERIFICATION)準則，進行行動方案之執行成效估算、檢核、成本效益分析與模式驗證。
 - (2)以評估模式推估未來我國運輸部門節能減碳量化目標。
4. 我國運輸部門節能減碳目標與策略之研訂與分析
 - (1)評估具體行動方案之減量成效與目標之差距；掌握國內能源與溫室氣體減量目標政策發展趨勢，並依我國社經、環保與運輸相關特性，研擬適合我國推動之節能減碳策略。
 - (2)持續分析我國運輸部門各種不同強度之節能減碳策略的減碳成本(元/公噸)。
 - (3)就我國運輸部門節能減碳措施，將各種節能減碳措施整合為數種減量情境，並利用評估模式進行初步分析，以探討各種減量情境對於運輸、能源以及經濟各個層面之影響。
 - (4)依我國運輸部門節能減碳目標與策略，研訂各策略之推動目標與暨分析其減量效果。

1.4 研究方法與步驟

綜合上述各工作項目，本年度計畫主要接續前(99)年度規劃架構，進行

評估模型之理論與實證建構。針對各項工作之研究方法與步驟分述如下：

1. 文獻蒐集回顧

此項工作區分為兩部分，其一為蒐集國內外運輸部門節能減碳推動政策與措施，作為我國研擬策略之參考。本計畫經由文獻蒐集、參與國際研討會、透過團隊合作管道等方式進行。內容請參閱 2.1 節與 2.2 節。

其二為蒐集國內外相關研究成果，在方法論與實證評估流程上，廣納經驗，作為模型建構的參考。故 2.3 節透過彙整相關論文與研究報告，包括國際著名的 NEMS 模型、EPPA/MARKAL 模型、因式分解法，以及本所車輛使用與選擇模式、工研院 MARKAL 與 TIMES 模型、系統動態模型等。2.4 節進一步探討以 CGE 為基礎建構運輸部門模型之相關研究。

2. 完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置

模型建構共有三項工作，其一為修正前(99)年度模型架構，並據以建立運輸 CGE 模型之數學模型，選擇適當運輸部門能源消費預測模式之推估方法，模型設定請參閱第三章。

其二配合模型設定，編製基期資料庫，同時視運具能源消耗預測模型與其它輔助模型需要，蒐集統計數據與參數資料，推估並預測運輸部門能源消耗趨勢，以完成模型建置。詳細內容請參見第四章。

其三為進行評估模型參數之彙整與校估。此項工作乃建構實證評估模型之必要流程，校估的方式有模型進行歷史資料複製，以修正參數設定值，部分參數則可以輔助模型或計量方法另行推估，對於無法取得實證資料，或樣本不足之參數，亦可參考文獻設定。詳細內容說明於 5.1 節。

3. 完成案例分析

以 2025 年提升公共運輸使用率至 30% 為案例，利用評估模型進行分析。此項工作於模型建置與參數校估完成後，先召集小組會議，討論基準情境與政策情境之假設內容，並於推估基線後開始進行評估。本年度完成評估項目包括油品價格對公共運輸使用之影響、汽燃費隨油徵收之效果，以及補貼公共運輸工具票價之效果，評估過程與結果說明於第五章。

4. 持續進行運輸部門節能減碳行動方案成效估算

節能減碳行動方案成效評估作業為延續性質工作，隨著減量策略與排放實況之改變，每年所要估算之方案內容皆須加以調整，本年度亦完成資料蒐

集、參數修正與重新估算工作。其次為因應將來 MRV 之規範與計算原則，本年度首先蒐集 IPCC 關於溫室氣體盤查的最佳作法、歐盟溫室氣體排放監測與報告制度、UNFCCC 之 MRV 制度發展，以及我國環保署之溫室氣體盤查與帳戶管理制度，並以德國溫室氣體排放 MRV 管理系統為例，說明運作程序。MRV 與節能減碳行動方案成效估算結果請參見第六章。

5. 節能減碳策略之減量成本分析

運用本年度初步建立之模型推估運輸部門減量成本，探討減量成本在內涵、定義、計算方法與結果上的差異。此部分研究成果請參閱第七章。

6. 促進研究交流與成果展現

為使模型架構與模擬結果更臻嚴謹並切合評估需求，分別於 100 年 7 月與 11 月辦理專家座談會(會議紀錄整理於附錄 4 與附錄 5)，針對評估模型理論架構與資料建置，以及運輸部門基線預測與提昇公共運輸之評估結果，網羅專家經驗與建議，據以修正理論模型設定與評估結果。另一方面，為促進溫室氣體減量評估經驗之交流，亦於 100 年 9 月舉辦模型交流會，邀請國內知名的工業技術研究院與原子能委員會核能研究所兩組 MARKAL 模型團隊，分享模型建構與政策評估經驗，會議成果亦呈現於附錄 6。

為充分掌握國際溫室氣體減量議題與運輸部門減量發展趨勢，本研究團隊並派員出席國際第 17 屆聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)締約國會議(COP17)，觀察坎昆會議之後，在擴大市場機制、建立QELROs¹機制、加速並強化調適策略的推動等議題上之最新發展，並蒐集各國面對氣候變遷所採取的態度與方略。本次會議於 100 年 12 月在南非德班舉行，重要成果匯併於附錄 8。

最後，為充分揭示運輸部門節能減碳政策目標與方向，以綠運輸為主軸，辦理「綠運輸節能減碳發展政策」成果發表會，並將本年度研究成果以研討會與展覽形式辦理，執行成果彙整於附錄 7。

綜合以上說明，本年度計畫研究流程如圖 1.4-1 所示。

¹ QELROs：Quantified Emission Limitation and Reduction Objectives.，「特定時間內排放量限制和削減目標」。

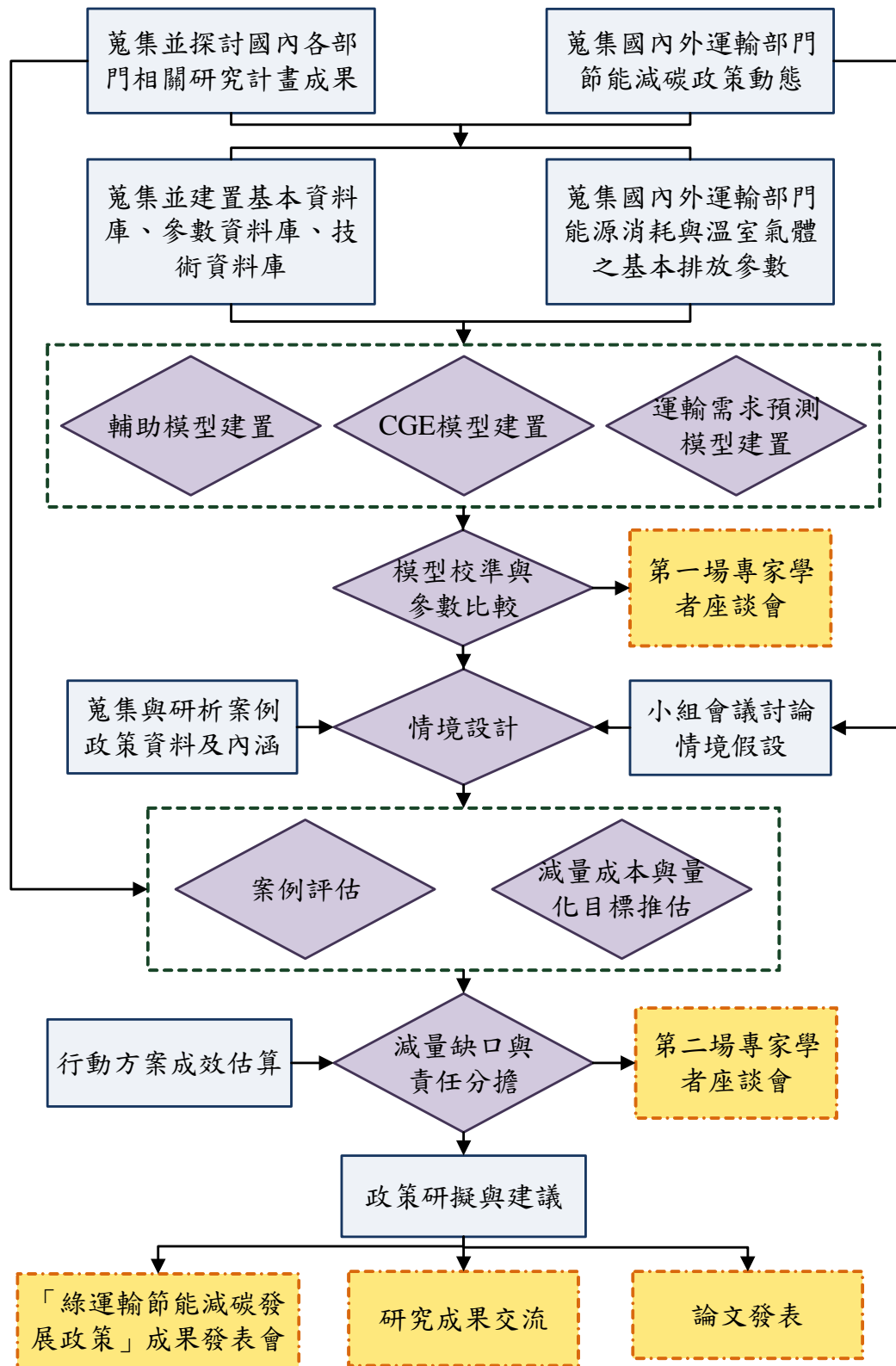


圖 1.4-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 運輸部門能源消耗與溫室氣體排放概況

2.1.1 全球運輸部門能源消耗與溫室氣體排放

1. 全球運輸部門能源消耗

(1) 歷史趨勢

依據美國能源資訊管理局(Energy Information Administration, EIA)於2010年7月底所發布的2010國際能源展望(International Energy Outlook)^[2.1.1]統計資料顯示，2007年至2035年間，全球平均能源消耗量成長率為1.4%，其中經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development，簡稱OECD)國家之成長率為0.5%，非OECD國家之成長率則為2.2% (如表2.1-1)。若以部門別而言，全球最終能源消耗量2007年至2035年間，以工業部門之能源消耗量最大，其年平均成長率為1.3%，其他各部門之平均能源消耗量成長率，依序為商業部門1.5%、運輸部門1.3%及住宅部門1.1%(如表2.1-2所示)。

表 2.1-1 2007-2030 年 OECD 及非 OECD 國家能源消耗量概況

單位：quadrillion Btu, %

Region	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Average annual percent change, 2007-2035
OECD	245.7	246.0	254.2	263.2	271.4	280.7	0.5
North America	123.7	124.3	129.4	134.9	140.2	146.3	0.6
Europe	82.3	82.0	83.0	85.0	86.5	88.2	0.2
Asia	39.7	39.7	41.8	43.3	44.8	46.3	0.5
Non-OECD	249.5	297.5	336.3	375.5	415.2	458.0	2.2
Europe and Eurasia	51.5	52.4	54.2	56.2	57.8	60.2	0.6
Asia	127.1	159.3	187.8	217.0	246.9	277.3	2.8
Middle East	25.1	32.9	36.5	39.1	41.8	45.7	2.2
Africa	17.8	20.8	22.5	24.6	26.5	29.0	1.8
Central and South America	28.0	32.1	35.5	38.7	42.2	45.7	1.8
Total World	495.2	543.5	590.5	638.7	686.5	738.7	1.4

資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中2007年為歷史值，2015年、2020年、2025年、2030年及2035為預測值。

(2) 未來趨勢預測

① 部門別

表 2.1-2 2007-2035 年全球部門別能源消耗量

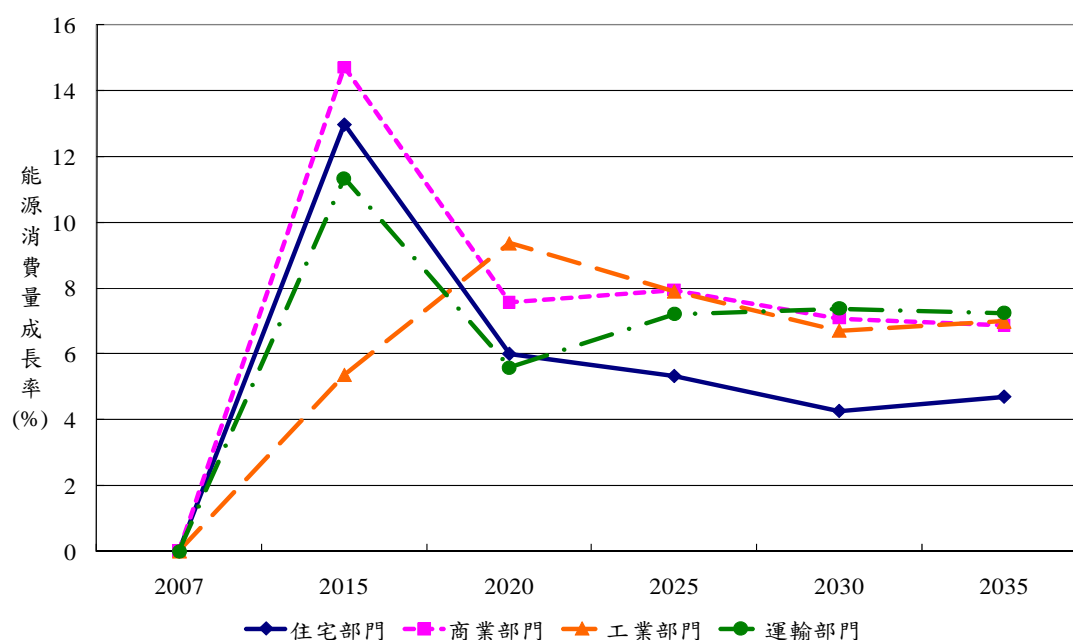
單位：quadrillion Btu, %

Sector/Fuel	2007	Projections					Average annual percent change, 2007-2035
		2015	2020	2025	2030	2035	
Residential							
Liquids	9.7	10.0	9.8	9.8	9.9	10.0	0.1
Natural gas	20.3	23.1	24.2	24.9	25.1	25.8	0.8
Coal	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	-0.1
Electricity	15.8	19.2	21.7	24.2	26.7	29.1	2.2
Renewables	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2
Total	50.1	56.6	60.0	63.2	65.9	69.0	1.1
Commercial							
Liquids	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	-0.2
Natural gas	7.8	8.9	9.2	9.5	9.6	9.8	0.8
Coal	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7
Electricity	13.5	16.3	18.3	20.6	23.0	25.4	2.3
Renewables	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	26.5	30.4	32.7	35.3	37.8	40.4	1.5
Industrial							
Liquids	57.0	51.7	53.3	56.8	61.0	64.9	0.5
Natural gas	43.2	54.3	59.0	61.1	61.4	63.8	1.4
Coal	43.1	43.1	48.2	52.1	55.5	58.0	1.1
Electricity	27.6	31.1	36.3	41.6	47.3	53.3	2.4
Renewables	13.4	14.1	15.7	17.6	19.5	21.9	1.8
Total	184.4	194.3	212.5	229.3	244.7	261.8	1.3
Transportation							
Liquids	93.4	104.1	110.0	117.9	126.7	135.9	1.3
Natural gas	3.5	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9	1.3
Coal	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	—
Electricity	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1
Total	97.9	109.0	115.1	123.4	132.5	142.1	1.3

資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中 2007 年為歷史值，2015 年、2020 年、2025 年、2030 年及 2035 為預測值。

依據美國能源資訊管理局之預測，全球部門最終能源消耗量之 5 年期成長率變化趨勢，將在不同時段出現結構性變化。在 2007 至 2020 年間，工業部門能源消耗將持續成長，但相對於其他部門，工業部門在此期間的成長較為平穩，其成長的趨勢將至 2020 年到達高峰(該年成長率 9.37%)後才開始縮減；其他部門則在此期間出現快速而大幅的成長，並於 2015 年到達成長高峰，其中又以商業部門成長率最高(該年成長率 14.72%)。

2020 年後，各部門能源消耗成長幅度開始趨於平穩，工業與住宅部門明顯修正其成長趨勢，至 2030 年兩部門成長率分別為 6.72%與 4.27%，但在 2035 年後卻又反向上升；運輸部門成長率則在 2025 年明顯增加至 7.21%，之後維持該成長幅度；商業部門之能源消耗成長則呈現逐漸收斂態勢，至 2035 年成長率約 6.88%(如圖 2.1-1 所示)。



資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中 2007 年為歷史值，2015 年、2020 年、2025 年、2030 年及 2035 為預測值。

圖 2.1-1 全球部門別能源消耗量成長率趨勢

② 運輸部門

若進一步比較各國運輸部門能源消耗狀況顯示，OECD 國家運輸部門最終能源消耗量目前雖然較高，但預估在 2025 年後將低於非 OECD 國家，前者 2007-2035 年平均成長率為 0.3%，低於全球運輸部門年平均成長率之 1.3%，更低於非 OECD 國家之 2.6%，如表 2.1-3 所示。

表 2.1-3 2007-2035 年全球運輸部門能源消耗量

單位：quadrillion Btu, %

Region	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Average annual percent change, 2007-2035
OECD	59.9	59.2	59.7	61.2	62.8	64.6	0.3
North America	33.7	33.3	34.2	35.7	37.1	38.8	0.5
Europe	18.8	18.6	17.9	17.8	17.9	17.9	-0.2
Asia	7.4	7.4	7.6	7.7	7.8	7.9	0.2
Non-OECD	38.1	49.7	55.4	62.2	69.6	77.5	2.6
Europe and Eurasia	6.9	7.4	7.6	7.9	8.1	8.6	0.8
Asia	15.4	22.3	26.4	31.0	35.7	40.3	3.5
Middle East	5.8	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	2.8
Africa	3.5	4.4	4.6	5.1	5.7	6.3	2.2
Central and South America	6.5	7.8	8.1	8.5	9.2	9.8	1.5
Total World	97.9	109.0	115.1	123.4	132.5	142.1	1.3

資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中 2007 年為歷史值，2015 年、2020 年、2025 年、2030 年及 2035 為預測值。

③ 運輸部門系統別

從表 2.1-4 至表 2.1-5 可得知，公路客運與貨運為全球運輸部門能源消耗

的主要來源。2007 年全球公路客運能源消耗量占全球運輸部門能源消耗量約 55.7%，其中 OECD 國家之公路客運能源消耗量即占全球運輸部門能源消耗量約 37.4%。2007 至 2035 年全球公路客運能源消耗量，OECD 國家微幅減少，其年平均成長率約為-0.1%；但非 OECD 國家則持續增加，年平均成長率約為 2.4%。至於 2007 年全球貨運能源消耗量則占全球運輸部門能源消耗量約 38.3%，其中 OECD 國家貨運能源消耗量占全球運輸部門能源消耗量約 19.8%。2007 至 2035 年全球貨運能源消耗量，OECD 國家及非 OECD 國家皆持續增加，其年平均成長率約分別為 0.7%及 2.9%(如表 2.1-5 所示)。

表 2.1-4 2007-2035 年全球公車客運能源消耗量

單位：quadrillion Btu, %

Region	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Average annual percent change, 2007-2035
OECD	36.6	35.6	35.1	35.4	35.6	35.8	-0.1
North America	21.2	21.0	21.2	21.7	22.3	22.9	0.3
Europe	11.1	10.6	9.9	9.6	9.4	9.1	-0.7
Asia	4.3	4.0	4.1	4.0	3.9	3.9	-0.4
Non-OECD	17.9	23.0	25.5	28.4	31.5	34.7	2.4
Europe and Eurasia	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0	3.1	0.3
Asia	7.4	10.5	12.4	14.5	16.6	18.7	3.4
Middle East	2.9	3.9	4.3	4.7	5.3	6.0	2.6
Africa	1.8	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	1.6
Central and South America	3.0	3.5	3.7	3.8	4.0	4.1	1.2
Total World	54.5	58.7	60.6	63.7	67.1	70.6	0.9

資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中 2007 年為歷史值，2015 年、2020 年、2025 年、2030 年及 2035 為預測值。

表 2.1-5 2007-2035 年全球運輸部門貨運能源消耗量

單位：quadrillion Btu, %

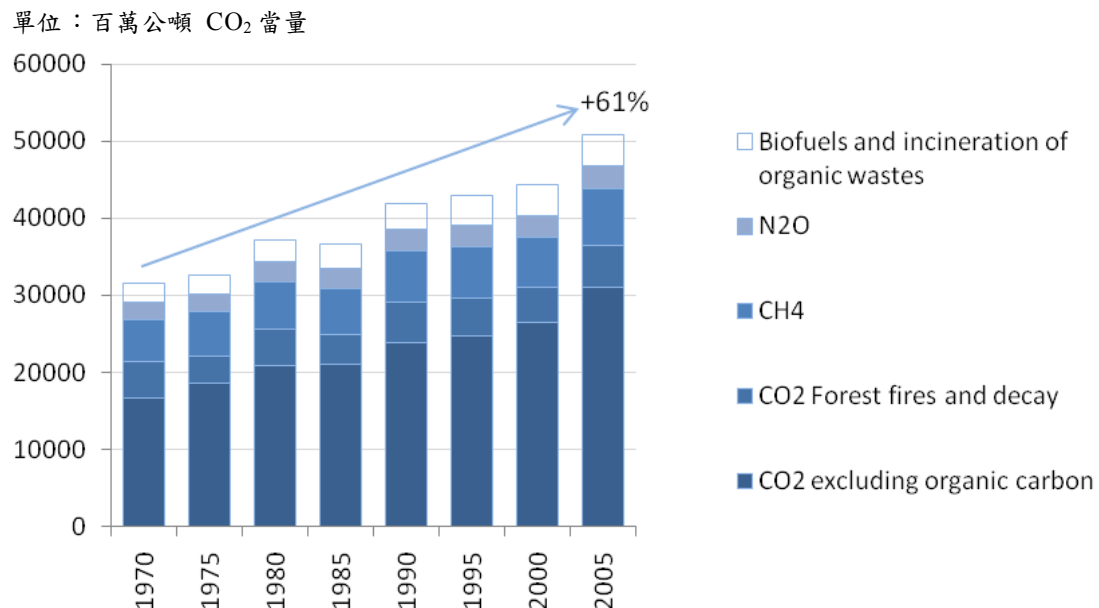
Region	2007	2015	2020	2025	2030	2035	Average annual percent change, 2007-2035
OECD	19.4	19.7	20.4	21.3	22.3	23.4	0.7
North America	8.6	8.5	9.0	9.4	10.0	10.7	0.8
Europe	7.6	8.0	7.9	8.2	8.5	8.8	0.5
Asia	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4.0	0.9
Non-OECD	18.1	24.5	27.6	31.3	35.5	40.0	2.9
Europe and Eurasia	2.1	2.4	2.5	2.6	2.6	2.9	1.1
Asia	8.0	11.8	14.0	16.5	19.1	21.6	3.6
Middle East	2.9	4.0	4.4	4.9	5.6	6.5	2.9
Africa	1.6	2.2	2.3	2.6	3.0	3.4	2.7
Central and South America	3.5	4.3	4.4	4.7	5.2	5.6	1.7
Total World	37.5	44.2	48.0	52.6	57.9	63.4	1.9

資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010^[2.1.1]，其中 2007 年為歷史值，2015 年、2020 年、2025 年、2030 年及 2035 為預測值。

2. 全球運輸部門溫室氣體排放

(1) 各部門 GHG 排放－歷史與未來

隨著經濟發展，能源已成為維持人類日常生活中不可或缺的重要投入產品，但同時二氧化碳等溫室氣體排放量也隨之逐年增加，造成溫室效應問題愈來愈棘手。OECD 引用全球大氣研究排放數據庫(the Emission Database for Global Atmospheric Research, EDGAR)資料^[2.1.2]顯示，全球溫室氣體排放量從1970年至2005年約增加61%(如圖2.1-2)。根據EDGAR資料估計2005年全球溫室氣體排放量為424億公噸CO₂當量，其中271億公噸CO₂當量源於化石燃料燃燒，約占64%；13億公噸CO₂當量源於工業生產，約占3%；38億公噸CO₂當量源於森林火災與衰變，約占9%；64億公噸CO₂當量源於CH₄，約占15%；33億公噸CO₂當量源於N₂O(約占8%)與5公億噸CO₂當量源於HFC、PFC和SF₆等氣體排放(約占1%)。



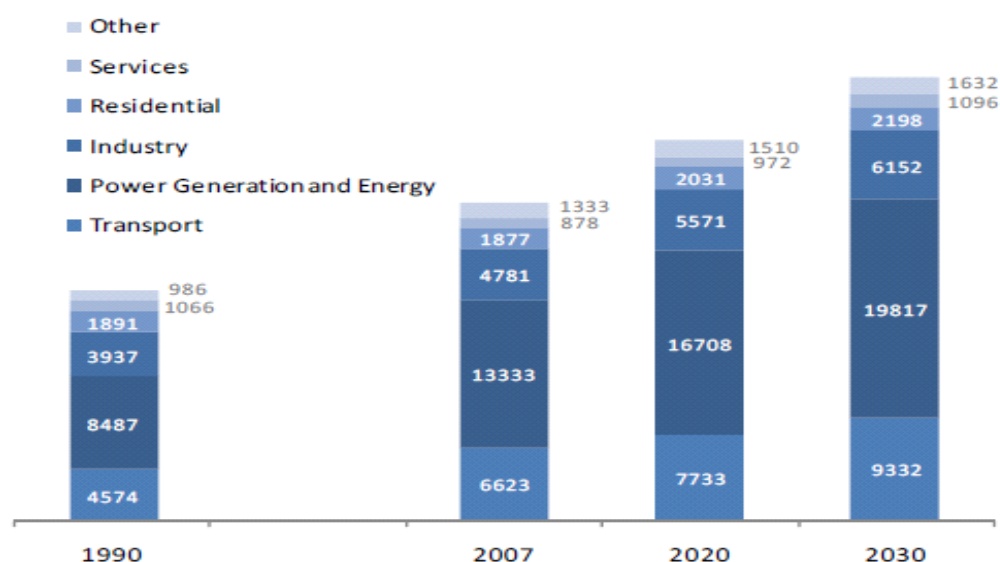
資料來源：OECD, Page 6。

圖 2.1-2 全球溫室氣體排放量(1970-2005)

OECD 引用國際能源總署(International Energy Agency, IEA)所發行「2009年世界能源展望」(World Energy Outlook 2009)的報告顯示，運輸部門是除了電力及能源部門外CO₂排放量最大的部門(如圖2.1-3)。圖2.1-3亦顯示全球化石燃料燃燒所排放的CO₂，從1990年的209億公噸CO₂當量增

加至 2007 年的 288 億公噸 CO₂ 當量，其中運輸部門分別占 45.7 億公噸 CO₂ 當量(1990 年)和 66.2 億公噸 CO₂ 當量(2007 年)，此期間增加約 45%。報告中並預測 2030 年全球化石燃料燃燒所產生的 CO₂ 排放量將超過 400 億公噸 CO₂ 當量，而運輸部門的 CO₂ 排放量亦將超過 90 億公噸 CO₂ 當量，增加的趨勢略微減緩。

單位：百萬公噸 CO₂ 當量



資料來源：OECD, Page 6。

圖 2.1-3 全球化石燃料燃燒各部門 CO₂ 排放量

(2) 運輸部門系統別 GHG 排放－歷史與未來

根據 OECD 下的聯合運輸研究中心(Joint Transport Research Centre，以下簡稱 JTRC)所發行的「2008 年運輸展望」報告^[2.1.3]，將運輸部門細分為公路、軌道、航空及水路運輸來探討，其中公路運輸包括公路客運、貨運車輛、輕型汽車、2 或 3 輪機車等。由表 2.1-6 中可發現 2000 至 2010 年的輕型車輛排放量占比最高，約為四成以上，不過到了 2050 年將會減少至 35%左右；另外，航空及貨運車輛占比，未來會有增加之趨勢。至於軌道運輸、公車客運、2 或 3 輪機車及水路運輸等占比皆不大，未來的排放量大致保持穩定，甚至會有微幅的縮減。水路運輸方面，主要即為海路運輸。JTRC 發現雖然全球金融風暴席捲全球，對海路運輸造成一定程度的影響，但是隨著中國及其他新興國家的經濟快速復甦，反而填補了全球航運上的需求，但是海運的成長率將會比之前預期來的緩慢，因此 OECD 預估海運方面的排放量並不會大幅提昇。

表 2.1-6 IEA 模擬基線 2000 至 2050 年各類運輸工具 CO₂ 排放占比

單位：%

運具	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
軌道運輸(包含客貨運)	2.1	2.2	2.3	2.5	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0
公車客運	6.8	6.3	5.7	5.4	5.2	4.9	4.6	4.3	4.1	3.8	3.6
航空	12.9	13.5	14.8	16.8	18.1	19.5	21.1	21.5	21.8	22.3	23.0
貨運車輛	22.4	22.2	22.8	23.4	23.9	24.0	23.7	24.1	24.1	23.8	23.4
輕型汽車	43.8	43.3	41.9	39.5	37.6	36.4	35.6	35.6	35.9	36.4	36.5
2或3輪機車	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4
水路運輸	10.4	10.8	10.3	10.2	10.0	9.8	9.5	9.0	8.6	8.3	8.0

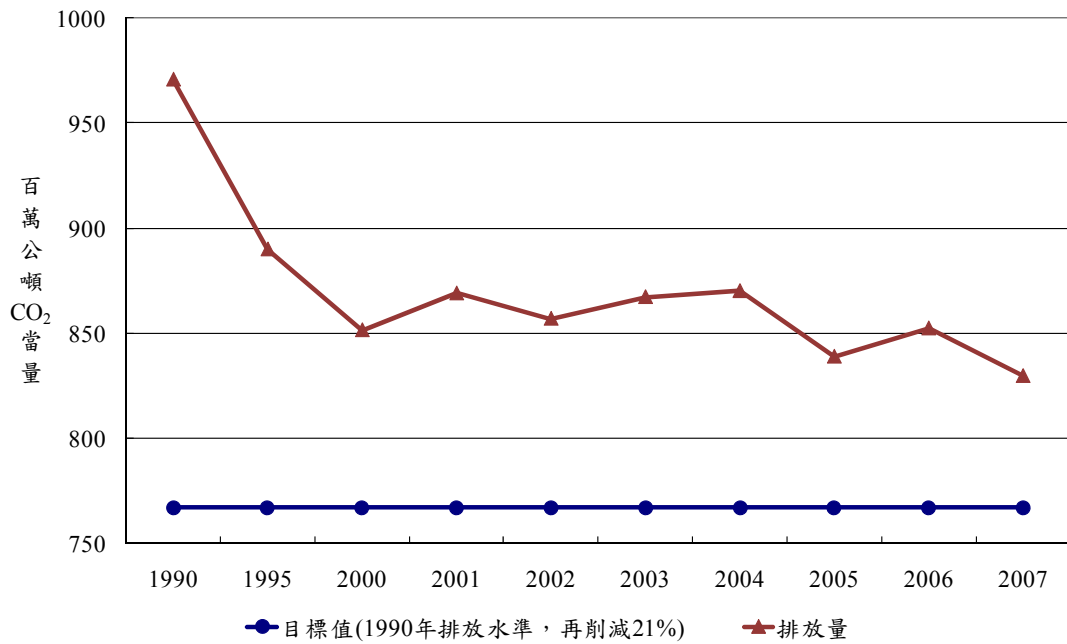
資料來源：JTRC, Page 8^[2.1.3]。

2.1.2 全球主要國家運輸部門排放狀況

除分析全球運輸部門溫室氣體排放量外，本計畫亦進一步分析世界主要國家運輸部門各類運具 CO₂ 排放量趨勢。在分析國家的挑選上，本計畫由京都議定書附件一國家中，選定目前已達到減量目標的德國及積極施行減量策略的美國，與亞洲國家中風俗、民情及社會經濟發展狀況跟我國較為接近的日本作為探討對象，以提供政府相關單位擬定溫室氣體減量策略之參考，此三個國家的運輸部門溫室氣體排放狀況分別說明如下：

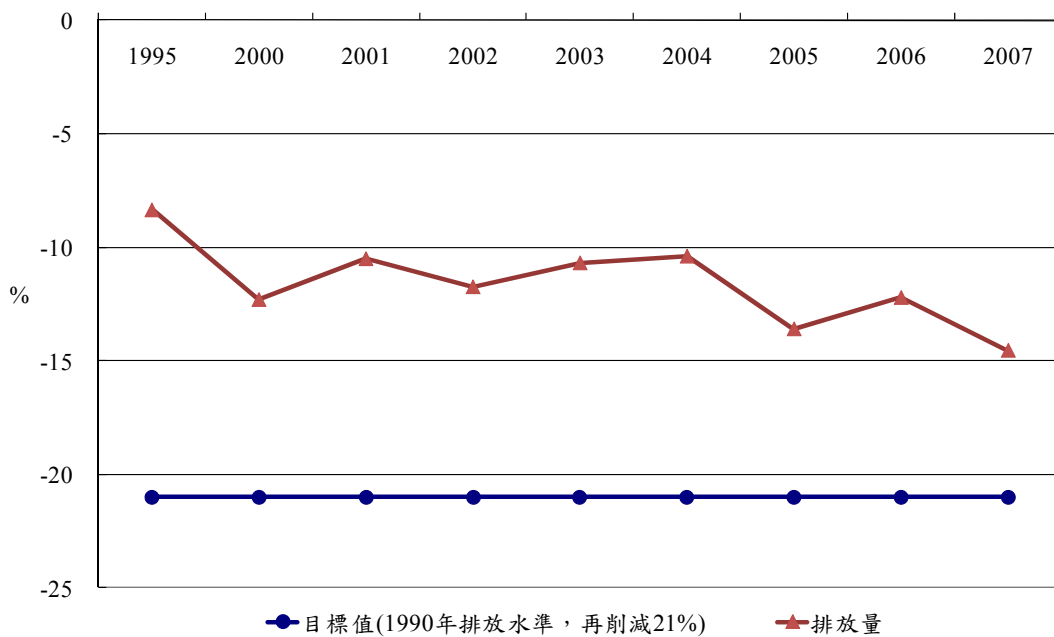
1. 德國

依據 OECD 「國際運輸論壇」(International Transport Forum，以下簡稱 ITF) 的統計資料顯示^[2.1.4]，德國政府在實施一連串相關減量措施下，CO₂ 排放量已由 1990 年的 970.79 百萬公噸 CO₂ 當量，降至 2007 年的 829.55 百萬公噸 CO₂ 當量，由圖 2.1-4 中顯示德國 CO₂ 排放量有呈現日趨下滑的趨勢。此外圖 2.1-5 為德國歷年來相較 1990 年之 CO₂ 排放量成長率，可發現 2000 年 CO₂ 排放水準已較 1990 年削減 12.30%，截至 2007 年底減量幅度已達 14.55%，德國政府深具信心，可望於 2012 年達預定減量目標，即 1990 年排放水準再削減 21%。



資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]。

圖 2.1-4 德國 CO₂ 排放及減量目標



資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

圖 2.1-5 德國歷年 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距

此外，由表 2.1-7 中可得知德國運輸部門各運具歷年之 CO₂ 排放量概況，其中以公路運輸之 CO₂ 排放量最高。公路運輸在 1990 年的 CO₂ 排放量為 148.66 百萬公噸 CO₂ 當量，至 2007 年 CO₂ 排放量為 140.81 百萬公噸 CO₂

當量，總計減少 7.85 百萬公噸碳當量，減量幅度約為 5.28%。

表 2.1-7 德國運輸部門各運具 CO₂ 排放量

單位：百萬公噸 CO ₂ 當量											
運具	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	1990-2007
公路	148.66	159.69	166.14	162.44	160.31	153.42	155.51	147.69	145.61	140.81	-5.28%
軌道	2.92	2.27	1.79	1.8	1.69	1.57	1.5	1.34	1.38	1.26	-56.85%
國內航空	3.98	3.61	4.42	4.22	4.19	4.29	4.62	4.97	5.22	5.41	35.93%
國際航空	12.58	14.13	17.39	16.59	16.53	16.92	18.29	19.69	20.69	21.45	70.51%
國內海運	2.03	1.71	0.86	0.83	0.72	0.72	0.72	0.98	0.84	0.52	-74.38%
國際海運	7.79	6.43	6.85	6.96	7.46	8.17	8.36	7.83	8.11	9.66	24.01%
其它運具	0.77	0.91	0.77	0.73	0.75	0.74	0.73	0.74	0.73	0.7	-9.09%
運輸部門CO ₂ 排放量合計	178.73	188.75	198.22	193.57	191.65	185.83	189.73	183.24	182.58	179.81	0.60%
燃料燃燒CO ₂ 排放量總計	970.79	889.89	851.38	868.92	856.85	867.14	870.03	838.79	852.26	829.55	-14.55%
運輸部門CO ₂ 排放占比	18.41%	21.21%	23.28%	22.28%	22.37%	21.43%	21.81%	21.85%	21.42%	21.68%	

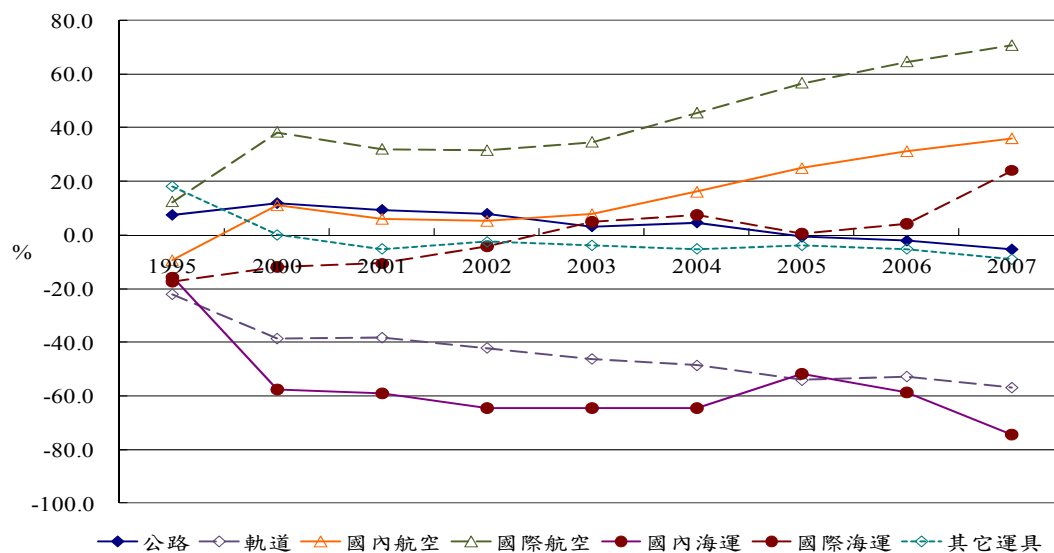
資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

由圖 2.1-6 中可顯示各運具 CO₂ 排放量相較 1990 年的變化趨勢。其中，以國際航空相較 1990 年排放成長率最高，其次依序為國內航空、國際海運、公路、其他運具、軌道及國內海運。國際航空在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 38.24%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 70.51%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨上升的趨勢，顯見國際航空 CO₂ 減量成效仍待加強；公路運輸在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 11.76%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 5.28%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨下滑的趨勢，進而顯見公路運輸 CO₂ 減量成效良好；軌道運輸在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 38.70%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 56.85%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨下滑的趨勢，顯見軌道運輸 CO₂ 減量成效良好；國際海運在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 12.07%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 24.01%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，顯見國際海運 CO₂ 減量成效仍待加強。整體而言，德國運輸部門中航空運輸 CO₂ 減量成效仍需努力。

2. 美國

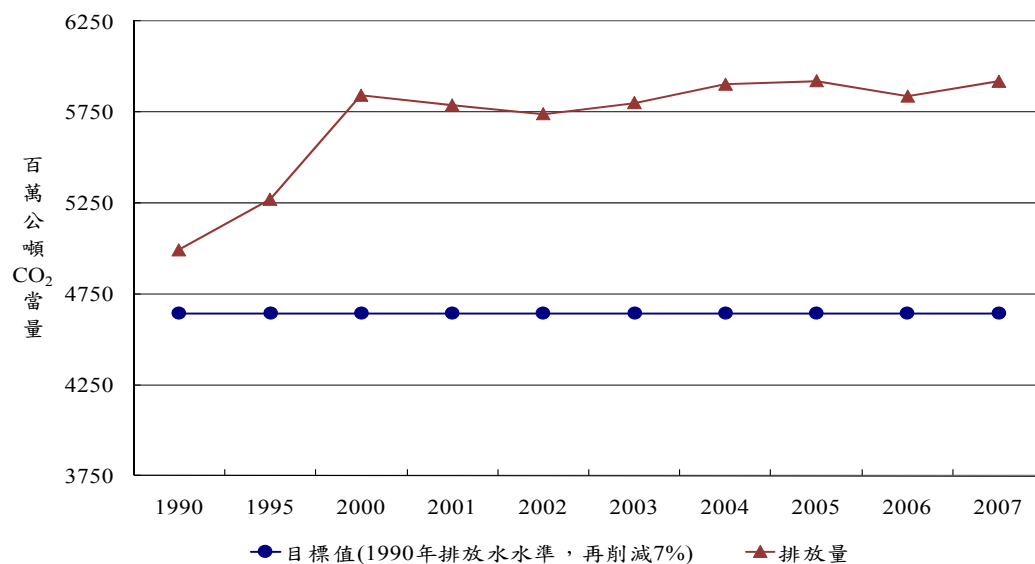
美國政府在採取一系列自律性措施下，CO₂ 排放量由 1990 年的 4,992.76 百萬公噸 CO₂ 當量，仍增至 2007 年的 5,915.46 百萬公噸 CO₂ 當量，由圖 2.1-7 可發現美國 CO₂ 排放量有呈現日益攀升的趨勢。此外，由圖 2.1-8 為美國歷

年來相較 1990 年之 CO₂ 當量排放量成長率，由圖中顯示 2000 年 CO₂ 排放水準較 1990 年增加 16.95%，截至 2007 年底，排放成長幅度已達 18.48%，顯見美國溫室氣體減量成效不佳，若要達到減量目標(即 1990 年排放水準再削減 7%)，其困難度性非常高。



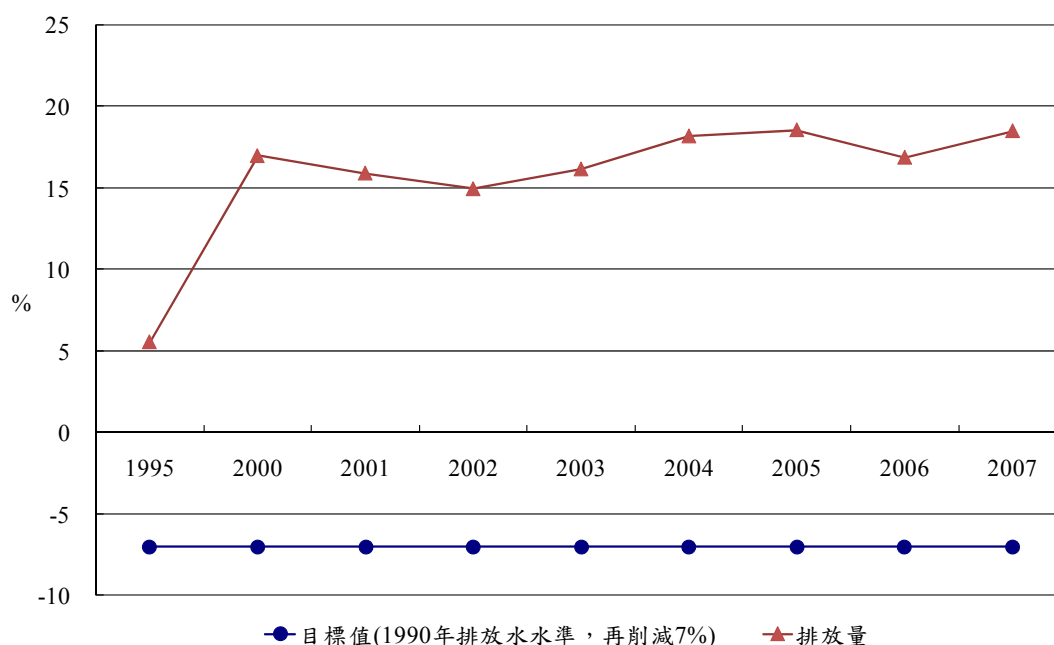
資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

圖 2.1-6 德國運輸部門各運具 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距



資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

圖 2.1-7 美國 CO₂ 排放及減量目標



資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

圖 2.1-8 美國歷年 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距

表 2.1-8 中顯示美國運輸部門各運具歷年之 CO₂ 排放量概況，其中以公路運輸之 CO₂ 排放量最大。公路運輸在 1990 年的 CO₂ 排放量為 1,137.81 百萬公噸 CO₂ 當量，至 2007 年 CO₂ 排放量為 1,527.58 百萬公噸 CO₂ 當量，總計增加 389.77 百萬公噸 CO₂ 當量，增加的幅度相當大，約為 34.26%。

表 2.1-8 美國運輸部門各運具 CO₂ 排放量

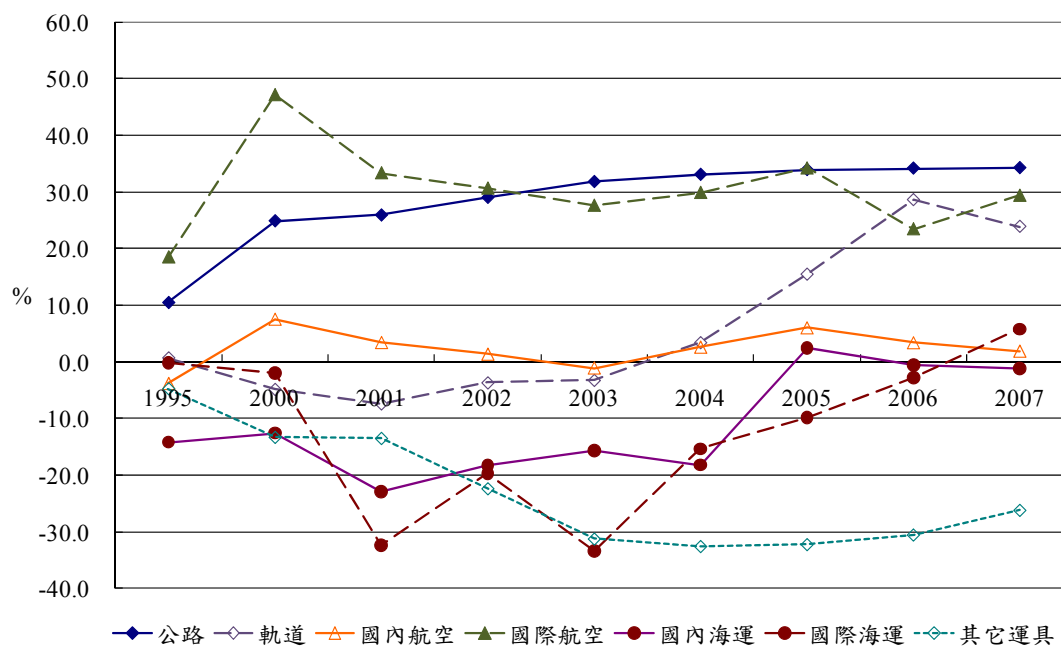
單位：百萬公噸 CO₂ 當量

運具	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	1990-2007
公路	1137.81	1258.24	1421.4	1432.98	1468.29	1499.81	1514.16	1523.77	1526.76	1527.58	34.26%
軌道	32.07	32.31	30.53	29.71	30.9	31.04	33.17	37.04	41.25	39.74	23.92%
國內航空	187.51	180.35	201.74	193.99	190.11	185.52	192.46	198.87	193.91	191.11	1.92%
國際航空	38.79	45.96	57.11	51.74	50.69	49.51	50.39	52.07	47.9	50.19	29.39%
國內海運	11.17	9.59	9.77	8.61	9.13	9.42	9.14	11.44	11.11	11.04	-1.16%
國際海運	90.68	90.51	88.9	61.37	72.88	60.49	76.78	81.76	88.16	95.96	5.82%
其它運具	51.42	49.01	44.61	44.51	39.95	35.39	34.71	34.88	35.76	37.99	-26.12%
運輸部門CO ₂ 排放量合計	1549.45	1665.97	1854.06	1822.91	1861.95	1871.18	1910.81	1939.83	1944.85	1953.61	26.08%
燃料燃燒CO ₂ 排放量總計	4992.76	5269.8	5839.03	5785.85	5738	5798.59	5899.6	5918.31	5834.41	5915.46	18.48%
運輸部門CO ₂ 排放占比	31.03%	31.61%	31.75%	31.51%	32.45%	32.27%	32.39%	32.78%	33.33%	33.03%	

資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

由圖 2.1-9 中可得知各運具 CO₂ 排放量相較 1990 年的變化趨勢。其中，以公路運輸相較 1990 年排放成長率最高，其次依序為國際航空、軌道、國際海運、國內航空、國內海運及其它運具。公路運輸在 2000 年 CO₂ 排放量

相較於 1990 年增加 24.92%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 34.26%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨上升的趨勢，顯見公路運輸 CO₂ 減量成效不佳；國際航空在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 47.23%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 29.39%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨減少的趨勢，顯見國際航空 CO₂ 減量成效相對良好；軌道運輸在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 4.80%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 23.92%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨上升的趨勢，顯見軌道運輸 CO₂ 減量成效亦不佳。整體而言，美國運輸部門中之各運具 CO₂ 減量成效，除國際航空呈現日趨減少的趨勢外，其他皆呈現上升趨勢，未來亟待美國政府相關單位提出更有力的因應溫室氣體減量對策，以抑低運輸部門 CO₂ 排放。



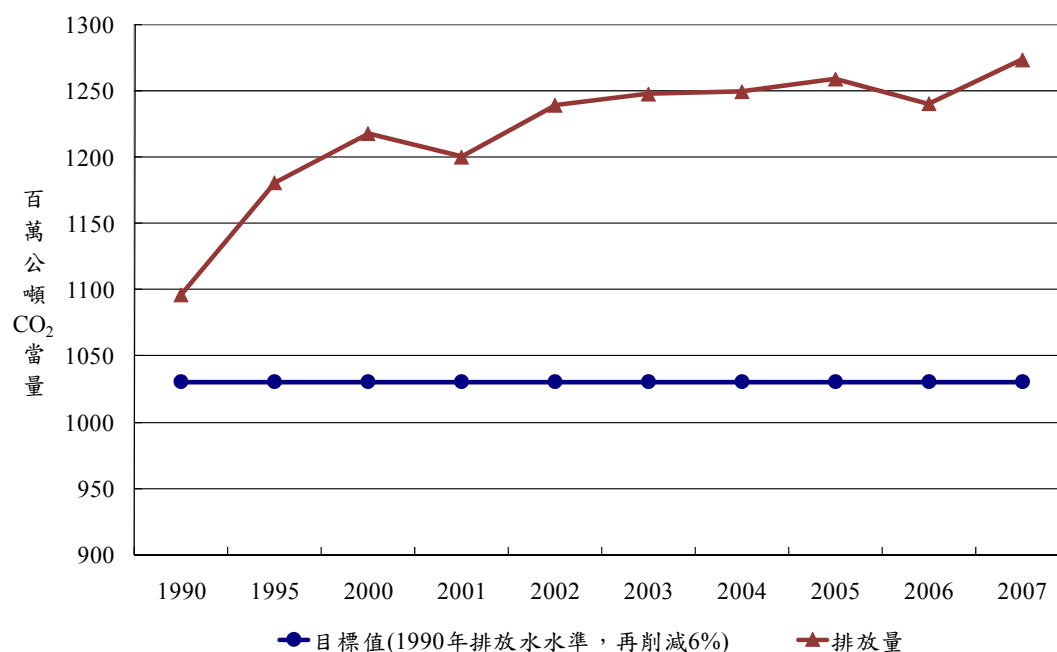
資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

圖 2.1-9 美國運輸部門各運具 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距

三、日本

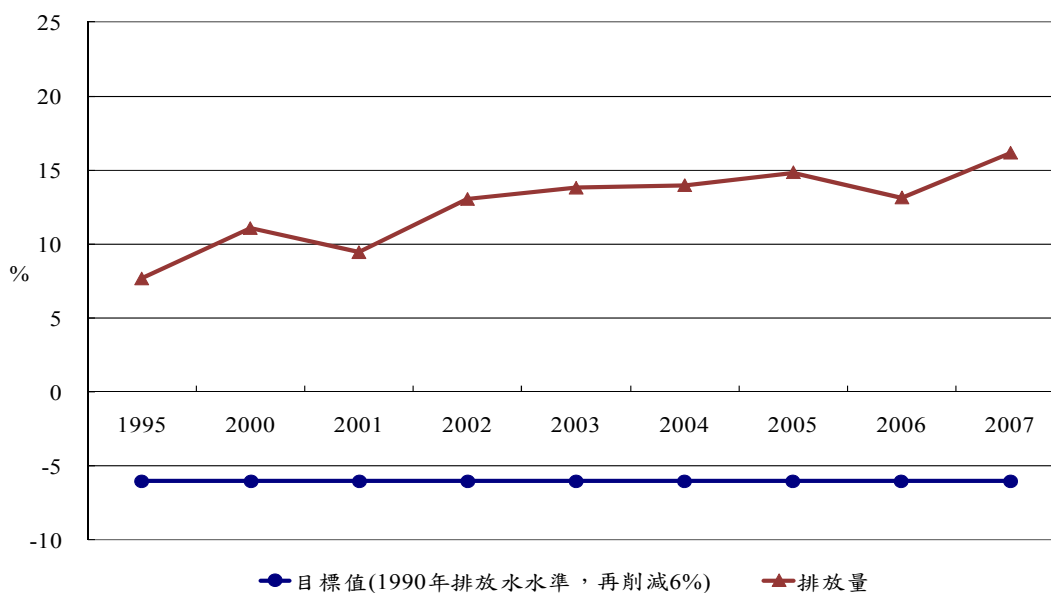
日本政府在實施一連串相關減量措施下，CO₂ 排放量仍由 1990 年的 1,096.31 百萬公噸 CO₂ 當量，增加至 2007 年的 1,273.34 百萬公噸 CO₂ 當量，由圖 2.1-10 中可發現日本 CO₂ 排放量有呈現日趨上升的趨勢。此外，圖 2.1-11 中為日本歷年來相較基期之 CO₂ 排放量成長率，圖中顯示 2000 年 CO₂ 排放水準較 1990 年增加 11.09%，截至 2007 年底，排放水準累積增加 16.15%，

顯見日本未來仍需加強溫室氣體減量，才可達成其減量目標(即 1990 年排放水準再削減 6%)。



資料來源：ITF (2010) [2.1.4]

圖 2.1-10 日本 CO₂ 排放及減量目標



資料來源：ITF (2010) [2.1.4]

圖 2.1-11 日本歷年 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距

表 2.1-9 中可得知日本運輸部門之各運具歷年 CO₂ 排放量概況，其中以公路運輸之 CO₂ 排放量最大，其次依序為國際航空或海運、國內海運、國內航空、軌道及其它運具，其中公路運輸在 1990 年的 CO₂ 排放量為 186.87 百萬公噸 CO₂ 當量，至 2007 年 CO₂ 排放量為 214.61 百萬公噸 CO₂ 當量，總計增加 27.74 百萬公噸 CO₂ 當量。

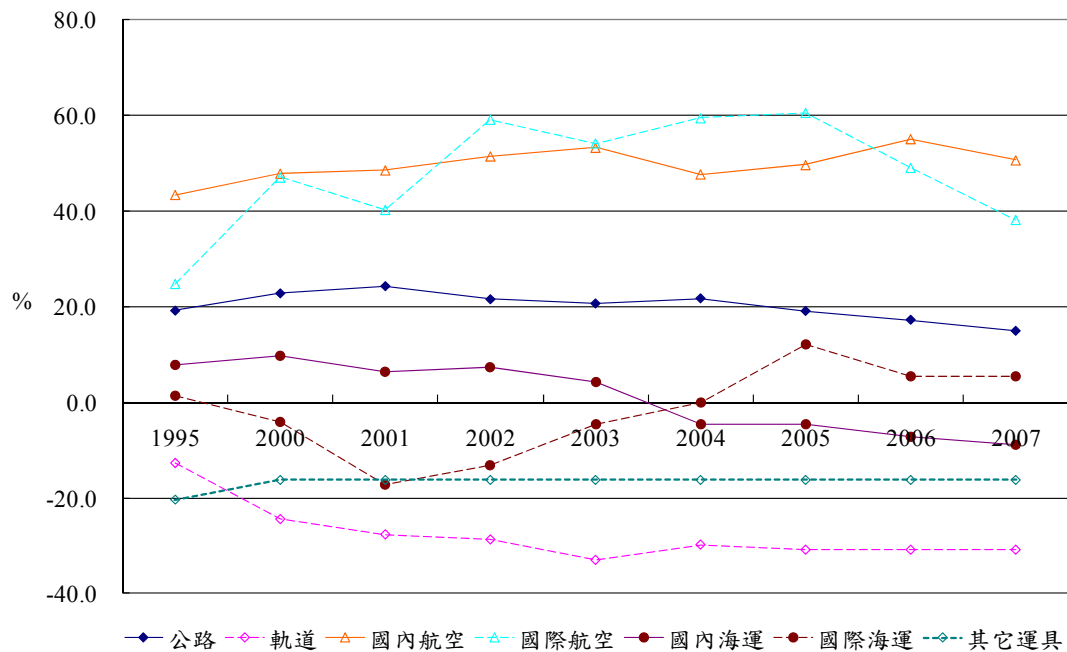
表 2.1-9 日本運輸部門各運具 CO₂ 排放量

單位：百萬公噸 CO₂ 當量

運具	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	1990-2007
公路	186.87	222.63	229.49	232.36	227.18	225.48	227.51	222.48	219.01	214.61	14.84%
軌道	0.94	0.82	0.71	0.68	0.67	0.63	0.66	0.65	0.65	0.65	-30.85%
國內航空	7.23	10.37	10.69	10.74	10.95	11.08	10.68	10.82	11.21	10.89	50.62%
國際航空	13.31	16.61	19.57	18.67	21.18	20.52	21.22	21.37	19.84	18.39	38.17%
國內海運	13.21	14.25	14.49	14.04	14.17	13.78	12.6	12.61	12.27	12.04	-8.86%
國際海運	17.66	17.92	16.93	14.63	15.33	16.84	17.63	19.81	18.63	18.61	5.38%
其它運具	1.42	1.13	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	-16.20%
運輸部門CO ₂ 排放量合計	240.64	283.73	293.07	292.31	290.67	289.52	291.49	288.93	282.8	276.38	14.85%
燃料燃燒CO ₂ 排放量總計	1096.31	1180.78	1217.9	1200.15	1239.26	1247.59	1249.4	1258.94	1240.42	1273.34	16.15%
運輸部門CO ₂ 排放占比	21.95%	24.03%	24.06%	24.36%	23.46%	23.21%	23.33%	22.95%	22.80%	21.71%	

資料來源：ITF (2010) ^[2.1.4]

由圖 2.1-12 中可得知各運具 CO₂ 排放量相較 1990 年的變化趨勢，其中，以國內航空相較 1990 年排放成長率最高，其次依序為國際航空、公路、國際海運、國內海運、其它運具及軌道。國內航空在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 47.86%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 50.62%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日趨上升的趨勢，顯見國內航空 CO₂ 減量成效尚待加強；公路運輸在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 22.81%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 14.84%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現日益減少之趨勢，顯見公路運輸 CO₂ 減量成效良好；國際海運在 2000 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年減少 4.13%，2007 年 CO₂ 排放量相較於 1990 年增加 5.38%，就其相較 1990 年成長率的變化趨勢來看，呈現略微上升的趨勢，顯見國際海運 CO₂ 減量成效稍差。整體而言，日本運輸部門中之各運具 CO₂ 減量成效，以公路運輸最佳，而航空運輸最差。



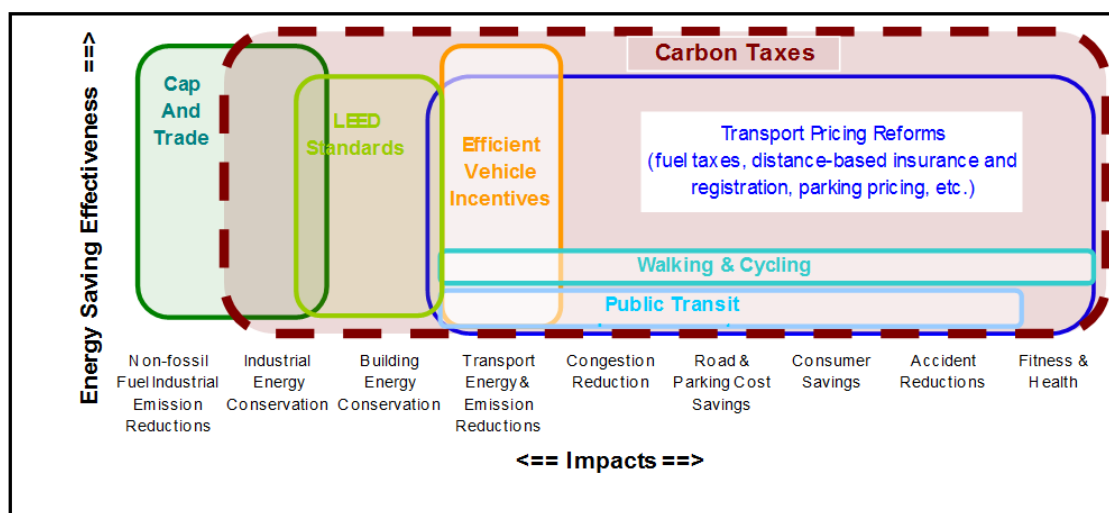
資料來源：ITF (2010) [2.1.4]

圖 2.1-12 日本運輸部門各運具 CO₂ 排放量與 1990 年排放水準之差距

綜上所述，以上 3 個國家運輸部門的 CO₂ 排放現況，德國(國際航空)及日本(國內航空)均以航空運輸的減量成效最差，但皆以公路或軌道運輸的減量成效最好；美國運輸部門中之各運具 CO₂ 減量成效，皆普遍不佳，亟待美國政府相關單位提出更有力的因應溫室氣體減量對策，以抑低 CO₂ 排放。

2.2 國內外運輸部門節能減碳政策

近年來，節能減排是各國十分關心的議題，進而使相關策略的發展十分多元，但不同政策的減量效果(能源消耗和排放量降低)與衝擊影響(總成本和效益)範疇不竟相同(如圖 2.2-1 所示)。故各部門在擬定節能減碳政策時，就必需考量其特性與目標差異。評估運輸部門節能減碳政策時，就必須考量提升車輛效能可降低車輛能耗效果，但也可能刺激車輛使用率增加；或公共運輸與非機動運具雖節能效果有限，卻具備其他效益(如改善交通壅塞、降低噪音與空氣污染等)。換言之，政策需有配套的措施或相輔的工具，才能達到設定目標與預期效果。



资料来源：Litman(2011)。

圖 2.2-1 減量策略的效果與範疇

除蒐集全球與主要國家運輸部門的能源消耗與溫室氣體排放狀況外，本計畫亦持續蒐集國內外運輸部門推動節能減碳相關政策與措施資料，以作為我國研訂運輸部門節能減碳政策之參考資料。基此，本節將先掌握國際上運輸部門節能減碳政策的最新發展趨勢，主要蒐集的國家包含：歐盟、英國、德國與美國的相關措施與作法，其次彙整國內運輸部門之相關節能減碳政策。

2.2.1 國際運輸部門節能減碳政策

1. 歐盟

歐盟運輸部門的 CO₂ 排放約佔總排放量的 28%，尤其來自公路車輛，燃料效率的提升及替代燃料車輛的開發一直皆為歐盟強調的運輸發展重點，自 2001 年提出十年期的行動計畫以來，歐盟相關單位因應環境變化持續調整運輸政策。

2010 年 4 月，歐盟提出綠色車輛“Green vehicles”，表示擁有潔淨能源且同時具有能源效率，如電動車或採用液態生質燃料的車，希望將此概念付諸實現，以降低運輸部門對環境的衝擊，並刺激汽車產業的競爭力，但也指出必須仰賴多方面的能源技術合作，包括電力、天然氣等。為了使消費者選用綠色車輛，歐盟除加強資訊的流通及金融誘因，亦採用課稅的辦法來改變消費者選擇，如對用於運輸的燃料或電力訂立最低課稅費率，而各會員國可依

此水準制定各項能源稅費。

歐盟對車輛供應面進行了嚴格管制與長期規劃，提出 2020 年起新註冊之小客車 CO₂ 排放應降至 95g/km，並要求車輛製造商自 2012 年起達到新註冊符合規定之小客車需佔 65%，且逐步提高至 2015 年達 100%¹。歐盟透過監督與報告的機制，規範各廠商小客車的實際排放量與減量目標，若實際排放量超過目標排放量，歐盟將採取補貼措施，以提供誘因製造低排放的車輛²。

2. 英國

英國的 CO₂ 排放約有 1/5 來自道路運輸，為緩和私人運輸工具對環境造成的影響，車輛認證中心(Vehicle Certification Agency, VCA)對於各項私人運具的能耗、CO₂ 排放或燃料型態等特徵值做了詳盡的彙整，利於民眾或廠商做選擇與比較，同時建立完備的資訊平台，如「Van Best Practice Programme」就針對小型貨車提出指導方針，使民眾了解相關指標，並掌握運具使用所需的能耗或產生的排放量，進而降低對環境的衝擊。

有關綠色運輸的經濟誘因工具，英國在車輛稅費(Vehicle tax)的制訂上，可用註冊年份來劃分費率制訂方式，若為 2001 年前註冊者，則依照引擎大小以規範不同稅費，但 2001 年 3 月起的車輛稅費(Standard Rates)是先分為石油、柴油和替代燃料三種型態，再將不同燃料型態依 CO₂ 排放量區分為 13 個稅級。整體而言，替代燃料的稅費較石油及柴油低，而 CO₂ 排放量和稅費呈正向關係，顯見英國重視潔淨能源與低排放的政策方針。但自 2010 年 4 月起，民眾購車第一年應繳的車輛稅費不同於標準稅費，而需依「First year rates」的標準來計算，此第一年稅費約高出標準稅費一倍左右。英國的車輛能效標章(參考圖 2.2-2)包含成本、能耗、排放量、稅費、燃料型態等五大部分，也讓消費者能夠快速了解車輛特徵，並刺激廠商朝向低碳的車體或能源技術發展。

¹ 此處受到規範之小客車為新註冊於歐盟而未註冊於第三國家的車輛，當前所採用的排放規定則為 2009 年 4 月提出的 130g/CO₂。

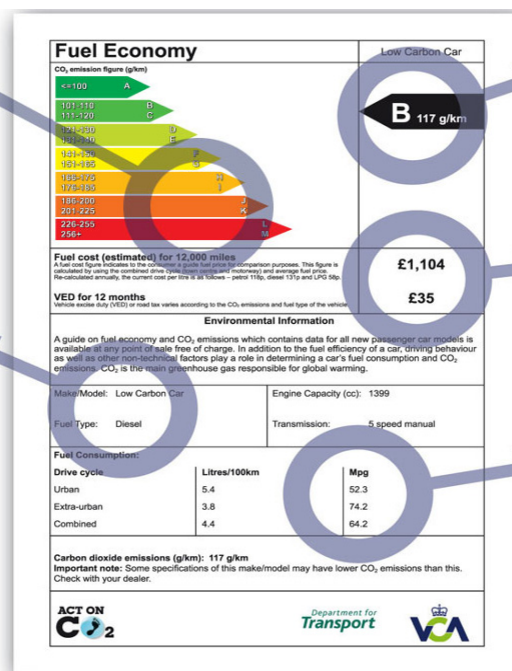
² 2012 年至 2018 年採同一計算標準，2019 年起則改以更嚴格之計算準則。

Thirteen VED bands

The figures on the coloured arrows (A-M) indicate the 13 ranges of emissions by g/km that correspond to levels of annual Vehicle Excise Duty (VED or Road Tax). Low carbon-emitting cars pay less tax. The lowest – Band A – pay no tax.

Make, model and engine details

The vehicle make, model, fuel type, engine capacity and transmission type are all listed. Together they determine the CO₂ emissions and running costs.



CO₂ emissions figure

The black arrow points to the vehicle's relevant band of CO₂ emissions on which Vehicle Excise Duty (VED or Road Tax) is based.

Running costs

Average yearly fuel costs are calculated and displayed together with the relevant level of Road Tax. Figures updated with recent prices.

Fuel consumption

Shows how efficient the car is in miles per gallon and litres per 100km in town, country and combined driving situations.

資料來源：Low Carbon Vehicle Partnership,

<http://www.lowcvp.org.uk/cutting-carbon/fuel-economy-explained.htm>^[2.2.1]

圖 2.2-2 英國車輛能效標籤

在大眾運輸方面，英國軌道運輸的軟硬體設備均發展的相當完善，當前朝向場站擴增、載量與效率提升與城鄉均衡等發展方向，有關當局 ORR (Office of Rail Regulation)致力於運輸策略的安全與投資規畫，亦定期提出檢視報告或衝擊評估，俾利於提升大眾運輸服務數量與品質。

3. 德國

德國在 1999 年之前，運輸部門在能源消耗仍呈現成長趨勢，但在 1999 年後，燃料銷售量呈現減少趨勢，其主要原因為：依據汽車業者自發性的提供完善駕駛訓練與車輛技術提升，導致新車耗能減低，同時，新型柴油引擎車輛的大量使用，也使得新車耗能減低。此外，生態稅(ecological tax)的改革也使得節省燃料的車輛使用增加。

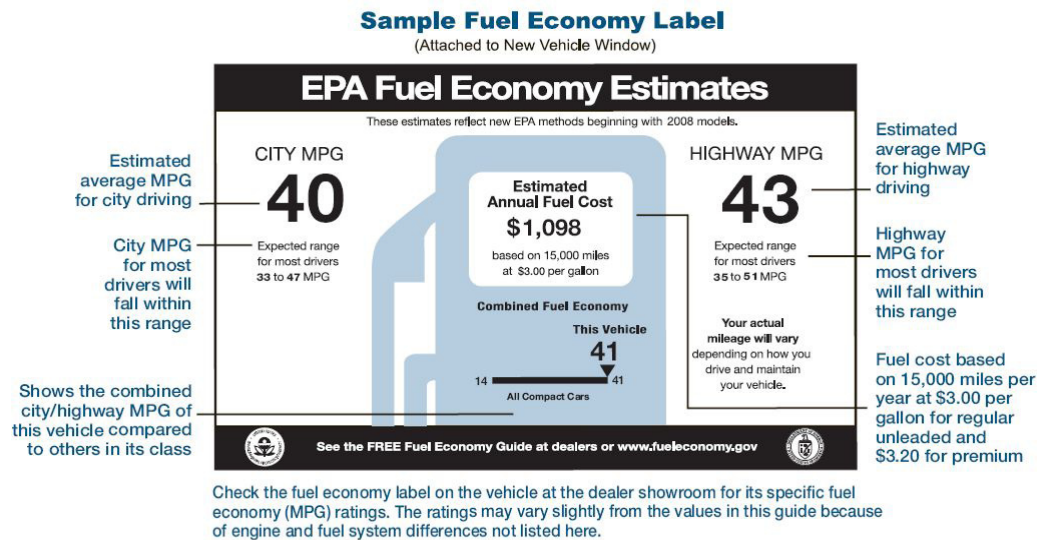
此外，在使用替代燃料方面，德國在 2005 年時公路交通採用生質燃料之比例已達 3.6%，並計畫在 2015 年達到 8%。德國為全球主要的生質柴油生產國，至 2002 年 6 月，德國境內已有 1,500 個生質柴油加油站，加油站間的平均距離約為 30 公里，其中，約 40%的生質柴油是透過加油站出售的，其於 60%則是出售給具有車隊之商車經營者。在運具技術提升方面，2002 年

7 月德國汽車協會(German Automobile Association)與汽車進口協會(Motor Vehicle Importers Association)承諾交通部將發展省能技術，包括採用低摩擦輪胎、低摩擦汽油與燃料消耗指示器。汽車產業承諾將會逐漸採用低摩擦輪胎，其中德國出產的新車已達到 90%，進口車輛則達到 80%；車廠並會持續加強宣傳，鼓勵替換輪胎車主採用低摩擦輪胎。同時，車輛製造商已增加採用低摩擦石油，目前高達 90%之新車使用，同時，製造商亦會鼓勵舊車主改採此種油料。此外，更多的車輛配置燃油消耗指示器及排檔變換指示器，如此一來亦可協助駕駛人調整節省燃料之駕駛習慣。

在燃油效率方面，德國並未強制規定而採用自願協議之方式，由汽車製造業自行承諾在 1990 至 2005 年間產銷的新車，耗油量要減少 25%，目標是每跑 100 公里平均耗油量為 5.97 公升，而聯邦政府會在交通管理、減稅等方面配合協助。此外，德國政府在運輸部門的減量策略尚包含：鐵路與公路基礎建設投資、高速公路里程收費、低耗油車減稅、良好駕駛習慣宣導、徵收飛機降落排放稅、改善住宅區交通規劃、車隊管理系統及改善地區交通運輸狀況等措施。

4. 美國

為帶動私人運具的節能減碳，美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)和能源部(Department of Energy, DOE)採用能效標籤(Fuel Economy Label)制度(參考圖 2.2-3)，使購車民眾了解不同車款的能源使用特徵。該標籤上的能源效率為一量化數值，雖然會因為路況或天候等因素而改變，亦即各車輛所標示的能源效率(Fuel Economy)並非一固定值，卻仍不失為購車時一項重要的考量因素。在經濟誘因方面，美國提出稅費折扣的方案，即購買使用不同潔淨能源的車輛，可享受不同的所得稅抵減優惠(參考表 2.2-1)，此稅費抵減亦標示在能源效率標籤中。



資料來源：Fuel Economy Guide 2011, www.fueleconomy.gov^[2.2.2]

圖 2.2-3 美國車輛能效標籤

表 2.2-1 美國購買使用潔淨能源車輛之稅費折扣

Vehicle Type	Credit
Hybrid or Diesel (purchased before 2011)	Up to \$3,400
Alternative Fuel Vehicle (purchased before 2011)	\$4,000
Plug-in Electric Drive Vehicle (e.g., plug-in hybrid or battery electric vehicle)	Up to \$7,500

資料來源：Fuel Economy Guide 2011, www.fueleconomy.gov^[2.2.2]

美國除規範車輛的效能與經濟誘因外，近期亦積極推動大眾運輸系統，2010 年美國 FTA(Federal Transit Administrator)舉行「Bus & Para transit Conference」，會議中指出交通部(Department of Transportation, DOT)將執行一項客運系統升級計畫，主要針對過於老舊或不合時用的設備進行汰換與重建，總計投入金額達 7.7 億美元，目的在於推廣潔淨的大眾運輸，並提高使用率，雖然公車不如地鐵、捷運或輕軌電車來得快速，卻也是許多民眾生活或工作仰賴的運輸服務，尤其是居住在未有軌道運輸系統通過的地區，公車即為最主要的大眾交通工具。除改進大眾運輸系統的硬體設施外，美國也注重公車所使用的能源必須以潔淨能源為前提，燃料電池公車的計畫(National Fuel Cell Bus Program)即強調更環保、更具效率的動力來源，因此燃料電池用於公車的技術研究，包括成本、耐用度、量產可能性或是車體設

計等考量因素，皆成為綠色運輸政策的主要發展方向

由於軌道運輸亦為重要的通勤系統，FTA 針對七條軌道運輸路線(主要為地鐵、輕軌電車等)投入共 1.8 億美元，規劃於 2025-2030 年可延長路線並達到更高的運量，其中以美國德州一處的綠色路線“Green Line”為領導指標，不僅新增高承載量的軌道運具，同時擴增週遭硬體設施，如停車空間、轉乘服務等，估計營運第一年每日可增加三萬人次。

綜上所述，發現歐盟、英國、德國、美國等國運輸部門之節能減碳策略選項，除了潔淨車輛技術，更重視機動性管理(如表 2.2-2 所示)。其主要原因有三：

- (1) 潔淨車輛技術可降低每車公里之排放率，而機動性管理策略則可減少總行駛里程。
- (2) 潔淨車輛技術的發展有可能刺激更多私人旅次，而機動性管理策略則可增加公共運輸旅次。
- (3) 潔淨車輛技術是考量車輛節能減排效益，而機動性管理是著眼於整體社會福利的增進。

表 2.2-2 國外運輸部門的減排策略選項

Cleaner Vehicles	Mobility Management		
	Improved Transport Options	Incentives To Choose Efficient Options	Land Use Management
Efficient vehicle technology development	Transit improvements	Congestion pricing	Smart growth policies
Fuel efficiency standards (such as CAFE)	Walking & cycling improvements	Distance-based fees	Transit oriented development
Alternative fuel requirements and incentives.	Rideshare programs	Commuter financial incentives	Location-efficient development
Feebates (financial rewards for purchasing efficient and alternative fuel vehicles)	HOV priority	Parking pricing	Parking management
Fuel tax increases	Carsharing	Parking regulations	Carfree planning
	Telework & flextime	Fuel tax increases	Traffic calming
	Taxi service improvements	Transit encouragement	

資料來源：Litman(2011)。

再者，經彙整國外運輸部門各類運具的節能減碳後顯示，主要政策及措施可概分為三大類型：其一為傳統汽柴油車輛燃油效率的改善(技術的提升)；其二為清潔(潔淨)替代燃料或動力系統車輛的發展應用(替代車輛)；其三為交通運輸管理相關措施，茲彙整如表 2.2-3 所示。

表 2.2-3 國外運輸部門各類運具之主要節能減碳策略

運輸部門 節能減碳 措施	小客車	大客車	貨車	機車	軌道	航空	船舶
傳統汽柴油車輛燃油效率的改善	汽車油耗標準、CO ₂ 排放標準	-----	引擎/動力傳動系統之效率改進、空氣動力的改進、低滾動阻力輪胎	噴射引擎機車、機車排放標準	-----	新型飛機效率	氣渦輪引擎加上廢熱回收系統技術、輕質材料
清潔替代燃料或動力系統車輛的發展應用	電動汽車、混合動力汽車及燃料電池汽車	天然氣公車、生質柴油公車、混合動力公車及燃料電池公車	混合動力系統(與電力混合)	電動機車、燃料電池車	-----	-----	整合電力系統、燃氣與燃油雙引擎
交通運輸管理相關措施	-----	「公車捷運系統(Bus Rapid Transit, 簡稱 BRT)	具規劃的貨車派遣路線、裝運整合及接收站或倉庫最佳的使用	-----	公路/國內航空運具替代	提升營運效率及運載率	-----

資料來源：本研究整理

最後補充說明近年來歐盟強調的高品質公共運輸系統，一般的旅次目的地概分為：通勤(上班或上課)、工作相關應酬、私人旅行或朋友聚會等，故不同的旅次目的地會有不同的旅次成本考量，而旅次成本則與選擇的運輸工具有關。在總旅次固定下，增加私人機動運具的旅次成本，可以有效的部分旅次到公共運輸或非機動運具，進而提升公共運輸系統使用率(如表 2.2-4 所示)。而建置高品質公共運輸系統，就是為有效的提高轉移私人機動運具的旅次。高品質公共運輸系統的考量因素包括有：

- (1) 搭乘環境改善：路網廣、等車時間短、等車環境安全與舒適、良好的步行環境，以及完善的轉乘與停車規劃等。
- (2) 消費行為的改變：減少私人機動車輛旅次、增加公共運輸或非機動運具(如：步行、自行車等)的旅次等。
- (3) 平日通勤(上班或上課)不使用私人機動車輛。

表 2.2-4 各運輸系統的運具使用分佈(依據不同旅次目的地)

Trip Purpose	Automobile Dependent	Transit Oriented Development	Carfree
Work commuting	🚗 🚗 🚗 🚗 🚗	🚲 🚌 🚌 🚌 🚌	🚶 🚲 🚲 🚌 🚌
School commuting	🚲 🚌 🚌 🚌 🚌	🚶 🚲 🚲 🚌 🚌	🚶 🚶 🚲 🚲 🚌
Work-related business	🚗 🚗	🚌 🚌	🚲 🚌
Personal travel (errands)	🚶 🚗 🚗 🚗 🚗 🚗	🚶 🚶 🚲 🚲 🚌 🚌	🚶 🚶 🚲 🚲 🚌 🚌
Social and recreation	🚶 🚗 🚗 🚗 🚗	🚶 🚶 🚲 🚌 🚌	🚶 🚶 🚲 🚲 🚌 🚌
<i>Total car trips</i>	21	9	3
<i>Total transit trips</i>	1	5	6
<i>Total non-motorized trips</i>	3	11	16
<i>Total trips</i>	25	25	25

資料來源：Litman(2010)。

2.2.2 我國運輸部門節能減碳政策

上節旨在分析國際間運輸部門常採用的節能減碳措施，而在臺灣方面，依據國際能源總署(IEA/OECD)於2010年出版之能源使用CO₂排放量統計資料，我國2008年能源消耗所產生CO₂排放總量為264.29百萬公噸，占全球排放總量的0.9%，雖仍居全球排名第22位³，也遠不及與我國相仿的韓國CO₂排放總量；但以每人平均排放量為觀察時，卻發現我國人均排放量為11.53公噸，已居於全球排名第17位(表2.2-5)。除顯示臺灣在節能減碳上仍有待加強的空間外，尤其在國人日常生活的運輸需求及習慣，值得進一步研究與改進。

爰此，我國將2010年訂為「節能減碳年」，並制訂了「國家節能減碳總計畫」，其中十大標竿方案，內容涵蓋我國節能減碳各面向，包括：「健全法規體制」、「改造低碳能源系統」、「打造低碳社區與社會」、「營造低碳產業結構」、「建構綠色運輸網絡」、「營建綠色新景觀與普及綠建築」、「擴張節能減碳科技能量」、「推動節能減碳公共工程」、「深化節能減碳教育」及「強化節能減碳宣導與溝通」，範圍涵括了我國推動節能減碳的全部面向。

基此，冀望在「國家節能減碳總計畫」方案政策引導下，研提推動「能源稅條例」立法、「打造低碳城市」、「降低發電系統碳排放」、「推動產業節能減碳」、「推動節能減碳生活社會運動」、「推動綠能產業旭升方案」、「建構綠色無接縫公路運輸系統」、「推動建築物節能減碳標示制度」、「建

³ 依據IEA/OECD Key World Energy Statistics, 2005 Edition，臺灣在2003年二氧化碳(CO₂)排放總量為230百萬公噸，佔全球總量的1%，名列世界第22位。

構永續低碳公共工程規範及機制」、「推動能源國家型科技計畫」、「教育部暨所屬機關學校全面落實節能減碳計畫」、「全民節能減碳溝通宣導計畫」等重點項目標竿型計畫，以構建我國節能減碳路徑。

長久以來以出口換取外匯的經濟發展策略，臺灣雖締造了舉世稱羨的經濟奇蹟，但所伴隨來的環境破壞，卻也是不爭的事實。進入「後京都」時代，開發中國家的減量責任開始被檢討及要求改善。其中，越來越多的研究指出溫室氣體為造成極端氣候與天候異常的元兇之一，故「節能減碳」成為了各國熱烈討論的焦點，而我國也積極研擬相關的因應對策，並提出具體的減量目標。

表 2.2-5 2008 年能源使用二氧化碳(CO₂)排放量跨國比較表

全球 排名	國家別	排放總量 (百萬公噸 CO ₂)	全球占 比%	全球 排名	國家別	人口數 (百萬人)	排放總量 (百萬公噸 CO ₂)	每人平均排放量 (公噸 CO ₂ /人)
1	中國	6508.24	22.15%	1	卡達	1.28	53.91	42.12
2	美國	5595.92	19.05%	2	阿拉伯 聯合大 公國	4.48	146.95	32.80
3	俄羅斯	1593.83	5.42%	3	巴林	0.77	22.3	28.96
4	印度	1427.64	4.86%	4	千里達	1.34	37.96	28.33
5	日本	1151.14	3.92%	5	科威特	2.73	69.49	25.45
6	德國	803.86	2.74%	6	荷屬安 的列斯	0.19	4.45	23.42
7	加拿大	550.91	1.88%	7	盧森堡	0.49	10.4	21.22
8	英國	510.63	1.74%	8	汶萊	0.4	7.49	18.73
9	伊朗	505.01	1.72%	9	澳洲	21.51	397.54	18.48
10	韓國	501.27	1.71%	10	美國	304.53	5595.92	18.38
11	義大利	430.1	1.46%	11	直布羅 陀王國	0.03	0.49	16.33
12	墨西哥	408.3	1.39%	12	加拿大	33.33	550.91	16.53
13	澳洲	397.54	1.35%	13	沙烏地 阿拉伯	24.65	389.16	15.79
14	沙烏地 阿拉伯	389.16	1.32%	14	愛沙尼 亞	1.34	17.62	13.15
15	印尼	385.38	1.31%	15	哈薩克	15.68	201.63	12.86
16	法國	368.23	1.25%	16	阿曼	2.79	34.92	12.52
17	巴西	364.61	1.24%	17	臺灣	22.92	264.29	11.53
18	南非	337.42	1.15%	18	俄羅斯	141.79	1593.83	11.24
19	西班牙	317.63	1.08%	19	捷克共 和國	10.43	116.83	11.20
20	烏克蘭	309.58	1.05%	20	荷蘭	16.44	177.86	10.82
21	波蘭	298.69	1.02%	21	芬蘭	5.31	56.58	10.66
22	臺灣	264.29	0.90%	22	比利時	10.71	110.96	10.36
23	土耳其	263.53	0.90%	23	韓國	48.61	501.27	10.31
24	泰國	229.47	0.78%	24	愛爾蘭	4.44	43.75	9.85

資料來源：IEA/OECD Key World Energy Statistics, 2010 Edition

http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf

運輸部門的 CO₂ 排放僅次於工業部門為第二大排放部門，大部分國家運輸部門 CO₂ 排放占比超過 20%；以 2010 年為例，我國運輸部門 CO₂ 排放量就占全國 CO₂ 排放量的 13.9%⁴，僅次於工業部門⁵。茲摘述我國歷年節能減碳重要計畫與政策如下：

我國於 1999、2005、2009 分別召開共 3 次之「全國能源會議」，凝聚全國共識並奠定行動方案責成各行政部門推動。

另行政院於 2008 年 6 月 5 日第 3095 次院會中通過「永續能源政策綱領」，並揭櫫「全國二氧化碳排放減量，於 2025 年回到 2000 年排放量。」其中區分為：「淨源」、「節流」與「建構完整法規基礎與相關機制」3 大類，而運輸部門為「節流」6 大項中的一項，其施政方針包括：1.建構便捷大眾運輸網，紓緩汽機車使用與成長；2.建構「智慧型運輸系統」，提供即時交通資訊，強化交通管理功能；3.建立人本導向，綠色運具(腳踏車與人行步道)為主之都市交通環境；4.鼓勵使用替代燃料運具；5.提升私人運具新車效率水準，於 2015 年提高 25%；6.檢討修正道路照明標準降至合理範圍並符合照明效率。

2009 年 11 月 20 日總統馬英九聽取經濟部「節能減碳專案報告—我國推動節能減碳政策措施與發展遠景」簡報指示：行政院應強化現有跨部會專案小組整合功能，規劃我國「節能減碳總計畫」，訂定國家總目標，並定期提出檢討報告。由此，行政院於 2009 年 12 月成立「節能減碳推動會」，由行政院朱前副院長立倫擔任召集人，並由相關部會首長擔任委員。於「節能減碳推動會」中，針對交通部分，特別成立「綠色運輸推廣組」，並由交通部主政。故交通部依前述之規劃內容，提出「建構綠色無接縫公路運輸系統」、「建構便捷大眾軌道運輸網」、「建構智慧化道路服務」等 3 項標竿計畫，其下共有 8 項推動作法。

我國的「國家建設計畫」分為上下兩篇，上篇為總體經濟計畫，下篇為部門計畫建設重點。過去五年的計畫裡綠色運輸所占篇幅越來越多，顯示已將綠色運輸計畫落實到國家的基礎建設。在 100 年的國家建設計畫上篇增加了「永續低碳環境」的總體目標，於此目標下推廣低碳運輸，主要有五大項目分別為：1.鼓勵使用液化石油氣(LPG)、液化天然氣(LNG)等清潔燃料；2.

⁴不含國際航空。

⁵經濟部能源局，「我國燃料燃燒 排放統計與分析」，99 年 6 月。

淘汰高污染二行程機車；3.推動綠島、小琉球低碳生態觀光島之低碳運輸；
4.規劃低碳鐵公路設施空間，構築綠色能源設施用地及推動區域能源資源整合，並推動綠色運輸網絡；5.推廣「低碳運輸」運具。

茲彙整歷年國家重要計畫或會議中的綠色運輸政策如表 2.2-6 所示。

表 2.2-6 我國歷年綠色運輸政策一覽表(1/4)

國家減量政策/會議/計畫	公布時間	歷年綠色運輸政策摘要
1. 全國能源會議 (1998)	87 年 5 月	優先推動節約能源及提升能源效率，繼續推動汽電共生及再生能源，大力推廣液化天然氣使用，增建核能機組作為最後不可避免的選擇，並訂定未來能源結構與電源結構配比。
2. 全國能源會議 (2005)	94 年 6 月	節約能源及提高能源使用效率，提升能源效率每年達 2% 以上。發展綠色運輸系統、紓緩汽(機)車使用與成長及提升運輸系統能源使用效率。其具體作法如下： (1)完成高速鐵路建設計畫； (2)持續推動都會區捷運系統建設及智慧交控系統建置計畫； (3)推動各縣市辦理 LED 交通號誌設施，納入 96 年新興重要公共建設(電力次類別)計畫。
3. 中華民國 96 年國家建設計畫	95 年 12 月	(1)執行空氣污染排放減量：推動使用潔淨燃料、油電混合車、電動車及自行車等；加速淘汰老舊車輛，鼓勵搭乘大眾運輸系統。 (2)研訂低頻噪音管制標準，加強稽查；研擬陸上運輸系統之噪音改善對策及管制措施，提升交通噪音管制成效；執行機動車輛第 3、4 期噪音管制標準，減低機動車輛及道路交通噪音。
4. 中華民國 97 年國家建設計畫	96 年 12 月	(1)推動軌道建設，健全高鐵車站無縫轉運、構建西部城際，高速軌道骨幹及縮短城鄉運輸時間，並逐步建立全國票證整合系統、推動及戶運輸、健全串聯系統 (2)積極改善桃園機場航廈、跑道等設施，發展桃園成為臺灣對外之全球洲際機場；興建清泉崗國際航廈，穩定中部地區國際航空客源市場。 (3)建設基隆港東岸、高雄港 1-21 號碼頭、花蓮港等舊港區，配合都市更新，形塑都市新水岸；臺北港及高雄港加速興建深水港，提供國際航商建立全球運籌基地；臺中港配合腹地廣大優勢，發展原物料、石化及電力產業。 (4)沿高鐵路線，配合地方資源特色及學研機構，規劃設立 7 處新專業生產研發基地，使臺灣西部成為「創新科技研發走廊」。

表 2.2-6 我國歷年綠色運輸政策一覽表(2/4)

國家減量政策/會議/計畫	公布時間	歷年綠色運輸政策摘要
5. 永續能源政策綱領	97年6月	<p>永續能源政策的推動綱領，將由能源供應面的「淨源」與能源需求面的「節流」做起。在「節流」方面，推動各部門的實質節能減碳措施，運輸部門的節流政策有：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 建構便捷大眾運輸網，紓緩汽機車使用與成長。 (2) 建構「智慧型運輸系統」，提供即時交通資訊，強化交通管理功能。 (3) 建立人本導向，綠色運具為主之都市交通環境。 (4) 提升私人運具新車效率水準，於2015年提高25%。
6. 中華民國 98 年國家建設計畫	97年12月	<p>推動清潔車輛及交通運輸管制策略，推廣使用潔淨燃料及低污染車輛，加強使用中車輛管制及加嚴新車排氣管制標準。推廣低碳運輸的內容為：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 加強推動車輛節能創新技術研發計畫，提高汽、機車能源效率標準10%，並增加加氣站設置補助。 (2) 推動「人本公路客運提升計畫」，改善大眾運輸經營環境，培養民眾使用大眾運輸習慣，達成節能減碳目標。 (3) 鼓勵使用清潔燃料及低污染車輛，推廣使用油氣雙燃料車，並補助購買電動輔助自行車，推動自行車道設置。 (4) 淘汰高污染二行程機車，98年預定淘汰10萬輛，每輛補助1,500元。 (5) 實施環境與交通運輸管理，補助辦理免費公車與捷運轉乘優待計畫，並補助辦理接駁型公共腳踏車租賃系統，以鼓勵使用大眾運輸系統。
7. 全國能源會議 (2009)	98年4月	<p>建立民眾低碳生活方式，實現低碳生活網路與環境</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 建構便捷大眾運輸網，紓緩汽機車使用與成長；建構智慧型運輸系統與推廣低碳燃料使用；建立人本導向，綠色運具為主之都市交通環境；補助偏遠地區建構低碳運輸系統，強化網路結構，降低交通需求。 (2) 在汽機車總量管制前提下，進行城市與道路全面綠化，建構都會綠色廊道，並營造自行車友善環境，建構自行車專用道，於交通法規明訂自行車優先路權，政府提供誘導措施，鼓勵企業補貼以自行車代步之上班族及勞工。

表 2.2-6 我國歷年綠色運輸政策一覽表(3/4)

國家減量政策/會議/計畫	公布時間	歷年綠色運輸政策摘要
8. 中華民國 99 年 國家建設計畫	98 年 12 月	<p>推廣綠色路網低碳運輸：建構綠色路網及地理資訊系統 (GIS)，並設置低碳運輸專區。推廣使用電動車輛；淘汰高污染二行程機車；推動建置接駁型公共腳踏車租賃系統，並鼓勵使用大眾運輸系統。推廣低碳運輸的內容為：</p> <p>(1)鼓勵使用液化石油氣(LPG)、液化天然氣(LNG)等清潔燃料，以及油氣雙燃料車、電動(輔助)自行車、電動機車等低污染車輛，99年電動車達21,250輛，並推動自行車道設置。</p> <p>(2)淘汰高污染二行程機車10萬輛，每輛補助1,500元。</p> <p>(3)推動建置接駁型公共腳踏車租賃系統，以及鼓勵使用大眾運輸系統。</p> <p>(4)建立永續運輸發展建設模式，整合環境、能源及財務等因素。</p> <p>(5)平衡北、中、南、東及離島發展，因地制宜、分階段建置公共運輸與人本交通環境，同時依各地區條件及都市功能需要，整建發展可永續營運之公共運輸系統。</p>
9. 國家節能減碳 總計畫	99 年 5 月	<p>建構綠色運輸網絡，降低運輸部門碳排放，建構便捷與智慧型運輸系統，推廣低碳燃料使用，紓緩汽機車使用與成長。標竿型計畫與其重點推動項目：</p> <p>(1)建構綠色無接縫公路運輸系統：</p> <p>a.公路公共運輸發展計畫。</p> <p>b.東部自行車路網示範計畫。</p> <p>(2)推動建構便捷大眾軌道運輸網：</p> <p>a.高速鐵路後續工程建設計畫。</p> <p>b.臺鐵捷運化及改善計畫。</p> <p>c.都會區暨機場捷運建置計畫(其中「臺中捷運及機場捷運」為新增項目)。</p> <p>(3)建構智慧化道路服務：</p> <p>a.高快速公路整體路網交通管理系統計畫。</p> <p>b.高速公路電子收費系統。</p> <p>c.智慧交控/時制重整計畫。</p> <p>(4)建立人本導向綠色運具為主之都市交通環境：</p> <p>推動地方政府辦理市區道路人行及自行車環境建置與改善。</p> <p>(5)提升私人運具新車效率水準：</p> <p>分期提高汽、機車能源效率標準。</p>

表 2.2-6 我國歷年綠色運輸政策一覽表(4/4)

國家減量政策/會議/計畫	公布時間	歷年綠色運輸政策摘要
10. 中華民國 100 年國家建設計畫	99 年 12 月	<p>(1)鼓勵使用液化石油氣(LPG)、液化天然氣(LNG)等清潔燃料，以及油氣雙燃料車、油電混合車、電動(輔助)自行車、電動機車等低污染車輛，100年目標達21,500輛。</p> <p>(2)淘汰高污染二行程機車10萬輛，每輛補助1,500元。</p> <p>(3)推動綠島、小琉球低碳生態觀光島之低碳運輸，包括研訂補貼汰換獎勵機制，輔導居民使用節能交通工具及設置公共充電設備交通服務系統等。</p> <p>(4)規劃低碳鐵公路設施空間，構築綠色能源設施用地及推動區域能源資源整合，並推動綠色運輸網絡。</p> <p>(5)推廣「低碳運輸」運具</p> <p>a.公共運輸運具：賡續推動軌道運輸相關計畫，發展公路公共運輸，健全整體綠運輸發展。</p> <p>b.替代能源運具：賡續提升、改善替代能源車輛性能，推動補貼汰換獎勵機制；推動設置公共充電設備及交通服務系統，優化替代能源車輛使用環境。</p> <p>c.自行車：鼓勵各地方政府參考「推動東部自行車路網示範計畫」成果，建立轄區內自行車路網，並健全自行車管理機制，優化自行車使用環境。</p>

資料來源：本研究彙整。

2.3 國內外運輸部門節能減碳相關之研究成果

本節延續去年工作，持續蒐集國內外運輸部門相關研究計畫之成果資料，並釐清這些相關成果所應用之模型與本計畫間彼此之關聯性，以作為後續模型建構之參考資料。以下茲分別說明這些模型，作為後續模型建構之參考資料：

2.3.1 國際運輸部門節能減碳相關之研究成果

1. 運輸部門之 CGE 模型

為建置一個能考慮運輸、能源與經濟的 CGE 模型，本研究蒐集當前 CGE 模型運用於運輸部門的相關文獻，並彙整於表 2.3-1。綜觀這些文獻，會在 CGE 模型中特別考量運輸部門，目的大多在觀察區域間經濟發展差異、運輸需求變化、基礎建設與交通管理措施之影響。

一般 CGE 模型因為較為龐大，方程式數量較多，通常會以巢式架構圖來說明模型結構，而所謂巢式架構，通常依研究目的而將關係較密切的商品分類為同一商品群，透過函數設定將群內商品加總為一個代表性商品，以代表該商品群，因此每一商品群的加總函數設定將直接反映群內商品彼此間的關係，若以 CES⁶ 函數設定之，則函數中的參數即為商品間的替代彈性，只要更改替代彈性數值，便可輕易的將商品間之關係設定為高替代、低替代、甚至互補。

⁶ CES：固定替代彈性模型，Constant Elasticity of Substitution。

表 2.3-1 運輸部門 CGE 模型相關文獻

文獻	主題	模型	結論
Kim et al., 2004 ^[2.3.4]	<p>✓ 結合運輸網絡模型 (transport model) 與動態多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)，分析高速公路興建計畫對經濟成長與區域發展的影響，並提出較佳的興建規劃策略。</p>	<p>✓ 結合運輸模型 (transport model) 與多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)</p> <p>✓ 運輸模型計算區域間最短短距離與高速公路興建計畫下之最高承載量</p> <p>✓ 多區域 CGE 模型則評估高速公路興建對整體 GDP、價格、出口、及工資與人口在區域間配置的影響</p>	<p>✓ 結果發現所有的高速公路興建計畫皆可對 GDP 與出口成長產生正面的效果，就工資與人口而言，對於區域間的公平性亦有所助益。</p>
Kim and Hewings, 2005 ^[2.3.5]	<p>✓ 利用多區域 CGE 模型推估比較高速公路計畫之網絡效果，特別是該計畫在興建與營運時期對區域與產業產生之附加價值。</p>	<p>✓ 結合運輸網絡模型 (transport network model) 與多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)</p> <p>✓ 運輸網絡模型預測 132 個地區間旅運需求並計算區域間高速公路所能承載的最大量</p> <p>✓ 多區域 CGE 模型則估計高速公路發展對 5 區域之經濟衝擊</p>	<p>✓ 高速公路計畫在 30 期期間，總計增加 GDP 約 0.3%，GDP 中約有 0.016% 來自網絡效果。</p> <p>✓ 所謂「網絡效果」，指各高速公路系統之間連結道路存在與否情況下之 GDP 差異。</p> <p>✓ 就產業影響而言，KM 區的製造業之網絡效果受益最大。</p> <p>✓ 就區域而言，低度開發地區之網絡效果受益高於高度開發地區，故高速公路計畫有助於縮短城鄉差距。</p>
Bröcker, 2002 ^[2.3.6]	<p>✓ 修正多數空間 CGE 模型只考慮運輸成本的缺點，加入評估客運因時間與節省成本所帶來的福利效果。</p>	<p>✓ 細分商務與私人旅運</p> <p>✓ 利用均等變量 (equivalent variation) 衡量福利變化</p> <p>✓ 進一步運用 Dixit-Stiglitz 方法考慮獨占性競爭情況</p>	

表 2.3-1 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續 1)

文獻	主題	模型	結論
Mayeres and Proost, 2004 ^[2.3.7]	利用 CGE 模型比較兩種運輸服務訂價模式(平均成本訂價與社會邊際成本訂價)的效果，並分析在訂價策略改變下，以運輸部門做為衡量福利的指標是否恰當。	靜態單國 CGE 模型 考慮因壅塞、空氣污染與交通事故對消費者福利造成的外部性 運輸部門依服務對象(客運與貨運)、運輸型態(私人旅遊與商務運輸)、運輸工具(小型汽車、大型客車、卡車、鐵路、電車、水運等)，以及離尖峰運輸(陸運部分)詳細區分	結果發現，平均成本訂價與社會邊際成本訂價皆會降低福利，但前者之衝擊尤甚。
Conrad, 1997 ^[2.3.8]	擴增基礎建設雖可改善運輸系統操作效率，避免交通壅塞造成的外部成本，但卻形成另一種外部成本，即空氣污染。本文欲在某排放標準限制下，尋求可使生產與外部成本最小的運輸政策。	理論 CGE 模型 道路基礎建設的效益為運輸系統效率並降低交通壅塞程度(congestion index) 基礎建設的成本包括資金成本、車次成長所衍生的各項變動成本、及空氣污染外部成本，由於資金來源為稅收，故因課稅所造成的市場扭曲也會形成另一種成本	
Schäfer and Jacoby, 2005 ^[2.3.1]	結合 CGE 模型與 MARKAL 模型分析溫室氣體排放限制下汽車市場發展與新興汽車技術的市場滲透力。	遞歸動態多國 CGE 模型(EPPA)，模型中單一運輸部門、五類能源商品、兩類新興能源、家計部門區分自有運輸工具與非自有運輸工具 MARKAL 為動態線性最適化模型，詳細刻畫運輸技術特性，包括汽車、卡車、大客車、鐵道、空運、水運等 由 CGE 提供運輸服務需求預測予 MARKAL，再由 MARKAL 根據技術發展進程，規劃成本最小下最適之汽車技術發展，再將技術發展規劃投入 CGE 做為技術變化限制	結果，在京都議定書限制下，短期消費者對運輸及運具用能源之需求將持續增加，但擠壓對其他商品之消費。 但長期而言，CO ₂ 排放量會下降 21%，其中由非自有汽車運輸貢獻 16%。在 21% 的減排中，約 1/3 來自需求的縮減，2/3 來自採用燃料效率較高的運輸技術。

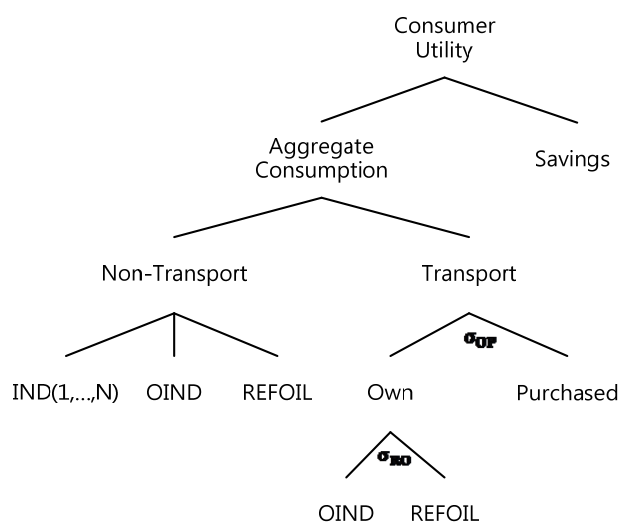
表 2.3-1 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續 2)

文獻	主題	模型	結論
Steininger et al. ^[2.3.9]	利用 CGE 模分析澳洲公路收費制度對自有車輛使用之影響。	單國靜態 CGE 模型 依所得高低將家計部門區分為四類	結果，收費制度並不像一般所認為的使低所得者承受不成比例的負擔，相反的對高所得與用車密度較高的族群有較大的衝擊。
Madsen and Butler. ^[2.3.10]	說明建構一個足以分析地區性經濟活動的空間 CGE 經濟模型 (LINE) 所應有的理論架構。	靜態模型 發展完整而龐大的模型，擁有完整的資料庫部門分類與區域分隔可彈性加總	
Berg, ^[2.3.2]	本文主要目的在改善 CGE 模型中對於家計部門之運輸服務需求之設定，並評估在碳排放目標限制下，碳稅稅收運用於抵減勞工社會福利費用及抵減家計直接稅對福利的影響。	單國靜態模型，能源部門細分(五類)，家計部門依所得高低、人口密度細分(九類)，家計部門旅運目的將決定勞動供給，而家計部門選擇的運輸型態除了考慮價格、稅賦或補貼等價格因素外，還包括運輸花費的時間。因此效用函數除納入商品消費所帶來的效用，還要考慮休閒旅運的效用與工作旅運的效用。	結果發現，碳稅稅收運用於抵減勞動雇用之社會福利費用，其所產生的福利成本將低於抵減家計直接稅。但較低的福利成本並不能保證達到社會公平，因為無論抵減何者，都會使低所得者承受較高的負擔。
Peterson and Lee, ^[2.3.11]	利用多國 CGE 模型 (GTAP-E)，擴增各國境內運銷差距(運輸、批發、零售)，以探討在碳稅下 CO ₂ 排放與運銷差距的變化。	多國靜態模型 能源細分 境內運銷差距細分	結果發現，在不考慮境內運銷差距的情況 下，課徵某固定碳稅所產生的減量效果會有高估的情況。
Abrell, ^[2.3.3]	利用多國 CGE 模型分析歐盟 15 國在排放交易中納入運輸部門的福利影響。	靜態多區域 CGE 模型 五類能源、四類非能源、三類運輸服務	評估結果發現，若路運納入排放交易體系，可創造較高的福利，納入航空則福利效果較小，對國際貿易船運直接進行排放管制才是比較重要的減量工具。

資料來源：本研究整理。

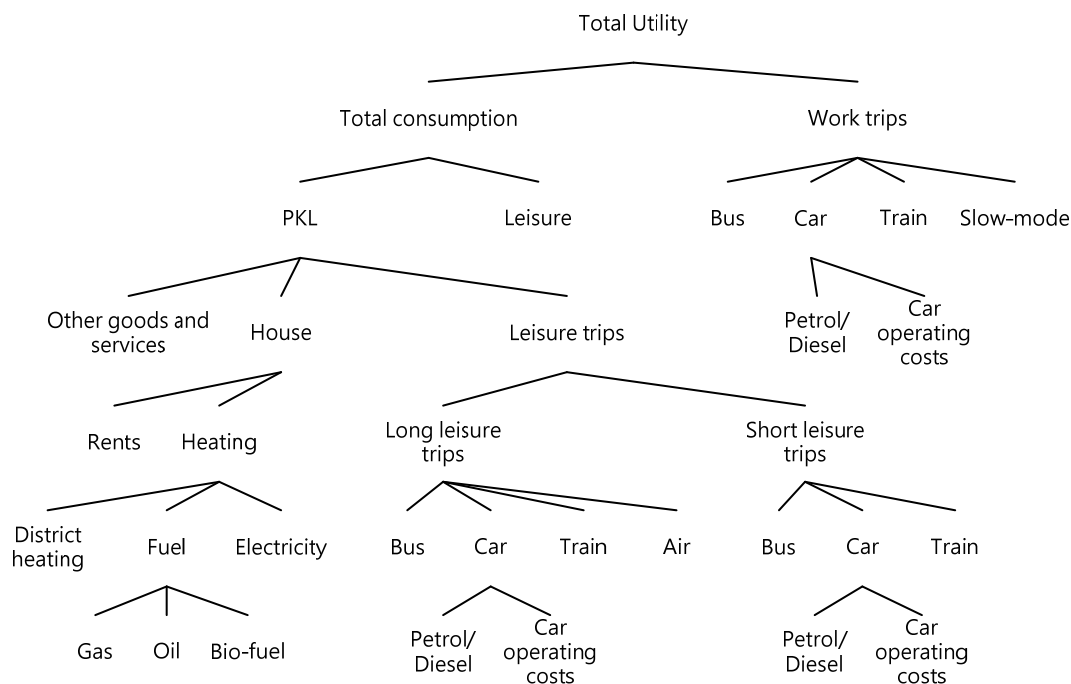
以圖 2.3-1 之 EPPA 模型^[2.3.1]的家計巢式架構為例，家計部門對各種商品之消費分為四層，越下層的商品群，群內商品的關係越密切。為了解析運輸服務需求，而在家計部門總消費中，區分為運輸 (transport) 與非運輸需求 (non-transport)，而運輸需求則進一步由自有運具運輸服務 (Own) 與購入運輸服務 (Purchased) 所組成，所謂自有運具運輸服務需求即為家計部門利用自身擁有的運具進行運輸活動，而購入運輸服務則指購買由運輸業者提供之運輸服務，包括空運、軌道、公路運輸等。自有運具運輸服務的部分還會依運具使用所需的投入再區分為運輸工具 (OIND) 與燃料 (REFOIL)。

Berg^[2.3.2]探討重點在家計部門的運輸需求，因而在該模型中對家計部門旅運需求特性描述得非常細緻，其巢式架構如圖 2.3-2 所示，為六層巢式結構。首先第一層說明整個家計部門消費可區分為因工作需要而產生的旅運需求與其他消費；第二層則說明因工作而產生的旅運需求隨運輸工具的差異區分為客運公車、自有汽車、軌道、及其他慢速運輸方式；在其他消費部分，區分為休閒與商品及服務消費兩類，由於該模型強調家計部門消費行為，因此對於休閒與勞務供給的處理區分較為細緻；第三層則將商品及服務消費區分為一般商品與服務消費、住宅支出、與休閒旅運支出；住宅支出項目可分為租金 (或自有住宅設算租金) 與能源支出；休閒旅運支出依旅運距離區分為長途與短程旅運，其次依運具選擇將長途旅程區分為搭乘客運公車、自有汽車、軌道、與航空運輸，短程旅行則分為客運公車、自有汽車與軌道等。



資料來源：Schäfer and Jacoby, 2005^[3.3.1]。

圖 2.3-1 EPPA 家計部門巢式架構圖



資料來源：Berg, 2007^[3.3.2]。

圖 2.3-2 Berg^[3.3.2]家計部門消費巢式架構

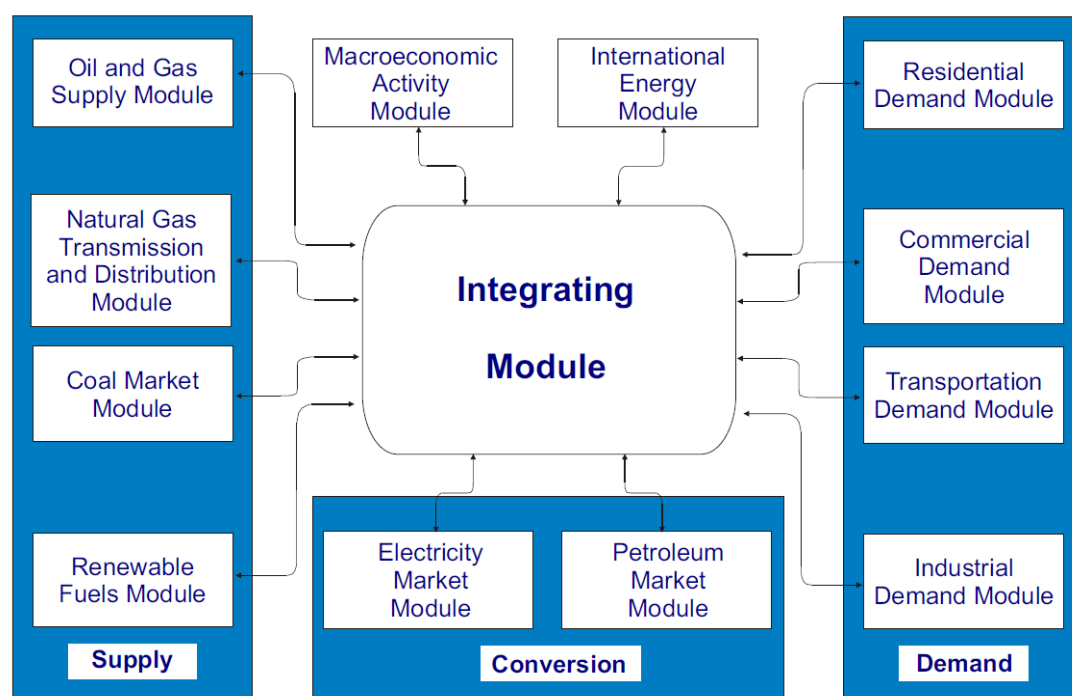
Abrell^[2.3.3]則因為研究重點在排放交易的福利分析，因此其運輸 CGE 模型是一個部門數、運具別、能源別皆十分少，區域別則較多的少部門多國模型。雖然部門數相對較不細緻，但就 CGE 模型架構而言該文則十分完整，相關細節請詳閱附錄 17。

2. NEMS 之運輸部門模型

美國國家能源模型系統(National Energy Modeling System, NEMS)由美國能源部(U.S. Department of Energy, DOE)能源資訊管理局(Energy Information Administration, EIA)所建構，主要目的為構建美國至 2030 年能源經濟體系而設立之模型系統。該系統在總體經濟、財政因素、全球能源市場、資源可及性與成本因素、技術選擇與決策、能源技術成本與效能、與人口等因素的綜合性考量下，規劃能源之生產、進口、轉換、消費與價格。

NEMS 模型的應用範疇包含：分析既有或規劃中的能源相關政策、法令或規範；評估新的能源生產、轉換與消費技術的潛在衝擊；溫室氣體管制的影響與成本；再生能源運用的影響；能源使用效率提升潛力；替代燃料使用規範之衝擊等。整個 NEMS 系統共包含 4 個能源供給模型(油與氣、

天然氣配送、煤炭、再生能源)、2 項轉換模型(電力與原油)、4 類終端需求模型(住宅需求、商業需求、製造業需求與運輸需求)、1 個能源/經濟連結模型(總體經濟活動)、1 個國際能源市場模型(國際能源)、1 個整合其他模組之一般均衡模組，各模組間之關係可彙整如圖 2.3-3 所示。



資料來源：EIA (2005)^[2.3.1]

圖 2.3-3 NEMS 各模型間之連結關係

其中 4 個終端能源需求模型，用以呈現住宅、商業、運輸與產業部門之能源需求估算，在計算需求時，必須考慮能源價格、總體經濟、與技術特性等給定條件。初級能源供給與轉換模組在給定資源特性、硬體建設、技術條件與全球市場條件下，計算可滿足國內與出口需求之國內生產、進口、運輸成本與能源價格。終端需求模組與初級能源供給轉換模組必須相互回饋，以求取各種能源之供需平衡。

而在 4 個終端能源需求模型中的運輸部門模型由一系列不同的模組所組成，以分別處理運輸部門中不同的運具。此模型主要目的在提供運輸部門中、長期的能源需求預測，包含：汽油、柴油、航空燃油、替燃料等能源。模型中運輸部門能源總需求之預測主要係透過不同運具的能源消耗量加以加總，包含：私人與車隊的輕型車輛(Light Duty Vehicle, LDV)、航空、海運、鐵路、貨運、大眾運輸及娛樂遊艇。在分析政策面的衝擊或法規的

制定對個別運輸工具的影響與技術發展時，NEMS 運輸部門模型其以運具別之分類方式特別擅長處理這一類型的問題。

此外，此模型也可提供一些在估算運輸需求時，所用到的中間數值 (Intermediate value)，包含：汽車、航空、大眾運輸的旅運需求、運具效率、車輛存量數、新技術的滲透率、貨運需求等。在估算出不同運具的能源消耗量後，此模型可結合污染物的排放係數，進一步算出各類型的空氣污染排放物，包含：硫氧化物、氮氧化物、碳氫化合物、二氧化碳、一氧化碳、揮發性的有機化合物。

綜言之，經由運輸部門模型的這七個模組，可估算出美國不同區域的運輸能源消耗量、旅運需求、燃料效率及不同運具的污染排放量等資訊，再結合 NEMS 不同部門模型所推估的其他部門之能源消耗與污染排放量，即可經由國家能源模型系統估算出全國的能源消耗與總排放量。

3. EPPA/MARKAL

該整合模型由 Andreas Schafer 與 Henry D. Jacoby MIT 團隊所提出。EPPA/MARKAL 結合了三個主要子模型，包括 EPPA 可計算一般均衡模型、MARKAL 能源工程模型及 Modal Split 運具分配模型，以分別處理經濟、科技技術、交通運具分配等三個面向，藉以分析跨部門、跨區域的溫室氣體排放問題，以下茲分別介紹此三個子模型。

(1) EPPA 可計算一般均衡模型簡介

EPPA (MIT Emission Prediction and Policy Analysis)模型為 MIT 研究團隊所研發之遞歸、動態、多區域可計算一般均衡模型(CGE)。由於 CGE 模型係建立在個體經濟學之一般均衡理論(General Equilibrium Theory)基礎上，可反映經濟體中各部門間的互動效果(產業關聯)，能夠為 3E 的交互作用提供一組一致的總體經濟分析架構。就運輸部門而言，特別是產業部門與運輸部門間的互動效果，通常用於分析外在經濟環境改變下，運輸部門受到影響而產生變化，並藉由產業規模變化估算其節能減碳效果。EPPA 則用來模擬跨部門，跨區域之經濟成長、技術變遷與排放。

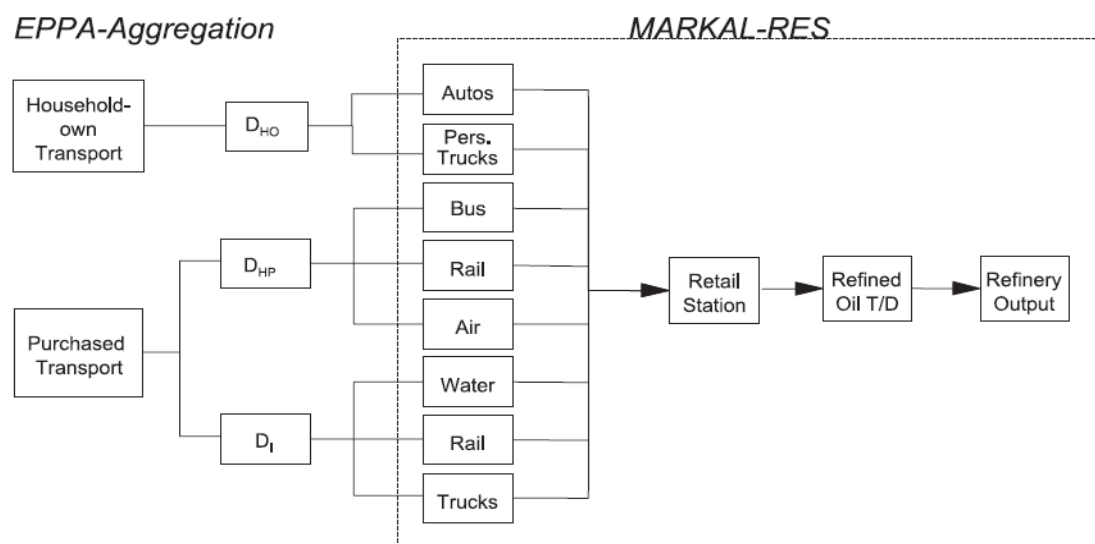
(2) MARKAL 能源工程模型

在 MARKAL 能源工程模型中，主要特點在考慮非常細緻及多元的能源技術。在運輸部門技術資料庫下，可呈現各類運輸技術之單位燃料消

耗、技術可用年限、期初投資成本、固定運維成本與變動運維成本等資料。此外，對於高效率的車輛技術會有其市場滲透率的限制，此市場滲透率由車輛的存量模式(Vehicle Stock Model)來推估，推估出的結果將作為 MARKAL 模型的限制式，因此高效率技術並不會無限制取代現有技術，以確保模型結果的合理性。

(3) Modal Split 運具分配模型

此模型基本上是為了將上述兩個模型串連的關聯模型，主要提供運具分配結果。由圖 2.3-4 可看出 EPPA 模型與 MARKAL 模型間的對應關係，主要需將 EPPA 模型自有的部分(DHO)拆解為 MARKAL 模型的小客車與個人貨車；EPPA 模型購入的部分則可分為兩塊，其一為家戶部門的購入，對應至 MARKAL 模型為公車、鐵路與航空，其二為產業部門的購入，對應至 MARKAL 模型為海運、鐵路與公路貨運。



資料來源：Schäfer and Jacoby (2005) [2.3.2]。

圖 2.3-4 EPPA/MARKAL 運輸部門之對應關係

在 Modal Split 客運分配方式，首先家戶運輸需求可分為高速運具(空運與高鐵)、低速運具(私人車輛、大客車、一般鐵路)。其中，私人(或自有)車輛又可細分為小客車與輕型貨車。除行為假設外，各類運具也會受限於結構性的特徵。如：低速的公共運輸(大客車)會受限於都市化的程度與公共基礎設施的建立，同樣鐵路也會收到鐵路系統興建的限制。加入這些限制，同時估算私人運具與高速運具的平均速度，再結合時間限制，就可估算出私人運具與高速運具的份額。

綜上所述，茲將三個子模型在整合架構中扮演的角色、特性與功能彙整於表 2.3-2。

表 2.3-2 EPPA/MARKAL 子模型特色與功能

	特色與功能
EPPA model (MIT Emission Prediction and Policy Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遞歸、動態、多區域之可計算一般均衡模型； 2. 使用 GTAP 資料庫； 3. 基期為 1995 年，求解期間為 5 年一期； 4. 12 區域、9 部門(4 個非能源部門、5 個能源部門)、2 個未來能源技術 5. 在部門分類中運輸服務部門特別獨立出來 6. 家計對運輸之需求區分為 own 及 purchased
MARKAL model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為 Bottom-up、動態線性最適化模型； 2. 具備詳盡能源系統資料庫，可呈現各類的使用端能源； 3. 包含能源生命週期中各項技術，如開採、再製、轉換、配送、儲存、及至終端使用之能源服務需求； 4. 運輸部門技術包含汽車、貨車(私人)、貨車(貨運)、大客車、軌道(客運)、軌道(貨運)、海運、空運； 5. 技術資料庫呈現各運輸模式下各種可選技術之單位運量之能耗、技術可用年限、期初投資成本、固定運維成本與變動運維成本。
Modal splits model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助對映與計算 EPPA 與 MARKAL 運輸相關參數； 2. 將 EPPA 運輸服務需求拆解為 MARKAL 個別技術之需求； 3. 提供運輸模式結構變化。

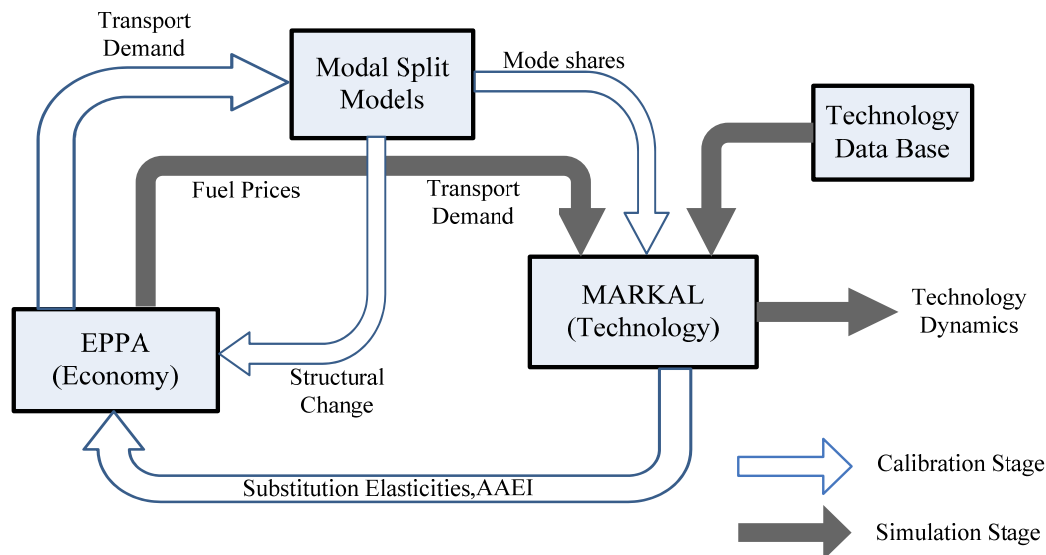
資料來源：Schäfer and Jacoby (2005)^[2.3.2]。

(4) EPPA/MARKAL 之整合架構

EPPA/MARKAL 模型整合架構可表示如圖 2.3-5。整合模型運作過程可區分為基線校準與政策模擬兩階段，在基線校準階段，主要工作在確保子模型假設情境、使用資料、與參數設定上的一致性，因此會先由 EPPA 模型在給定參數下，如：運具間替代彈性、運具成本、能源效率、技術進步率等，先求解出整體經濟成長、產業成長、能源需求、能源價格及排放量等。

而 MARKAL 能源工程模型可將運輸部門中各類不同運具與能源使用技術詳細分類，當 MARKAL 為了滿足 EPPA 給定的經濟成長、運輸需求、能源價格等數據，必須尋求一組在成本極小下，最佳的可行運輸技術組合。而 Modal Split 在此主要功能為將 EPPA 中分類較粗、高度加總的運輸

部門需求，運用其對於運輸模式占比之推估結果，將 EPPA 之運輸需求拆解為運具或運輸模式別之運輸需求，再連結至 MARKAL 中細部區分的運輸技術。



註：白色箭頭表示校準階段的資料流，灰色箭頭表示模擬階段的資料流。

資料來源：Schäfer and Jacoby(2005)^[2.3.2]; Schäfer and Jacoby(2006)^[2.3.3]。

圖 2.3-5 EPPA/MARKAL 模型體系

待上述校準工作在 EPPA 與 MARKAL 間取得一致性結果後，便可進入第二階段，即政策評估。政策評估階段操作流程須視政策內涵而定，例如評估國際能源價格不斷攀升，則先由 EPPA 模擬國際能源價格對國內能源價格、能源需求量、運輸需求量、GDP、所得之影響，再由 MARKAL 針對變動後之 GDP、能源、與運輸需求進行政策模擬，以求算出各類運具的占比與溫室氣體排放。

綜上所述，MIT 之 EPPA/MARKAL 整合兩模型間主要溝通方式係由 EPPA 預估出未來經濟成長與運輸需求趨勢，此趨勢可透過 Modal Split 進一步劃分為不同運具需求，再傳遞給 MARKAL 能源工程模型估算各類運具的能源服務需求量，再由 MARKAL 規劃未來運輸部門的運具占比、能源消耗量與溫室氣體排放。

4. 因式分解模型

探討因素變動對經濟變數(如:產出、就業、能源消耗、污染物排放等)之影響的分析方法一般常使用因式分解法(decomposition analysis)。因式分解法係透過數學式的拆解方式，將影響經濟變數的驅動力拆解為幾項因素，故此方法具有易於操作、資料需求少、適於跨國比較等特色，且其涵義明確，故廣為應用於分析能源消耗量與二氧化碳排放量的變動。

因式拆解的主要目的，係為估算各組成因素對於主變數(例如污染物的排放量或密集度、能源需求或密集度等)的貢獻程度。因此，在決定拆解方式時，必先決定組成因素的項目，Kaya 方程式如式(2.1)乃表現拆解方式的基礎^[2.3.4]：

$$CO2_t = A_t \cdot B_t \cdot C_t \quad (2.1)$$

其中 $CO2_t$ 代表第 t 期之 CO_2 總排放量； A_t 、 B_t 、 C_t 則代表各組成因素；常見的組成因素包括技術因素(如碳密集度、能源密集度等)、經濟規模、部門結構、及人口等。而衡量排放量變動的方式則可分為相對性(式(2.2))與絕對性(式(2.3))兩類，亦即：

$$R_t = CO2_t / CO2_0 \quad (2.2)$$

$$\Delta CO2_t = CO2_t - CO2_0 \quad (2.3)$$

由於式(2.2)與式(2.3)可分別改寫如式(2.4)與式(2.5)，故文獻上習稱之為乘法型及加法型的拆解方式。

$$R_t = \frac{A_t}{A_0} \cdot \frac{B_t}{B_0} \cdot \frac{C_t}{C_0} \quad (2.4)$$

$$\Delta CO2_t = CO2_t \cdot \left\{ \frac{\Delta A_t}{A_t} + \frac{\Delta B_t}{B_t} + \frac{\Delta C_t}{C_t} \right\} \quad (2.5)$$

舉例而言，Ang and Zhang (2000)^[2.3.5]將所有產業在第 t 期的整體能源密集度(以 $I_t \equiv E_t / Y_t$ 表示之，其中 E_t 為所有產業的能源總消耗量， Y_t 為所有產業的總產值)的影響因素拆解為各產業之能源密集度($I_{it} = E_{it} / Y_{it}$)與產業結構($S_{it} = Y_{it} / Y_t$)兩項因素的乘積總和(如式(2.6)所示)：

$$I_t \equiv \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \frac{Y_{it}}{Y_t} \cdot \frac{E_{it}}{Y_{it}} = \sum_i S_{it} I_{it} \quad (2.6)$$

因此，乘法型及加法型的拆解方式分別如式(2.7)與式(2.8)所示：

$$R_{tot} = I_T / I_0 = R_{str} \cdot R_{int} \quad (2.7)$$

$$\Delta I_{tot} = I_T - I_0 = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } R_{str} &= \sum_i (Y_{iT} / Y_T) / \sum_i (Y_{i0} / Y_0) ; R_{int} = \sum_i (E_{iT} / Y_{iT}) / \sum_i (E_{i0} / E_0) ; \\ \Delta I_{str} &= \sum_i (Y_{iT} / Y_T) - \sum_i (Y_{i0} / Y_0) ; \Delta I_{int} = \sum_i (E_{iT} / Y_{iT}) - \sum_i (E_{i0} / E_0) 。 \end{aligned}$$

前述關於各組成因素之變動量的計算，均以當期與基準年的差額為基礎(亦即 $\Delta A_t = A_t - A_0$ ，見式(2.5)與式(2.6))。不過，也有一些拆解係以當期與前一期的變動量(亦即 $\Delta CO2_t = CO2_t - CO2_{t-1}$)為基準。因此，文獻上的拆解方式復可因衡量變動量之基準年的不同而分為「拉氏指數法」(Laspeyres index method)及「迪氏指數法」，前者以固定的基準年為基礎，後者則以前一期為基礎。

隨著亞洲地區運輸部門 CO_2 排放量的快速成長(由 1980 年之 2,136 百萬公噸至 2005 年之 7,692 百萬公噸)，尋找並確認促使 CO_2 成長的潛在因素，為研擬運輸部門減量政策的重要工作。基此，Timilsina and Shrestha (2009)^[2.3.7]應用因式分解模型(Decomposition analysis)之對數平均數迪氏指標(LMDI)，彙整亞洲 12 個國家 1980-2005 年之 CO_2 排放量，並考慮 6 項關鍵因素：(1)能源結構；(2)運輸模式；(3)排放係數；(4)能源密集度；(5)人均 GDP；(6)人口成長。

每一國家之 CO_2 排放量的拆解恆等式如下：

$$CO2_t = \sum_{ij} \frac{CO2_{ijt}}{FC_{ijt}} \times \frac{FC_{ijt}}{FC_{jt}} \times \frac{FC_{jt}}{FC_t} \times \frac{FC_t}{GDP_t} \times \frac{GDP_t}{POP_t} \times POP_t$$

$$\Rightarrow CO2_t = \sum_{ij} EC_{ijt} \times FM_{ijt} \times MM_{jt} \times EI_t \times PC_t \times POP_t$$

其中：

EC 為單位能源消耗之二氧化碳排放係數；

FM 為個別運輸模式之各類能源消耗結構；

MM 為各運輸模式能源消耗佔運輸部門總能源消耗之比重；

EI 為運輸部門能源密集度；

PC 為人均 GDP；

POP 為人口數。

建構完因式分解模型後，此研究主要使用此模式針對影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放的關鍵因素進行分析，研究結果可彙整如表 2.3-3 所示，由表中顯示經濟成長(PC)、人口成長(POP)為最主要因素，而能源密集度(EI)只在部分國家具重要影響，對中國與印度卻反之，這與兩國軌道運輸的發展有關。能源結構雖然直接造成排放增加，但其效果相對其他因素較小。

表 2.3-3 影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放的關鍵因素

Country	Average CO ₂ emission change ('000 tCO ₂)	Factors influencing the CO ₂ emissions change						Influencing factors ^a
		Fuel mix (FM)	Modal mix (MM)	Emission coefficient (EC)	Transport energy (EI) intensity	Per capita GDP (PC)	Population (POP)	
China	10,199	173	-664	-27	-4553	13,591	1679	FM, PC, POP
Bangladesh	140	0	0	0	31	61	48	EI, PC, POP
India	2022	80	-291	30	-2896	3508	1592	FM, EC, PC, POP
Indonesia	2271	-14	1	0	392	1256	637	MM, EI, PC, POP
Korea	2882	32	-88	-10	-254	2758	445	FM, PC, POP
Malaysia	1322	2	0	0	215	647	458	FM, EI, PC, POP
Mongolia ^b	-4	14	-7	0	-45	17	16	MM, EI
Pakistan	719	4	0	0	-75	360	430	FM, PC, POP
Philippines	761	37	6	0	236	192	290	FM, MM, EI, PC, POP
Sri Lanka	137	-1	0	0	-19	120	37	PC, POP
Thailand	1874	27	-18	0	251	1272	343	FM, EI, PC, POP
Vietnam	746	5	-4	0	236	398	112	FM, EI, PC, POP

資料來源：Timilsina and Shrestha (2009)^[2.3.7]

綜言之，Timilsina and Shrestha (2009)^[2.3.7]主要透過因式分解模型，探討影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放變化背後的主要原因，研究主要分析結果顯示，經濟活動、人口成長、能源密集度是影響亞洲國家最主要的因素。而亞洲的發展中國家，因為並不在減排承諾國家之列，並無減緩經濟發展以降低 CO₂ 排放的誘因。因此這些國家要降低運輸部門排放量的主要策略，在於促使經濟成長與排放量脫鉤，例如透過補貼方式提高潔淨能源佔比或移轉至公共運輸，或直接採用效率標準、承載率、擁擠收費等管制

工具。此外，由於資料上的限制，使該研究無法觀察到運輸模式改變所造成的減量效果，但該研究認為陸運為亞洲國家非常受歡迎的運輸模式，若能蒐集更細緻的資料，應可大幅提高其減量貢獻。

2.3.2 國內運輸部門節能減碳相關之研究成果

1. 車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式

有關私人運具相關之管理策略之相關研究，大多係以參酌國內外學術理論或實施經驗，再配合國內特性與需要，加以研訂而成，較缺乏客觀量化之效果可供佐證。其中，最困難的地方即在於難以預測家戶或個人對各種管理策略之實際反映行為及不同程度的汽機車持有與使用行為，所可能產生之能源消耗與污染排放數量。使得交通與環保主管機關在研議、評估及選擇管理策略時之困擾。因此，有必要建構因應實施之各項機動車輛管理策略之汽機車持有與使用模式，並進一步鏈結其與能源消耗與污染排放間之關係。

基此，邱裕鈞教授團隊在本所三年期之研究經費支持下建構能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式^{[2.3.9], [2.3.10], [2.3.11]}，俾進一步評估及預測各種汽機車管理策略對與污染減量之效果。所建構的整合模式共有 6 個次模式，包括利用羅吉斯迴歸模式分別建立我國汽機車持有與使用之總體模式，以預測未來各年度我國汽機車持有與使用之總體數量；並建立我國 23 縣市之汽機車持有與使用總體模式，據以推估 23 縣市汽機車持有與使用總量，及其可能產生之能源消耗與污染排放量。此外，亦建立汽車及機車家戶持有與使用的行為模式，係透過個體模式，以建構家戶汽機車交易、持有、車型選擇及使用等 4 項選擇模式；此外，利用問卷調查資料及汽機車定檢資料庫加以建構能源消耗與污染排放關聯模式；而為能推估不同汽機車管理策略下之減污效果，該研究利用 MOBILE 軟體進行污染排放總量推估。該研究於上述 5 個模式建置完成後，建構一決策支援系統，結合各資料庫及模式庫所能提供之資訊，進行不同管理策略之效果推估，利用數學規劃模式求解最佳化之政策參數(如停車費率、燃料費、牌照稅等)，以供決策參考。

分析結果顯示在實施私人運具使用抑制策略時，可配合強化大眾運輸

服務，以收其綜效。而在替代能源車輛政策分析方面，則包含提高替代能源車型的燃油可及性、購車補助及續航力等，以期汽油車市占率能轉移至替代性能源車輛。

2. 工研院 MARKAL 及 TIMES 能源工程模型

(1) 能源工程模型的特性與主要功能

在國內長期以來，能源局與環保署已運用 MARKAL 能源工程模型，針對長期能源結構配比規劃、政策影響評估及溫室氣體排放分析等議題，進行溫室氣體減量與政策規劃工作。MARKAL 為 MARKet Allocation 的縮寫，係由國際能源總署(IEA)於 1976 年成立一個由多國共同合作的能源技術系統分析計畫(Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)所發展，經過超過 30 年之發展，目前 MARKAL 模型已被全球 70 個國家、約 230 個研究機構所廣泛使用。

MARKAL 將複雜的能源系統(全國/地區及部門)以線性規劃模式展現。MARKAL 根據能源平衡原則，將諸多變數、參數與使用者自定的限制條件，組成聯立線性方程式／不等式，構建而成線性模組。MARKAL 利用線性規劃特性，組合出能滿足各項能源服務需求的能源系統技術組合，並使其各期成本淨現值(Discounted net present value)的總和為最低(成本最小化)。

(2) MARKAL 能源工程模型在我國運輸部門之應用

在經濟部能源局的經費支持下，工研院綠能與環境研究所於 1994 年完成 MARKAL 能源工程模型建置，迄今累積豐富技術資料庫，並提供國內相關政府機構(如：能源局、環保署)重要的決策資訊，亦在歷次國家重要能源會議扮演重要角色。

在運輸部門的應用及影響評估方面，能源局在 2009 年的「能源模型研究與溫室氣體減量策略評估」委辦計畫案特別針對「運輸部門」，進行 MARKAL 模型運輸部門資料庫全面更新擴充，研究結果顯示，在先進車輛技術佈局規劃方面：小客車的技術佈局在 2010~2015 年間以提升效率為主；2020~2030 年新型高效率車輛動力技術(油電混合及燃料電池)開始進入市場，並取代原有汽油車市場。貨車的技術佈局在 2010 至 2030 年間以生

質柴油替代為主，效率提升的新車市場滲透逐期增加，油電混合貨車自 2015 年開始佈局且市場滲透逐期增加。

(3) TIMES 能源工程模型在我國運輸部門之應用

而為改善 MARKAL 模型以 5 年為一期的模擬期間不能符合短期能源策略分析的需求及 MARKAL 模型之既有功能尚有許多考量不周全之處，國際能源總署的 ETSAP⁷計畫於 ANNEX VI(1996-1998)期間開始發展 TIMES 模型，於 ANNEX VII(1999-2001)期間進行模型驗證與應用。

TIMES 為 The Integrated MARKAL-EFOM System 的縮寫，此說明其為 MARKAL 與 EFOM(Energy Flow Optimization Model)兩模型之結合體，而 EFOM 亦為能源工程模型，主要用於歐洲各國，其特點在於可模擬彈性的投入與產出機制，因此 TIMES 模型比 MARKAL 模型在投入與產出關係之設定上更具彈性。

能源局於 2008 年開始透過委託工研院綠能與環境研究所，分階段建置本土化之 TIMES 模型。由於 TIMES 模型在 2010 年才開始建置 TIMES 模型運輸部門技術資料庫(能源局「能源模型研究與供需規劃評估」委辦計畫案^[2,3,13])，因此尚未進行相關減量情境之模擬。該研究計畫根據 2009 年已更新的 MARKAL 模型運輸部門資料庫為基礎，進行 TIMES 模型運輸部門資料庫格式轉換，主要分類基準包括「運具別」、「用途別」、「運行距離」、「使用時段」、「燃料別」等，以架構出完整的運輸系統資料庫，充分發揮 TIMES 模型在刻劃未來運輸部門節能減碳策略研擬的細緻度，提高模型模擬之品質。

3. 系統動態模型

(1) 系統動態模型的緣起與特性

系統動態模型(System Dynamics Model)起源於 1950 年代，由麻省理工學院(MIT)的電機工程系教授 Jay W. Forrester 所發展。由於系統動態學理論乃指系統具有因果、相互循環與回饋之關係，當決策(decision)影響系統時，則會產生行為變化，而這些行為變化則反回影響系統產生新的狀態，這新的狀態訊息則產生新的決策。並且也可了解系統隨著時間所可能

⁷ ETSAP：Energy Technology Systems Analysis Program.

產生成長(growth)、衰退(decay)、震盪(oscillation)之趨勢。

系統動力學本身並非需要運用精深數學建立的方程式組成，而是在建立各系統元素之間相互消長回饋之互動方式，而各系統元素之間的消長則以時間模擬方式來探討各元素之間之互動影響，並預測各時間點上系統元素之狀況。這樣的探討方式使得系統動態學成為一相當具有彈性的方法，可以模擬許多不同的系統，因此被各領域廣泛應用(包含應用於運輸領域)。

(2) 系統動態模型在我國運輸部門之應用

張四立教授係使用系統動態模型並結合計量經濟模型，建構運輸部門之燃料需求推估子模式，並以此模型探討國內油品價格的變動、運輸部門的節能減碳行動及潔淨運輸燃料的推廣應用，對於運輸部門燃料需求量之影響，並進而評估其所衍生之二氧化碳減量效益。

張四立教授所建構的系統動態模式將公路運輸系統能源消耗及二氧化碳系統動態模型分為「小客車及機車能源消耗及二氧化碳排放系統動態模型」、「大客車能源消耗及二氧化碳排放系統動態模型」及「公路貨運能源消耗及二氧化碳排放系統動態模型」等 3 個子模型

在模擬情境方面，此研究考量運輸部門未來在運載具的能源效率、替代能源技術及燃料價格等面向，設定 7 種政策模擬情境，分析不同的節能減碳方案對燃料需求及二氧化碳排放量之影響，個別情境之說明可彙整如表 2.3-4 所示。

表 2.3-4 系統動態模型政策模擬情境說明

情境別	特 色	說 明
基本 情境	個燃料運具比例分配	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 油電混合小客車約占整體小客車數量 0.02%，假設未來至 2020 年油電混合小客車占比皆不變。 ◇ LPG 車小客車占比方面，2005 年至 2008 年依實際 LPG 車數量及占比設定，及假設未來年 LPG 車站比皆維持在 2008 年水準。 ◇ 酒精汽油車級生質柴油方面，各車種皆假設無推廣使用。
	行駛里程數及燃料效率假設	◇ 假設未來年(2009 年至 2020 年)各類運具行駛里程數皆不變，及燃料效率亦無提升改變。
情境 1	提升新車燃料效率	◇ 車燃料效率至 2015 年較 2005 年燃料效率提升 20%，至 2020 年新車燃料效率較 2005 年燃料效率提高 30%。
情境 2	發展低耗能及替代能源運具(低度成長)	◇ 2009 年起柴油全面添加 1% 生質柴油，2010 年起，添加比例將提高至 2%；生質酒精車及油電混合車採低幅度成長；LPG 小客車採高幅度成長。
情境 3	發展低耗能及替代能源運具(加速成長)	◇ 參考韓國低排放及低耗能及替代能源運具發展情境，增加生質柴油添加比例及強化油電混合車發展。
情境 4	開徵能源稅	◇ 參考行政院賦稅改革委員會，於 2009 年五月討論綠色稅制報告內容，規劃 2010 年起開徵能源稅，稅額分 10 年逐年調升，每年每公升調升 1.8 元。
情境 5	綜 合 情 境 (1+2)	◇ 提升新車燃料效率及發展低耗能與替代能源運具(低度成長)，將情境 1 與情境 2 假設條件，同時進行模擬。
情境 6	綜 合 情 境 (1+2+4)	◇ 提升新車燃料效率、發展低能耗與替代能源運具(低度成長)及開徵能源稅，將情境 1、情境 2 及情境 4 假設條件，同時進行模擬。
情境 7	綜 合 情 境 (1+3+4)	◇ 提升新車燃料效率、發展低能耗與替代能源運具(加速成長)及開徵能源稅，將情境 1、情境 3 及情境 4 假設條件，同時進行模擬。

資料來源：張四立(2009)^[2.3.14]。

而在綜合情境策略方面，依節能減碳成效高低依序為情境 7(提升新車燃料效率、發展低耗能與替代能源運具(加強成長)及開徵能源稅)；情境 6(提升新車燃料效率、發展低耗能與替代能源運具(一般成長)及開徵能源稅)；情境 5(提升新車燃料效率及發展低耗能與替代能源運具(一般成長))。此外，推廣替代能源運具在能源分散及二氧化碳減量方面，皆有正面效果，以單一情境策略而言，情境 2 及情境 3 發展低耗能及替代燃料運具，至

2020 年情境 2 及情境 3 對汽柴油依賴度由 99.9%分別下降至 96.6%及 95.6%，二氧化碳減量效果，情境 2 及情境 3 與基本情境比較，減少 403,265 噸及 965,099 噸二氧化碳。

4. 因式分解模型於臺灣運輸部門之應用

李正豐教授應用因式分解模型(Decomposition analysis)之對數平均數迪氏指標(LMDI)，將五個與公路運輸二氧化碳排放相關的因子對排放量變動的影響程度加以量化，藉以分析探討 1986-2006 年間影響臺灣與中國大陸公路運輸二氧化碳排放的關鍵因素^[2.3.15]。。

此研究中路運之 CO₂ 排放量的拆解恆等式如下：

$$Q = \sum_{i=1}^2 Q_i = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E_{tot}} \times \frac{E_{tot}}{V} \times \frac{V}{P} \times P = \sum_{i=1}^2 (c_i s_i e v P)$$

其中，

i 為燃料種類，分為液態燃料(汽油、柴油)及氣態燃料(LPG、天然氣)；

Q 為路上運輸 CO₂ 總排放量，百萬噸(Mt)/年；

Q_i 為燃料 i 的 CO₂ 排放量，百萬噸(Mt)/年；

E_i 為燃料 i 的消耗量，千噸油當量(ktoe)/年；

E_{tot} 為路上運輸燃料總消耗量，千噸油當量(ktoe)/年；

V 為車輛數數(千輛)；

P 為人口數(千人)。

此研究之分析結果顯示，人均車輛數的成長為 1986-2006 年間造成臺灣及中國公路運輸 CO₂ 排放增加的關鍵因子，且增量效應有持續擴大的跡象；尤其是中國，此因子在 10 年間的 CO₂ 增量效果由 96.56 Mt 擴增為 249.71 Mt。顯示若不採取有效對策，未來私有車輛擁有率的持續成長將對公路運輸的 CO₂ 減量工作造成不利影響。

另車輛的平均能耗是主要的排放減量因子，但無論在臺灣或中國大陸，減量效應均主要來自車輛結構改變，亦即機車的增加數量高於汽車所導致，而非燃料效率有顯著提升。人口成長雖對公路運輸的 CO₂ 排放亦造成增量效果，但與人均車輛數產生的效應比較相對不顯著。研究結果亦

顯示，排放係數及燃料配比二因子對 CO₂ 排放的影響在各分析期程均不明顯，顯示以低碳燃料(如 LPG)替代高碳燃料(汽、柴油)的努力仍應仍續加強。

2.3.3 國內外運輸部門節能減碳相關研究成果小結

本節旨在持續蒐集國內外運輸部門相關研究計畫之成果資料，以作為後續 CGE 模型建構之參考資料。國際上評估運輸部門節能減碳政策時所使用的重要模型包含：NEMS 之運輸部門模型、EPPA/MARKAL 模型、因式分解模型(分別應用於亞洲整體國家及南韓運輸部門)。而在國內現有評估運輸部門相關節能減碳政策之重要模型則包含：車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式、MARKAL 與 TIMES 能源工程模型、系統動態模型與因式分解模型(應用於臺灣運輸部門)。由於運輸部門溫室氣體減量評估模型方法論、模型特性、甚至於主要模型產出結果，在去年度的計畫中^[2.3.16]皆已加以彙整與比較。故本年度回顧的重點並不在於上述各類模型之比較，而著重說明上述之各類運輸部門評估模型如何作為本計畫 CGE 模型建構之參考資料。

大體而言，因式分解法係透過數學式的拆解方式，將影響經濟變數的驅動力拆解為幾項關鍵因素，由於此方法具有易於操作、資料需求少、適於跨國比較等特色，且其涵義明確，故廣為應用於分析能源消耗量與二氧化碳排放量的變動因素，近年來不論是國外或臺灣學者也開始將此方法應用於整體運輸部門或公路客運的二氧化碳分解。此外，透過此種數學方程式的拆解，可探討各因素對二氧化碳排放(或能源消耗量)的影響及相對重要性，以確實掌握影響二氧化碳排放之關鍵驅動力，作為規劃減量策略之參考。因此，這種對於影響過去排放量的拆解方式，其拆解出的關鍵因素將可作為未來 CGE 模型情境設計時的重要考量變數。

在系統動態模型方面，著重於經濟、運輸行為與能源消耗關連，其模型主要特性在於必須建立許多回饋機制與因果關係認定，與 CGE 模型行為理論架構中所強調的廠商理論或消費者行為理論差別頗大，不過在模型分析過程許多外生投入參數仍須仰賴問卷調查、專家意見或計量方程式推估，這些參數(如：價格彈性、公共汽車或遊覽車車輛數的推估)亦可作為 CGE 參數設定或運具劃分時之的資料參考來源。

而在運輸需求預測模型(如：車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式)其主要理論係利用羅吉斯迴歸模式以建構運具(汽車、機車)持有與選擇模型之機制，在 CGE 模型中亦可參考此種個體選擇行為之機制設定，納入多層、巢式的羅吉斯迴歸模式以建構運具購買選擇與使用的決策機制，使理論架構更加的完整。此外，在運輸需求預測模型中亦利用大量的問卷調查資料，以取得家戶的個體資料，包含：通勤時間、年均出差及旅遊日數或各運具之乘載率、使用頻率、使用成本等，這些重要的個體資料亦可作為 CGE 模型建構時所需的關鍵性資料。

最後在能源工程模型方面(如：MARKAL 或 TIMES)，其主要特點在於有龐大的資料庫支撐，以建構豐富的技術資料庫，因此專長於運具技術發展與替代燃料車輛之評估，因此 CGE 模型未來評估新型運具可參考能源工程模型之相關設定(如：燃料效率提升設定、成本演進設定、市場滲透率設定等)，作為模式建構之參考。此外，亦可參照 MIT EPPA/MARKAL 之連結方式，以 MARKAL 模型中的自發性能源效率提升(AEEI)作為回饋修正所建構 CGE 模型彈性值的設定。

2.4 小結

1. 全球運輸部門的能源排放未來仍將持續成長，主要來自非 OECD 國家的增加，預估 2025 年後非 OECD 國家運輸部門最終能源消耗量將超越 OECD 國家；2007 至 2035 年非 OECD 國家運輸部門能源消耗平均成長率為 2.6%，而 OECD 國家僅為 0.3%。
2. 全球二氧化碳排放方面，運輸部門為電力及能源部門之外，二氧化碳排放量最高的部門。1990 年時排放量 45.7 億公噸，至 2007 年時上升至 66.2 億公噸，約增加 45%。而至 2030 年時全球運輸部門的二氧化碳排放量預估將超過 90 億公噸。
3. 各運具二氧化碳排放量占比方面，目前輕型車輛排放量占比最高，約為 40%，不過至 2050 年將會下降至 35%左右；而在航空及貨運車輛占比未來會有增加之趨勢。至於軌道運輸、公車客運、2 或 3 輪機車及水路運輸等占比皆不大，未來的排放量占比大致保持穩定。
4. 各運具二氧化碳排放量變化趨勢(相較於 1990 年)分析結果顯示，德國(國際航空)及日本(國內航空)均以航空運輸的減量成效最差，但皆以公

路或軌道運輸的減量成效最好；美國運輸部門中之各運具二氧化碳減量成效，皆普遍不佳，亟待美國政府相關單位提出更有力的因應溫室氣體減量對策，以抑低二氧化碳排放。

5. 蒐集歐盟、英國、德國、美國等運輸部門之節能減碳措施，經彙整後顯示，國外運輸部門各類運具的節能減碳主要政策及措施可概分為三大類型：其一為傳統汽柴油車輛燃油效率的改善(技術的提升)；其二為清潔(潔淨)替代燃料或動力系統車輛的發展應用(替代車輛)；其三為交通運輸管理相關措施。
6. 我國的綠色運輸政策主要措施則可歸納為：推廣綠色運輸系統、加強運輸需求管理、提昇運輸系統能源使用效益，以及提昇運具能源使用效益等四項。
7. 蒐集國際上評估運輸部門節能減碳政策時所使用的重要模型包含：NEMS 之運輸部門模型、EPPA/MARKAL 模型、因式分解模型(分別應用於亞洲整體國家及南韓運輸部門)。而蒐集國內現有評估運輸部門相關節能減碳政策之重要模型則包含：車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式(運輸需求模型)、MARKAL 與 TIMES 能源工程模型、系統動態模型與因式分解模型(應用於臺灣運輸部門)。
8. 透過文獻彙整，目前運用於運輸部門溫室氣體減量分析之方法包括 CGE 模型、運輸需求預測模型、能源工程模型(MARKAL 模型)、系統動態模型等。在考慮整合模型必須發揮同時評估來自運輸部門外部的減量政策，與運輸部門本身的減量策略影響之功能下，本研究認為運輸部門溫室氣體減量模型應包含一套能充分表現運輸部門行為及運輸部門與經濟體系其他部門彼此關聯之 CGE 模型，亦應納入能考量運輸在空間與時間分布特性的運輸需求模型，再輔以針對特定議題與參數推估需求所建立的輔助模組，以滿足減量政策評估需求。

第三章 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型

3.1 模型定位與功能

前(99)年度研究將運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型定位於運輸部門之溫室氣體減量決策支援系統。依此，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型應具備以下功能：

1. 可做為運輸部門節能減碳政策的績效與影響評估工具，及行動方案內容檢討之重要參考依據；
2. 能充分應用本所相關能源科技計畫之研究成果，並與現有運輸需求分析模式及資訊平台結合；
3. 兼具理論與實務基礎，考慮運輸與能源科技的創新，以提高相關政策評估的有效性，並與國際接軌；
4. 可做為我國運輸部門溫室氣體減量目標與因應策略規劃的決策支援系統。

在經過國內外文獻與研究成果之探討，並檢視國內運輸部門減量政策評估需求後，99 年度將研究重點聚焦於面對未來經濟與產業發展，運輸服務與運輸能源需求如何在節能減碳政策下運用運輸需求管理策略達至減量目標，並於此方向下，納入一組動態運輸 CGE 模型、一組運具能源消耗預測模型，以及一組由經濟計量、時間序列模型及其他模型組成之輔助模組。各模型之特色、功能及彼此間之關聯分別為：

1. 總體經濟模型(運輸 CGE 模型)

以細分運輸模式及運具之動態 CGE 模型，做為總體經濟、部門互動、產業發展、家庭所得、能源價格與消耗之評估基礎。本研究所建構之運輸 CGE 模型與多數 CGE 模型相同，將整個經濟體系依據經濟活動對象區分為產業部門、家計部門與政府部門。產業部門負責生產，在生產過程中必須由要素市場雇用勞工、購置廠房設備，再由商品市場購買原物料、水、電、能源及運輸服務(含客、貨運)等，用以生產商品並銷售至商品市場，對商品市場而言，產業部門由市場購入各項商品用以再生產其他商品，其間所產生的需求稱之為中間需求。能源部門、客、貨運業者、公共建設等，

皆為產業部門之一，各產業及家計部門所使用的能源，即由能源部門所提供，各產業及家計部門所使用的客、貨運服務，則由客、貨運業者所提供。

生產技術由生產函數來表示，所謂生產技術即代表各項生產投入與產出之關係，因此生產函數形式的設定，將影響各項生產投入彼此間之替代關係，也會影響投入與產出之比例，替代關係不同，將在能源相對價格發生變化時，改變能源使用結構，投入產出比例不同，代表能源生產力與技術的變化，因此在計算能源密集度或CO₂密集度時，能源結構與生產力都將影響求算結果。

家計與政府部門被稱為最終消費部門，家計部門由商品市場購買各類最終商品以追求其效用最大，購買各項商品的所得來源，則為家計部門提供勞務與資本至要素市場所賺取的報酬。因此家計部門消費的商品中，當然包含各類能源及運輸服務，所謂運輸服務為消費者搭乘客運及大眾運輸工具所產生的支出，也包括貨物託運所產生的支出。政府部門同樣由商品市場購買經常性消費所需，政府所得來源則為稅收與移轉性收入。對商品市場而言，家計與政府購入的商品不再做為生產之用，故稱其需求為最終需求。

投資亦被歸類為最終消費，凡是產業部門在生產過程中所購置的耐久財貨，皆視為產業部門的投資，而這些耐久財貨亦由商品市場購入。因此一旦政府或產業部門從事大型投資開發計畫，將透過耐久財的購置，帶動生產耐久財產業及上下游產業的發展。

一般均衡模型要求體系內所有市場必須達到均衡，所謂均衡指系統在沒有外力干擾下，達到穩定不再波動的狀態，因此在商品市場達到均衡時，生產者的供給，必須滿足所有消費者的需求(包括中間需求與最終需求)，此時均衡的市場價格及成交數量同時被決定。透過此一條件，使得價格機制成為影響 CGE 模型的關鍵，經由眾多價格關係的串連，使得政策得以在部門交互作用下傳遞開來。

由上述說明可知運輸 CGE 模型可以提供總體經濟層面的資訊，如 GDP、國民所得、就業等，也可以提供產業資訊，如產業成長、產業結構，更能夠提供每一個產業部門與家計部門之能源消耗量、運輸需求量、能源價格、運輸服務價格等相關資訊，倘若家計部門對於運輸模式與運具選擇的機制能建構在模型中，並且有充分的資料支撐，則運輸 CGE 模型所產生的大分類運具與能源需求將為全國性總量，可做為運具能源消耗預測模

型在推估細分類運具能源需求之參考。

2. 運具能源消耗預測模型

為配合運輸 CGE 模型之開發，強化短期內總體模型對於運具選擇與運具能耗細部分析之不足，故本研究另建構運具能源消耗預測模型，其所需使用的各項社經資料，包括 GDP、所得、產業結構，能源價格、替代燃料價格等皆可由運輸 CGE 模型提供。

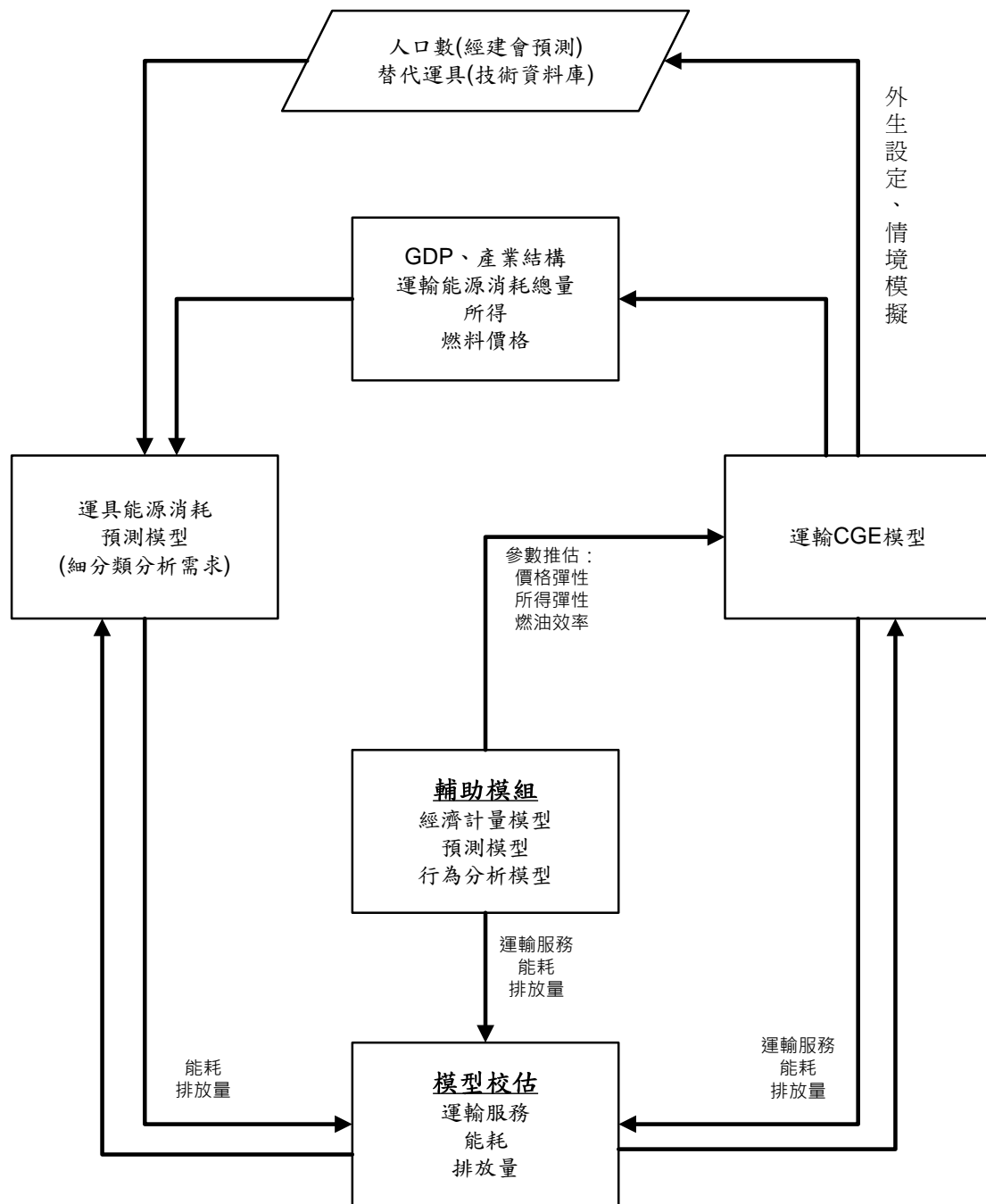
3. 輔助模組

輔助模組將視研究議題所需，而採取必要模型輔助評估工作，目前已具初步成果者有經濟計量模型與其它預測模型，其主要功能包括：

- (1) 針對運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型中的部分外生參數進行推估，例如替代彈性值；
- (2) 預測經濟成長、產業結構、能源消耗成長、運量成長等資訊，做為運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型基線推估時，彼此驗證與差異分析之基礎；
- (3) 運用多元迴歸模型估計檢測經濟變數之關係，可作為政策評估之用。

3.2 模型整體架構

運輸 CGE 模型、運具能源消耗預測模型與輔助模型彼此間之關聯可以圖 3.2-1 表示。鑒於本研究對於「整合」在不同層次或階段之定義有所不同，以下茲說明各階段模型之投入產出關係：



資料來源：本研究繪製。

圖 3.2-1 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型關聯圖

1. 外生參數設定與情境確立

運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型的人口數、替代運具資料、時間、運能限制等皆為外生給定。

(1) 模型歷史校準階段

為提升個別模型使用參數與函數形式的準確性，實證模型通常被要求必須能複製已發生之事實，即求解結果必須與歷史資料相近。在此階

段，個別模型必須使用相同的歷史資料與相同的背景假設，分別進行歷史校準工作。在目前的架構規劃中，三模型所共同需要的基本資料包括人口數預測與替代運具發展時徑，人口數預測資料主要使用經建會公布之未來人口推計數據，而替代運具資訊則由技術資料庫支援。

由於目前CGE模型考慮的運輸部門為全國的總體資料，而運具能源消耗預測模型較能掌握細部運具別能耗資料，因此在歷史校準時，兩模型一方面須同時與能源平衡表¹運輸部門能耗總量對照校準，一方面可以CGE模型的能耗量為總量參考，修正運具能源消耗預測模型之推估，此時模型間將以相互支援的角色進行整合。

由於 CGE 模型使用之參數(如替代彈性)眾多，本年度主要以文獻蒐集與敏感度分析方式，校估參數值，未來可擴大運用輔助模組進行推估。為強化模型對未來年度之預測能力，本年度輔助模型協助推估依排放量區分之車輛數，做為 CGE 模型預測私人運具運量成長之參考數據之一。

(2) 模型基線校估階段

完成歷史校準後，三模型便可進行基線推估工作。基線推估流程將如圖 3.2-1 所示，由運輸 CGE 模型根據人口成長與技術發展資料，進行基線推估，時間序列或經濟計量模型亦可同時產生基線預測，CGE 模型與計量模型預測結果可先加以比較，修正模型參數並進行差異分析。

運輸 CGE 模型推估結果可輸出 GDP、產業結構、燃料價格、國民所得、運輸服務需求總量、能耗總量等資訊給運具能源消耗預測模型進行預測，結果可輸出運具之能耗結構等資訊，再給 CGE 模型進行校估。

圖 3.2-2 說明運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型間之變數對映。運輸 CGE 模型產出資訊包括家戶運輸能源消耗、公路客\貨運、軌道客\貨運、航空客\貨運及水上客\貨運之能源消耗總量，運具能源消耗預測模型便可依此消耗總量為控制總數，進一步推估私人運輸中之自小客車與機車能源消耗量、公路客運中之大客車與計程車能源消耗量，以及軌道客運中之臺鐵、高鐵與捷運之能源消耗量。

¹ 為與國際能源統計接軌，並便於國際比較研究，經參考經濟合作暨發展組織國際能源總署(OECD/IEA)之能源統計，能源局自民國 96 年起採用新格式出版我國能源平衡表，本平衡表目的，是以縱行能源產品與橫列能源流程交叉，所形成之矩陣格式，呈現歷年全國整體之各種能源產品，由供給經轉變以至歸屬各部門與主要行業使用之能源流程資訊。

(3) 政策模擬階段

在政策模擬階段，三模型首先必須統一政策模擬情境，接著對不同層級的政策採取不同評估流程。各模型應納入能反映未來政策效應的變數。以補貼公共運輸票價為例，評估此案時將首先由運輸 CGE 模型進行影響分析，在模型中將透過幾個步驟，將票價變化層層反映至最終之 GDP 與能耗量改變，如圖 3.2-3 所示，茲說明如下：

A. 補貼公共運輸票價之運具替代效果

當公共運輸票價因補貼而下降，直接產生的價格效果將提升公共運輸需求，替代部分私人運輸。而公共運輸為滿足增加的需求，必須同時擴張供給，於是間接帶動公共運輸對化石燃料、電力與公共建設之需求。在上述過程中，私人運輸之能源消耗減少，取而代之的是公共運輸能耗的增加。

B. 公共建設之產業帶動效果

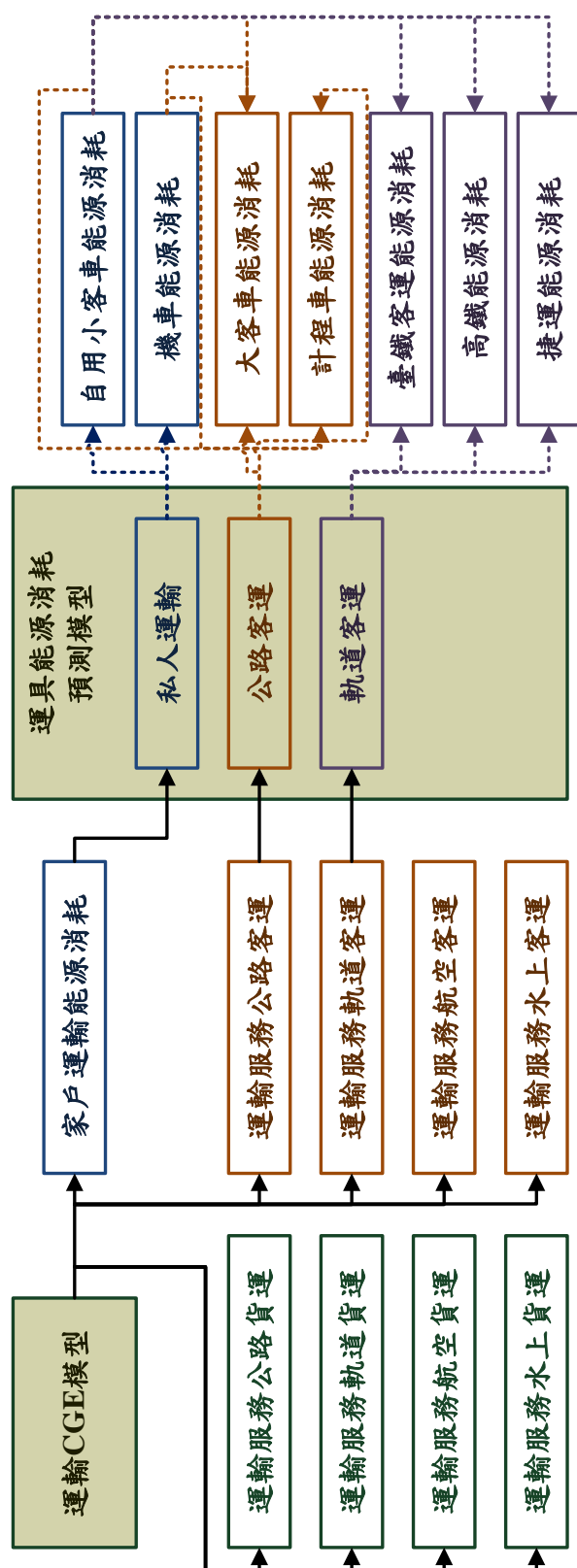
為滿足公共運輸對硬體建設之需求，公共建設將帶動機電設備與鋼鐵產業成長，同時增加建設勞力之雇用與投資資金需求。

C. 勞動雇用增加之所得效果

公共建設增加之勞動雇用，以及機電設備與鋼鐵業為因應產量成長而擴增的勞務需求，將提升家計部門所得水準，所得成長可能同時增加私人運輸與公共運輸之需求，進而造成能耗與排放量的增加。

D. 最終模型產生之變數求解結果

經過上述流程，CGE 模型最終可求得之內生變數包括 GDP、產業產值、能源價格、能源使用量、公共運輸服務量、私人運輸能耗量、家庭所得等資訊。其中 GDP 與能源價格可代入運具能源消耗預測模型之自變數，便可據以推估細部運具之未來能耗量，推估結果必須與 CGE 模型之粗分類運具能耗量比對，以期總量控制於 CGE 模型之產出，若未能一致，應檢視求算過程設定是否有誤，若純粹為方法差異造成，則將細部運具結果等比例調升(或調降)至粗分類運具能耗總量。



1.實線：運輸CGE模型輸出變數

2.虛線：運輸部門能源消費預測模型輸出變數

資料來源：本研究繪製。

圖 3.2-2 運輸 CGE 模型與運輸能源消耗預測模型之變數對映

3.3 運輸部門 CGE 模型

為建置一個能考慮運輸、能源與經濟的CGE模型，本研究蒐集當前CGE模型運用於運輸部門的相關文獻，並以Schäfer and Jacoby (2005)^[3.3.1]、Berg (2007)^[3.3.2]、Abrell (2007)^[3.3.3]三文說明CGE模型如何設定運輸部門架構。一般CGE模型因為較為龐大，方程式數量較多，通常會以巢式架構圖來說明模型結構，而所謂巢式架構，通常依研究目的而將關係較密切的商品分類為同一商品群，透過函數設定將群內商品加總為一個代表性商品，以代表該商品群，因此每一商品群的加總函數設定將直接反映群內商品彼此間的關係，若以CES²函數設定之，則函數中的參數即為商品間的替代彈性，只要更改替代彈性數值，便可輕易的將商品間之關係設定為高替代、低替代、甚至互補。以下分別就構成CGE模型之基本要件、本研究設定之巢式架構及其對映之數學模型，以及求解軟體之選擇與程式撰寫方式等逐項說明。

3.3.1 CGE 模型基本要件

在一般均衡理論的框架下，CGE 模型必須具備幾項基本元素，包括必須描述經濟周流、必須由個體基礎建構理論、必須衡量市場均衡狀態、必須設定價格比較基準、必須設定適當函數形式等。

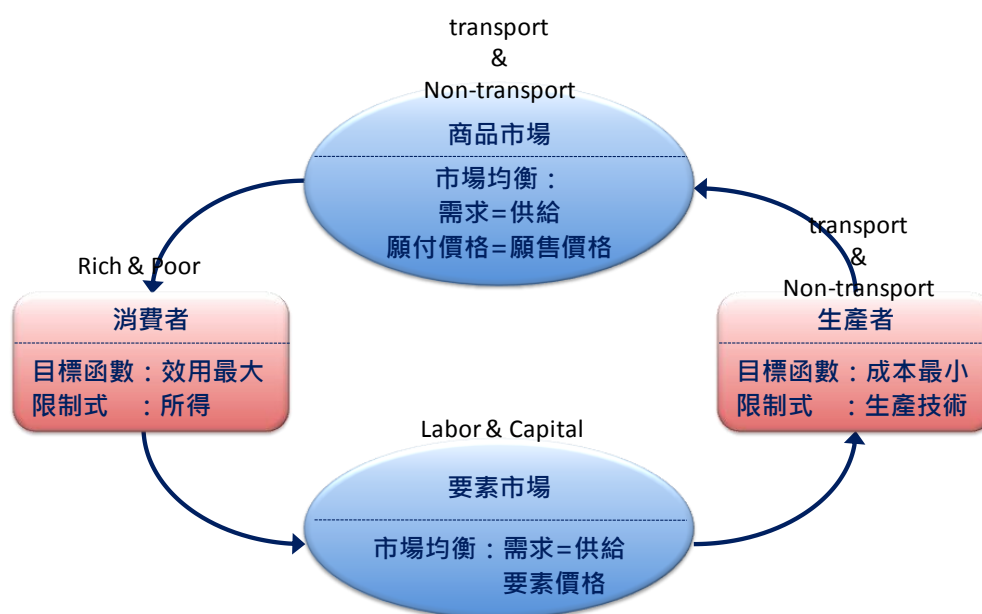
1. CGE 模型描述經濟周流

CGE 必須要能夠描繪分析對象，亦即經濟體系中商品與貨幣之流向，以下稱之為經濟周流，因此體系中所有個體行為與市場運作方式皆須論及。如圖 3.3-1 所示，假設經濟體系中存在兩類經濟個體，生產者與消費者，生產者行為模式設定為在生產技術條件下，追求利潤極大或成本極小，便可藉由使最適化問題，找到生產者對於各類投入要素之需求函數，以及產品之供給函數；相對於生產者，消費者行為模式則設定為在所得限制條件下，追求效用極大之最適化問題，同樣藉由此模式可求得消費者對商品之需求函數，以及對勞動與資本等要素之供給函數。

由於消費者必須付出勞力或提供資本，才能賺取報酬並消費各類商

² CES：固定替代彈性模型，Constant Elasticity of Substitution.

品，生產者必須投入勞力或資本才能生產出各類商品，因此在此體系中便存在兩類市場，即商品市場與要素市場。在一般均衡理論下，體系內所有市場皆須達到均衡，亦即供給等於需求的狀態。由上述個體行為模式所求得之供給與需求函數，在供需均衡條件下便可求導出均衡狀態下最適之交易數量與價格。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-1 CGE 模型描述經濟周流

2. 具備個體基礎之最適化模型

如同前述，在闡述經濟周流過程中，經濟個體行為與市場間，透過供需數量與價格緊密相連，為表達聯繫彼此關係之變數，CGE 模型通常以巢式架構圖(如圖 3.3-2)呈現。

CGE 模型為反映經濟個體決策選擇過程所考量之各項因素，必須以結構式建置模型，因此必須具備由最適化個體行為出發之理論架構。生產者與消費者在最適化前提下所推導而得之要素需求函數與商品需求函數。

3.3.2 數學模型設定

1. 產業部門最適化決策

(1) 生產決策

產業部門之最適化問題包含當期之生產決策與跨期之投資決策，而後者為本模型得以動態化之關鍵。在生產決策中，本研究針對運輸部門設計較為複雜的巢狀架構(如圖 3.3-2 與圖 3.3-3 所示)，以運輸部門為例，設定時，針對每一層巢狀架構，皆會設立一組最適化問題，以求得下層投入要素之需求函數。

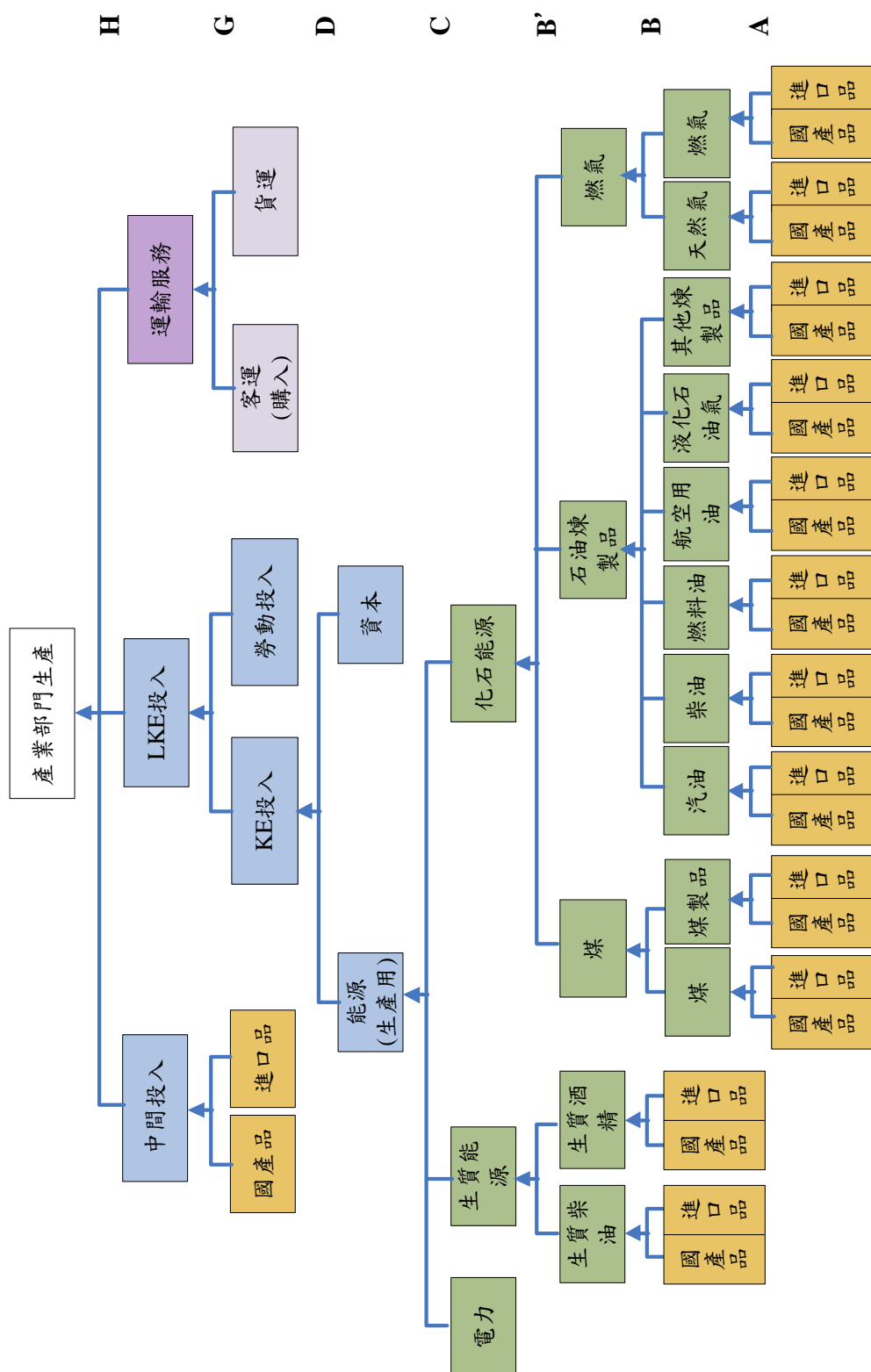


圖 3.3-2 一般產業部門生產巢式結構

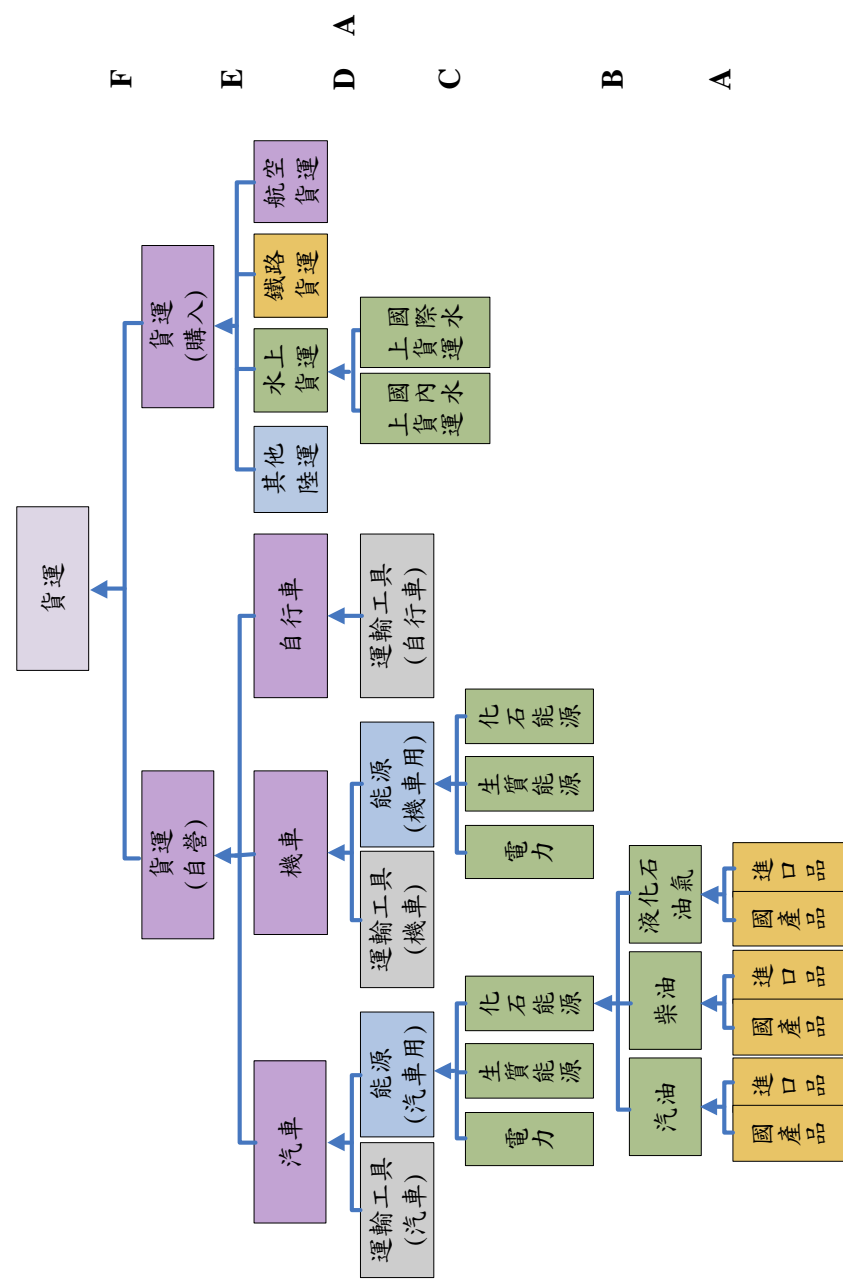
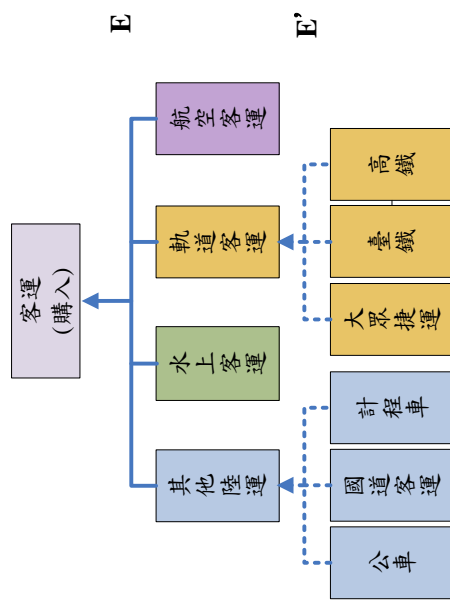
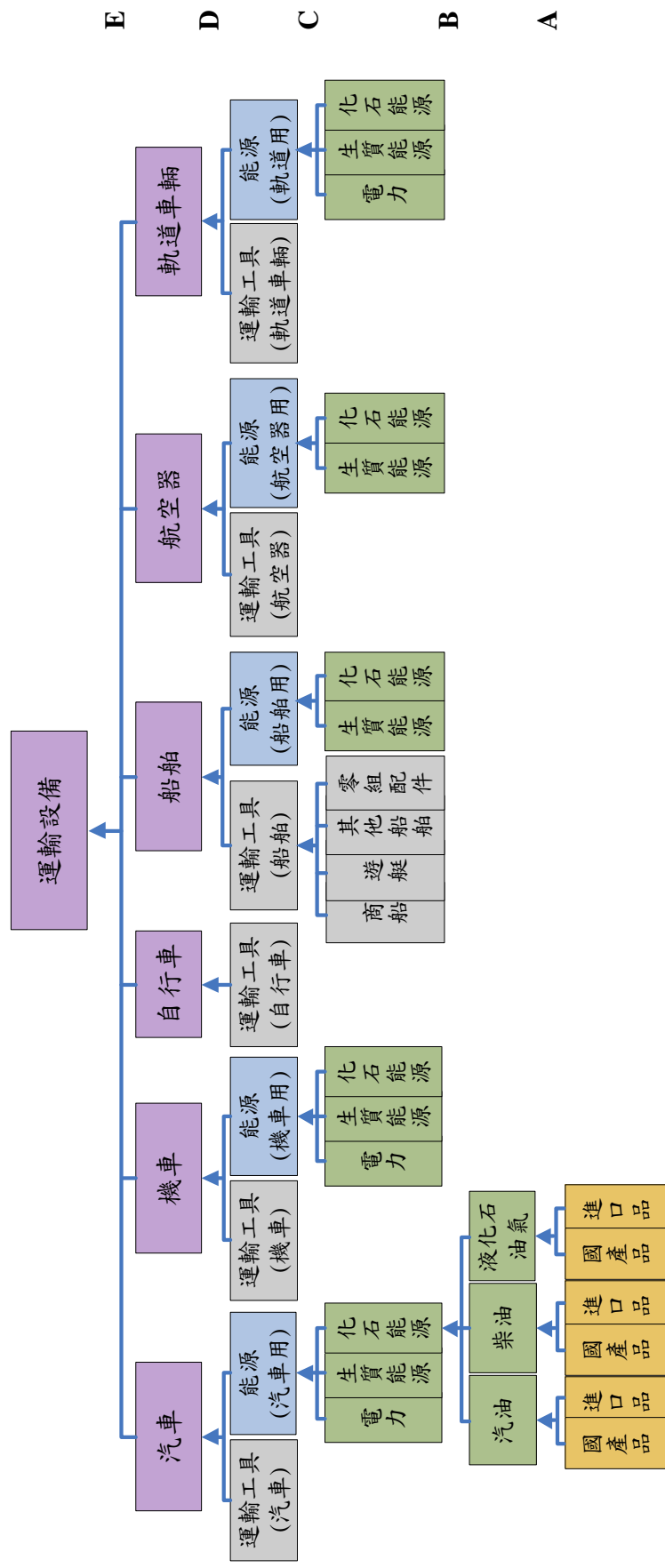


圖 3.3-3 一般產業部門生產巢式結構(續)



資料來源：本研究繪製。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-4 運輸服務業部門生產巢式結構

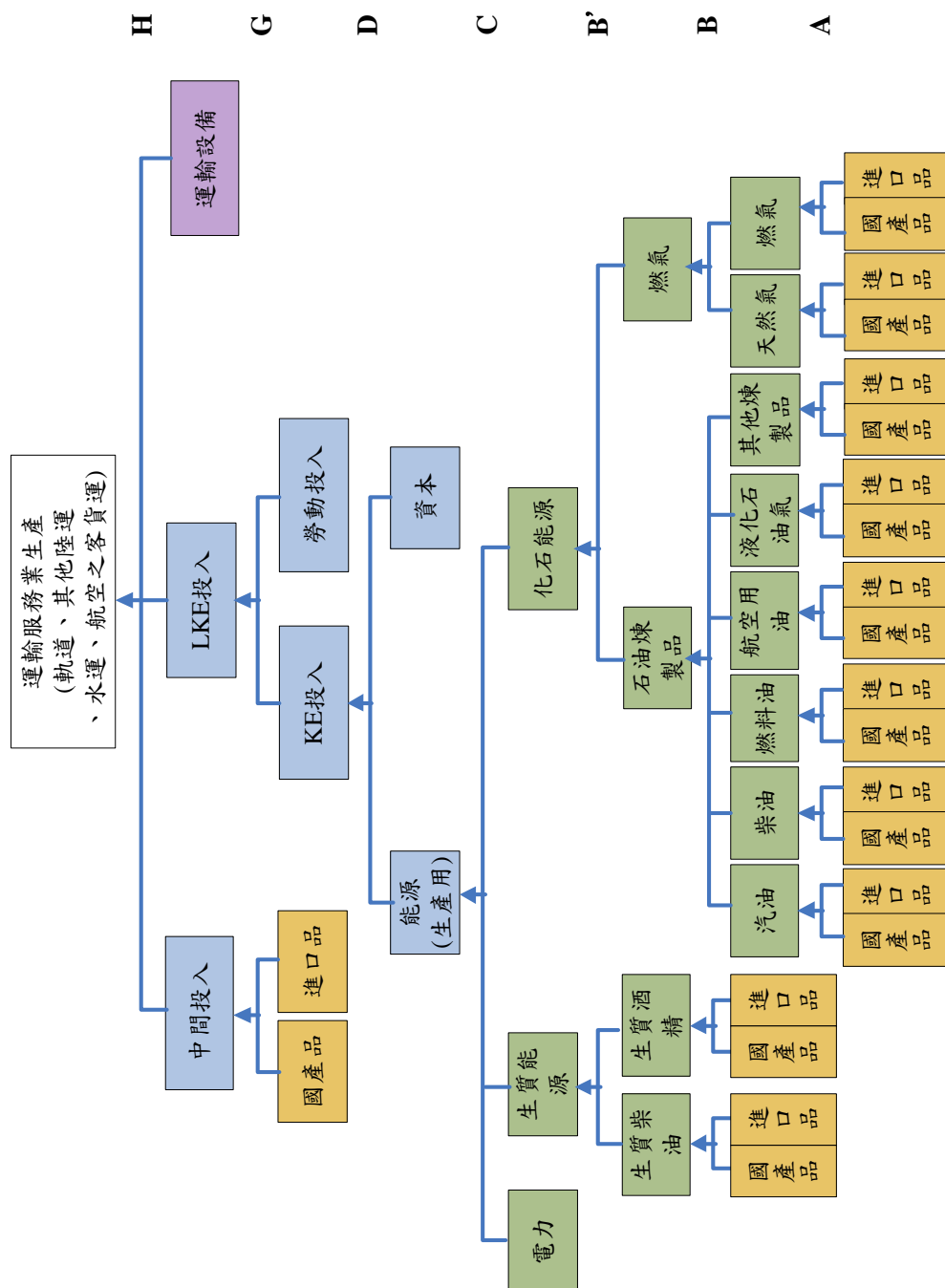


圖 3.3-5 運輸服務部門生產巢式結構(續)

2. 家計部門最適化決策

一般家計部門決策行為大多假設在所得限制下，追求使效用最大的商品消費組合。然而家計部門使用能源，大多是為了享受電器、照明、空調與運輸設備帶來的效用，而間接產生對能源之需求，因此稱家計部門對這些設備提供之服務所產生的需求為能源服務需求(energy service demand)。

Elliott (2006)^[3.3.11]強調，「能源服務需求」與「能源終端使用」不應混為一談。Kratena and Wüger (2004)^[3.3.12]亦認為家計單位的效用來自一般商品消費，以及由家計單位透過「投入」與「資本」所自行產生的服務，資本由家計所得購買並累積，但不放入效用函數，而是做為一種投入以生產設備服務的流量。Guertin, et al. (2003)^[3.3.13]更建立住宅能源需求模型，運用加拿大實際資料，分兩階段推估能源服務需求。

能源服務需求為抽象的概念，可以想像為家計部門為了服務自己，而結合設備(車輛)與能源進行生產，產品即為能源服務³。因此可設立家計能源服務生產函數，呈現設備、能源使用，與能源服務供給之關係，而設備對效用的貢獻則與設備特徵(如運具種類、車輛cc數、油耗特性、品牌、旅行時間)有關，於是不同設備特徵，其價格便隱含設備購置與使用成本之差異。

運輸服務亦具備相同概念，由於運具使用及花費於旅途上的時間皆不能為消費者帶來效用，家計部門係透過投入這些成本(燃料成本、運具使用成本、時間成本等)為自己生產運輸服務，進而因運輸服務達成旅行目的，而產生家計部門效用。但由於運輸服務達成旅行目的所產生的效用，並不容易被量化觀察，因此常藉由消費者願意為該運輸服務付出之代價或支出，來代表其效用價值。

延續運具選擇與使用決策之概念，CGE 模型之家計部門行為設定將納入幾項創新性設定：

■ 加入時間因素

基於運具與運輸系統特性各異，旅行時間又為足以影響家計選擇之重

³早在Willet and Naghshpour (1987)^[3.3.14]便提出「家計單位生產理論」，他認為家計單位結合能源投入與設備所提供之服務流量，生產出能源服務，以滿足家計單位之能源服務需求。

要運具特徵，因此在家計消費決策中，假設滿足所得限制與時間限制下，選擇使效用最大的最適商品消費量、能源服務需求、休閒與工作時間。

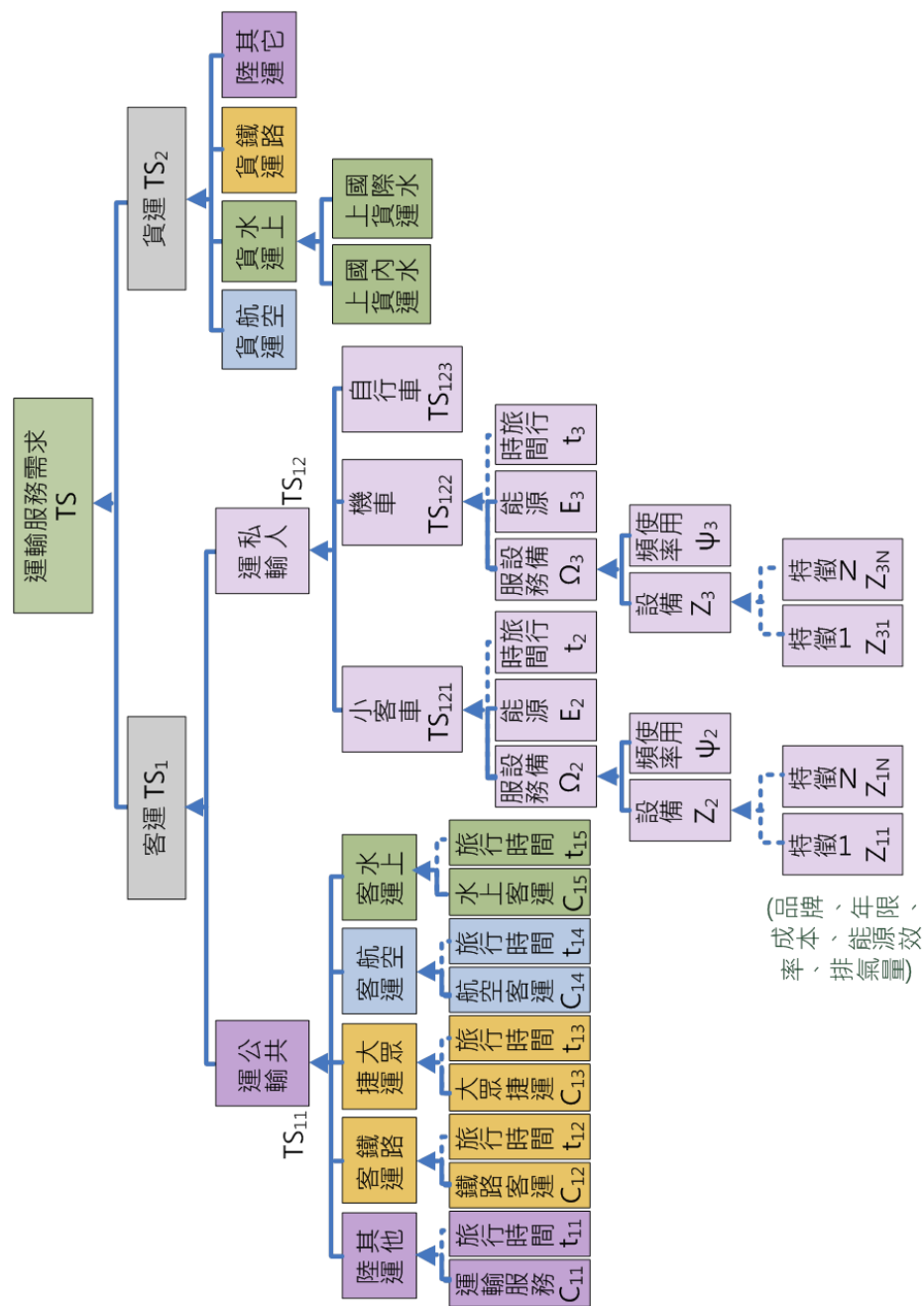
■ 建立家計運輸服務之生產函數

家計能源服務生產決策，在滿足能源服務總需求下，選擇使生產成本最小的最適車輛特徵、能源用量、與旅行時間。

■ 強化私人運輸與公共運輸之選擇決策

詳細區分私人運輸與公共運輸選項，並建立運具使用與能源消耗之關係，從而反映運具選擇對於運輸部門能耗與溫室氣體排放之影響。

■ 配合旅行時間與家計生產函數的建立，反映車輛設備之特徵與使用頻率



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-6 家計部門私人運輸服務生產決策

3. 政府部門財政收支平衡

政府部門以財政收支平衡設定之，如下式其總稅收與政府消費支出總額及經常性移轉淨支出之差額，即為政府儲蓄，而稅收的來源則包含各項間接稅、直接稅、環境稅及其他規費。

4. 市場均衡

最後設定市場均衡式，即各業產品之市場供給量必須等於市場總需求，包括中間需求與最終消費需求。零利潤假設則依循圖 3.3-1 設定。

5. 容量限制

當考慮私人運輸移轉至公共運輸時，硬體設備對移入需求能否具備足夠容量承載，將成為未來基線推估之重要限制，亦是推廣公共運輸政策必須考量之因素。為此，當運輸服務業決定運量供給時，還必須考慮到運能的限制。

容量取決於設施與設備之特性，設施或設備等資本，透過投資逐期累積而來。當投入重大交通建設(如興建捷運、快速道路)，表示大幅提高投資水準 I ，將使資本存量 K 快速增加，提高設備容量。

基於運輸系統容量設計，主要考量尖峰時段服務量，為能與模型年度資料融合，系統容量在換算為全年最大容量後，其與實際容量之關係可透過一容量因子 ϕ 呈現：

$$\bar{Q}_t = \phi \cdot K_t \quad (3-1)$$

容量因子之高低，非為模型可產生，仍須外部資訊設定³。亦可隨時間而變化。運輸服務業所提供之服務量將因下式而存在上限。

$$Q \leq \bar{Q} \quad (3-2)$$

³若依據近年來運量成長趨勢推估未來，可能產生運量大幅成長的情況，故而於模型中加入容量限制因子，此乃相關文獻首見。基於模型計算基礎為年度資料，故與交通尖峰容量計算基礎不同，在計算年度容量時，目前採取兩種作法，其一直接採用系統之設計容量，其二利用過去發生之尖峰運量，假設全年中每一天每小時皆為尖峰運量時，計算年度最高可能運量，做為容量設定基礎。

3.3.3 求解軟體與程式撰寫

運輸 CGE 模型運用一般性代數模擬系統 (General Algebraic Modeling System, GAMS) 做為求解最適化問題之工具。GAMS 最初由世界銀行(The World Bank)資助，華盛頓特區的發展研究中心執行研發，目前則改由 GAMS Development Corporation 所資助。

GAMS 系統是在一羣數理經濟學家的密切合作之下所開發，在系統的發展上，最重要的成功因素是共同應用在經濟學、電腦科學和運籌學之間。雖然數學規劃(mathematical programming)和經濟理論(economics theory)交錯嚴密，然而 1975 年諾貝爾經濟學獎頒給 Leonid Kantorovich 和 Tjalling Koopmans，以表彰他們在數學規劃中對最佳化資源分配理論的貢獻。其它諾貝爾獎得者，像 1972 年的 Kenneth Arrow、1973 年的 Wassily Leontief、及 1990 年的 Harry Markowitz 也都在數學規劃上非常聞名。

GAMS Development Corporation 所接手開發的 GAMS 軟體，是為了處理模型線性、非線性及混和整數最佳化的問題。GAMS 尤其適合處理須精確模型之大型、複雜及獨特的問題，使得問題符合高度精確及自然的法則等，也允許使用者自行快速且簡便的修改公式以便於求解其它的問題，甚至於只要稍加費心就能轉換線性公式成非線性公式，近年來已廣泛地被世界各經濟學家所使用。

3.4 運具能源消耗預測模型

運具能源消耗預測模型以多元迴歸模型為預測方法，並運用「聯立方程式同時校估模型(Simultaneous-equation model)」進行預測。其中就能源消耗量的分類方式有：「能源別總計消耗量模型」與「運具別能源消耗量模型(公路及軌道運輸)」兩種；此二種預測模型皆以聯立方程式同時校估模型參數。

3.4.1 分析範圍界定

首先說明經濟部能源局定義運輸部門能源消耗量的範圍，其中包括：「公路、鐵路、國內航空與國內水運」的能源消耗量，國際航空及國際水運以另列方式不計入本國運輸部門能源消耗量，而運輸部門內的各類「場站用電」亦改計入服務業部門，因此，本章所討論的能源消耗量係以上述所定義之運輸部門為分析範圍。

資料來源與分類方式基於可取得性，係蒐集經濟部能源局能源平衡表中的運輸部門終端能源消耗量，再經由第三章計算方式得到各類能源消耗量的歷史資料。其中能源的分類方式主要係以能源平衡表中的「能源別」為主要考量，此外，因公路運輸為運輸部門最主要的終端消費，特別在公路運輸中以「運具別」細分其能源消耗量。能源平衡表中「能源別」的總消耗量分別有下列 10 種：

公路汽油、公路柴油、鐵路電力、鐵路柴油、國內航空燃油、國際航空燃油、國內水運燃油、國內水運柴油、國際水運燃油、國際水運柴油。

公路運輸「運具別」能源消耗量則分為下列 14 種：

汽油自用小客車、汽油營業小客車、汽油自用小貨車、汽油營業小貨車、汽油機車、柴油自用小貨車、柴油營業小貨車、柴油自用大客車、柴油遊覽車、柴油市區公車、柴油一般公路客運⁴、柴油國道客運、柴油自用大貨車、柴油營業大貨車。

軌道運輸「運具別」能源消耗量則分為下列 2 種：

臺鐵、臺北捷運。

依上述分類方式本研究蒐集經濟部能源局新版能源平衡表之能源消耗

⁴指非國道客運、非市區公車之一般公路客運，資料來源為臺灣省公共汽車客運商業同業公會聯合會。

量時間序列(從 1990 年至 2010 年)作為本章分析的資料來源，其中國道客運因資料蒐集樣本問題，校估樣本從 2001 年至 2010 年；臺北捷運校估值從 2000 年至 2010 年。在模型中，其能源變數的單位皆為原始單位：公秉，但在不同能源消耗量加總時則須轉換為公秉油當量，此外，在溫室氣體排放量推估時則以能源消耗量原始單位(公秉)與排放係數進行計算。

3.4.2 變數選取

因變數有兩類，「能源別總計消耗量模型」的共計有：「公路汽油、公路柴油、鐵路電力、鐵路柴油、國內航空燃油、國際航空燃油、國內水運燃油、國內水運柴油、國際水運燃油、國際水運柴油」10 個能源消耗量因變數；「運具別能源消耗量模型(公路運輸)」則有：「汽油自用小客車、汽油營業小客車、汽油自用小貨車、汽油營業小貨車、汽油機車、柴油自用小貨車、柴油營業小貨車、柴油自用大客車、柴油遊覽車、柴油市區公車與一般公路客運及國道客運、柴油自用大貨車、柴油營業大貨車」14 個能源消耗量因變數；「運具別能源消耗量模型(軌道運輸)」則有：「臺鐵及臺北捷運」2 個能源消耗量因變數。

自變數的選取除了理論上的因果關係外，尚須考量在預測目標年值時，是否有可提供的自變數預測值。就理論上的因果關係而言，本研究選取具有代表經濟活動強度的自變數：「國內生產毛額(GDP)、人均 GDP、人均所得、與車輛持有(人均及戶均)」，此外，「能源價格」亦是影響能源消耗量的重要因素，本研究亦納入構建模型，政策變數則有「高鐵」、「捷運」、「高速公路電子收費」三項。GDP、人均所得、戶數、人口數歷史資料來源為行政院主計處，車輛登記數歷史資料來源為則為交通部統計要覽，能源價格資料來源為經濟部能源局及中油公司，且以物價指數(行政院主計處)或匯率(中央銀行外匯成交收盤價年平均值)調整，相關模型變數彙整請參考表 3.4-1。

表 3.4-1 模型變數彙整表

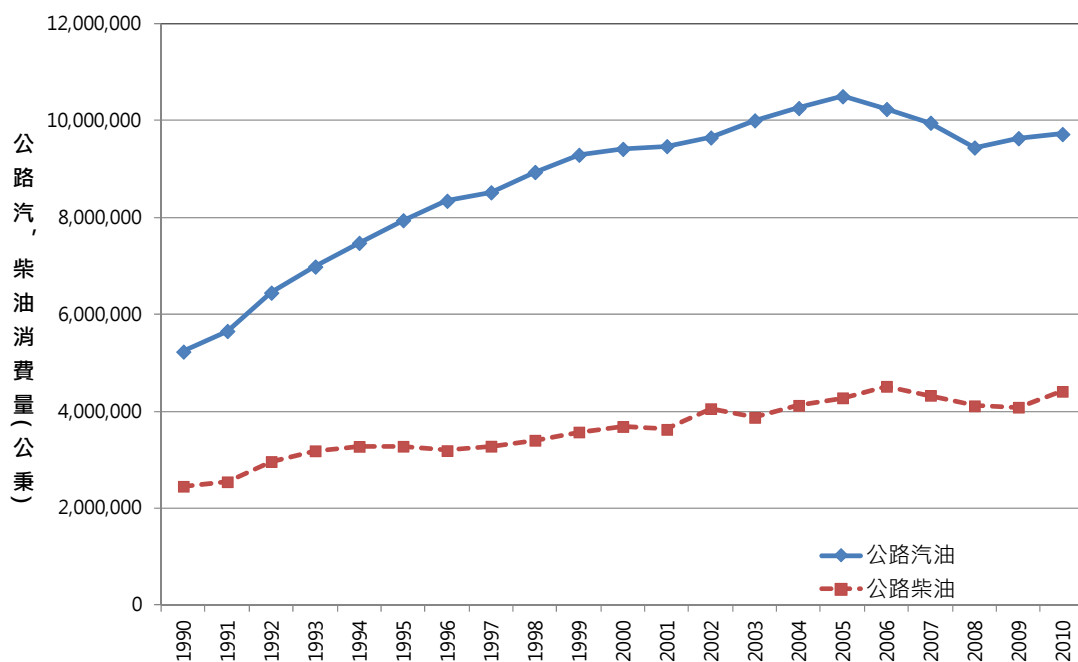
	能源別能源總計消耗量		運具別能源消耗量模型		
	變數名稱	單位	(公路運輸) 變數名稱	(軌道運輸) 變數名稱	單位
因變數	公路汽油	公乘	汽油自用小客車	臺鐵	公乘
	公路柴油		汽油營業小客車	臺北捷運	
	鐵路電力		汽油自用小貨車		
	鐵路柴油		汽油營業小貨車		
	國內航空燃油		汽油機車		
	國際航空燃油		柴油自用小貨車		
	國內水運燃油		柴油營業小貨車		
	國內水運柴油		柴油自用大客車		
	國際水運燃油		柴油遊覽車		
	國際水運柴油		柴油市區公車		
			柴油一般公路客運		
			柴油國道客運		
			柴油自用大貨車		
			柴油營業大貨車		

自變數	國內生產毛額(GDP)	新臺幣：百萬元
	人均 GDP	新臺幣：元
	人均所得	新臺幣：元
	車輛持有(人均及戶均)	輛/平均每人
	能源價格	元/公升
	高鐵政策變數	
	捷運政策變數	
	臺汽民營化政策變數	
	高速公路電子收費政策變數	

資料來源：本研究整理。

3.4.3 能源消耗量歷史趨勢分析

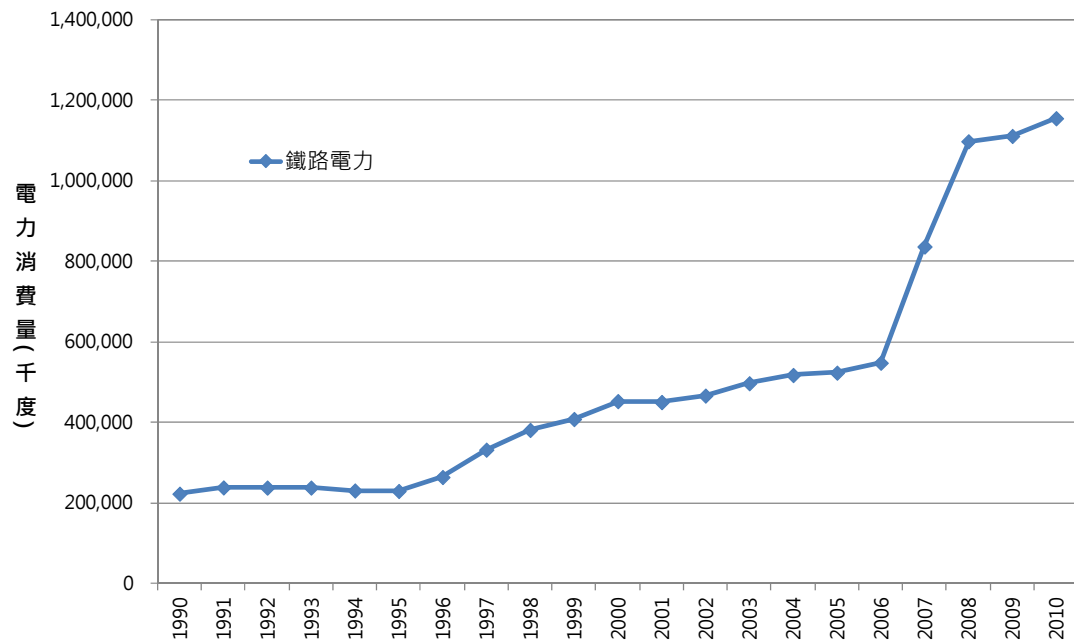
運具能源消耗預測模型所使用之歷史年能源消耗統計資料，以及能耗量與CO₂排放量推估方法，皆說明於第四章，本節彙整推算結果並說明歷史趨勢。在「能源別總計模型」各項能源總計消耗量中，除鐵路電力能源消耗量之外，其餘在近年皆呈現遞減之趨勢。首先，公路汽油與公路柴油則是於2006至2008年逐漸遞減後，又開始上升的趨勢。其中公路汽油消耗量是所有運輸部門中的最大量，請參考圖3.4-1。



資料來源：本研究繪製。

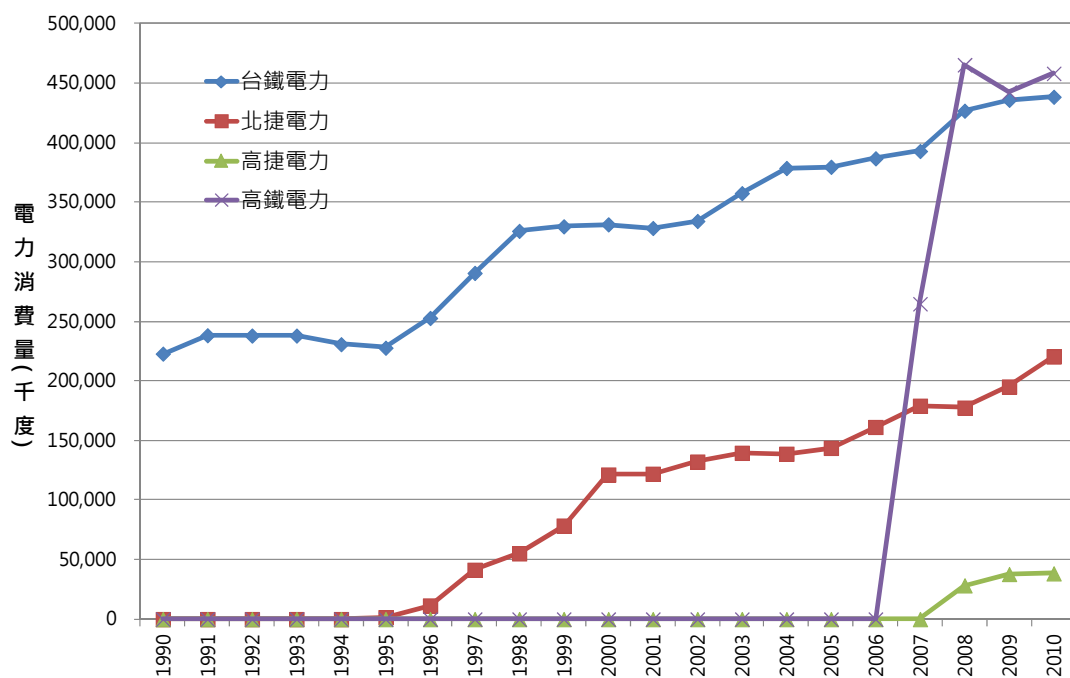
圖 3.4-1 能源別公路汽油、柴油歷史消耗量趨勢

在鐵路運輸方面，鐵路電力能耗長期呈現穩定成長趨勢，1996年臺北捷運系統開始營運後其成長趨勢明顯增加，2007與2008年更由於高鐵開始營運，使鐵路電力消耗量急劇上升，高鐵2008年電力消耗量更超越臺鐵，請參考圖3.4-2至圖3.4-3。鐵路柴油能源消耗量(臺鐵)則是呈現逐年遞減趨勢，此可能係由於臺鐵逐年推動鐵路電氣化，請參考圖3.4-4。



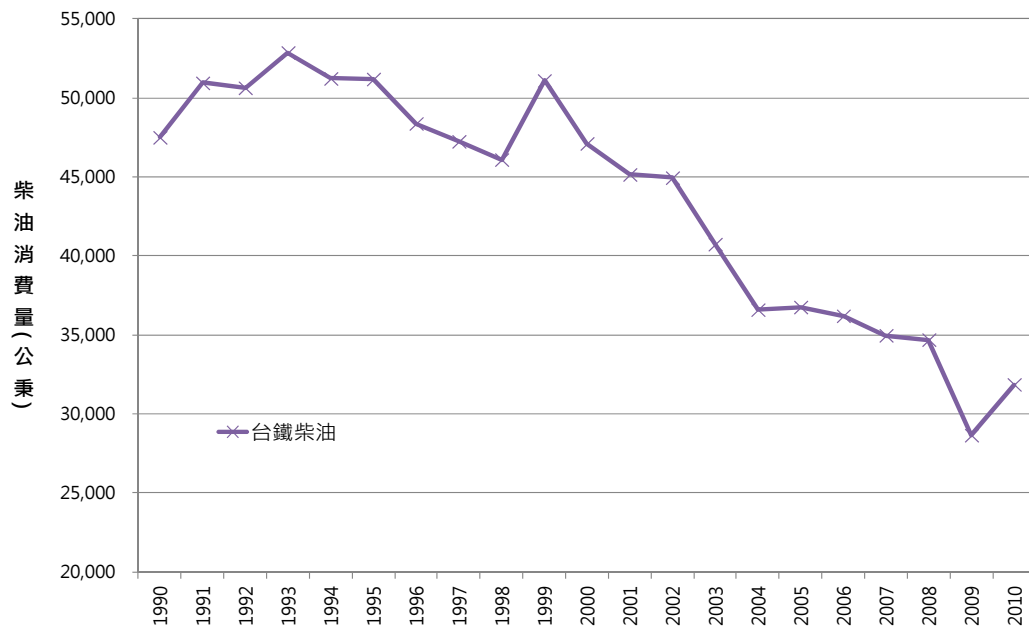
資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-2 能源別鐵路電力合計歷史消耗量趨勢



資料來源：本研究繪製。

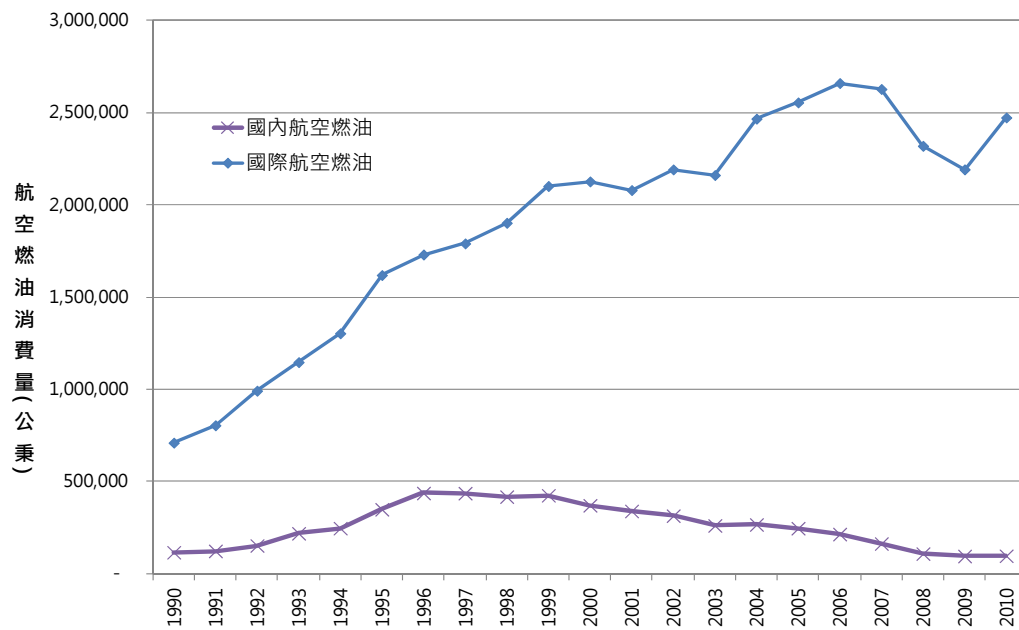
圖 3.4-3 能源別北捷、高捷、高鐵、臺鐵電力歷史消耗量趨勢



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-4 能源別鐵路柴油歷史消耗量趨勢

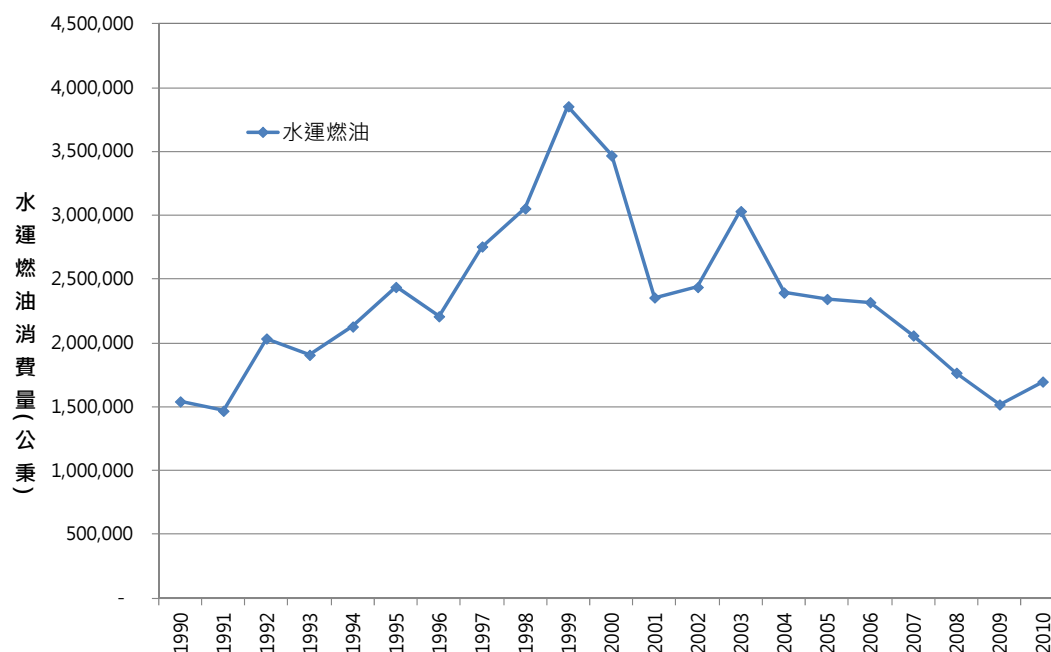
國內航空能源消耗則自 1996 年開始呈現逐年遞減，國際航空則於 2007 年開始明顯遞減，且為航空運輸之消耗量大宗，請參考圖 3.4-5。



資料來源：本研究繪製。

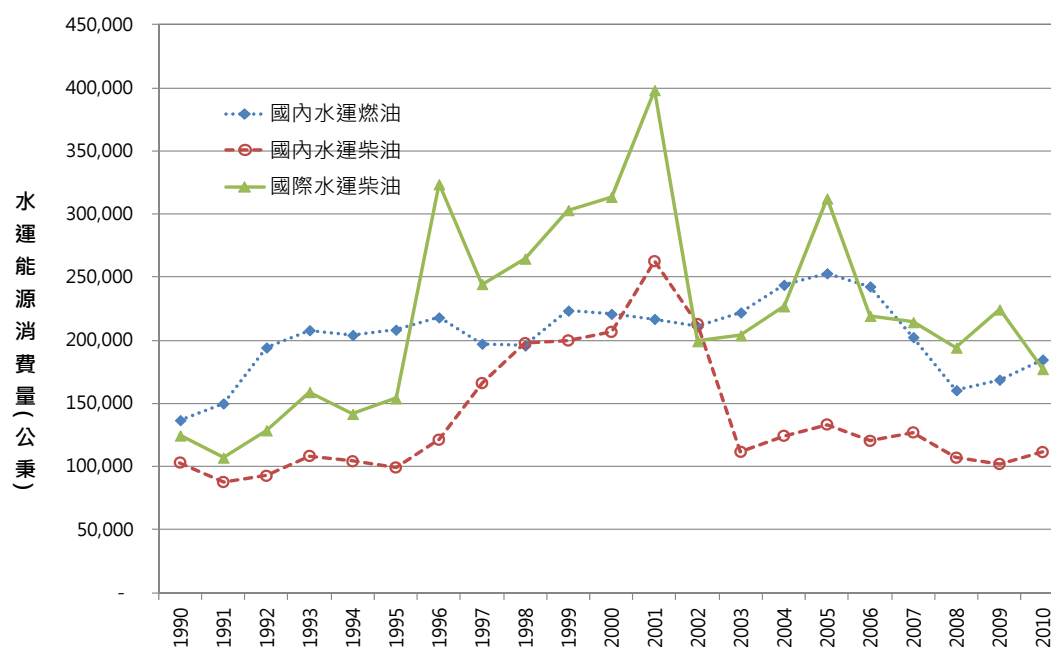
圖 3.4-5 能源別航空燃油歷史消耗量趨勢

水運能源消耗量可分「水運燃油與水運柴油兩類」，其中以國際水運燃油為大宗，然而從圖 3.4-6~3.4-7 發現，這四項水運能源消耗量的歷史趨勢均呈現波動現象，近年(2007 年開始)呈現遞減趨勢則是共同的特徵。



資料來源：本研究繪製。

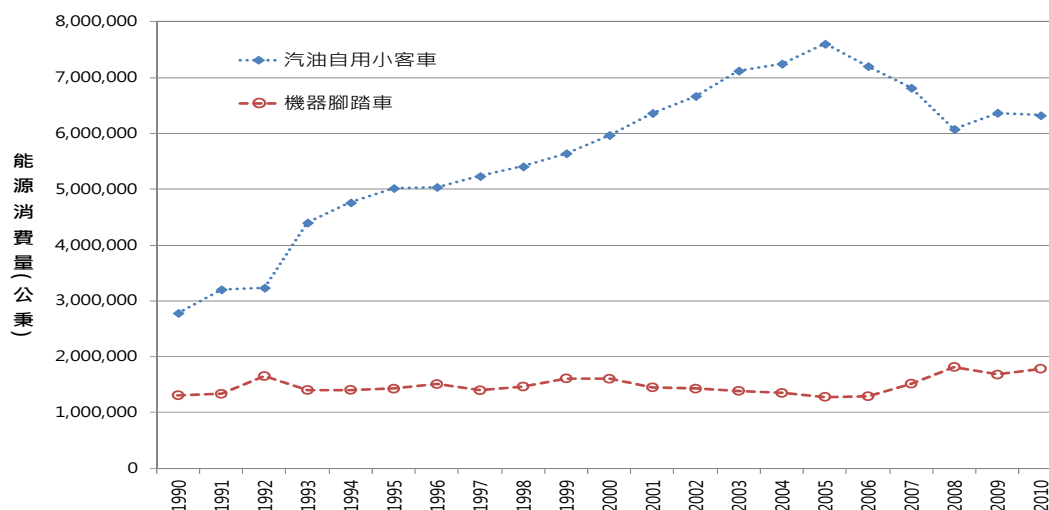
圖 3.4-6 能源別國際水運燃油歷史消耗量趨勢



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-7 能源別水運(不含國際水運燃油)歷史消耗量趨勢

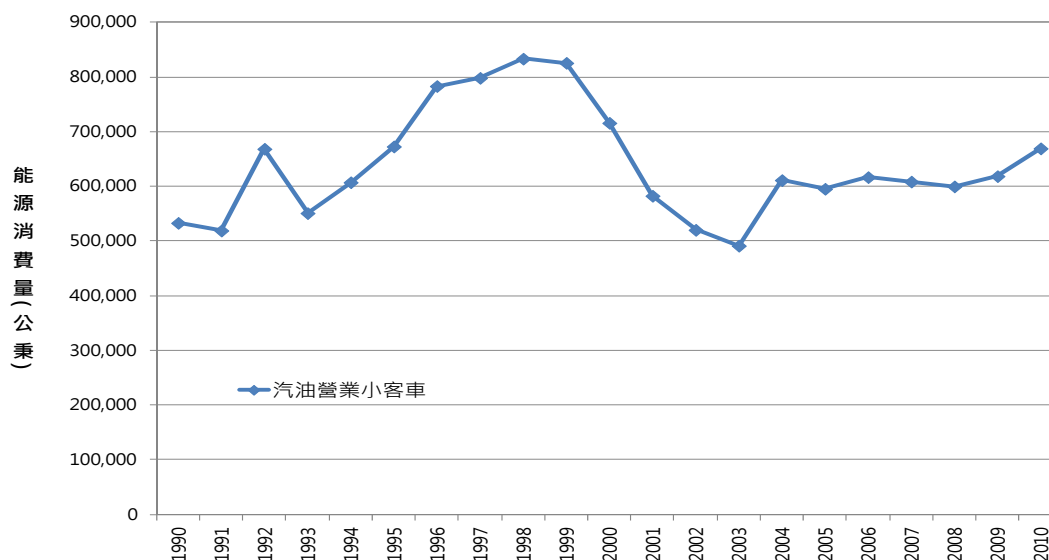
「運具別能源消耗量模型」則針對公路運輸中之各項運具細分為 12 項能源消耗量，其中以「自用小客車(汽油)、機車(汽油)與營業大貨車(柴油)」為三大主要能源消耗項，汽油自用小客車自 2005 年開始有明顯下降趨勢，機車消耗量長期呈現相對穩定，惟在 2008 年是下降的，請參考圖 3.4-8。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-8 運具別汽油自用小客車、汽油機車歷史消耗量趨勢

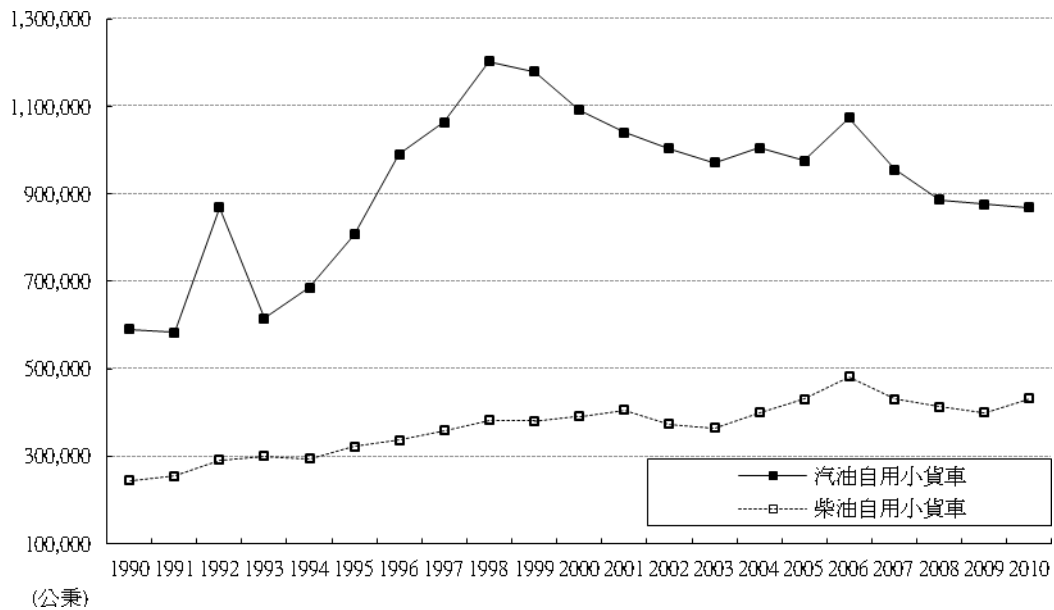
汽油營業小客車能源消耗量的歷史趨勢均呈現波動現象，近年(2008 年開始)呈現遞增趨勢，請參考圖 3.4-9。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-9 運具別汽油營業小客車歷史消耗量趨勢

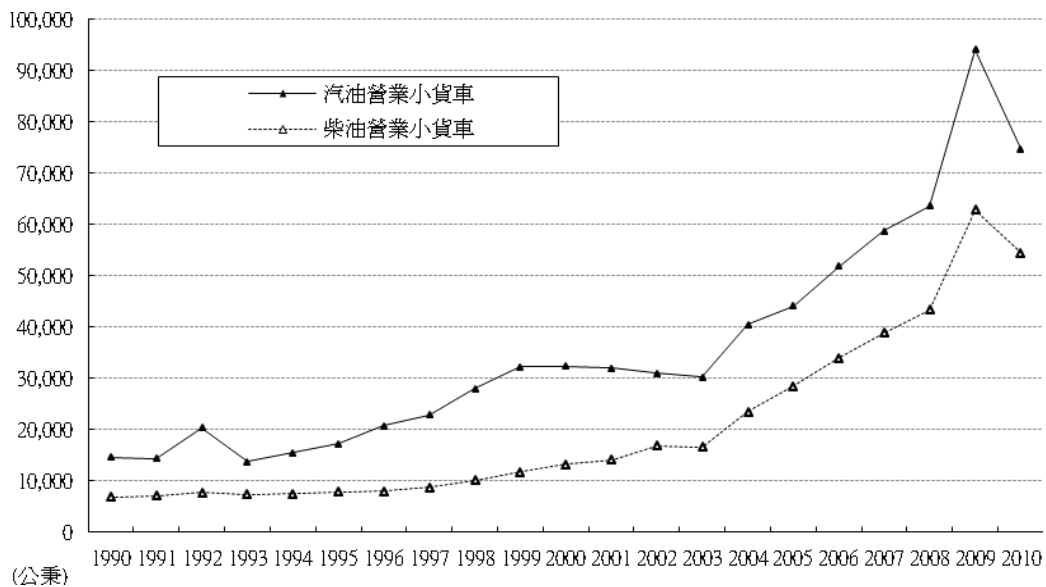
自用小貨車皆呈現長期成長趨勢，惟汽油自用小貨車近年(2006 年開始)呈現遞減趨勢，請參考圖 3.4-10。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-10 運具別自用小貨車歷史消耗量趨勢

營業小貨車則除 2010 年下降外，其餘均呈現成長趨勢，請參考圖 3.4-11。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-11 運具別營業小貨車歷史消耗量趨勢

3.4.4 模型建構

基於能源消耗量的歷史趨勢呈現波動現象，比較不適合以線性函數模型來描述其消耗量的歷史趨勢，本研究係以 Cobb-Douglas 函數為基礎，同時將政策變數機制放入該函數中，而為單一方程式獨立校估模型，其一般式可表示如方程式(3-55)：

$$E_t = \alpha_0 \chi_{1t}^{\beta_1} \chi_{2t}^{\beta_2} \dots \chi_{nt}^{\beta_n} \alpha_1^{z_{1t}} \alpha_2^{z_{2t}} \dots \alpha_m^{z_{mt}} \quad (3-55)$$

其中， E_t ：能源 E 在 t 年的消耗量

x_{it} ：自變數 x_i 在 t 年的值，假設自變數有 n 個($i=1,2,\dots,n$)

z_{jt} ：政策變數 z_j 在 t 年的值，其值為 0 或 1，1 表示 t 年已實施政策 z_j ，0 則否，假設變數共有 m 個($j=1,2,\dots,m$)

α_0 、 β_i 、 α_j ：為模型參數

此外，由於Cobb-Douglas函數的特性， β_i 之意義即為能源 E 對自變數 x_i 的彈性(elasticity)，當 x_i 為能源 E 的價格時，則 β_i 即為能源 E 的價格彈性； α_j 則稱其為政策 z_j 的乘數效應參數。

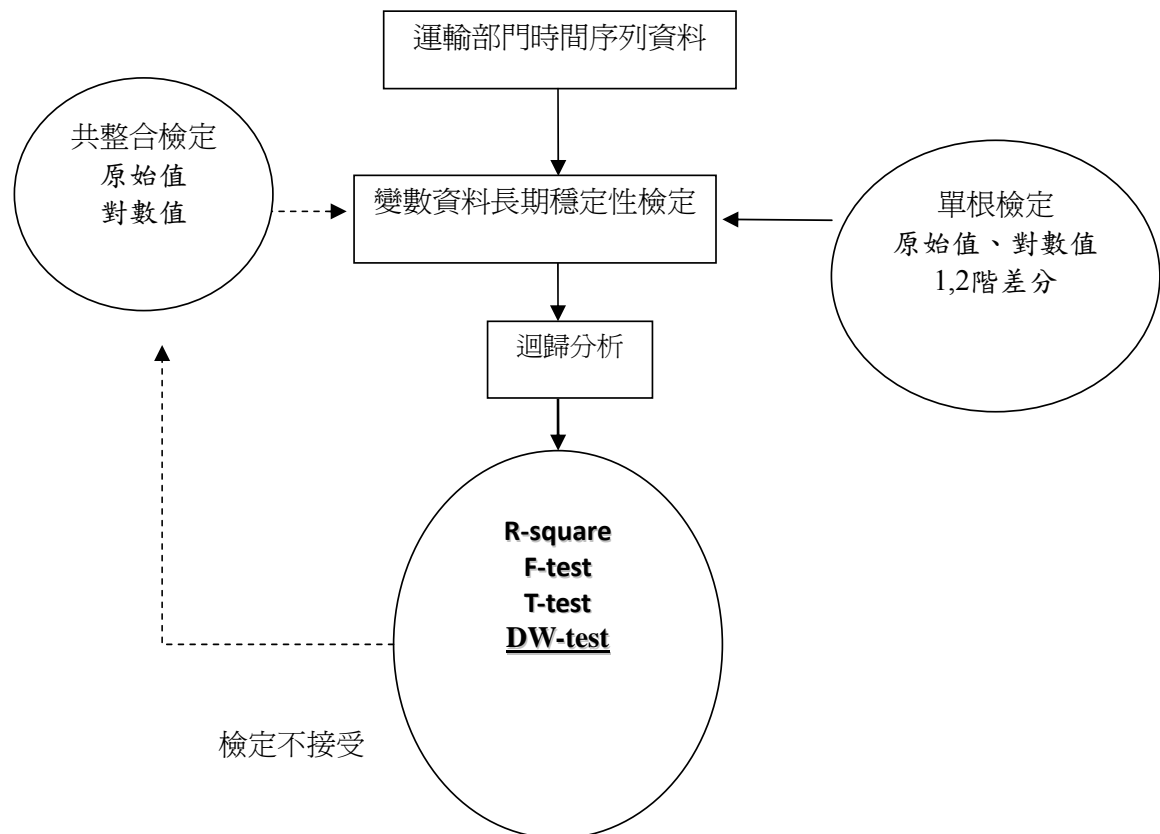
在進行模型參數校估時，可將方程式(3-55)作適當轉換以便於進行參數校估，本研究將其轉換為方程式(3-56)再進行參數校估。

$$\ln E_t = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln x_{it} + \sum_{j=1}^m z_{jt} \ln \alpha_j \quad (3-56)$$

而「聯立方程式同時校估模型」則係選取單一方程式模型中可能具有「殘差項相關」的模型組合而成，例如：具相關性之運具組合(替代或互補)、使用相同能源的運具可能受能源價格而有相關之影響效應等，這類模型實屬「近似無相關迴歸模型(Seemingly unrelated regression, SUR)」。

3.4.5 模型參數校估

本研究係以 E-Views 軟體為模型參數校估工具，由於所有變數均為時間數列資料，在進行參數校估前必須先檢定資料是否具穩定性(stationary)，主要透過單根(unit root)檢定與共整合(co-integration)檢定。此外，在得到參數校估結果後，同時檢視其 R-square、F-value 與 p-value，以作為評估是否接受該模型，此外，並檢視 DW-test 以改善「殘差項」序列相關(serial correlation)之效應，模型參數校估流程請參考圖 3.4-12。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.4-12 參數校估流程

「聯立方程式同時校估模型」參數校估結果請參考表 3.4-2 至 3.4-3，表 3.4-2 能源別及表 3.4-3 運具別「聯立方程式同時校估模型」校估結果。

表 3.4-2 能源別「聯立方程式同時校估模型」校估結果

函數	解釋變數	代號	單位	係數(註)		P-value	R ²	Durbin-Watson Stat
公路汽油	截距	C(1)		-3.660		0.000	0.986	1.912
	LnGDP(X ₁)	C(2)	新臺幣:百萬元	1.330		0.000		
	Ln汽油油價(X ₂)	C(3)	新臺幣元/公升	-0.571		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)	C(4)		0.89	-0.122	0.000		
公路柴油	LnGDP(X ₁)	C(5)	新臺幣:百萬元	0.990		0.000	0.913	0.777
	Ln柴油油價(X ₂)	C(6)	新臺幣元/公升	-0.299		0.000		
鐵路電力合計	LnGDP(X ₁)	C(7)	新臺幣:百萬元	0.678		0.000	0.958	0.642
	Ln汽油油價(X ₂)	C(8)	新臺幣元/公升	0.690		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)	C(9)		1.48	0.391	0.000		
鐵路柴油(臺鐵)	LnGDP(X ₁)	C(10)	新臺幣:百萬元	0.829		0.000	0.801	1.136
	Ln柴油油價(X ₂)	C(11)	新臺幣元/公升	-0.993		0.000		
國際水運燃油	LnGDP(X ₁)	C(1)	新臺幣:百萬元	0.959		0.000	0.376	0.740
	Ln燃料油油價(X ₂)	C(2)	新臺幣元/公升	-0.415		0.000		
國際水運柴油	截距	C(3)		-22.770		0.003	0.595	1.733
	LnGDP(X ₁)	C(4)	新臺幣:百萬元	2.408		0.000		
	Ln柴油油價(X ₂)	C(5)	新臺幣元/公升	-1.365		0.000		
國際航空燃油	截距	C(6)		-6.066		0.000	0.875	0.207
	LnGDP(X ₁)	C(7)	新臺幣:百萬元	1.276		0.000		

註：高鐵與捷運政策變數的係數值有兩個，係因模型建構時將 Cobb-Douglas 取對數求解，其對於政策變數求解出來之參數實為取對數後 $\ln \alpha$ 之值，因此其 α 參數值應為 $\ln \alpha$ 取指數後之值。例如公路汽油之高鐵政策變數係數，左側之 0.89 為 $\ln \alpha$ ，取指數後之值 -0.122 即為 α 。

資料來源：本研究整理。

表 3.4-3 運具別「聯立方程式同時校估模型」校估結果

函數	解釋變數	代號	單位	係數(註)		P-value	R ²	Durbin-Watson Stat
自用小客車	LnGDP(X ₁)	C(1)	新臺幣:百萬元	1.129		0.000	0.971	1.953
	Ln汽油油價(X ₂)	C(2)	新臺幣元/公升	-0.498		0.000		
	Ln人均持有自小客車輛數(X ₃)	C(3)	輛/平均每人	0.651		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)	C(4)		0.86	-0.156	0.000		
	捷運政策變數(Z ₂)	C(5)		0.92	-0.086	0.022		
機器腳踏車	LnGDP(X ₁)	C(6)	新臺幣:百萬元	0.996		0.000	0.383	1.301
	Ln汽油油價(X ₂)	C(7)	新臺幣元/公升	-0.893		0.000		
	Ln戶均持有機車車輛數(X ₃)	C(8)	輛/平均每戶	2.337		0.000		
	捷運政策變數(Z ₁)	C(9)		0.83	-0.191	0.000		
捷運	Ln汽油油價(X ₂)	C(10)	新臺幣元/公升	3.743		0.000	0.544	0.446
市區公車	LnGDP(X ₁)	C(11)	新臺幣:百萬元	0.820		0.000	0.787	0.454
	Ln汽油油價(X ₂)	C(12)	新臺幣元/公升	1.643		0.000		
自用小客車	LnGDP(X ₁)	C(1)	新臺幣:百萬元	1.114		0.000	0.974	2.435
	Ln汽油油價(X ₂)	C(2)	新臺幣元/公升	-0.407		0.000		
	Ln人均持有自小客車輛數(X ₃)	C(3)	輛/平均每人	0.651		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)	C(4)		0.81	-0.207	0.000		
	捷運政策變數(Z ₂)	C(5)		0.89	-0.113	0.010		
臺鐵	LnGDP(X ₁)	C(7)	新臺幣:百萬元	0.790		0.000	0.922	0.685
國道客運	LnGDP(X ₁)	C(6)	新臺幣:百萬元	1.161		0.000	0.383	1.190
汽油 自用小貨車	截距	C(1)		-10.116		0.000	0.651	1.369
	LnGDP(X ₁)	C(2)	新臺幣:百萬元	1.703		0.000		
	Ln汽油油價(X ₂)	C(3)	新臺幣元/公升	-1.185		0.000		
汽油 營業小貨車	截距	C(4)		-17.868		0.000	0.887	1.073
	LnGDP(X ₁)	C(5)	新臺幣:百萬元	1.759		0.000		
柴油 自用小貨車	截距	C(6)		2.810		0.000	0.878	0.902
	LnGDP(X ₁)	C(7)	新臺幣:百萬元	0.623		0.000		
柴油 營業小貨車	截距	C(8)		-27.304		0.000	0.859	0.335
	LnGDP(X ₁)	C(9)	新臺幣:百萬元	2.305		0.000		
柴油 自用大貨車	LnGDP(X ₁)	C(10)	新臺幣:百萬元	0.856		0.000	0.869	0.538
柴油 營業大貨車	LnGDP(X ₁)	C(11)	新臺幣:百萬元	0.924		0.000	0.898	0.859
	Ln柴油油價(X ₂)	C(12)	新臺幣元/公升	-0.205		0.000		

註：高鐵與捷運政策變數的係數值有兩個，係因模型建構時將 Cobb-Douglas 取對數求解，其對於政策變數求解出來之參數實為取對數後 $\ln \alpha$ 之值，因此其 α 參數值應為 $\ln \alpha$ 取指數後之值。例如自用小客車之高鐵政策變數係數，左側之 0.86 為 $\ln \alpha$ ，取指數後之值 -0.156 即為 α 。

資料來源：本研究整理。

表 3.4-4 則為「單一方程式獨立校估模型」，營業小客車的 GDP 彈性 0.81，另外在柴油運具部份，自用大客車模型的柴油價格彈性值為-1.114；遊覽車的 GDP 彈性為 0.741，一般公路客運人均的持有自小客車輛數彈性為-0.284；戶均持有機車輛數彈性值為-0.862；捷運政策參數值為 0.16 而臺汽民營化政策參數值為-0.143。

表 3.4-4 「單一方程式獨立校估模型」校估結果

函數				解釋變數	單位	係數(註)		P-value	R ²	Durbin-Watson Stat
公路	汽油	小客車	營業	LnGDP(X ₁)	新臺幣:百萬元	0.81		0.000	0.460	20.40
				AR(1)		0.914		0.000		
	柴油	大客車	自用	截距		13.112		0.000	0.827	0.418
				Ln柴油油價(X ₁)	新臺幣元/公升	-1.114		0.000		
			遊覽車	LnGDP(X ₁)	新臺幣:百萬元	0.741		0.000	0.785	0.510
			一般公路客運	截距		18.079		0.000	0.88	2.122
				Ln 人均持有自小客車輛數(X ₃)	輛/平均每人	-0.284		0.000		
				Ln 戶均持有機車輛數(X ₃)	輛/平均每人	-0.862		0.003		
				捷運政策變數(Z ₁)		1.174	0.16	0.003		
				臺汽民營化政策變數		0.867	-0.143	0.000		

註：捷運與臺汽民營化政策變數的係數值有兩個，係因模型建構時將 Cobb-Douglas 取對數求解，其對於政策變數求解出來之參數實為取對數後 $\ln \alpha$ 之值，因此其 α 參數值應為 $\ln \alpha$ 取指數後之值。例如一般公路客運之捷運政策變數係數，左側之 1.174 為 $\ln \alpha$ ，取指數後之值 0.16 即為 α 。

資料來源：本研究整理。

3.5 小結

本章說明本研究所建構之運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型所採用之方法論與理論架構。其中運輸 CGE 模型打破以往 CGE 模型對於運輸部門之處理方式，將具有運輸部門特性之運具選擇模式、旅行時間及容量限制等因素納入 CGE 架構當中。另一方面為推估運輸部門各運具之能源消耗特性與趨勢，建構運具能源消耗之聯立方程式，運用 SUR 模型進行計量推估。基於模型特性，本研究建構之運輸部門模型將以總體面之經濟影響與減量成本評估為主要分析對象，對於空間性議題、尖離峰時間分布等問題，則必須仰賴其他方法或模型，進行整合評估。為達成使模型順暢運作目標，後續於第四章介紹模型使用之資料庫內容與建置方法。

第四章 資料需求與來源

4.1 基礎資料庫架構

為配合模型設計與議題探討，本研究所需資料庫內容涉及層面廣泛，包含影響運輸需求之相關因素、運具技術發展條件、造就人類行為並衍生運輸需求之經濟因素，以及由運輸需求所衍生之能源消耗與溫室氣體排放等(表 4.1-1)。

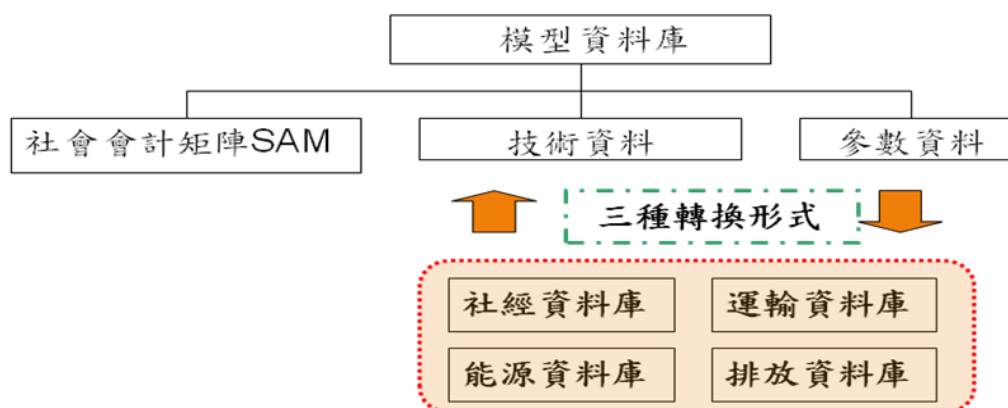
表 4.1-1 模型所需關鍵性資料

需求量	<ul style="list-style-type: none">■ 汽車人口及其成長率、人均及戶持有率■ 各運具之車輛數、能耗量、運量、排放量■ 各運具之車均乘載率、使用頻率(小時/週)■ 日均通勤時間、年均出差及旅遊日數
技術因素	<ul style="list-style-type: none">■ 排放係數(含直接與間接排放)■ 車均 MPG■ 車均耐用年數、年均行車里程■ 生質燃料摻配比例
經濟因素	<ul style="list-style-type: none">■ 公共運輸之票價■ 自用各車種之銷售量、市場售價■ 運具之里均使用成本(含燃料、折舊與維護)■ 能源價格(包括電價)■ 各運具之需求的所得彈性與價格彈性(包括車種需求、運量需求及能源需求)■ 人均 GDP、GDP 成長率、貸款利率、關稅

資料來源：本研究整理。

藉由運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台之串連，模型資料庫可與其他資料庫存在三種轉換形式(圖 4.1-1)：

- 1.經由原始資料蒐集、整理與分析即可轉換，例如：運量、總計能耗量、排放係數、燃油效率、彈性係數、技術參數等；



資料來源：本研究繪製。

圖 4.1-1 模型資料庫與資訊平台資料庫之關係

2. 必須經由計算或建立輔助模型推估即可轉換，例如：細分類能耗量推估、排放量推估、既有研究成果或文獻無法提供之參數或技術學習曲線等；
3. 輸出入變數之間的轉換(校估或模擬過程的一致性檢定)，例如：社經變數、能源價格、運輸服務價格、運量、能耗量、排放量(總計量與細分量)等。

以下茲分別就運輸 CGE 模型資料庫之資料需求與資料編製、運具能源消耗預測模型之資料需求、取得與計算方法進行說明，最後提出後續工作重點。

4.2 運輸 CGE 模型資料庫

運輸 CGE 模型資料庫主要包括社會會計矩陣 (Social Accounting Matrix, SAM)、社經資料、能源資料、排放資料與彈性參數資料等。

4.2.1 社會會計矩陣

社會會計矩陣(以下稱 SAM 表)為描述經濟體系商品、勞務與資金之流向，而以矩陣形編製之投入-產出示意表。隨著 CGE 模型分析議題不同，SAM 表亦以不同形式存在，例如為評估環境影響之環境 SAM 表、為分析財政問題而建置之細部政府收支 SAM

表、為評估勞動結構、研發活動、能源結構等不同領域議題所編製之 SAM 表。

由於經濟體系多元，為使研究方向聚焦以深刻探討運輸部門與經濟體系之互動，建構模型與 SAM 表時，必須對非運輸部門適當取捨，非研究重點之部門則適度加總，以使模型具備良好的操作性。

本研究之 SAM 表架構如表 4.1-2 所示，利用國民所得統計、產業關聯表，以及全國賦稅統計等資料，SAM 總帳表已編製如表 4.1-3 所示，SAM 表編製過程與資料來源彙整於附錄 7。該表與過去國內相關研究歷來編製之 SAM 表主要差異包括：

(1) 其他間接稅與規費

間接稅包含進口稅(關稅、進口品商港建設費、進口品貨物稅、進口品菸酒稅、進口品健康福利捐)與其他間接稅(國產品貨物稅、營業稅、印花稅、使用牌照稅、地價稅、房屋稅、娛樂稅、國產品菸酒稅、國產品健康福利捐、其他生產者繳納之規費等)。過去在文獻中僅區分進口關稅、進口品貨物稅及國產品貨物稅，其他間接稅則併為其他稅捐一項。為符合運輸部門評估所需，除上述稅捐外，本研究特別將汽車燃料費自「其他間接稅與規費」項下離析，以做為第五章汽燃費隨油徵收與補貼公共運輸票價等政策評估與模擬之用。

(2) 區隔政府、公營企業與民營企業

區隔資本帳中，政府、公營企業、與民營企業之固定資本形成與折舊。

(3) 修正部門分類

2006 年產業關聯表部門分類相較 2004 年與 2001 年，變幅度較大，與溫室氣體減量議題相關性較高，且差異較大的部門包括：原油及天然氣礦產(012)、煤(01520)、棉及棉紡織品(031)、人造纖維及玻璃纖維紡織品(033)、鞋類製品(041)、精密化學材料(05160)、半導體(079)、光電材料及元件(080)、電燈泡及燈管(09110)、其他家用電器(09290)、機械設備

(094-097)、汽電共生及蒸汽(10820)、污染整治(111-114)等，本研究將配合探討議題及上述部門更動，設定模型部門分類。

其次為建構完整之運輸部門分類，本研究特別將運輸部門相關之產業類別細分(表 4.1-4)，包括：

- a. 油品區分為汽油、柴油、航空用油、燃料油等，為將目前生質柴油摻配規範與 E3 生質酒精使用現況，另建立此兩類生質燃料；
- b. 為呈現運輸業者與自有運具使用情形，模型同時將運輸工具區分為汽車、機車、自行車、船舶、航空器、軌道車輛等類別，未來在進一步蒐集資料下，可按車輛技術再予以細分；
- c. 考慮到將來基礎建設對運輸部門之影響，本研究同時細分機場工程、鐵路工程、道路工程、港埠工程與油氣輸送工程等公共工程項目；
- d. 在運輸服務業部分，首先區分客、貨運大類別，其次依運具別，將軌道客運區分為鐵路客運與大眾捷運系統，由於基期資料為 2006 年，尚未有高速鐵路投入服務，因此於設計模型時，暫且將高速鐵路與臺灣鐵路整併；公路運輸則分為國道客運、非國道之一般公路客運、市區公車、計程車、其他汽車客運業，由於未能取得細部成本資料，遊覽車與非直接營業用之接駁車、交通車等歸併於其他汽車客運業中；水運與航空客運則各屬一類；貨運部分則有臺鐵貨運、公路貨運與公路自營貨運、水上國際貨運、水上國內貨運與航空貨運等類。

表 4.1-2 運輸 CGE 模型之社會會計矩陣架構

	活動帳 C1	商品帳 C2	要素帳		機構帳			資本帳				國外帳 C15	總收入 C16
	勞動 C3	資本 C4	民營企業 C5	公營企業 C6	家計 C7	政府 C8	政府 C9	公營企業 C10	民營企業 C11	公營企業存貨 C12	民營企業存貨 C13	合計 C14	
活動帳 R1		國產品內銷					政府固定資本形成	固定資本形成	固定資本形成	存貨增加	存貨增加	固定資本形成毛額總和	出口
商品帳 R2	中間投入				家計消費	政府消費							(1)
要素帳	勞動 R3												(2)
	勞動報酬												(3)
	資本 R4												(4)
	營業盈餘												(5)
機構帳	民營企業 R5		企業財產及所得收入		家計對國內企業移轉	政府對國內企業移轉							(6)
	公營企業 R6		政府財產及所得收入										(7)
	家計 R7		家計單位勞動報酬	家計財產與企業所得淨額	家計對國內企業移轉	政府對國內企業移轉						國外對家計經常移轉	
	國產貨物稅	進口貨物稅		營利事業所得稅	綜合所得稅								
	加值型營業稅	進口關稅			加值型營業稅		加值型營業稅	加值型營業稅	加值型營業稅	加值型營業稅	加值型營業稅	加值型營業稅	
	非加值營業稅			契稅	遺產稅								
	印花稅				贈與稅								
	牌照稅				契稅								
	地價稅												
	房屋稅												
政府 R8	娛樂稅												
	國產菸酒稅	進口菸酒稅		土地增進稅	土地增進稅								
	國產健康福利捐	進口健康福利捐		證券交易稅	證券交易稅								
	其他間接稅與雜費	進口其他間接稅與雜費		期貨交易稅	期貨交易稅								
	-補助金		企業對國內政府移轉	企業對國內政府移轉	家計對國內政府經常移轉							國外對政府經常移轉	
	設置折舊					政府儲蓄							(9)
	折舊			企業儲蓄									(10)
	折舊			企業儲蓄	家計儲蓄								(11)
													(12)
													(13)
國外帳 R15		進口	國外受僱人員報酬支付	國外財產企業所得支付	家計對國外移轉	政府對國外經常移轉						國外無形資產購入淨額與賣出淨額總和	資本移轉收入淨額
總支出 R16	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)

貸出淨額 = 對外經常交易餘額 + (資本移轉收入淨額 - 國外其他無形資產購入淨額)

資料來源：本研究繪製。

表 4.1-3 社會會計矩陣編製結果

		活動帳 C1	商品帳 C2	要素帳		機構帳			
				勞動 C3	資本 C4	民營企業 C5	公營企業 C6	家計 C7	政府 C8
活動帳 R1			國產品內銷 20,237,789						
商品帳 R2		中間投入 16,618,987						家計消費 7,154,003	政府消費 1,469,296
要素帳	勞動 R3	勞動報酬 6,324,738							
	資本 R4	營業盈餘 3,579,022							
機構帳	民營企業 R5			企業財產及所得收入 3,546,228				家計對國內企業移轉 0	政府對國內企業移轉 138,607
	公營企業 R6			政府財產及所得收入 348,104					
	家計 R7			家計單位勞動報酬 6,321,127		家計財產與企業所得淨額 2,471,622 企業對國內家計移轉 138,011			
								家計對國內家計移轉 71,764	政府對國內家計移轉 378,134
	政府 R8	國產貨物稅 137,219	進口貨物稅 21,982			營利事業所得稅 311,888	政府財產及企業所得收入 348,995	綜合所得稅 334,330	
		能源類石油基金 1,156	進口關稅 79,567					加值型營業稅 94,341	
		加值型營業稅 43,111							
		非加值營業稅 48,607							
		印花稅 8,714							
		牌照稅 52,548							
		汽車燃料使用費 5685						汽車燃料使用費 37,419	
		空氣污染防治費 3,558							
		土壤及地下水污染整治費 593							
		回收清除處理費 7,374							
地價稅 54,660							遺產稅 23,516		
房屋稅 52,494							贈與稅 5,177		
娛樂稅 1,986					契稅 2,734	契稅 11,280			
國產菸酒稅 33,667	進口菸酒稅 17,375			土地增值稅 14,931		土地增值稅 61,616			
國產健康福利捐 10,107	進口健康福利捐 7,401			證券交易稅 17,547		證券交易稅 72,407			
其他間接稅與規費 9,848	進口其他間接稅與規費 9,361			期貨交易稅 794		期貨交易稅 3,279			
	-補助金 -62,632				企業對國內政府移轉 18,571		家計對國內政府經常移轉 63,428		
資本帳	政府 R9	設算折舊 280,688				企業儲蓄 -891			政府儲蓄 56,811
	公營企業 R10	折舊 151,820							
	民營企業 R11	折舊 1,190,965				企業儲蓄 708,737		家計儲蓄 1,321,382	
	合計 R14	1,623,473	0	0	0	708,737	-891	1,321,382	56,811
國外帳 R15			進口 7,576,839	國外受僱人員報酬支付 13,208	國外財產企業所得支付 304,216			家計對國外移轉 250,602	政府對國外經常移轉 2,245
總支出 R16		28,554,915	27,950,314	6,334,335	4,198,548	3,684,835	348,104	9,504,544	2,045,093
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

資料來源：本研究繪製。

表 4.1-3 社會會計矩陣編製結果(續)

資本帳						國外帳 C15	總收入 C16	
政府 C9	公營企業 C10	民營企業 C11	公營企業存貨 C12	民營企業存貨 C13	合計 C14			
						出口 8,317,126	28,554,915	(1)
最初固定資本形成 175,313	固定資本形成 188,326	固定資本形成 2,097,821	存貨增加 29,702	存貨減少 15,866	固定資本形成毛總額和 2,798,326		27,950,314	(2)
						國外受僱人員 報酬收入 9,597	6,334,335	(3)
						國外財產企業 所得收入 619,526	4,198,548	(4)
							3,684,835	(5)
							348,104	(6)
							8,792,749	(7)
						國外對家計經 常移轉 123,886	711,795	
加值型營業稅 9,615						加值型營業稅 8,591	1,154,414	(8)
							80,723	
							214,968	
							48,607	
							8,714	
							52,548	
							43,104	
							3,558	
							593	
							7,374	
							78,176	
							57,671	
							16,000	
							127,589	
							107,462	
						國外對政府經 常移轉 943	23,282	
							20,310	
							337,499	(9)
							150,929	(10)
							3,221,084	(11)
0	0	0	0	0	0	資本移轉收入 淨額 -1,789	3,707,723	(12)
國外無形資產購入淨額與 貸出淨額總和 930,770							9,077,880	(13)
384,928	194,176	2,151,566	30,168	16,115	3,707,723	9,077,880		
(9)	(10)	(11)	(10)	(11)	(12)	(13)		

資料來源：本研究繪製。

表 4.1-4 運輸 CGE 模型產業部門分類

編號	產業別(90)	IO部門(三碼)	編號	產業別(90)	IO部門(三碼)
1	農林漁牧業	1Agrilive	46	其他製品	46MisProd
2	原油	2CrudeOil	47	發電業	47ELEp
3	天然氣	3Naturalgas	48	輸配電與營銷	48EndUseElec
4	探勘	4ExploExp	49	燃氣	49Gas
5	煤	5Coal	50	自來水	50Water
6	金屬製造	6Metal	51	環保相關工程	51EnvProtect
7	其他非金屬礦物	7NonMetMin	52	機場工程	52Airport
8	食品菸酒	8FoodProd	53	鐵路工程	53RailWorks
9	人造纖維及其織品	9Fabrics	54	道路工程	54RoadWorks
10	成衣與紡織品	10TextAppa	55	港埠工程	55Harbor
11	紙及紙製品	11Paper	56	水利工程	56Hydraulic
12	汽油	12Gasoline	57	戶外輸配電路工程	57OutEleDistri
13	生質酒精	13Bioethanol	58	電訊線路工程	58TelecomLine
14	柴油	14DieselFuel	59	油、氣儲送工程	59OilGasStor
15	生質柴油	15BioDiesel	60	其他公共工程	60MisCons
16	航空用油	16AviatFuel	61	商品經紀與批發零售	61WholRetl
17	燃料油	17FuelOils	62	鐵路客運	62RailPassen
18	其他石油煉製品	18MisOil	63	鐵路貨運	63RailFreight
19	焦炭及其他煤製品	19CoalProd	64	大眾捷運系統客運	64PRT
20	基本化學材料	20ChemMat	65	國道客運	65ExprsPassen
21	石油化工原料	21PetroMat	66	一般公路客運	66RoadPassen
22	其他化學製品	22ChemProd	67	市區公車	67UrbanBus
23	橡膠與橡膠製品	23RubberProd	68	計程車客運業	68Taxi
24	塑膠與塑膠製品	24PlasticProd	69	其他汽車客運業	69MisPassen
25	水泥	25Cement	70	貨運	70Freight
26	其他非金屬礦物	26NonMetallic	71	自營貨運	71OwnFreight
27	鋼鐵及其製品	27IronSteel	72	水上國際貨運	72WatFreInt
28	其他金屬及其製品	28MetalPrd	73	水上國內貨運	73WatFreDom
29	半導體	29SemiCond	74	水上客運	74WatPassen
30	光電材料及元件	30Optoelec	75	空中客運	75AirPassen
31	印刷電路板組件	31PrintCircuit	76	空中貨運	76AirFreight
32	其他電子零組件	32MisElec	77	運輸輔助	77SupporTrans
33	電腦產品與週邊設備	33Computer	78	倉儲郵政快遞	78StorPostal
34	通訊傳播設備	34Communicatio	79	住宿餐飲服務	79AccFoodBev
35	精密機械	35PrcisInstr	80	出版與廣播電視	80PublishRadio
36	發電、輸電及配電設備	36PowerMach	81	電信服務	81Telecomm
37	家用電器及電機器材	37Appliances	82	電腦系統設計與資料處理	82ComDsnData
38	機械	38Machinery	83	金融保險	83Financial
39	汽車	39Vehicles	84	研究發展服務	84Research
40	船舶	40Ships	85	建築、工程及相關技術檢測	85TechTestSev
41	機車	41Motocycles	86	租賃服務	86Renting
42	自行車	42Bicycles	87	旅行服務	87Travel
43	航空器	43Aircraft	88	建築物及綠化服務	88BuildGreen
44	軌道車輛	44Track	89	公共行政服務	89PubSev
45	其他運輸工具	45MisTrnEquip	90	其他服務	90MisSEV

4.2.2 產業關聯表

SAM 總帳表編製完成後，需要利用產業關聯表各產業部門、家計部門、政府部門、進出口等帳表，取得產業生產成本結構與商品銷售結構資訊。產業關聯表為主計處依據每五年舉辦一次之全國工商業普查資料所編製，距今最新帳表為 2006 年，本研究利用該年帳表編製模型所需基礎資料。

表 4.2-1 至表 4.2-2 彙整產業關聯表中，運輸部門相關資訊。由表 4.2-1 可知家計部門主要能源支出為汽油，佔總消費支出之 1.79%，其次為電力，佔 1.07%；家計部門運具維護修配及購買支出以汽車為主，佔總消費支出之 2.44%；家計部門之公共運輸支出，以空中運輸之客運為最高，佔 1.93%，其次為非軌道之其他陸上運輸，佔 1.27%，其中約 3 成為貨運支出。

表 4.2-1 家計部門之運輸相關消費支出結構

			民間消費支出 (百萬元)	民間消費比重 (%)				民間消費支出 (百萬元)	民間消費比重 (%)					
能源	012	原油及天然氣礦產	0	0.00	車輛	098	汽車	174207	2.44	運輸服務	122	軌道車輛運輸	15878	0.22
	01210	原油	0	0.00		09810	汽車	170779	2.39		12210	鐵路客運	6992	0.10
	01220	天然氣	0	0.00		09820	汽車車體	0	0.00		12220	鐵路貨運	22	0.00
	01230	探勘費	0	0.00		09830	汽車引擎	0	0.00		12230	大眾捷運系統	8864	0.12
	015	其他非金屬礦產	0	0.00		09891	零組配件	3428	0.05		123	其他陸上運輸	91078	1.27
	01520	煤	0	0.00		099	船舶	0	0.00		12310	客運	56012	0.78
	01530	粗鹽	0	0.00		09910	商船	0	0.00		12320	貨運	28122	0.39
	01590	其他非金屬礦產	0	0.00		09920	遊艇	0	0.00		12330	自營貨運	6944	0.10
	049	石油煉製品	131665	1.84		09990	其他船舶	0	0.00		124	水上運輸	1300	0.02
	04910	汽油	128403	1.79		09991	零組配件	0	0.00		12410	國際貨運	0	0.00
	04920	柴油	516	0.01		100	機車	30708	0.43		12420	國內貨運	135	0.00
	04930	航空用油	0	0.00		10010	機車	30429	0.43		12430	客運	1165	0.02
	04940	燃料油	0	0.00		10020	機車引擎	0	0.00		125	空中運輸	138466	1.94
	04950	煤油	10	0.00		10091	零組配件	279	0.00		12510	客運	138311	1.93
	04960	潤滑油	2736	0.04		101	自行車	4808	0.07		12520	貨運	155	0.00
	04970	輕油(石油腦)	0	0.00		10110	自行車	4482	0.06		12590	其他空運服務	0	0.00
	04980	煉油氣	0	0.00		10191	零組配件	326	0.00		126	運輸輔助服務	29761	0.42
	04991	瀝青	0	0.00		102	其他運輸	994	0.01		12610	報關服務	0	0.00
	04992	其他石油煉製品	0	0.00		10210	航空器	0	0.00		12620	船務代理及貨	3699	0.05
	050	焦炭及其他煤製品	0	0.00		10220	軌道車輛	0	0.00		12630	停車服務	17980	0.25
	05000	焦炭及其他煤製品	0	0.00		10290	其他運輸	994	0.01		12640	陸運輔助	3056	0.04
	108	電力及蒸汽	85984	1.20							12650	水運輔助	0	0.00
10810	電力	76653	1.07					12660	空運輔助	4790	0.07			
10820	汽電共生及蒸汽	9331	0.13					12690	其他運輸服務	236	0.00			

資料來源：主計處網頁 <http://www.dgbas.gov.tw/np.asp?ctNode=2838>。

由能源銷售對象觀察，表 4.2-2 顯示運輸服務業中，汽油主要使用者為其他陸上運輸，柴油亦同，燃料油則為水上運輸，電力

則以軌道及運輸輔助為主。

表 4.2-2 運輸服務業能源消耗佔能源總消耗比重

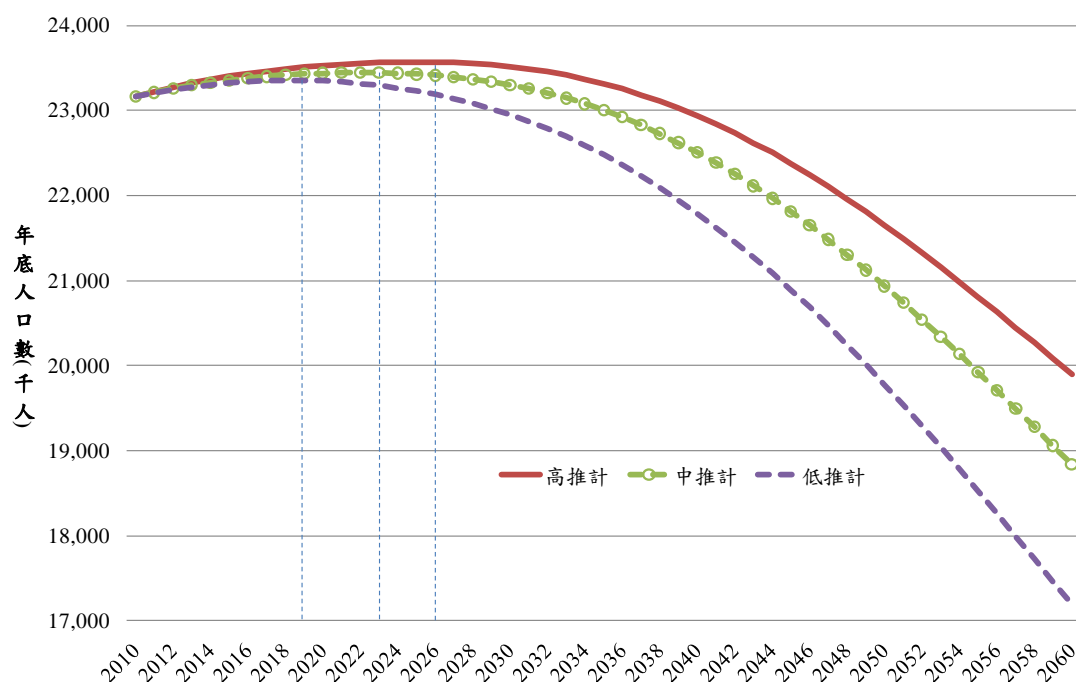
	%	軌 道 輸 車	上 其 他 輸 陸	水 輸 上 運	空 輸 中 運	助 運 服 輸 務 輔
012	原油及天然氣礦產	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01210	原油	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01220	天然氣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01230	探勘費	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
015	其他非金屬礦產	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
01520	煤	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
01530	粗鹽	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01590	其他非金屬礦產	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
049	石油煉製品	0.07	5.76	2.71	6.15	0.65
04910	汽油	0.01	5.31	0.14	0.12	0.38
04920	柴油	0.29	18.18	6.32	0.00	1.67
04930	航空用油	0.00	0.00	0.00	47.82	0.56
04940	燃料油	0.01	0.93	8.14	0.00	0.22
04950	煤油	0.25	5.96	2.48	1.49	1.82
04960	潤滑油	0.07	6.27	2.18	0.68	0.70
04970	輕油(石油腦)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04980	煉油氣	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04991	瀝青	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04992	其他石油煉製品	0.05	2.60	0.02	6.54	4.46
050	焦炭及其他煤製品	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05000	焦炭及其他煤製品	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108	電力及蒸汽	0.31	0.15	0.01	0.18	0.23
10810	電力	0.35	0.17	0.02	0.20	0.26
10820	汽電共生及蒸汽	0.15	0.08	0.00	0.09	0.11

資料來源：主計處網頁 <http://www.dgbas.gov.tw/np.asp?ctNode=2838>。

4.2.3 社經資料

1. 人口預測

本研究使用之人口預測資料，直接引用自經建會「2010 年至 2060 年臺灣人口推計」之中推計結果。由該推估結果(圖 4.2-1)看到臺灣人口正急速萎縮，高、中、低推計結果預估最快於 2018 年，最慢於 2026 年開始呈現人口負成長趨勢。



資料來源：經建會網頁 <http://www.cepd.gov.tw/ml.aspx?sNo=0000455> 及本研究繪製。

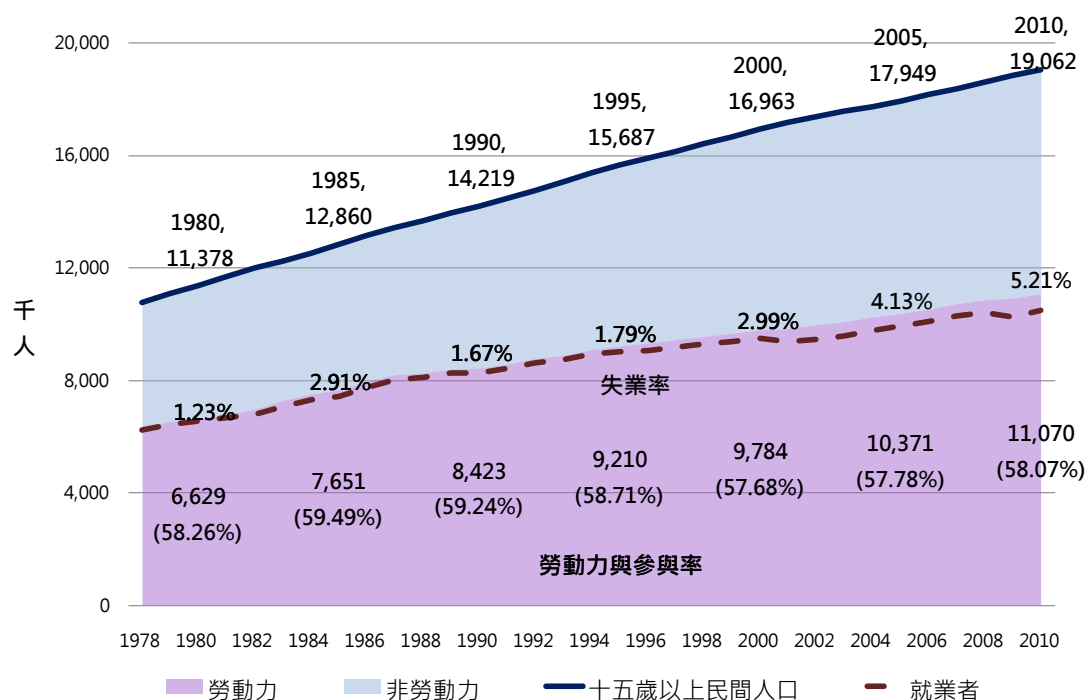
圖 4.2-1 人口預測

2. 總要素生產力

總要素生產力為經濟成長之重要動力來源，一般而言，總要素生產力定義為單位原始投入(包括勞動、資本)之產出，但因模型採巢式結構設定生產函數，該項參數並非可由投入與產出直接計得，是故本研究除蒐集歷史指數資料參考，還必須以校準方式，修正此項參數，以確保模型能掌握實際的重要經濟數據。

3. 就業人數與失業率

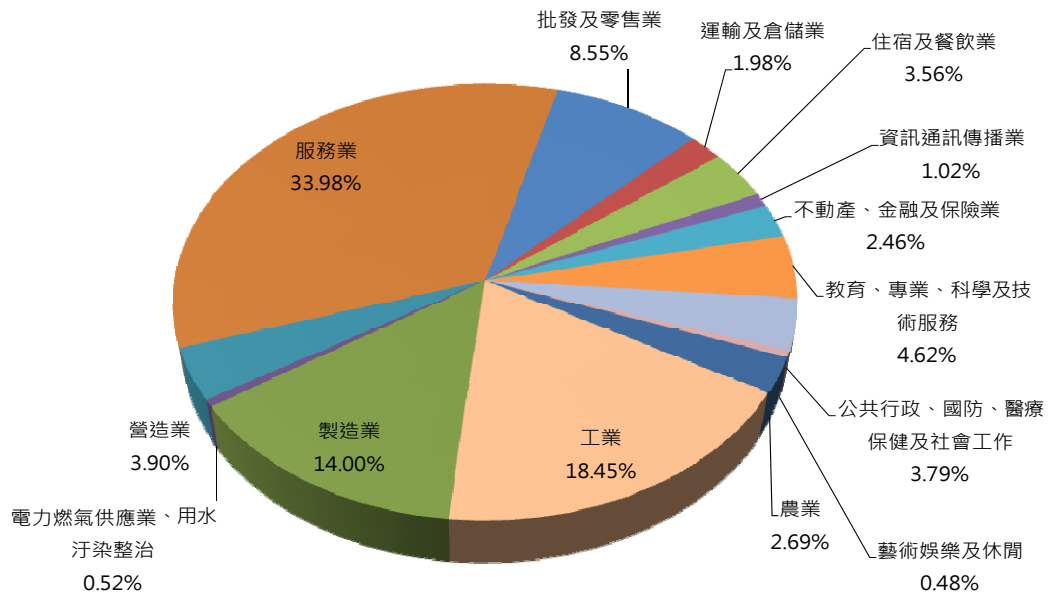
綜觀國內勞動市場變化(參考圖 4.2-2)，均為逐年穩定上升之趨勢，1978 年至 2010 年之間，勞動參與率(勞參率)始終維持在 57% 至 61% 之間，2001 年以後可發現勞動力與就業者之間逐漸擴大差距，表示失業人數攀升，去年(2010 年)失業率為 5.21%，勞參率則為 58.07%。



資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

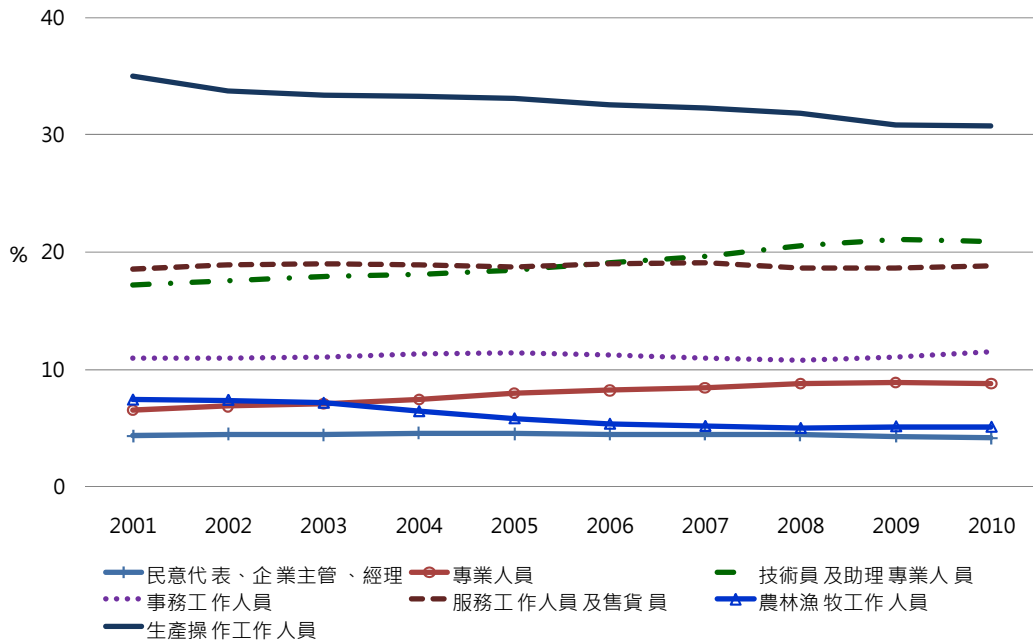
圖 4.2-2 臺灣就業狀態

依據行政院主計處第八次修訂之行業標準，將 2010 年行業結構繪如圖 4.2-3，可得國內就業市場以服務業 33.98%、工業 18.45%、製造業 14% 為主，近十年來此三大產業之中僅服務業為穩定微幅上升，其他行業同樣為成長趨勢的包括教育、專業科學與技術服務、醫療保健與社會服務、住宿餐飲業，而農業、運輸倉儲、批發零售業則相對減少，若由職業別來看，依據主計處職業標準分類第六次修訂結果，發現生產操作人員雖然佔比最大，但近年來逐漸下降，而專業人員與技術助理專業人員則微幅增加 (參考圖 4.2-4)。



資料來源：行政院主計處，依據行業標準分類第八次修訂，職業標準分類第六次修訂（98 年以後）。

圖 4.2-3 99 年臺灣就業者行業結構

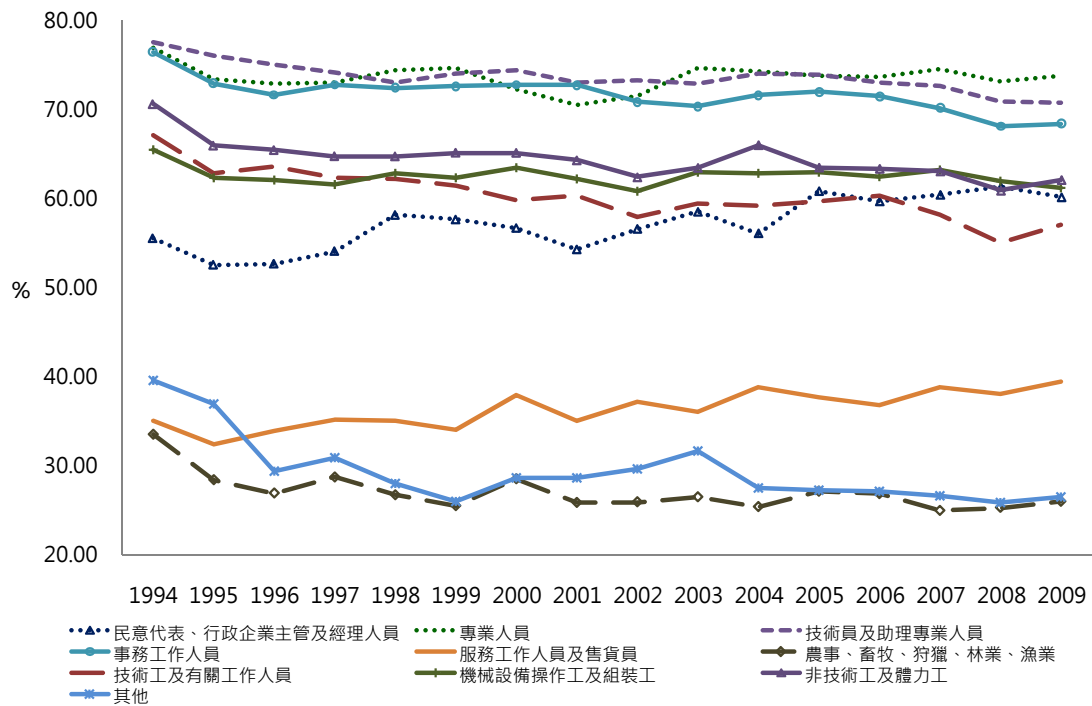


資料來源：行政院主計處，行業標準分類第八次修訂、職業標準分類第五次修訂。

圖 4.2-4 臺灣就業者職業結構趨勢

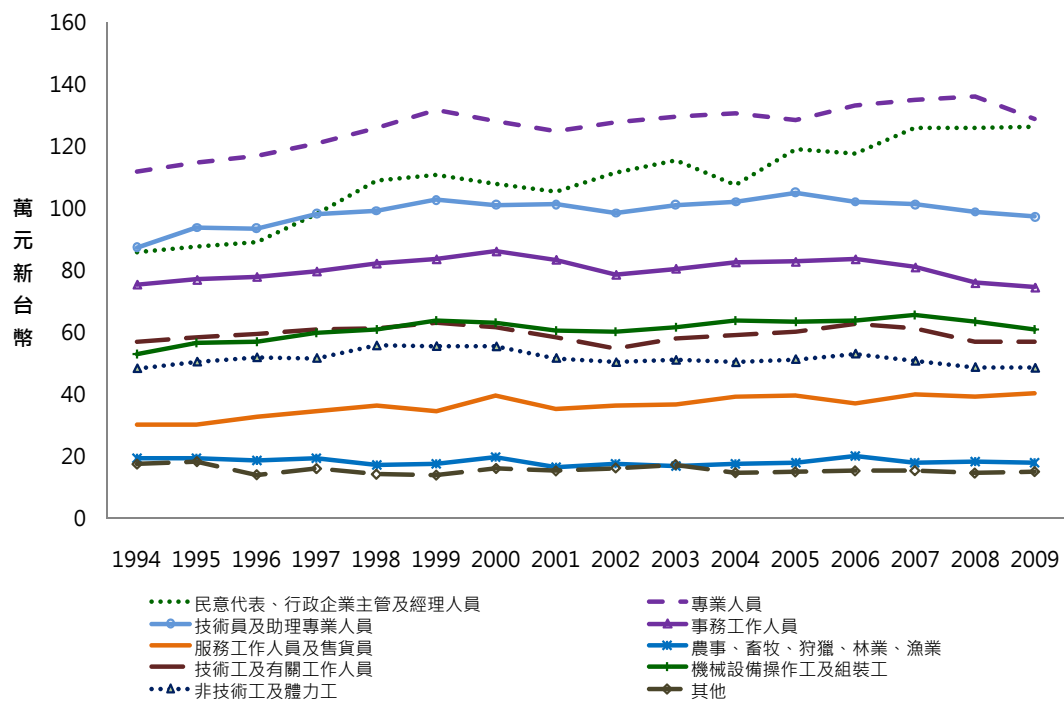
4. 家庭收入與薪資所得

臺灣自 2000 年以來，失業率直線攀升且從未低於 4% (圖 4.2-2)，另方面由於多數家庭所得收入來源以勞動報酬為主(圖 4.2-5)，工資的差異(圖 4.2-6)成為貧富差距擴大(圖 4.2-7)的重要因素。



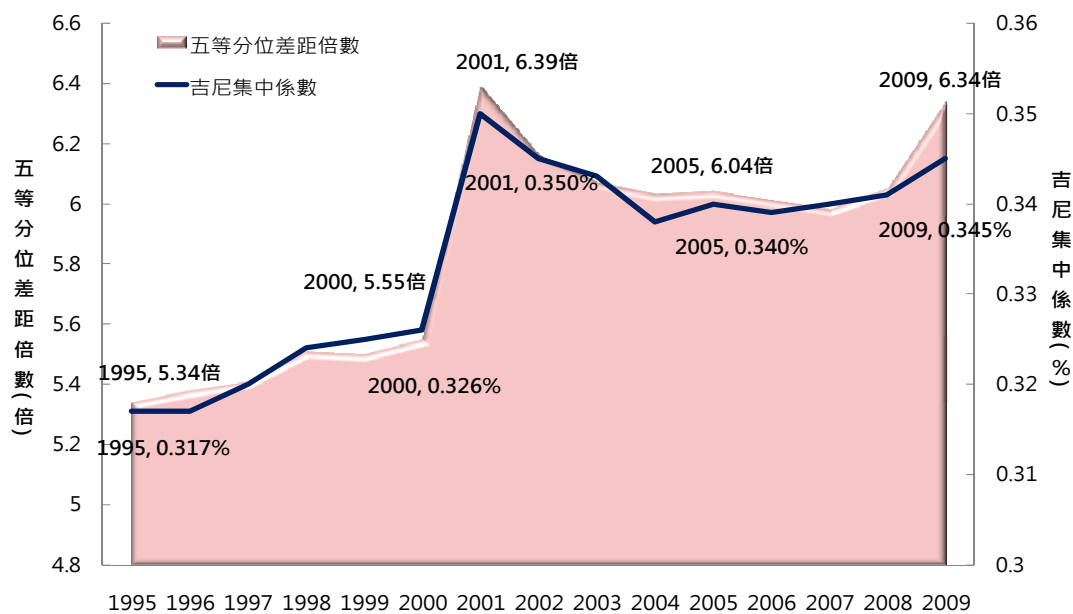
資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 4.2-5 勞動報酬佔家庭收入比重(職業別)



資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 4.2-6 各職業別平均家庭勞動報酬

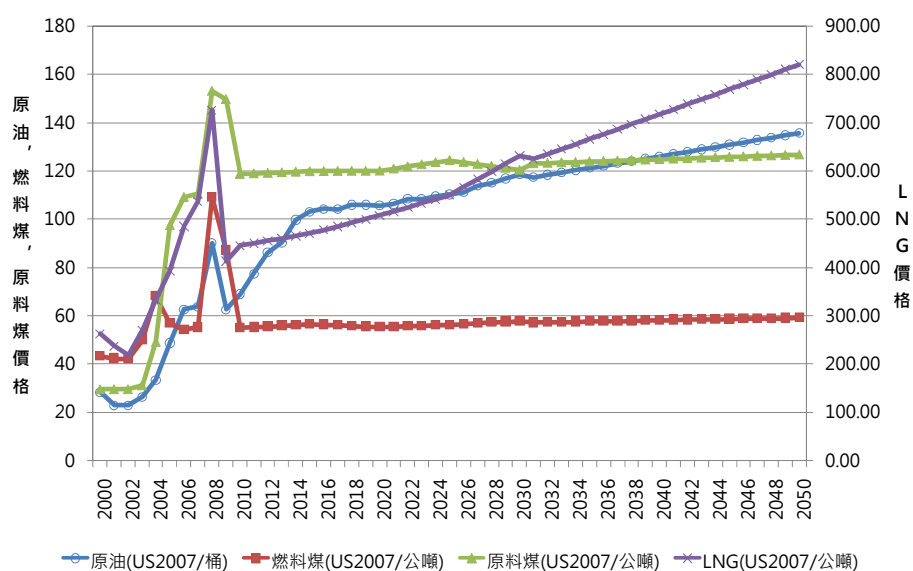


資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 4.2-7 臺灣歷年所得分配概況

5. 國際能源價格

由於模型採小國假設，故對於國外部門之處理，特別是國際市場均衡價格，多以外生給定，因此必須蒐集其他研究所做預測，做為輸入模型之基礎資料。目前模型採用的國際能源價格預測資料為工研院所推估，工研院依據 EIA 出版於 AEO 2009 之國際能源價格預測(2006-2030)，推計每五年之原油、燃料煤、原料煤、與天然氣資料。由於模型需要每一年價格資料，故本研究另以內插法求得每五年中間各年度之價格。計算結果如圖 4.2-8 所示，燃料煤與原料煤價格呈現平穩趨勢，原油與天然氣價格則逐年上漲，而天然氣上漲速度又高於原油。



	原油 (US2007/桶)	燃料煤 (US2007/公噸)	原料煤 (US2007/公噸)	液化天然氣 (US2007/公噸)
2010	68.82	54.84	118.60	444.93
2015	102.93	56.52	119.73	470.08
2020	105.51	55.18	119.97	507.05
2025	109.97	56.19	124.33	549.15

資料來源：歷史年與每五年預測來自 AEO 2009 與工研院推估結果，中間年度利用內插法計算。

圖 4.2-8 國際能源價格設定值

4.2.4 彈性參數

此外，CGE 模型使用許多商品或要素間之替代彈性，在多數模型中這些彈性皆須仰賴外部資訊，外生設定之。為此，表 4.2-3 彙整 CGE 模型相關文獻中對運輸部門所設定之替代彈性。由於模型各有不同，因此難以將模型中對替代彈性之定義逐一彙整。模型最終使用之替代彈性未必為表中任何一組，而須經校估過程，調校替代彈性，直至結果可複製歷史，方能確定在校估後之參數設定下，模型能掌握經濟系統之運作趨勢。

表 4.2-3 CGE 模型文獻中之替代彈性

文獻	(能源\資本) 替代彈性	(能源\其 他投入) 替代彈 性	(電力\ 非電 力)替 代彈性	(化石 \AFV)運 輸服務替 代彈性	(購入\ 私人) 運輸替 代彈性	燃料自身 價格需求 彈性
Mazumder (2004)	能源\運具 1.0			1.0		
Schäfer and Jacoby (2005)	能源\附加價值 0~0.062					
Krzyzanowski, et al. (2004)	能源\資本 0~0.256	0.014~ 0.126			0.0	
Paltsev, et al. (2004)	家計能源\運具 0.3~0.7	家計 0.4 產業 0.0	0.5		0.2	汽油 -0.3~-0.4
Paltsev, et al. (2005)		0.4~0.5	0.5	1.0	0.2	
Lazarus, et al. (2001)						煤 -0.2 住商 -0.25 運輸部門 -0.05~-0.2

資料來源：本研究彙整。

4.3 運輸能源消耗量與溫室氣體排放量推估

4.3.1 能源消耗量推估

1. 公路

參考本所 98 年度「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)－建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式」計畫，將公路車種分為 13 種，分別是自用小客車、營業小客車、自用汽油小貨車、營業汽油小貨車、機車、自用柴油小貨車、營業柴油小貨車、自用大客車、遊覽車、公車與客運車、自用大貨車、營業大貨車及特種車，並進行其燃料消耗量的推估。

公路部分主要係彙整車輛汽油、柴油之年總消耗量，依據能源平衡表統計量為基準，先蒐集各類油品的全國總用油量，再計算各車種用油量、用油比例及總用油量分配，最後再以全國實際統計消耗量進行校估。

本研究整理出計算公路總耗油量之公式：

公路總耗油量＝各車種年行駛里程÷各燃油效率(公里/公升)×各車種登記車輛數×使用率×各化石燃料油當量。

表 4.3-1 為公路部門總耗油量公式。因此當計算公路總耗油量時，其須蒐集之資料包含各車種年行駛里程、各燃油效率、各車種登記車輛數、車輛使用率及各化石燃料油當量。

表 4.3-1 公路部門總耗油量公式

公路總耗油量(千公秉油當量)= (A)各車種年行駛里程(公里)/(B)各燃油效率(L/公里)*(C)各車種登記車輛數*(D)使用率*(E)各化石燃料油當量(公升)/1000000				
車種包含：小客車(自用/營業)、小貨車(汽柴油)(自用/營業)、大客車(自用)、遊覽車、公車與客運車、特種車、大貨車(自用、營業)、機器腳踏車				
計算項目	公式	資料來源		
(A)車種年行駛里程	1.公車與客運車=(公路營業行車里程+市區營業行車里程)/(公車與客運車)車輛登記數 2.其他車種為交通部統計要覽公佈值	1.交通部統計要覽-98年臺灣地區汽車延車公里統計 2.交通部統計專題分析-98年「遊覽車營運狀況調查」摘要分析 3.交通部統計專題分析-98年臺灣地區公路汽車客運營運概況及臺灣地區市區汽車客運營運概況 4.99年行政院環保署「機車排氣檢驗站品質管理與資訊應用平台維護」專案工作計畫 5.臺灣省公共汽車客運商業同業公會聯合會		
(B)燃油效率	1.小客車=1/(0.55/一般道路+0.45/高速、快速道路) 2.公車與客運車=(公路營業行車里程+市區營業行車里程)/(公車與客運車)耗油量算得出 3.營業大貨車=行車里程統計量/貨運業耗油量	1.交通部統計專題分析-98年自用小客車使用狀況調查摘要分析 2.交通部統計專題分析-98年計程車營運狀況調查摘要分析 3.交通部統計專題分析-98年臺灣地區公路汽車客運營運概況及臺灣地區市區汽車客運營運概況 4.交通部統計專題分析-遊覽車 98 年「遊覽車營運狀況調查」摘要分析 5.交通部統計要覽-98年臺灣地區公路汽車貨運營運概況 6.98年市區汽車客運營運概況		
(C)登記車輛數		1.小客車：兩年調查一次，因此參照 2009 年 2.公式 1：參考自交通部統計專題分析-自用小客車及計程車營運調查摘要分析 3.汽油小貨車比照營業小客車之逐年變化比例 4.柴油小貨車比照營業大貨車之逐年變化比例 5.自用大客車比照油覽車之逐年變化比例 6.遊覽車：兩年調查一次，因此參照 2009 年 7.自用大貨車：營業大貨車之比例為 4.1:3.9 8.特種車：考量其車種與使用特性，故假設為所有車種之平均		
(D)使用率	使用率假設為 100%	本研究假設汽柴油小貨車之比例為 0.73:0.27		
(E)各化石燃料油當量(汽/柴油)		機車：兩年調查一次，因此參照 2009 年 1.汽油=0.8667 公升油當量 2.柴油(1998 年前)=0.9778 油當量，(1999 年後)=0.9333 油當量(公升)		

資料來源：本研究整理。

本研究針對各類油品分別將車輛汽油、柴油進行說明如下。

(1) 汽油

汽油消耗統計量主要摘自能源平衡表表中的全國車用汽油消耗統計量，汽油主要為車輛使用為主(僅少數工廠消費者可能為用於其他用途)，本研究在公路排放之推估，除燃料用量外亦運用到所有車輛數的統計資料，故將國內所有車用汽油用量納入做估算之基準。使用汽油燃料之車種主要為自用小客車、營業小客車、自用小貨車、營業小貨車、機車。

(2) 柴油

在各部門中均有使用柴油，較難區分為車輛使用或其他方面應用，故此僅考慮能源平衡表中公路部門之消耗統計量。使用柴油車種主要為自用大客車、遊覽車、公車與客運車、自用大貨車、營業大貨車、自用小貨車、營業小貨車、特種車，目前小客車使用柴油車輛數目極少，故不在本研究探討範圍內。

各車種燃料消耗量推估所需相關參數如車輛數、車輛使用率、年平均行駛里程、平均燃油效率(或平均年用油量)等彙整結果見表 4.3-2 至表 4.3-7，各表主要係整理出 1990 至 2010 年各車種的對應數據。

表 4.3-6 之汽油車與柴油車總耗油量主要來自於能源平衡表。表 4.3-7 主要區分為客貨運統計，客運包含小客車、大客車及機車；貨運包含小貨車、特種車及大貨車，因包含有汽柴油不同油品，故合計以油當量表示。

表 4.3-2 歷年車輛登記數統計量

單位：輛

年份	小客車		汽油小貨車		柴油小貨車		大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車			
	自用	營業	自用	營業	自用	營業	自用	營業			自用	營業	登記數	調整後之機車實際使用數	機車實際使用率	
								遊覽車	公車與客運車							
1990	2,160,378	103,041	346,429	4,190	128,131	1,520	2,964	12,178	5,694	1,520	22,465	65,971	53,062	7,145,625	7,145,625	100%
1991	2,440,685	100,679	357,248	4,224	132,133	1,562	2,572	12,167	5,381	1,562	24,049	66,184	54,977	7,409,175	7,409,175	100%
1992	1,977,519	100,523	384,910	4,339	142,364	1,605	4,673	11,466	5,155	1,605	26,857	71,996	65,539	7,649,308	7,649,308	100%
1993	3,139,876	98,878	395,972	4,266	146,456	1,578	5,064	11,545	4,601	1,578	32,595	76,964	71,333	7,867,396	7,867,396	100%
1994	3,469,377	101,120	402,053	4,362	148,705	1,613	5,710	11,571	3,971	1,613	39,015	79,802	75,454	8,034,509	8,034,509	100%
1995	3,771,662	102,541	427,327	4,391	158,052	1,624	6,392	11,446	3,760	1,624	40,496	81,081	75,675	8,517,024	8,399,510	99%
1996	4,039,649	106,826	449,655	4,510	166,311	1,668	7,076	11,209	3,487	1,668	43,420	81,964	73,776	9,283,914	8,936,599	96%
1997	4,302,622	109,289	473,560	4,889	175,153	1,808	8,785	10,689	3,269	1,808	46,066	83,702	74,298	10,051,613	9,415,619	94%
1998	4,433,195	112,293	474,932	5,302	175,660	1,961	8,395	11,388	3,088	1,961	47,642	81,953	74,286	10,529,040	9,616,561	91%
1999	4,401,730	107,700	451,828	5,906	167,115	2,185	9,338	11,582	2,878	2,185	46,159	79,434	73,444	10,958,469	9,752,979	89%
2000	4,608,960	107,257	469,971	6,692	173,825	2,475	9,719	11,456	2,748	2,475	50,791	81,003	74,620	11,423,172	10,010,286	88%
2001	4,720,641	104,940	485,974	7,165	179,744	2,650	10,221	11,252	2,580	2,650	51,528	81,813	73,327	11,733,202	9,899,833	84%
2002	4,888,050	101,286	504,248	7,466	186,503	2,762	10,775	11,978	2,326	2,762	52,002	82,649	73,156	11,983,757	9,836,234	82%
2003	5,071,981	97,752	524,078	7,818	193,837	2,891	11,150	12,282	2,196	2,891	52,653	83,912	73,244	12,366,864	9,810,097	80%
2004	5,262,693	128,155	543,075	10,855	200,864	4,015	11,663	12,748	2,042	4,015	52,616	85,662	74,798	12,793,950	10,478,939	82%
2005	5,495,693	138,669	562,581	13,551	208,078	5,012	12,016	13,068	1,883	5,012	52,743	88,049	76,199	13,195,265	11,084,023	84%
2006	5,555,507	142,817	572,305	15,776	211,674	5,835	12,686	13,024	1,812	5,835	52,522	90,142	76,069	13,557,028	11,387,904	84%
2007	5,567,687	145,155	574,774	17,728	212,587	6,557	12,413	13,155	1,793	6,557	52,428	91,050	72,954	13,943,473	12,130,822	87%
2008	5,530,314	144,112	574,351	18,730	212,431	6,928	12,649	12,967	1,723	6,928	51,480	91,215	70,016	14,365,442	12,738,470	88%
2009	5,559,247	145,065	578,370	26,037	213,918	9,630	12,635	13,123	1,909	9,630	51,099	91,543	67,269	14,604,330	12,822,601	88%
2010	5,642,969	160,444	586,550	21,150	216,943	7,823	13,783	13,391	1,856	7,823	50,522	93,304	67,780	14,844,932	13,033,850	88%

資料來源：1. 各車種登記數：交通部統計要覽，機動車輛登記數，99 年。2. 交通部統計專題分析，98 年「機車使用狀況調查」報告。

3. 公車與客運車：交通部統計月報，99 年「臺灣地區市區汽車客運營運概況」、99 年「臺灣地區公路汽車客運營運概況」

4. 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)-建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式，交通部運輸研究所，98 年。

5. 汽油小貨車與柴油小貨車車輛數係依據交通部統計處車輛登記數總量資料，經本研究拆解推估結果。

表 4.3-3 歷年各車種年平均行駛里程 單位：公里

年份	小客車		汽油小貨車		柴油小貨車		大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車
	自用	營業	自用	營業	自用	營業	自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業	
1990	13,444	54,899	18,367	37,071	18,367	37,071	28,597	73,821	73,898	38,850	35,199	66,387	5,479
1991	13,678	55,422	17,615	35,553	17,615	35,553	28,272	72,226	76,357	37,933	33,758	63,669	5,479
1992	13,911	57,462	19,598	39,556	19,598	39,556	27,948	65,037	78,880	39,618	37,558	70,837	5,479
1993	14,144	57,462	16,098	32,492	16,098	32,492	27,624	60,644	75,683	35,605	30,852	58,187	5,479
1994	13,158	57,462	16,373	33,047	16,373	33,047	28,232	58,900	74,743	35,580	31,378	59,180	5,067
1995	12,172	57,863	16,725	33,758	16,725	33,758	28,841	57,902	73,732	35,720	32,053	60,453	4,655
1996	10,952	58,276	17,584	35,492	17,584	35,492	29,449	56,875	76,398	36,634	33,700	63,559	4,242
1997	11,112	58,677	18,147	36,628	18,147	36,628	30,057	55,877	76,206	37,140	34,778	65,593	3,830
1998	11,270	59,276	20,342	41,058	20,342	41,058	30,666	54,147	73,483	39,018	38,985	73,528	4,060
1999	12,088	59,876	20,502	41,381	20,502	41,381	31,274	52,416	74,563	39,306	39,291	74,105	4,288
2000	12,905	56,721	19,840	40,045	19,840	40,045	31,882	56,663	81,076	39,418	38,023	71,713	4,265
2001	14,393	53,562	20,756	41,893	20,756	41,893	32,490	60,910	85,439	40,928	39,778	75,022	4,241
2002	15,880	53,546	20,842	42,066	20,842	42,066	33,099	58,241	88,713	41,265	39,942	75,333	4,612
2003	16,895	53,527	19,840	40,045	19,840	40,045	33,706	55,572	87,541	40,113	38,023	71,713	4,611
2004	17,344	53,809	20,994	40,975	20,994	40,975	33,860	56,954	89,439	41,228	40,330	74,451	4,611
2005	17,548	52,578	21,335	38,807	21,335	38,807	30,957	57,710	90,284	40,649	39,028	74,875	4,529
2006	17,894	52,634	22,976	38,946	22,976	38,946	31,638	58,335	89,527	41,312	41,559	75,866	4,446
2007	15,964	50,072	19,934	38,522	19,934	38,522	28,097	55,635	85,719	39,143	38,018	74,760	4,539
2008	14,678	48,877	18,209	38,821	18,209	38,821	25,566	56,217	80,056	37,332	33,322	70,098	5,105
2009	13,980	44,582	15,905	36,716	15,905	36,716	23,658	56,799	78,253	35,041	30,257	63,431	4,284
2010	13,980	44,582	15,905	36,716	15,905	36,716	23,658	56,799	78,253	35,065	30,257	63,431	4,578

資料來源：1. 交通部統計要覽，臺灣地區汽車延車公里統計，98 年。
2. 公車與客運車：交通部統計專題分析，98 年「臺灣地區市區汽車客運營運概況」、98 年「臺灣地區公路汽車客運營運概況」，加權計算而得。
3. 遊覽車：交通部統計要覽，98 年「遊覽車營運狀況調查」。
4. 特種車：依據車種定義考量其行駛特性，假設為全部車總之平均(本研究假設)。
5. 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)-建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式，交通部運輸研究所，98 年。

表 4.3-4 歷年車輛燃油效率值 單位：公里/公升

年份	小客車		汽油小貨車		柴油小貨車		大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車
	自用	營業	自用	營業	自用	營業	自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業	
1990	9.44	9.60	9.75	9.42	9.89	8.40	2.46	2.61	2.67	8.23	3.86	3.68	26.99
1991	9.30	9.60	9.65	9.32	9.50	8.07	2.46	2.61	2.60	8.12	3.71	3.53	27.12
1992	9.15	9.30	9.34	9.03	9.75	8.28	3.01	3.20	2.58	8.19	3.81	3.62	27.24
1993	9.00	9.20	9.24	8.93	9.41	8.27	2.90	3.08	2.55	8.11	3.80	3.62	27.37
1994	9.12	9.10	9.14	8.84	9.38	7.97	3.09	3.28	2.49	8.09	3.66	3.48	27.50
1995	9.23	8.90	8.94	8.64	7.87	6.68	3.10	3.30	2.57	7.74	3.07	2.92	27.63
1996	9.50	8.60	8.64	8.35	7.14	6.07	3.11	3.31	2.54	7.49	2.79	2.65	27.14
1997	9.55	8.40	8.44	8.16	7.10	6.03	3.13	3.33	2.48	7.41	2.77	2.64	26.92
1998	9.60	8.30	8.34	8.06	7.04	5.98	3.02	3.21	2.49	7.42	2.75	2.62	27.65
1999	9.90	8.20	8.24	7.96	7.71	6.55	2.90	3.08	2.48	7.51	3.01	2.87	27.20
2000	10.20	8.70	8.74	8.45	7.85	6.66	2.82	3.00	2.51	7.68	3.06	2.92	27.21
2001	10.07	9.10	9.14	8.84	7.28	6.19	2.75	2.92	2.63	7.64	2.85	2.71	27.25
2002	9.94	8.90	8.94	8.64	8.96	5.91	2.71	2.88	2.66	7.66	2.72	2.59	27.11
2003	9.82	8.69	8.73	8.44	8.82	5.82	2.66	2.83	2.69	7.53	2.69	2.55	26.56
2004	9.70	8.69	8.73	8.44	8.89	5.87	2.75	2.92	2.75	7.63	2.71	2.57	27.51
2005	9.00	8.69	8.73	8.44	8.68	5.73	2.83	2.98	2.79	7.57	2.64	2.51	27.76
2006	9.84	8.69	8.73	8.44	8.47	5.59	2.86	3.01	2.82	7.61	2.58	2.45	27.90
2007	9.99	9.15	9.19	8.89	8.57	5.66	2.87	3.02	2.87	7.75	2.61	2.48	27.76
2008	10.14	8.92	8.96	8.67	8.47	5.59	3.00	3.16	2.76	7.66	2.58	2.45	27.16
2009	10.14	8.69	8.73	8.44	8.33	5.50	3.14	3.30	2.77	7.60	2.53	2.41	27.16
2010	10.14	8.69	8.73	8.44	8.33	5.50	3.14	3.30	2.77	7.60	2.53	2.41	27.16

資料來源：1. 交通部統計要覽，98 年自用小客車使用狀況調查。 2. 交通部統計要覽，98 年計程車營運狀況調查報告。

3. 交通部統計要覽，98 年遊覽車營運狀況調查。 4. 特種車：依據車種定義考量其行駛特性，假設為全部車總之平均(本研究假設)

5. 部分資料未有更新統計數據，故比照 2009 年。

6. 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)-建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式，交通部運輸研究所，98 年。

表 4.3-5 歷年車輛平均年耗油量推估結果

單位:公升

年份	小客車		汽油小貨車		柴油小貨車		大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車
	自用	營業	自用	營業	自用	營業	自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業	
1990	1,288	5,173	1,704	3,560	1,903	4,523	11,913	28,986	28,365	4,800	9,345	18,488	184
1991	1,313	5,156	1,630	3,407	1,930	4,585	11,961	28,800	30,564	4,860	9,470	18,771	180
1992	1,636	6,650	2,258	4,714	2,049	4,870	9,466	20,720	31,169	4,930	10,050	19,949	216
1993	1,402	5,572	1,554	3,246	2,052	4,712	11,424	23,613	35,594	5,262	9,737	19,277	179
1994	1,372	6,006	1,704	3,556	1,978	4,699	10,354	20,349	34,016	4,985	9,715	19,271	175
1995	1,331	6,561	1,888	3,943	2,039	4,848	8,925	16,833	27,523	4,429	10,016	19,861	170
1996	1,247	7,332	2,202	4,599	2,023	4,804	7,780	14,118	24,713	4,020	9,924	19,707	169
1997	1,217	7,303	2,248	4,693	2,049	4,870	7,699	13,453	24,636	4,017	10,066	19,920	149
1998	1,220	7,420	2,534	5,293	2,173	5,163	7,636	12,685	22,193	3,954	10,661	21,105	153
1999	1,282	7,665	2,612	5,457	2,279	5,414	9,242	14,584	25,765	4,486	11,186	22,127	165
2000	1,295	6,674	2,324	4,851	2,252	5,357	10,073	16,828	28,779	4,575	11,071	21,881	160
2001	1,348	5,552	2,142	4,470	2,256	5,354	9,347	16,502	25,700	4,236	11,042	21,901	147
2002	1,364	5,137	1,991	4,157	1,999	6,116	10,495	17,378	28,659	4,627	12,619	24,994	145
2003	1,404	5,027	1,855	3,872	1,883	5,761	10,610	16,442	27,248	4,463	11,835	23,547	142
2004	1,377	4,770	1,852	3,740	1,989	5,880	10,372	16,431	27,397	4,553	12,536	24,404	129
2005	1,384	4,293	1,734	3,263	2,071	5,706	9,217	16,317	27,265	4,527	12,456	25,134	116
2006	1,297	4,318	1,876	3,290	2,275	5,842	9,276	16,250	26,620	4,549	13,506	25,964	114
2007	1,224	4,192	1,661	3,319	2,027	5,932	8,533	16,056	26,031	4,399	12,695	26,274	125
2008	1,099	4,161	1,543	3,400	1,943	6,275	7,700	16,075	26,210	4,406	11,670	25,853	143
2009	1,145	4,264	1,514	3,616	1,868	6,531	7,371	16,838	27,637	4,513	11,700	25,748	131
2010	1,120	4,171	1,481	3,537	1,993	6,968	7,864	17,965	29,486	4,819	12,482	27,471	137

資料來源：本研究整理推估。

表 4.3-6 歷年各車種年總耗油量推估結果

年份	汽油車(公秉)				機器腳踏車		柴油車(公秉)								汽油車合計 (公秉)	柴油車合計 (公秉)
	小客車		小貨車		營業	自用	小貨車		大客車			特種車	大貨車			
	自用	營業	自用	營業			自用	營業	自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業		
1990	2,783,085	533,020	590,320	14,628	1,312,136	243,866	6,874	67,835	85,915	345,423	107,830	616,524	981,008	5,233,189	2,455,276	
1991	3,205,655	519,057	582,359	14,389	1,336,740	254,979	7,163	64,360	74,073	371,871	116,885	626,743	1,031,973	5,658,200	2,548,047	
1992	3,235,566	668,429	869,193	20,456	1,655,803	291,734	7,816	48,797	96,825	357,387	132,409	723,545	1,307,468	6,449,448	2,965,980	
1993	4,402,257	550,967	615,458	13,848	1,405,047	300,476	7,435	52,561	119,578	410,936	171,528	749,392	1,375,086	6,987,577	3,186,992	
1994	4,760,940	607,327	685,034	15,509	1,408,068	294,144	7,580	41,114	116,195	393,597	194,506	775,296	1,454,078	7,476,878	3,276,511	
1995	5,019,400	672,771	806,766	17,313	1,428,077	322,227	7,874	33,559	107,593	315,026	179,345	812,117	1,502,992	7,944,327	3,280,732	
1996	5,039,000	783,248	990,181	20,742	1,511,346	336,526	8,014	27,129	99,899	277,009	174,566	813,444	1,453,869	8,344,517	3,190,457	
1997	5,234,160	798,160	1,064,542	22,943	1,400,547	358,917	8,806	25,168	118,185	263,333	185,050	842,542	1,479,999	8,520,352	3,281,998	
1998	5,407,515	833,262	1,203,614	28,063	1,467,165	381,696	10,125	23,580	106,491	252,732	188,355	873,684	1,567,772	8,939,619	3,404,436	
1999	5,642,041	825,559	1,180,147	32,233	1,614,049	380,820	11,827	26,597	136,185	298,414	207,076	888,580	1,625,121	9,294,030	3,574,622	
2000	5,969,449	715,853	1,092,131	32,465	1,606,240	391,413	13,259	27,680	163,550	329,688	232,360	896,763	1,632,758	9,416,138	3,687,471	
2001	6,364,122	582,602	1,040,941	32,027	1,453,267	405,422	14,189	24,114	168,671	289,182	218,259	903,361	1,605,921	9,472,959	3,629,118	
2002	6,668,090	520,341	1,003,800	31,041	1,428,862	372,798	16,891	24,412	187,245	343,279	240,626	1,042,931	1,828,489	9,652,135	4,056,671	
2003	7,121,374	491,381	971,992	30,270	1,389,888	365,079	16,658	23,299	183,325	334,661	235,007	993,105	1,724,673	10,004,905	3,875,806	
2004	7,248,404	611,262	1,006,000	40,594	1,352,940	399,586	23,609	21,180	191,632	349,262	239,576	1,073,897	1,825,337	10,259,201	4,124,079	
2005	7,603,482	595,345	975,593	44,212	1,283,173	430,920	28,600	17,355	196,061	356,298	238,785	1,096,716	1,915,180	10,501,805	4,279,914	
2006	7,204,032	616,675	1,073,785	51,898	1,293,716	481,455	34,087	16,807	206,150	346,694	238,921	1,217,501	1,975,084	10,240,107	4,516,699	
2007	6,814,555	608,495	954,909	58,838	1,519,209	430,975	38,895	15,299	199,305	342,442	230,644	1,155,924	1,916,757	9,956,006	4,330,240	
2008	6,076,630	599,675	886,404	63,690	1,818,275	412,663	43,473	13,268	203,335	339,859	226,842	1,064,516	1,810,137	9,444,674	4,114,091	
2009	6,367,469	618,552	875,789	94,140	1,681,008	399,577	62,891	14,071	212,749	362,676	230,621	1,071,014	1,732,065	9,636,958	4,085,664	
2010	6,322,889	669,259	868,871	74,809	1,786,281	432,342	54,508	14,596	247,607	394,846	243,444	1,164,659	1,861,998	9,722,109	4,414,000	

資料來源：本研究整理推估。

表 4.3-7 歷年公路客貨運年總耗油量推估結果

年份	客運油當量(千公秉)							貨運油當量(千公秉)							公路合計 (千公秉油當量)	
	小客車		大客車			機器腳踏車	客運合計	佔公路比例	小貨車		特種車	大貨車		貨運合計		佔公路比例
	自用	營業	自用	遊覽車	公車與客運車			自用	營業			自用	營業			
1990	2,412	462	66	84	338	1,137	4,499	64.87%	750	19	105	603	959	2,437	35.13%	6,936
1991	2,778	450	63	72	364	1,159	4,886	66.06%	754	19	114	613	1,009	2,510	33.94%	7,395
1992	2,804	579	48	95	349	1,435	5,310	62.55%	1,039	25	129	707	1,278	3,179	37.45%	8,490
1993	3,815	478	51	117	402	1,218	6,081	66.29%	827	19	168	733	1,345	3,091	33.71%	9,172
1994	4,126	526	40	114	385	1,220	6,411	66.21%	881	21	190	758	1,422	3,272	33.79%	9,684
1995	4,350	583	33	105	308	1,238	6,617	65.56%	1,014	23	175	794	1,470	3,476	34.44%	10,093
1996	4,367	679	27	98	271	1,310	6,751	65.22%	1,187	26	171	795	1,422	3,601	34.78%	10,351
1997	4,536	692	25	116	257	1,214	6,839	64.56%	1,274	28	181	824	1,447	3,754	35.44%	10,593
1998	4,687	722	23	104	247	1,272	7,055	63.69%	1,416	34	184	854	1,533	4,022	36.31%	11,076
1999	4,890	715	25	127	279	1,399	7,435	65.27%	1,378	39	193	829	1,517	3,957	34.73%	11,391
2000	5,174	620	26	153	308	1,392	7,672	66.13%	1,312	41	217	837	1,524	3,930	33.87%	11,602
2001	5,516	505	23	157	270	1,259	7,730	66.65%	1,281	41	204	843	1,499	3,867	33.35%	11,597
2002	5,779	451	23	175	320	1,238	7,986	65.72%	1,218	43	225	973	1,707	4,165	34.28%	12,151
2003	6,172	426	22	171	312	1,205	8,307	67.60%	1,183	42	219	927	1,610	3,981	32.40%	12,288
2004	6,282	530	20	179	326	1,173	8,509	66.79%	1,245	57	224	1,002	1,704	4,232	33.21%	12,740
2005	6,590	516	16	183	333	1,112	8,749	66.81%	1,248	65	223	1,024	1,788	4,347	33.19%	13,096
2006	6,243	534	16	192	324	1,121	8,431	64.41%	1,380	77	223	1,136	1,843	4,660	35.59%	13,090
2007	5,906	527	14	186	320	1,317	8,270	65.27%	1,230	87	215	1,079	1,789	4,400	34.73%	12,670
2008	5,366	520	12	190	317	1,576	7,881	65.54%	1,153	96	212	994	1,689	4,144	34.46%	12,025
2009	5,518	536	13	199	338	1,457	8,062	66.27%	1,132	140	215	1,000	1,617	4,104	33.73%	12,165
2010	5,480	580	14	231	369	1,548	8,221	65.53%	1,157	116	227	1,087	1,738	4,324	34.47%	12,546

資料來源：本研究整理推估。

表 4-3-8 為市區公車、一般客運及國道客運年總耗油量推估結果，為了區分市區公車、一般公路客運及國道客運車輛，分別就各車種蒐集其每年行駛總計車公里數，又因樣本數問題，國道客運僅計算從 2001 年至 2010 年之能耗量。

表 4.3-8 市區公車、一般公路客運及國道客運年總耗油量推估結果

年份	客運能源消耗量 ^[1] (公升)			客運油當量(千公秉)		
	市區公車	國道客運	一般公路客運	市區公車	國道客運	一般公路客運
1990	31,564,636	—	97,793,818	31		96
1991	30,475,784	—	98,041,531	30		96
1992	29,463,755	—	90,737,698	29		89
1993	26,334,724	—	87,888,821	26		86
1994	24,587,124	—	86,708,479	24		85
1995	23,537,550	—	84,500,216	23		83
1996	25,206,964	—	86,619,544	25		85
1997	26,302,778	—	93,864,621	26		92
1998	30,047,438	—	96,476,479	29		94
1999	35,007,215	—	96,494,147	34		94
2000	50,785,838	—	88,667,096	50		87
2001	125,566,486	110,540,056	85,708,502	123	108	84
2002	134,512,149	150,746,984	85,282,843	132	147	83
2003	132,800,583	132,997,168	74,791,619	130	130	73
2004	143,186,597	180,322,173	78,254,775	140	176	77
2005	152,567,552	185,243,454	77,091,012	149	181	75
2006	153,312,496	195,943,092	77,177,957	150	192	75
2007	150,614,268	204,208,840	70,415,964	147	200	69
2008	154,709,125	159,673,985	67,466,967	151	156	66
2009	157,101,233	163,748,322	69,267,515	154	160	68
2010	160,530,594	164,462,125	68,152,264	157	161	67

註 1：客運能源消耗量之計算方式為每年行駛總計車公里數/歷年燃油效率值

資料來源：

1. 臺灣省公共汽車客運商業同業公會聯合會。
2. 市區公車的燃油效率值資料來源為「歷年市區汽車客運業營運概況」
3. 一般公路客運及國道客運的燃油效率值資料來源為「公路汽車客運業營運概況」

2. 鐵路

鐵路方面資料摘自能源平衡表中鐵路部門能源消耗量，其主要包括電力及柴油消耗量，見表 4.3-10 及表 4.3-11。

其中，柴油消耗統計量主要屬於臺鐵之消耗統計量；電力消耗量為鐵路部門總計。為了區分不同運輸系統，需個別進行資料蒐集，表 4.3-10 中臺灣鐵路局的用電量為機務處所提供之歷年車輛用電能耗量；其它運輸系

統用電量則分別由臺北捷運公司、臺灣高速鐵路公司、高雄捷運公司提供；合計(實際)為臺鐵、北捷、高鐵、高捷四個運輸系統的電力能耗量合計。

表 4.3-11 為臺灣鐵路運輸歷年客貨運耗油量推估，將各運輸系統之電力能耗單位利用電力油當量轉換係數，換算為油當量單位，由於臺灣鐵路運輸唯臺鐵存在貨運服務，故本研究根據臺鐵客貨車行駛公里推估臺鐵能源耗用比例，進一步推估臺灣鐵路運輸貨運耗油量，由表 4.3-11 可知，隨著近年來宅配業者的發展，臺鐵的貨運比例逐年下降，由 1990 年的 40% 降至 2010 年僅剩 18%；在整體臺灣鐵路運輸更是僅占 8%。

本研究整理出鐵路總耗油量之運算公式，見表 4.3-9。

表 4.3-9 鐵路部門總耗油量公式

鐵路總耗油量(千公秉油當量)= ((A)各類化石燃料能源消耗量(公秉)*(B)各化石燃料油當量(公升))/1000000+ ((C)電力千度*(D)電力油當量)/1000		
計算項目	資料來源	附註
(A)各類化石燃料能源消耗量(柴油)	經濟部能源局網站-能源平衡表	
(B)各化石燃料油當量	經濟部能源局網站-能源產品單位熱值表	柴油(1998 年前)=0.9778 油當量，(1999 年後)=0.9333 油當量(公升)
(C)電力千度	臺灣鐵路局、臺北捷運公司、高雄捷運公司及臺灣高速鐵路公司	
(D)電力油當量	能源使用油當量/總發電量	97 年電力油當量換算-公秉/千度 0.211

資料來源：本研究整理。

表 4.3-10 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-1

年份	鐵路						
	電力(千度)						柴油(公秉)
	合計(能源平衡表)	合計(實際)	臺鐵	北捷	高捷	高鐵	臺鐵
1990	203,112	222,875	222,875	-	-	-	47,503
1991	198,968	238,304	238,304	-	-	-	50,950
1992	240,063	238,043	238,043	-	-	-	50,636
1993	236,904	238,030	238,030	-	-	-	52,870
1994	318,246	230,788	230,788	-	-	-	51,229
1995	229,960	229,487	227,823	1,664	-	-	51,194
1996	253,786	264,282	252,809	11,473	-	-	48,380
1997	339,180	332,106	290,607	41,499	-	-	47,249
1998	379,883	381,174	325,920	55,254	-	-	46,096
1999	411,425	408,271	329,723	78,548	-	-	51,103
2000	455,336	452,787	331,380	121,407	-	-	47,117
2001	448,072	450,453	328,351	122,102	-	-	45,152
2002	474,578	466,449	334,231	132,218	-	-	44,948
2003	464,604	497,215	357,632	139,583	-	-	40,748
2004	518,540	517,580	378,707	138,873	-	-	36,600
2005	522,769	523,439	379,678	143,761	-	-	36,767
2006	551,470	548,101	386,797	161,304	-	-	36,207
2007	830,681	836,890	392,952	179,142	-	264,796	34,977
2008	1,100,555	1,098,139	426,777	177,591	28,370	465,401	34,702
2009	1,106,918	1,111,470	435,921	195,266	37,866	442,417	28,656
2010	1,164,334	1,155,531	438,493	220,503	38,411	458,124	31,870

資料來源：1. 經濟部能源局網站，臺灣能源平衡表

2. 臺鐵用電量：臺灣鐵路局
3. 北捷用電量：臺北捷運公司
4. 高捷用電量：高雄捷運公司
5. 高鐵用電量：臺灣高速鐵路公司

表 4.3-11 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-2

年份	電力油當量轉換係數(公秉/千度)	鐵路(公秉油當量)						臺鐵-行駛里程				鐵路-客貨運油當量									
		電力						柴油		合計		客車公里	貨車公里	能源耗用比例	臺鐵(客運)	北捷(客運)	高捷(客運)	客運合計	貨運合計(臺鐵)	客運比例	貨運比例
		實際合計		臺鐵	北捷	高捷	高鐵	柴油													
		能源平衡表合計	臺鐵																		
1990	0.255	51,815	56,856	56,856	-	-	-	46,448	103,305	245,788	166,460	60%	40%	61,592	-	-	-	61,592	41,713	60%	40%
1991	0.255	50,791	60,832	60,832	-	-	-	49,819	110,651	251,578	169,154	60%	40%	66,164	-	-	-	66,164	44,487	60%	40%
1992	0.253	60,846	60,334	60,334	-	-	-	49,512	109,846	250,518	194,731	56%	44%	61,805	-	-	-	61,805	48,042	56%	44%
1993	0.244	57,715	57,989	57,989	-	-	-	51,696	109,686	249,463	187,788	57%	43%	62,578	-	-	-	62,578	47,107	57%	43%
1994	0.243	77,201	55,985	55,985	-	-	-	50,092	106,077	244,363	179,060	58%	42%	61,218	-	-	-	61,218	44,859	58%	42%
1995	0.241	55,525	55,411	55,009	402	-	-	50,057	105,468	242,472	145,132	63%	37%	65,726	402	-	-	65,726	39,340	63%	37%
1996	0.240	61,011	63,534	60,776	2,758	-	-	47,306	110,840	247,495	127,429	66%	34%	71,347	2,758	-	-	74,105	36,735	67%	33%
1997	0.245	83,092	81,359	71,192	10,166	-	-	46,200	127,559	262,495	114,589	70%	30%	81,719	10,166	-	-	91,885	35,673	72%	28%
1998	0.250	94,782	95,104	81,318	13,786	-	-	45,073	140,176	277,291	104,318	73%	27%	91,840	13,786	-	-	105,626	34,551	75%	25%
1999	0.257	105,855	105,043	84,834	20,209	-	-	47,694	152,737	295,021	108,067	73%	27%	96,998	20,209	-	-	117,207	35,530	77%	23%
2000	0.262	119,197	118,529	86,748	31,782	-	-	43,974	162,504	286,550	93,812	75%	25%	98,481	31,782	-	-	130,263	32,241	80%	20%
2001	0.262	117,384	118,008	86,020	31,988	-	-	42,140	160,148	286,179	82,444	78%	22%	99,497	31,988	-	-	131,485	28,664	82%	18%
2002	0.257	121,960	119,871	85,893	33,978	-	-	41,950	161,821	296,703	83,360	78%	22%	99,803	33,978	-	-	133,781	28,040	83%	17%
2003	0.254	118,191	126,487	90,978	35,509	-	-	38,030	164,517	302,817	70,328	81%	19%	104,694	35,509	-	-	140,202	24,315	85%	15%
2004	0.253	131,154	130,911	95,786	35,125	-	-	34,159	165,070	302,429	72,764	81%	19%	104,744	35,125	-	-	139,869	25,201	85%	15%
2005	0.254	132,598	132,768	96,304	36,464	-	-	34,315	167,083	294,668	75,466	80%	20%	103,987	36,464	-	-	140,451	26,632	84%	16%
2006	0.255	140,606	139,747	98,620	41,127	-	-	33,792	173,539	296,298	78,671	79%	21%	104,631	41,127	-	-	145,758	27,781	84%	16%
2007	0.253	210,409	211,981	99,533	45,376	-	-	32,644	244,625	295,097	70,931	81%	19%	106,563	45,376	-	67,072	219,011	25,614	90%	10%
2008	0.255	280,743	280,127	108,868	45,302	7,237	118,720	32,387	312,515	309,447	71,048	81%	19%	114,879	45,302	7,237	118,720	286,139	26,376	92%	8%
2009	0.252	279,328	280,477	110,004	49,275	9,555	111,643	26,745	307,221	308,445	60,391	84%	16%	114,358	49,275	9,555	111,643	284,831	22,390	93%	7%
2010	0.246	286,548	284,381	107,915	54,267	9,453	112,746	29,744	314,125	306,544	67,551	82%	18%	112,802	54,267	9,453	112,746	289,268	24,857	92%	8%

資料來源：1. 經濟部能源局網站，臺灣能源平衡表。 2. 臺鐵行駛里程：臺鐵統計年報。

3. 航空

航空方面之能耗量摘自能源平衡表新表中的國內航空及國際航空，主要為航空燃油的消耗量，見表 4.3-12。

本研究整理出航空總耗油量之運算公式，見表 4.3-13。

表 4.3-12 航空運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)

年度	航空燃油 (公秉)		航空燃油 (公秉油當量)		國內航空		國際航空	
	國內	國際	國內	國際	客運量	貨運量	客運量	貨運量
					延人公里	延噸公里	延人公里	延噸公里
1990	115,597	710,107	102,753	631,206	-	-	-	-
1991	122,784	804,445	109,141	715,062	-	-	-	-
1992	152,099	991,945	135,199	881,729	-	-	-	-
1993	218,478	1,147,150	194,203	1,019,689	-	-	-	-
1994	246,666	1,303,367	219,259	1,158,548	-	-	-	-
1995	348,885	1,619,287	310,120	1,439,366	-	-	-	-
1996	437,025	1,730,768	388,467	1,538,460	-	-	-	-
1997	436,253	1,790,728	387,780	1,591,758	-	-	-	-
1998	417,196	1,902,610	370,841	1,691,209	-	-	-	-
1999	424,648	2,102,132	377,465	1,868,562	4,891,936	7,166	43,191,665	6,606,029
2000	370,545	2,127,231	329,373	1,890,872	3,937,966	7,208	47,700,559	7,714,808
2001	339,549	2,080,372	301,821	1,849,220	3,649,813	7,249	44,953,835	7,319,456
2002	313,719	2,192,343	278,861	1,948,749	3,335,551	8,690	47,722,077	8,733,977
2003	260,778	2,161,629	231,803	1,921,448	3,083,657	8,077	43,527,445	9,489,420
2004	265,986	2,467,546	236,432	2,193,374	3,281,672	7,422	53,986,238	11,274,247
2005	246,001	2,555,619	218,668	2,271,661	3,020,943	7,023	57,772,630	11,391,722
2006	214,371	2,660,509	190,552	2,364,897	2,748,635	6,975	60,294,197	11,489,345
2007	163,057	2,628,488	144,940	2,336,434	1,972,843	6,447	61,314,232	11,139,065
2008	108,181	2,320,143	96,161	2,062,349	1,473,750	6,314	57,032,362	9,488,982
2009	95,362	2,192,590	84,766	1,948,969	1,268,615	5,626	55,649,773	8,598,983
2010	96,404	2,473,925	85,692	2,199,044	1,238,690	5,298	58,812,537	11,868,041

資料來源：1. 經濟部能源局網站，臺灣能源平衡表

2. 運量參考自交通統計月報，國籍航空公司運輸概況

表 4.3-13 航空部門總耗油量公式

航空總耗油量(千公秉油當量) = (A)各類化石燃料能源消耗量(公秉)*(B)各化石燃料油當量(公升) / 1000000		
計算項目	資料來源	附註
(A)各類化石燃料能源消耗量(航空燃油)	經濟部能源局網站-臺灣能源平衡表	
(B)各化石燃料油當量	經濟部能源局網站-能源產品單位熱值表	航空燃油=0.8889 油當量(公升)

資料來源：本研究整理。

4. 水運

水運中國輪的統計基礎為總噸位 100 以上的客貨船，不包含漁船。本研究引用之國內水運能耗量資料，來自能源平衡新表中水運部門能源消耗量，其使用燃料消耗可分為燃料油及柴油，見表 4.3-14。能源平衡表中水運部分顯示國際水運用油及國內水運用油兩大部分，數據當中並未顯示國籍船與非國籍船之個別用油，其中表 4.3-14 中包含國內水運及國際水運，國內水運中貨運與客運相比，客運相對較少，因此國內水運能源消耗視為貨運之能源消耗。

表 4.3-14 水運運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)

年份	水運-國內(公秉)		水運-國際(公秉)		水運-國內(公秉油當量)			水運-國際(公秉油當量)		
	燃料油	柴油	燃料油	柴油	燃料油	柴油	合計	燃料油	柴油	合計
1990	136,818	103,246	1,541,998	124,680	139,858	100,952	240,810	1,576,265	121,909	1,698,174
1991	150,071	87,840	1,468,869	107,154	153,406	85,888	239,294	1,501,511	104,773	1,606,283
1992	194,337	92,724	2,035,257	128,802	198,656	90,663	289,319	2,080,485	125,940	2,206,425
1993	208,052	108,502	1,907,600	159,095	212,675	106,091	318,766	1,949,991	155,560	2,105,551
1994	204,214	104,262	2,128,621	141,778	208,752	101,945	310,697	2,175,924	138,627	2,314,551
1995	208,405	99,364	2,438,577	154,098	213,036	97,156	310,192	2,492,768	150,674	2,643,441
1996	218,171	121,316	2,209,032	323,680	223,019	118,620	341,639	2,258,122	316,487	2,574,609
1997	197,313	166,173	2,755,813	244,572	201,698	162,480	364,178	2,817,053	239,137	3,056,190
1998	195,851	197,775	3,054,558	264,765	200,203	193,380	393,583	3,122,437	258,881	3,381,318
1999	223,585	199,904	3,854,028	303,185	238,491	186,577	425,068	4,110,963	282,973	4,393,936
2000	220,976	206,722	3,469,417	313,604	235,708	192,941	428,648	3,700,711	292,697	3,993,409
2001	216,985	262,710	2,356,583	398,229	231,451	245,196	476,647	2,513,689	371,680	2,885,369
2002	210,852	212,895	2,438,213	199,390	224,909	198,702	423,611	2,600,761	186,097	2,786,858
2003	222,120	111,740	3,033,286	204,028	236,928	104,291	341,219	3,235,505	190,426	3,425,931
2004	243,972	124,428	2,395,159	226,954	260,237	116,133	376,370	2,554,836	211,824	2,766,660
2005	253,119	133,378	2,344,928	312,377	269,994	124,486	394,480	2,501,257	291,552	2,792,808
2006	242,695	120,409	2,319,260	219,435	258,875	112,382	371,256	2,473,877	204,806	2,678,683
2007	202,566	127,114	2,058,437	214,474	216,070	118,640	334,710	2,195,666	200,176	2,395,842
2008	160,538	107,083	1,766,382	194,308	171,241	99,944	271,185	1,884,141	181,354	2,065,495
2009	168,848	102,096	1,518,507	224,461	180,105	95,290	275,394	1,619,741	209,497	1,829,238
2010	184,819	111,540	1,697,676	177,326	197,140	104,104	301,244	1,810,854	165,504	1,976,359

資料來源：經濟部能源局網站，臺灣能源平衡表。

將水運能源消耗量原始單位轉換為油當量單位時，必須乘上各化石燃料的熱值，由於經濟部能源局在 2008 年 5 月有更新其「能源產品單位熱值表」，其中燃料油在 1998 年前轉換值為 1022.2，1999 年後轉換值改為 1066.7；柴油在 1998 年前轉換值為=977.8，1999 年後轉換值為 933.3。本研究整理出水運總耗油量之運算公式，見表 4.3-15。

表 4.3-15 水運部門總耗油量公式

水運總耗油量(千公秉油當量)= (A)各類化石燃料能源消耗量(公秉)*(B)各化石燃料油當量(公升)/1000000		
計算項目	資料來源	附註
(A)各類化石燃料能源消耗量(燃料油、柴油)	經濟部能源局網站-臺灣能源平衡表	
(B)各化石燃料油當量	經濟部能源局網站-能源產品單位熱值表	燃料油：(1998 年前)=1.0222 油當量，(1999 年)=1.0667 油當量(公升) 柴油：(1998 年前)=0.9778 油當量，(1999 年後)=0.9333 油當量(公升)

資料來源：本研究整理。

4.3.2 能源消耗量趨勢分析

根據前述之各運具能源消耗量進行運輸部門溫室氣體排放量推估，結果分述如下：

1. 歷年能源消耗變化趨勢(不含國際航空)

(1) 全國各部門能源變化趨勢

由 1990 至 2010 年歷年國內最終能源消耗統計來看，見表 4.3-16 全國各部門能源消耗量中(含電力)，工業部門佔的比例最高，其次是運輸部門，佔全國消耗的 12.9%。

相較於 2009 年的能源消耗，2010 年中僅有農業部門及住宅部門呈現小幅下降；其餘部門皆為增加。

表 4.3-16 全國歷年能源消耗統計

單位：千公秉油當量

年 份	能源部門自用		運輸部門		工業部門		農業部門		住宅部門		服務業部門		非能源部門		總計
	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	比例	
1990	4,842	9.5%	8,011	15.7%	23,146	45.4%	1,458	2.9%	5,945	11.7%	4,972	9.8%	2,614	5.1%	50,987
1991	4,892	9.0%	8,562	15.7%	24,618	45.1%	1,409	2.6%	6,521	12.0%	5,531	10.1%	3,022	5.5%	54,555
1992	4,852	8.4%	9,908	17.1%	26,055	45.0%	1,374	2.4%	6,850	11.8%	5,719	9.9%	3,197	5.5%	57,956
1993	5,335	8.8%	10,817	17.8%	26,571	43.7%	1,408	2.3%	7,240	11.9%	6,007	9.9%	3,368	5.5%	60,745
1994	6,114	9.4%	11,591	17.8%	28,905	44.5%	1,432	2.2%	7,635	11.7%	6,743	10.4%	2,601	4.0%	65,021
1995	6,399	9.3%	12,266	17.9%	30,233	44.2%	1,483	2.2%	8,171	11.9%	6,979	10.2%	2,942	4.3%	68,472
1996	6,685	9.3%	12,747	17.8%	31,262	43.6%	1,534	2.1%	8,759	12.2%	7,674	10.7%	3,094	4.3%	71,755
1997	7,133	9.5%	13,098	17.4%	33,784	44.8%	1,436	1.9%	9,011	12.0%	8,112	10.8%	2,784	3.7%	75,357
1998	7,482	9.3%	13,701	17.1%	34,669	43.2%	1,242	1.5%	10,438	13.0%	8,997	11.2%	3,762	4.7%	80,291
1999	7,679	9.1%	14,238	16.8%	37,178	43.9%	1,279	1.5%	10,806	12.8%	9,613	11.4%	3,860	4.6%	84,652
2000	8,251	9.0%	14,436	15.7%	41,620	45.4%	1,437	1.6%	11,444	12.5%	10,596	11.6%	3,954	4.3%	91,737
2001	8,576	8.8%	14,409	14.8%	47,301	48.7%	1,462	1.5%	11,674	12.0%	11,037	11.4%	2,597	2.7%	97,056
2002	8,250	8.2%	14,986	14.9%	49,326	49.1%	1,477	1.5%	11,857	11.8%	11,316	11.3%	3,286	3.3%	100,498
2003	8,547	8.2%	14,961	14.3%	51,392	49.2%	1,624	1.6%	12,152	11.6%	11,872	11.4%	3,821	3.7%	104,369
2004	8,816	8.1%	15,745	14.5%	54,347	50.0%	1,700	1.6%	12,263	11.3%	12,383	11.4%	3,508	3.2%	108,760
2005	9,315	8.4%	16,192	14.6%	54,464	49.0%	1,571	1.4%	13,016	11.7%	13,025	11.7%	3,585	3.2%	111,168
2006	9,427	8.3%	16,255	14.3%	56,614	49.8%	1,253	1.1%	13,052	11.5%	13,493	11.9%	3,646	3.2%	113,739
2007	9,220	7.7%	15,798	13.3%	62,481	52.4%	1,053	0.9%	13,154	11.0%	13,438	11.3%	4,044	3.4%	119,188
2008	8,477	7.3%	14,856	12.8%	61,280	53.0%	1,153	1.0%	13,114	11.3%	13,514	11.7%	3,305	2.9%	115,699
2009	8,160	7.2%	14,876	13.2%	59,398	52.5%	1,011	0.9%	13,064	11.6%	13,033	11.5%	3,533	3.1%	113,073
2010	8,382	7.0%	15,546	12.9%	64,736	53.8%	982	0.8%	12,885	10.7%	13,173	10.9%	4,604	3.8%	120,308

資料來源：經濟部能源局網站，能源消費-按部門別。

(2) 運輸部門能源變化趨勢

運輸部門中公路、鐵路、航空及水運總能源耗用量，見表 4.3-17(含各部門電力消耗油當量，不含國際水運)。其中公路佔最大比例為 81.4%，其次為航空約佔 14.8%。

表 4.3-17 運輸部門歷年能源消耗統計(含電力)

單位：千公秉油當量

年 份	公 路		鐵 路		水 運*		航 空		合 計	國 際 水 運
	數 量	比 例	數 量	比 例	數 量	比 例	數 量	比 例	數 量	
1990	6936	86.8%	83	1.0%	241	3.0%	734	9.2%	7994	1698
1991	7395	86.5%	88	1.0%	239	2.8%	824	9.6%	8547	1606
1992	8490	85.9%	88	0.9%	289	2.9%	1017	10.3%	9884	2206
1993	9172	85.0%	92	0.9%	319	3.0%	1214	11.2%	10797	2106
1994	9684	84.5%	89	0.8%	311	2.7%	1378	12.0%	11461	2315
1995	10093	82.4%	90	0.7%	310	2.5%	1749	14.3%	12242	2643
1996	10351	81.4%	93	0.7%	342	2.7%	1927	15.2%	12713	2575
1997	10593	81.2%	107	0.8%	364	2.8%	1980	15.2%	13044	3056
1998	11076	81.2%	117	0.9%	394	2.9%	2062	15.1%	13649	3381
1999	11391	80.3%	126	0.9%	425	3.0%	2246	15.8%	14189	4394
2000	11602	80.6%	135	0.9%	429	3.0%	2220	15.4%	14387	3993
2001	11597	80.8%	136	0.9%	477	3.3%	2151	15.0%	14361	2885
2002	12151	81.3%	138	0.9%	424	2.8%	2228	14.9%	14941	2787
2003	12288	82.3%	141	0.9%	341	2.3%	2153	14.4%	14924	3426
2004	12740	81.2%	142	0.9%	376	2.4%	2430	15.5%	15688	2767
2005	13096	81.2%	143	0.9%	394	2.4%	2490	15.4%	16124	2793
2006	13090	81.0%	149	0.9%	371	2.3%	2555	15.8%	16166	2679
2007	12670	80.7%	208	1.3%	335	2.1%	2481	15.8%	15695	2396
2008	12025	81.7%	264	1.8%	271	1.8%	2159	14.7%	14719	2065
2009	12165	82.6%	261	1.8%	275	1.9%	2034	13.8%	14736	1829
2010	12546	81.4%	274	1.8%	301	2.0%	2285	14.8%	15405	1976

資料來源：1.本研究整理

2.運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)-
建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式，交通部運輸研究
所，98 年

3. *水運不含國際運輸

(3)公路部門各類運具能源變化趨勢

根據資料統計，我國公路部門能源消耗佔所有運輸部門約81%以上(表 4.3-17)。進一步比較第一節中表 4.3-6 各運具能源消耗量，將其變化趨勢如圖 4.3-1 所示。

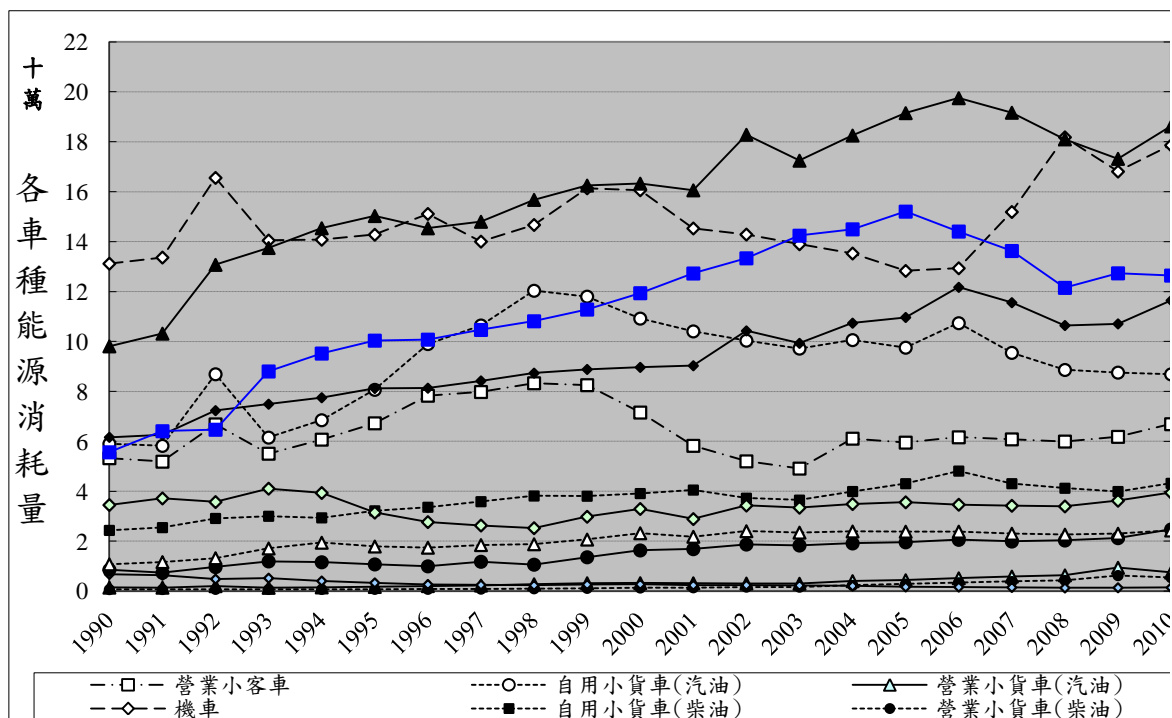
以車種來看，如表 4.3-18，1990 至 2010 年能源消耗量佔最大比例為自用小客車。小客車能源消耗量佔公路部門比例由 1990 年的 35%逐年提高，2010 年佔 43%，提高了 8%；其次為大貨車，從 1990 年到 2010 年間變動幅度不大；再其次為機車，所佔比例自 1990 年到 1997 年有逐漸減少趨勢，1990 年約佔 16%，至 1997 年降至約 12%，2003 年~2006 年更降低至 10%以下，但至 2007 年起至 2010 年其比例又有上升趨勢，約佔 12%。

由各車種總耗油量之歷年變化可看出，自用小客車變動波幅較大，2005 年達高峰之後開始下降。其餘車種變化趨勢變動不大。

表 4.3-18 公路各車種歷年能源消耗佔公路運輸比例

年份	小客車		機車	大客車			特種車	小貨車		大貨車		合計
	自用	營業		自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業	自用	營業	
1990	34.77%	6.66%	16.40%	0.96%	1.21%	4.87%	1.52%	10.81%	0.28%	8.69%	13.83%	100%
1991	37.57%	6.08%	15.67%	0.85%	0.98%	4.92%	1.55%	10.20%	0.26%	8.29%	13.64%	100%
1992	33.03%	6.82%	16.90%	0.56%	1.12%	4.12%	1.53%	12.23%	0.30%	8.33%	15.06%	100%
1993	41.60%	5.21%	13.28%	0.56%	1.27%	4.38%	1.83%	9.02%	0.21%	7.99%	14.66%	100%
1994	42.61%	5.44%	12.60%	0.42%	1.17%	3.97%	1.96%	9.10%	0.22%	7.83%	14.68%	100%
1995	43.10%	5.78%	12.26%	0.33%	1.04%	3.05%	1.74%	10.05%	0.22%	7.87%	14.56%	100%
1996	42.19%	6.56%	12.65%	0.26%	0.94%	2.62%	1.65%	11.47%	0.25%	7.68%	13.73%	100%
1997	42.82%	6.53%	11.46%	0.23%	1.09%	2.43%	1.71%	12.02%	0.27%	7.78%	13.66%	100%
1998	42.31%	6.52%	11.48%	0.21%	0.94%	2.23%	1.66%	12.79%	0.31%	7.71%	13.84%	100%
1999	42.93%	6.28%	12.28%	0.22%	1.12%	2.45%	1.70%	12.10%	0.34%	7.28%	13.32%	100%
2000	44.59%	5.35%	12.00%	0.22%	1.32%	2.65%	1.87%	11.31%	0.35%	7.21%	13.13%	100%
2001	47.56%	4.35%	10.86%	0.19%	1.36%	2.33%	1.76%	11.04%	0.35%	7.27%	12.92%	100%
2002	47.56%	3.71%	10.19%	0.19%	1.44%	2.64%	1.85%	10.02%	0.35%	8.01%	14.04%	100%
2003	50.23%	3.47%	9.80%	0.18%	1.39%	2.54%	1.78%	9.63%	0.34%	7.54%	13.10%	100%
2004	49.31%	4.16%	9.20%	0.16%	1.40%	2.56%	1.76%	9.77%	0.45%	7.87%	13.37%	100%
2005	50.32%	3.94%	8.49%	0.12%	1.40%	2.54%	1.70%	9.53%	0.50%	7.82%	13.65%	100%
2006	47.70%	4.08%	8.57%	0.12%	1.47%	2.47%	1.70%	10.54%	0.59%	8.68%	14.08%	100%
2007	46.61%	4.16%	10.39%	0.11%	1.47%	2.52%	1.70%	9.71%	0.69%	8.52%	14.12%	100%
2008	43.79%	4.32%	13.10%	0.10%	1.58%	2.64%	1.76%	9.59%	0.80%	8.26%	14.05%	100%
2009	45.36%	4.41%	11.98%	0.11%	1.63%	2.78%	1.77%	9.30%	1.15%	8.22%	13.29%	100%
2010	43.68%	4.62%	12.34%	0.11%	1.84%	2.94%	1.81%	9.22%	0.92%	8.66%	13.85%	100%

資料來源：本研究整理。



資料來源：本研究繪製。

圖 4.3-1 公路部門各車種歷年能源消耗變化趨勢

4.3.3 運輸部門溫室氣體排放推估方法

目前因國內缺乏各種運具溫室氣體之實際檢測結果，故國內推估全國運輸部門溫室氣體排放量時，主要採用燃料消耗量進行推估，輸入之排放係數即 IPCC 準則建議之單位燃料排放係數，再配合國內燃料實際熱值代入計算而得。

我國運輸部門所使用的能源種類主要是以化石燃料為大宗，少數為電力，因此在推估全國溫室氣體排放量時所需主要參數即各類能源消耗使用量及相對能源類別之排放係數，包括化石燃料排放係數及電力排放係數。

在化石燃料排放係數方面，根據國內運輸部門主要使用的化石燃料種類所排放出二氧化碳排放係數整理如表 4.3-19，主要化石燃料種類包含 CO_2 、 CH_4 及 N_2O ，其中， CO_2 排放係數推估公式中實際相對熱值、碳固定化比率及碳氧化率等參數主要依各國使用燃料特性數據代入，而熱值參數的部分，主要是取自國內的經濟部能源局出版之能源平衡表。碳固定化比率及碳氧化率則較難有實際量測數據，故 2006 年 IPCC 準則中建議採用碳完全氧化燃燒的數據進

行推估，即碳固定化比率和碳氧化率分別以「0」及「1.0」代入計算。本研究將其 CO₂ 排放係數估算公式歸納如下所示。

CO₂ 排放係數估算公式：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放係數} = \text{各化石燃料別單位熱值碳排放係數} \times \text{實際相對熱值} \\ \times (1 - \text{碳固定化比率}) \times \text{碳氧化率}$$

碳固定化比率及碳氧化率分別以「0」及「1.0」代入計算。

根據 IPCC2006 與經濟部能源局定義其運輸部門能源消耗量的範圍，其中包括：「公路、鐵路、航空、國內水運」的能源消耗量，而國際水運以另列方式不計入本國運輸部門能源消耗量，因此，本章節所討論的能源消耗量係以上述所定義之運輸部門為分析範圍。另外，目前國內所推動產業盤查工作中其提供之排放係數即是以完全氧化之 CO₂ 排放係數為計算依據。

全國溫室氣體排放量之排放係數包含化石燃料及電力排放係數，而運輸部門的電力消耗，主要來自鐵路運輸方面的使用。電力排放係數需視各國發電的能源轉換投入燃料使用狀況及發電效率而定，各年份因發電燃料的使用量權重不同，因此，電力排放係數即會有所不同。

本研究對於國內運輸部門溫室氣體總排放量的推估，即參考 IPCC 推估方法，目前主要以燃料消耗量及單位燃料排放係數進行計算，屬於 IPCC 準則中 Tier1 方法。

表 4.3-19 運輸部門相關化石燃料溫室氣體排放係數

燃料別	碳排放係數	CH ₄ 排放係數	N ₂ O排放係數	原始單位	kcal/原始單位	熱值單位轉換	碳固定化比率	本研究推估引用數值					排放係數單位
	(T-C/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)			J/cal		碳氧化率	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG	
汽油 (Gasoline)	18.9	25.0	8.0	L	7800	4.187	0	1	2263	0.816 ^a	0.261	2359	g/L
航空燃油 (Jet Kerosene)	19.5 ^b	3.0	0.6	L	8000	4.187	0	1	2395	0.100	0.020	2403	g/L
柴油 (Gas/Diesel)	20.2	3.9	3.9	L	(1998 年以前) 8800	4.187	0	1	(1998 年以前) 2730	0.144	0.144	(1998 年以前) 2776	g/L
					(1999 年以後) 8400 ^c				(1999 年以後) 2606	0.137	0.137	(1999 年以後) 2650	
燃料油 (Residual Fuel)	21.1	3.0	0.6	L	(1998 年以前) 9200	4.187	0	1	(1998 年以前) 2981	0.116	0.023	(1998 年以前) 2991	g/L
					(1999 年以後) 9600 ^c				(1999 年以後) 3111	0.121	0.024	(1999 年以後) 3121	
煤油(Other Kerosene)	19.6	3.0	0.6	L	8500	4.187	0	1	2559	0.107	0.021	2568	g/L
液化石油氣 (LPG)	17.2	62.0	0.2	L	6635	4.187	0	1	1753	1.722	0.006	1794	g/L
天然氣 (Natural Gas Dry)	15.3	1.0	0.1	m ³	(1990 年以前) 9000	4.187	0	1	(1990 年以前) 2114	0.038 ^a	0.004 ^a	(1990 年以前) 2116	g/m ³
					(1991 年以後) 8900 ^c				(1991 年以後) 2090	0.037	0.004	(1991 年以後) 2092	

資料來源：

1.2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume2, Ch1 Introduction & Ch3 Mobile Combustion。

2.經濟部能源局網站，2009 年出版能源產品單位熱值表和 emission factors。

備註：a 依據 2006 IPCC 更新修正排放係數推估值

b 依據 2006 IPCC 更新修正航空燃油碳排放係數值

c 依據 2009 年出版能源產品單位熱值表更新修正熱值

4.3.4 運輸部門溫室氣體排放推估結果

1990 至 2010 年歷年全國運輸部門溫室氣體排放量(不含國際水運)變化見表 4.3-20 至表 4.3-21 及圖 4.3-2，與能源消耗成長變化趨勢相近。公路所佔的比例最為顯著，佔約 80~82%之間，其次為航空，佔約 13~15%，鐵路部門最少，佔約 0.9~2%。

表 4.3-20 運輸部門歷年 CO₂ 排放量推估統計(含電力)

單位：千公噸

年份	公路		鐵路			航空		水運*		運輸部門合計		
	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	電力排放	佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	電力排放	加總
1990	18,546	86.53%	130	90	1.03%	1,978	9.23%	690	3.22%	21,343	90	21,433
1991	19,761	86.28%	139	96	1.02%	2,221	9.70%	687	3.00%	22,808	96	22,903
1992	22,692	85.57%	138	117	0.96%	2,740	10.33%	832	3.14%	26,403	117	26,520
1993	24,513	84.64%	144	118	0.91%	3,271	11.29%	916	3.16%	28,845	118	28,963
1994	25,865	84.06%	140	159	0.97%	3,712	12.07%	893	2.90%	30,611	159	30,769
1995	26,934	82.12%	140	117	0.78%	4,714	14.37%	893	2.72%	32,680	117	32,797
1996	27,594	81.09%	132	131	0.77%	5,192	15.26%	982	2.88%	33,899	131	34,030
1997	28,241	80.85%	129	185	0.90%	5,334	15.27%	1,042	2.98%	34,746	185	34,931
1998	29,524	80.78%	126	217	0.94%	5,556	15.20%	1,124	3.07%	36,330	217	36,547
1999	30,348	79.90%	133	235	0.97%	6,052	15.93%	1,217	3.20%	37,749	235	37,985
2000	30,918	80.27%	123	269	1.02%	5,982	15.53%	1,226	3.18%	38,249	269	38,518
2001	30,895	80.38%	118	269	1.01%	5,796	15.08%	1,360	3.54%	38,168	269	38,437
2002	32,414	80.98%	117	285	1.00%	6,002	14.99%	1,211	3.02%	39,744	285	40,029
2003	32,741	82.02%	106	287	0.99%	5,802	14.53%	982	2.46%	39,632	287	39,919
2004	33,964	80.85%	95	321	0.99%	6,547	15.58%	1,083	2.58%	41,689	321	42,010
2005	34,919	80.86%	96	326	0.98%	6,710	15.54%	1,135	2.63%	42,860	326	43,185
2006	34,944	80.62%	94	350	1.02%	6,885	15.89%	1,069	2.47%	42,992	350	43,342
2007	33,815	80.37%	91	522	1.46%	6,686	15.89%	961	2.29%	41,553	522	42,076
2008	32,095	81.31%	90	691	1.98%	5,816	14.73%	778	1.97%	38,779	691	39,470
2009	32,456	82.21%	75	678	1.91%	5,480	13.88%	791	2.00%	38,801	678	39,480
2010	33,504	81.09%	83	709	1.92%	6,156	14.90%	866	2.10%	40,609	709	41,318

資料來源：1. *水運不含國際運輸 2. 本研究整理推估

表 4.3-21 運輸部門歷年 CO₂ 當量排放量推估統計(含電力)

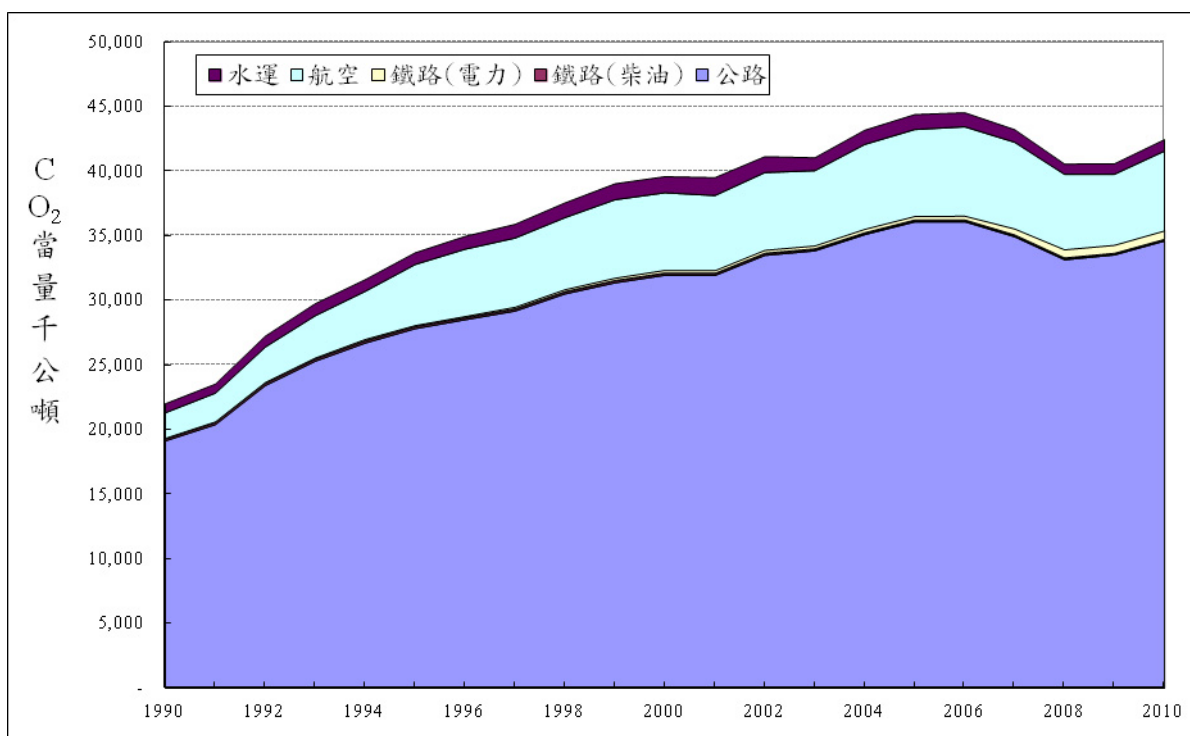
單位：千公噸

年份	公路		鐵路		依能源局公告 GHG-CO ₂ 當量	鐵路		航空		水運*		運輸部門合計		
	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	電力排放		佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	排放量	電力排放	加總
1990	19,161	86.85%	132	90	0.445	1.01%	1,984	8.99%	696	3.15%	21,973	90	22,063	4,958,228
1991	20,421	86.61%	141	96	0.482	1.01%	2,228	9.45%	693	2.94%	23,483	96	23,579	4,690,847
1992	23,448	85.91%	141	118	0.491	0.95%	2,749	10.07%	839	3.07%	27,176	118	27,294	6,445,008
1993	25,331	85.00%	147	119	0.501	0.89%	3,282	11.01%	923	3.10%	29,683	119	29,801	6,147,279
1994	26,734	84.44%	142	159	0.501	0.95%	3,725	11.76%	900	2.84%	31,501	159	31,660	6,760,281
1995	27,848	82.55%	142	117	0.510	0.77%	4,730	14.02%	899	2.67%	33,619	117	33,736	7,721,560
1996	28,541	81.53%	134	132	0.519	0.76%	5,209	14.88%	989	2.83%	34,874	132	35,006	7,505,750
1997	29,210	81.30%	131	186	0.547	0.88%	5,351	14.89%	1,051	2.93%	35,744	186	35,930	8,921,569
1998	30,539	81.23%	128	218	0.575	0.92%	5,574	14.83%	1,135	3.02%	37,377	218	37,595	9,871,171
1999	31,397	80.36%	135	237	0.575	0.95%	6,072	15.54%	1,228	3.14%	38,832	237	39,069	12,831,862
2000	31,984	80.73%	125	270	0.593	1.00%	6,002	15.15%	1,237	3.12%	39,349	270	39,619	11,659,101
2001	31,964	80.83%	120	270	0.603	0.99%	5,815	14.71%	1,373	3.47%	39,272	270	39,542	8,410,202
2002	33,520	81.42%	119	286	0.603	0.98%	6,022	14.63%	1,222	2.97%	40,883	286	41,169	8,138,046
2003	33,872	82.46%	108	289	0.621	0.97%	5,821	14.17%	989	2.41%	40,791	289	41,079	10,007,560
2004	35,130	81.30%	97	322	0.621	0.97%	6,569	15.20%	1,091	2.53%	42,887	322	43,209	8,076,719
2005	36,116	81.31%	97	327	0.626	0.96%	6,732	15.16%	1,143	2.57%	44,089	327	44,416	8,146,319
2006	36,126	81.08%	96	351	0.637	1.00%	6,908	15.50%	1,077	2.42%	44,206	351	44,558	7,819,913
2007	34,961	80.82%	93	525	0.632	1.43%	6,708	15.51%	969	2.24%	42,731	525	43,256	6,992,738
2008	33,182	81.75%	92	694	0.631	1.94%	5,835	14.38%	785	1.93%	39,894	694	40,589	6,027,794
2009	33,561	82.63%	76	682	0.616	1.87%	5,498	13.54%	798	1.96%	39,932	682	40,614	5,334,082
2010	34,632	81.53%	84	713	0.612	1.88%	6,177	14.54%	872	2.05%	41,765	713	42,477	5,768,361

資料來源：1. 1990-2008 年 GHG-CO₂ 當量參考自運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)- 建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式，交通部運輸研究所，98 年。

2. 2008-2010 年 GHG-CO₂ 當量參考自經濟部能源局網站，年度電力排放係數。

3. *水運不含國際運輸 4. 本研究整理推估



資料來源：本研究繪製。

圖 4.3-2 運輸部門溫室氣體排放量變化趨勢

由圖 4.3-2 可看出，公路所佔的 CO₂ 排放量最高，2006 年達到高峰後逐年下降，至 2008 年起又有上升趨勢。本研究整理出溫室氣體排放量公式如表 4.3-22。

表 4.3-22 運輸部門溫室氣體排放量公式

運輸部門歷年溫室氣體 GHG 排放量=(A)各類化石燃料能源消耗量*(B)排放係數		
計算項目	資料來源	附註
(A)各類化石燃料能源消耗量	經濟部能源局網站-臺灣能源平衡表	
(B)排放係數	熱值參自臺灣能源平衡表， 其他參自 IPCC 準則	

資料來源：本研究整理。

4.4 小結

以上為配合模型建構所必須建置之資料庫內容與資料來源說明，由於模型發展初期，受限於資料與分析目的之適用性問題，使模型在操作上與政策效果解釋上受到牽制，因此隨著模型逐步擴充，需要的資料內容也愈形複雜。茲將目前模型建構所需蒐集之資料需求、資料型態、資料期間、資料來源，以及資料取得方式，綜整如表 4.4-1 所示。

到目前為止，資料蒐集與編製上遭遇的困難包括：

- 1.由於運輸相關資料繁雜，對於資料使用之名詞、定義與包含之範圍應儘可能詳細說明，以避免產生誤用情況；
- 2.由於模型使用之資料來源眾多，因此資料期間與資料分類(例如行業與商品分類、自用與營業車輛分類、國際與國內運輸等)應儘可能與其他統計資料(例如能源平衡表與產業關聯表)建立對映方法；
- 3.鑒於模型未來評估所需，運輸相關稅費資訊(包括法源、稅基、稅費率、課徵方式、歷年稅費收入、應用方式與比例等)應統整彙編，建立經濟類政策工具基本資料；
- 4.私人運輸運量尚需更全面而持續之統計資訊；
- 5.基於運具選擇決策所需，未來對於個人運具選擇機率、使用頻率、各類運具於不同旅行目的之平均旅行時間等資料，仍需要進一步蒐集；
- 6.未來若可考量不同所得階層消費者之運輸需求差異，則上述第 1-5 項所提及之各項資料，便須進一步統計所得水準。

第五章 基線推估與案例評估

5.1 運輸部門基線推估

在探討運輸部門減量成效與政策評估前，運輸部門溫室氣體排放基線的確立，為所有評估工作之基礎。以下分別說明運具能源消耗預測模型與運輸 CGE 模型基線推估結果。

5.1.1 運具能源消耗預測模型基線

如前述章節所述，運具能源消耗預測模型係以歷史資料構建經濟計量模型，並據以進行預測，其中就能源消耗量的分類方式有：「能源別總計消耗量」與「運具別能源消耗量(公路運輸)」兩種；另就經濟計量模型的分類方式係屬多元迴歸模型，但再依方程式數量可區分為：「單一方程式獨立校估模型」與「聯立方程式同時校估模型」兩類。「單一方程式獨立校估模型」可同時考慮多各自變數及政策變數，而「聯立方程式同時校估模型」則可避免單一方程式獨立校估模型間殘差項具有相關性的問題。

此外，在進行能源消耗與二氧化碳排放量基線預測之前，必須針對模型的自變數先進行預測，依據第三章運具能源消耗預測模型之介紹，其選定變數中有些變數因無相關單位可提供預測值，故仍須仰賴自行進行推估，需自行推估的自變數共計有 GDP、自用小客車人均持有、機車戶均持有與能源價格。其中，GDP 之預測值係參考運輸 CGE 模型之推估值，至於自用小客車人均持有、機車戶均持有與能源價格則以簡單的線性、指數、對數與乘冪趨勢函數(trend function)先對歷史資料分別建立趨勢模型，經各模型預測目標年值後，刪除極端不合理情況，再選取適當的模型預測值取平均值而得。

在基線推估結果方面，表 5.1-1 為能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量的預測結果，在 2020 年公路運輸合計消耗量為基準年(2005 年)的 1.25 倍(約成長 25%)。此外，在 2025 年運輸部門合計消耗量為基準年的 1.42 倍(成長 42%)。

表 5.1-1 能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測值	成長倍數	預測值	成長倍數
公路	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	11,096 ¹	1.22	12,697	1.39
	柴油車 (3,995 千公秉油當量)	5,264	1.32	5,965	1.49
	公路合計 (13,096 千公秉油當量)	16,361	1.25	18,662	1.43
	國內水運 (394 千公秉油當量)	341	0.87	353	0.90
	鐵路 (167 千公秉油當量)	355	2.13	439	2.63
	國內航空 (219 千公秉油當量)	178	0.81	183	0.84
	運輸部門合計 (13,876 千公秉油當量)	17,235	1.24	19,637	1.42
	國際航空 (2,491 千公秉油當量)	4,256	1.71	5,422	2.18
	水運-國際水運 (2,793 千公秉油當量)	3,055	1.09	3,315	1.19

資料來源：本研究整理。

¹此值為預測區間之點預測值

表 5.1-2 為運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量的預測結果，在 2020 年公路汽油車消耗量為基準年的 1.30 倍(成長 30%)，而大客車除特種車外另包含市區公車及國道客運，2020 年的消耗量為基準年的 1.38 倍(成長 38%)。2025 年公路運輸合計消耗量為基準年的 1.53 倍(成長 53%)。

表 5.1-2 運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消耗量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測值	成長倍數	預測值	成長倍數
公路	小客車 (7,106 千公秉油當量)	9,222 ²	1.30	11,145	1.57
	汽油小貨車 (884 千公秉油當量)	1,139	1.29	1,282	1.45
	機器腳踏車 (1,180 千公秉油當量)	1,476	1.25	1,528	1.29
	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	11,837	1.30	13,955	1.53
	柴油小貨車 (429 千公秉油當量)	699	1.63	869	2.03
	大客車(不含特種車) (605 千公秉油當量)	837	1.38	958	1.58
	大貨車 (2,811 千公秉油當量)	3,482	1.24	3,978	1.42
	柴油車 (3,845 千公秉油當量)	5,019	1.31	5,805	1.51
	公路合計 (12,946 千公秉油當量)	16,855	1.30	19,761	1.53
	臺北捷運電力 (38 千公秉油當量)	75	1.97	95	2.50
軌道	臺鐵電力 (96 千公秉油當量)	136	1.42	156	1.63

資料來源：本研究整理。

²此值為預測區間之點預測值

表 5.1-3 為能源別「聯立方程式同時校估模型」CO₂排放量預測結果，在 2020 年公路運輸合計排放量為基準年(2005 年)的 1.25 倍(成長 25%)。此外，在 2025 年運輸部門合計排放量為基準年的 1.42 倍(成長 42%)。

表 5.1-3 能源別「聯立方程式同時校估模型」CO₂當量排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測值	成長倍數	預測值	成長倍數
公路	汽油 (23,766 千公噸排放量)	28,974 ³	1.22	33,153	1.39
	柴油 (11,126 千公噸排放量)	14,699	1.32	16,656	1.50
	公路合計 (34,892 千公噸排放量)	43,673	1.25	49,810	1.43
	國內水運 (1,135 千公噸排放量)	979	0.86	1,012	0.89
	鐵路合計 (423 千公噸排放量)	1,060	2.51	1,313	3.10
	國內航空 (589 千公噸排放量)	480	0.81	492	0.84
	運輸部門合計 (37,039 千公噸排放量)	46,192	1.25	52,627	1.42
	國際航空 (6,710 千公噸排放量)	11,466	1.71	14,610	2.18
	水運-國際水運 (8,109 千公噸排放量)	9,669	1.19	10,313	1.27

資料來源：本研究整理

³此值為預測區間之點預測值

而表 5.1-4 為運具別「聯立方程式同時校估模型」CO₂排放量預測結果，在 2020 年公路汽油車合計排放量為基準年的 1.31 倍(成長 31%)。2025 年公路柴油車合計排放量為基準年的 1.72 倍(成長 72%)。2025 年公路運輸合計排放量為基準年的 1.61 倍(成長 61%)。

表 5.1-4 運具別「聯立方程式同時校估模型」CO₂當量排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測值	成長倍數	預測值	成長倍數
公路	小客車 (18,179 千公噸排放量)	25,836 ⁴	1.42	31,840	1.75
	汽油小貨車 (2,261 千公噸排放量)	1,180	0.52	1,198	0.53
	機器腳踏車 (3,325 千公噸排放量)	4,023	1.21	4,157	1.25
	汽油車 (23,766 千公噸排放量)	31,039	1.31	37,195	1.57
	柴油小貨車 (1,248 千公噸排放量)	1,851	1.48	2,210	1.77
	大客車(不含特種車) (1,395 千公噸排放量)	2,771	1.99	3,097	2.22
	大貨車 (7,041 千公噸排放量)	9,950	1.41	11,373	1.62
	柴油車 (9,684 千公噸排放量)	14,573	1.50	16,680	1.72
	公路合計 (33,450 千公噸排放量)	45,612	1.36	53,875	1.61
軌道	臺北捷運電力 (90 千秉油當量)	186	2.07	236	2.62
	臺鐵電力 (238 千秉油當量)	338	1.42	388	1.63

資料來源：本研究整理

⁴此值為預測區間之點預測值

表 5.1-5 為「單一方程式校估模型」能源消耗量預測結果，營業小客車在 2020 年之能源消耗量與基準年成長 1.45 倍。2020 年一般公路客運的CO₂排放量與基準年相較成長 0.82 倍。

表 5.1-5 「單一方程式校估模型」能源消耗量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測區間值	成長倍數	預測區間值	成長倍數
公路	營業小客車 (1,320 千公噸排放量)	735 ⁵	1.42	834	1.62
		880 ⁶	1.71	999	1.94
		614 ⁷	1.19	697	1.35
	柴油自用大客車 (41 千公噸排放量)	11	0.69	11	0.67
		13	0.84	13	0.82
		9	0.57	9	0.55
	遊覽車 (957 千公噸排放量)	229	1.25	260	1.42
		324	1.77	369	2.02
		161	0.88	183	1.00
	一般公路客運 (182 千公噸排放量)	57	0.82	54	0.77
		60	0.86	56	0.80
		55	0.79	52	0.74
軌道	高鐵電力與其它捷運 電力 (千秉油當量)	137	-	147	-
		331	-	366	-
		36	-	35	-

資料來源：本研究整理

⁵此值為預測區間之點預測值

⁶此值為預測區間之上限值

⁷此值為預測區間之下限值

表 5.1-6 為「單一方程式校估模型」CO₂排放量預測結果，營業小客車在 2020 年之CO₂排放量與基準年成長 1.45 倍。2020 年一般公路客運的CO₂排放量與基準年相較成長 0.92 倍。

表 5.1-6 「單一方程式校估模型」CO₂當量排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
		預測區間值	成長倍數	預測區間值	成長倍數
公路	營業小客車 (1,320 千公噸排放量)	1,919 ⁸	1.45	2,178	1.65
		2,298 ⁹	1.74	2,608	1.98
		1,603 ¹⁰	1.21	1,819	1.38
	柴油自用大客車 (41 千公噸排放量)	29	0.71	29	0.71
		36	0.88	35	0.85
		24	0.59	24	0.59
	遊覽車 (957 千公噸排放量)	639	0.67	726	0.76
		906	0.95	1,030	1.08
		450	0.47	512	0.54
	一般公路客運 (182 千公噸排放量)	156	0.86	147	0.81
		168	0.92	158	0.87
		143	0.79	136	0.75
軌道	高鐵電力與其它捷運 電力 (千秉油當量)	341	-	365	-
		822	-	909	-
		91	-	85	-

資料來源：本研究整理

⁸ 此值為預測區間之點預測值

⁹ 此值為預測區間之上限值

¹⁰ 此值為預測區間之下限值

綜合上述分析結果，運具能源消耗預測模型之基線推估結果：2020 年運輸部門能源消耗量區間值為 14,351~21,647 千公秉油當量；2025 年則為 20,484~25,086 千公秉油當量。2020 年運輸部門CO₂排放量為 38,760~57,809 千公噸；2025 年區間值則為 44,922~67,020 千公噸(如表 5.1-7 所示)。

表 5.1-7 能源別與運具別聯立方程式模型校估結果比較表

類別		項目	聯立方程式同時校估模型					
			2020 年預測區間值			2025 年預測區間值		
能源消耗量預測	能源別	公路汽油	9,112 ¹¹	12,303 ¹²	13,578 ¹³	10,448 ¹	12,754 ²	15,569 ³
		公路柴油	4,725	5,611	5,664	5,570	6,615	7,856
		公路合計	13,837	16,734	20,242	16,018	19,369	23,425
		運輸部門合計	14,351	17,679	21,647	16,584	20,484	25,086
	運具別	汽油車	10,380	13,231	16,940	13,204	16,848	21,583
		柴油車(不含特種車)	4,479	5,596	6,893	5,220	6,520	8,070
		公路合計	14,859	18,827	23,834	18,424	23,367	29,653
CO ₂ 當量排放量預測	能源別	公路汽油	23,792	29,044	35,455	27,281	33,303	40,654
		公路柴油	13,192	14,956	18,607	15,551	17,629	21,933
		公路合計	36,984	43,999	54,061	42,832	50,932	62,587
		運輸部門合計	38,760	45,543	57,809	44,922	53,937	67,020
	運具別	汽油車	27,104	34,548	44,266	34,477	43,992	56,423
		柴油車(不含特種車)	11,994	14,838	18,339	13,967	17,310	21,452
		公路合計	39,098	49,386	62,605	48,444	61,301	77,875

資料來源：本研究整理

¹¹ 此值為預測區間之下限值

¹² 此值為預測區間之點預測值

¹³ 此值為預測區間之上限值

5.1.2 運輸 CGE 模型基線

1. 總體經濟發展

2010 年前以歷史值做基線校準，並推估 2011 年至 2030 年的模型基線(如圖 5.1-1)。說明總體經濟指標 GDP 的基線可由圖 5.1-1 看出，到 2030 年的實質 GDP 為 25 兆 7 千億元，相較 2007 年約成長兩倍；而在經濟成長率部分，雖是逐年上升，但成長幅度逐漸減少，2030 年僅有 2.31%。

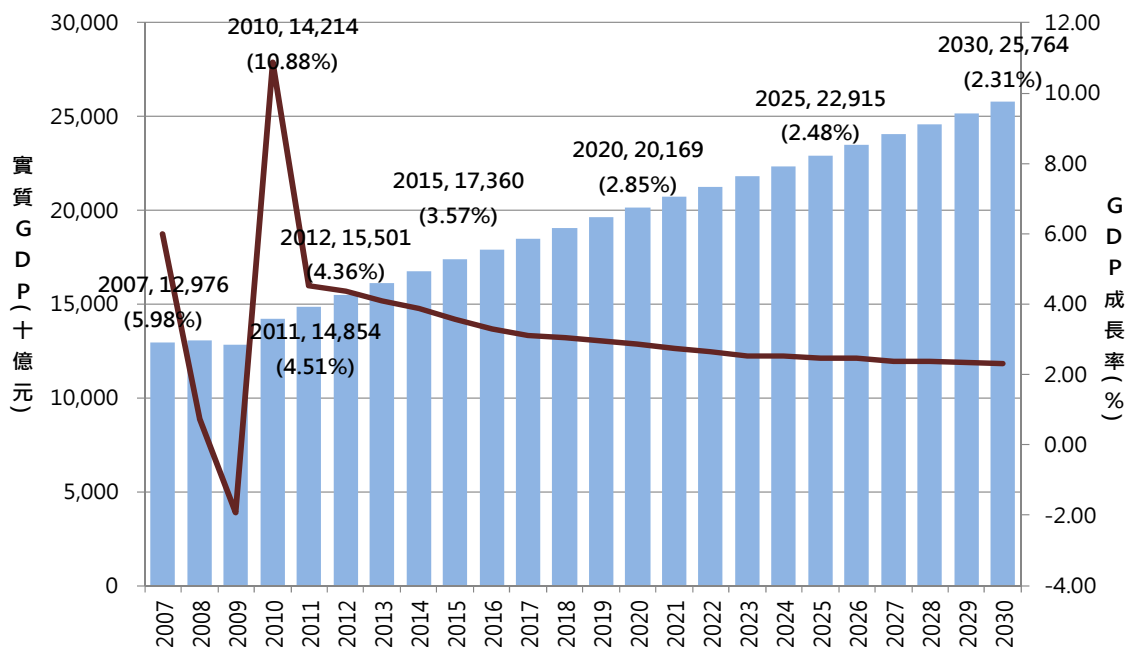


圖 5.1-1 GDP 與 GDP 成長率基線預測結果

將基線之實質 GDP 除以客運總運量，則單位運量 GDP 呈現長期成長趨勢(圖 5.1-2)；此生產力指標受經濟振盪影響，當 GDP 大幅波動時，運量未必同幅變化；單位運量 GDP，平均約為 36 元/人公里；2007 年單位運量 GDP 約為 35.61 元/人公里，與 OECD 國家相較，約與義大利相當，但普遍低於其他國家(圖 5.1-3)。

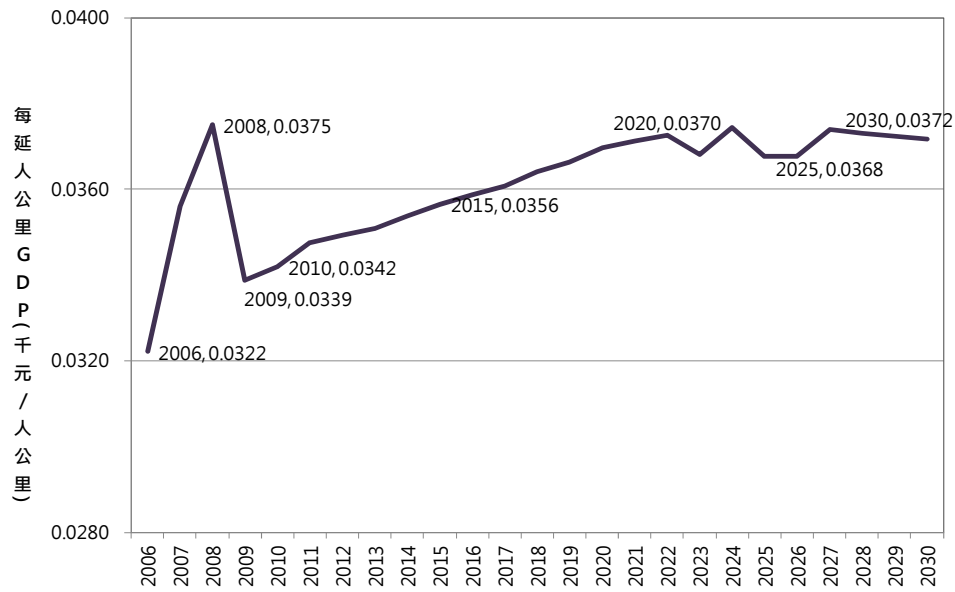
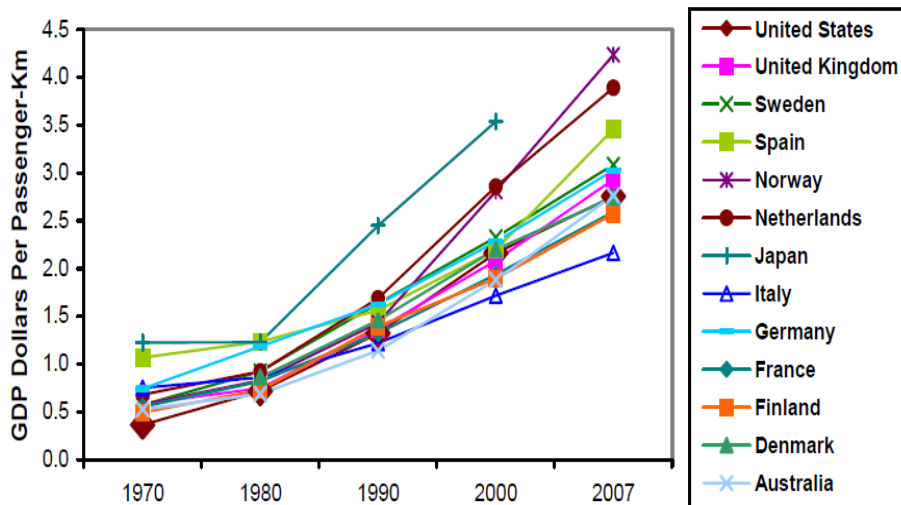


圖 5.1-2 單位運量 GDP 基線預測結果

Figure 7 GDP per Passenger-Kilometer for Various Countries (OECD 2009)



Most countries are increasing GDP per passenger-mile, some much more than the U.S.

資料來源：Litman (2011), “Are Vehicle Travel Reduction Targets Justified?”.

圖 5.1-3 OECD 國家單位運量 GDP 之歷史趨勢

2. 運量基線預測

鐵路客運與大眾捷運系統之運量基線如圖 5.1-4 所示。其中鐵路客運在歷史年校估過程，已將高速鐵路運量納入，故出現較高幅度成長，到 2030 年時，運量約達 35,937,824 千人公里，約為 2010 年運量之 3.29 倍；大眾捷運系統至 2030 年運量約達 4,344,204 千人公里，約為 2010 年運量之 2.23 倍。

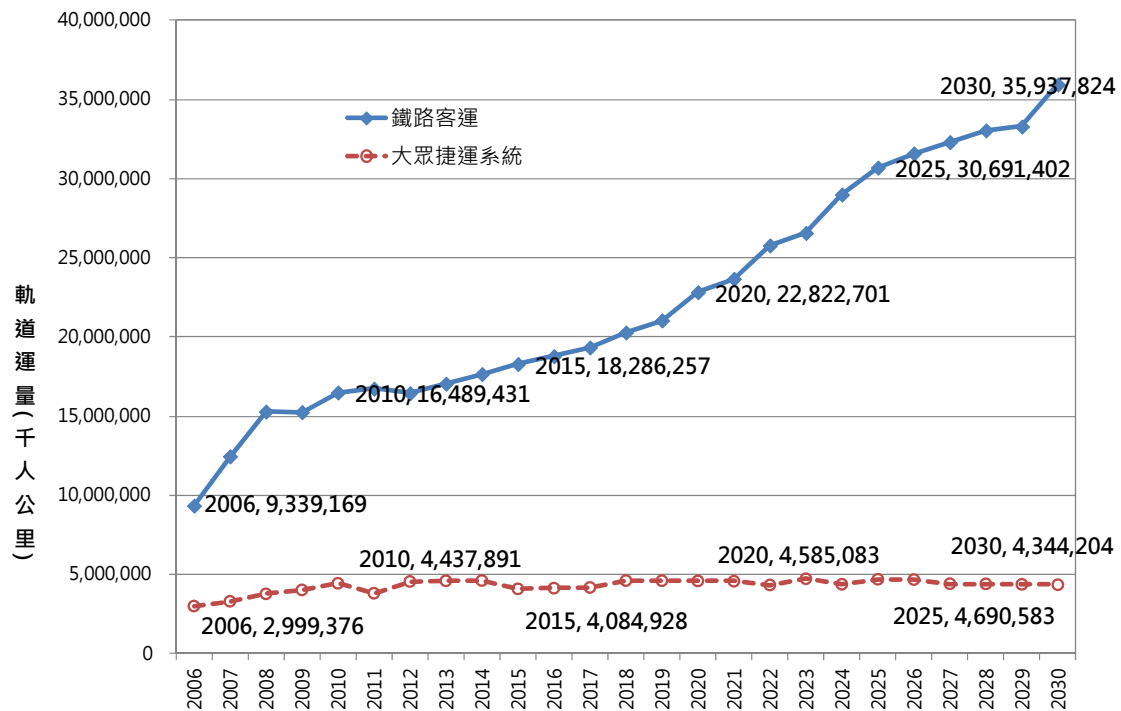


圖 5.1-4 軌道運輸運量基線預測結果

在公路客運的運量基線上，運量呈現三個層級，以計程車和國道客運的運量較高，市區公車運量次之，一般公路的運量較低。到 2030 年計程車和國道客運的推估運量最高為 8,736,950 千人公里，一般公路客運運量推估為 2,286,051 千人公里(如圖 5.1-5 所示)。

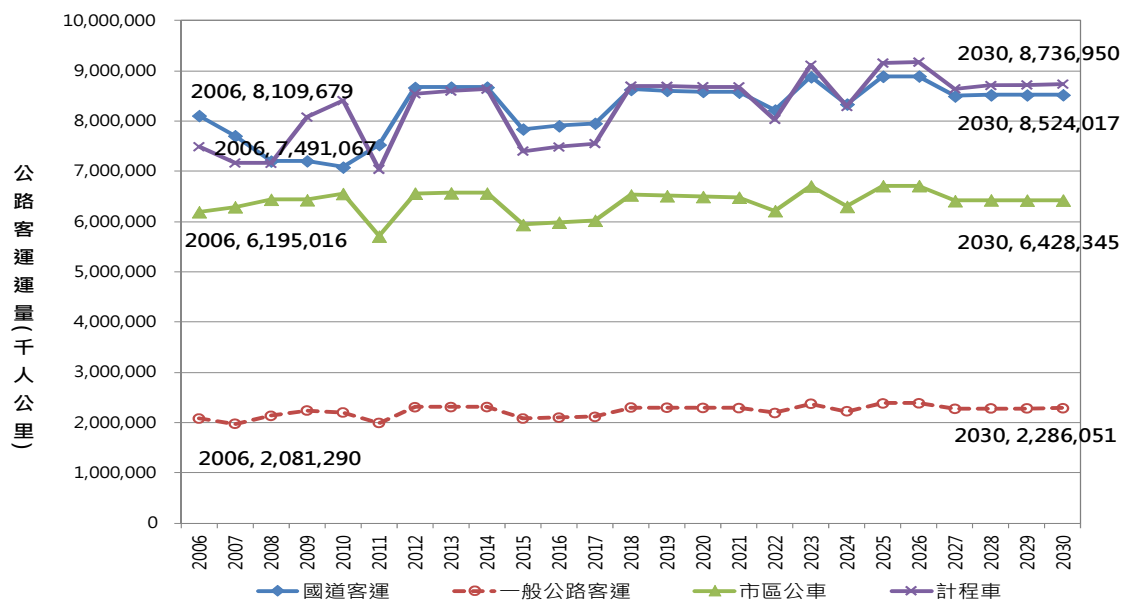


圖 5.1-5 公路客運運量基線預測結果

在私人運輸客運運量基線推估上，到 2030 年時，自用小客車成長約 444,521,033 千人公里，相較 2006 年，自小客車運量成長兩倍(如圖 5.1-6 所示)。

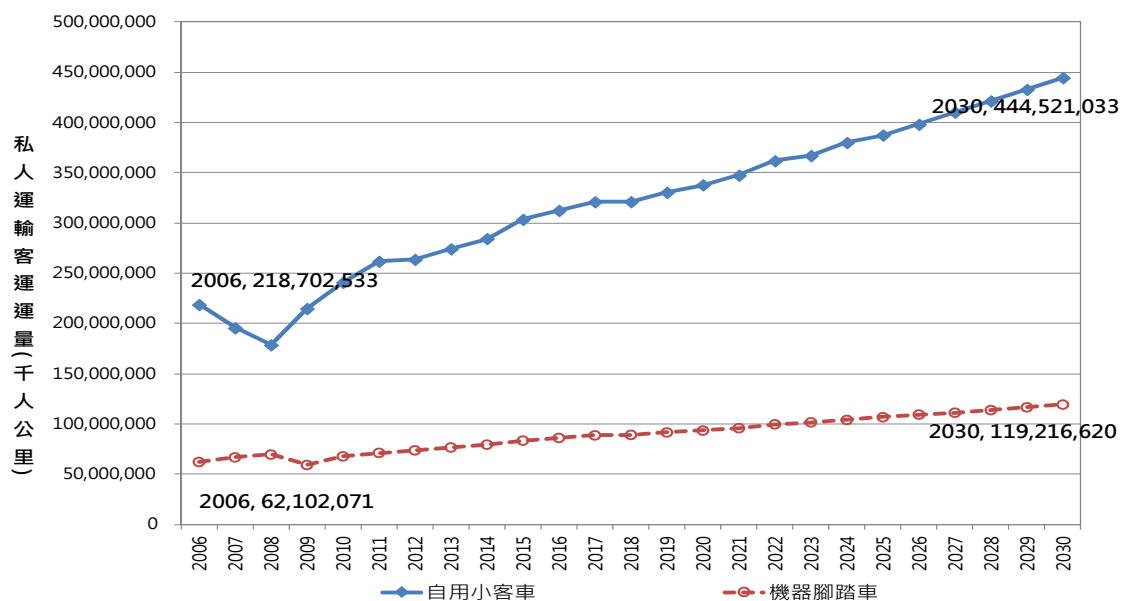


圖 5.1-6 私人運輸運量基線預測結果

在貨運運量基線推估上，各運具的運量呈現三個級距，到 2030 年時，以公路的運量最高為 28,442,068 千噸公里，自營貨運運量次之為 7,031,341 千噸公里，鐵路貨運量最低為 1,041,861 千噸公里(如圖 5.1-7 所示)。

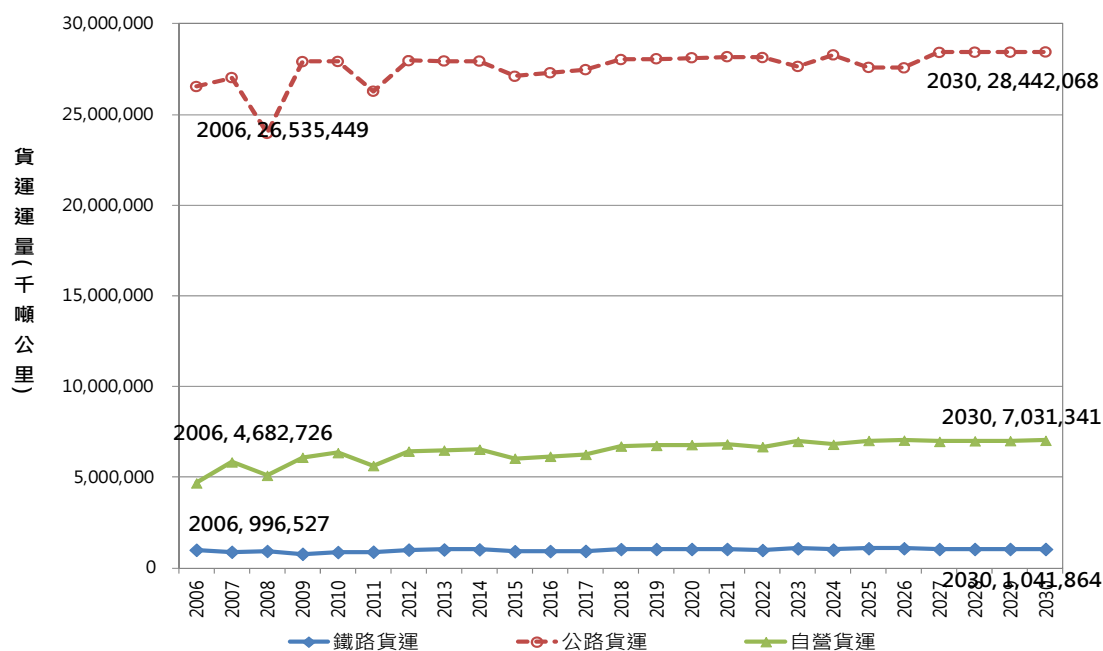


圖 5.1-7 貨運運量基線預測結果

客、貨運總運量基線預測結果如圖 5.1-8 所示。

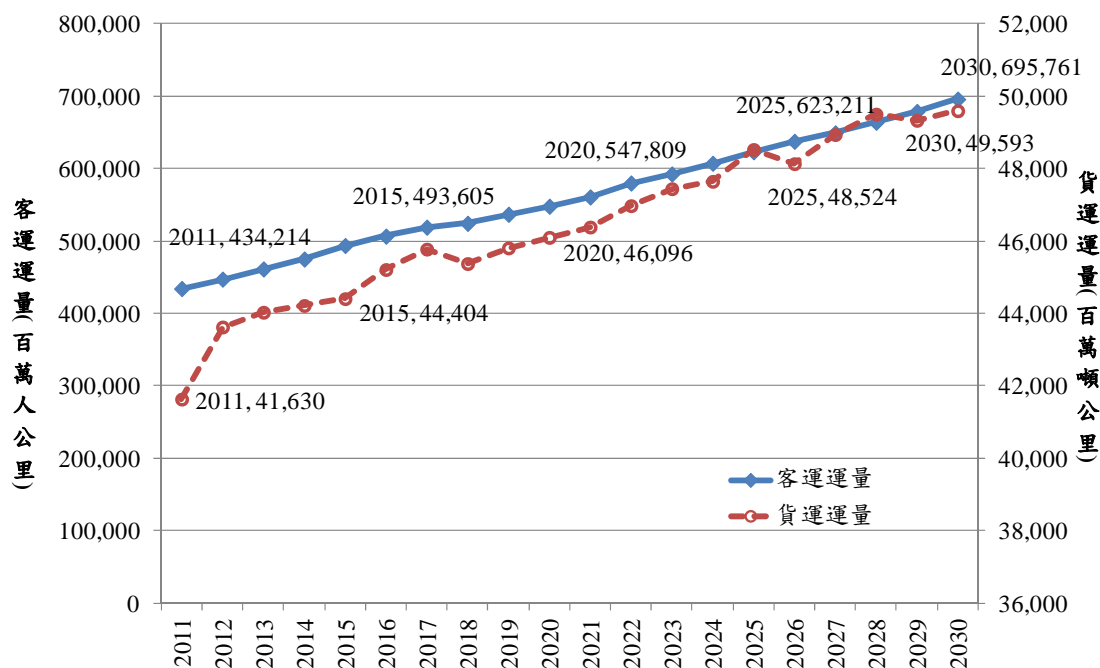


圖 5.1-8 客、貨運總運量基線預測結果

由客運各運具運量佔客運總運量之比重觀察(如圖 5.1-9 所示)，自用小客車佔比相較其他運具，呈現明顯成長趨勢，其次鐵路客運因高速鐵路運量成長迅速，亦呈現佔比增加趨勢，空中客運佔比則為逐年減少。

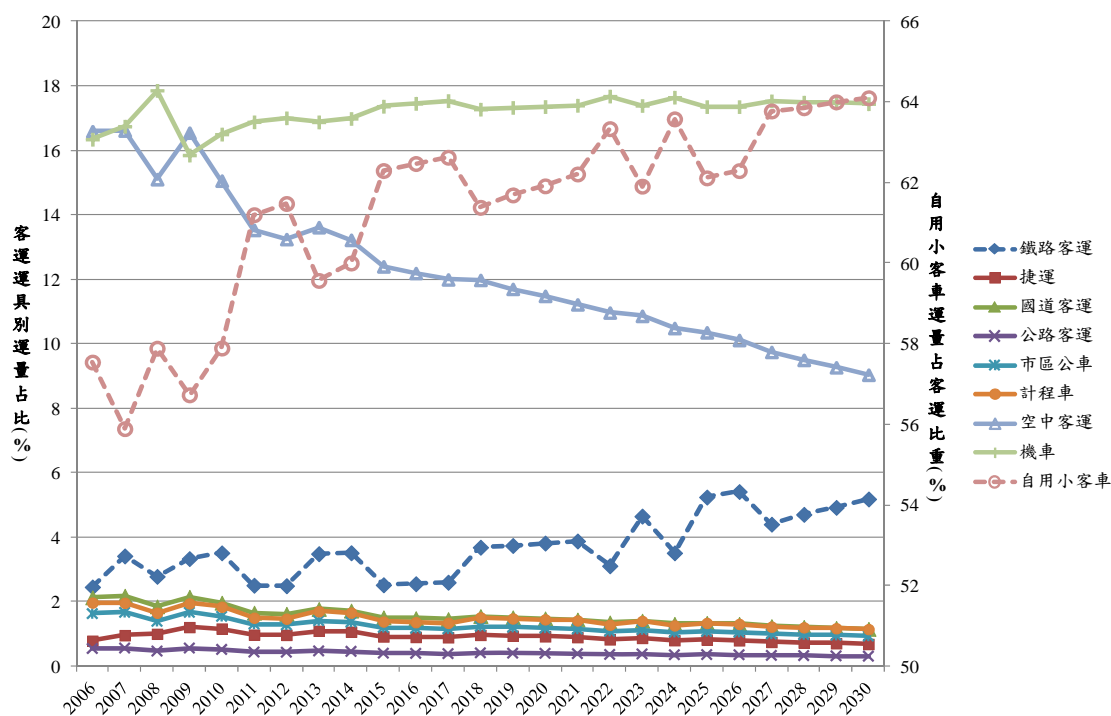


圖 5.1-9 客運運具結構基線預測結果

表 5.1-8 彙整客運各運具運量佔整體客運運量之比重，自用小客車 2012 年至 2030 年平均佔比約 62.35%，機車次之，約 17.36%。至 2025 年公共運輸運量佔整體客運運量比重，約達 20.54%。

表 5.1-8 客運各運具運量佔比

單位：%

	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
2012	2.50	0.97	1.62	0.43	1.28	1.47	13.24	61.48	17.00
2015	2.52	0.92	1.52	0.40	1.20	1.38	12.40	62.29	17.36
2020	3.82	0.92	1.48	0.40	1.18	1.45	11.48	61.91	17.35
2025	5.24	0.83	1.34	0.36	1.08	1.34	10.35	62.11	17.35
2030	5.18	0.69	1.16	0.31	0.93	1.15	9.04	64.10	17.44
2012-2030 平均	3.87	0.87	1.43	0.38	1.14	1.38	11.23	62.35	17.36

3. 能源消耗基線預測

在能源消耗部分，鐵路客運與大眾捷運系統能源消耗基線如圖 5.1-10 所示。至 2025 年，兩者能源消耗量分別達 372 千公秉油當量與 73.4 千公秉油當量，約為 2006 年之 3.56 與 1.78 倍。大眾捷運之能耗量預測值略低於表 5.1-2 預測結果。

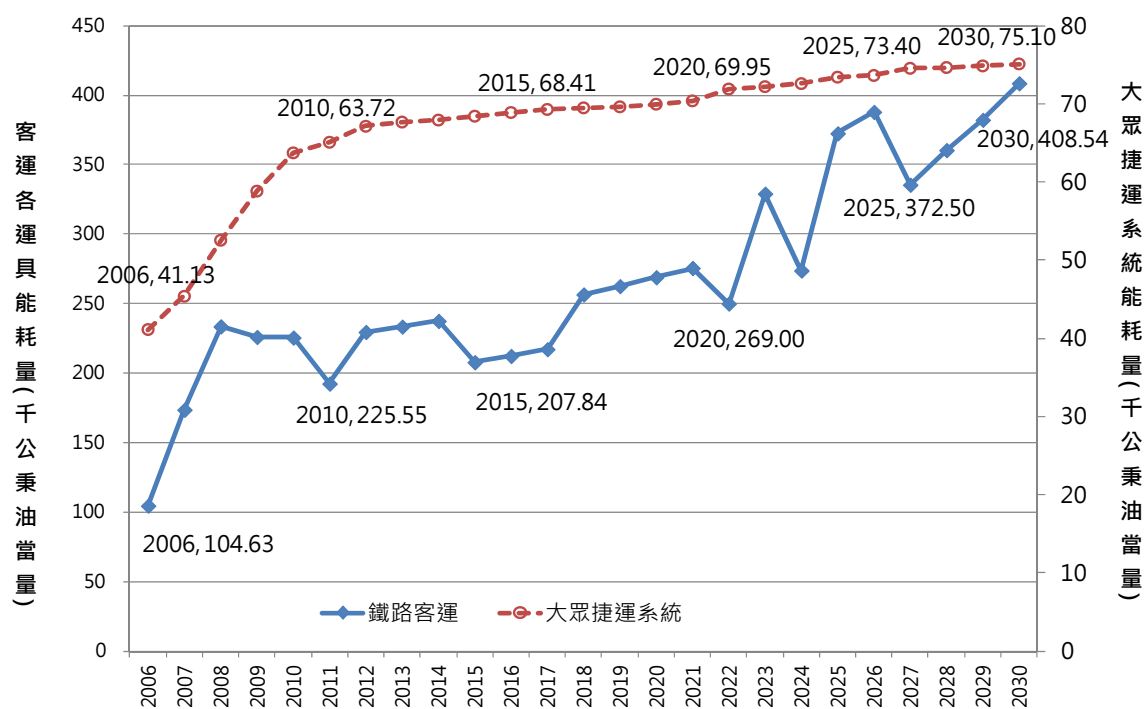


圖 5.1-10 軌道客運能源消耗量基線預測結果

公路客運之能源消耗量基線如圖 5.1-11 所示。市區公車與計程車能耗量有較明顯的成長趨勢，至 2025 年達 328 千公秉油當量與 681 千公秉油當量，分別為 2006 年之 1.63 與 1.28 倍。一般公路客運成長幅度較為平穩，2025 年能耗量約 94 千公秉油當量，為 2006 年之 1.4 倍。國道客運能耗量則呈現微幅下降趨勢，至 2025 年約 240 千公秉油當量，為 2006 年之 0.91 倍。

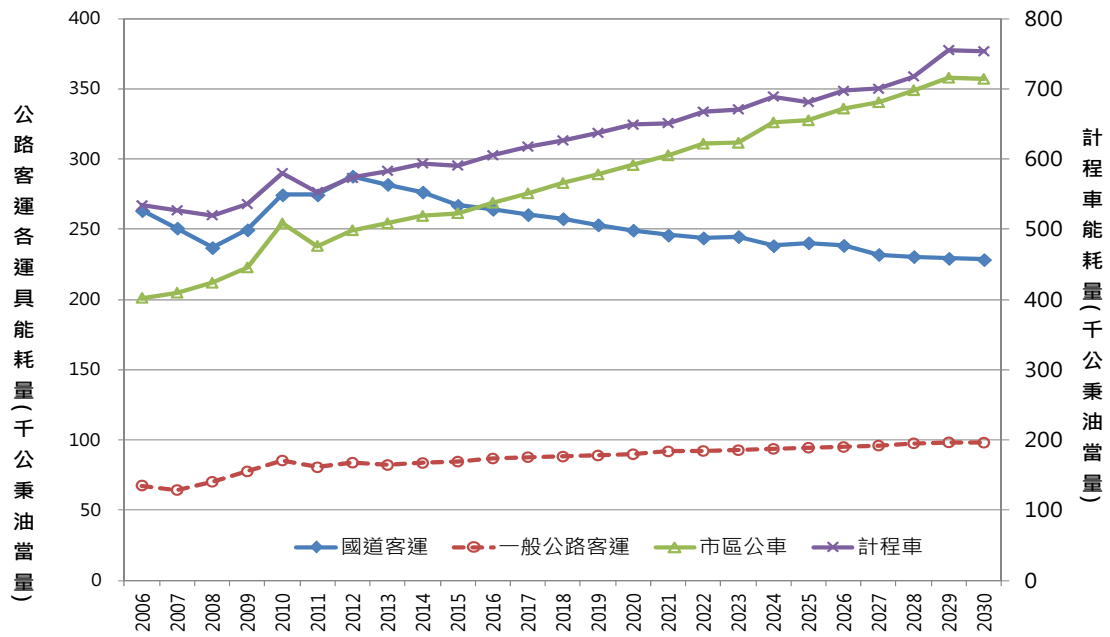


圖 5.1-11 公路客運能源消耗量基線預測結果

私人運輸能耗如圖 5.1-12 所示，呈現逐年遞增趨勢，至 2025 年自用小客車能耗量達 11,058 千公秉油當量，約為 2006 年之 1.77 倍，與表 5.1-2 運具能源消耗預測模型結果相當接近；2025 年機車能耗量達 2,441 千公秉油當量，約為 2006 年之 2.18 倍，亦較表 5.1-2 預測之結果為高。

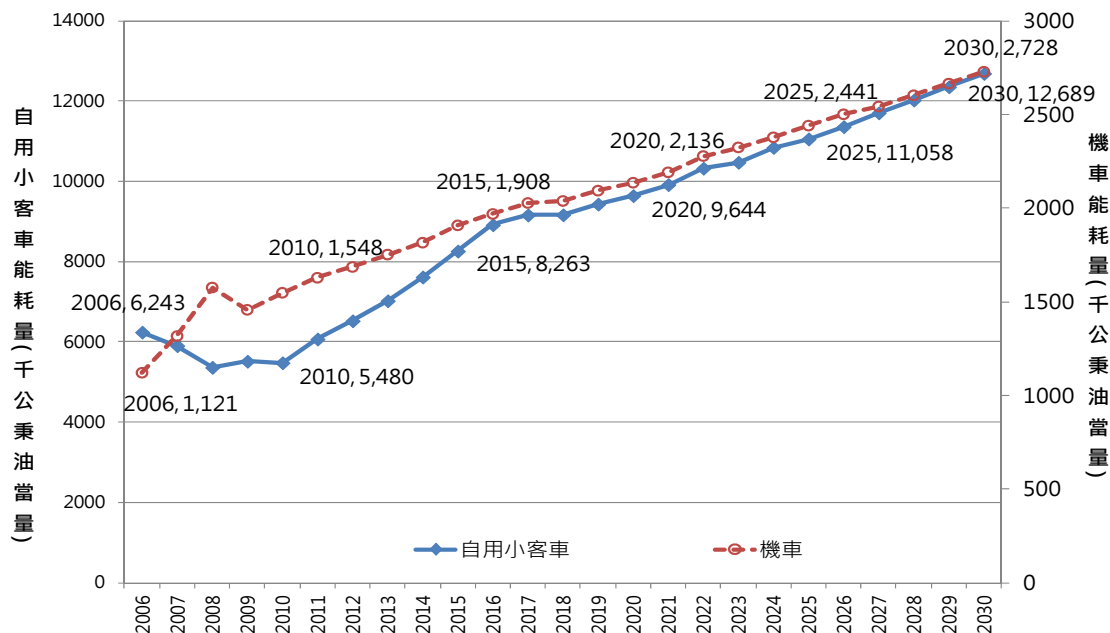


圖 5.1-12 私人運輸能源消耗量基線預測結果

表 5.1-9 彙整客運各運具能源消耗量基線預測結果，其中以自用小客車能耗量最高，至 2025 年自用小客車能耗量約佔客運能耗總量之 64%，其次為機車，佔比約為 14%，因此私人運具之能耗量約佔客運能耗總量之 78%。

表 5.1-9 客運各運具能源消耗量

單位：千公秉油當量

	鐵路客運	大眾捷運系統客運	國道客運	一般公路客運	市區公車	計程車客運業	空中客運	自用小客車	機車
2011	192	65	274	81	238	553	1,968	6,071	1,628
2015	208	68	267	85	261	591	1,996	8,263	1,908
2020	269	70	249	90	296	649	1,981	9,644	2,136
2025	373	73	240	94	328	681	1,992	11,058	2,441
2030	409	75	228	98	357	753	1,933	12,689	2,728

貨運部分，鐵路貨運與自營貨運皆呈現逐年遞減趨勢，至 2025 年兩者能源消耗量分別為 20 千公秉油當量與 2,049 千公秉油當量，約為 2006 年之 0.73 與 0.81 倍，公路貨運則逆勢成長，至 2025 年能耗量約為 2,391 千公秉油當量，為 2006 年之 1.25 倍，如圖 5.1-13 所示。

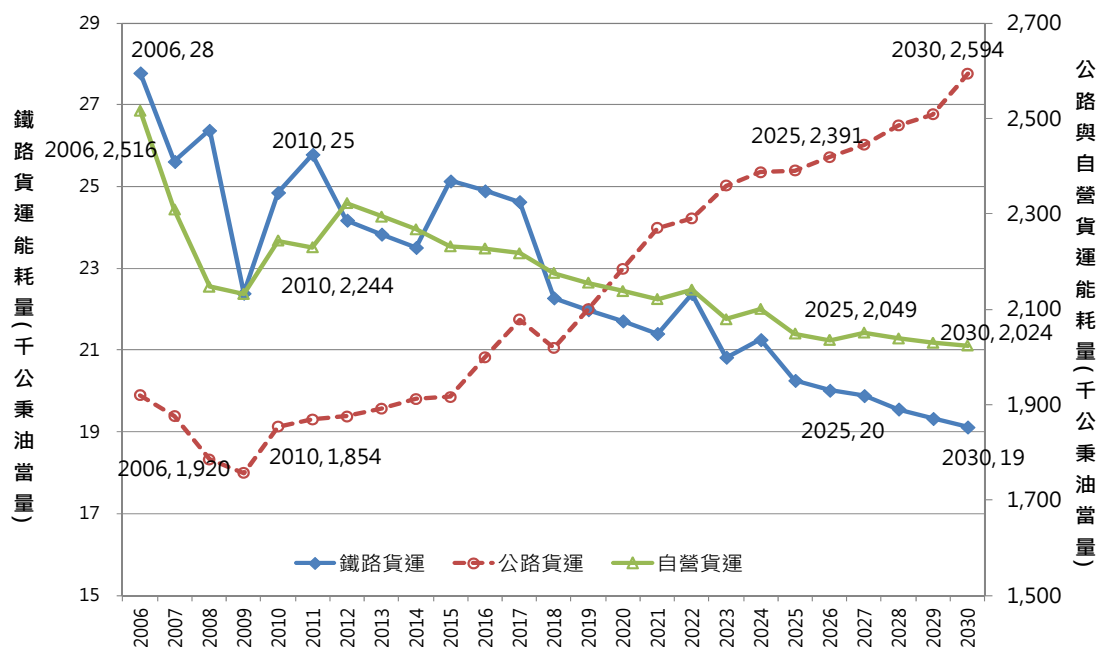


圖 5.1-13 貨運能源消耗量基線預測結果

將圖 5.1-10 至圖 5.1-13 之客、貨運能耗總量彙整為圖 5.1-14。總體而言，客、貨運能耗量皆呈成長趨勢，而客運能耗量較貨運更為平穩，極少出現大幅震盪情況。至 2025 年，客、貨運能耗量分別為 2006 年之 1.59 與 1.15 倍。

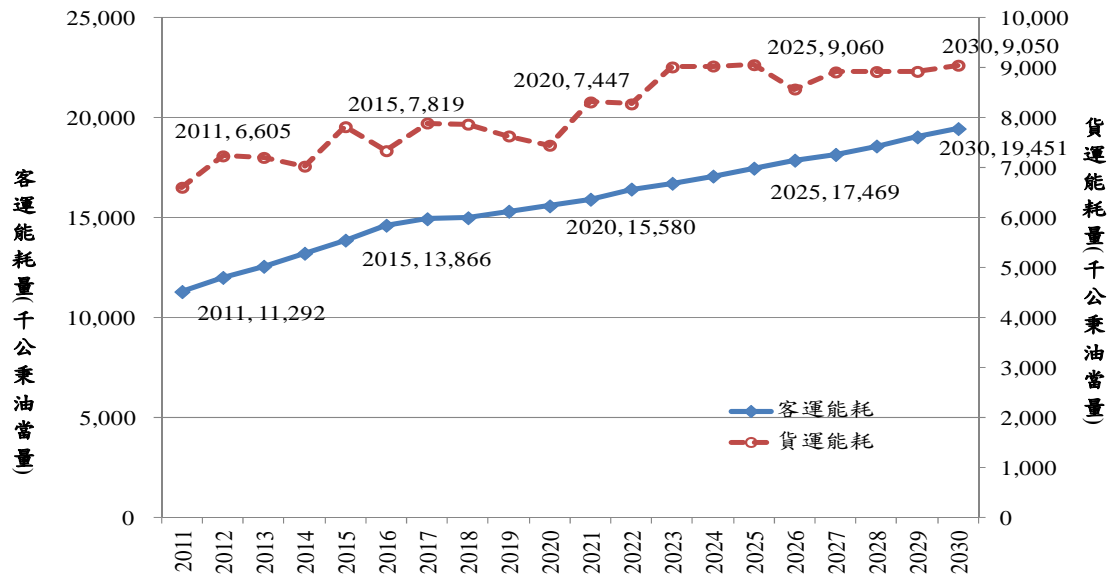


圖 5.1-14 客、貨運能源總消耗量基線預測結果

5.2 模擬案例評估

5.2.1 公共運輸補貼之動機與目的

隨著人類活動與經濟發展，大規模的公共運輸發展在 19 世紀快速擴張，由於經濟的活絡與私人運具尚未普及，直到 20 世紀中葉前，公共運輸未曾面臨需要補貼的情景。此現象在 20 世紀中的歐洲開始發生轉變，隨著私人運具的快速成長與公共運輸人力成本的增加，歐洲多數國家採取形式各異的補貼機制，以維持公共運輸系統之營運。

Goeverden 等人^[5.2.1]提到公共運輸補貼政策主要動機與目的包含數個層面：

1. 產生社會扶助功能

對於社會中的弱勢團體，如低所得家庭、無法取得駕照者、年長與身心障礙者等，皆需要公共運輸提供服務，以避免產生社會排斥問題。此類公共運輸補貼主要目的乃針對特定社會群體為之，屬選擇性補貼措施，惟多數國家執行時，基於執行成本、方便性及以下第 2 項至第 4 項考量，仍一視同仁給予所有使用者相同補貼優惠。

2. 做為紓解都會運輸問題的政策工具

當噪音、污染、停車與擁擠等外部性伴隨都會運輸與私人運具的發展而產生，但直接解決這些問題的方法與成效卻受到限制，此時補貼公共運輸因為可能產生使私人運具移轉至公共運輸效果，而被視為可間接解決問題的次佳工具。然而補貼政策之有效性過去曾遭遇質疑，其對排放減量與環境改善所帶來的貢獻，並未達到預期中的結果，況且補貼並非僅產生移轉效果，同時也創造了新的需求，若後者效果過大，反而可能使原來的情況惡化^[5.2.2]。

3. 發揮公共運輸規模經濟特性

一般認為公共運輸具備規模經濟特性，即邊際成本低於平均成本，因此若依邊際成本訂價，此時雖為對福利最佳之訂價，卻可能使公共運輸產生虧損，而必須以補貼彌補。然而補貼究竟能否改善整體福利，須視彌補成本造成的市場扭曲，以及為平衡補貼支出所增加的稅賦使市場扭曲，兩者產生的福利損失何者較高^[5.2.3]。此外，Quinet與Vickerman^[5.2.4]認為公共運輸規模報酬遞增的特性未必如想象中良好，De Borger與Kerstens^[5.2.5]更指出補貼可能

降低公共運輸營運效率，此時公共運輸潛在的效益便不可能實現。

4. 促進公共運輸正外部性

當補貼提高社會大眾搭乘公共運輸意願，運量的增加將促使公共運輸供給透過更高頻率的班次運行來因應，於是車輛調度成本得以因此而降低，產生外部效益。

隨著溫室氣體與節能減碳議題日受關注，公共運輸補貼政策間接帶來的減量效果，使其成為運輸部門減量措施選項，如同上述第 2 項所述，補貼工具可能同時產生運具移轉與總需求量的增加，最終公共運輸補貼所產生的減量成果仍須綜合各項效果，仔細評估後方能得知。

5.2.2 政策評估流程

運用模型進行評估的流程，大致如圖 5.2-1 所示，可分為政策內涵研析、現況分析、基線確立、政策工具選擇、情境設定與模擬評估幾個步驟。

1. 政策內涵研析

針對評估對象與政策內容，首先須掌握政策緣由與目的，其次檢視模型與政策內容之契合度，即模型設定能否反映當前政策與環境現況，若必要則須修正模型設定，接著擇定模型中應反映政策影響之外生變數與參數。以提升公共運輸為例，「提升公共運輸」為政策目標，而達成此目標之政策工具則有多種組合，就目的性而言，提升公共運輸係為改善交通壅塞狀況或促進節能減碳，則可選擇之策略亦有些許差異，不同策略所能達成的效果與應付出的代價亦各有所異。

2. 現況分析

必須瞭解分析議題與政策執行現況，以做為比較分析的基礎。

3. 基線校估

當政策內涵與現況皆有效掌握，基線校估工作為整體評估過程中最重要的一部分。基線校估工作包含歷史校準與基線預測兩程序，歷史校準係運用歷史已發生之實際資料，調校模型參、係數數值，對計量模型而言，運用統計方法所產生的模型參數可具備機率上顯著性意義，對 CGE 模型而言，利用校準(calibration)方式修正參數，雖然缺乏統計上的意義，但對於系統龐大且交互影響之體系而言，卻為必然使用的方法，為此適度運用計量方法輔助

CGE 模型調校參數，為強化參數設定可信度的方式之一。

因此在基線校估階段，運輸 CGE 模型與運具能源消耗預測模型除一方面各自校估歷史年解釋能力外，還須相互支援，以提供模型參數設定合理的依據。待歷史校估完成，便可根據所得參數，預測未來年重要變數之變化趨勢。雖然經過嚴謹過程推估而得之參數，可反映過去已發生之狀態，但對於未來諸多不確定因素及過去從未存在但即將發生的事件(如新技術的發展)，卻往往無法掌握一二，因此，對初步校估而得之基線，仍須經過專家諮詢方式，進行修正與調整，最後方能確立基線。

基線除了反映過去已發生之趨勢外，更須視政策模擬目的而設定適當基準情境，在基線預測時納入考慮。所謂基準情境乃為政策評估之比較基準，因此基準情境會因為評估目的的改變而改變，以提升公共運輸為例，本次案例考量油價調整與汽燃費隨油徵收策略，則基準情境必設定為油價未調整前，且汽燃費維持目前隨車徵收狀態下之發展趨勢。

4. 模擬情境設計

針對評估議題或政策，在設計模擬情境時，除考慮相對基準情境所應反映的變化外，更應考量政策變數在模型的傳遞機制中所產生的影響，以及政策最終所欲達成的目標而設計。其次在情境確定後，應計算政策執行前後直接影響之外生變數與參數變化幅度，通常在進行情境模擬設定時，會儘量放寬模擬幅度，以多個情境反映最大可能變化。

5. 模擬結果呈現與判讀

最後由於模型產出結果繁多，故須選擇切合議題之重要變數，或直接闡述或再進行後續計算，而結果與指標的選擇須視分析議題與目的而定，以提升公共運輸為例，吾人關心的結果不外乎經濟效果(用以呈現政策執行的效益或成本)、減量效果(包括節能效果與排放減量成效)、公共運輸使用率的變化，以及透過經濟效果所計算之減量成本等，其中反映減量成本之指標包括 GDP 損失、福利損失、邊際成本等。

以下茲分別就「提升公共運輸使用率」，說明評估流程與結果。

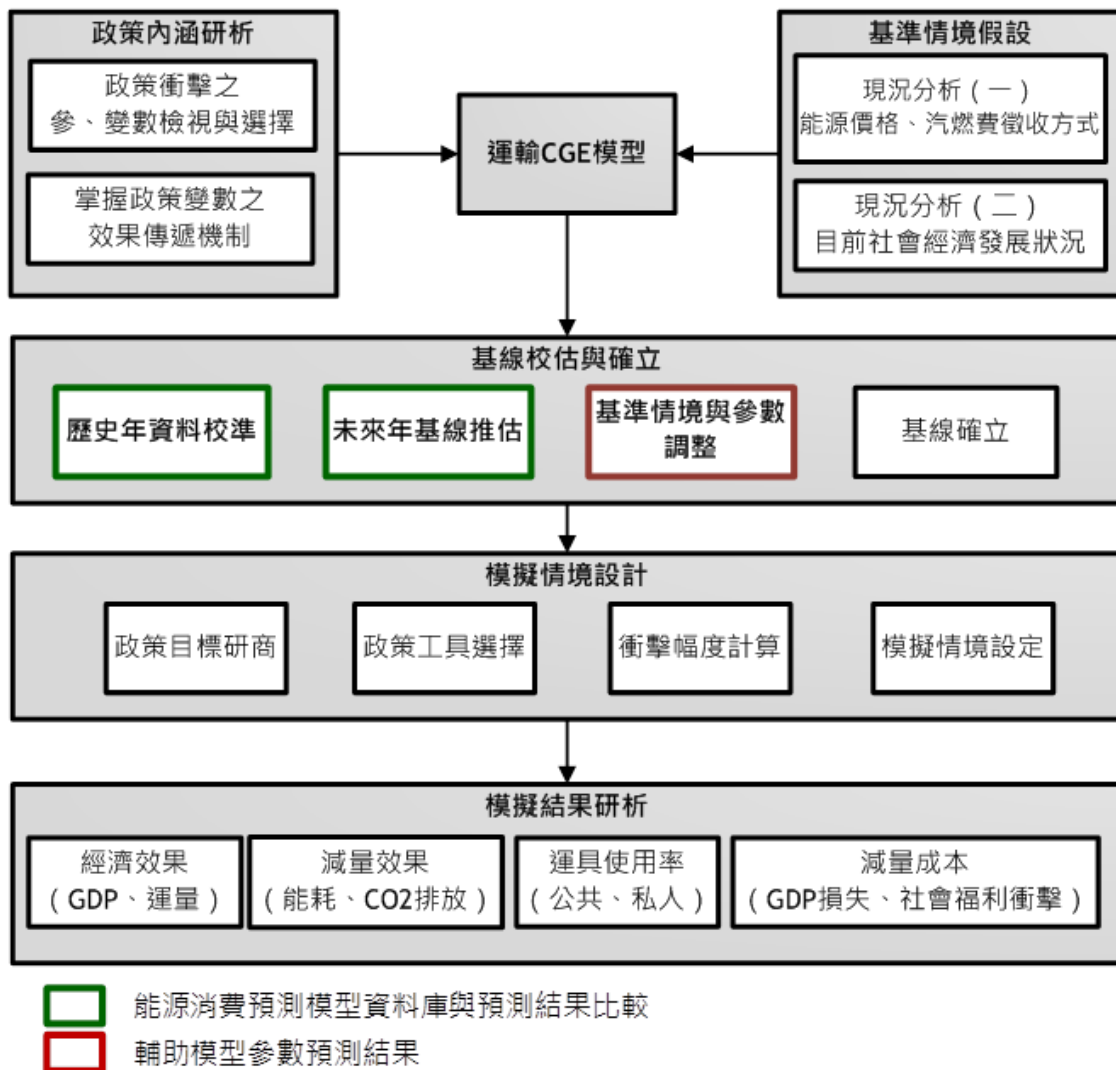


圖 5.2-1 模型之政策評估流程

5.2.3 補貼公共運輸票價在 CGE 模型中之影響機制

依據 98 年度全國公共運輸使用率調查發現，國人目前平時外出使用私人運具之比率達 72.4%，使用公共運具的比率僅達 13.4%，比率明顯失衡。因此，交通部期望透過公共政策引導及穩定的資源投入下，每年提高公共運輸使用量 5% 為短期目標，而以提昇公共運輸使用率至 30% 作為長期目標。此外，為實踐將「全國總 CO₂ 排放量於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量」的國家減量目標。若能透過公共運輸政策自 2010 年開始，每年引導提高公共運輸使用量 5%，至 2025 年公共運輸使用率約可提升至 30%，則對整體交通部門節能減碳目標貢獻有相當程度之助益。

而為提升公共運輸運量，可考慮的政策包含來自非運輸部門之外部政策，如課徵能源稅、調整牌照稅與燃料費；或影響範圍廣泛的大規模公共建設、提高公共運輸系統供給與全面補貼公共運輸票價等；或來自特定區域或影響範圍較小之運輸計畫，如提高路邊停車費、通行費、提高區段票價與增加個別運輸系統供給等。

若提升大眾運輸政策選擇以補貼公共運輸票價為政策工具，則圖 5.2-2 可說明該政策如何透過 CGE 模型之運作，產生之結果為何，其機制說明如下：

(1) 補貼公共運輸票價之運具替代效果

當公共運輸票價因補貼而下降，直接產生的價格效果將提升公共運輸需求，替代部分私人運輸。而公共運輸為滿足增加的需求，必須同時擴張供給，於是間接帶動公共運輸對化石燃料、電力、與公共建設之需求。在上述過程中，私人運輸之能源消耗減少，取而代之的是公共運輸能耗的增加。

(2) 公共建設之產業帶動效果

為滿足公共運輸對硬體建設之需求，公共建設將帶動機電設備與鋼鐵產業成長，同時增加建設勞力之雇用與投資資金需求。

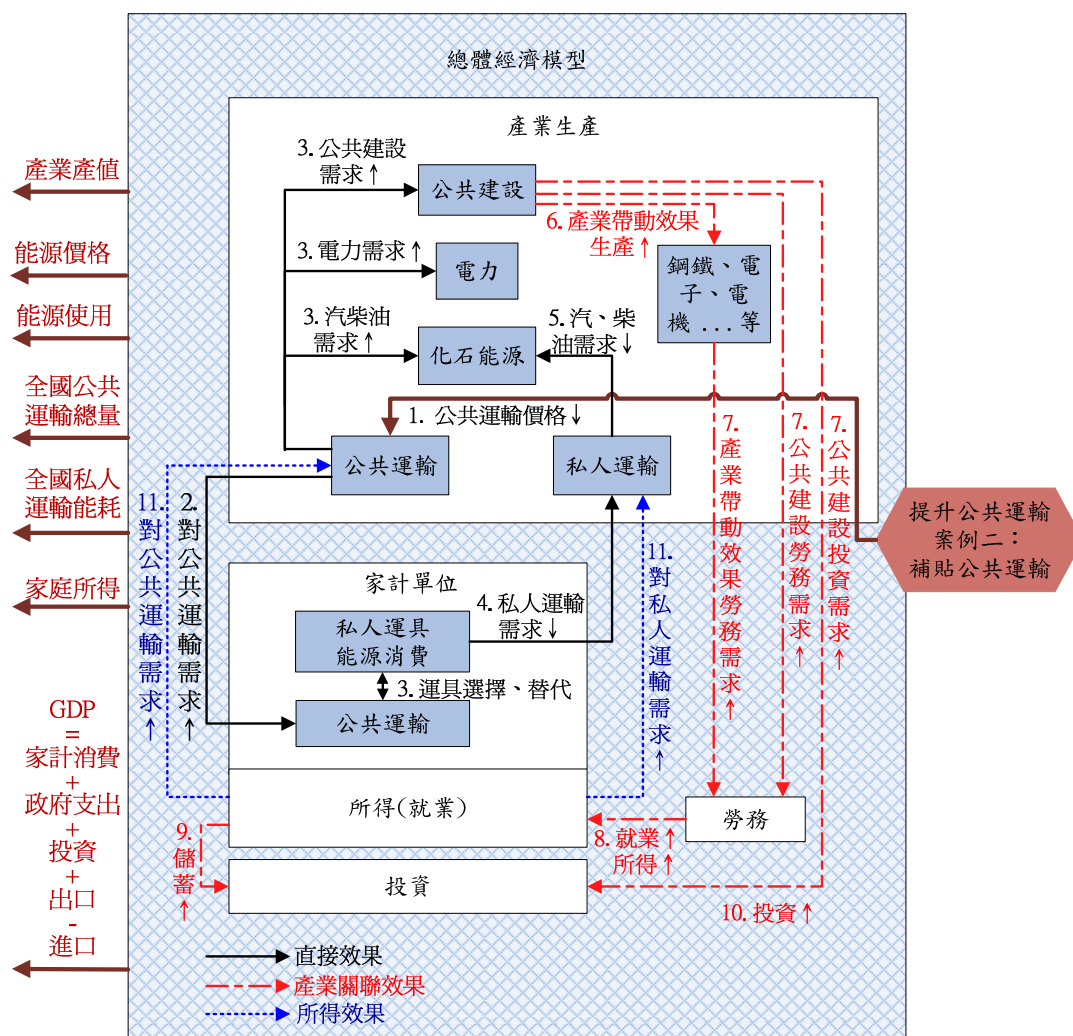
(3) 勞動雇用增加之所得效果

公共建設增加之勞動雇用，以及機電設備與鋼鐵業為因應產量成長而擴增的勞務需求，將提升家計部門所得水準，所得成長可能同時增加私人運輸與公共運輸之需求，進而造成能耗與排放量的增加。

(4) 最終模型產生之變數求解結果

經過上述流程，運輸 CGE 模型最終可求得之內生變數包括 GDP、產業產

值、能源價格、能源使用量、公共運輸服務量、私人運輸能耗量、家庭所得等相關資訊。



資料來源：本研究整理。

圖 5.2-2 補貼公共運輸票價在 CGE 模型中之影響機制

本年度完成之提升公共運輸使用率政策工具評估包含三類，油品市場自由化下，油價上漲對運具使用之影響，其二為現行汽燃費改以隨油徵收所產生之效果，其三為將現行汽燃費收入用以補貼公共運輸票價之政策效果。依此三類政策，本研究將模擬情境共設計為 8 組，如表 5.2-1 所示。表中「自由化」代表國內油品市場不再設限，讓進口原油成本變化透過能源轉換業生產函數，反映至國內油價；「油價漲 50%」代表國際原油價格上漲 50%，在本次模擬中，均假設原油價格自 2012 年起一次性漲價，即 2012 當年國際油價較基線 2012 年價格上漲 50%，2013 年至 2030 年亦分別較基線各年價格上漲 50%；「隨油徵收」代表現行隨車徵收之汽燃費，在總收入不變下，改採隨油徵收方式；「票價補

貼」則假設現行汽燃費在總收入不變下，全數移用於補貼公共運輸票價。

表 5.2-1 模擬情境設定說明

情境	說明
1. 基準情境	設定情境包括： a. 國際能源價格； b. 人口數； c. 能源自發性技術進步率； d. 國內油品市場價格調整幅度為國際原油價格變化率之80%。
2. 自由化	除維持原 基準情境 外： a. 國內油品市場價格完全反映進口原油價格之波動。
3. 自由化+油價漲50%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設國際原油價格相對基線上漲50%； b. 國際原油價格調升為一次性衝擊。
4. 自由化+油價漲100%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設國際原油價格相對基線上漲100%； b. 國際原油價格調升為一次性衝擊。
5. 自由化+隨油徵收	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率。
6. 自由化+隨油徵收+油價50%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率； c. 假設國際原油價格上漲50%； d. 國際原油價格調升為一次性衝擊。
7. 自由化+隨油徵收+油價100%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率； c. 假設國際原油價格上漲100%； d. 國際原油價格調升為一次性衝擊。
8. 自由化+油價漲50%+票價補貼	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，用以補貼公共運輸票價； b. 在不影響總稅收情況下，計算補貼率； c. 假設國際原油價格上漲50%； d. 國際原油價格調升為一次性衝擊。

經第二次專家座談會專家學者提供之意見，汽燃費為專款專用於道路維護之規費，並不適宜全數移為補貼公共運輸票價之用，本研究為凸顯票價補貼所能產生的激勵效果，並與前面兩項模擬情境比較，暫未考慮其他財源，未來研究可進一步研擬不同財源以評估其間差異。

5.2.4 政策評估結果

上述 8 組政策模擬情境評估結果，可由圖 5.2-3 發現，油價波動對 GDP 之影響相當明顯，除了自由化情境外，隨著油價的上漲，將同時造成能源消耗與 GDP 的減少。相對於 GDP 指標，利用均等變量觀察消費者福利變化(如圖 5.2-4 所示)，亦得到類似的負面效果，惟在相同油價上漲幅度下，考慮汽燃費隨油徵收與否，則可發現汽燃費隨油徵收可減緩消費者福利受到的衝擊，此乃因汽燃費隨車徵收，消費者無法透過調整消費組合來節省此一費用，相反的隨油徵收則一方面可促進消費者節省油品使用，一方面可縮小因此受到的衝擊。

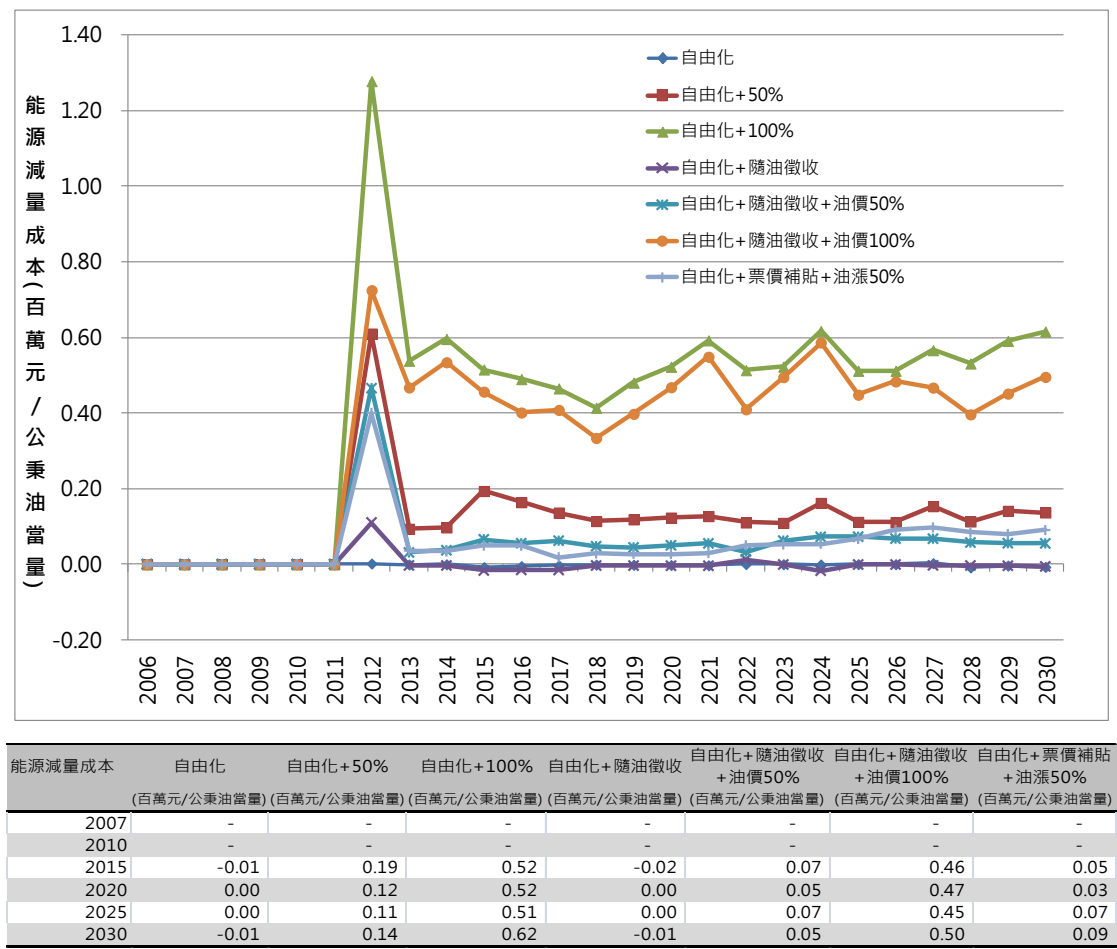
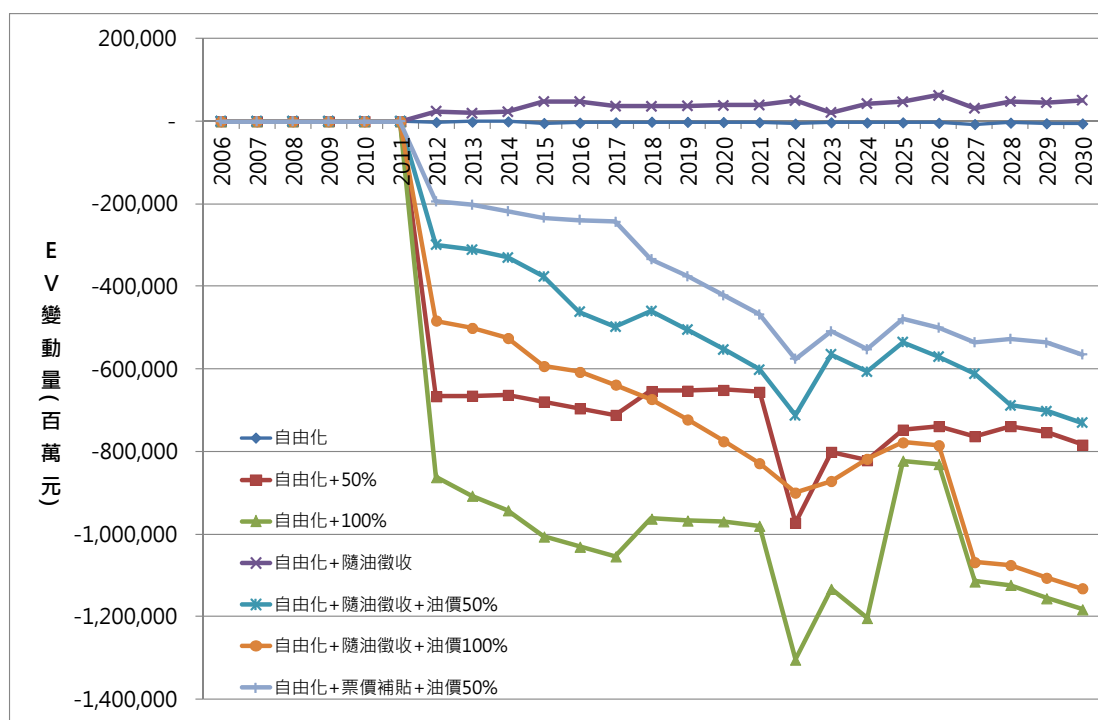


圖 5.2-3 各項政策工具評估情境單位能源之減量成本



EV	自由化 (百萬元)	自由化+50% (百萬元)	自由化+100% (百萬元)	自由化+隨油徵收 (百萬元)	自由化+隨油徵收 +油價50% (百萬元)	自由化+隨油徵收 +油價100% (百萬元)	自由化+票價補貼 +油漲50% (百萬元)
2007	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0
2015	-4,439	-678,905	-1,005,986	47,734	-375,907	-593,078	-233,357
2020	-2,036	-651,029	-969,140	38,129	-553,311	-775,304	-421,874
2025	-2,884	-747,072	-822,087	46,805	-535,023	-777,984	-479,828
2030	-5,287	-783,485	-1,182,194	50,960	-729,932	-1,131,375	-564,649

圖 5.2-4 消費者福利變化

在運具移轉效果方面，油價上漲帶來的運具使用成本增加，同時衝擊公路運輸、計程車、自用小客車與機車用量，其中自用小客車受到影響最大，其運量移轉至機車與其他公共運輸，致使機車最終佔比呈現增加(如表 5.2-2 所示)。此結果若與本所其他研究(表 5.2-3)相較，油價上漲使運輸需求移往機車比重高於公共運輸，此一結論在方向上是相同的。另一方面，若將汽燃費用以補貼公共運輸票價，則相對有助於提升公共運輸利用。

表 5.2-2 油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸補貼之運具移轉效果

	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
BAU運量占比(%)	3.87	0.87	1.43	0.38	1.14	1.38	11.23	62.35	17.36
2012-2030平均運量占比較									
油價上漲50%	0.38	0.04	-0.09	-0.03	-0.08	-0.13	0.30	-0.55	0.16
油價上漲50%，同時 汽燃費隨油徵收	0.40	0.03	-0.13	-0.04	-0.11	-0.18	0.19	-1.00	0.85
油價上漲50%，同時 補貼公共運輸票價	1.00	0.04	-0.10	-0.02	-0.05	-0.14	0.19	-0.94	0.02

表 5.2-3 本所「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(2/3)」評估結果

項目 運具別	油價上漲10%		項目 運具別	油價上漲30%	
	調查戶數	比例		調查戶數	比例
繼續使用汽車	2110	61.16%	繼續使用汽車	1535	44.49%
改使用機車	931	26.99%	改使用機車	1237	35.86%
改使用公車	100	2.90%	改使用公車	176	5.10%
改使用腳踏車	90	2.61%	改使用腳踏車	159	4.61%
改用步行	82	2.38%	改使用捷運	125	3.62%
改使用捷運	77	2.23%	改用步行	103	2.99%
改使用鐵路(含高鐵)	28	0.81%	改使用鐵路(含高鐵)	58	1.68%
其他	27	0.78%	其他	57	1.65%
改使用計程車	5	0.14%	改使用計程車	5	0.14%
總計	3450	100.00%	總計	3450	100.00%

油價上漲比例	10%	30%	50%	100%
汽車行駛里程 移轉至機車之移轉比例	69.43%	64.43%	59.38%	46.75%
推估方式	問卷調查	問卷調查	外插法	外插法

油價上漲帶來的運具使用成本增加，同時衝擊所有運具能源使用量，在缺乏補貼情況下，公路運輸受到影響最大；當同時考慮油價上漲與汽燃費隨油徵收時，由於隨油徵收產生的正反兩層面之影響(燃料成本增加與隨車固定費率的取消)，使機車能源消耗量不減反增，如表 5.2-4 所示；與本所其他研究相較，對於機車能源消耗變化的評估結果，須視情境與油價變化幅度而定，並未存在完全一致的結果。

表 5.2-4 油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸補貼之能耗減量效果

	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
BAU平均能耗減量(千公秉油當量)	265	57	212	57	169	432	1,984	10,074	1,772
油價上漲50%	-8.55	-10.92	-25.21	-25.50	-25.54	-32.84	-5.18	-4.51	-2.85
2012-2030平均 能耗量較BAU變 動百分比 (%)									
油價上漲50%，同時 汽燃費隨油徵收	-8.56	-12.78	-29.07	-29.42	-29.46	-37.99	-6.01	-5.23	1.02
油價上漲50%，同時 補貼公共運輸票價	5.17	-11.00	-25.18	-23.36	-23.19	-32.93	-5.49	-4.53	-3.03

5.3 小結

本章運用運具能源消耗預測模型與運輸 CGE 模型，初步針對運輸部門各運具未來能源消耗提出基線預測結果，接著運用運輸 CGE 模型針對油品價格上漲、汽燃費隨油徵收，以及汽燃費運用於補貼公共運輸票價等政策進行模擬分析，分析結果發現補貼公共運輸票價，較前兩項政策更具激勵私人運輸移轉公共運輸的效果，無論在 GDP 衝擊、福利衝擊、減少能源消耗等層面，皆有較佳成效。

隨著油價的上漲，將同時造成能源消耗與 GDP 的減少。汽燃費隨油徵收可減緩消費者福利受到的衝擊，此乃因汽燃費隨車徵收，消費者無法透過調整消費組合來節省此一費用，相反的隨油徵收則一方面可促進消費者節省油品使用，一方面可縮小因此受到的衝擊。

油價上漲帶來的運具使用成本增加，同時衝擊公路運輸、計程車、自用小客車與機車用量，其中自用小客車受到影響最大，其運量移轉至機車與其他公共運輸，致使機車最終佔比呈現增加。另一方面，若將汽燃費用以補貼公共運輸票價，則相對有助於提升公共運輸利用。

第六章 運輸部門節能減碳行動方案成效估算 MRV 機制建立

全球為做好溫室氣體管理工作，除持續推動減排行動，亦愈來愈重視溫室氣體排放帳的管理，亦即溫室氣體排放資料盤查與溫室氣體減量的監測、報告與查證的工作。由於運輸部門為因應國家適當減緩(National Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)行動，亦推出各項溫室氣體減排行動，未來如何確保減排行動的績效？即成為運輸部門的重要課題。基此，本章先掌握全球 MRV 制度的最新發展趨勢及國內相關部門之作法，建立運輸部門與國際相容、且與國內部門相連結的 MRV 制度。

此外，在永續能源政策綱領以「淨源」、「節流」雙管齊下，建構「二高二低」的能源消耗型態與能源供應系統目標下，永續能源政策行動方案以 4 年為一執行期程，擬定第 1 期 4 年(2009-2012)中期計畫及 2009 年行動計畫，分年執行。然而行動計畫能否達成運輸部門減量使命，為檢視運輸部門行動方案成效，本所多年來已針對運輸部門行動方案內容與執行成效進行檢視與驗證，驗證與計算方法隨著多年來細部計畫之更迭而略有修正。故本年度延續前述工作成果持續進行行動方案執行成效之評估，針對以往各項行動方案之計算概念與方法提出檢討，彙整其調整重點；並持續進行運輸部門節能減碳行動方案成效估算工作，以為本計畫模型建立之驗證與目標研訂建立基礎。

6.1 運輸部門 MRV 機制建立

運輸部門 MRV 機制建立的分析內容安排如下：第一小節介紹 IPCC 有關溫室氣體盤查的最佳作法；第二小節分析 UNFCCC 之 MRV 制度發展；第三小節則介紹我國環保署有關溫室氣體盤查與帳戶管理制度。

6.1.1 IPCC 溫室氣體盤查指引與優良作法

IPCC(2000)出版「國家溫室氣體盤查之優良作法指引及不確定性管理」一書^[6.1.1]，成為國際進行溫室盤查的基本規範。大部分固定源燃燒排放 CO₂ 主要來自燃料燃燒過程中的碳釋放，大部分碳立即以 CO₂ 形式排放，而少部分碳是以 CO、CH₄ 及非甲烷揮發性有機物的形式排放，然而這些氣體

在大氣中經過幾天至大約 20 年時間，最後仍被氧化為 CO₂。依據 IPCC 指引，上述氣體均應計入 CO₂ 排放，但為避免重複計算，對於那些沒有氧化的碳，例如顆粒物、煙灰或灰渣中的碳，則不計入溫室氣體排放總量之中。

一、溫室氣體盤查

IPCC 為界定不同排放源之溫室氣體排放量，區分溫室氣體排放源(source)與部門(sector)與溫室氣體抵換(offset)兩大類型，有關排放源與抵換之內容，詳如表 6.1-1 與表 6.1-2 所示。

表 6.1-1 溫室氣體排放源與部門分類

部門	內容
能源	由生產、轉換、運輸及化石原料(包括煤、石油及天然氣)使用所產生之 CO ₂ 、CH ₄ 及 N ₂ O
工業製程	燃料燃燒之外的所有工業製程產生的溫室氣體，包括水泥、石灰生產及石灰石使用產生之 CO ₂
溶劑與其他產品	使用溶劑及相關產品產生之非甲烷之揮發性有機混合物
農、林業	燃料燃燒之外的所有農業部門之人為排放，包括畜牧、肥料使用、及稻米耕種產生之甲烷
土地使用改變與造林	森林及土地改變使用所產生之排放與碳匯，例如砍伐及燃燒森林、濕地枯竭
廢棄物	廢棄物管理所產生之排放，包括都市廢水管理、廢水排放之消散、廢棄物燃燒等
其他	所有非上述因素所產生的人為排放與碳匯活動

資料來源：IPCC, 2000^[6.1.1]

二、溫室氣體排放量計算方法型態

IPCC(2000)提出三種計算方法，分別為方法一：基準法(top-down)：以燃料燃燒計算基礎；方法二：以技術為基礎所推估的方法：包括燃料總類及燃燒技術；方法三：「由下往上」(bottom-up)方法：包括燃料種類及燃燒技術。相較上方法二與三較準確，如果一國能源消耗資料較完整，建議採取「bottom-up」方法。

表 6.1-2 溫室氣體抵換分類

部門	內容
能源	<ol style="list-style-type: none"> 1. 移轉潔淨與再生能源使用 2. 提高生產、轉換及能源使用效率 3. 從能源使用煉中回收逸散性溫室氣體
工業製程	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生產技術效率提升 2. 引進潔淨製程與原料
溶劑與其他產品	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品使用更有效率 2. 以清潔產品替代
農、林業	<ol style="list-style-type: none"> 1. 畜牧管理效率提升 2. 肥料使用改進 3. 修改稻米種植方式 4. 將含氮肥料改為有機肥料 5. 減緩農業廢棄物燃燒
土地使用改變與造林	<ol style="list-style-type: none"> 1. 保護森林與濕地 2. 提升森林管理效率 3. 加強造林 4. 提升土壤及綠地管理
廢棄物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廢棄物回收再利用 2. 廢水管理及廢棄物處理之甲烷回收 3. 減少廢棄物公開燃燒
其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 所有其他有關減緩、改變及減少溫室氣體排放之活動

資料來源：IPCC, 2000^[6.1.1]

(一)五大步驟(以方法一為例)

1. 估算進入該國的化石燃料(消費面)
2. 碳單位轉換
3. 扣除燃料中用於生產長期固碳材料的碳量
4. 乘以氧化係數以作為對燃料中沒有氧化部分的碳進行折算
5. 將碳轉換為 CO₂，並求算出所有燃料總和(但不包括生質能)

(二)排放因子與熱值選擇

由於燃料之化合物組成不相同，因此，熱值在同一種或不同燃料間差異頗大，IPCC 所指為淨熱值，係指一單位燃料完全燃燒所釋放測得之熱值，並假設燃燒過程中，所產生的水以水蒸氣形式存在，但扣除水蒸氣所含熱值。化石燃料燃燒之 CO₂ 排放因子可由單位能量表示，因為以單位能量來表示燃料含碳量時，通常要比用單位質量來表示的數值變化較小，因此，通常以淨熱值將單位質量或體積的燃料消費數據，轉換為以單位能量所表示的數據。

然而，為扣除殘留於煙灰、顆粒物及灰燼中之碳，故一般以氧化率估算燃料燃燒後剩餘的潛在碳排放比例，IPCC 建議盡可能採用「當地數值」，如果無法獲得才採用參考數值。一般來說，IPCC 之油、氣之氧化因子的參考值較精確，然而，煤炭的氧化因子誤差較大，建議採取當地煤碳氧化因子較佳。

(三)活動強度選擇

活動強度(燃料數量及類型)可由國家能源局取得，但是能源平衡表編制單位，需要進行數據品質評估，以提升該數據之正確性。在具有環境報告書制度下，主管機關可要求排放源提供燃料燃燒資料，然而，一般污染源均不易獲得該資料，因此，一般國家的盤查資料都是由大型排放源及其他排放源混合統計推估。

由於活動強度並不直接代表燃料燃燒量，為避免重複估算(例如製程、溶劑及廢棄物部門排放量)，IPCC 建議的優良作法是區分固定污染源 CO₂ 排放類別及相關工業製程類別之排放量估算。

(四)完整性

溫室氣體盤查應包括所有燃料及排放類別，然而，燃料盤查容易誤差，主要項目如下：

1. 化石燃料生產存量變化
2. 作為能源使用的廢棄物燃燒：廢棄物燃燒應在廢棄物類別統計，而作為能源用途的廢棄物燃燒則應在能源類別統計
3. 能源企業自用之燃料燃燒
4. 石化原料轉化為石化產品(固定碳)

5. 國際航空及海運燃料燃燒

(五)建立一致性的時間序列資料

由於時間演進將產生方法及數據上的變化，使得在同一時間序列下，一些無法蒐集的數據估算變得更為困難，因此，需要利用現有資料，推估未來數據。當日後採取更高技術層級的推估方法時，必須清楚說明與前述方法上的差異與關聯性。

6.1.2 國際 MRV 制度發展

為確實掌握部門溫室氣體減排績效，近年來，聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 為確認國際減排狀態，以及建立排放盤查 (emissions inventories) 與國家通訊 (national communication) 的有效利用，積極推動 MRV (MEASUREMENT, REPORTING AND VERIFICATION) 制度，並規劃制定相關指引 (guideline)，建立全球統一的溫室氣體排放與減排的計算標準。

日本全球環境策略研究院 Institute for Global Environmental Strategies (IGES, 2010) ^[6.1.3]，提出一份結合國家適當減緩行動 (National Appropriate Mitigation Actions, NAMAs) 與 MRV 的最新報告，提供全球參考。

圖 6.1-1 以國家減量目標執行為例，呈現 MRV 標準作業程序與步驟如下：

1. 測量階段：

步驟一：提出國家減排績效初步報告

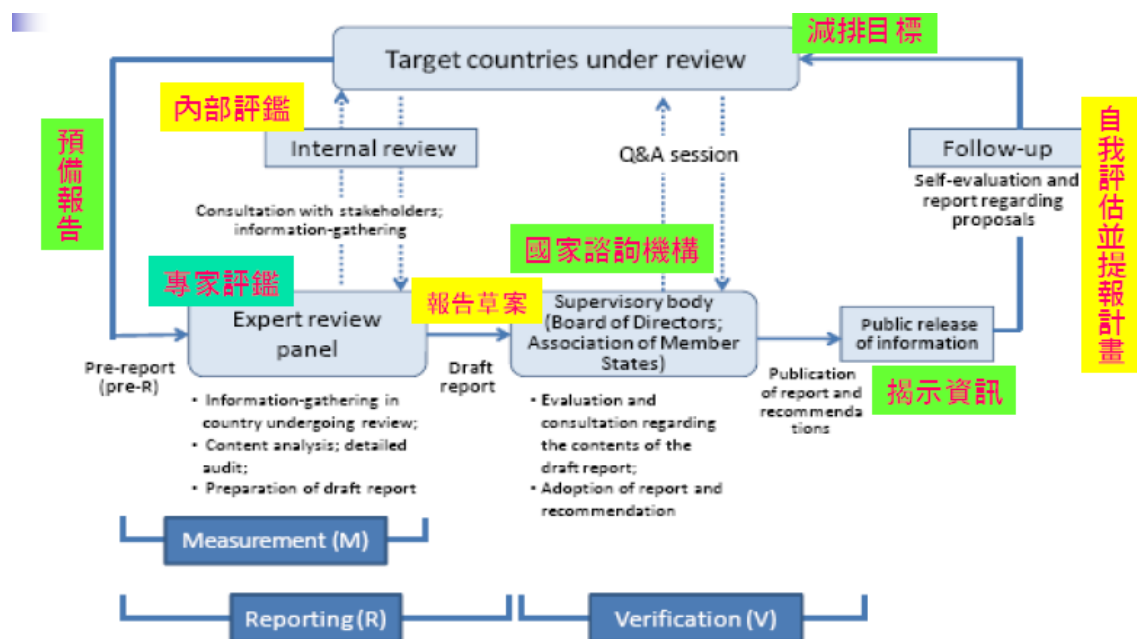
步驟二：接受專家委員會的審查與評鑑

2. 報告階段

步驟三：提交評鑑報告草案給國家諮詢機構

3. 查證階段

步驟四：向大眾揭示評估結果



資料來源：IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV)^[6.1.3]

圖 6.1-1 MRV 標準執程序

MRV 主要運用於 NAMAs，易言之，針對 NAMAs 之減排目標與減排行動的執行必須建立 MRV 制度。首先必須估算其國內氣候政策的減排量，並將此結果，經由國際諮詢機構進行分析(International Consultant and Analysis, ICA)，詳細內容見表 6.1-3。

表 6.1-3 NAMAs 與 MRV 之關係

Mitigation Target	Mitigation Actions	Reviewing Measures	International Review
Copenhagen Pledge "India will Endeavour to reduce the emissions intensity of its GDP by 20-25% by 2020 in comparison to the 2005 level"	<p>Actions planned under National Action Plans for Climate Change</p> <p>Action Planned under Post Copenhagen Domestic Actions</p> <p>State action plans on Climate Change</p>	Domestic monitoring and evaluation of voluntary climate change action plans	<p>Mitigation actions/its operation will be communicated through NATCOMs</p> <p>International Consultation and Analyses (IC&A) (international consultation and analysis under clearly defined guidelines that ensures sovereignty is respected)</p>

資料來源：IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV)^[6.1.3]

以下進一步以德國溫室氣體減排 MRV 制度為例，並以圖 6.1-2 說明其流程。

1. 監測系統

德國溫室氣體監測系統的利害關係人包括排放源、地方環保局、國家監測機構及聯邦環保署等四個單位。以下簡述其程序如下：

- (1) 排放源之溫室氣體排放必須向德國地方環保局申報其排放量
- (2) 地方環保局認可其排放量
- (3) 聯邦環保署授權國家監測機構
- (4) 國家監測機構制定監測標準
- (5) 地方環保局提交資料至國家排放監測機構審查

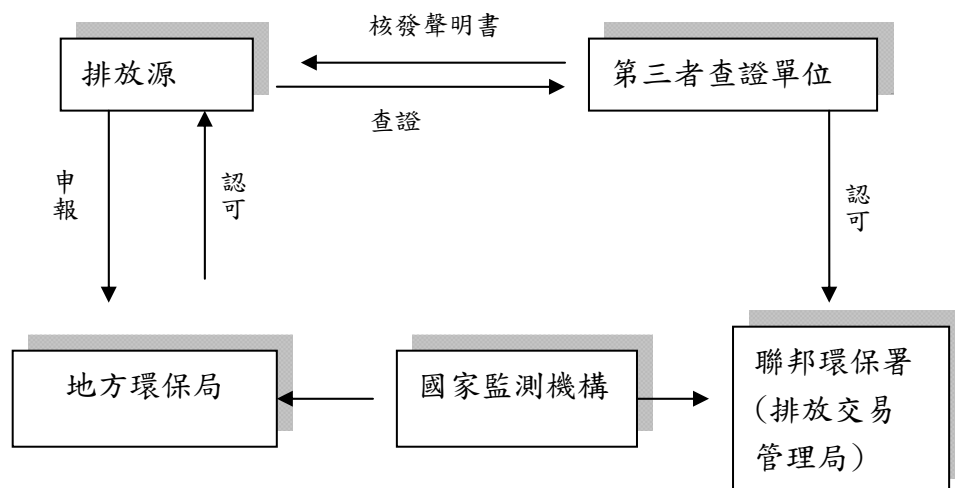


圖 6.1-2 德國溫室氣體排放管理之 MRV 架構

2. 申報與查證系統

德國溫室氣體監測系統的利害關係人包括排放源、地方環保局、第三者查證單位及聯邦環保署等四個單位。以下簡述其程序如下：

- (1) 排放源之溫室氣體排放申請第三者查證
- (2) 第三者查證單位依據聯繫環保署制定的國家監測計畫查證其排放量，並核發查證聲明書
- (3) 第三者查證單位向聯邦環保署申請登錄
- (4) 排放源取得查證聲明書，向地方環保局申報

6.1.3 我國環保署溫室氣體 MRV 制度

環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體盤查及登錄管理原則」^[6.1.4] (簡稱盤查與登錄管理原則)，奠立我國溫室氣體管理的可量測、可報告與可查證之三可制度(Measurable, Reportable, and Verifiable, MRV)。其目的為建立溫室氣體盤查登錄作業之一致性原則，以供環保署溫室氣體先期專案與抵換專案之申請者、承諾進行盤查登錄之環境影響評估開發單位或自願盤查登錄者遵循。

所包含的作業包括彙整、計算及分析排放量或碳匯量之盤查作業、排放量數據或溫室氣體減量(含碳匯量)數據，經查驗機構驗證之查證作業，以及將經由查驗機構完成查證之排放量、碳匯量，登載於國家溫室氣體登錄平台之登錄作業等。

環保署辦理登錄資料審查的對象包括：依行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則規定申請減量額度者、環境影響評估案件之開發單位承諾進行溫室氣體盤查登錄者、參加政府機關推動之產業溫室氣體盤查登錄者，以及其他自願辦理盤查登錄者。

此外，環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」^[6.1.5] (簡稱推動原則)¹，促進我國溫室氣體減量誘因，以及與國際接軌之計畫型減碳計畫額度創造。為了建立先期專案暨抵換專案之制度，該原則明訂環保署需依行業別業者提供排放資料及國際資訊，公告單一排放源、單位原(物)料、燃料、產品或其他之溫室氣體排放量作為公告排放強度，以作為適用先期專案之認定基準；並針對自 89 年 1 月 1 日起至溫室氣體減量法施行前，排放源之排放強度優於環保署公告排放強度或環境影響評估書件承諾事項及審查結論要求之排放強度，經申請者提出減量專案，其執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案，提供先期專案之額度確認。

而在抵換專案部分，則係指申請者依環保署認可之減量方法提出專案計畫書，其計畫書內容經中央目的事業主管機關審議及查驗機構確證並向環保署註冊後，執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案。

環保署對符合本推動原則執行溫室氣體排放減量者，得受理其先期專案或抵換專案之申請。環保署審查先期專案之原則如下：

1. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應合理。
2. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應優於法規規定、環境影響評估書件承諾事項及審查結論。
3. 溫室氣體減量或移除之成效，非因排放源所有權轉移、停工、歇業或中間產品外購等造成，且無洩漏風險。

綜上所述，本計畫目前已蒐集 IPCC 有關溫室氣體盤查的最佳作法、UNFCCC 之 MRV 制度發展及環保署建立有關溫室氣體盤查與帳戶管理制度，並針對 MRV 制度建立之目的、MRV 執执行程序等相關國內外資訊進行詳細蒐集與彙整。

6.2 運輸部門行動方案估算

節能減碳行動方案之成效評估作業係延續本所在 94 年度計畫(運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃^[6.2.1])、96 年度計畫(運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(1/3)－探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響^[6.2.2])、97 年度計畫(運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制^[6.2.3])、98 年度計畫(運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)－建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式^[6.2.4])及 99 年度計畫(運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立^[6.2.5])等五項計畫中陸續就各項減排行動方案進行減量潛力評估，本年度延續前述工作成果持續進行行動方案執行成效之評估，並區分為三項具體工作，其一為整理行動方案內涵，其二為檢討公式與參數之正確性，其三為進行本年度之估算更新。

6.2.1 運輸部門節能減碳行動方案介紹

為承擔國際上共同之減碳責任，我國自 87 年起召開第一次全國能源會議，就氣候變化綱要公約發展趨勢及因應策略等議題進行討論，並訂定我國具體減量期程與節能目標，爾後分別於 94、98 年分別召開第二、第三次全國能源會議，除持續關注相關議題外，另亦逐步落實落實各項政策措施。行政院於 97 年核定「永續能源政策綱領」，並於同年 9 月通過「永續能源政策綱領－節能減碳行動方案」做為各部門推動節能減碳政策之具體內容，並做為管考之依據；98 年第三次全國能源會議後則修訂整併為「永續能源政策行動方案」，復於 99 年核定「國家節能減碳總行動方案」接續「永續能源政策行動方案」。

於 99 年核定之「國家節能減碳總行動方案」中，配合國家整體規劃，將各部會計畫統整為十大標竿方案及 35 項標竿型計畫(參見表 6.2-1)，運輸部門行動方案亦隨之調整如表 6.2- 2 所列之 20 項計畫，主要對應 10 大標竿方案之第(五)項「建構綠色運輸網絡」，執行本計畫估算時即以此最新版內容為構建基礎，並就其中「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」、「持續提升高鐵運量」、「臺鐵捷運化」、「臺北都會區大眾捷運系統計畫」、「賡續推動高速公路電子收費系統」五項行動方案進行估算。

表 6.2-1 國家節能減碳總行動方案

10大標竿方案	35項標竿型計畫
健全法規體制	<ul style="list-style-type: none"> 健全溫室氣體管理法規體制 擬定「永續能源基本法」 制定「再生能源發展條例」與「能源管理法」修正條文後續子法 推動綠色稅制
低碳能源系統改造	<ul style="list-style-type: none"> 推動再生能源新紀元計畫 降低發電系統碳排放 推動智慧電網計畫 推動核能發電合理使用評估方案
打造低碳社區與社會	<ul style="list-style-type: none"> 建構低碳社區 打造低碳城市 建設低碳島 推動節能減碳生活社會運動
營造低碳產業結構	<ul style="list-style-type: none"> 推動產業節能減碳 進行能源密集產業政策環評 推動綠能產業旭升方案 推動農業節能減碳
建構綠色運輸網絡	<ul style="list-style-type: none"> 建構綠色無接縫公路運輸系統 推動建構便捷大眾軌道運輸網 建構智慧化道路服務 建立人本導向綠色運具為主之都市交通環境 提升私人運具新車效率水準
營建綠色新景觀與普及綠建築	<ul style="list-style-type: none"> 推動新建綠建築及推廣使用節能減碳綠建材 推動智慧綠建築 推動建築物節能減碳標示制度 推動造林計畫
擴張節能減碳科技能量	<ul style="list-style-type: none"> 推動能源國家型科技計畫 進行全方位能源科技人才培育方案
節能減碳公共工程	<ul style="list-style-type: none"> 建構永續低碳公共工程規範及機制 推動公共工程全生命週期品質管理機制納入節能減碳措施 強化政府採購流程與規範內化節能減碳機制
深化節能減碳教育	<ul style="list-style-type: none"> 教育部暨所屬機關學校全面落實節能減碳計畫 營造永續綠校園及建立學校節能減碳評鑑制度 強化節能減碳教育
強化節能減碳宣導與溝通	<ul style="list-style-type: none"> 全民節能減碳溝通宣導計畫 推動國際節能減碳環境外交

資料來源：本研究整理

表 6.2-2 「國家節能減碳總行動方案」中之運輸部門行動方案

10大標竿方案	標竿型計畫	計畫名稱
(三)打造低碳社區與社會	建設低碳島	1. 研訂「推動低碳觀光島-綠島、小琉球生態觀光島示範計畫」中程個案計畫
(五)建構綠色運輸網絡	建構綠色無接縫公路運輸系統	2. 補助地方政府建置公車GPS系統、智慧站牌、營運調度管理系統等—公路客運
		3. 補助地方政府建置公車GPS系統、智慧站牌、營運調度管理系統等—市區公車
		4. 補助公路汽車客運車輛汰舊換新
		5. 賡續定期彙報高鐵車站聯外接駁系統運量統計
		6. 提昇公共運輸票證服務效能
		7. 協助各縣市政府辦理大眾運輸轉運中心之規劃或構建
		8. 規劃推動公車專用道或公車捷運系統
		9. 推動東部自行車路網示範計畫
	推動建構便捷大眾軌道運輸網	10. 持續提升高鐵運量
		11. 臺鐵捷運化
		12. 持續辦理新竹內灣支線工程施作
		13. 臺北都會區大眾捷運系統工程計畫
		14. 臺中都會區大眾捷運系統工程計畫
		15. 桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫
	建構智慧化道路服務	16. 高雄都會區大眾捷運系統工程計畫
		17. 賡續推動高速公路電子收費系統
		18. 交通管理與資訊服務系統建置與推廣計畫—智慧交控
		19. 持續推動全國路況資訊中心、陸海空客運資訊系統及RDS、KIOSK應用及建置個人化即時路況資訊系統
(七)擴張節能減碳科技能量	推動能源國家型科技計畫	20. 綠色運輸系統研發：運輸部門因應氣候變遷之政策決策支援系統(1/5)

資料來源：本研究整理

6.2.2 計算公式修正與整理

計算公式之正確性對於估算結果之正確性具有關鍵影響，目前所使用之公式已於 94 年度、96 年度、97 年度、98 年度、99 年度各計畫中進行多次檢討修正，但本計畫仍就公式進行檢討與試算並將其結果陳述於本小節中。於公式檢討與試算後，發現雖已經多次檢討，但仍有少數公式略有錯誤之處(主要為未進行實際數據估算部分)。而公式中所使用之參數並不一致，例如部分公式使用燃油效率，其他公式則使用耗油率，因二者可統一為相同參數，因此於本年度計畫中將其統一。

另考量未來行動方案之可能變動，本計畫亦嘗試將公式分類，以利後續使用者依當時行動方案內容採用合適公式。欲了解減碳策略之類型與發展，可先由其 IPCC 準則(IPCC, 2006)二氧化碳排放量估算方法中的部門方法進行探討，公式(6-1)為其基本概念，於計算碳排放量時，可由各部門或單一活動所使用之能源消耗量乘以其能源排放係數，若該部門或活動使用多於一種能源時，則加總不同類型能源之排放量為總量。

$$\text{碳排放量} = \sum_j \text{能源消耗量}_j \times \text{排放係數}_j \quad (6-1)$$

其中，j 為不同能源類型。

當應用公式(6-1)於運輸部門時，可進一步將能源消耗量區分為不同運具之使用，亦即可將公式(6-1)改寫為公式(6-2)。以公路運輸為例，其運輸工具可區分為自用小客車、營業小客車、小貨車、大貨車、大客車等多種，各類運輸工具因其使用狀態不同而有不同之使用量與燃油效率，於能源種類方面亦包含汽油與柴油二大類，可分別估計後加總其值可得公路運輸之總碳排放量。

$$\text{碳排放量} = \sum_{ij} \text{運輸工具使用量}_{i,j} \div \text{燃油效率}_{i,j} \times \text{排放係數}_j \quad (6-2)$$

其中，i 為不同運輸工具類型，j 為不同能源類型。

由公式(6-2)觀之，若想降低運輸部門之碳排放量，即可由此公式之三個變數著手。其一為降低使用量，可使用之方式又可區分為二類，第一為採取各種策略減少客貨運輸需求，例如以遠距會議方式減少公務差旅旅次；另一為採用較大型運輸工具或較具效率之裝載量，例如以大貨車代替小貨

車則可於維持相同運輸需求下降低車次數，但此類策略之總體效果須再行估算以確定其效果為減少碳排放量。第二為改善能耗係數，即為降低相同使用量下之能源消耗量，例如我國實施之怠速車輛取締即可減少相同行駛里程下之汽柴油消耗量。第三為降低能源排放係數，亦即相同能源消耗量下之 CO₂ 排放量，由於直接改變相同能源、相同使用量之能源排放係數尚有困難，亦非運輸部門所可執行，因此運輸部門於此類之策略主要為藉由改變車輛所使用之能源種類來達成。

若由前述策略與我國運輸部門行動方案進行歸類，則可區分行動方案為移轉公共運輸、改善運輸工具能耗效率、提升運輸使用效率、與鼓勵使用替代燃料運具四類，其中第一類主要目標為降低運輸工具使用量，尤其是高耗能運輸工具(或稱「紅色運具」)，如自用小客車等私人機動運具。第二類與第三類主要目標皆為改善能耗係數，但「改善運輸工具能耗效率」係針對運輸工具進行改善，「提升運輸使用效率」則針對運輸系統整體運作進行改善。第四類策略目標則為改變能源類型以改善能源排放係數。以下分述各類策略之減碳效果來源。

1. 移轉公共運輸：

本類行動方案主要節能效果來自於本來使用私人運具的旅行者改採公共運輸工具或綠色運具，因此可降低相同旅次數所產生之燃油消耗與溫室氣體排放量。其減碳效果估算概念為節能量係以本來使用私人運具所消耗之燃油量減去使用公共運輸工具或綠色運具所消耗之燃油量而得；減碳量則採相同概念，僅將耗油量乘以排放係數即可。

此類行動方案又可再區分為二類，其一為提昇公共運輸之吸引力，主要透過系統建設、改善與推廣而產生，亦可稱為拉力效果；另一為增加私人運具之負擔，主要為以稅費制度增加私人運具使用者之經濟負擔，亦可稱為推力效果。可產生拉力效果之行動方案例如持續提昇高鐵運量、臺鐵支線工程施作、臺鐵捷運化規劃與施工、都會區捷運建設、公車專用道或公車捷運系統規劃推動等。可產生推力效果之行動方案例如於 97 年版行動方案中之汽機車停車收費及加強違規停車取締制度等。於本年度計畫之五項行動方案中，「持續提升高鐵運量」、「臺鐵捷運化」、與「臺北都會區大眾捷運系統計畫」三項方案皆屬本類。

此類行動方案之減碳效果來自原使用私人運具使用者移轉至公共運輸，其一般化公式可表示為公式(6-3)與公式(6-4)。

$$\boxed{\text{節能量}} = \boxed{\text{移轉至公共運輸之使用者數量}} \times \left(\boxed{\text{使用原運具時之能源消耗量}} - \boxed{\text{使用新運具之能源消耗量}} \right) \dots\dots\dots (6-3)$$

$$\boxed{\text{減碳量}} = \boxed{\text{移轉至公共運輸之使用者數量}} \times \left(\boxed{\text{使用原運具所產生之碳排放量}} - \boxed{\text{使用新運具所產生之碳排放量}} \right) \dots (6-4)$$

以高鐵興建與使用為例，於計算時須先估算高鐵營運時旅客人數，並分析其旅客來源係由何種運輸工具移轉而來，各佔比例為何，而後計算旅客若不使用高鐵而維持使用其原選擇運輸工具時之能源消耗量與碳排放量，與旅客使用高鐵時所產生之能源消耗量與碳排放量相減即可得高鐵使用之節能與減碳效益。以公式表達如公式(6-5)與公式(6-6)所示。

$$\text{節能量} = A_i - B \quad (6-5)$$

其中， $A = \text{使用原運具時之用油量} = \frac{a \times t_i}{d_i \times c_i}$

$B = \text{高鐵營運之用電量(油當量)} = a \times b$

$a = \text{高鐵運量(延人公里)}$

$t_i = \text{運具轉乘至高鐵比例} = \text{原搭乘該運具旅次量} / \text{高鐵運量}$

$d_i = \text{運具平均承載率}$

$c_i = \text{原運具燃油效率}$

$b = \text{高鐵能源密集度}$

$i = \text{運具別}$

$$\text{減碳量} = A_i \times K_j - B \times D \quad (6-6)$$

其中， A, B 意義同上

$K = \text{CO}_2 \text{ 排放係數}$

$D = \text{電力 CO}_2 \text{ 排放係數}$

j 為燃料別

2. 改善運輸工具燃油效率：

本類行動方案並未促使旅行者改變其所選擇之運具或旅行行為，而其節能效果來自於運輸工具本身能耗效率改善，亦即在相同的使用量下降低所需之燃油消耗量。此亦為其減碳效果估算概念，即估計於行動方案推動後將導致何等比例(或數量)之車輛汰舊，並計算新、舊車輛之燃油效率差異以估算其節能量及減碳量。本年度計畫進行系統開發之五項行動方案中，「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」即屬本類，另如 97 年版行動方案中之落實機車排氣檢驗、檢討汽機車能源效率標準、及加強低污染低油耗車輛宣導等，皆具有提升整體運輸工具能耗效率之效果。

此類方案之節能減碳效果來自新、舊車輛之燃油效率差異，其一般化公式可表示為公式(6-7)與公式(6-8)。

$$\boxed{\text{節能量}} = \boxed{\text{運輸工具汰換或改善數量}} \times \boxed{\text{能源消耗量}} \times \boxed{\text{新舊運具燃油效率差異}} \dots\dots\dots (6-7)$$

$$\boxed{\text{減碳量}} = \boxed{\text{運輸工具汰換或改善數量}} \times \boxed{\text{能源消耗量}} \times \boxed{\text{新舊運具燃油效率差異}} \times \boxed{\text{排放係數}} \dots (6-8)$$

以補助公路汽車客運車輛汰舊換新為例，其減碳效果來自於新、舊車輛之燃油效率差異，於估算減碳量時須獲知新、舊車輛之燃油效率改善程度，或分別針對新、舊車評估其燃油效率。其節能與減碳效益先估算未汰換前車輛(簡稱舊車)之能源消耗量與碳排放量，而後計算新車之能源消耗量與碳排放量，二者相減即可得此行動方案執行成效，如公式(6-9)、(6-10)與(6-11)所示。

$$\text{節能量} = A - B \quad (6-9)$$

其中， $A = \text{老舊車輛燃油消耗量} = a_i \times f \div c_j$

$B = \text{新購車輛燃油消耗量} = a_i \times f \div d_j$

$a = \text{當期新購各型客車車輛數}$

$f = \text{年行駛里程}$

$c = \text{老舊車輛燃油效率}$

d=新購車輛燃油效率，可為實測結果或依燃油效率改善率係數
估算

i 為車種別，包括全新車與較新車

j 為燃料別

$$\text{減碳量} = A \times K_j - B \times K_j \quad (6-10)$$

若新、舊車燃油(能源)種類相同，公式可簡化為：

$$\text{減碳量} = (A-B) \times K_j \quad (6-11)$$

其中，A, B 意義同上

K= CO₂ 排放係數

j 為燃料別

3. 提升運輸使用效率：

本類行動方案主要係藉由交通管理方法改善目前運輸環境中可能導致能耗效率低落之環節，例如可能發生延滯、反覆停等或繞駛等情況，改善方法則以智慧型運輸系統技術為主。具體行動方案包括補助建置公車GPS系統、智慧站牌、營運調度管理系統等，以及推動高速公路電子收費系統、智慧交控、即時路況資訊系統等。其減碳效果估算概念係以實施前、後之能耗效率差異為主要估算內容，節能量即以實施前之交通狀況所可能消耗之燃油量減去實施後之交通狀況所可能消耗之燃油量而得，減碳量則以實施前後之燃油量乘以排放係數而得。

減碳效果來自實施前、後之運具能耗效率差異，其一般化公式可以公式(6-12)與(6-13)表示。

$$\boxed{\text{節能量}} = \boxed{\text{方案影響車輛數}} \times \boxed{\text{原能源消耗量}} \times \boxed{\text{方案實施前後燃油效率差異}} \dots\dots\dots (6-12)$$

$$\boxed{\text{減碳量}} = \boxed{\text{方案影響車輛數}} \times \boxed{\text{原能源消耗量}} \times \boxed{\text{方案實施前後燃油效率差異}} \times \boxed{\text{排放係數}} \dots (6-13)$$

本年度所列入的五個行動方案中之「廣續推動高速公路電子收費系統」即屬此類，由於使用電子收費系統車輛通過收費站時，無須煞停即可進行繳費，車輛於維持較高速度、較無須停等情況下可降低耗油量。對於尖峰時間而言，當過站車輛數量大於收費站容量時車輛將出現排隊現象，電子收費系統由於容量較大，排隊機率較低，因此於尖峰時間之節能減碳效果將較離峰更佳。估算本方案時，需先掌握車輛於採行人工收費與電子收費之燃油效率差異或耗油量差異，再乘以通過電子收費系統之車輛數，即可得其節能量並進而推算減碳量，如公式(6-14)與(6-15)所示。

$$\text{節能量} = T_i \times (A_i - B_i) \quad (6-14)$$

其中，A=使用人工計次收費時每次過站之燃油消耗量

B=使用電子計次收費時每次過站之燃油消耗量

T=電子收費系統通過車輛數

i=運具別

$$\text{減碳量} = T_i \times (A_i \times K_j - B_i \times K_j) \quad (6-15)$$

其中，A,B,T,i 意義同上

K=CO₂ 排放係數

j=燃料別

4. 鼓勵使用替代燃料運具：

本類行動方案主要係藉由改變運輸工具所使用之能源類型來降低相同使用量下之碳排放量。具體行動方案包括鼓勵電動機車及天然氣車輛之使用等。其減碳效果估算概念係以不同能源類型車輛之排碳差異為主要估算內容，節能量即以原能源類型車輛於某使用量下所消耗之能源量(須換算為油當量)減去改換後於同等使用量下之所消耗之能源量(同樣換算為油當量)而得，減碳量則須由改換前後不同能源類型能源量及其對應之 CO₂ 排放係數相乘而得。本類方案之一般化公式可表示如公式(6-16)與(6-17)。

$$\boxed{\text{節能量}} = \boxed{\text{影響數量}} \times (\boxed{\text{使用原運具之能源消耗量}} - \boxed{\text{使用新運具之能源消耗量}}) \dots\dots\dots (6-16)$$

$$\boxed{\text{減碳量}} = \boxed{\text{影響數量}} \times (\boxed{\text{使用原運具之能源消耗量}} \times \boxed{\text{原能源之排放係數}} - \boxed{\text{使用新運具之能源消耗量}} \times \boxed{\text{新能源之排放係數}}) \dots\dots\dots (6-17)$$

本次所列入的五個行動方案中雖未包括此類，但以鼓勵使用電動機車為例說明本類方案之計算式。於計算節能量與減碳量時要先估算有多少數量(或比例)機車將轉為電動機車，並計算其使用汽油與使用電力之能源消耗量，二者差值即為節能量；將能源消耗量分別乘以不同能源之排放係數後相減可得其減碳量，如公式(6-18)與(6-19)所示。

$$\text{節能量} = a \times f \times \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{p} \right) \quad (6-18)$$

其中，a=車輛汰換數

f=平均行駛里程

m=燃油機車之燃油效率

p=電動機車之能耗效率

$$\text{減碳量} = a \times f \times \left(\frac{k}{m} - \frac{d}{p} \right) \quad (6-19)$$

其中，a,f,m,p 意義同上

k=汽油 CO₂ 排放係數

d=電力 CO₂ 排放係數

6.2.3 參數彙整與更新

為執行行動方案成效評估工作首先須就各行動方案進行成效評估所需參數進行彙整並更新，經審慎回顧歷年執行成效評估之公式並進行參數整理後得如表 6.2-3 結果，方案名稱採簡稱表示以利於呈現，並將種類相同

之方案歸為一體，例如行動方案中有臺北、臺中、高雄等三地之都會區捷運及桃園國際機場捷運等四個方案，於本表中則僅以「捷運服務」表示。由表 6.2-3 可見，運量或使用量為各方案皆必須之參數，且於日後進行每年度行動方案成效評估時亦為絕對必要進行年度更新之資料。運具移轉比例與移轉運具承載率二種參數主要為執行公共運輸相關方案時所使用，因此類方案之節能效果主要來自於吸引原使用私人運具之使用者移轉使用公共運輸系統，因此其評估時需使用此二種參數。其次為與能源使用相關參數，包括運具燃油效率、能源密集度、單位燃料 CO₂ 排放係數、與油當量轉換率等 4 種，除能源密集度僅需用於公共運輸相關方案外，另 3 種則為各方案評估時皆需使用之共通參數。

表 6.2-進一步就目前已在接受管考之五個方案進行詳細資料整理，此五個方案為「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」、「持續提升高鐵運量」、「臺鐵捷運化」、「臺北都會區大眾捷運系統計畫」、「賡續推動高速公路電子收費系統」，其中除高速公路電子收費系統外，皆屬公共運輸服務品質之提升或服務範圍之擴展，各方案之執行成效評估指標一如車輛汰換量、運量等亦一併彙整於表中。

表 6.2-3 行動方案成效評估所需參數彙整

參數類別 /名稱	車種	高鐵運 量提升	臺鐵 改善	捷運 服務	公車 汰舊	電子 收費	智慧 交控
運量 (延人公里)		◎	◎	◎	年行駛 里程		
其他使用量/車 輛數					車輛汰 換量	ETC使用 量	各車種 運量
運具移轉 比例(%)	機車		◎	◎			
	小客車	◎	◎	◎			
	大客車	◎	◎	◎			
	臺鐵	◎					
	航空	◎					
移轉運具 承載率 (人/車)	機車		◎	◎			
	小客車	◎	◎	◎			
	大客車	◎	◎	◎			

表 6.2-3 行動方案成效評估所需參數類別彙整(續)

參數類別 /名稱	車種	高鐵運 量提升	臺鐵 改善	捷運 服務	公車 汰舊	電子 收費	智慧 交控
運具燃 油效率 (公里/公升)	機車		◎	◎			
	小客車	◎	◎	◎		◎	◎
	大客車	◎	◎	◎	◎	◎	
	大貨車						◎
	聯結車						◎
能源密集度 (度/延人公里)	臺鐵	◎	◎				
	捷運		◎	◎			
	高鐵	◎					
	航空	◎					
	輕軌						
單位燃料CO ₂ 排放係數	汽油	◎	◎	◎		◎	◎
	柴油	◎	◎	◎	◎		◎
	電力	◎	◎	◎			
	航空用油	◎					
油當量 轉換率	汽油	◎	◎	◎		◎	◎
	柴油	◎	◎	◎	◎		◎
其他					燃油效 率改善 率	尖、離峰 使用量 比例	實施前 後平均 車速
						尖、離峰 燃油節 省量	不同車 速對應 之燃油 效率

資料來源：本研究整理

表 6.2-4 行動方案評估所需資料項目及其來源

資料項目		資料來源	資料附註說明
補助公路汽車客運車輛汰舊換新			
車輛汰換量		補助單位(公路總局)提供	行動方案執行 成效
公路汽車客運平均年行駛 里程		交通部(2011)，交通統計月報，臺 灣地區公路汽車客運業營運概況	
運具燃 油效率	公路汽車客運既 有車輛	交通部公路總局(2008)，「公路汽 車客運車輛汰舊換新」專案報告。	
燃油效 率改善 率	全新車	交通部公路總局(2008)，「公路汽 車客運車輛汰舊換新」專案報告。	
	較新車		
新購車 輛比例	全新車	交通部公路總局(2008)，「公路汽 車客運車輛汰舊換新」專案報告。	
	較新車		

表 6.2-4 行動方案評估所需資料項目及其來源(續 1)

資料項目		資料來源	資料附註說明
持續提升高鐵運量 (重複參數不再羅列)			
運量	高鐵	交通部(2011)，交通統計月報，高速鐵路客運量	行動方案執行成效
運量移轉比例	小客車	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	概估值
	大客車		
	臺鐵		
	航空		
移轉運具承載率	小客車	交通部(2011)，99 年自用小客車使用狀況調查報告。	未區分使用道路等級
	大客車(城際)	估計自交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區公路汽車客運業營運概況。	由延人公里數與營業行車里程相除而得
運具燃油效率	自用小客車	交通部(2011)，99 年自用小客車使用狀況調查報告	行駛高速公路、快速道路、使用空調、全數平均
	大客車(城際)	估計自交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區公路汽車客運業營運概況。	由消耗油量(柴油)與營業行車里程相除而得
能源密集度	臺鐵	交通部運輸研究所(2011)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)－建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式。	
	高鐵		
	航空		
單位燃料CO ₂ 排放係數	車用汽油	經濟部能源局(2011)，燃料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數	
	柴油		
	航空用油		
	電力		
臺鐵捷運化及改善計畫 (重複參數不再羅列)			
運量	臺鐵	交通部(2011)，交通統計月報，鐵路客運量	行動方案執行成效
運具移轉比例	機車	臺灣鐵路管理局提供。	
	小客車		
	大客車		
移轉運具承載率	機車	交通部(2010)，98年機車使用狀況調查	
	小客車	交通部(2011)，99年自用小客車使用狀況調查報告	
	大客車(市區)	交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區市區汽車客運業營運概況	

表 6.2-4 行動方案評估所需資料項目及其來源(續 2)

資料項目		資料來源	資料附註說明
運具燃油效率	機車	交通部(2010)，98年機車使用狀況調查	
	小客車	交通部(2011)，99年自用小客車使用狀況調查報告	
	大客車(市區)	交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區市區汽車客運業營運概況	由消耗油量(柴油)與營業行車里程相除而得
臺北都會區大眾捷運系統計畫 (重複參數不再羅列)			
運量	捷運	交通部，交通統計月報，捷運客運量	行動方案執行成效
運具移轉比例	機車	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	概估值
	小客車		
	大客車		
能源密集度	臺北捷運	交通部運輸研究所(2011)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。	
廣續推動高速公路電子收費系統 (重複參數不再羅列)			
ETC通過車輛數	小型車	高速公路局，電子收費運作狀況總表	行動方案執行成效
	大型車		
電子收費節省燃油	小型車尖峰	依據「交通部運輸研究所(2009)，能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究」、「交通部運輸研究所(2010)，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究」計畫研究成果設定。	
	小型車離峰		
	大型車尖峰		
	大型車離峰		
尖離峰比例	小型車尖峰	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	
	小型車離峰		
	大型車尖峰		
	大型車離峰		
車種比例	小型車比例	推估自交通部(2009)，國道營運概況及事故統計分析。	
	大型車比例		

註 1.資料來源：本研究整理

註 2.其餘方案尚未能進行成效評估，亦多缺乏明確資料內容，建議於後續年度再行開發。

參數來源部分區分為二大類，第一類為由各行動方案執行單位所提供之方案執行成效，多數為運量或使用量資料，例如由公路總局提供公路客運車輛補助數量等。第二類為次級資料，可依其資料來源區分為自統計資料取得與自研究報告取得二類，統計資料主要由經濟部能源局與交通部而

得，與能源使用相關之參數如「單位燃料 CO₂ 排放係數」與「油當量轉換率」係自經濟部能源局之公告資料而得，與車輛使用相關參數如「運具承載率」或「平均行駛里程」等係自交通部統計資料而得。取自研究報告之參數多數為於本所歷年相關計畫成果，於各計畫中建立參數之方式包括「引用統計資料並進行必要估算」、「引用學術、學位論文或其他研究」、與「自行假設」3 種，其中第三類自行假設係因無法由前二類來源獲得，因此就其數值進行合理假設，此類假設值經後續年度多次檢討已成為各單位共識，本研究經評估後認為現階段並無更佳估計方式，因此將於估算時仍持續沿用。

6.3 小結

為因應將來 MRV 之規範與計算原則，本章除延續過去研究，計算運輸部門節能減碳行動方案成效外，同時蒐集目前國內、外 MRV 制度推展最新狀態，希望藉由案例經驗的吸收，做為運輸部門未來建立 MRV 管理制度之參酌。

本計畫目前已蒐集 IPCC 有關溫室氣體盤查的最佳作法、UNFCCC 之 MRV 制度發展及環保署建立有關溫室氣體盤查與帳戶管理制度，並針對 MRV 制度建立之目的、MRV 執执行程序等相關國內外資訊進行詳細蒐集與彙整。包括 IPCC(2000)出版「國家溫室氣體盤查之優良作法指引及不確定性管理」、日本全球環境策略研究院 Institute for Global Environmental Strategies (IGES, 2010)所提出一份結合國家適當減緩行動(National Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)與 MRV 的最新報告，以及環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體盤查及登錄管理原則」。

本年度延續前述工作成果持續進行行動方案執行成效之評估，並區分為三項具體工作，其一為整理行動方案內涵，其二為檢討公式與參數之正確性，其三為進行本年度之估算更新。由前述策略與我國運輸部門行動方案進行歸類，則可區分行動方案為移轉公共運輸、改善運輸工具能耗效率、提升運輸使用效率與鼓勵使用替代燃料運具四類，其中第一類主要目標為降低運輸工具使用量，尤其是高耗能運輸工具(或稱「紅色運具」)，如自用小客車等私人機動運具。第二類與第三類主要目標皆為改善能耗係數，

但「改善運輸工具能耗效率」係針對運輸工具進行改善，「提升運輸使用效率」則針對運輸系統整體運作進行改善。第四類策略目標則為改變能源類型以改善能源排放係數。

第七章 節能減碳策略之減量成本

減量成本為決策者制定環境政策、擬定減量策略不可或缺的資訊，尤其在後京都時期新一波溫室氣體減量協商工作的展開，邊際減量成本資訊成為減量潛力與責任負擔衡量的重要依據。

然而對於減量潛力與成本之量化研究，並非透過簡單的統計工作便可獲得，由於其背後所隱含的意義與牽涉層面過於複雜，因此需要系統性的評估方法，才能提供完整的資訊。文獻上探討減量成本之研究並不少見，但國內對於減量成本之推估卻未見完整的比較分析。

本研究於上年度計畫提出以成本有效方式計算運輸部門之總體減量成本，以及在此前提下運輸部門所能負擔之減量責任。鑒於本(100)年度麥肯錫公司(McKinsey & Company)以技術成本方法計算國內技術減量成本，故本研究以技術成本與總體成本之差異為主題，探討減量成本之內涵與計算方式帶來的差異。

7.1 減量成本的範疇與內涵

邊際減量成本(Marginal Abatement Cost, MAC)的概念，早在 1980 年代初期便已形成，當時因 1970 年代石油危機使得人類不得不以減少能源使用來面對高漲的油價，於是 Meier(1982)畫出了第一條節能技術的成本曲線。當能源轉換業者面對高漲的油價，在滿足既定的能源服務需求(電力需求)的前提下，必須思考採取更有效率的能源轉換技術，以節省能源投入，於是 Meier 彙整當時認為可行的技術，將每項技術所能達成的節能量繪製於橫軸，該技術對映之能源轉換成本(Cost of Conserved Energy, CCE)¹繪製於縱軸，並將其考慮的所有技術選項按轉換成本高低，依續排列，便形成一條對映於節能量的成本曲線，或者稱為轉換供給曲線(Conservation Supply Curves, CSCs)²。

1 Meier(1983)考慮的轉換成本包括投資成本、操作成本與原料成本。

2 轉換供給曲線在 1990 年代廣泛的運用於運輸部門、工業部門與住宅部門能源效率改善的評估中(如 Difiglio and Duleep, 1990; Rosenfeld et al., 1993; Blumstein and Stoft, 1995; Willemé, 2003)。近來亦有部分研究探討轉換供給曲線與經濟概念之間的差異，例如 Laitner (2003)提出 CSCs 與等產量曲線存在相同的概念，亦即為滿足特定的能源服務需求(能源轉換產出)，採取高效率技術即代表在等產量曲線上利用資本取代能源；Willemé (2003)則運用 logistic 曲線進行計量實證推估，以呈現技術成本可能存在的不確定性問題。

1990 年代除了轉換供給曲線，減量成本曲線更廣泛運用於空氣污染物減量潛力與減量成本評估議題(如 Rentz et al., 1994)，而類似方法也同時使用在溫室氣體減量問題上(如 Jackson, 1991; Mill et al., 1991; Sitnicki et al., 1991)。隨著後京都時期新一波溫室氣體減量協商工作的展開，邊際減量成本資訊成為減量潛力與責任負擔衡量的重要依據。因此近年來，國內外許多研究團隊或學者專家，紛紛運用不同分析工具以計算全球、國家、部門乃至技術之邊際減量成本曲線。

基於研究目的、分析範疇、評估方法與基本假設的差異，文獻上對於減量成本的定義與內涵，各有不同論述。Ekin, et al.(2011)便提到「成本」所定義的範疇，可以是計畫層級、技術層面、部門層級、國家層級甚至是全球的減量成本，其中計畫層級的減量成本，通常描述個別減量選項所產生的成本，而不考慮市場與價格因素導致的間接經濟影響(Halsnæs et al., 2007)，例如產業的技術轉換、效率改善、燃料轉換或硬體設施更換等。技術成本則考慮特定技術及其學習率的設定，而該技術可能運用於不同計畫當中。相對於計畫成本與技術成本，部門或國家層級成本範疇較廣，為涵蓋範疇內所有部門與市場間的交互影響與衝擊，可以總體經濟成本來描繪。

因此減量成本之內涵若依產生來源，可區分為「直接成本」與「間接成本」。直接成本包含資本成本、維護成本、燃料成本及其他操作成本；間接成本則涵蓋推動成本(implementation cost)、交易成本(transaction cost)、搜尋成本(search cost)、風險與不確定性成本(costs of risks and uncertainties)、附屬成本與效益(ancillary costs and benefits)與總體經濟成本等。一般技術層級或計畫層級大多以直接成本計算，部門或國家層級則因切入觀點與研究方法的不同，在成本內涵、計算方法與指標選擇上產生差異，例如麥肯錫(2009、2010)即以直接成本計算國家與部門別減量成本，而經濟類模型最常以機會成本及總體經濟成本來囊括直接與間接成本。

黃宗煌與林幸樺(2003)由資源有限角度將減量成本定義為，「任何一項減量措施的推動，無可避免地要移用它另有所用的經濟資源，而這些資源的貨幣價值，即可泛稱為減量成本」。依此定義，減量成本事實上即為減量的機會成本。另一個類似的概念為碳排放限制的影子價格(shadow price)，例如 Denny and Decaux(1998)將邊際減量成本定義為「在某個特定區域與特定時間點，任何碳排放限制所產生的影子價格，此價格代表為了符合排放限制條

件，最後多減一公噸碳所須付出的邊際成本」。大多數採此定義之文獻(如 Färe et al., 2002, 2005; Maradan et al., 2005; Klepper and Peterson, 2004, 2006; Marklund and Samakovlis, 2007; Ghorbani and Motallebi, 2009; Shinji et al., 2010; 吳佩瑛等, 2010)，所描繪出來的影子價格會隨著排放減量目標趨於嚴苛而呈現為排放減量的遞增函數。若存在完善的碳交易市場，則均衡時碳價應等於影子價格。

在指標方面，技術成本與計畫成本多以個別技術單位減量的平均成本表示，影子價格則以減碳的邊際成本或其價格代表，部分總體經濟模型基於機會成本概念，以每單位減量之 GDP 損失做為總體衡量指標(如 Maradan et al., 2005)，亦有基於社會公平考量，而以邊際福利成本(Marginal Welfare Cost, MWC)³做為衡量指標之研究(如 Böhringer et al., 2003; Eyckmans et al., 2002; Morris et al., 2008)。表 7.1-1 彙整國內外相關文獻所運用之減量成本衡量指標、推估方法與分析範疇。

表 7.1-1 減量成本衡量指標與推估方法

衡量指標	推估方法	範疇	主要文獻
影子價格	CGE 模型	全球、跨國(區域)	Australian Treasury (2008), OECD (2009), Klepper and Peterson (2004, 2006), Ellerman and Decaux (1998) (EPPA), Morris et al. (2008) (EPPA), Eyckmans et al. (2002), Böhringer et al. (2003)
		單一國家	李堅明等 (2005) (TAIGEM-III)、黃宗煌等(2010) (TaiSEND)
		部門	Dellink et al. (2004), 黃宗煌等(2010) (TaiSEND)
	產出距離函數	部門	Färe et al., (2002, 2005), Saleem et al. (2002), Ghorbani and Motallebi (2009), Shinji et al. (2010)
社會福利	CGE 模型	全球、跨國(區域)	Morris et al. (2008) (EPPA), Eyckmans et al. (2002), Böhringer et al. (2003)

3 邊際福利成本定義為多減少一單位排放量所造成之福利損失。

表 7.1-1 減量成本衡量指標與推估方法(續)

衡量指標	推估方法	範疇	主要文獻
GDP 損失	CGE 模型	單一國家	黃宗煌與林幸樺 (2003) (TAIGEM-D)、 李堅明等 (2005) (TAIGEM-III)
	指向型產出距離函數 (Directional Output distance function)	全球、跨國(區域)	Maradan et al. (2005), 吳佩瑛等(2010)
直接成本 (技術成本)	多目標最適控制模型(電力部門模型)	部門	Soloveitchik et al. (2002)
	麥肯錫邊際減量成本	技術	McKinsey (2009, 2010)

資料來源：本研究整理。

7.2 影響減量成本推估結果的因素

影響減量成本的因素非常多，Amann et al. (2009)邀集 8 個國際重要模型開發團隊，在儘可能一致的假設條件下，進行各國減量成本推估。這些模型中，部分為由下而上模型(如 AIM, DNE21+, GAINS)，部分為由上而下模型(如 GTEM, OECD ENV-LINKAGES)，亦有整合評估模型(如 IMAGE, POLES)，以及麥肯錫減量成本曲線等。在溝通協調過程中 Amann et al. (2009)發現造成各模型推估結果產生差異的原因包括定義的問題(對情境假設、政策條件、決策當局態度等)、不確定性的問題(經濟發展的不確定、技術進步的不確定、技術成本與市場的不確定等)、校準的問題、方法論的差異等。

本文彙整文獻推估結果，將造成減量成本差異的重要因素歸納為幾個層面：

(1) 國家與部門特性

邊際減量成本高低會因不同國家而有差異，主要歸因於能源供給結構、能源初始價格水準、國家發展無碳能源的潛力(如再生能源資源)、國際規範與合作機制、國內減量政策與推動無悔策略空間等。其中國際間相互合作之減量機制，以及其時點與區域上的彈性，對於減量成本的推估具有不可忽視的影響力。

由於各國國情與經濟發展程度不同，國內環境與能源發展政策背景亦不相同，對於溫室氣體減量目標與時程的發展路徑不同，導致所推估的邊際減

量成本差異甚大(Criqui et al.(1999), 吳世英與林幸樺(2004))。

(2) 社會價值與經濟發展

國際能源價格水準、經濟成長率、廠商及家計單位對溫室氣體密集財和勞務的替代性、溫室氣體稅收如何再利用等均會影響一國邊際減量成本產生變化(Jaccard and Montgomery (1996)、Gernot K. and S. Peterson (2006))。當社會體系對於溫室氣體的衝擊具有普遍認知與感受時，所可能接受的減量代價、生活習慣的改變、政策工具的運用與影響便會隨社會共識而發生變化。

(3) 成本定義與內涵

如同前述，基於研究方法與目的不同，對於成本的定義與涵蓋範圍便有差異，使得推估的結果也大異其趣。

(4) 方法論與模型架構

減量成本估計會因不同的評估模型產生差異。目前「由上而下」(Top-down) 模型與「由下而上」(Bottom-up) 模型是當前國際社會在評估減量成本時最重要的兩種方法，前者通常運用一般均衡分析法，以 CGE 模型為基礎，所估算的減量成本屬於經濟成本，後者以能源部門為主(亦即為部分均衡分析法)，以數學規劃法為基礎，屬於技術成本，以能源支出最小化為目標，強調減量的技術成本，基本上兩者對於減量成本的定義不同，評估的結果往往出現不一致現象。

(5) 情境設定與模型操作

根據提出，影響減量成本的因素在技術層面包括減量標的、減量目標與時程、排放基線、產業結構與發展特性、經濟成長強度、低碳技術發展、能源密集度、溫室氣體減量相關稅收之運用等(吳世英與林幸樺，2004)。

A. 減量標的

由於 CO₂ 的增溫潛能雖然均低於其他溫室氣體，但因排放量最多，在溫室效應上的貢獻度高達 60% 以上，故為當前最受重視的減量標的。然而，減量成本卻會因所選定之減量標的不同而異，例如部分研究指出，「非 CO₂ 溫室氣體」的減量成本顯著低於 CO₂ 的減量成本。因此，在比較減量成本之際，尤須注意研究核心所鎖定之減量標的內涵是否一致。

B. 減量目標與時程

減量目標與時程攸關國家整體經濟利益與競爭力，所牽涉的層面甚

廣，由於碳減量為一項長期工作，就長期規劃的觀點，可再細分為二個層次，首先必須決定「減量時程內的總量管制水準」，其次則為分配「各年度的總量管制水準」，其中前者涉及政治及經濟層面的主觀價值，在不同政策目標下所得出的最適水準將有所差異，進而影響國家的邊際減量成本；後者係給定前者目標下，由動態最適化方法求解，目的在於了解減量工作進行之時程；此外，Gernot K. and S. Peterson (2006) 實證結果亦推論減量目標為影響邊際減量成本之重要因素之一。

C. 排放基線與情境設計

排放基線是評估減量政策的比較基準，基線是否能準確地反映未來的排放實況，對於減量成本的精確度密切相關，為評估過程中相當重要的一環。由於各國在推估基線時所選用的模型不同，各模型所設定的假設條件(如基線成長率與排放量)亦不相同，未來情境也充滿不確定性，因此 IPCC 在「排放情境」特別報告中，放棄傳統的基線概念(如 IS92 系列情境)，而改以「發展型態」做為規劃排放情境的基礎。至於發展型態則按照「更經濟」、「更環保」、「更全球化」、「更區域化」等四項指標為基礎而區分為 A1、A2、B1 及 B2 等四大類排放情境。即令如此，減量成本仍將受到不同排放情境的影響。

D. 不確定性

由於模型使用參數眾多，舉凡經濟成長、能源價格、政策制定、技術發展、技術成本等重要因素，在推估未來趨勢時，充滿不確定因素，這種不確定性使得模型推估存在難題，因此模型如何考量不確定問題，將造成推估結果出現差異。

E. 路徑相依

溫室氣體減量工作牽涉許多技術與政策面考量，由於技術一旦採用，不可能在短期內進行汰換而產生鎖定效果、政策決策過程經過多方角力協商，也需要時間達成共識，消費者面對新型態能源服務設備，基於習慣與財務考量，亦存在程度不同的慣性。另一方面，過去採行的政策與決策，同時決定今日決策的基礎，從而影響現在與未來的選擇。這些因技術鎖定及歷史軌跡所產生的路徑相依問題，如何在推估過程加以考慮，成為影響推估結果的重要因素之一。

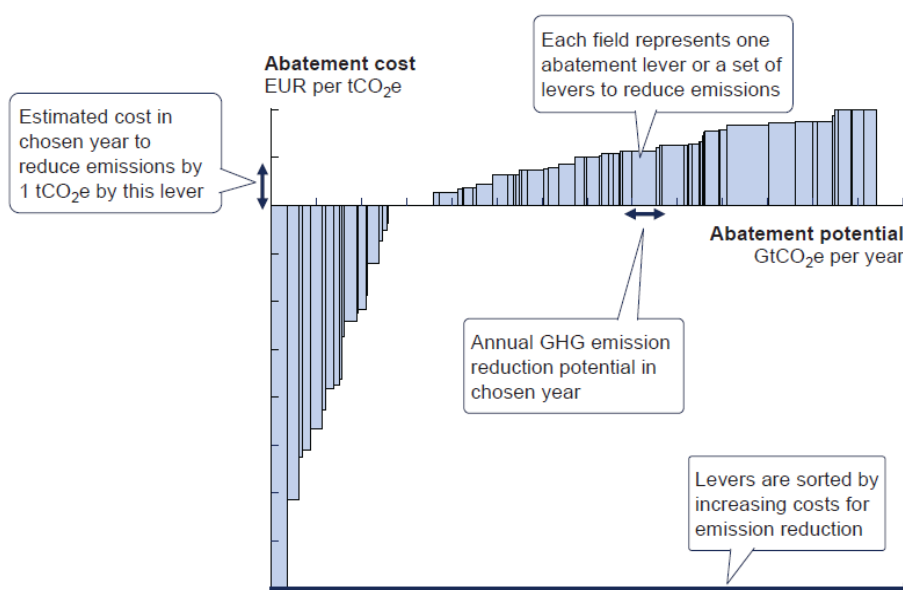
7.3 總體經濟成本與 McKinsey 成本

1. McKinsey 減量成本推估方法

麥肯錫減量成本曲線的推估可概分為五步驟進行：

(1) 定義減量成本曲線

麥肯錫建立減量成本曲線的基本邏輯為呈現減量手段所帶來減量潛力與減量成本之關係，此處所指「減量」皆相對於基準情境或基線而言。在此邏輯下，曲線之橫軸代表某一年排放減量潛力，縱軸代表該年每減量 1 公噸二氧化碳當量所須付出成本。由於麥肯錫減量成本係由多項減量技術或手段堆疊而來，故所謂減量成本曲線是由長條圖緊密排列所形成。圖 7.3-1 中每一條狀矩形即代表一種技術或手段，其寬度為該技術之減量潛力，其高度為該技術之平均成本⁴。



資料來源：McKinsey (2009), Global GHG Abatement Cost Curve v2.0, p. 145。

圖 7.3-1 麥肯錫減量成本曲線之定義

在麥肯錫減量成本曲線中，計算每一項減量技術或手段之減量潛力與減量成本的過程互相獨立，亦即個別技術的減量成本並不會因為減量的增減而改變，該減量成本可視為一種平均成本。所謂「潛力」係計算每一技術在該年度已設置完成並進行運轉的情況下所可能產生的減量幅

⁴ 若每項技術係由多個子項所組成，則以加權平均方式計算平均成本，惟權數是否為各子項之減量潛力無法由麥肯錫報告中獲知。

度，因此呈現的是減量的機會而非預測，而這種機會與技術在何時設置並無關聯。

由於減量潛力係根據減量手段在技術面可達成之減量能力計算，因此麥肯錫認為其減量成本曲線應描述為減量機會的供給，此與是否達成減量目標並無絕對關係。在計算個別技術本身的減量潛力時，應僅計入因該技術所產生的減量，以住宅裝設 LED 燈具為例，雖然 LED 可降低住宅的用電需求，但發電部門採行減量措施所產生的排放減量，最終將隨間接排放併至住宅部門，此時便難以釐清 LED 技術本身的減量潛力，同樣的問題也會發生在運輸部門與初級能源部門。為避免重複計算間接排放，麥肯錫先計算電力部門未採取減量措施時，引進 LED 技術產生的用電節省與減量幅度，再計算發電部門減量措施的貢獻。

(2) 釐清彙整可行的減量技術或手段

在 McKinsey(2009)報告中，繪製減量成本曲線所考慮的潛在減量技術，定義為不改變消費者消費型態與生活模式下，所可能選擇的技術或手段，因此該研究僅考慮成本低於每公噸二氧化碳當量 60 歐元的減量選項。技術選項的判斷原則主要包含四個層面：

- 必須為進入試驗階段的可行技術；
- 具備中長期(至少 2025 年以前)可商業化的可能性且在 2030 年以前可產生顯著的減量貢獻；
- 須明確掌握引進時技術層面與經濟層面將面臨的挑戰；
- 具備強有力的支持，例如政策或產業的支撐、明確的獲益(如能源安全)或其他經濟誘因。

(3) 計算減量潛力

麥肯錫將減量潛力定義為在運用減量技術或執行減量手段後，其排放量與基線排放量的差異。因此基準情境的設定與基線推估將直接影響減量潛力之高低⁵。每項減量技術或手段的潛力計算，皆彼此獨立而互不影響，但一旦成本較低的技術被運用並產生減量成效，便形成新的基線，此時成本次低技術之減量潛力便相對於該新基線重新計算。

⁵ 麥肯錫在計算基線時，做了許多假設，包括實質 GDP、人口成長率與利率等總體經濟資料以及能源價格等，這些資料皆直接引用自 IEA 的預測結果。由於缺乏需求面因素的考量，因此無法建立 GDP 與能源價格之間的關聯。

(4) 計算減量成本

減量成本定義為引進低排放技術所增加的單位成本(相對基線)，單位成本衡量單位為每公噸二氧化碳當量歐元。其計算公式為：

$$\text{Abatement Cost} = \frac{[\text{Full cost of CO}_2\text{e efficient alternative}] - [\text{Full cost of reference solution}]}{[\text{CO}_2\text{e emissions from reference solution}] - [\text{CO}_2\text{e emissions from alternative}]} \quad (7.1)$$

減量成本的內涵包括：

■ 投資成本

投資成本計算方式為購入資產生命週期內所攤提之每年貸款償還金額。利率使用長期政府公債利率平均值(在 McKinsey(2009)中設定為 4%)。

■ 操作成本

包括人事費與原物料成本。

■ 因採取替代技術所節省的成本

此項主要計算能源使用成本的減少。

因此在麥肯錫的減量成本中，並不包含交易成本、訊息成本、政府補貼與稅賦、CO₂ 成本、或其他因技術優勢而產生的市場障礙等。此外，人類行為的改變，亦不在成本計算範圍內。行為通常受到許多價格及非價格因素左右，如公眾教育、社會認知活動、社會結構變遷、政策誘導等。雖然行為的改變具有相當的減量潛力，但慣性使行為減量潛力具有更多的不確定性，因此麥肯錫並未將行為因素納入主要的減量選項，而是視為未加諸成本的進一步強化減量的手段。對於未來技術成本的變化趨勢，則透過預測方法、專家判斷、經驗外推等方法進行設定。

(5) 依減量成本高低排序並繪製減量成本曲線

利用 A.-D.之結果，便可繪製以潛力為寬、成本為高之各技術長條圖，再依據減量成本的高低，依續將長條圖疊放於橫軸，形成減量成本曲線。

2. CGE 模型推估方法

目前文獻上所定義之減量成本可分為技術成本、減量之機會成本、排放限制之影子價格、總體經濟成本與社會成本等類；在方法上則有由上而下與由下而上兩類。基於方法特性，由上而下模型較適於評估整體性減量成本，如減量機會成本、影子價格與總體經濟成本等，其理論架構原則即假設經濟個體在面對排放限制時，會選擇成本最小、利潤最大或效用最大的方式，調整資源使用或進行減量，以符合排放要求。以 CGE 模型為基礎所建構的 TaiSEND 模型正符合此種特性。

然而，單純地使用排放限制的影子價格或總體經濟指標是否就能充分反映各部門邊際減量成本？站在社會角度決定各部門排放目標量時，是否僅考慮上述指標即可？以下由部門最適及社會最適角度，說明減量成本計算根據，並依此設定 TaiSEND 模型，以便進行後續模擬。

(1) 部門最適決策

一般設定排放管制目標，可區分為國家層級、部門層級、廠商或家戶層級、製程或設備層級等範疇，本研究著重於部門層級管制目標之決定。假設各部門因為生產過程使用能源而產生溫室氣體排放，在面對排放管制目標下，部門可採取減產或施行減量措施兩種方式以符合排放限制。則部門之利潤極大化問題設定為：

$$\begin{aligned} \text{Max}_{q_i, a_i} \quad & \pi_i = p \cdot q_i - C_i(q_i, a_i) \\ \text{s.t.} \quad & \alpha_i \cdot q_i - a_i = \bar{e}_i \end{aligned} \quad (7.2)$$

式中 p 代表部門產出之價格， q_i 為部門 i 之產出量， C_i 代表部門 i 之成本函數， a_i 為排放減量， α_i 代表每單位產出之排放係數， \bar{e}_i 為部門 i 之排放目標量。假設成本為產出量與減量之凸函數，即 $\partial C_i / \partial q_i > 0$ 且 $\partial^2 C_i / \partial q_i^2 > 0$ 、 $\partial C_i / \partial a_i > 0$ 且 $\partial^2 C_i / \partial a_i^2 > 0$ 。則此最適化問題之一階條件為：

$$L = p \cdot q_i - C_i(q_i, a_i) + \lambda(\bar{e}_i - \alpha_i \cdot q_i + a_i) \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} = p - \frac{\partial C_i}{\partial q_i} - \alpha_i \cdot \lambda = 0 \quad (7.4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial a_i} = -\frac{\partial C_i}{\partial a_i} + \lambda = 0 \quad (7.5)$$

(3)式中 λ 即為排放目標量之影子價格，代表管制目標每加嚴一單位所造成部門 i 之利潤損失，此影子價格在滿足上述一階條件的情況下，必須等於邊際減量成本((6)式)：

$$\lambda = \frac{\partial C_i}{\partial a_i} = MAC_i \quad (7.6)$$

由(7)式可知單位產出之邊際收益必須滿足單位產出之邊際生產成本與邊際減量成本之總和：

$$p = \frac{\partial C_i}{\partial q_i} + \alpha_i \cdot \frac{\partial C_i}{\partial a_i} = MPC_i + \alpha_i \cdot MAC_i \quad (7.7)$$

於是在給定的市場價格下⁶，若部門 i 之減量成本過高減量潛力有限，勢必以減產因應。

根據上述條件便可推求部門 i 之最適產出量與減量幅度，分別為產出價格、排放目標與排放係數之函數：

$$q_i^*(p, \bar{e}_i; \alpha_i) \quad (7.8)$$

$$a_i^*(p, \bar{e}_i; \alpha_i) \quad (7.9)$$

(2) 社會最適排放目標分配

接著，由政府或社會角度，說明成本有效之部門排放管制目標核配準則。假設政府追求排放總量管制之社會總成本最小，在此將社會總成本定義為各部門成本之總和，則政府部門之最適化問題如下：

$$s.t. \quad \sum_i \bar{e}_i = \bar{E} \quad (7.10)$$

式中 SC 表示社會總成本， \bar{E} 代表國家排放目標總量。同樣透過一階條件：

$$L = \sum_i C_i(q_i^*, a_i^*) + \eta \left(\bar{E} - \sum_i \bar{e}_i \right) \quad (7.11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \bar{e}_i} = \frac{\partial C_i}{\partial q_i^*} \cdot \frac{\partial q_i^*}{\partial \bar{e}_i} + \frac{\partial C_i}{\partial a_i^*} \cdot \frac{\partial a_i^*}{\partial \bar{e}_i} - \eta = 0 \quad (7.12)$$

⁶ 在此係假設部門 i 為價格接受者，在考慮市場結構或價格管制情況下，此推論尚須修正。

令 MPC'_i 表示排放目標每多減少一單位，部門 i 因採取減產措施所導致之邊際成本變化； MAC'_i 表示排放目標每多減少一單位，部門 i 因採取減量措施所導致之邊際成本變化； MCQ'_i 為兩者之和：

$$MPC'_i = \frac{\partial C_i}{\partial q_i^*} \cdot \frac{\partial q_i^*}{\partial \bar{e}_i} \quad (7.13)$$

$$MAC'_i = \frac{\partial C_i}{\partial a_i^*} \cdot \frac{\partial a_i^*}{\partial \bar{e}_i} \quad (7.14)$$

$$MPC'_i + MAC'_i = MCQ'_i \quad (7.15)$$

則由(12)式可求得：

$$MCQ'_i = MCQ'_j = \eta \quad \forall i \neq j \quad (7.16)$$

式中 η 為國家管制目標 \bar{E} 之影子價格，代表國家整體排放目標每縮減一單位，所產生之社會成本。依據(16)式，在總體管制目標下對部門進行核配，成本有效的核配方式最終將使所有部門之邊際成本同時等於管制總量之邊際成本，此即為設定部門核配的原則。

根據上述條件便可推求各部門之最適核配量 \bar{e}_i^* ，分別為產出價格、國家排放目標與排放係數之函數：

$$\bar{e}_i^*(\bar{E}; p, \alpha_i) \quad (7.17)$$

由(7)式與(15)式可知，部門配額 \bar{e}_i 之邊際成本來自兩部分效果，其一為受到配額限制下，採取減量措施所付出之邊際成本，本文稱之為邊際減量成本(Marginal Abatement Cost, MAC)，其二為受到配額限制下，以減產因應所產生之邊際生產成本(Marginal Production Cost, MPC)。當減量成本過高，部門必須以減產因應排放管制，因此政府由社會整體角度分配部門目標排放量時，不僅是考慮各部門之減量成本，而須同時衡量其生產成本。

(3) 核配之邊際成本效果

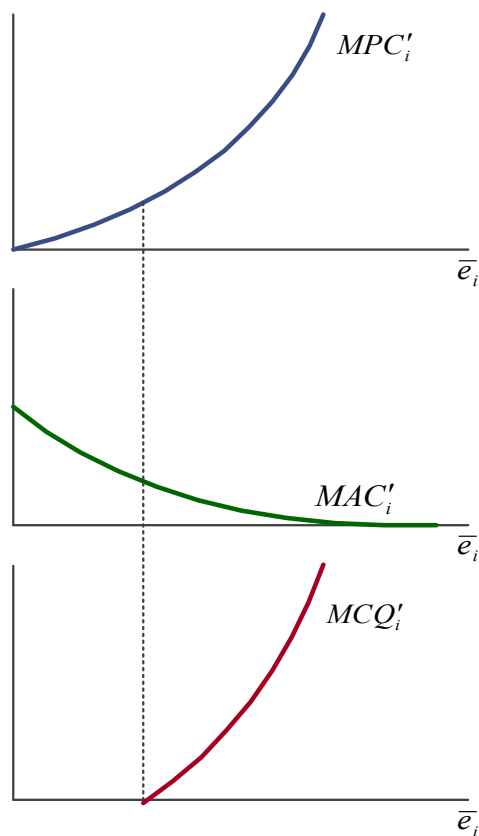
由於 $\partial C_i / \partial q_i > 0$ 且 $\partial C_i / \partial a_i > 0$ ，當部門 i 核配數量 \bar{e}_i 增加，產量將隨之成長，而成本亦隨產量增加，因此核配之邊際生產成本效果為正；當部門核配數量增加，則減量幅度可縮減，隨減量措施而產生之成本亦同

時下降，因此核配之邊際減量成本為負向效果。一般而言，在未採取目標管制時，管制目標之影子價格 η 為零，隨著管制趨於嚴格而呈現遞增，故 $\eta \geq 0$ ，因此核配之邊際生產成本將大於邊際減量成本。核配的邊際成本效果如表 7.3-1 所示。

表 7.3-1 核配的邊際成本效果

	MPC'_i		MAC'_i		η
	$\frac{\partial C_i}{\partial q_i^*}$	$\frac{\partial q_i^*}{\partial \bar{e}_i}$	$\frac{\partial C_i}{\partial a_i^*}$	$\frac{\partial a_i^*}{\partial \bar{e}_i}$	
邊際成本效果	+	+	+	-	+
	$MPC'_i > MAC'_i$ $MPC'_i + MAC'_i = MPC'_j + MAC'_j = \eta$				

對每一部門 i 而言，將其核配量之邊際生產成本與邊際減量成本垂直加總，可得部門 i 核配量之邊際成本曲線，如圖 7.3-2 所示。

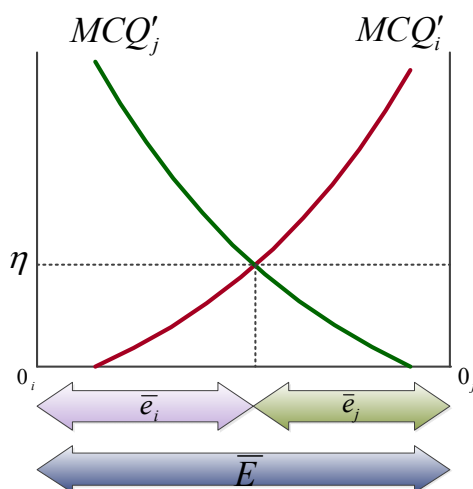


資料來源：本研究繪製。

圖 7.3-2 部門邊際減量成本曲線與邊際成本曲線

(4) 部門配額之決定

假設整個體系僅有 2 部門，國家排放目標為 \bar{E} ，部門配額之決定方式將如圖 7.3-3 所示，圖中橫軸長度代表國家排放總量 \bar{E} ，部門 i 以左側為原點，部門 j 以右側為原點， MCQ'_i 與 MCQ'_j 分別代表部門 i 與部門 j 之邊際成本，則兩邊際成本曲線之交點，亦即當 $MCQ'_i = MCQ'_j = \eta$ 時，決定兩部門最適之核配量 (\bar{e}_i, \bar{e}_j) 。



資料來源：本研究繪製。

圖 7.3-3 部門最適核配量之決定

3. 總體經濟成本 vs. McKinsey 成本

「由下而上」評估方法著重在詳細刻劃個別技術特性，強調達成部門減量目標之個別技術成本，在技術差異化之下所估算之減量成本通常視為一種直接成本，非減量之機會成本，忽略整體社會之產業結構改變及總體經濟的損害，無法真正評估國家或部門在減量限制下所付出的代價。麥肯錫在這種研究方法下最易遭遇的研究限制包括：

- 缺乏需求面考量，無法納入市場因素；
- 各項技術減量潛力計算彼此獨立，忽略因資本或資源有限所導致之技術選擇競合問題；
- 忽略交易成本、訊息成本、補貼或稅賦、 CO_2 成本；
- 不考慮動態效果，無法解決路徑相依問題；
- 政策影響評估項目有限；

- 難以涵蓋全面性減量成本；
- 計算過程假設條件過多，難以充分揭露並進行檢視。

「由上而下」評估方法透過觀察總體表現，分析部門間關聯與交互影響，最常使用的評估模型為 CGE 模型。多數 CGE 模型無法充分考慮技術發展潛力，亦無法充分納入新興技術特性。若非針對減量技術開發，則 CGE 模型容易產生以下研究限制：

- 不易觀察減量技術細節；
- 技術發展潛力需要外部資訊；
- 評估結果綜合複雜趨動因素之影響，較難釐清個別效果；
- 若要考慮交易成本、訊息成本與技術優勢導致的市場進入障礙等問題，須檢討並重新建構模型理論架構。

本文將 CGE 模型與 McKinsey 減量成本內涵與差異彙整於表 7.3-2。為比較各類模型減量成本評估結果之差異，Amann et al.(2009) 也在溝通協調出一致評估情境與假設條件下，由 8 個跨國模型推估各國之減量成本曲線，推估結果如圖 7.3-4 所示。

表 7.3-2 總體經濟成本與 McKinsey 成本比較表

	總體經濟成本	McKinsey成本
評估方法	由上而下評估	由下而上評估
常用模型	可計算一般均衡模型(CGE)	麥肯錫(McKinsey)減量成本
評估範疇	全球(跨國)、國家、部門、產業	全球(跨國)、國家、部門、產業、廠商、計畫、技術
減量成本內涵	影子價格、GDP損失、福利損失	技術成本(投資成本、操作成本、原物料成本、節能之成本節省)
評估優勢	<ul style="list-style-type: none"> ■ 考慮經濟體系所有部門互動與回饋 ■ 強調價格因素與能源需求 ■ 可充分考慮市場與產業發展趨勢 ■ 可納入多元政策工具，包含經濟工具、財政工具、管制工具 ■ 適於評估政策效果 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過產業調查與專家判斷，蒐集可行減量技術與各種減量手段之潛力與成本，可貼近實務經驗值 ■ 可考慮個別技術特性 ■ 減量成本曲線表現方式易於瞭解掌握 ■ 一致的定義與計算流程，易於進行跨國或跨部門比較

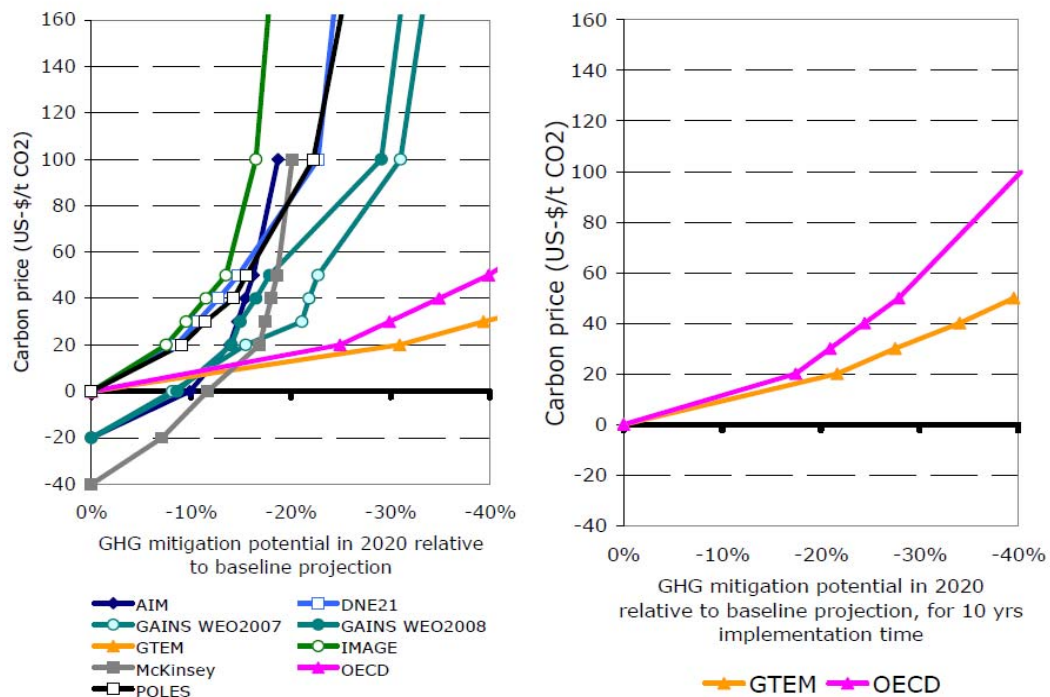
表 7.3-2 總體經濟成本與 McKinsey 成本比較表(續)

	總體經濟成本	McKinsey 成本
評估限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 不易觀察減量技術細節 ■ 技術發展潛力需要外部資訊 ■ 評估結果綜合複雜趨動因素之影響，較難釐清個別效果 ■ 若要考慮交易成本、訊息成本與技術優勢導致的市場進入障礙等問題，須檢討並重新建構模型理論架構 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 缺乏需求面考量，無法納入市場因素 ■ 各項技術減量潛力計算彼此獨立，忽略因資本或資源有限所導致之技術選擇競合問題 ■ 忽略交易成本、訊息成本、補貼或稅賦、CO₂成本 ■ 不考慮動態效果，無法解決路徑相依問題 ■ 政策影響評估項目有限 ■ 難以涵蓋全面性減量成本
應用領域	<ul style="list-style-type: none"> ■ 適合評估整體性的減量成本 ■ 適合考量在不同政策執行情況下之減量成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 適合評估特定計畫或技術採用之減量成本 ■ 適合提供技術發展潛力，而非預測結果

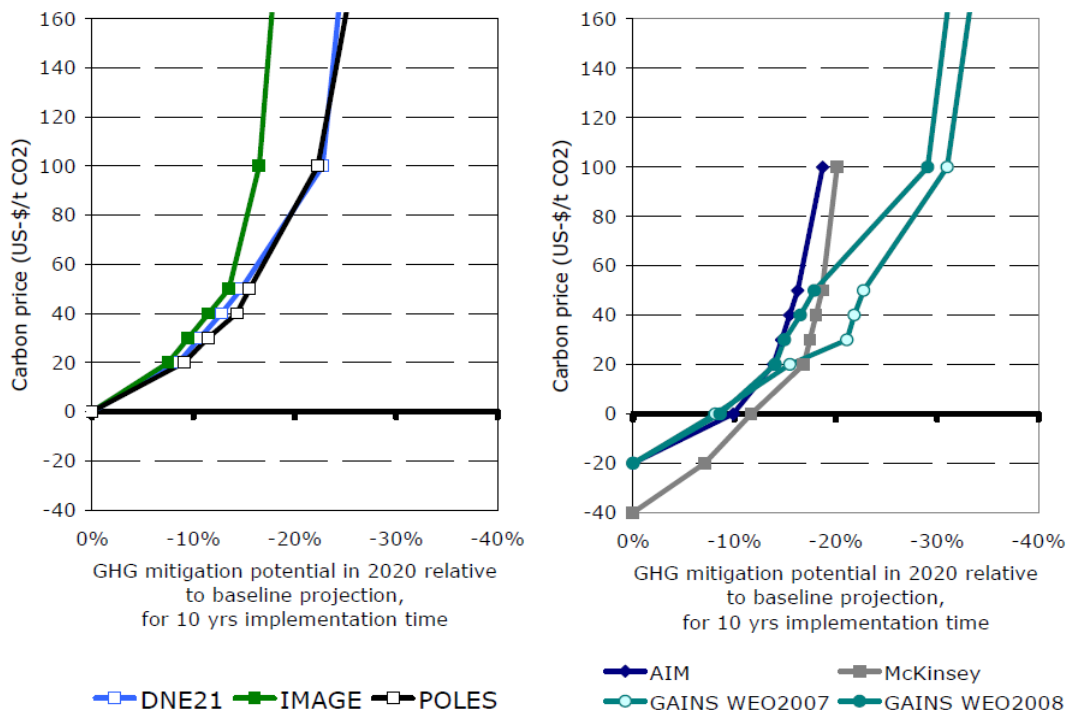
資料來源：本文彙整。

由圖 7.3-4 可以觀察到由於方法論根本上的差異，使 CGE 模型 (GTEM 與 OECD) 推估之減量成本普遍低於由下而上模型 (AIM, DNE21+, GAINS, IMAGE, POLES, McKinsey) 推估結果。由於 CGE 模型建構在最適行為與成本有效條件上，因此面對排放限制時，透過價格機制傳遞市場訊息，讓供需雙方得以進行調整，採取利潤最大或效用最高的方式調整能源使用。其次 CGE 模型整合供需雙方條件，由市場決定減量幅度，與技術減量潛力(或者視為最大減量機會)不同，但因 CGE 模型容易忽略技術面潛能與可行性，因此若能在模型中進一步考量技術面限制，應可縮減此項差距。

其次在由下而上模型中，部分模型(AIM, GAINS, McKinsey)考慮負成本的可能性。如同 McKinsey(2009)所述，造成結果出現負成本的原因，在於考慮引進節能或能源效率較高技術後，設備生命週期內未來年度因節能所能節省的成本總額(相較基線)高於設備設置之投資與操作成本。部分模型(IMAGE, POLES)認為若高效率技術存在，消費者理應選擇最有效率的設備，但事實並非如此，表示存在一些無法觀察的成本(如交易成本)，透過基線的校準，複製已觀察的消費行為，將這些無法觀察的因素納入模型中，使得呈現出來的減量成本皆為正。



(a) 所有模型(左圖)與 CGE 模型(右圖)



(b) 由下而上模型中考慮正成本(左圖)與考慮負成本之模型(右圖)

資料來源：Amann et al.(2009)。

圖 7.3-4 減量成本推估結果-跨國模型比較

7.4 節能減碳策略之減量成本

本研究於第五章針對油品市場自由化下，油價上漲對運具使用之影響、現行汽燃費改以隨油徵收所產生之效果，以及將現行汽燃費收入用以補貼公共運輸票價之政策效果，進行政策評估，並將模擬情境共設計為 8 組(表 5.3-1)。評估結果發現在不同情境下，每減少一單位能源消費所要付出之 GDP 損失如表 7.4-1 所示。綜合表中結果，可觀察到以下現象：

1. 油品市場自由化使油品銷售價格上揚，一方面抑低油品需求，對經濟產生負面影響，一方面因取消管制，讓能源使用以具有市場效率方式進行配置，進而對經濟產生正面效果，最終油品市場自由化仍對經濟存在正向的淨效果同時減少能源消費，以致單位能源減量成本為負；
2. 國際油價上漲幅度達 50%與 100%時，因油品使用成本大幅增加，有效抑制油品消費需求，同時也產生較大的經濟衝擊，於是單位能源減量成本明顯增加；
3. 汽燃費隨油徵收存在兩種層次的影響，其一原來隨車徵收之汽燃費為每年固定支出，並不會隨著消費及生產活動而改變或調整，此固定支出一旦取消，如同可支配所得增加，對 GDP 具正面助益；另一方面隨油徵收增加油品使用成本，可降低油品消費需求，但對 GDP 存在負面衝擊，惟存在其他運具可供替代的情況下，或可緩和此負面衝擊，致使綜合上述影響後之淨效果，仍使單位能源減量成本為負；
4. 公共運輸票價補貼有助於移轉私人運輸，降低整體運輸部門能源消費，但同時票價補貼亦存在刺激運輸服務需求增加的效果，抵銷部分節能成效；在 GDP 部分，由於票價補貼扭曲市場機制，同時增加政府財政負擔，故並不利於 GDP，但 GDP 損失幅度並未高於能源消費減少幅度；綜和上述效果，若同時考慮油品市場自由化、國際油價上漲 50%，以及公共運輸票價補貼，則票價補貼仍有助於緩和油價上漲造成的減量成本；
5. 比較各項策略之減量成本，汽燃費隨油徵收與公共運輸票價補貼較可能以較低減量成本達成減量功效，國際油價因變化幅度大且價格

波動不確定性相當高，雖價格上漲可有效抑制能源消費，卻也同時損及經濟發展，造成相當高昂的減量成本。

表 7.4-1 提升公共運輸策略之單位能源減量成本

單位：百萬元/公秉油當量

	自由化	自由化 +50%	自由化 +100%	自由化+ 隨油徵收	自由化+ 隨油徵收 +油價 50%	自由化+ 隨油徵收 +油價 100%	自由化+ 票價補貼 +油漲 50%
2012	0.0017	0.6102	1.2782	0.1104	0.4657	0.7250	0.4003
2013	-0.0007	0.0936	0.5384	-0.0035	0.0309	0.4676	0.0359
2014	-0.0003	0.0973	0.5959	-0.0035	0.0368	0.5343	0.0335
2015	-0.0079	0.1936	0.5152	-0.0169	0.0658	0.4565	0.0490
2016	-0.0053	0.1641	0.4898	-0.0154	0.0552	0.4013	0.0486
2017	-0.0033	0.1366	0.4651	-0.0155	0.0620	0.4082	0.0183
2018	-0.0012	0.1141	0.4139	-0.0037	0.0474	0.3339	0.0281
2019	-0.0018	0.1186	0.4805	-0.0039	0.0443	0.3978	0.0271
2020	-0.0023	0.1232	0.5223	-0.0042	0.0499	0.4682	0.0268
2021	-0.0030	0.1273	0.5923	-0.0043	0.0549	0.5489	0.0295
2022	0.0002	0.1104	0.5134	0.0127	0.0329	0.4098	0.0500
2023	-0.0001	0.1093	0.5228	-0.0010	0.0624	0.4949	0.0520
2024	-0.0010	0.1621	0.6168	-0.0174	0.0721	0.5867	0.0539
2025	0.0000	0.1119	0.5117	-0.0010	0.0727	0.4484	0.0666
2026	-0.0001	0.1109	0.5116	-0.0010	0.0675	0.4835	0.0907
2027	0.0026	0.1535	0.5663	-0.0032	0.0673	0.4672	0.0971
2028	-0.0086	0.1131	0.5310	-0.0034	0.0571	0.3964	0.0855
2029	-0.0037	0.1411	0.5910	-0.0043	0.0555	0.4513	0.0795
2030	-0.0072	0.1369	0.6158	-0.0060	0.0550	0.4955	0.0902

資料來源：本研究估算。

7.5 小結

本章以總體減量成本與技術減量成本之差異為出發點，探討減量成本在內涵、定義、計算方法與結果上的差異。由於技術減量成本重點在觀察未來可預期的時間內，可供選擇的減量技術，其意義與目的，在根本上與總體減量成本有著不同的脈絡。相對的，總體減量成本著重於成本有效的觀點，而其所涵蓋的範圍則不僅止於技術成本，而應由資源有限角度，思考如何在有限資源下，做最妥善的運用。

第八章 結論與建議

過去我國節能減碳相關政策與運輸部門節能減碳策略之評估模式多從運輸需求分析模式探討節能減碳的成效，較少從運輸—能源—經濟三個構面整合評估，因此本計畫嘗試從運輸規劃、能源技術與總體經濟面，開發與應用運輸系統節能減碳政策評估工具，以進一步評估我國運輸部門溫室氣體減量目標與因應策略。

本計畫完成國內外運輸部門節能減碳研究成果暨推動政策與措施之蒐集，據以完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，並以 2025 年提升公共運輸使用率至 30% 為案例，利用評估模型進行分析。此外，並同步進行運輸部門節能減碳行動方案成效估算，以及節能減碳策略減量成本之分析。

依據計畫辦理之成果，歸納出本計畫之結論與建議如下。

8.1 結論

1. 經過相關文獻回顧，運輸部門節能減碳政策可概分為四類：
 - (1) 傳統汽柴油車輛燃油效率改善；
 - (2) 潔淨替代燃料車輛發展應用；
 - (3) 交通運輸管理相關措施；
 - (4) 經濟工具與財政手段運用。
2. 在探討相關模型應運與發展之文獻後，本研究將模型定位在發揮同時評估運輸部門內、外部政策功能下，應包含能表現運輸部門行為及運輸部門與其他部門關聯之 CGE 模型，同時視評估所需，運用其他方法輔助評估。
3. 本年度完成油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸票價補貼之政策評估，得到重要結論包括：
 - (1) 油價上漲可抑低整體運量與能耗量；
 - (2) 油價上漲同時增加私人運輸與公路公共運輸之使用成本，在未對公路公共運輸票價補貼情況下，油價上漲將限制公共運輸使用率提升成效；

- (3) 油價上漲同時使自用小客車運量移轉至機車與公共運輸，但前者效果較大，亦限制移轉公共運輸比率；
 - (4) 汽燃費改以隨油徵收後，因消費者可藉由調整運具使用，儘可能降低燃料支出，因此對消費者福利具正面效益(相較於隨車徵收)。
 - (5) 公共運輸票價補貼能產生效佳運具移轉成效(相較於油價上漲與汽燃費隨油徵收)，惟欲大幅降低運輸部門能源消耗與排放量，仍須與其他策略配套執行。
4. 透過上述策略評估，本研究同時計算各策略減量成本，獲得結論如下：
- (1) 減量成本隨油價上漲幅度增加而增加；
 - (2) 汽燃費隨油徵收同時帶來抑低能源消耗與微幅改善 GDP 的效果(相較於隨車徵收)，故可緩和油價上漲造成的減量成本擴增幅度；
 - (3) 將汽燃費或能源稅稅收運用於公共運輸票價補貼，可提升公共運輸使用比率，有效改善能源稅賦造成的減量成本。

8.2 建議

1. 本年度已建置運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型，其中包含運輸 CGE 模型、運具能源消耗預測模型與輔助模組。為充分考量運輸部門特性，及其他部門對運輸部門衍生性需求所產生之能耗與排放趨勢，建議後續模型研發方向為：

- (1) 持續擴充運具選擇行為設定，如車輛購買、使用頻率、行駛里程等因素之決定機制；
- (2) 納入旅行時間成本，以考量交通管理策略產生之外部效益；
- (3) 進一步納入替代燃料運具選項，並考慮技術學習效果；
- (4) 提升基線校估結果之合理性；
- (5) 建立運具能源消耗預測模型系統化推估流程，並與輔助模組加以整併。

2. 未來政策評估方向：

建議後續本模式可再擴充運用於以下面向之政策評估：

- (1) 車輛技術發展之減量效果與減量成本
 - A. 替代燃料車輛技術發展進程對運輸部門運具選擇與減量成效之影響；
 - B. 財政工具如綠色運具購置補貼之減量成效與減量成本；
 - C. 硬體建設如充電站與其設備的投資與建設對替代車輛選擇之影響。
- (2) 紓緩汽機車成長
 - A. 替代燃料新車購車補助，鼓勵車輛汰舊換新；
 - B. 限制傳統化石燃料車輛登記數；
 - C. 公車捷運化，縮短等候時間。
- (3) 經濟工具運用
 - A. 道路使用費、擁擠費、計程收費等財政工具運用；
 - B. 研擬財政收入運用方式，以提升公共運輸品質、促進公共運輸使用為目標，研擬配套措施。
- (4) 經濟發展與所得分配對產業結構及能源消耗之影響

- A. 後 ECFA 之產業發展與公共運輸建設所帶動之運量與排放變化；
 - B. 經濟發展與所得差異下，運具購買與使用行為變化對能源消耗與運輸部門排放之影響；
 - C. 未來產業結構與貿易趨勢變化下，運輸與能源結構對運輸部門排放之影響。
3. 在模式資料庫部分，建議後續應配合模型擴充，增建資料庫內容，包括：
- (1) 不同所得階層之運輸相關支出、運具別旅次、平均行駛里程、運輸相關之財政收支資料等；
 - (2) 蒐集統計資料，推估運具間替代彈性；
 - (3) 彙整替代燃料運具相關研究之技術發展路徑，建立學習曲線。

參考文獻

- 2.1.1 Energy Information Administration (2010), International Energy Outlook 2010.
- 2.1.2 Olivier, J. G. J. and Bouwman, A. F et al., (1994), “The Emission Database for Global. Atmospheric Research,” EDGAR. ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT, Volume 31, Numbers 1-2.
- 2.1.3 JTRC (2008), Transport Outlook 2008 – Focusing on CO₂ emissions from road vehicles, Joint Transport Research Centre of OECD Discussion Paper, <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html>.
- 2.1.4 International Transport Forum (2010), Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trends and Data.
- 2.2.1 Low Carbon Vehicle Partnership,
<http://www.lowcvp.org.uk/cutting-carbon/fuel-economy-explained.htm>
- 2.2.2 Fuel Economy Guide 2011, <http://www.fuleconomy.gov>
- 2.3.1 Energy Information Administration (2005), The Transportation Sector Model of the National Energy Modeling System: Model Documentation Report.
- 2.3.2 Schäfer, A. and Jacoby, H.D. (2005), “Technology Detail in a Multisector CGE Model: Transport under Climate Policy”, *Energy Economics*, 27: 1-24.
- 2.3.3 Schäfer, A. and Jacoby, H.D. (2006), “Vehicle Technology under CO₂ Constraint: A General Equilibrium Analysis”, *Energy Policy*, 34: 975-985.
- 2.3.4 單佩玲 (2010), 「產業部門能源需求與碳排放之驅動力與效率的實證研究」, 國立政治大學財政學系博士論文。
- 2.3.5 Ang, B.W. and F.Q. Zhang (2000), “A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies”, *Energy*, 25: 1149-1176.
- 2.3.6 Ang, B.W. and K.H. Choi (1997), “Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method.” *Energy Journal*, 18(3): 59-73.
- 2.3.7 Timilsina, G. R. and Shrestha, A. (2009), “Transport Sector CO₂ Emissions

- Growth in Asia: underlying Factors and Policy Options”, *Energy Journal*, 18(3): 59-73.
- 2.3.8 Eom, J. and Schipper, L. (2010), “Trends in passenger transport energy use in South Korea”, *Energy Policy* 38: pp 3598~3607.
- 2.3.9 交通部運輸研究所 (2008), 「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(1/3)」, 計畫報告。
- 2.3.10 交通部運輸研究所 (2009), 「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(2/3)」, 計畫報告。
- 2.3.11 交通部運輸研究所 (2010), 「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(3/3)」, 計畫報告。
- 2.3.12 工研院綠能所 (2009), 「能源模型研究與溫室氣體減量策略評估」, 經濟部能源局委託研究計畫。
- 2.3.13 工研院綠能所 (2010), 「能源模型研究與供需規劃評估」, 經濟部能源局委託研究計畫。
- 2.3.14 張四立 (2009), 「生命週期評估應用於永續能源與綠色科技發展決策機制之研究--國際油價飆漲對交通運輸系統的 3E 影響」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 2.3.15 李正豐 (2009), 「我國公路運輸部門二氧化碳排放減量潛力與最適策略評估」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 2.3.16 交通部運輸研究所 (2010), 「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」, 計畫報告。
- 5.2.1 Goeverden, C. van, P. Rietveld, J. Koelemeijer and P. Peeters (2006), “Subsidies in Public Transport,” *European Transport* 32: 5-25.
- 5.2.2 Rietveld, P. (2006), “Transport and the Environment,” in Folmer, H. and Tietenberg, T. (eds) *Yearbook of Environmental Economics*, Edward Elgar.
- 5.2.3 McCarthy, P. S. (2001), *Transportation Economics. Theory and Practice: A Case Study Approach*, Blackwell Publishers, Massachusetts, USA.
- 5.2.4 Quinet, E. and Vickerman, R. (2004), *Principles of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- 6.1.1 IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV) – Trends and

Developments in Climate Change Negotiations, Climate Change Group, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, ISBN: 978-4-88788-068-9.

- 6.1.2 行政院環保署 (2010), 行政院環境保護署溫室氣體盤查及登錄管理原則。
- 6.1.3 行政院環保署 (2010), 行政院環境保護署溫室氣體先期暨抵換專案推動原則。
- 6.1.4 行政院環保署 (2011), 行政院環境保護署溫室氣體減量額度帳戶管理要點。
- 6.2.1 交通部運輸研究所 (2006), 運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃。
- 6.2.2 交通部運輸研究所 (2007), 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立 (1/3) —探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響。
- 6.2.3 交通部運輸研究所 (2008), 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立 (2/3) —建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。
- 6.2.4 交通部運輸研究所 (2009), 運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(3/3)—建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式。
- 6.2.5 交通部運輸研究所 (2010), 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。
- 7.1.1 Meier, Robert F. (1982) .Perspectives on the Concept of Social Control, Annual Review of Sociology 8:35-55.
- 7.1.2 Rentz, O., Haasis, H.-D., Jattke, A., Russ, P., Wietschel, M. and Amann, M. (1994) Influence of energy supply structure on emission reduction costs. Energy 19(6): 641-651.
- 7.1.3 Jackson, T., (1991) , “Least-Cost Greenhouse Planning Supply Curves for Global Warming Abatement,” Energy Policy 19(1): 35-46.
- 7.1.4 Mill, E., D. Wilson and T. B. Johansson, (1991) , “Getting Started: No-Regrets Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions,” Energy Policy 19(6): 526-542.
- 7.1.5 Sitnicki, S., K. Budzinski, J. Juda, J. Michna and A. Szpilewicz, (1991) , “Opportunities for Carbon Emissions Control in Poland,” Energy Policy 19(10): 995-1002.
- 7.1.6 Polatoglu, V.N. and Ekin. S. (2011), “An empirical investigation of the Turkish

consumers' acceptance of internet banking services", International Journal of Bank Marketing. Vol. 19, No. 4, pp. 156-165.

- 7.1.7 Halsnæs, K., P. Shukla, D. Ahuja, G. Akumu, R. Beale, J. Edmonds, C. Gollier, A. Grübler, M. Haduong, A. Markandza, M. McFarland, E. Nikitina, T. Sugizama, A. Villavicencio, J. You, (2007), Framing Issues. In Climate Change 2007Ö Mitigation. Contribution of Working Group III to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 7.1.8 McKinsey&Company, (2009), "Pathway to a Low-Carbon Economy – Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve."
- 7.1.9 黃宗煌、林幸樺(2003),「溫室氣體減量成本之內涵及其衡量方式的剖析」, 2003 年能源經濟學會年會, 11 月 7 日。
- 7.1.10 Ellerman, A. D. and A. Decaux, (1998), "Analysis of Post-Kyoto CO2 Emissions Trading Using Marginal Abatement Costs," working paper, http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/3608/MITJPSPGC_Rpt40.pdf?sequence=1.
- 7.1.11 Färe, R., S. Grosskopf, and W. Weber, (2006), "Shadow Prices and Pollution Costs in U.S. Agriculture," Ecological Economics 56: 89-103.
- 7.1.12 Maradan, D. and A. Vassiliev (2005), Marginal costs of carbon dioxide abatement: Empirical evidence from cross-country analysis, Swiss Journal of Economics and Statistics, 141(3), 377-410.
- 7.1.13 Klepper, Gernot, and Sonja Peterson.(2004), "The EU Emissions Trading Scheme Allowance Price, Trade Flows and Competitiveness Effects." European Environment, Vol. 14, No. 4, pp. 201-18.
- 7.1.13 Klepper, Gernot, and Sonja Peterson. (2006), "Marginal Abatement Cost Curves in General Equilibrium: The Influence of World Energy Prices." Resource and Energy Economics, Vol. 28, No.1, pp. 1-23.
- 7.1.14 Marklund, Per-Olov, and Eva Samakovlis. (2007), "What is Driving the EU Burdensharing Agreement: Efficiency or Equity?" Journal of Environmental Management, Vol. 85, No. 2, pp. 317-29.
- 7.1.15 Ghorbani, M. and M. Motallebi, (2009), "The Study on Shadow Price of Greenhouse Gases Emission in Iran: Case of Dairy Farms," Research Journal of Environmental Sciences 3(4): 466-475.
- 7.1.16 Shinji, K., H. Fujii, N. Sawazu and R. Fujikura, (2010), "Financial Allocation Strategy for the Regional Pollution Abatement Cost of Reducing Sulfur Dioxide Emissions in the Thermal Power Sector in China," Energy Policy 38:

2131-2141.

- 7.1.17 吳佩瑛等，(2010)，「由 APEC 區域組織邁入國際社會參與排放交易之結果-對台灣的啟示」，台灣國際研究季刊，第 6 卷第 1 期，143-184 頁。
- 7.1.18 Maradan, D. and A. Vassiliev, (3): 2008
- 7.1.19 Böhringer, C. (2003), "The Kyoto Protocol: A Review and Perspectives", Oxford Review of Economic Policy, 19: 3.
- 7.1.20 Eyckmans, J., J. Cornillie and D. van Regemorter, (2002), "Efficiency and Equity of the EU Burden Sharing Agreement," working paper series 2000-2, Energy, Transport and Environment Unit, Center for Economic Studies, Department of Economics, Catholic University Leuven.
- 7.1.21 Morris, J., S. Paltsev and J. Reilly, (2008), "Marginal Abatement Costs and Marginal Welfare Costs for Greenhouse Gas Emissions Reductions: Results from the EPPA Model," Report No. 164, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT.
- 7.2.1 Amann, M., P. Rafaj, and N. Höhne, (2009), "GHG Mitigation Potentials in Annex I Countries Comparison of Model Estimates for 2020," IR-09-034, Interim Reports of International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- 7.2.2 Criqui, Patrick, Silvana Mima and Laurent Viguier, (1999), "Marginal Abatement Costs of CO₂ Emission Reductions, Geographical Flexibility and Concrete Ceilings: An Assessment Using the POLES Model," Energy Policy, 27, pp.585-601.
- 7.2.3 吳世英、林幸樺 (2004)，溫室氣體減量潛力及減量成本分析之資料庫建置與理論及評估方式探討，行政院國家科學委員會專題研究計畫，台北市。
- 7.2.4 Jaccard, Mark and W. David Montgomery, (1996), "Costs of Reducing Greenhouse Gas Emissions in the USA and Canada," Energy Policy, 24, pp.889-898.
- A10.1 IPCC (2000), Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- A10.2 EU (2004), Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions under the Emission Trading Directive.

附錄 1

計畫摘要

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立

計畫摘要

一、研究緣起與目的

行政院於 97 年 6 月 5 日第 3095 次院會中通過「永續能源政策綱領」，揭櫫我國二氧化碳排放量於 2025 年要回到 2000 年的水準。行政院並於 98 年 12 月成立「節能減碳推動會」，督導行政部門推動節能減碳工作，而交通部亦已將「推動永續綠色運輸，落實節能減碳政策」列為重要施政方向之一。而「節能減碳推動會」綜整之「國家節能減碳總行動方案」中，亦將推動「能源國家型科技計畫」列為行動計畫之一，而本能源科技研究計畫已納入前述「能源國家型科技計畫」。

為落實我國節能減碳相關政策，以及建立運輸部門各項節能減碳策略之評估模式，本所自 96 年起，已著手辦理「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立」3 年期計畫，對於各種相關之模型架構進行初步探討。由於運輸本質上是衍生性需求，運輸部門與其他經建部門互動密切而不可分割，過去相關評估工作多從運輸需求分析模式探討節能減碳的成效，較少從運輸—能源—經濟三個構面整合評估，因此本所於 99 年度辦理「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」計畫，嘗試從運輸規劃、能源技術與總體經濟面，開發與應用運輸系統節能減碳政策評估工具，以進一步評估我國運輸部門溫室氣體減量目標與因應策略。

基此，本計畫主要目的在依據前揭 99 年度計畫成果，就運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型所需要之參數進行蒐集與校估，並完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，以作為後續年度發展運輸部門因應氣候變遷政策決策支援系統之基礎。減量評估模型將具備經濟面與能源相關策略與措施當作輸入參數之功能，用以評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效，並可將成果回饋至模式，進一步評估對經濟、能源以及運輸需求等面向之影響。

模型構建與決策支援系統發展過程中，必須持續評估我國運輸部門能源消耗與二氧化碳排放趨勢，以及運輸部門節能減碳策略方向及行動方案之妥

適性，以提供交通部或其它相關部會制定節能減碳策略之具體參考；同時根據氣候變化綱要公約精神及我國節能減碳相關政策指示，參採與我經濟規模相似國家最新發展情勢，進而研訂出我國運輸部門可行的溫室氣體減量目標與因應策略。

二、研究範圍與內容

本計畫主要目的在依據前揭 99 年度計畫成果，完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，由運輸—能源—經濟—環境四個構面，整合評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效與影響，並據以研訂我國運輸部門可行的溫室氣體減量目標與因應策略。99 年度計畫成果已勾勒評估模型之基本架構，其中已包含了評估總體經濟與產業關聯效果之可計算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型、運輸部門能源消費預測模型及其他輔助模組等，整體架構與脈絡十分清楚，本年度則進一步基植於該架構上，完成實證評估模型之建構，並以實際案例說明模型建置成果，因此本年度主要研究範圍與構面包括：

1. 建立足以分析運輸—能源—經濟—環境四構面之實證評估模型；
2. 配合模型建立，編製模式資料庫；
3. 參變數定義釐清與比對；
4. 基線校估與檢討；
5. 運輸部門節能減碳策略分析與結果呈現；
6. 策略研擬與政策建議。

三、研究成果

本計畫主要目的在依據前揭 99 年度計畫成果，完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，由運輸—能源—經濟三個構面，整合評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效與影響，並據以研訂我國運輸部門可行的溫室氣體減量目標與因應策略。99 年度計畫成果已勾勒評估模型之基本架構，其中已包含了評估總體經濟與產業關聯效果之可計算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型、運具能源消耗預測模型及其他輔助模組等，整體架構與脈絡十分清楚，本年度則進一步基植於該架構上，

完成實證評估模型之建構，並以實際案例說明模型建置成果。

本年度主要研究範圍與構面包括：

1. 建立足以分析運輸—能源—經濟三構面之實證評估模型；
2. 配合模型建立，編製模式資料庫；
3. 參變數定義釐清與比對；
4. 基線校估與檢討；
5. 運輸部門節能減碳策略分析與結果呈現；
6. 策略研擬與政策建議。

為完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置，本年度主要工作項目與執行成果包括：

1. 文獻蒐集回顧

此項工作區分為兩部分，其一為蒐集國內外運輸部門節能減碳推動政策與措施，作為我國研擬策略之參考。本計畫經由文獻蒐集、參與國際研討會、透過團隊合作管道等方式進行。其二為蒐集國內外相關研究成果，在方法論與實證評估流程上，廣納經驗，作為模型建構的參考。故透過彙整相關論文與研究報告，包括國際著名的 NEMS 模型、EPPA/MARKAL 模型、因式分解法，以及國內本所車輛使用與選擇模式、工研院 MARKAL 與 TIMES 模型、系統動態模型等。此外為使本研究建構之運輸 CGE 模型能截短補長，本研究同時探討以 CGE 為基礎之國際重要運輸部門模型。

2. 完成運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置

模型建構共有三項工作，其一為修正前(99)年度模型架構，並據以建立運輸 CGE 模型之數學模型，選擇適當運具能源消耗預測模式之推估方法。其二配合模型設定，編製基期資料庫，同時視運輸部門能源消耗預測與輔助模型需要，蒐集統計數據與參數資料，推估並預測運輸部門能源消耗趨勢，以完成模型建置。其三為進行評估模型參數之彙整與校估。此項工作乃建構實證評估模型之必要流程，校估的方式有模型進行歷史資料複製，以修正參數設定值，部分參數則可以輔助模型或計量方法另行推估，對於無法取得實證資料，或樣本不足之參數，亦可參考文獻設定。

3. 完成案例分析

以 2025 年提升公共運輸使用率至 30% 為案例，利用評估模型進行分析。

此項工作於模型建置與參數校估完成後，先召集小組會議，討論基準情境與政策情境之假設內容，並於推估基線後開始進行評估。本年度完成評估項目包括油品價格對公共運輸使用之影響、汽燃費隨油徵收之效果以及補貼公共運輸工具票價之效果。

4. 持續進行運輸部門節能減碳行動方案成效估算

節能減碳行動方案成效評估作業為延續性質工作，隨著減量策略與排放實況之改變，每年所要估算之方案內容皆須加以調整，本年度亦完成資料搜集、參數修正與重新估算工作。其次為因應將來 MRV 之規範與計算原則，本年度首先蒐集 IPCC 關於溫室氣體盤查的最佳作法、歐盟溫室氣體排放監測與報告制度、UNFCCC 之 MRV 制度發展，以及我國環保署之溫室氣體盤查與帳戶管理制度，並以德國溫室氣體排放 MRV 管理系統為例，說明運作程序。

5. 節能減碳策略之減量成本

以總體減量成本與技術減量成本之差異為出發點，探討減量成本在內涵、定義、計算方法與結果上的差異。由於技術減量成本重點在觀察未來可預期的時間內，可供選擇的減量技術，其意義與目的，在根本上與總體減量成本有著不同的脈絡。相對的，總體減量成本著重於成本有效的觀點，而其所涵蓋的範圍則不僅止於技術成本，而應由資源有限角度，思考如何在有限資源下，做最妥善的運用。

四、結論

1. 經過相關文獻回顧，運輸部門節能減碳政策可概分為四類：

- (1) 傳統汽柴油車輛燃油效率改善；
- (2) 潔淨替代燃料車輛發展應用；
- (3) 交通運輸管理相關措施；
- (4) 經濟工具與財政手段運用。

2. 在探討相關模型應運與發展之文獻後，本研究將模型定位在發揮同時評估運輸部門內、外部政策功能下，應包含能表現運輸部門行為及運輸部門與其他部門關聯之 CGE 模型，同時視評估所需，運用其他方法輔助評估。

3. 本年度完成油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸票價補貼之政策評估，得到重要結論包括：

- (1) 油價上漲可抑低整體運量與能耗量；
- (2) 油價上漲同時增加私人運輸與公路公共運輸之使用成本，在未對公路公共運輸票價補貼情況下，油價上漲將限制公共運輸使用率提升成效；
- (3) 油價上漲同時使自用小客車運量移轉至機車與公共運輸，但前者效果較大，亦限制移轉公共運輸比率；
- (4) 汽燃費改以隨油徵收後，因消費者可藉由調整運具使用，盡可能降低燃料支出，因此對消費者福利具正面效益(相較於隨車徵收)。
- (5) 公共運輸票價補貼能產生效佳運具移轉成效(相較於油價上漲與汽燃費隨油徵收)，惟欲大幅降低運輸部門能源消耗與排放量，仍須與其他策略配套執行。

4. 透過上述策略評估，本研究同時計算各策略減量成本，獲得結論如下：

- (1) 減量成本隨油價上漲幅度增加而增加；
- (2) 汽燃費隨油徵收同時帶來抑低能源消耗與微幅改善 GDP 的效果(相較於隨車徵收)，故可緩和油價上漲造成的減量成本擴增幅度；
- (3) 將汽燃費或能源稅稅收運用於公共運輸票價補貼，可提升公共運輸使用比率，有效改善能源稅賦造成的減量成本。

五、建議

1. 本年度已建置運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型，其中包含運輸 CGE 模型、運具能源消耗預測模型與輔助模組。為充分考量運輸部門特性，及其他部門對運輸部門衍生性需求所產生之能耗與排放趨勢，建議後續模型研發方向為：

- (1) 持續擴充運具選擇行為設定，如車輛購買、使用頻率、行駛里程等因素之決定機制；
- (2) 納入旅行時間成本，以考量交通管理策略產生之外部效益；
- (3) 進一步納入替代燃料運具選項，並考慮技術學習效果；
- (4) 提升基線校估結果之合理性；

(5) 建立運具能源消耗預測模型系統化推估流程，並與輔助模組加以整併。

2. 未來政策評估方向：

建議後續本模式可再擴充運用於以下面向之政策評估：

(1) 車輛技術發展之減量效果與減量成本

- A. 替代燃料車輛技術發展進程對運輸部門運具選擇與減量成效之影響；
- B. 財政工具如綠色運具購置補貼之減量成效與減量成本；
- C. 硬體建設如充電站與其設備的投資與建設對替代車輛選擇之影響。

(2) 紓緩汽機車成長

- A. 替代燃料新車購車補助，鼓勵車輛汰舊換新；
- B. 限制傳統化石燃料車輛登記數；
- C. 公車捷運化，縮短等候時間。

(3) 經濟工具運用

- A. 道路使用費、擁擠費、計程收費等財政工具運用；
- B. 研擬財政收入運用方式，以提升公共運輸品質、促進公共運輸使用為目標，研擬配套措施。

(4) 經濟發展與所得分配對產業結構及能源消耗之影響

- A. 後 ECFA 之產業發展與公共運輸建設所帶動之運量與排放變化；
- B. 經濟發展與所得差異下，運具購買與使用行為變化對能源消耗與運輸部門排放之影響；
- C. 未來產業結構與貿易趨勢變化下，運輸與能源結構對運輸部門排放之影響。

3. 在模式資料庫部分，建議後續應配合模型擴充，增建資料庫內容，包括：

- (1) 不同所得階層之運輸相關支出、運具別旅次、平均行駛里程、運輸相關之財政收支資料等；
- (2) 蒐集統計資料，推估運具間替代彈性；
- (3) 彙整替代燃料運具相關研究之技術發展路徑，建立學習曲線。

附錄 2

期中審查意見回覆與處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」

執行單位：千禧決策科技股份有限公司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫執行單位 審查意見
環保署王俊勝		
1. 報告 p.3-39、p.3-40 曲線圖圖例缺漏，請補正。	遵照委員意見修正。	同意合作研究單位處理情形
2. p.6-14 提到有關環保署溫室氣體 MRV 制度的內容，放在本文內使用「本署」等文字並不適當，請修改為「環保署」。	感謝委員指正，將遵照委員意見，修改為環保署。	同意合作研究單位處理情形
經濟部能源局翁素貞組長		
1. 建議參考國外運輸部門模型建置，與研究團隊的模型進行相關系統架構比對。	本研究已於上年度計畫探討國內、外運輸部門溫室氣體減量評估相關模型，其中包括運輸部門 CGE 模型，另外於本年度亦針對 NEMS 模型、國內之系統動態模型等進行彙整。依委員意見，本報告進一步提列各類模型特色與差異，做為本研究模型建立與評估工作之參考。	同意合作研究單位處理情形
2. 完善的模型架構也需配合正確的基本資料。因此後續資料庫建置須更謹慎，透過統計調查可獲得較可信的資料，若資料無法以大規模統計分析獲得，須詳加思考如何產出精確可用的資料。建議研究團隊下半年度進行資料庫建置後，必須進行相關的驗證比對與系統精準度分析。	本研究對於資料與產出結果採取以下方式盡可能確保其精準度： 1. 基準資料庫方面，盡可能採用官方公布數據，如主計處產業關聯表、交通部車輛數與運量、能源局能源使用量等； 2. 參數資料方面，模型建置初期以文獻資料為主，其中能提供充足資訊之國內文獻，則參採國內研究結果； 3. 因資料缺乏使本年度模型分析對象受限的部分，未來在經費許可情況下，考慮進行調查； 4. 為確保模型與資料搭配符合現實，以進行歷史模擬方式，至少確保模型能複製已發	同意合作研究單位處理情形

	<p>生事實；</p> <p>5. 藉由專家座談與模型交流，逐步修正模型設定與參數設定。</p>	
3. 簡報 p.36，自變數只提到高鐵與捷運的政策，然交通部提出發展城際公共運輸系統，其對於減量效果有可觀的影響，團隊應考量將類似這樣範圍層面更廣的政策變數納入模型。	在能源消費預測模式中，設定高鐵與捷運之自變數，目的在考量此兩類運具出現前、後，所產生的結構性變化。如委員所提示，預測模型應再考量其他政策變數，以呈現該政策效果，惟計量模式仰賴過去已發生之樣本資料進行推估，對於過去未曾執行之政策，有賴 CGE 模型進行評估。	同意合作研究單位處理情形
4. 建議團隊針對國外類似我國都會密集型態的交通相關政策措施進行分析比對，以做為相關政策模擬評估，亦有助於未來新政策的形成。	都會區交通政策措施對於減量之貢獻確實為相當重要議題，惟欲分析此類議題，需要具備空間因素之模型方能進行，本年度建構之單國模型尚無法具備此功能，未來在資料可配合的情況下，可進一步擴充為多區域模型。	同意合作研究單位處理情形
5. 關於 MRV 制度國際間已討論多時，建議研究團隊蒐集國外已建置 MRV 標準的範例。	感謝委員指教，本研究期中報告即是依據日本 IGES 研提之 MRV 制度建置，未來將持續蒐集國內與國際 MRV 制度，包括 UNFCCC 的 MRV 指引等。	同意合作研究單位處理情形
環保署空保處簡慧貞副處長		
1. 「運輸—能源—經濟—環境」整合模型評估工作，對於運輸部門能源耗用與溫室氣體排放的未來發展趨勢及全盤掌握具有相當助益，可做為運輸節能減碳策略擬定之重要決策評估工具。本研究文獻回顧章節，彙整分析國內外運輸部門減碳策略，並提出我國綠色運輸主要措施已具有相當價值。	感謝委員肯定，本研究後續將依據各項運輸部門減碳策略，設計評估情境。	同意合作研究單位處理情形
2. 圖 3.2-1 與圖 3.2-2 中運輸 CGE 模型與運輸能源消費模型之間的關聯，建議在報告中詳加說明，以便檢核模型模擬結果之合理性。如產業	運輸 CGE 模型與運輸能源消費模型之關聯，本研究將在報告中補充說明。在 CGE 模型中，與小客車及貨車相關的部門包括車體製造業(工業部門)、使用小客與貨車提供客運與貨運服務之運輸服務業(服務業部門)、使用	同意合作研究單位處理情形

自用小客車與貨車在 CGE 模型中是歸類為工業部門，在能源耗用方面是歸類為運輸部門，建議補充說明此部分資料如何處理以避免低估小客車與貨車之能耗。	小客車之私人運輸(家計部門)，因此在與能源平衡表比較時，模型中運輸服務業與家計部門因使用車輛所產生的能源消費，應可對映至能源平衡表之運輸部門。	
3. 運輸 CGE 模型與運輸能源消費模型之間僅有單向無雙向互動關係，因此本研究可進行的政策評估主要以經濟措施為主，建議研究單位詳細說明模型可提供與無法提供的決策資訊。	本研究將於報告中補充說明模型功能與限制。	同意合作研究單位處理情形
4. 本研究主要是以 top-down 觀念建構之運輸部門能耗與溫室氣體排放模擬之模型，並未具備 bottom-up 等資料，而國際 MRV 制度係應用於 bottom-up 方法擬定之措施，請本研究再斟酌 MRV 制度建立之適當性。	誠如委員所提，本研究建構之運輸部門溫室氣體減量評估模型為 top-down 方法，其目的在考慮部門間交互影響下，由整體面評估運輸部門減量成效與經濟影響。但另一方面，本研究延續過去多年來針對運輸部門溫室氣體減量行動方案之減量成效估算工作，將由 bottom-up 方法，逐項計算，因此若能納入 MRV 機制，將有助於取得運輸部門減量績效之認證。	同意合作研究單位處理情形
5. 運輸部門模型結構與 NAMAs 整體模型是否可予以耦合比對，國際上或 IEA 之預測模型所考量的參數及技術是否一併納入考量？	本研究所開發之運輸部門模型，因以運輸部門為研究對象，故在運輸部門分類、運輸行為與併隨產生之能源耗用等部分之結構，將有別於 NAMAs 模型的模型設定，若要耦合比對，則需將模型假設與情境設定清楚說明，方能判別其中差異。對於能源與運具技術的發展，在模型中尚未內生加以評估，因此仍須參採國際或國內研究成果，納入模型考量。	同意合作研究單位處理情形
6. BAU 部分上次座談會討論很多，請問本計畫之 BAU 是否可算為 NAMAs BAU 之分解？	本計畫之基線包含由 CGE 模型與能源消費預測模型所產生，CGE 模型將在國家整體架構下，推估全國、各部門乃至各產業之 BAU，而各部門之總和必定等同國家 BAU，其中運輸部門 BAU 同時為能源消費預測模型各運具 BAU 之總和。本計畫 BAU 在推估時，可參酌 NAMAs 之情境進行，惟因方法	同意合作研究單位處理情形

	上、資料上、以及推估時點之差異，本計畫BAU應與NAMAs之BAU存在少部分差異。	
7. 針對p.2-63表2.3-5系統動態模型政策模擬情境說明，以下2點意見請受託單位參考： (1)油電混和車輛在去(99)年度銷售量為4,720量、今(100)年度1至7月亦有2,551輛，且8月份國瑞汽車將於台灣量產CAMRY油電混和車，預計9月份正式開始銷售，可預期國內油電混和車銷售量將大幅成長，請審視至2020年油電混合車之佔比0.02%是否合理？ (2)令國內車用柴油已全面添加生質柴油(其添加比率為2%)，本(100)年度預計國內生質柴油使用量約可達10萬公秉，假設無推廣使用生質柴油是否合理？	感謝委員提供資訊，表2.3-5所列系統動態模型政策模擬情境為引用之文獻中所設定，因此本研究將於報告中補充文獻評析內容，並於後續進行政策模擬時，參酌委員提供資訊設計模擬情境。	同意合作研究單位處理情形
8. p.3-11圖3.3-2 CGE模型之個體基礎、p.3-12圖3.3-3 CGE模型之市場均衡、p.3.13圖3.3-4 CGE模型之零利潤條件，可否將相關參數詳細說明，俾利閱讀者了解。	將補充報告內容，詳細說明圖中各變數與方程式意義。	同意合作研究單位處理情形
9. p.3-55有關後續工作部分，針對「完成運輸部門能源消費預測模型建置」乙項工作，建議所擇用參數應採本土化之數據，以確保未來模型建置完成可供交通部及其他部會參考使用。	運輸部門能源消費預測模型所使用資料大多為國內統計數據，例如各運具能耗量與能源價格等。至於其他模型使用之參數，若有本土化數據，亦盡可能引用。	同意合作研究單位處理情形
10. p.4-41有關後續工作部分，針對「建立能源與運輸服務價格資料」，因國內大眾運輸	感謝委員建議，運輸服務價格資料蒐集目的在於分析運輸服務使用者行為與選擇決策，當考慮到運輸服務業者生產成本與服務價格	同意合作研究單位處理情形

系統皆有各級政府機關予以補助，建議應將運輸服務實際成本納入考量，不應只考量服務價格。	時，政府補貼必須同時納入考慮。	
11. MRV 部分是否與國際同步？是否估算(試算)減量措施產生之 credit？	感謝委員指教，本研究主要參考國際 MRV 建置與推動作法，作為未來規劃運輸部門 MRV 的參考，因此，將與國際同步。本年度計畫，以制度建立為主，尚無法估算減量計畫產生的 credit，不過可以列為明年的工作重點之一。	同意合作研究單位處理情形
交通大學邱裕鈞教授		
1. 如果 CGE 模型與能源消耗計量模型之間互動的變數越多，關聯性越高，執行兩模型得到的結果意義越大。然而從報告內容來看應該只有 GDP 可連結兩者，其他變數連結效益似乎不大，請團隊說明。	兩模型間互動變數，除了 GDP 外尚包括能源價格，因為 CGE 模型考慮運輸部門與其他部門互動的結果，因此 CGE 所產生的粗分類運輸部門能耗，可做為計量模型細分類運輸部門的控制總量，另一方面計量模型細分類運具能耗結構發生改變，將影響粗分類運輸部門之能耗，因此計量模型推估結果亦可修正 CGE 模型之參數設定。由於計量模型受限於歷史資料，許多過去不存在的政策無法成為解釋變數，但隨著統計數據陸續備齊，計量模型與 CGE 模型亦隨時修正改善，兩模型間的互動將更密切。	同意合作研究單位處理情形
2. 兩個模型會各自得到結果，請問兩者的結果是否能勾稽？如何勾稽？若兩者結果差距很大，該如何處理？	兩模型所得結果需要勾稽的情況出現在基線校準時，基線之目的在於做為政策模擬之比較基準，因此基準情境的設計需視評估內容而定，但一般會以維持既有政策與趨勢為前提。若兩模型基線結果出現差異，可能原因來自：(1)CGE 模型的基準情境設定；(2)CGE 參數設定；(3)計量模型變數選擇。由於計量模型推估的是歷史資料所呈現的趨勢，因此當 CGE 模型基準情境設定趨勢與計量模型不同，或在基準情境中考慮了其他政策因素以及技術發展趨勢，則造成兩者差異。欲解決此項問題，可先排除這些政策因素或技術趨勢，比較兩者結果，若仍有差異，表示 CGE 使用之參數或計量模型考慮的變數不適宜所致。由於計量模型運具分類較細，因此當運	同意合作研究單位處理情形

	具能耗結構改變，可能導致粗分類運具總能耗的變化，因此依據計量模型結果，可調整 CGE 模型能耗參數。一般兩模型在進行基線推估前，皆會各自進行歷史校準工作，亦即要能複製歷史資料，使歷史年推估結果與實績值相近，因此 CGE 參數設定與計量模型變數選擇所產生之誤差應不至於過大。	
3. 站在總體的角度，因變數彼此間互動性強，且需要設定較多假設，所以很少應用單一迴歸，或者可以聯立迴歸後再以單一迴歸比較參數間是否有顯著變化，以證明用聯立迴歸較適當。建議能源消費計量模型用聯立迴歸即可。	鑒於參數變化比較工作有其必要性，在建置模型階段仍會同時採用兩種方法相互佐證，一旦確立，則參採委員建議，逕以聯立迴歸模式進行推估。	同意合作研究單位處理情形
4. 關於 CGE 模型家計單位決策，以經濟學的角度來說，消費者決策來自效用函數，效用函數內有數個變數決定消費者效用，通常變數即為採購的商品。將效用函數用於運輸上，採購的運輸需求就和採購的商品一樣變成效用來源；此模式似乎也是以這樣的觀點切入，所以效用函數內會有能源量和其他商品消費量，當能源消費量越大，效用越高，但實際上運輸時間多兩小時，消費者的效用不會提高，如此一來經濟的效用函數就與運輸需求選擇不一致。	模型中產生效用的來源為運輸服務與能源服務，而運輸時間或能源投入，皆為產生運輸服務所必要之投入，亦即消費者必須花費這些投入成本，才能對自己提供運輸服務以滿足其效用，如同消費者是私人運輸服務的生產者一般。另一方面運輸時間因可能排擠休閒時間，而間接對效用產生負面影響。綜合上述兩層面效果，運輸時間越長是否效用越高，須視運輸服務與時間對效用貢獻之相對大小而定。	同意合作研究單位處理情形
5. 廠商行為的決策目標函數是最小化成本而非最大化利潤，意味市場假設為競爭市場，廠商無法自主訂價，因此最小化成本就等同於最大	依據過去研究團隊建構不完全競爭 CGE 模型之經驗，要考慮市場不完全競爭特性須由廠商數量、規模報酬、競爭特性與訂價行為等面向修改廠商行為設定。但在修改前，仍須先確定實際市場是否存在不完全競爭現	同意合作研究單位處理情形

化利潤；但若實際市場為不完全競爭市場，請問模式的誤差情況與該如何做調整。	象，屬於價格競爭抑或數量競爭，是否存在聯合壟斷情況，才能據以設定。	
6. 報告裡提到函數使用 CES 函數，請問是生產函數或是需求函數，或兩者皆使用 CES 函數。	由於模型中廠商由成本極小或利潤極大之最適化問題出發，因此 CES 函數設定於生產函數中，並據以推導需求函數；在消費者部分，效用極大化問題則是將 CES 函數應用於目標函數之效用函數，在所得限制下求導消費者對各類商品之需求函數。	同意合作研究單位處理情形
7. 報告 p.3-52 營業小客車單一計量迴歸模型，戶均持有機車數和人均持有自小客車輛數估出的參數為正值，是否能解釋為家中持有車輛或機車越多，做為營業小客車使用的車也越多。請團隊評估此參數的合理性。又自用小客車考量高鐵和捷運的政策變數，請問此兩變數是否為 dummy variable？如果是，即延伸捷運路網，也無法影響自用小客車持有，如此如何影響公共運輸政策的變化。	能源消費預測模型仍在更新修正中，委員所提意見將在修正時加以注意考量。高鐵與捷運之政策變數確實為 dummy variables，該變數主要反映高鐵與捷運通車前、後，解釋變數與被解釋變數關係之結構性變化。在高鐵年度資料仍然有限的情況下，無法直接將之設定為解釋變數進行估計，此乃資料受限所致。	同意合作研究單位處理情形
8. 運輸部門減量計畫很多都與改善公共運輸有關，目的在於吸引私人運具轉移到公共運輸，但如何確定公共運輸增加的量來自於私人運具。	若在整體運輸需求未改變的情況下，公共運輸增量必然等於私人運輸減量，但無論何種提升公共運輸政策，影響層面相當多元，由經濟角度便可能因為公共運輸使用成本相對降低，一方面取代原來自行開車之需求，一方面促使整體運輸需求提升。為能將私人運具移轉效果從中離析，將需求函數中之替代效果與所得效果加以區分，便可得知其中移轉之淨效果。	同意合作研究單位處理情形
9. 產業關聯模式或是社會會計模式使用每 5 年一次工商普查資料，但能源部分是每年的能源平衡表資料，請問團隊如何處理資料年度的問題。	在模型中，社會會計矩陣主要功能在提供各項消費支出佔比或成本份額之基期資料，隨著逐年遞歸求解所產生的結果，可逐年更新求解後之社會會計矩陣並據以重新計算份額參數。接著逐年求解而得之能源消費量，便可與能源平衡表資料相比較，確保歷史校準	同意合作研究單位處理情形

	之精確度。	
10. 模型建立的目的是為了支援交通部政策決策，建議於報告中說明甚麼政策會影響模型內的哪些變數，也方便檢視模式架構是否正確。	由於 CGE 模型內各部門決策變數彼此連動，為說明政策之影響途徑，本研究盡可能將重要變數之前因後果描述如圖 3.2-3 所示，未來在案例分析中，將透過結果說明更清楚呈現其中關聯與過程。	同意合作研究單位處理情形
交通部科技顧問室卓訓榮主任		
1. CGE 模型與能源消費模型執行的結果如何連結？	模型執行流程區分為三階段，第一階段為歷史校準，兩模型個別獨立進行，目的為複製歷史資料，確保推估參數之準確；第二階段為基線校估，首先由 CGE 模型推估基線，並提供能源消費模型 GDP、能源價格、能耗總量等資訊，接著由能源消費模型進行預測，並檢視各運具推估結果之和與 CGE 模型能耗總量之差距，若差異過大，則回頭檢視 CGE 模型情境與參數設定，由於能源消費模型運具別能耗分類較細，當運具能耗結構發生改變，將導致粗分類運具整體能耗變化，因此 CGE 須視計量推估結果加以修正；第三階段為政策模擬，首先由 CGE 模型進行政策模擬並求得 GDP、能源價格、粗分類運輸能耗量等資訊，其後程序與第二階段類似。	同意合作研究單位處理情形
2. 簡報檔 p.12 提到，在本期尚無法完成分類更細緻的模型，請問研究團隊於哪一年期能完成完整的運輸部門能源消耗評估模型？	模型研發工作需隨時視政策評估需求與議題而更迭。本研究短期內模型建構目標為提供運輸部門減量政策評估所需，以單國模型分析運輸部門減量成效與減量成本。本年度目標為完成含括八大運輸部門與私人運輸部門之模型建構；明年則擴充私人運具選擇與使用決策行為，並將旅行時間納入，另為配合運輸服務業運具類別的擴充，蒐集調查各運具之成本與銷售結構資料；之後年度便可依據所得資料，建構細緻模型，並將替代燃料運具充分整合至模型當中。	同意合作研究單位處理情形
3. CGE 模型內無時間變數，是否表示此模型為靜態。然計量模型應為動態模型，模型會自動收斂，但無法預期收斂的時間點，與靜態 CGE 模	本計畫所建構之 CGE 模型為遞歸動態模型，報告中為呈現方便，未標示時間變數，將補充說明。	同意合作研究單位處理情形

型內生和外生變數如何搭配、互相影響。		
4. 報告中應說明交通部相關的政策決策變數是否能放入模型、政策策略對於模型的影響如何。舉例來說，新車補助對於運具移轉和能源效率的影響，是否能納入模型。提升都會間公共運輸使用率，可以有效達到減量目的，若增加不同都會區路廊的公共運輸運量，模型能否反映其對運具移轉和能源消耗的影響。或是關於推動電動車的政策，模型能否協助判斷電動車推動到幾成的持有，能影響減量的成效。	將彙整交通部相關政策，於報告中說明評估方法與考慮因素。新車補貼將直接影響購車成本，進而改變購車決策，提升能源效率，在模型中皆可加以考量。至於都會區與都會間路廊公共運輸之提升，因模型並未建構空間維度，故僅能由總量觀察運具移轉與能耗效果。欲評估推動電動車政策，最適當的做法為將電動車內建於模型中，方可與其他運具之相對變化進行整體評估，在模型未建置電動車前，僅能以外生設定或部分假設方式進行推估。	同意合作研究單位處理情形
交通部運輸研究所綜合技術組		
1. 有關「蒐集國內外運輸部門推動節能減碳相關政策與措施資料」乙項工作，報告中已有初步之蒐集結果，後續請持續進一步蒐集與模型未來輸入之策略方向與情境設定相關更細節之資料，尤其是經濟手段與交通管理策略方向之詳細資料。此外，並請加強蒐集國外運輸部門減量目標設定與其內涵之資料。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形
2. 有關文獻回顧提及美國 NEMS 中之運輸部門模型結構部分，對於未來本計畫預測運輸部門能源消費時，應可作為具體之分析內容。惟請就此部分進一步探討哪些內容未來可作為本計畫發展架構之參考。	將於報告中補充文獻評析與建議。	同意合作研究單位處理情形
3. 對於公共運輸使用率提升以	1. 搭配「蒐集國內外運輸部門推動節能減碳	

及運輸部門節能減碳之各種策略，哪些可以納入模型中進一步進行量化分析，應進一步進行蒐集與初步分析，對於本年期利用模型進行評估之公共運輸使用率提升之相關策略，可提出幾種策略(例如期中報告所提之票價補貼)以及將進行單一策略之評估或多種策略複合之評估也應有進一步說明。	相關政策與措施資料」工作所彙整之策略，於報告中補充提出情境設計方向。 2. 延續前項工作，針對提升公共運輸使用率之評估，提出多種政策模擬情境設計與配套，同時包含單一策略與複合策略之評估結果。	
4. 有關第 6.2.3 節之參數彙整與更新，目前報告中僅有簡要文字敘述，後續請儘早完成參數數值之彙整更新。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形
主席結論：		
1. 請列表整理各委員、各機關代表及本所主辦單位之審查意見妥為回應處理，據以修訂期中報告，並作為後續研究之參考。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形
2. 有關第 2.3 節國內外運輸部門相關之研究成果部分，請強化補充本研究建構整合模型時可資參採之處。	遵照辦理。將於報告中補充文獻評析與建議。	同意合作研究單位處理情形
3. 基本資料庫相關資料請審慎檢視並作必要之驗證。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形
4. 為展示本研究所研發模型之功能，請臚列可資應用之政策包括推動低碳運具、提升都會區新路廊運量等，並以提升公共運輸 30%做為案例，說明模式各項參變數之變動關係。	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形
5. 請強化 CGE 模型與能源消費預測模型之間內生與外生變數雙向互動的關聯性，並訂定模式間相互檢核與支援	遵照辦理。	同意合作研究單位處理情形

應用方面之 SOP 機制。		
6. 本期中報告原則審查通過， 請依契約辦理後續相關作 業。		同意合作研究單位 處理情形
散會：100 年 8 月 8 日 (星期一) 下午 4:30。		

附錄 3

期末審查意見回覆與處理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」

執行單位：千禧決策科技股份有限公司

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫執行單位 審查意見
邱裕鈞教授		
1. 模型中運具分類應一致，如報告第 3-7 頁圖中能源消耗預測模型沒有貨運，但在後面預測結果是有的。	在「家戶單位」的運輸能源消費中係以客運(公共運輸與私人運輸)為重點，因此圖 3.2-2 主要在呈現運輸 CGE 模型「家戶單位」的客運能源消費，及其與「能源消費預測模型」的「公路客運」、「軌道客運」與「私人運輸」三個部分及其對應的細分類運具能源消費。	同意合作研究單位處理情形
2. 報告部分論述不夠精確，如公路客運、國道客運、一般公路客運、市區公車等用詞，在部分章節混用，應予以統一。	已修正第 3 章至第 5 章內文，統一將「一般客運」一詞改為「一般公路客運」，以便與國道客運、遊覽車、及市區公車加以區隔。	同意合作研究單位處理情形
3. 經濟模型說明易混淆，如第 3-19 頁之 (3-12)式決策變數與 index 符號應調整。	由於模型中變數眾多，為易於辨識，原來在命名參數符號時，將其 index 跟隨所在方程式之決策變數符號進行標示，未料卻與決策變數發生混淆，為同時解決命名與避免混淆問題，修定後報告將參數之 index 改以小寫標示，但符號仍與決策變數相同。	同意合作研究單位處理情形
4. 報告第 3-32 頁，家計單位效用部分，運輸與其它商品具 TRADE OFF，這是傳統經濟學家的做法。由於運輸為衍生需求，因此其效用通常為負值，必須等到完成運輸旅次目的後，如通勤或就學，才會產生真正的效用，亦即不會為了搭車而搭車，必須在文中說	運輸服務與能源服務具有相同概念，由於運具使用以及花費於旅途上的時間皆不能為消費者帶來效用，家計部門係透過投入這些成本(燃料成本、運具使用成本、時間成本等)為自己生產運輸服務，進而因運輸服務達成旅行目的，而產生家	同意合作研究單位處理情形

明。	計部門效用。但由於運輸服務達成旅行目的所產生的效用，並不容易被量化觀察，因此常藉由消費者願意為該運輸服務付出之代價或支出，來代表其效用價值。此項說明已補充於報告 3-30 頁。	
5. 在推估運量時若未考慮容量限制，會使運量不斷成長，報告第 3-35 頁，模型中考慮 capacity 的限制，但為全日或全年的系統容量，與一般運輸討論的尖峰容量概念不同，模型中利用 ψ 係數調整，但報告中未寫明如何決定該項數值。	如同委員所述，若依據近年來運量成長趨勢推估未來，可能產生運量大幅成長的情況，故而於模型中加入容量限制因子，此乃相關文獻首見。基於模型計算基礎為年度資料，故與交通尖峰容量計算基礎不同，在計算年度容量時，目前採取兩種作法，其一直接採用系統之設計容量，其二利用過去發生之尖峰運量，假設全年中每一天每小時皆為尖峰運量時，計算年度最高可能運量，做為容量設定基礎。上述說明已補充於報告 3-35 頁。	同意合作研究單位處理情形
6. 報告第 3-40 頁之後都在說明如何預測未來能源消耗量。由於模型預測時間較長，所以解釋變數很重要，部分解釋變數由 CGE 模型內生求得，如 GDP 與能源價格，部分由外生取得如人口數。但部分解釋變數放入模型的原因不明，如臺汽民營化、ETC 政策，這些變數所隱含的意義應在報告中說明。高鐵政策為重要變數，但捷運的政策變數為何，捷運通車時間或是捷運長度？請進一步釐清。	自變數部分，經濟變數多為 CGE 求解結果。臺汽民營化為 dummy 變數，主要因一般公路客運中，能耗量在民國 90 年前後產生大幅變化，考慮當時臺汽民營化，故納入此變數。高速公路 ETC 亦為 dummy 變數，主要用於營業大貨車與國道客運推估式中，目的在於考慮到兩者多採用 ETC，但此政策在未來實施計程收費後應予調整。捷運目前亦為 dummy 變數，未採用捷運長度是考量台北經驗與高雄經驗的差異，若以長度計算恐過於樂觀。	同意合作研究單位處理情形
7. 報告第 3-49~50 頁，應變數應是取對數，表格最左邊要取對數，估出的係數應為彈性，惟兩頁的表格中高鐵變數有兩格是什麼意思？請補充。此外，時間序列資料之校估分析採用 T VALUE 會比 P VALUE 好。另校估結	政策變數皆為 dummy 型態，表格左邊細數值係由右邊細數值取自然指數而得，代表政策對能源消費量的乘數效果(multiplier)；DW 值將尋求改善；資料期數有限並無保留部分資料做驗證；各模型中的變數均	同意合作研究單位處理情形

果之 DW 值過低，表示自我相關要調整。因模型要做預測，故 R2 很重要，有無保留一些資料做驗證。因使用資料為前 20 年，預期未來均為一直上升，此時運量上限就很重要。	係全年總量，如果要與運量上限做比較，可能需要參考運輸規劃相關的本土實證參數，以及預測年各運輸系統的建設與營運情境，建議定期校估模型參數，以逐步調適近期之參數效應改變。	
8. 在政策分析時，如第 5-16 頁圖 5.3-5，量最大的是計程車，對照表 5-18 頁，計程車佔比偏高。一般認為機車比例應最高，自用小客車次之，市區公車、捷運再次之，空中客運應更少。	本研究已重新檢視使用之歷史數據來源與正確性，目前以蒐集之資料觀察，軌道與公路部分之運量多可由交通部統計資料取得，惟私人運輸運量缺乏直接統計數據，故建議後續研究應就私人運輸運量，建立適當合理之推估方法。	同意合作研究單位 處理情形
9. 基線推估之 CO2 如何估算？是係數轉換或建立獨立模式預測？有關基線能耗與 CO2 成長趨勢不一致之處，請進一步說明。	基線之 CO2 排放量皆為依據能耗推估結果，乘上各能源排放係數而得。由於各運具能耗成長趨勢不同，使能源結構發生變化，導致能耗與排放趨勢差異。	同意合作研究單位 處理情形
10. 政策模擬部分，建議考量政策評估選項之可行性。如汽燃費全部轉移作為公共運輸票價補貼不大可行，是否適合以此情境進行分析？另部分用詞如過路費應改為通行費，燃料稅改為燃料費。汽燃費隨車改隨油可以，但費率每年調整是否合理？建議模擬情境要考量實務上之可行性。	本次模擬主要目的在觀察補貼公共運輸票價之效果，並在可能範圍內，檢視最大可能影響，因此才假設汽燃費全部轉為票價補貼。汽燃費隨油徵收之前提乃在維持稅收不變，導致費率每年變化，建議後續研究可調整情境設定，再次評估並加以比較。用詞部分已於 5-24 頁修改。	同意合作研究單位 處理情形
11. 油價為影響私人運具的關鍵變數。個人用時間序列分析，油價調整之影響效果只有半年，家戶會在預算分配上把運輸提高；其次替代能源增加，也會使油價效果打折，因此在分析時應考量這些情況，在提出政策建議時應謹慎處理。政策分析時，未來情境皆假設自由化，能否增加一種油價仍在管制的情境。	委員所提私人運具對油價反應的動態效果僅及半年，致使油價效果打折。由於模型使用之歷史資料為年度資料，透過這些數據反映實際油價的彈性，已將私人運具面對油價時的調整結果由最終數據呈現，因此模式評估的結果已含納，本研究會小心處理政策建議。油價管制的情況即為基線情境。	同意合作研究單位 處理情形
謝智宸副所長		
1. 能源與運輸一樣都是衍生需求，不管	如委員所述，模型建置須由簡到	同意合作研究單位

<p>效率或使用量指標都是落後指標，不可能是先期指標。模型這麼細部拆解，已不容易，未來運輸行為再拆購物、通勤等，必須深思。必須從無到有從簡到繁一步一步建置。</p>	<p>繁，惟基於本研究建構模型以運輸部門為主，因此盡可能朝反映運輸部門特性又不失模型操作可行性方向建置。</p>	<p>處理情形</p>
<p>2. 探討麥肯錫的評估應是主辦單位的要求。麥肯錫的成就不在於評估的方法，而是在於其觀念，可以進行國境間的評估。在美國 DOE 可以掌握先進技術的成本及商業化的成本，所以麥肯錫的評估方法在美國可行，可是在評估其它國家時，透過產業調查與專家判斷雖然可以取得 detail 資料，但問題在於團隊提問人不是專家，故對麥肯錫報告結果之應用宜小心謹慎。另簡報 15 頁，提到總量管制與排放交易均針對工業部門，但在歐盟或美國管制對象初期都是能源部門，對於工業部門反而都是補助與協助，如日本在福島核災後提出的新能源政策，都對未來工業提出補貼或減免，用字要小心。</p>	<p>探討麥肯錫研究主要目的在於釐清國內對「減量成本」之定義與認知，並藉此瞭解不同方法所計算的減量成本之用處與功能，在決策時又該如何參考這些資訊。至於麥肯錫在蒐集資料過程中所產生的合理性問題，感謝委員提醒，本研究使用數據時會特別小心。簡報 15 頁所提總量管制與排放交易針對工業部門的論點，乃引用文獻上之論述，主要論點在於工業部門較易透過公開、可驗證、可計算的標準流程納入管制對象，至於協助工業部門達成減量同時不失產業發展機會，其多重目的性並未在此處探討。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>3. 本期末報告的文章架構良好，每章都有小結，便於閱讀。報告第 2-78 頁，第 4 點結論係從 ITF 各國溫室氣體排放計算結果作出之評估，惟在分析 ITF 之資料時，勿僅依最後一欄的成長率，而直接得到各國應聚焦在特定運具的結論，因每個國家國情不同，如美國國內航空為國際 4 倍，美國可透過政策影響國內航空，卻無法管制國際航空，香港與新加坡情況亦同。因此無論能源平衡表或計算國內 CO2 排放時，皆將國際航空排除，讓這部分管制由國際組織進行。</p>	<p>如委員所述，各國因國情不同，無法以同一標準加以比較。本研究僅依觀察資料說明各國在各運具排放量之變化趨勢，並無意指出該國應針對特定部分運具研擬減量措施。至於國際航運部分，雖未能直接管制或影響國際航運排放量，國際共識亦未明朗，本研究仍將國際航運部分之估算結果羅列於計算表中，惟計算國內運輸部門排放時，並未納入。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>4. 報告第 2-57 頁把各個方法的模型解釋非常清楚，但對於本計畫是否可用可進一步考量。有關因素分解法部分，</p>	<p>第 2 章以文獻回顧方式，整理不同模型之架構與方法，主要目的在瞭解各模型之特性與功能，在發展本</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>

<p>各國分析結果均以提高公共運輸為共通結論，但密集度效果與結構效果並不容易在因素分解中呈現，例如公共運輸班次增加，可能造成總運量上升，但也可能造成運具乘載率的下降，對能源效率是否有益，在做因素分解時應注意。</p>	<p>研究模式過程中，為相當重要的參考依據。</p>	
<p>5. 第 3-5 頁提到補貼政策，因 CGE 的 GDP 為內生，補貼會產生價格效果，進而增加公共運輸使用，最後產生公共建設產業關聯效果、所得效果等，此邏輯完全正確，惟所得效果會再使能耗增加，請問此種 LOOP 在模式中如何解決？如何收斂？請進一步說明。</p>	<p>由於 CGE 模型要求所有的關係式必須聯立求解，亦即所有關係式必須同時成立，所得效果導致之能耗增加，亦為模型設定之一環，因此委員所提之回饋效果，會在找到均衡解的同時獲得解決。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>6. 第 3-40 頁將國際航空與國際水運納入了能源消費預測模型之推估，惟除非有特別因素，否則在模型中考量國際航運會增加模型負擔。此外，國際航空與國內航空應為獨立變數，因為無法用其它方式替代，請進一步說明兩個變數模型中如何運作。</p>	<p>在能源消費預測模型中，國際航空與國際水運進行聯立校估，主要係考量其可能同時受國際因素影響；國內航空則視為城際運輸而與高鐵進行聯立校估或將高鐵視為政策變數，以推估高鐵政策對國內航空能源消費的乘數效果。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>7. 第 5-25 頁，模擬情境以隨油徵收燃料費進行分析，大選對未來能源政策，都有提出能源價格合理化，能源稅亦為其中政策，且效果很複雜。明年若有機會，這個模型必須持續長久維運，方能看出其適用性，短期就可遇上能源稅評估需要。就能源稅效果分析，過去「稅」必為統籌統支的慣例，已因奢侈稅而打破，所以未來可能以能源稅收補貼公共運輸或其他節能措施。自由化與油價上漲假設情境，兩者不是互為獨立，即使沒有油價上漲 50% 或 100%，自由化仍會反映油價的變化，應在敘述方面更清楚一些。在第六個情境沒有強調是一次性衝擊，請補充說明係一次性衝擊還是慢慢上</p>	<p>能源稅評估確實為當前能源與溫室氣體相關政策中相當重要的政策工具，能源稅收的運用，近年來也經過許多討論與分析，因此本研究未來若能繼續獲得維持模型的機會，將納入能源稅政策評估，並考慮稅收運用於公共運輸補貼措施。凡是油價上漲情境皆為一次性衝擊，已修改報告 5-25 業與 5-26 頁內容。2012 年減量成本衝擊較大確為一次性衝擊結果。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>

升。第 5-34 頁，2012 年能源減量成本忽然變大，請說明是因為一次性衝擊的關係或其他原因。		
8. 第 4-30 頁鐵路年總耗油量表呈現非常清楚，但「油當量-公秉」應寫為「公秉油當量」、「電力油當量換算」在第 4-28 頁第 4 行，「利用電力油當量換算成油當量單位…」應寫為電力能量單位 (KWh)。另臺鐵行駛里程中，客、貨車能源耗用比例如何計算？以「車公里」計算時，為何以 train 而非 carriage 計算？第 4-19 頁為何假設汽、柴油小貨車比例為 0.73:0.27？以上請補充說明。	修正定稿報告；經初步推估應該是以 train 計算，待洽詢台鐵內部單位澄清；假設比例值係參酌 96-98 運研所中綱計畫成果，並徵詢中鼎公司倪佩貞副總工程師推估背景，為考量運研所計畫資料來源之一致性仍採行之。	同意合作研究單位處理情形
9. 第 5-1 頁提到公共運輸補貼的動機與目的，就模型而言，補貼之後是否一定有替代性，每個區域應有不同，在都會區也許具替代性，在鄉村則未必，是否將來應有區域子模型才能較精準？請參考。	由於區域模型的建置，對於資料需求量將大幅增加，未來若有機會可考慮進一步建置，但目前仍以單國模型為主，將焦點放在強化運輸部門特性上。	同意合作研究單位處理情形
10. 第 7-18 頁表 7.4-1 有關提升公共運輸之單位能源減量成本部分，2006 年至 2011 年數據皆為零，若是未評估這些年度建議以「NA」或「—」表示。	已修正 7-18 頁數據。	同意合作研究單位處理情形
11. 目錄中 6.2 本章小結應為 6.3。	已修正。	同意合作研究單位處理情形
能源局李金炫		
1. 運輸部門很重要，能源最終消費量佔國內 14% 左右，由油品來看，僅略少於 1/3，僅較工業(50%)低一點。基於運輸部門的技術複雜多元，但提供的服務只有一種，使其運量、能耗與運具的關係較為複雜，需要深入研究加以探討。除此之外，運輸排碳全部屬燃料燃燒排放，與工業部門有製程排放不同。感謝研究的分析與審查委員的意見，具有高度參考價值。	感謝委員提醒。	同意合作研究單位處理情形
2. 報告打字誤植，第 2-1 頁，表 2.1-1 表	表 2.1-1、表 2.1-2 已修正。本研究	同意合作研究單位

<p>頭與內文年期不符，表 2.1-2 問題相同。第 2-15 頁，節能減排是大陸字眼，建議改為節能減碳。</p>	<p>認為「節能減碳」僅及於碳排部分，對於其他污染物或溫室氣體排放仍應關注，故而保留「節能減排」一詞。</p>	<p>處理情形</p>
<p>環保署簡慧貞副處長</p>		
<p>1. 計畫已是第 2 年，成果很好，感謝運研所與研究團隊作了這麼多事情，自哥本哈根後，就定了 NAMAs 與國家目標，也與研究團隊一起算了基線，這個計畫更與所內共同建立了運輸部門基線。運具的轉移，在明年會一步一步算出來，如剛剛所提的 LPG，國家政策可能會移轉到電動車方面，究竟電動車規模多大才會有成效，所裡可指導研究團隊將規模算出來，因為現在自己的能源消費基線與彈性都算出來了，再加上模型，就可算出未來的趨勢。</p>	<p>替代燃料車輛亦為本研究後續發展重點，若未來能持續開發本模型，將進一步考量電動車之減量貢獻。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>2. 結合上述成果，目前已有 MRV 最好的基礎。我國無論能源稅、碳稅、排放交易，整個政策上的發展均已日漸上軌道。如排放交易，我國已在移動源部分提出環評開發者可以取得額度，同時我國已在國際平台開戶，讓我國的排放交易與聯合國接軌。此外，本計畫將運輸部門基線與彈性與減量空間都算出來，有利於計算核配。我國未來溫室氣體減量法推動方式，如同歐盟的第三期模式，國家與部門目標一步到位核配到排放源，所以這部分的研究非常重要。</p>	<p>感謝委員指教，未來持續加強運輸部門減量行動應符合 MRV 規範，以利運輸部門減排量計算與參與碳交易市場。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>
<p>3. 麥肯錫部分，國家的系列模組與麥肯錫計算結果將有所區隔，未來國內政策制定仍以國內系列模組為主，而國際間比較部分則以麥肯錫為主。由於麥肯錫對國內相關訊息不夠多，故僅用在不同情境下的運算與跨國分析，不能作為政策引導。</p>	<p>感謝委員指導，本研究將持續關心麥肯錫研究成果。</p>	<p>同意合作研究單位處理情形</p>

交通部運輸研究所綜合技術組		
(一) 有關模型方面：		
1. 請就運輸 CGE 模型、運輸部門能源消費預測模型以及相關輔助模型間之資料流與其關係架構加強說明。	已補充模型說明於 3-5 頁，並將本年度輔助模組成果補充於 5-23 頁與 5-24 頁。	同意合作研究單位處理情形
2. 請補充說明模型中重要之輔助模組功能。	如上述。	同意合作研究單位處理情形
3. 有關情境分析方面，原油價格上漲情境在報告中不論漲幅均自 2012 年一次完成上漲，建議就逐年逐步上漲之情境進一步分析。	原油價格上漲為不確定性較高之影響變因，未來若需設計逐年上漲情境，可進一步納入評估，惟上漲幅度與年度仍須進一步予以假設。	同意合作研究單位處理情形
4. 報告中對於各模擬案例評估情境之能源與經濟面影響均有相關分析，惟對於運輸相關之分析尚不足夠，請提出在各情境下對各運具運量之影響以及公共運輸使用率之變化，並深入探討其影響因素。	補充於 5-35 頁及 5-39 頁。	同意合作研究單位處理情形
5. 報告中已就運輸部門能耗與 CO2 排放提出成長基線預測結果，惟另請將工業、能源、住宅、服務等其它部門之模型成長基線一併呈現於報告中，此外請說明各部門能耗未來年度佔比變化趨勢其影響因素。	本年度模型建構重點，首重於運輸部門能耗與排放基線校估之精確度與模型運作流暢度，因此特別著重於各運具運量與能耗量之校估結果，其他部門之校估結果在運輸部門結果確立後，將同時提出。	同意合作研究單位處理情形
6. 針對模型所需資料的充分性要再考量，並對應模式庫中每一個模組所需資料進行資料盤點，並將盤點結果以表格化方式彙整，以利後續資訊平台資料庫更新及維護。	第 4-45 頁已初步就運輸 CGE 模型使用之資料來源與需求進行彙整，能源消費預測模組之資料庫亦於第 4 章中說明。	同意合作研究單位處理情形
(二) 有關能耗與 CO2 排放推估方面：		
1. 4-21 頁，「表 4.3.2 歷年車輛登記數統計量」，將汽油小貨車與柴油小貨車分列。惟在交通部統計處之車輛登記資料中，並未區分汽、柴油，故應註明此部分為本計畫推估結果。	已補充於 4-21 頁。	同意合作研究單位處理情形
2. 於 4.3.1 能源消費量推估部分，目前市區公車、一般公路汽車客運與國道客運係併於同一項目「公車與客運車」，考量公車行駛於市區、一般公路與國	表 3.4-3 與表 3.4-5 已經建立「市區公車、國道客運與一般公路客運」之能源消費模型，資料來源：臺灣省公共汽車客運商業同業公會聯合	同意合作研究單位處理情形

道之能源消耗特性之差異，請評估未來分別推估市區、一般公路與國道客運之能源消費量之可行性與資料需求。	會。	
(三)有關 MRV 方面：		
1. 有關 6.1 節「運輸部門 MRV 機制建立」部分，請針對我國行動計畫 CO2 減量效益評估方式，評估是否符合 MRV 或提出改進作法。	感謝委員指教，由於 MRV 係指一種程序，特別著重內部與外部專家審核，因此，只要我國行動計畫 CO2 減量效益評估方式，符合內部與外部專家審核程序，且具透明公開性，即符合 MRV。目前「我國行動計畫 CO2 減量效益評估方式」已具備公開透明之計算過程，惟尚未經過專家審核程序，後續仍有待建立審核機制。	同意合作研究單位處理情形
主席結論：		
1. 各位委員及能源局代表的意見，請研究團隊審慎檢視，若在合約範圍內，則請納入報告進行修訂。	已依委員意見修定報告。	同意合作研究單位處理情形
2. 為提升研究價值，請團隊就各模擬案例評估結果，強化對各運具運量影響與公共運輸使用率變化的分析探討，以作為交通部與相關單位後續推動運輸部門節能減碳措施的參考。	已補充評估結果。	同意合作研究單位處理情形
3. 報告內文引用許多文獻，但後面參考文獻並未完全納入，此部分請團隊檢視並作必要之補充與修訂。	已重新檢視修正。	同意合作研究單位處理情形
4. 第 1-7 章均有小結，請增加第 8 章結論與建議。	已增加第 8 章結論與建議。	同意合作研究單位處理情形
5. 因報告內容豐富，請提出 10 頁內摘要報告，以便於日後參考。	已摘錄補充於附錄 1。	同意合作研究單位處理情形
6. 變數統計檢定，請進一步檢查，若有代表之意涵，請在報告中作詳細說明，以增加報告參考價值。	已補充於報告本文。	同意合作研究單位處理情形
7. 本期末報告原則審查通過，請研究團隊依據各與會委員及單位代表意見修訂報告書，並研擬回覆辦理情形於 1 週內送本所承辦單位。		同意合作研究單位處理情形

8. 請於 100 年 12 月 23 日前將修正後之定稿報告送達本所，俾利辦理後續驗收作業。		同意合作研究單位處理情形
9. 謝謝與會專家委員與機關代表，後續有勞指教。謝謝研究團隊的協助與付出。		同意合作研究單位處理情形
散會：100 年 12 月 15 日 (星期四) 上午 12:00。		

附錄 4

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型 第一次專家學者座談會 議程與會議記錄

交通部運輸研究所

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估 模型之建立」研究計畫

第一次專家學者座談會

自聯合國成立 UNFCCC 以來，從京都議定書、哥本哈根會議及至坎昆氣候會議，世界各國的溫室氣體減量行動已步入第二階段，附件一國家須提出減量承諾目標，而非附件一國家則必須提出國家適當減緩行動方案 (NAMAs)。面對迫切的減量行動研議需求，各國紛紛發展適當的政策評估工具，以衡量節能減碳措施之成本與效益，做為決策之參考依據。

運輸部門 CO₂ 排放量與日俱增，在全球排放量中，運輸部門約佔 15%，如此快速的擴增使許多國家開始針對運輸部門進行減量計畫。在國內方面，行政院於 97 年 6 月 5 日通過「永續能源政策綱領」，彙集了能源、產業、運輸、環境、生活等五大構面之節能減碳具體措施，其中運輸部門共計納入 27 項行動計畫。另一方面，環保署推動「溫室氣體減量法」目前已在立法院審議中，內容係就我國溫室氣體之管制採取盤查、登錄、配額交易等措施，雖然短期內仍以產業溫室氣體減量管制為主，但運輸部門亦在法規規範之列。

鑒於運輸部門承擔減量責任之重要性及減量措施研擬之評估需求，本所委託千禧決策科技公司執行「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」一案，希望建置運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型，以做為運輸部門減量決策支援之分析工具，並用以評估運輸部門節能減碳策略與措施之成效。為使模型之理論架構與資料建置更臻完善，特舉辦本次座談會，邀請專家學者就模型之理論基礎與資料需求，提供卓見。本次會議討論之重點議題將包括理論架構之適宜性、實證模型在運用上可能產生的問題、模型定位與運輸部門政策評估需求、資料定義與資料庫結構之正確性、資料蒐集之困難與解決方式等，希望各領域之專家學者針對這些議題提供精闢見解，以利後續模型建置之完整性。

時間	內容	
9:30-10:00	報到	
10:00-10:10	主席致詞	
主題 1：運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型		報告人
10:10-10:50	運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之理論架構與資料建置	
10:50-12:00	<p>討論題綱：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 理論架構之適宜性 2. 實證模型在運用上可能產生的問題 3. 模型定位與運輸部門政策評估需求 4. 資料定義與資料庫結構之正確性 5. 資料蒐集之困難與解決方式 	
	散會	

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」

第一次專家學者座談會

壹、時間：100 年 7 月 14 日（星期四）上午十點正

貳、地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室(台北市松山區敦化北路 240 號)

參、主席：交通部運輸研究所綜合技術組黃新薰組長、千禧決策科技公司黃宗煌教授。

肆、出(列)席單位及人員：如會議名單。

伍、主席致辭：由黃宗煌教授簡介本次專家學者座談會之緣起與本計劃研究目的。

陸、簡報：由千禧決策科技公司黃宗煌教授負責簡報。

柒、綜合討論：

交通部科技顧問室卓訓榮主任：

- (一)流程圖中模型校估模組如何運作？是否會分別回饋到能源預測模型和 CGE 模型？理論上校估結果應該會回饋反映在此兩模型中，因此簡報第四頁校估箭頭僅為單向，應加以修正。
- (二)此模型十分龐大且複雜，模型越大時，任何的小誤差累積後，會嚴重影響結果可信度，請團隊謹慎處理數據資料，以得到可靠的評估結果。又模式中提及家計部門的消費決策，然家計部門的決策並不全然是最佳化的結果，特別是產品節能減碳的標示雖尚未健全，亦會影響家計部門實際的消費決策，使模式難以反應真實情況。
- (三)交通部每年都會補貼公共運輸經費，然而公共運輸使用量卻未能成長，試問模型是否能反應出與實際情況一樣的結果？另外，對於推動電動公車的決策選擇，模型目前似乎並未考量。
- (四)台灣社會偏向 M 型社會，若以平均的數值做為模型參考的數據，會使結果失真；實際上搭乘公車的族群可能大多所得低於平均值，若以平均值做為模式採用的數據，難免會影響結

果。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一)若兩者推估之基線結果差異過大，則會分別回頭檢視模型參數上的設定是否合理，如相關的價格彈性、所得彈性、燃料效率等設定是否符合現況，加以修正後在重新模擬。此外，簡報第四頁中的圖型無法顯示出回饋機制，會再加以修改。
- (二)在模型的處理上，並非想要使用個體資料的加總而取得總體資料，主要是利用個體資料推估參數，因為利用這些個體的資訊比較能反映出一般民眾的選擇行為。
- (三)公共運輸使用量不一定僅會受到票價補貼影響，亦可能受到個人所得衰退、經濟景氣等因素，亦即所得效果大於價格效果而造成雖然補貼公共運輸票價但卻呈現負成長趨勢，這部份在 CGE 模型的處理上沒有問題，可以反映出來。此外，電動車在 CGE 模型中亦可反應，不過須視資料的掌握程度以及使用的政策工具(如：補貼機制)。
- (四)未來在資料的處理上將會更加小心謹慎。

台電公司綜合研究所洪紹平主任：

- (一)模型如何將微觀動機連接到宏觀的行為，是個重要的問題，也決定模型能否得到合理的結果。
- (二)目前所建構的模型非常複雜，因此須掌握關鍵因子，個人覺得有兩項關鍵因子須掌握，其一為運輸尖離峰的問題，其二為壅塞的問題，不知道這兩個關鍵因子在模型中是否可考量？
- (三)電力部門與運輸部門未來的關係將會越來越密切，公路運輸未來將會朝向低碳或電力的運具發展，因此電動車的議題(如：HEV、Plug-in EV)在模型中是否有考量？
- (四)模型是否能提供即時的決策評估及適應性的反應動態的社經條件變動？可考慮做敏感度分析或 what-if 分析，以反應未來社經條件變動的影響。
- (五)價格彈性是針對整體運輸部門還是可針對個別運具？

(六)簡報資料第六頁，航空與水上運輸為何沒有展開為細項？

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一)微觀的個體行為之掌握在模型中相當重要。
- (二)負載管理對運輸部門而言為相當重要的議題，但由於 CGE 模型處理的為年資料，因此目前並無法處理每日或每季的尖離峰問題。此外，壅塞問題在 CGE 模型中可考量。
- (三)由資料上可反應電力部門與運輸部門的關係越來越密切。此外，電動車可視資料的掌握程度加以納入。
- (四)不確定問題在模型中可處理，不過須先確定不確定性的因素為何？需求量或參數不確定等，如果全部考量，模式可能會無法求解。此外，在模型中也有考量調整成本之機制。
- (五)價格彈性部分，在公路運輸方面已可細分至運具。
- (六)受限於資料可得性，航空與水上運輸並未展開為細項。

行政院原子能委員會核能研究所葛復光分組長：

- (一)簡報第 4 頁的流程圖只用到人口數的資料，而無戶口數的資料，然模型考量到家計單位的消費決策，請問是否是流程圖中漏加戶口數資料？
- (二)在基線推估方面，由於最近也參加麥肯錫公司的基線討論會議，請問模型推估的基線與其他模型有何差異？
- (三)簡報第 8 頁提到市場特性，但後續的模式裡並未看到市場特性的因子。
- (四)簡報第 21 頁的流程圖中引用 Mobile-Taiwan2.0，請問此模型如何應用此工具？
- (五)第 24 頁模型中的自變數有高鐵及捷運的政策變數，請問如何判斷此兩變數是否合理？

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一)戶口數的資料在模型並未用到。
- (二)麥肯錫公司係從個體的角度出發，將個別廠商的基線加以基

總而得到各部門之基線，與本模型之機制完全不同；此外，麥肯錫公司所推估之基線亦不一定準確。

(三)市場特性的考量需要資料的支持，目前無此資料，因此在模式中尚未納入。

(四)在運輸部門能源消費預測模型上，未來可再嘗試不同計量方式進行推估。

千禧決策科技公司黃銘崇教授回應：

(一)Mobile-Taiwan2.0 在計量模型的推估中並未用到，之後會在針對圖型進行修改。

(二)自變數的選擇上係以經濟理論作為基礎以進行挑選，目前已模擬出初步結果。

工研院綠能與環境研究所盧誌銘資深顧問：

(一)技術發展的 roadmap 上，技術成熟度或市場穿透率為重要影響因子，須掌握本土資料。

(二)為提高模式的準確性與可靠度，可針對參數做敏感度分析以篩選關鍵參數，應可提高模式的可信度。

(三)針對前面幾位委員提到的電動車，在這裡提出一些不同觀點，使用電動車並不一定等於節能，除了電力優化和二氧化碳排放量的因素以外，由於使用電動車，能源比一般燃油車多了至少一次以上的能源形式轉換，是否使用電動車就真的節能減碳，仍有許多討論空間。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

(一) 交通技術的發展在模型中當然非常重要，在 CGE 模型中可透過運具效率的提昇反應技術的發展，此有別於傳統計量模型並無法考量這些因素。而新技術在 CGE 模型中可分為兩種處理方式，其一為完全內生，新技術的使用量取決於成本或價格；其二為外生處理，可外生設定須達到政府政策設定的目標量。

(二) 敏感度分析在 CGE 模型的處理上並沒有問題，CGE 最大的

功能即為可進行參數之敏感度分析。

- (三) 同意盧顧問的觀點，發展電動車並不一定代表節能，仍須取決於許多因素。而這些運具的選擇在模型中係取決於成本結果，未來若有大型調查計畫輔助，將有助於本模型取得這些不同技術的成本結構。

交通部運輸研究所綜合技術組黃新薰組長：

- (一)請在期中報告內或期中審查前，針對委員提出的意見，修訂報告內容。
- (二)此計畫是為了提供交通部政策評估的工具，現階段應回應部內的政策，所以請研究團隊務必掌握相關政策的關鍵因子。
- (三)補貼公共運輸的案例分析結果於今年須完成，此外，推動電動車的政策分析評估在模型的處理上應沒有問題，可於期末時展現成果。

捌、散會：100 年 7 月 14 日（星期四）中午十二點正

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」
座談會名單

千禧決策科技公司	黃宗煌 總顧問
千禧決策科技公司	黃銘崇 教授
千禧決策科技公司	黃韻勳 研究員
工研院綠能與環境研究所	盧誌銘 顧問
交通部科技顧問室	卓訓榮 主任
交通部運輸研究所綜合技術組	黃新薰 組長
交通部運輸研究所綜合技術組	楊智凱 研究員
交通部運輸研究所運輸計畫組	楊幼文 研究員
行政院原子能委員會核能研究所	葛復光 分組長
台灣電力公司綜合研究所	洪紹平 主任

交通部運輸研究所 100 年度合作計畫
「MOTC-IOT-100TDB001 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量
評估模型架構之建立」

第一次專家學者座談會會議簽到單

壹、時間：民國 100 年 7 月 14 日（星期四）上午 10 時

貳、地點：本所 10 樓會議室

參、會議主持人：黃教授宗煌、黃組長新薰

記錄：楊智凱

肆、出席人員：

單 位	姓 名	簽 到
行政院原能會核能研究所	葛復光分組長	葛復光
工研院綠能與環境研究所	盧誌銘資深顧問	盧誌銘
台電公司綜合研究所	洪紹平主任	洪紹平
台灣綜合研究院	林唐裕所長	(請假)
交通部科技顧問室	卓訓榮主任	卓訓榮
交通部運輸研究所	黃新薰組長	黃新薰
行政院環境保護署		(請假)
經濟部能源局		(請假)
交通部運輸研究所	楊智凱	
	楊幼文	

附錄 5

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型 第二次專家學者座談會 議程與會議記錄

交通部運輸研究所

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估 模型之建立」研究計畫

第二次專家學者座談會

運輸部門CO₂排放量與日俱增，在全球排放量中，運輸部門約佔15%，如此快速的擴增使許多國家開始針對運輸部門進行減量計畫。「提升公共運輸使用率」為國內、外用以推動運輸部門減量的重要策略之一，交通部更爭取3年150億經費發展公路公共運輸，在同時滿足民眾對於行的基本需求，以及投資效益合理化之前提下，希望透過公共政策引導及穩定的資源投入，長期提昇公共運輸使用率至30%。

鑒於運輸部門承擔減量責任之重要性及減量措施研擬之評估需求，本所委託千禧決策科技公司執行「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」一案，建置運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型，以做為運輸部門減量決策之分析工具。為使模型之理論架構與資料建置更臻完善，本案已於7月中旬舉辦第一次專家學者座談會，邀請專家學者就模型之理論基礎與資料需求，提供卓見。

參酌專家學者意見，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型經修正調整後，已初步針對「提升公共運輸使用率」目標，研擬數項政策工具並進行影響評估。故本案定於11月15日舉辦第二次專家學者座談會，會議討論重點將就政策工具選項之可行性、政策情境設計與評估結果之合理性等，希望各領域專家學者提供精闢見解，以使政策評估工作更為周全。

時間	內容
14:00 - 14:30	報到
14:30 - 14:40	主席致詞
14:40-15:10	「提升公共運輸策略與運輸部門節能減碳成效」簡報
15:10-17:00	<p>討論題綱：</p> <p>主題一：提升公共運輸策略之可行性</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 可行的提升公共運輸之政策工具選項 2. 模型適用之政策評估範疇 <p>主題二：情境設定與評估結果之合理性</p>
	散會

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」

第二次專家學者座談會

- 壹、時間：100 年 11 月 15 日（星期二）下午 2 時 30 分
- 貳、地點：交通部運輸研究所 2 樓會議室(台北市松山區敦化北路 240 號)
- 參、主席：交通部運輸研究所綜合技術組黃新薰組長、千禧決策科技公司黃宗煌教授。
- 肆、出(列)席單位及人員：如會議名單與簽到單。
- 伍、主席致辭：由黃宗煌教授簡介本次專家學者座談會之緣起與本計劃研究目的。
- 陸、簡報：由千禧決策科技公司黃宗煌教授負責簡報。
- 柒、綜合討論：

交通大學交通運輸研究所邱裕鈞教授：

- (一)隨油徵收費率的政策模擬，可考慮結合汽機車持有的相關研究，使研究成果更完整。
- (二)模型是否能反應油價改變對公共運輸使用者與供給者行為及票價的影響。
- (三)公共運輸使用率的提升方式很多，補貼即是一種方法，但補貼可分為兩方面來看，一是優惠乘客票價，二是補貼業者，而其中優惠乘客票價對運量的影響更為顯著。請說明模型能否細緻的反應這兩個政策方向的不同。案例中使用的票價補貼是針對運輸業者或是乘客，其補貼的百分比與金額。
- (四)政府若採用汽燃費隨油徵收，應不會每年調整徵收的費率。建議隨油徵收應採用基年推估的徵收費率，並且採固定費率。此外，也建議在報告中說明隨油徵收對於政府稅收的影響與隨油徵收的財源其應用範圍限制。
- (五)報告內容使用的名詞，請與運研所常用名詞統一（如：通行費、燃料費、無縫公共運輸交通等）。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一) 在整體模型架構裡有考慮運具的持有和使用，但在相關參數收集不易下，今年先用現有的運輸統計資料進行分析，未來會逐步納入及擴大，使模型處理和討論的議題更多元。
- (二) 油價上漲對經濟市場中的供給者或需求者的影響程度，只要是可以量化的數據或資料，都可以藉由模型得到油價上漲後對供需的影響結果。
- (三) 提升公共運輸的補貼政策，以基本的經濟理論可得知，補貼大眾票價折扣是較有效的方式。因此，本研究試以汽燃費的收入補貼票價進行討論，就是希望可以獲得較大的補貼效果。
- (四) 本研究考量雖現行政策汽燃費是採固定費率，但在進行政策模擬時，應優先考量社會福利最大的前提下進行模擬情境設計，在逐漸增加限制條件，如：汽燃費固定費率。
- (五) 在繳交書面報告時，會將相關名詞修正。

交通部科技顧問室卓訓榮主任：

- (一) 在第 17 頁私人運具使用率的數據請確認。
- (二) 在第 21 頁推估油價價格指數在 2025 年 1.48，能否進一步說明。
- (三) 在第 34 頁案例中的補貼率太高，請說明。
- (四) 為輔助擬訂政策方向，模型能否模擬若油價上漲，政府不給予任何補助與僅補助公共運輸的兩種情境下，公共運輸使用率是否能達到 30%？請研究團隊計算當公車、機車、小汽車此三種運具若全面採用電動或油電混和車輛，其個別的減碳量會是多少？

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一) 政府研議的各種提升公共運輸政策，原則上只要有量化的數據資料，都可以放到模型中進行模擬。而稅收的各種運用方式都可在模擬中討論，目前運輸 CGE 模型初步是將汽燃費的稅收全額補貼公共運輸，呈現計算的補貼公共運輸票價是 1.68(元

/人公里)。未來模擬政策可在這個基礎上，進行適合的調整或修改，以使模擬政策更貼近臺灣的實際環境。

- (二) 近幾年的油價上漲快速、下跌更快。在 2007 年 7 月時，國際油價每桶約 75 美元。但 2008 年 7 月 11 日，由於市場擔心當時中東地區局勢緊張有可能影響全球原油供應，紐約市場油價創下每桶 147.27 美元的歷史最高紀錄，成長率約 96.36%。到 2009 年二月時，油價最低卻跌到 42 美元左右。基線中 1.48 倍的平均推估油價，係參考 American Energy Outlook (AEO) 預估數值做為基線參考油價。
- (三) 私人運具使用率資料，係參考交通部統計資料，本研究僅以彙整後呈現；因為計畫研究報告時間僅剩兩天，如需增加電動車政策評估，希望在繳交完整報告時間再補充。

台電公司綜合研究所洪紹平主任：

- (一) 建議研究團隊針對公共運輸與私人運具做更基礎的替代關係研究。
- (二) 成本並非影響運具選擇的唯一因素，運輸行為、壅塞成本、基礎建設等也是影響因素。
- (三) 建議研究團隊針對燃料與電力做更基礎的替代關係研究。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一) 整體的模型架構中有納入運輸時間的考量，運輸行為、擁塞成本或基礎建設等都會反應到整體的運輸時間，模型進行獲得影響評估結果。
- (二) 未來在擴大模型討論議題時，各種運具或能源的替代關係都會再做詳細的討論。

行政院原子能委員會核能研究所葛復光分組長：

- (一) 第 7 頁參數推估，希望在期末報告有詳細說明。
- (二) 第 20 頁 GDP 的推估與之前報告的內容不同，請說明。
- (三) 請在期末報告詳細說明第 36 頁成果。

(四)此模型是否能反應停車條件對汽車使用的影響。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

(三) 期末書面報告時，相關的資料及推估會有較完整的說明與補充。GDP 的推估會隨著時事的變動作即時修正，例如：五月份時，主計處公布的 GDP 成長率是 5.06%，才半年時間，最新的經濟成長率已下修到 4.56%。再補充一下，去年本團隊對 2011 的經濟成長率預測是 4.53%，當時在所有預測值中是最低的！目前看來卻是最準確的。這也說明了預測未來的發展，原本就充滿許多不確定的因素，而我們強調的是長期的經濟趨勢發展，就是為了避免短期的因素的干擾，政府在研擬政策時，著眼的應該也是長期穩健的國家發展政策。

(四) 整體的模型架構中有納入運輸時間的考量，停車條件的好壞等同於停車時間的長短，進而反應到整體的運輸時間。

台灣綜合研究院林唐裕所長：

- (一)第 12 頁模型是否有納入遊覽車與企業的交通接駁車。
- (二)第 20 頁建議 GDP 金額的基期是那一年度或當期資料。
- (三)第 21 頁汽油價格指數基期，可附上 2006 年油價價格，以方便各年度做換算。
- (四)標示價格指數與其他研究的預測。

千禧決策科技公司黃宗煌教授回應：

- (一) 模型架構中遊覽車、企業的交通接駁車是歸類在其它公路運輸項目。
- (二) 模型所獲得皆是實質資料，目前基期是 2006 年；2006 年的油價資料和其他單位的油價推估資料，將於完整期末報告中補充。

交通部運輸研究所綜合技術組黃新薰組長：

- (一)目前簡報內容只看到經濟面的研究成果，請於期末報告補上運量分配。
- (二)情境分析請參照卓主任的建議，補充在完整期末報告中。
- (三)隨油徵收與公共運輸補貼等政策模擬，未來在情境設計上應納入政策可行性的考量說明。

捌、散會：100 年 11 月 15 日（星期二）下午 17 點正。

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立」 座談會名單

千禧決策科技公司	黃宗煌 總顧問
千禧決策科技公司	楊晴雯 研究員
千禧決策科技公司	莊建鐸 研究員
千禧決策科技公司	李志忠 研究助理
千禧決策科技公司	林心榆 研究助理
交通部科技顧問室	卓訓榮 主任
交通部運輸研究所綜合技術組	黃新薰 組長
交通部運輸研究所綜合技術組	楊智凱 研究員
交通部運輸研究所運輸計畫組	楊幼文 研究員
行政院原子能委員會核能研究所	葛復光 分組長
台灣綜合研究院	林唐裕 所長
台灣電力公司綜合研究所	洪紹平 主任
交通大學交通運輸研究所	邱裕鈞 教授

**交通部運輸研究所 100 年度合作計畫
「MOTC-IOT-100TDB001 運輸部門能源消耗與溫室氣體減量
評估模型架構之建立」**

第二次專家學者座談會會議簽到單

壹、時間：民國 100 年 11 月 15 日（星期二）下午 2 時 30 分

貳、地點：本所 2 樓會議室

參、會議主持人：黃教授宗煌、黃組長新薰

紀錄：楊智凱

肆、出席人員：

單 位	姓 名	簽 到
行政院原能會核能研究所	葛復光分組長	葛復光
台電公司綜合研究所	洪紹平主任	洪紹平
台灣綜合研究院	林唐裕所長	林唐裕
交通部科技顧問室	卓訓榮主任	卓訓榮
交通大學交通運輸研究所	邱裕鈞教授	邱裕鈞
交通部運輸研究所	黃新薰組長	黃新薰
行政院環境保護署		
經濟部能源局		
交通部運輸研究所		楊智凱
	黃宗煌	

單 位	簽 到
千禧決策科技股份有限公司 研究團隊	李宏忠 莊建鋒 楊晴雯 林心榆

附錄 6

運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型 模型交流會

議程與會議資料

交通部運輸研究所

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估 模型之建立」研究計畫

模型交流會

自聯合國成立 UNFCCC 以來，從京都議定書、哥本哈根會議及至坎昆氣候會議，世界各國的溫室氣體減量行動已步入第二階段，附件一國家須提出減量承諾目標，而非附件一國家則必須提出國家適當減緩行動方案(NAMAs)。面對迫切的減量行動研議需求，各國紛紛發展適當的政策評估工具，以衡量節能減碳措施之成本與效益，做為決策之參考依據。

運輸部門 CO₂ 排放量與日俱增，在全球排放量中，運輸部門約佔 15%，如此快速的擴增使許多國家開始針對運輸部門進行減量計畫。行政院於 97 年 6 月 5 日通過「永續能源政策綱領」，彙集了能源、產業、運輸、環境、生活等五大構面之節能減碳具體措施，其中運輸部門共計納入 27 項行動計畫。另一方面，環保署推動「溫室氣體減量法」目前已在立法院審議中，內容係就我國溫室氣體之管制採取盤查、登錄、配額交易等措施，雖然短期內仍以產業溫室氣體減量管制為主，但運輸部門亦在法規規範之列。

鑒於運輸部門承擔減量責任之重要性及減量措施研擬之評估需求，本所委託千禧決策科技公司執行「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」一案，舉辦模型交流會，針對國內能源環境與經濟模型開發與應用現況，邀請模型研發團隊與專家學者進行經驗交流。本次會議討論重點將包括 (1) 模型基本架構與情境考量、(2) 運輸部門評估功能與機制設計、(3) 模型未來發展方向。希望各領域之專家學者針對這些議題提供精闢見解，以利運輸部門溫室氣體減量政策評估機制建立之完整性。

時間	內容
9:00-9:30	報到
9:30-09:40	主席致詞
09:40-10:00	引言
國外運輸部門溫室氣體減量評估模型發展現況 引言人：黃教授宗煌	
10:00-11:30	模型研發成果簡報
10:00-10:30	工研院團隊簡報
10:30-11:00	核能研究所團隊簡報
11:00-11:30	千禧團隊簡報
11:30-12:30	經驗交流
11:30-12:30	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模型基本架構與情境考量 2. 運輸部門評估功能與機制設計 3. 模型未來發展方向
	散會

交通部運輸研究所 100 年度合作計畫
「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」

模型交流會

壹、時間：民國 100 年 9 月 23 日（星期五）上午 9 時 30 分

貳、地點：本所 5 樓會議室

參、會議主持人：黃組長新薰、黃教授宗煌 紀錄：楊智凱

肆、出席人員：

單 位	姓 名	簽 到
工研院綠能與環境研究所	劉子銜副組長	周松榮代
原能會核能研究所	葛復光分組長	葛復光
經濟部能源局綜企組	蔡志亮專門委員	蔡志亮
行政院環保署空保處	簡慧貞副處長	簡慧貞
開南大學運輸觀光學院	陳武正院長	陳武正
台電公司綜合研究所	洪紹平主任	洪紹平
交通部科顧室	卓訓榮主任	卓訓榮
交通部運輸研究所	黃新薰組長	黃新薰
行政院環保署		
行政院經建會		
經濟部能源局		

單 位	姓 名	簽 到
交通部		
交通部運輸研究所	楊智寬 朱佩芸 林思敏 翁淑	
機能研究所	邱 戊吉, 林忠漢	
開南大學	王仲卿	

單 位	簽 到
千禧決策科技 股份有限公司 研究團隊	黃維 莊建輝 楊晴雯 林心掄

引言簡報

「國外運輸部門溫室氣體減量評估模型發展現況」

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」模型交流會

國外運輸部門溫室氣體減量評估模型 發展現況

引言報告

黃宗煌

2011.09.23

交通部運輸研究所合作研究計畫
(MOTC-IOT-100-TDB001)



大綱

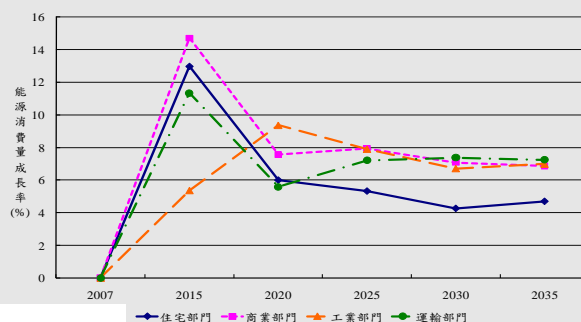
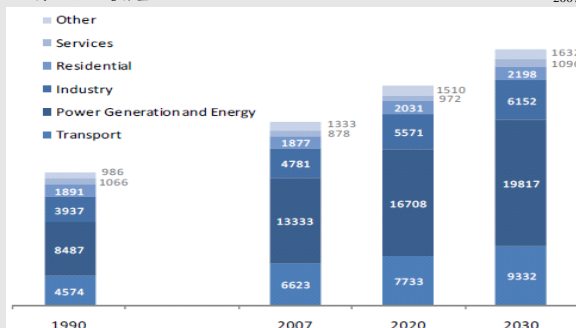
- 一、運輸部門溫室氣體減量之挑戰與政策評估需求
- 二、評估模型的類別
- 三、國際重要模型
- 四、國內運輸能源相關模型
- 五、交流會目的與期許

一、運輸部門溫室氣體減量之挑戰與政策評估需求

全球運輸部門能源消費與CO₂排放成長

- ✓ 依據EIA預測，2020-2025年間，全球運輸部門能源消費將成長快速
- ✓ 運輸部門是除了電力及能源部門外CO₂排放量最大的部門

單位：百萬公噸 CO₂當量



資料來源：EIA, International Energy Outlook 2010，其中2007年為歷史值，2015年、2020年、2025年、2030年及2035為預測值。

資料來源：IEA, World Energy Outlook 2009。

各國運輸部門行動計畫之政策工具(1/2)

- ✓ 運輸部門減量行動之政策工具多元：
 規劃工具(土地使用規畫、公共運輸)；
 直接管制工具(交通管理、停車供給管理、低碳帶、速限)；
 經濟工具(道路定價、稅制、停車費)；
 資訊推廣；清潔技術採用；基礎研究(排放盤查、監測與資料庫建置)

Source: GIZ(2011),
 "Urban Transport and Climate Change Action Plans – An Overview."

Instruments		Africa	Asia							Australia & Pacific			Europe						
		Johannesburg	Beijing	Hong Kong	Seoul	Tokyo	Yokohama	Singapore	Mumbai	Melbourne	Sydney	Auckland	Frankfurt (Main)	Hamburg	Munich	Brussels	Copenhagen	London	Madrid
Planning	Land Use Planning	✓			✓		✓	✓		✓	✓	✓			✓				✓
	Public Transport	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)
	Non-Motorised Modes		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)
Regulatory	Physical restraint Measures																		
	Traffic management Measures	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓	
	Regulation of Parking Supply		✓						✓			(✓)	✓		✓				✓
	Low Emission Zone		✓										✓	✓	✓		✓		
	Speed Restrictions												✓	✓					
Economic	Road Pricing							✓				(✓)		(✓)			(✓)	✓	
	Tax Incentives			✓				✓											
	Parking Pricing		✓									(✓)	✓	(✓)					
Information	Public Awareness Campaigns	✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Stakeholder conferences	✓				✓						✓			✓			✓	✓
	Driver Training / Eco Driving					✓				✓								✓	✓
Technology	Cleaner Technology	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓				(✓)	✓	✓
Research	Emission monitoring, Establishing a reliable database	✓			✓		✓												



「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」模型交流會

Page 5

各國運輸部門行動計畫之政策工具(2/2)

Instruments		Europe (continued)				North America											Latin & South America		
		Paris	Rome	Stockholm	Vienna	Boulder	Chicago	Denver	Houston	Los Angeles	New York	San Francisco	Montreal	Ottawa	Toronto	Vancouver	Mexico City	Sao Paulo	Buenos Aires
Planning	Land Use Planning				✓	(✓)	✓	✓			✓		✓	✓				✓	
	Public Transport	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Non-Motorised Modes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulatory	Physical restraint Measures								✓				✓	✓			✓	✓	✓
	Traffic management Measures			✓	✓				✓			✓	✓					✓	✓
	Regulation of Parking Supply				✓					✓		✓	✓						✓
	Low Emission Zone			(✓)															
	Speed Restrictions			✓	✓								✓						
Economic	Road Pricing			✓						(✓)				✓	✓				
	Fuel Tax Incentives																		
	Parking Pricing			(✓)									✓	✓					
Information	Public Awareness Campaigns	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Stakeholder conferences				✓				✓	✓						✓			
	Driver Training / Eco Driving	✓		✓	✓	✓													✓
Technology	Cleaner Technology	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Research	Emission monitoring, Establishing a reliable database			✓		✓			✓	✓			✓						✓



「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」模型交流會

Page 6

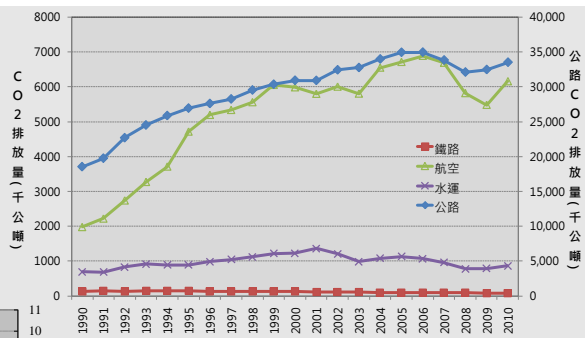
- ✓ 運輸部門減量政策成效與選擇：

- 外來影響：非運輸部門減量政策(如能源稅)對運輸部門排放之影響？
- 內部成效：在不同外部減量政策下，運輸部門能採取哪些策略？減量成效為何？
- 政策代價：運輸部門減量付出的代價為何？如何衡量？

Source: GIZ(2011),
 "Urban Transport and Climate Change Action Plans – An Overview."

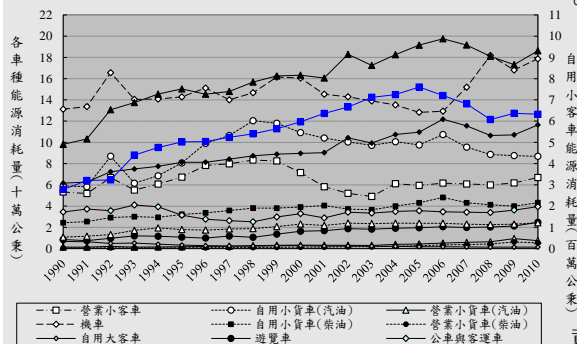
我國運輸部門能源消費與CO₂排放成長

- ✓ 長期而言，我國運輸部門整體CO₂排放量呈現成長趨勢
- ✓ 公路與航空為排放主要來源
- ✓ 2008-2009經濟情勢變化明顯影響運輸需求



資料來源：本研究。

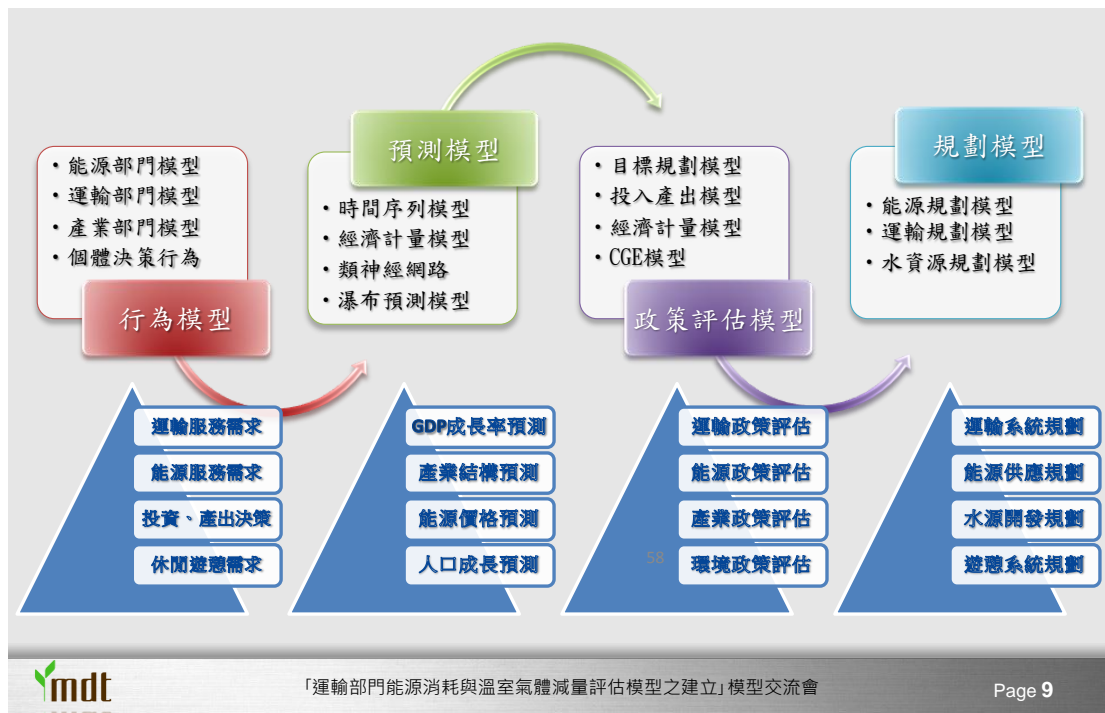
- ✓ 公路運輸中，自用小客車與營業大貨車能源消費成長迅速



資料來源：本研究。

二、評估模型的類別

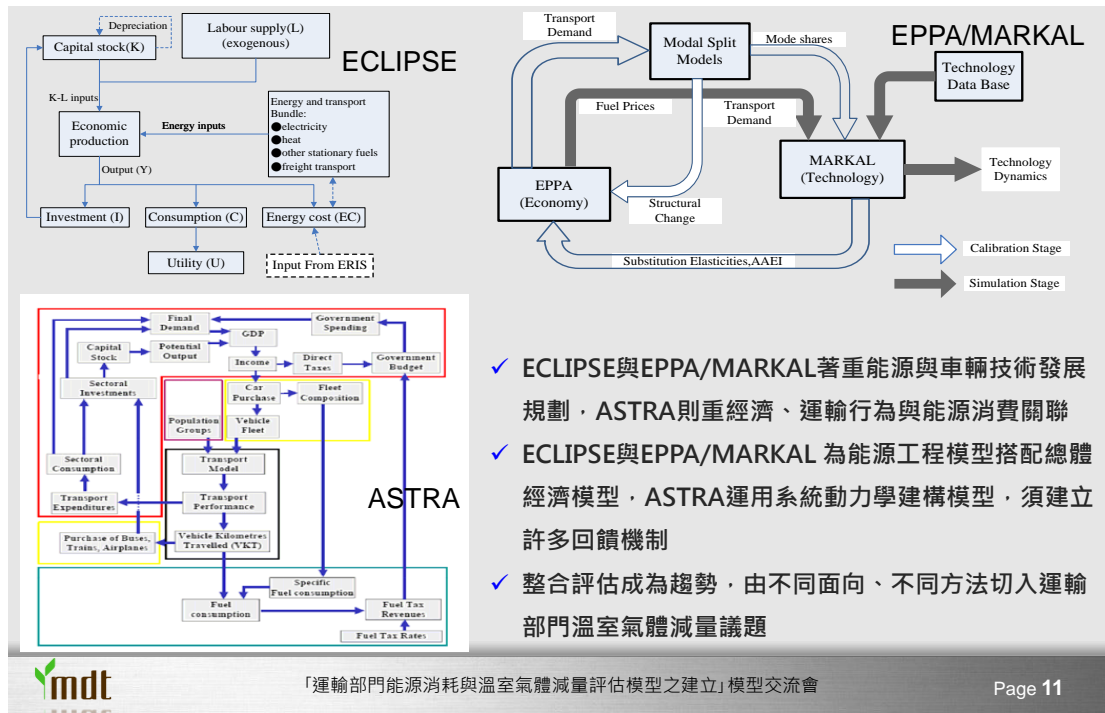
評估模型的類別



運輸減量評估模型類別與特性

模型	CGE	運輸需求預測模型	能源工程模型	系統動態模型
方法論	一般均衡理論	運具持有與選擇模型 計量預測模型	成本極小之最優化方法	回饋控制理論 與模擬方法
行為理論 架構	廠商理論 消費者行為理論	消費者行為理論	須整合其他經濟 模型	僅建立觀測變 數之因果關係
市場交互 影響	考慮所有市場均衡與經濟個 體關聯	市場及經濟因素為給 定條件	市場及經濟因素 為給定條件	透過因果關係 呈現
運輸服務 需求	模型可內生求解並產出結果	模型可內生求解並產 出結果	為給定外生條件， 須整合其他模型	模型可內生求 解
燃料價格 變化	模型可內生求解並產出結果	為給定外生條件	為給定外生條件， 須整合其他模型	模型可內生求 解
經濟與產 業成長	模型可內生求解並產出結果	為給定外生條件	為給定外生條件， 須整合其他模型	模型可內生求 解
技術變化	可由需求面建立誘發技術變 動機制	為給定外生條件	模型可內生求解 並產出結果	須視模型設計 而定
空間與時 間分布	有單國與區域模型，可考慮 旅行時間節省對效用之影響	可依範圍之界定考慮 時空分布問題	未能考慮	須視模型設計 而定

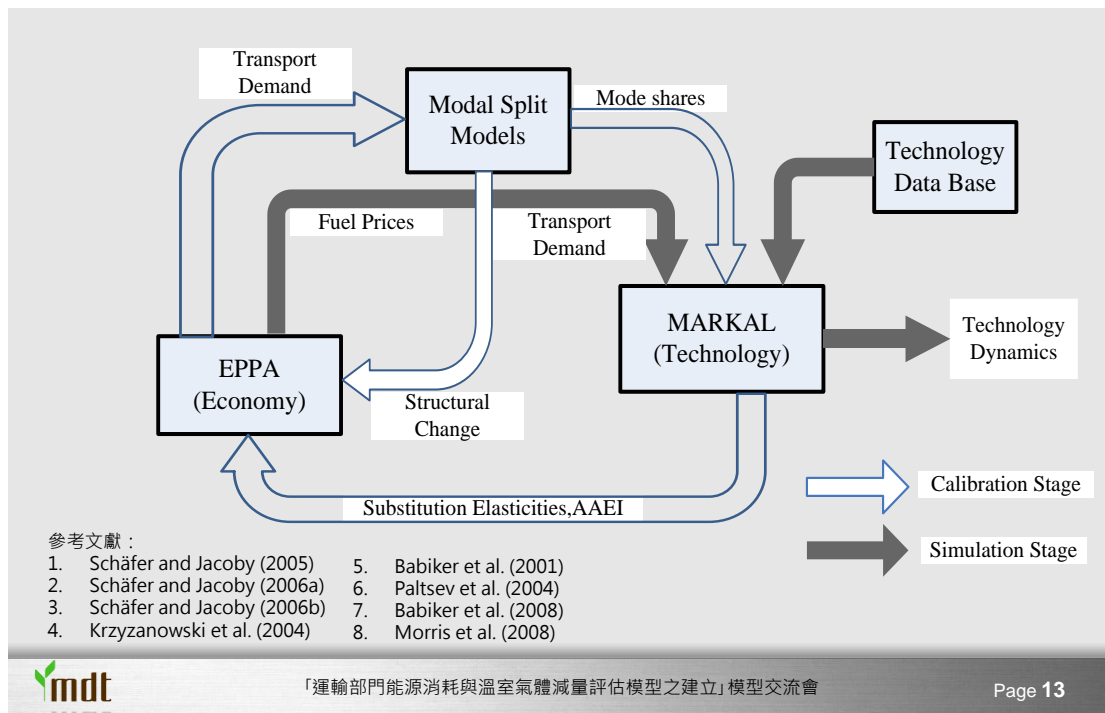
整合評估趨勢



- ✓ ECLIPSE與EPPA/MARKAL著重能源與車輛技術發展規劃，ASTRA則重經濟、運輸行為與能源消費關聯
- ✓ ECLIPSE與EPPA/MARKAL 為能源工程模型搭配總體經濟模型，ASTRA運用系統動力學建構模型，須建立許多回饋機制
- ✓ 整合評估成為趨勢，由不同面向、不同方法切入運輸部門溫室氣體減量議題

三、國際重要模型

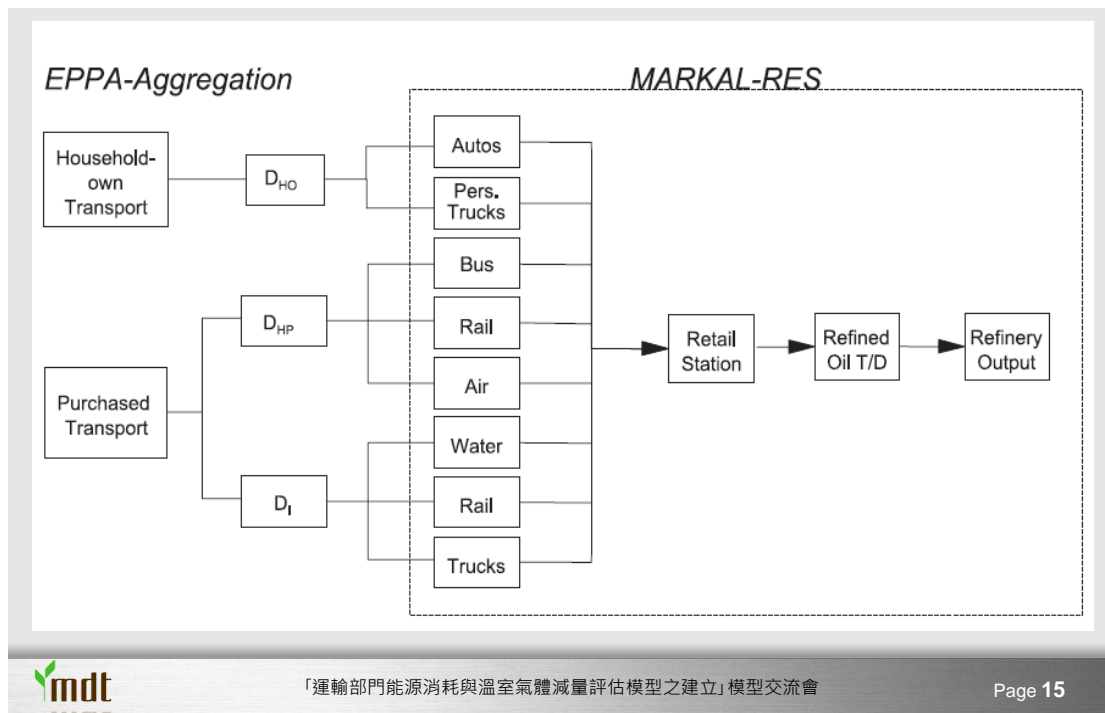
EPPA\MARKAL模型體系



EPPA\MARKAL子模型之特色與功能

	特色與功能
EPPA model (MIT Emission Prediction and Policy Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遞歸、動態、多區域之可計算一般均衡模型 2. 使用GTAP資料庫 3. 基期為1995年，求解期間為5年一期。 4. 12區域、9部門(4個非能源部門、5個能源部門)、2個未來能源技術 5. 在部門分類中運輸服務部門特別獨立出來 6. 家計對運輸之需求區分為own及purchased
MARKAL model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為bottom-up、動態線性最適化模型 2. 具備詳盡能源系統資料庫，可呈現各類的使用端能源技術 3. 含能源生命週期中各項技術，如開採、再製、轉換、配送、儲存、及至終端使用之能源服務需求 4. 運輸部門技術包含汽車、貨車(私人)、貨車(貨運)、大客車、軌道(客運)、軌道(貨運)、海運、空運 5. 技術資料庫呈現各運輸模式下各種可選技術之單位運量之能耗、技術可用年限、期初投資成本、固定運維成本與變動運維成本
Modal splits model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助對映與計算EPPA與MARKAL運輸相關參數 2. 將EPPA運輸服務需求拆解為MARKAL個別技術之需求 3. 提供運輸模式結構變化

EPPA\MARKAL運輸部門之對應關係



Modal Splits Model拆解細分類-客運(1/2)

- ✓ 家戶運輸需求可分為高速運具(空運與高鐵)、低速運具(私人車輛、大客車、一般鐵路)。其中，私人(或自有)車輛又可細分為**小客車與輕型貨車**。
- ✓ 觀察最近幾十年的消費者行為，顯示人們會花費一個固定的時間在旅行上：約**1.1小時/每人每天**，雖然都會與鄉村會有些差距，不過此數值不論在國家或區域層面都相當一致，故假設此行為在未來仍會保持穩定，因此使用此數值作為未來Modal Splits之基礎。
- ✓ 除行為假設外，各類運具也會受限於**結構性的特徵**。如：低速的公共運輸(大客車)會受限於都市化的程度與公共基礎設施的建立，同樣鐵路也會收到鐵路系統興建的限制。
- ✓ 加入這些限制，同時估算私人運具與高速運具的**平均速度**，再結合**時間限制**，就可估算出私人運具與高速運具的**份額**。

Modal Splits Model拆解細分類-客運(2/2)

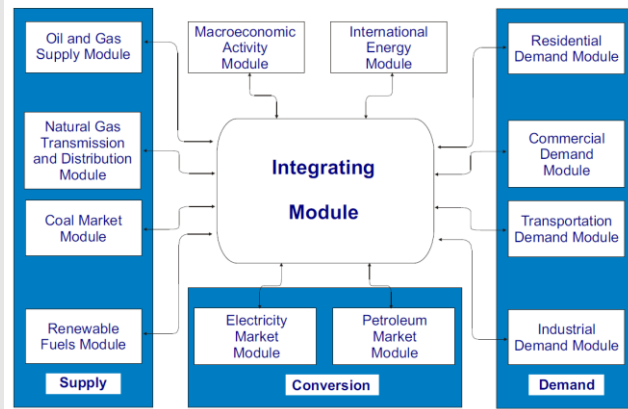
- ✓ 在基準情境下估算的結果，私人運具的占比由1995年的82%逐漸降至2030年的54%；而高速運具的占比由14%上升至42%，剩餘的部份則為低速運具中的大客車與一般鐵路占比。
- ✓ 由於美國運輸部門一個顯著的特性，是私人的貨車(輕型的貨車，包含：pickup truck, sport utility vehicles, vans))顯著的成長，在1960~2000年期間，在輕型車輛的占比由5%提高至31%。此研究假設此趨勢仍會持續的維持，至2030年將會上升至47%。因此可拆解出小客車與輕型貨車。

Modal Splits Model拆解細分類-貨運

- ✓ 由於貨運是中間的需求，主要為進行產業間貨物流通而產生。理想上，貨運運具的劃分應透過部門間產業的流動是由何種運具所運輸，來加以劃分。不過在EPPA模型中並沒有細分至此類的資料。
- ✓ 因此，此研究採用一個初略的近似方式，假設各運具的**平均運輸距離維持不變**。接著依據貨運1970~1995年的歷史趨勢將**鐵路貨運**與**水運**的下降趨勢加以**外延(Extrapolate)**，因此公路貨運即為此兩項運具扣除後的殘差項。
- ✓ 依據此方式，可將產業運輸(貨運)細分為鐵路運輸、水運與公路運輸。其中，公路貨運的占比由1995年的56%逐漸上升至2030年的71%，其他兩類的占比(鐵路貨運與水運)則逐漸下降。

NEMS模型系統架構

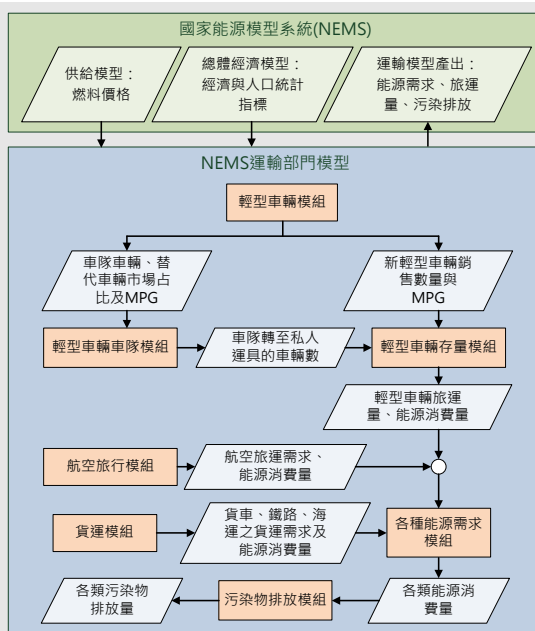
- ✓ 美國國家能源模型系統(National Energy Modeling System, **NEMS**)
- ✓ 在總體經濟、財政因素、全球能源市場、資源可及性與成本因素、技術選擇與決策、能源技術成本與效能、與人口等因素的綜合性考量下，**規劃能源之生產、進口、轉換、消費與價格**
- ✓ 包含4個能源供給模型(油與氣、天然氣配送、煤炭、再生能源)、2項轉換模型(電力與原油)、4類終端需求模型(住宅需求、商業需求、製造業需求與**運輸需求**)、1個能源/經濟連結模型(總體經濟活動)、1個國際能源市場模型(國際能源)、1個整合其他模組之市場均衡模組
- ✓ 終端需求模組與初級能源供給轉換模組須相互回饋，以求取能源供需平衡



Source: EIA(1994), "Transportation Sector Model of the National Energy Modeling System," model documentation report.

EIA(2009), "The National Energy Modeling System: An Overview 2009," DOE/EIA-058(2009).

NEMS運輸部門模型之模組連結關係



- ✓ 主要目的為提供中、長期運輸部門**能源需求預測**

- ✓ 由七個模組加以連結而成(輕型車輛模組、輕型車輛存量模組、輕型車輛車隊模組、航空旅行模組、貨運模組、各種能源需求模組、車輛的污染物排放模組)

- ✓ Input Data：總體經濟模型(Macro-economic Model)提供經濟與人口統計相關指標，供給模型(Supply Model)提供燃料價格

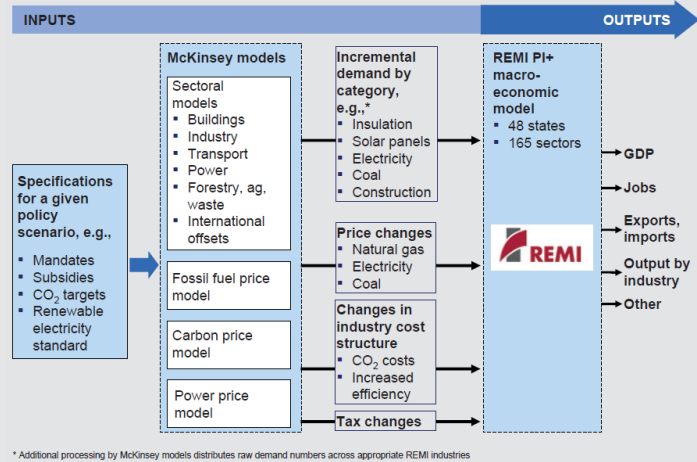
- ✓ Output Data：美國不同區域的運輸能源消費量、旅運需求、燃料效率及不同運具的污染排放量

Source: EIA(2005), "The Transportation Sector Model of the National Energy Modeling System," model documentation report, DOE/EIA-M070(2005).

McKinsey/REMI PI+ 模型架構(1/2)

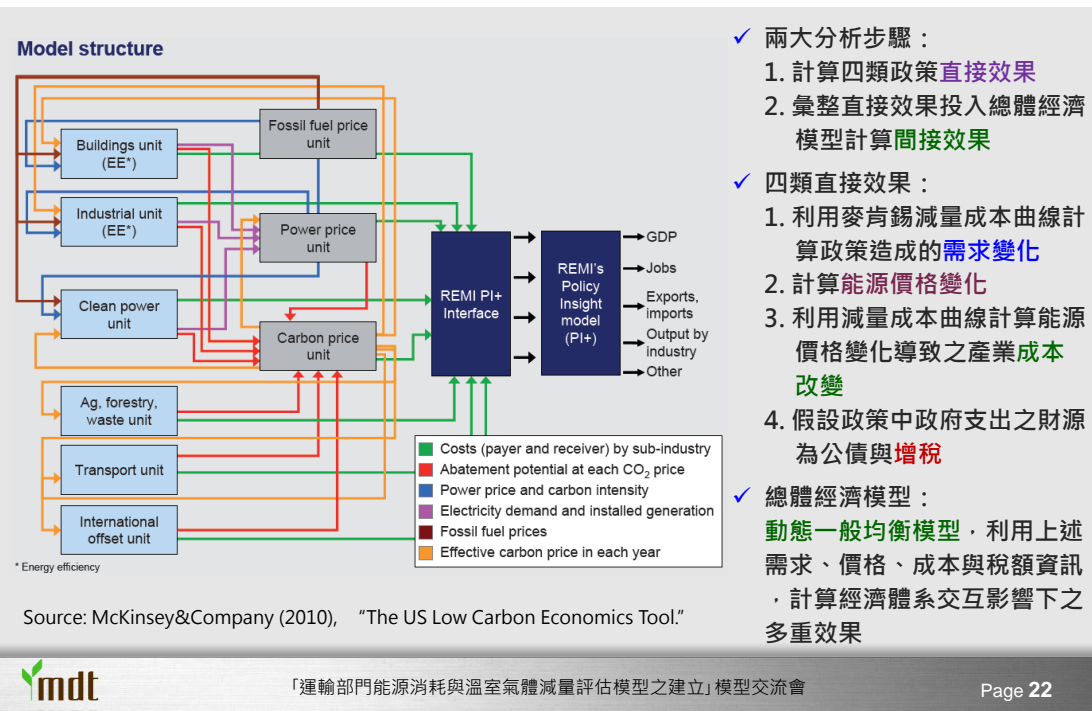
- ✓ 麥肯錫公司自2009年起研發
- ✓ 整合減量成本曲線、能源效率資料庫、分區電力訂價模型、技術學習曲線、國際抵換供給模型等五項麥肯錫過去已開發之資訊
- ✓ 上述五項個別工具僅考慮**直接效果**(策略的直接成本或效益)
 - 整合後同時計算**間接效果**(主要反映經濟體系交互作用後之影響)
- ✓ 評估對象為美國境內48州與165個產業
- ✓ 建立政策透析(Policy Insight)與評估工具之溝通平台(REMI PI+)

Model structure – simplified view



Source: McKinsey&Company(2010), "The US Low Carbon Economics Tool."

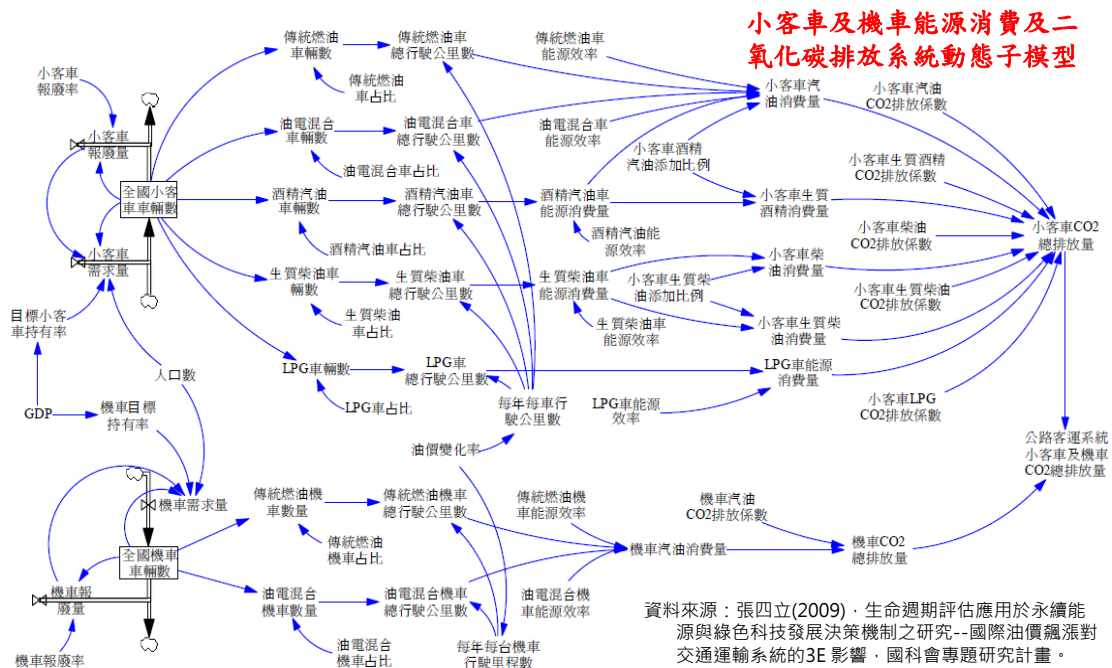
McKinsey/REMI PI+ 模型架構(2/2)



- ✓ 兩大分析步驟：
 1. 計算四類政策**直接效果**
 2. 彙整直接效果投入總體經濟模型計算**間接效果**
- ✓ 四類直接效果：
 1. 利用麥肯錫減量成本曲線計算政策造成的**需求變化**
 2. 計算**能源價格變化**
 3. 利用減量成本曲線計算能源價格變化導致之**產業成本改變**
 4. 假設政策中政府支出之財源為公債與**增稅**
- ✓ 總體經濟模型：**動態一般均衡模型**，利用上述需求、價格、成本與稅額資訊，計算經濟體系交互影響下之多重效果

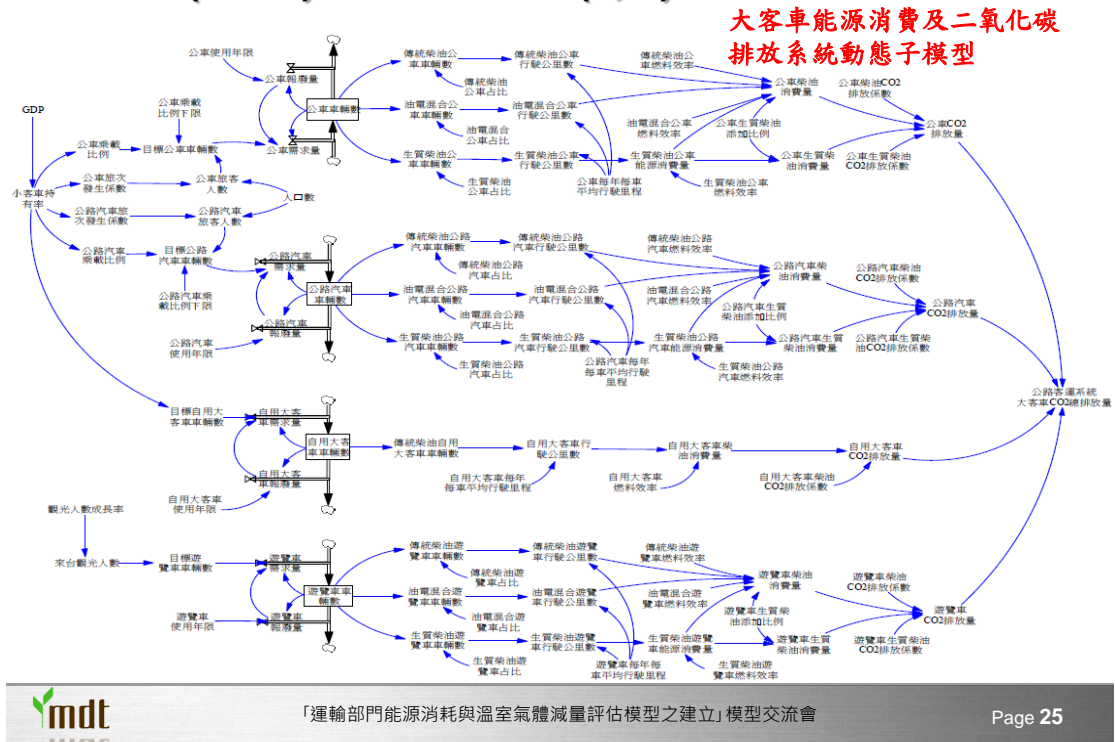
四、國內運輸能源相關模型

張四立(2009)系統動態模型(1/3)

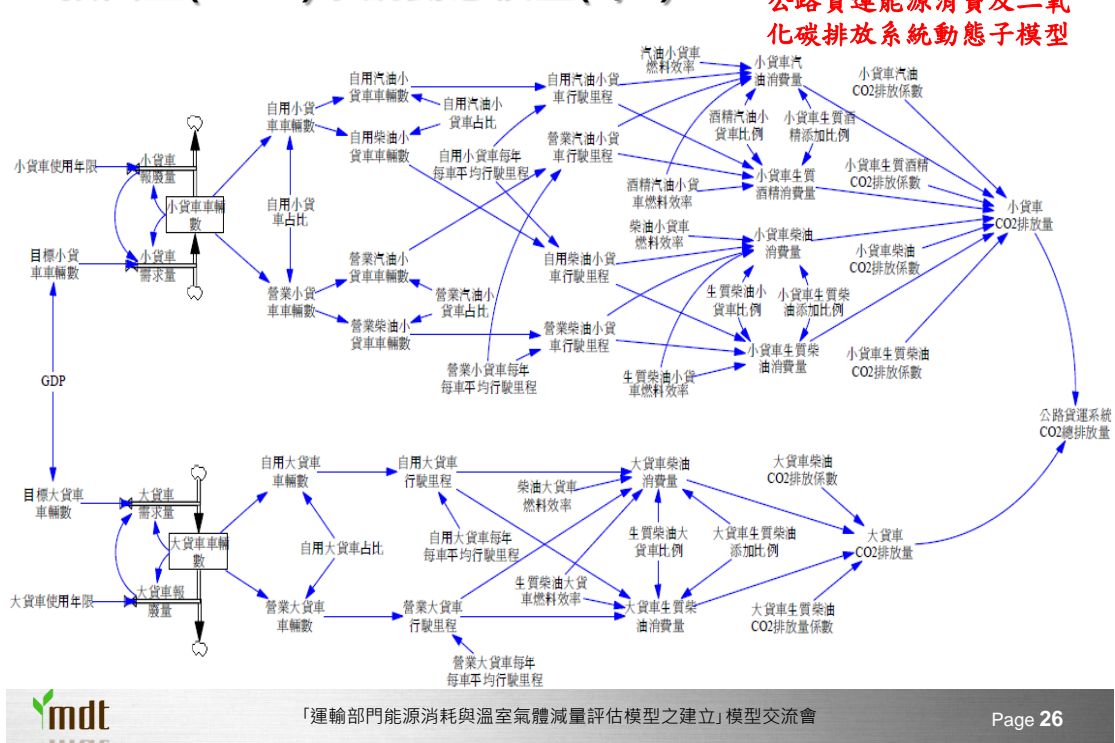


資料來源：張四立(2009)，生命週期評估應用於永續能源與綠色科技發展決策機制之研究--國際油價飆漲對交通運輸系統的3E影響，國科會專題研究計畫。

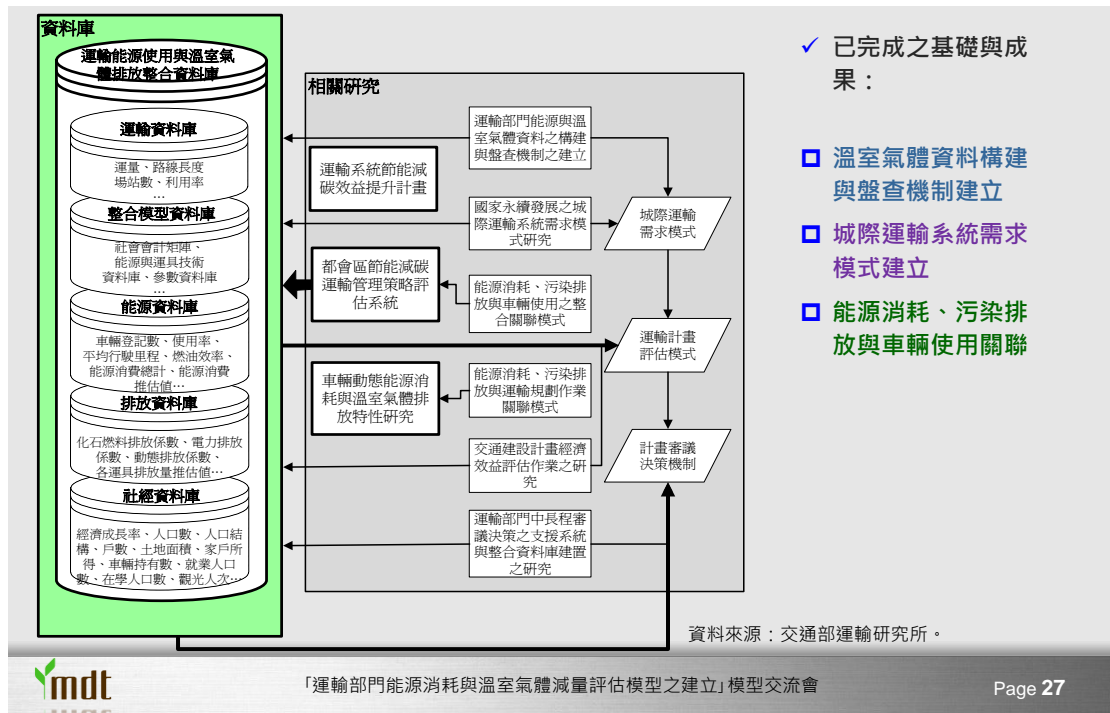
張四立(2009)系統動態模型(2/3)



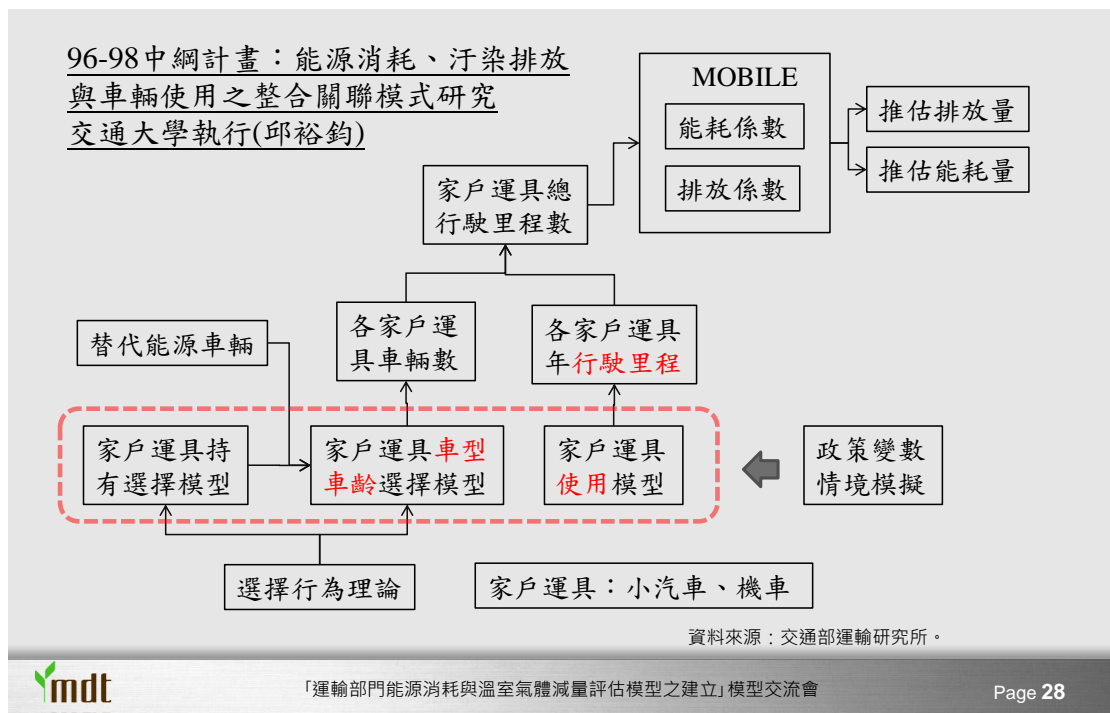
張四立(2009)系統動態模型(3/3)



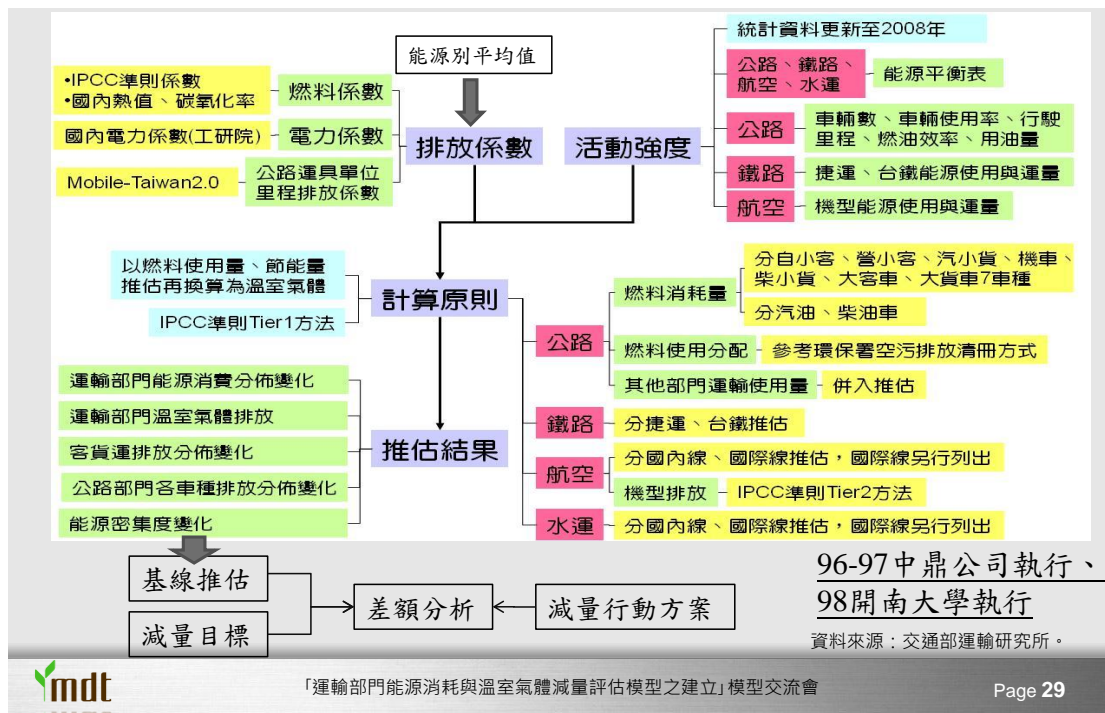
運研所能源相關模式



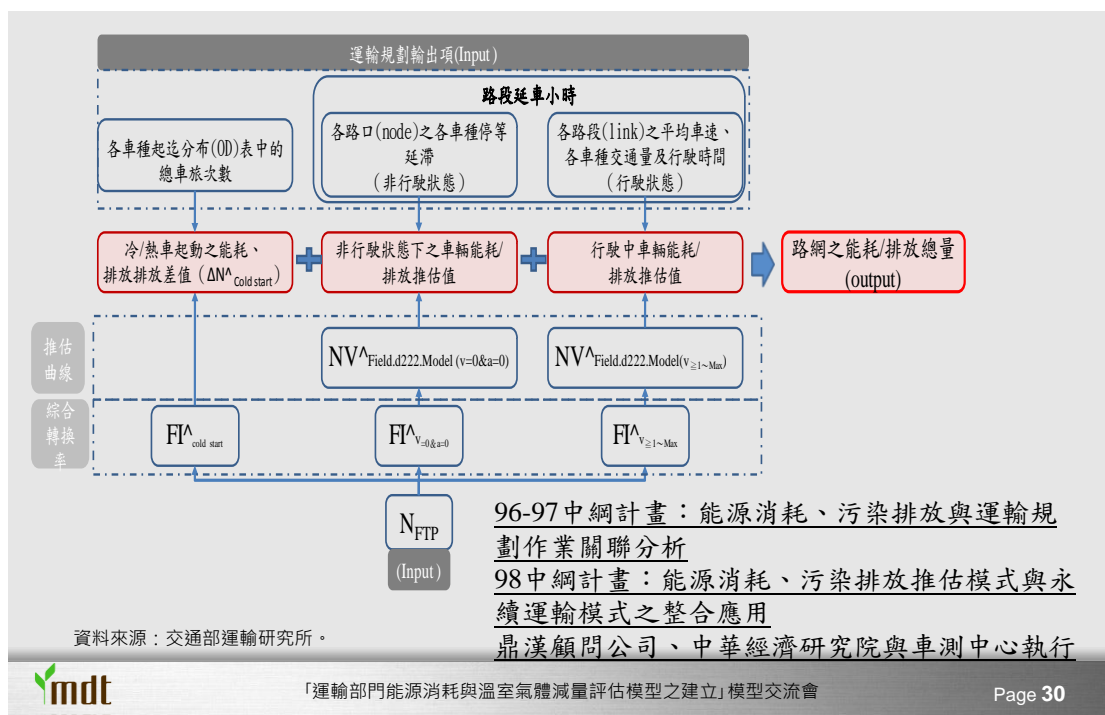
能源消耗、汙染排放與車輛使用之整合關聯模式研究



運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立



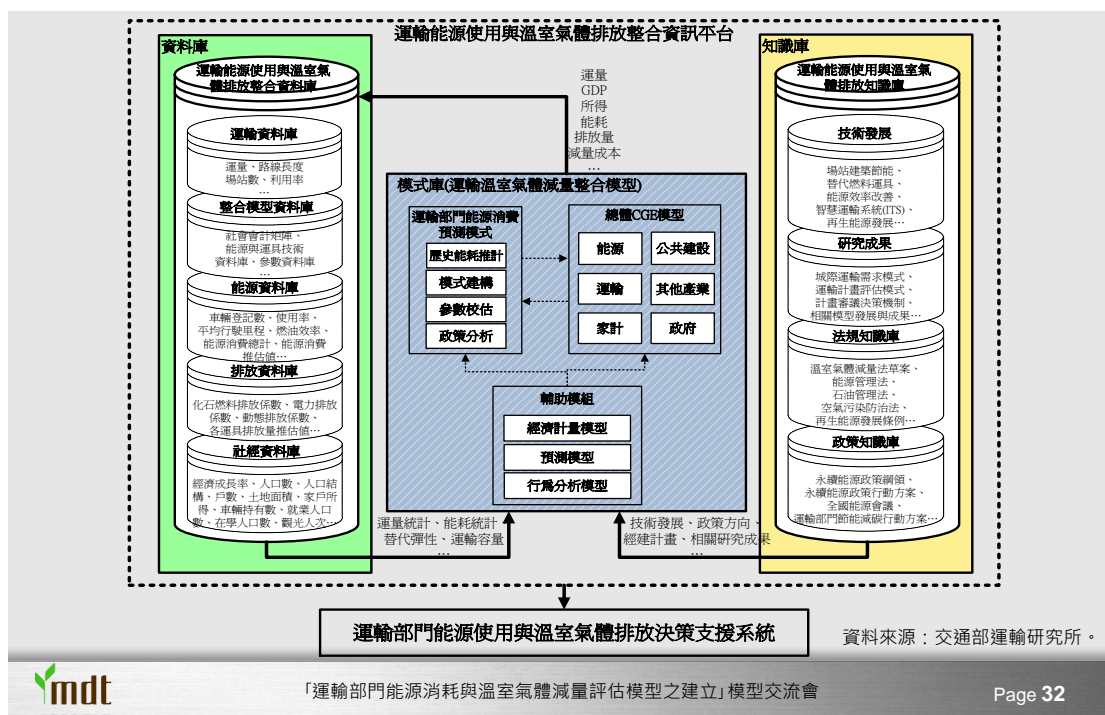
能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析



運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立

計畫名稱 比較項目	中鼎、開南執行計畫	交大執行計畫	鼎漢、中華經研、車測 中心執行計畫
研究範圍	整體運輸部門 Top-down	公路私人運輸(家戶): 小汽車、機車 Bottom-up	公路私人運輸: 小客車 Bottom-up
研究課題	能耗量、排放量	能耗量、排放量	能耗量、排放量
重要研究變量	次級資料 國家總計能耗值 總計平均能耗係數 總計平均排放係數	第一手資料 抽樣值建立模型 車型車齡車輛數 車型車齡行駛里程數	第一手資料 抽樣值建立模型 動態能耗係數 動態排放係數
模型關聯意義	總體經濟、社會屬性	家戶、運具屬性	運具、行車、道路屬性
分析與應用面	整體分析: 規劃層級 planning level 預測基線	局部分析: 規劃層級 planning level 政策情境模擬	局部分析: 營運層級 operation level、適宜在 有動態車流資料之分析
計畫間回饋	<div>總體層級政策評估與模式擴充</div> <div>← 小客車、機車車輛數與行駛里程</div>		資料來源: 交通部運輸研究所。

運研所能源科技計畫整體架構圖



五、交流會目的與期許

- ✓ 鑒於運輸部門承擔減量責任之重要性，邀請模型研發團隊與專家學者進行經驗交流，瞭解國內能源環境與經濟模型開發與應用現況。
- ✓ 為釐清運輸部門與其他部門在減量政策與評估背景之異同，懇請各領域專家學者針對以下議題提供精闢見解，以利運輸部門溫室氣體減量政策評估機制建立之完整性：
 - 模型基本架構與情境考量；
 - 運輸部門評估功能與機制設計；
 - 模型未來發展方向。

以上簡報

敬請指教

工研院團隊簡報

「工研院 MARKAL 模型之運輸部門能力建構與成果」



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

工研院MARKAL模型之運輸部門 能力建構與成果

工研院綠能所 周桂蘭 副研究員

2011.09.23

運研所模型交流會

版權所有 請勿翻印及轉載

內容大綱

- 工研院MARKAL模型發展與架構
- 工研院MARKAL運輸部門能力建構與成果
- 工研院MARKAL模型未來發展方向

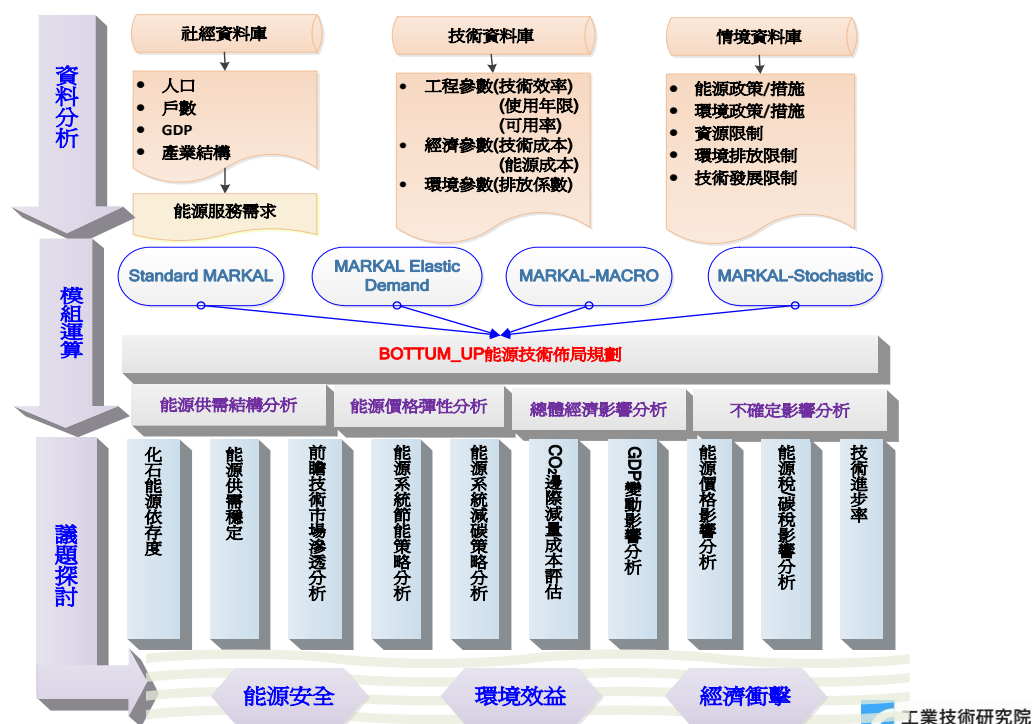


工業技術研究院

版權所有 請勿翻印及轉載

2

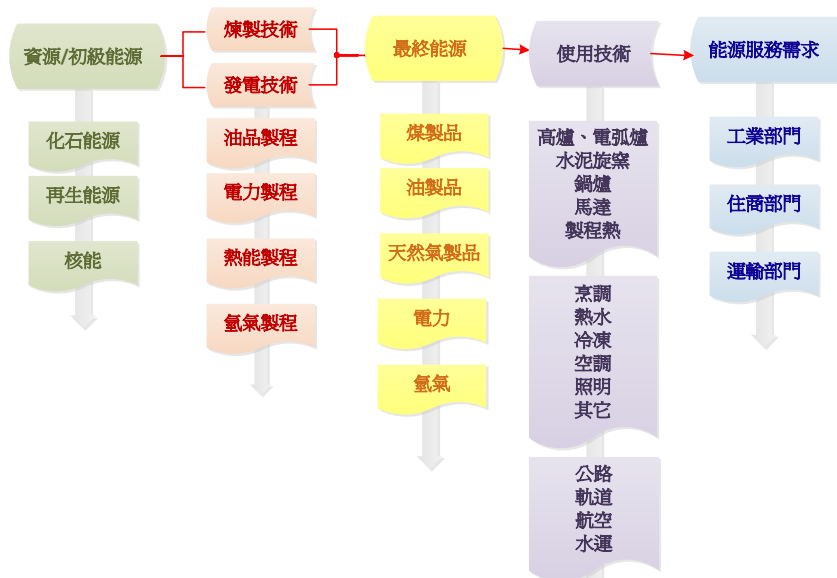
工研院MARKAL模型發展



版權所有 請勿翻印及轉載

3

工研院MARKAL模型架構



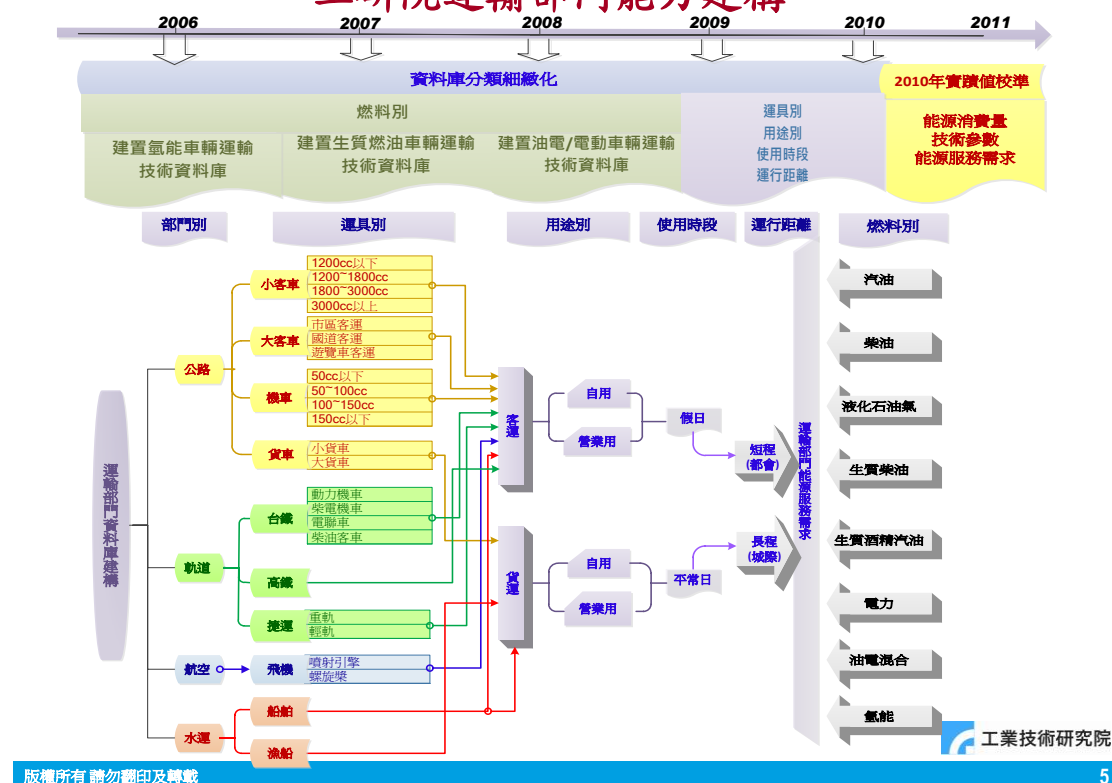
■ MARKAL模型是一個BOTTUM-UP的能源系統工程經濟模型，分析範圍含蓋部門別、技術別及能源別的上、中、下游的點、線、面互動關係。

■ 融合數學線性規劃及經濟學的市場供需均衡等理論，在滿足能源服務需求及其他限制條件下，同時求解全期能源系統成本最低的能源與技術組合。

版權所有 請勿翻印及轉載

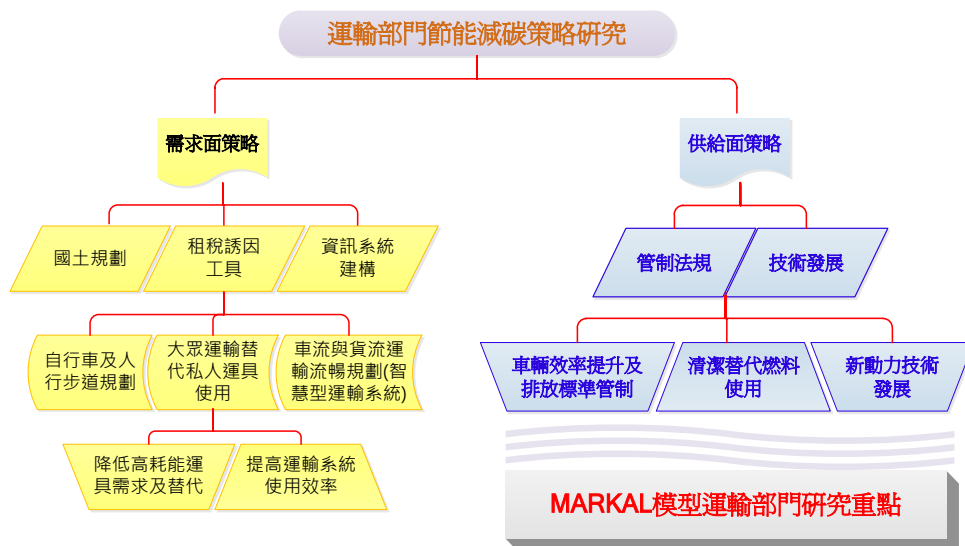
4

工研院運輸部門能力建構



5

工研院運輸部門節能減碳策略研究

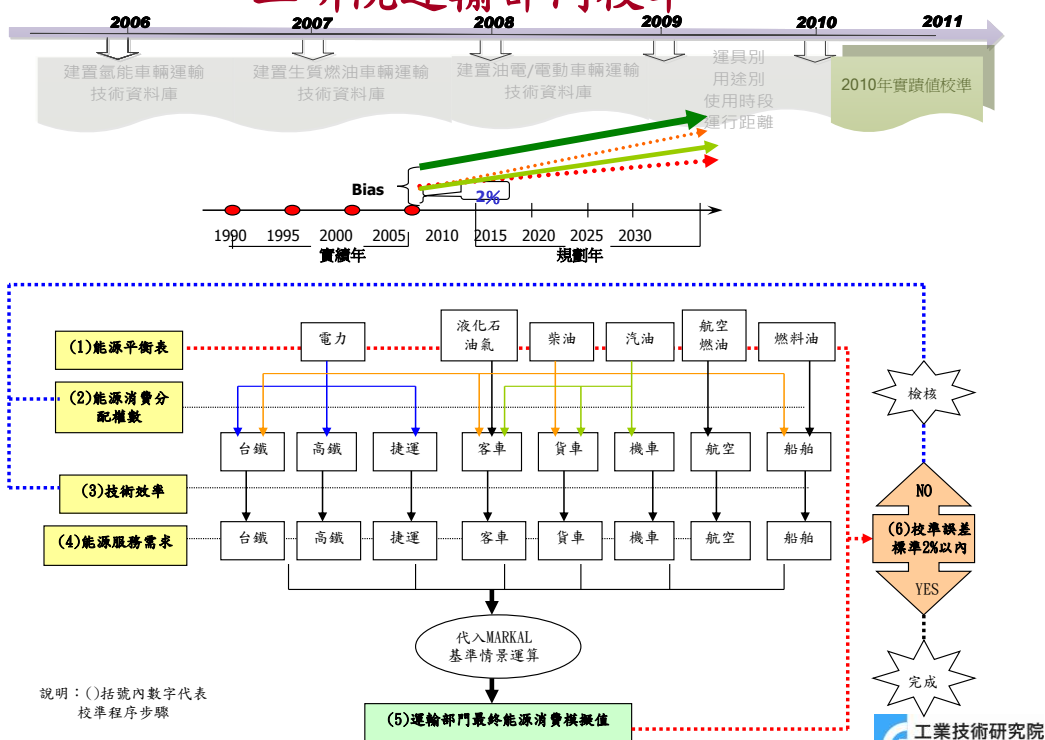


工業技術研究院

版權所有 請勿翻印及轉載

6

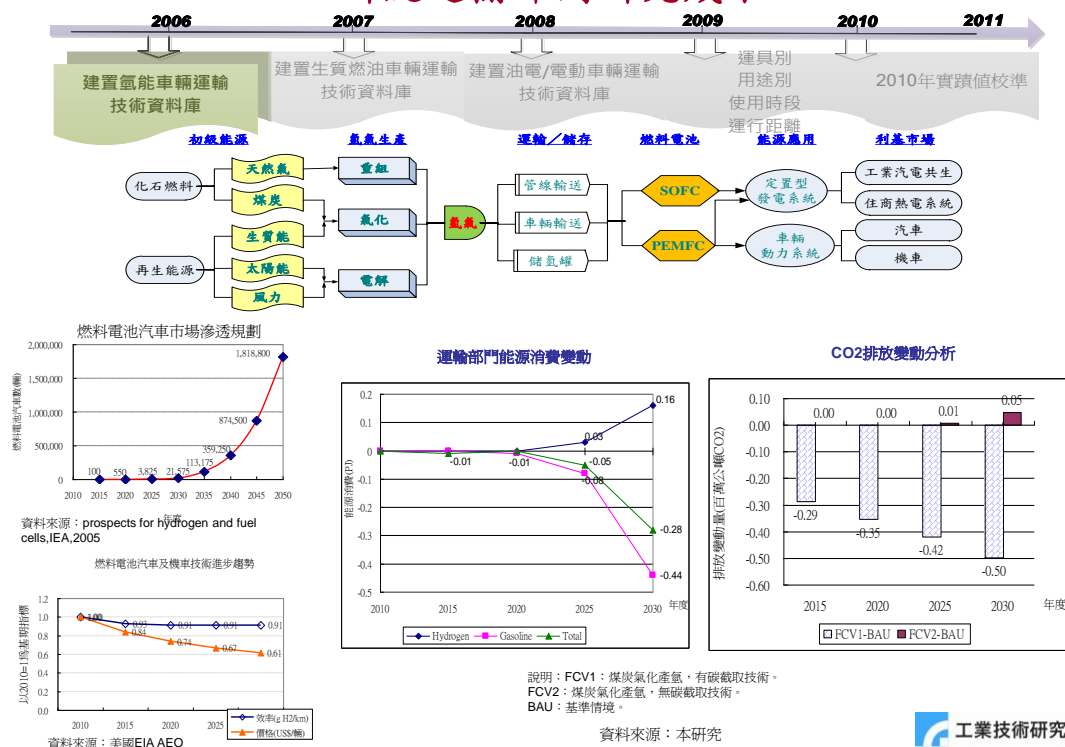
工研院運輸部門校準



版權所有 請勿翻印及轉載

7

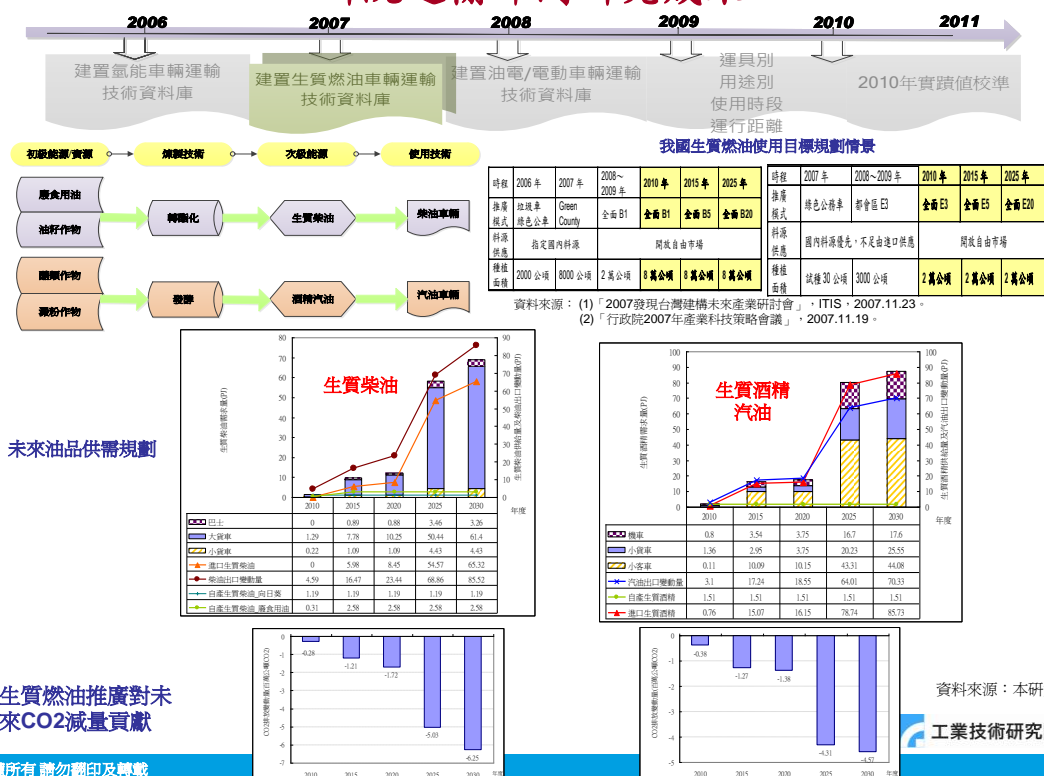
工研院運輸部門研究成果



版權所有 請勿翻印及轉載

8

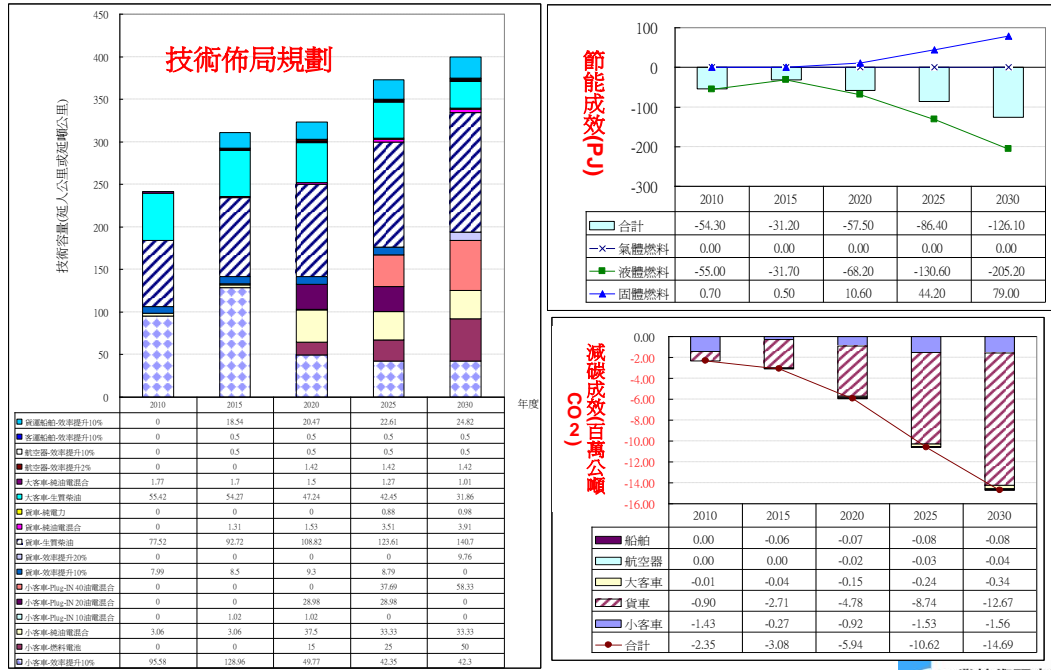
工研院運輸部門研究成果



工研院運輸部門研究成果



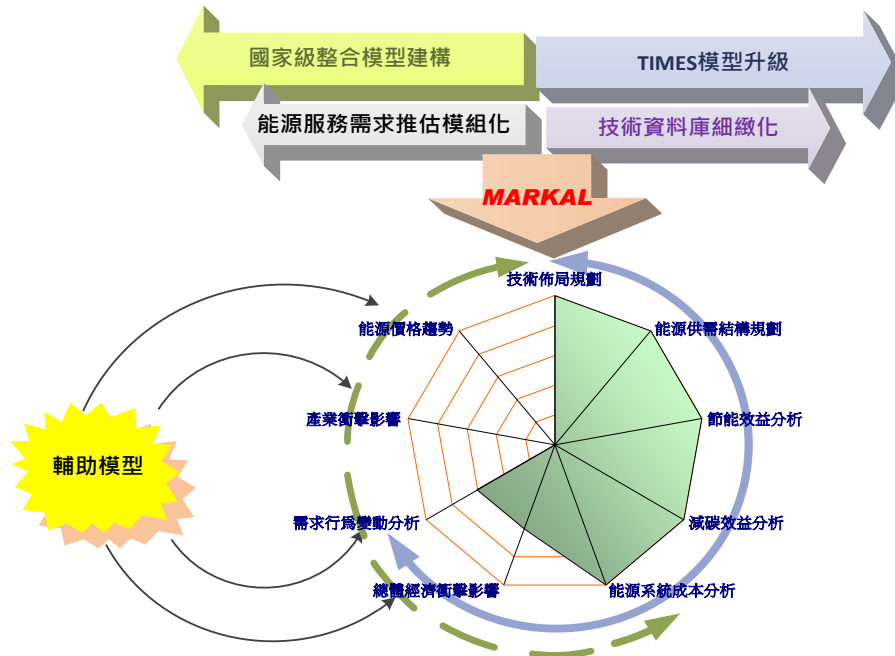
我國運輸部門整體節能減碳策略成效分析



版權所有 請勿翻印及轉載

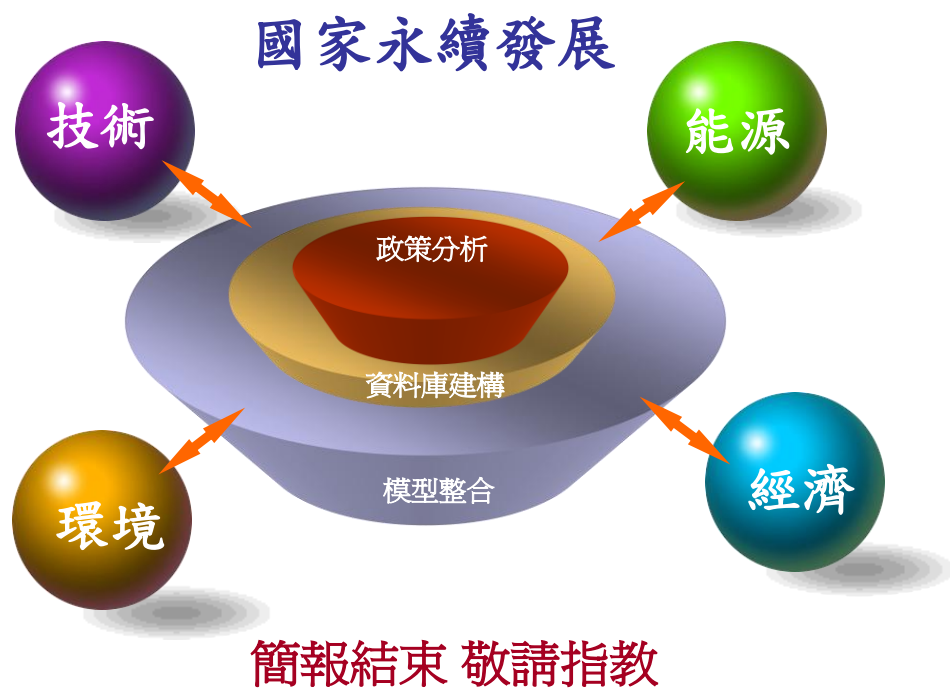
11

工研院MARKAL模型未來發展方向



版權所有 請勿翻印及轉載

12



核能研究所團隊簡報

「**INER-MARKAL** 模型運輸部門簡介」

INER-MARKAL模型 運輸部門簡介

核研所 能源系統與經濟研究室

葛復光、林忠漢、邱戊吉

2011.09.23



行政院原子能委員會核能研究所

1

簡報大綱

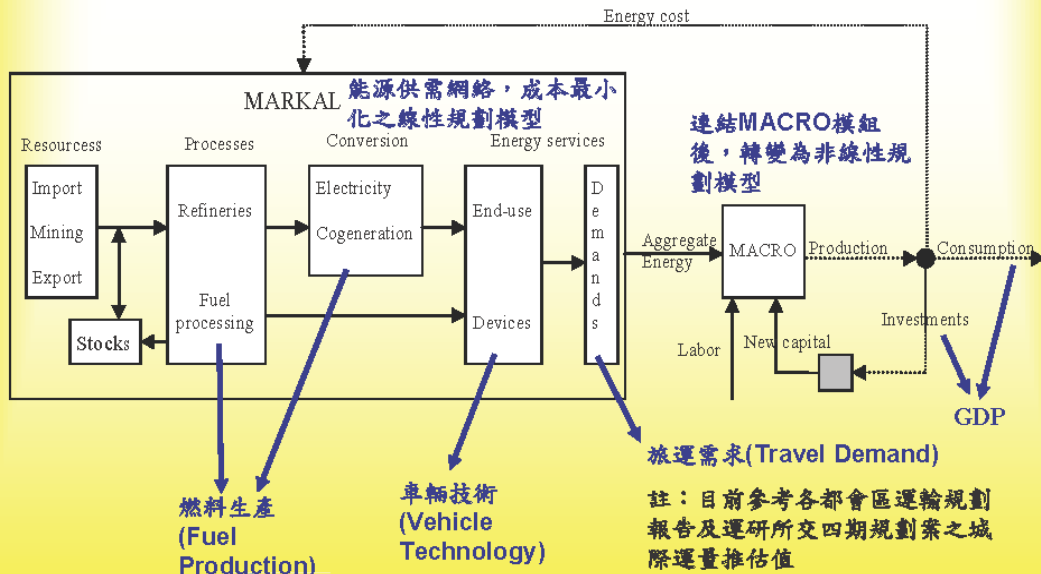
- INER-MARKAL模型運輸部門架構
- MARKAL模型之運輸部門評估功能
- 基線情景假設
- 基線與減量情景模擬結果
- MARKAL模型發展方向



行政院原子能委員會核能研究所

2

INER-MARKAL運輸部門模型架構 -運輸相關上下游部門

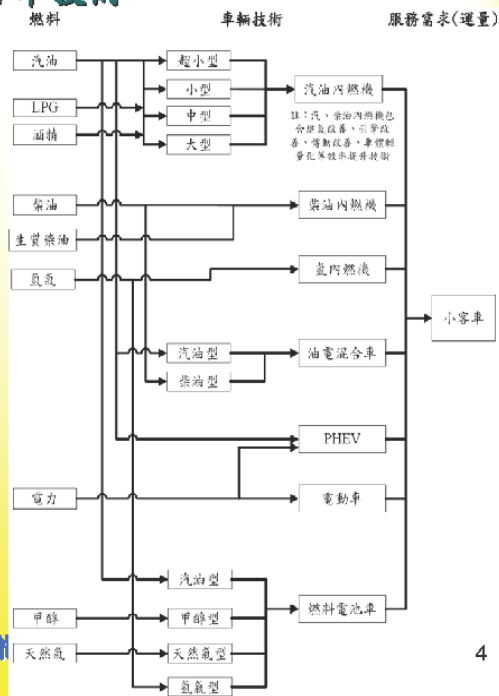


行政院原子能委員會核能研究所

3

INER-MARKAL運輸部門架構 -小客車技術

- 小客車技術主要包含三類：
 - 內燃機(汽/柴/氫氣)
 - 電動車(HEV/PHEV/BEV)
 - 燃料電池車(汽油/甲醇/天然氣/氫氣)
- 燃料電池車可加裝重組器(On-Board Reformer)，將其他燃料轉換為氫氣後加以使用
- 汽柴油內燃機可選用替代燃料：
 - LPG
 - 生質酒精(Ethanol)
 - 生質柴油(Bio-Diesel)



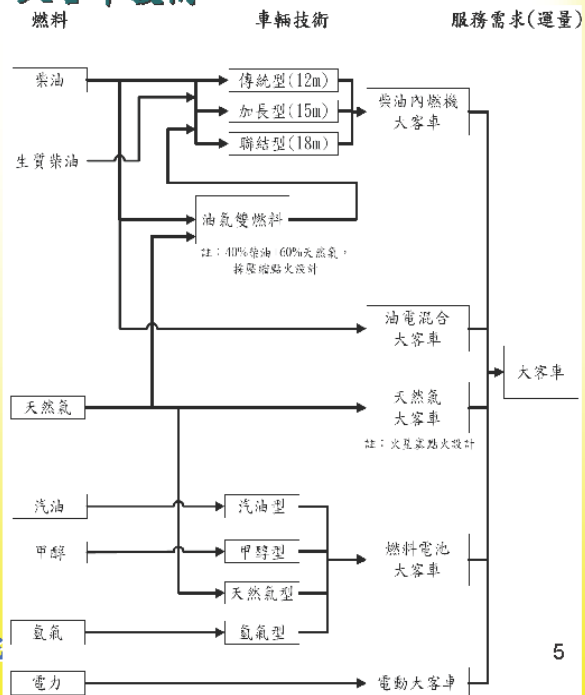
行政院原子能委員會核能研究所

4

INER-MARKAL運輸部門架構

-大客車技術

- 大客車技術主要包含三類：
 - 內燃機(柴油/天然氣)
 - 電動車(HEV/BEV)
 - 燃料電池車(汽油/甲醇/天然氣/氫氣)
- 燃料電池大客車可加裝重組器(On-Board Reformer)，將其他燃料轉換為氫氣後加以使用
- 柴油內燃機大客車可選用替代燃料：
 - 生質柴油(Bio-Diesel)
 - 油氣雙燃料(40%柴油+60%天然氣)

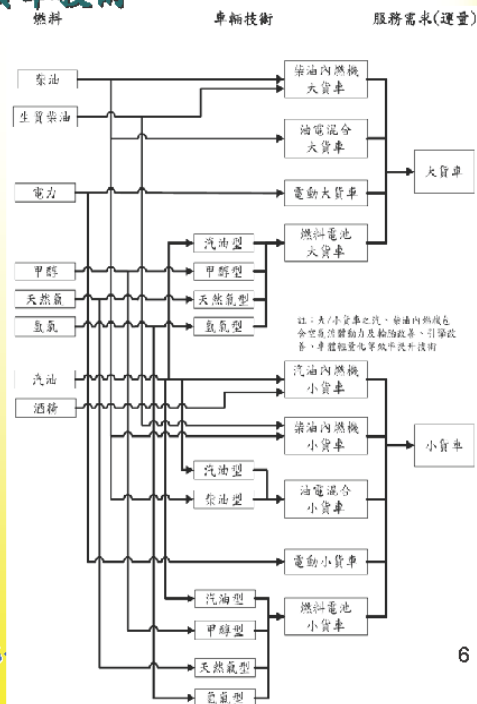


5

INER-MARKAL運輸部門架構

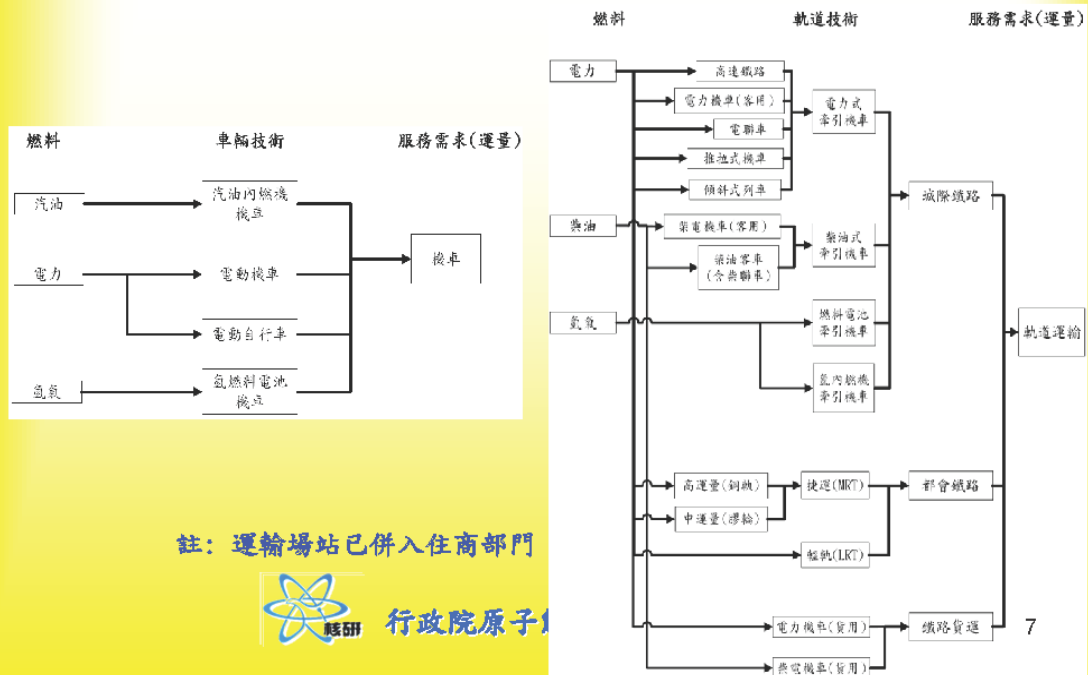
-大/小貨車技術

- 大小貨車技術亦包含三大類：
 - 內燃機(汽/柴油，大貨車僅柴油)
 - 電動車(HEV/BEV)
 - 燃料電池車(汽油/甲醇/天然氣/氫氣)
- 燃料電池貨車可加裝重組器(On-Board Reformer)，將其他燃料轉換為氫氣後加以使用
- 汽柴油內燃機貨車可選用替代燃料：
 - 生質酒精(Ethanol)
 - 生質柴油(Bio-Diesel)

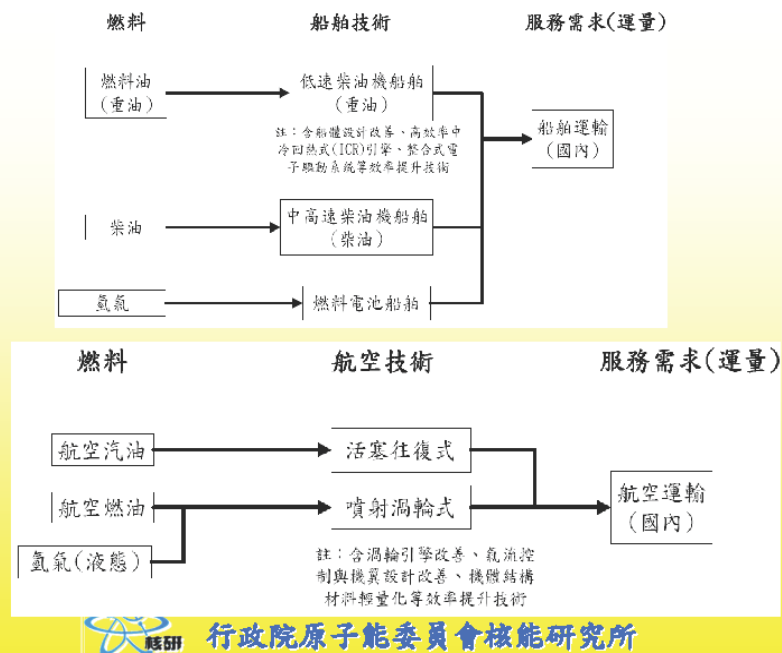


6

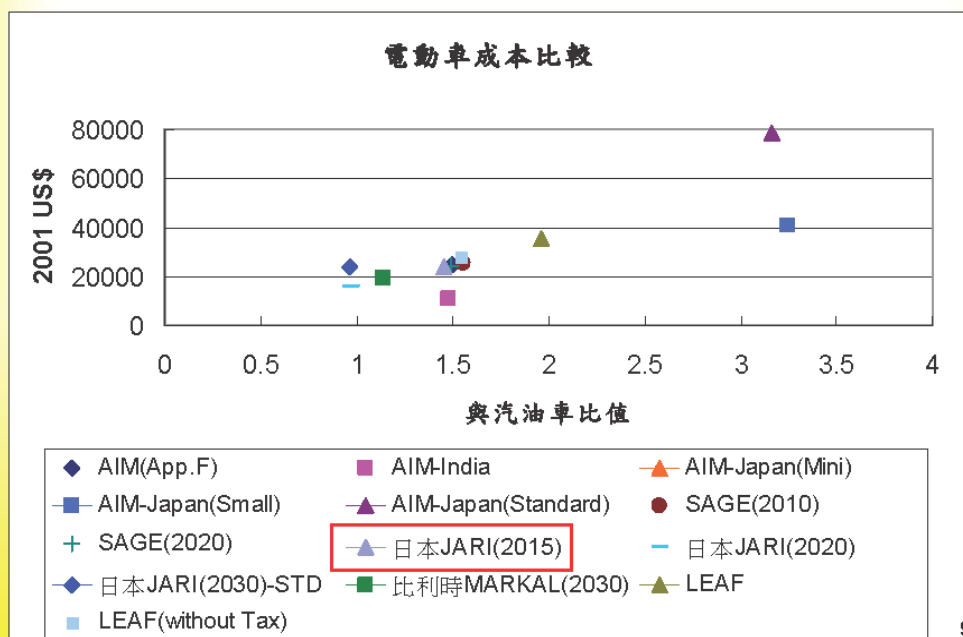
INER-MARKAL運輸部門架構 -機車、軌道技術



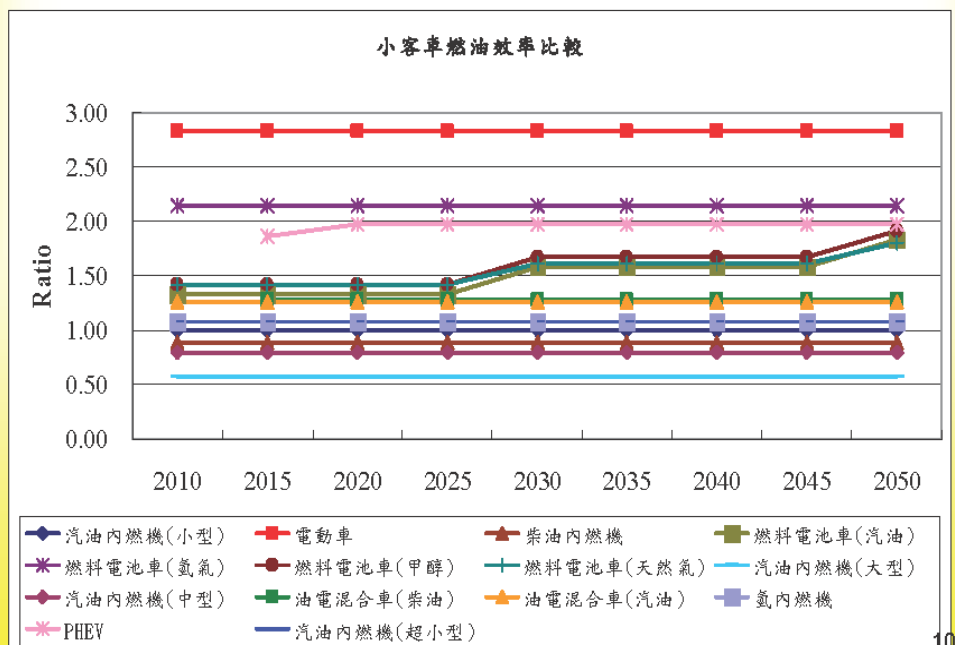
INER-MARKAL運輸部門架構 -船舶、航空技術



INER-MARKAL運輸部門架構 -不同資料之技術成本比較(以電動車為例)

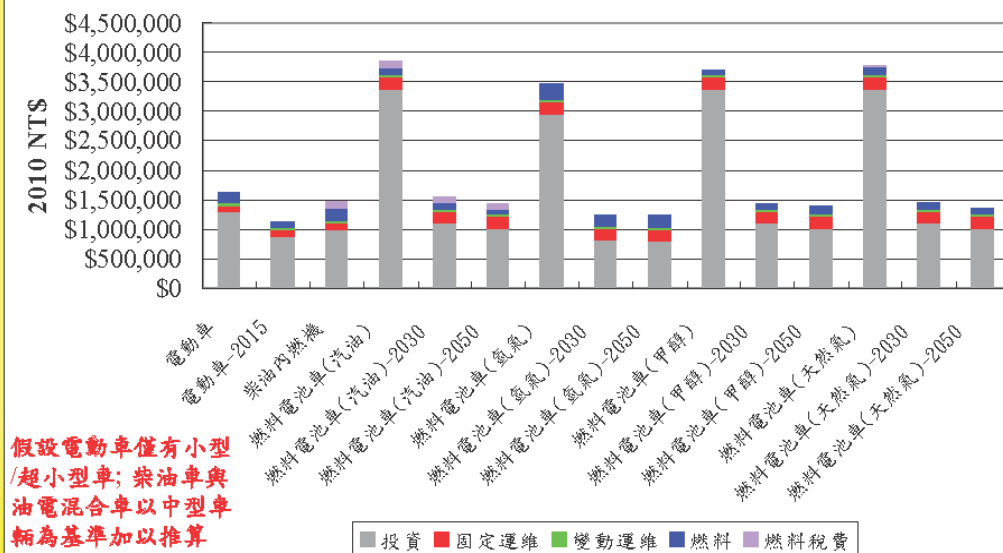


INER-MARKAL運輸部門架構 -技術效率比較(以小客車為例)



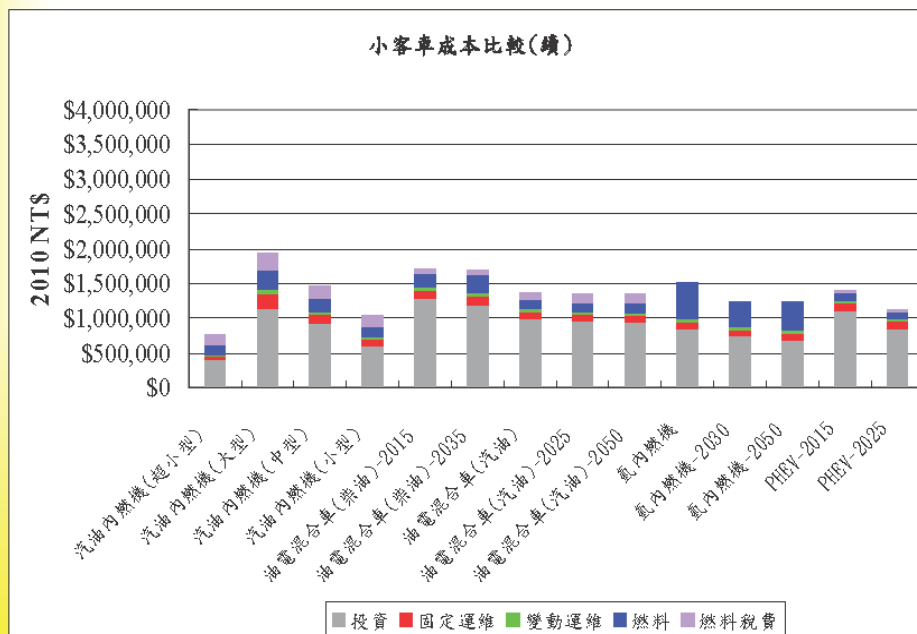
INER-MARKAL運輸部門架構 -技術成本比較(以小客車為例)

燃料稅費含貨物稅、石油基金、空污費、土污費、法定盈餘、營業稅等 小客車成本比較



INER-MARKAL運輸部門架構 -技術成本比較(以小客車為例)

小客車成本比較(續)



MARKAL模型之運輸部門評估功能

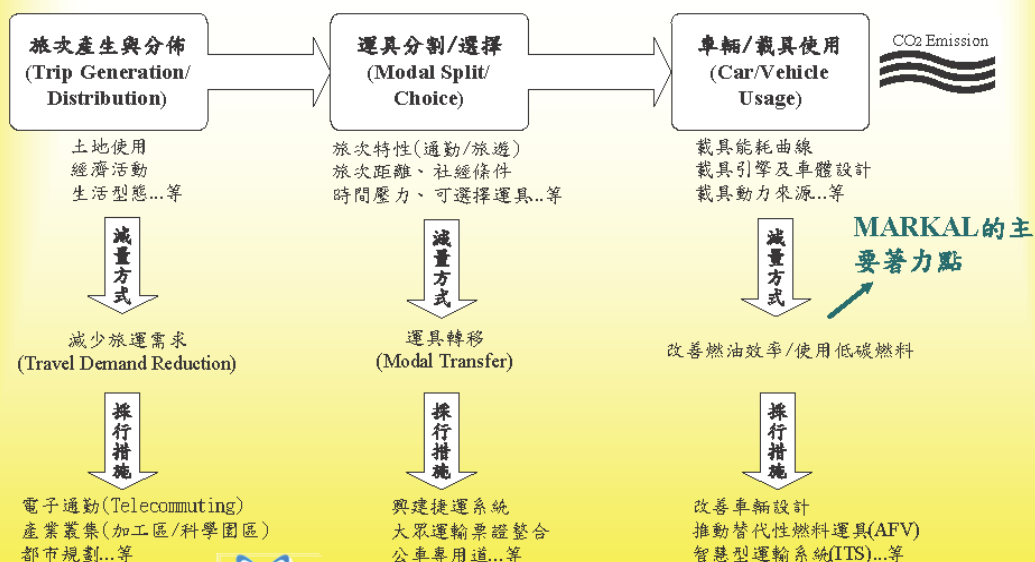
- 污染物減量政策綜合效益評估
 - 溫室氣體(GHG):CO₂、CH₄、N₂O
 - SOx、NOx、PM...etc.
 - 政策綜效(Synergy)及Trade-Off
- 分析新車輛技術的市場競爭力
 - 瞭解新車技術進入市場的成本門檻
 - 協助研擬後續推廣策略(燃料/購車補貼、碳稅/燃料稅徵收)
- 瞭解在CO₂排放限制下，如何以最低成本達成該目標
 - 引導未來運輸部門能源結構轉型之政策研擬
 - 比較現行政策的成本有效性及市場接受度
 - 整體評估(ex.用電排放、FCV、氫能、LNG上限、經濟衝擊、3E評估等)



行政院原子能委員會核能研究所

13

MARKAL模型之運輸部門評估功能 運輸部門排放流程圖



行政院原子能委員會核能研究所

14

基線情景假設

• 運輸部門技術發展

- 內燃機: 允許技術升級(提升燃油效率)及使用替代燃料(LPG或生質燃料); 小客車僅中大型車輛採用柴油內燃機
- 電動車: 小客車僅小型車輛採用BEV
- 燃料電池車: 至2030年時發展成熟(成本下降); 允許使用車上重組器產氫
- 小客車限制小型及中型車輛約各佔一半

• 初級能源假設

- LNG: 假設最小用量為1100萬公噸(同2010年)
- 再生能源: 假設最小用量為3302.6 MW(同2010年)

• 電力部門技術發展

- 碳捕捉與封存(CCS): 假設2025年CCS技術成熟可用
- 核一至三廠不延役, 核四商轉, 未來不興建核電廠

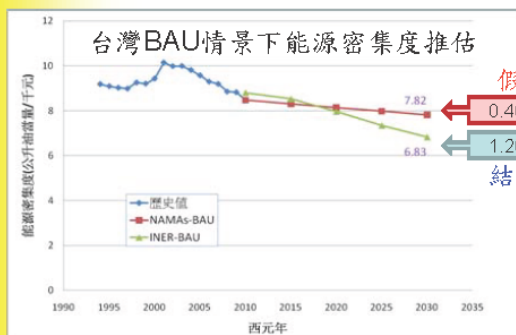


行政院原子能委員會核能研究所

15



基線情景假設-能源密集度比較



BAU情景下能源密集度變化率
(FEC/GDP與TPES/GDP) 推估

國家	90-00	00-05	05-15	15-30	05-30
TAIWAN	*-1.6	1.4	-0.8	-1.4	-1.2
	**0.9	1.8	-1.2	-1.6	-1.5
JAPAN	-0.0	0.2	-1.1	-1.5	-1.3
	0.3	0.1	-0.7	-1.2	-1.0
KOREA	1.0	-2.5	-1.9	-1.5	-1.6
	1.2	-2.1	-1.9	-1.5	-1.7
CHINA	-8.0	-2.0	-4.2	-3.1	-3.5
	-7.2	-0.3	-3.9	-2.9	-3.3
AUSTRALIA	-1.4	-1.6	-1.1	-0.5	-0.8
	-1.2	-1.5	-0.2	-0.9	-0.6
U.S.	-1.4	-2.0	-1.2	-2.5	-2.0
	-1.4	-2.0	-1.3	-2.3	-1.9
APEC	-2.0	-1.2	-1.8	-2.2	-2.0
	-1.7	-0.6	-1.6	-2.1	-1.9

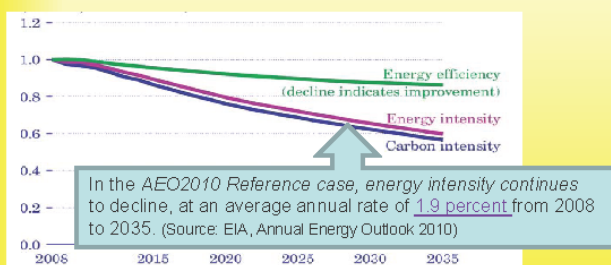
Source: APERC analysis 2009

註: FEC (Final energy consumption)

TPES (Total Primary Energy Supply)

* FEC/GDP(%)

** TPES/GDP(%)



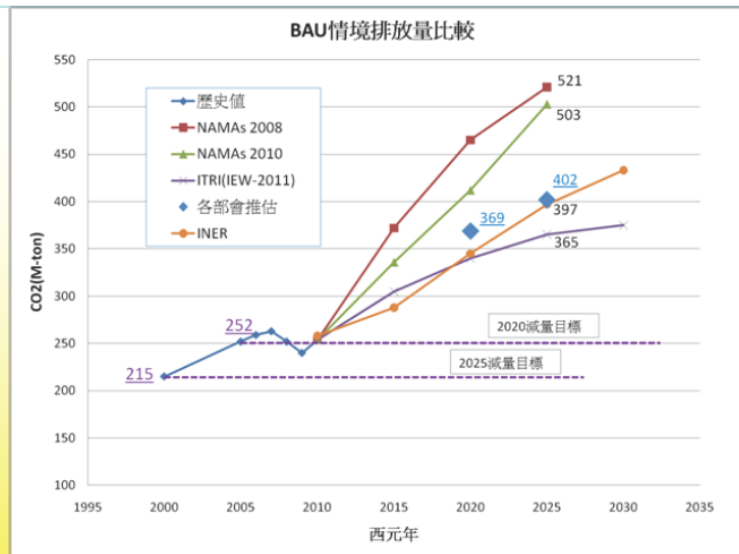
核研所數據為初步分析結果, 請勿引用

行政院原子能委員會核能研究所

16

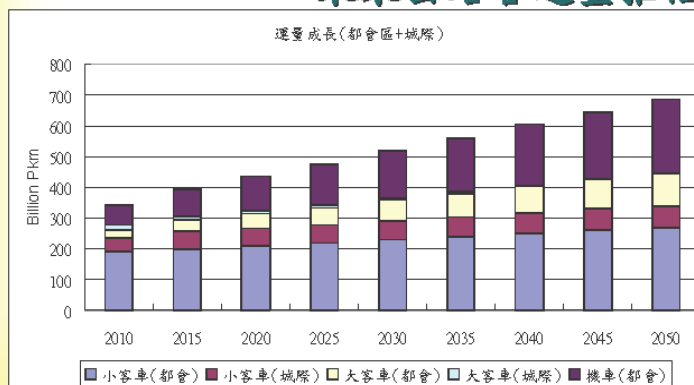


基線情景假設-CO₂排放比較

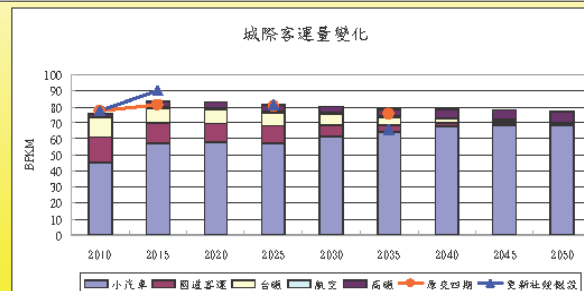


註：各部會推估指各部門依其專業及部門可能發展潛勢，推估未來**不包含減量措施之預估排放量**。

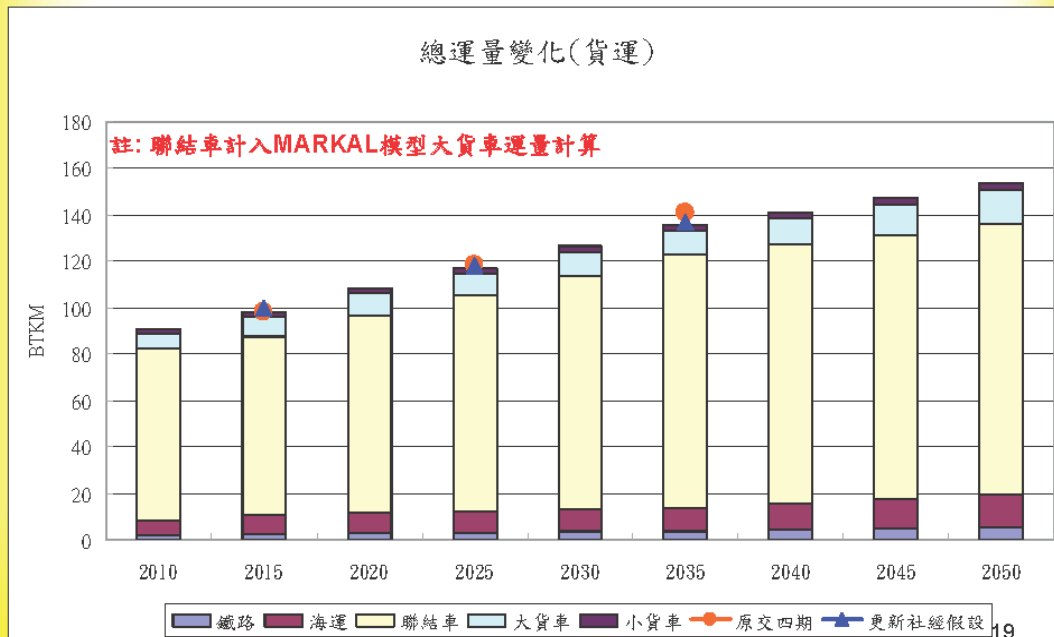
基線情景假設 -未來公路客運量推估



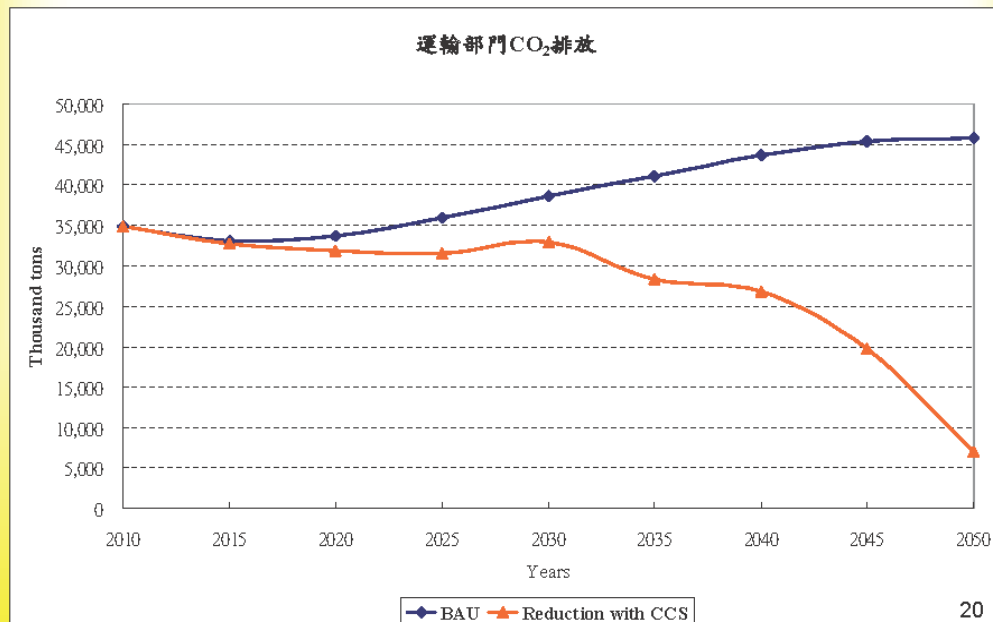
都會區運輸規劃報告中，僅有中期(2025年)數值，其餘年份目前暫採線性內/外插法加以推算。



基線情景假設 -未來公路貨運量推估

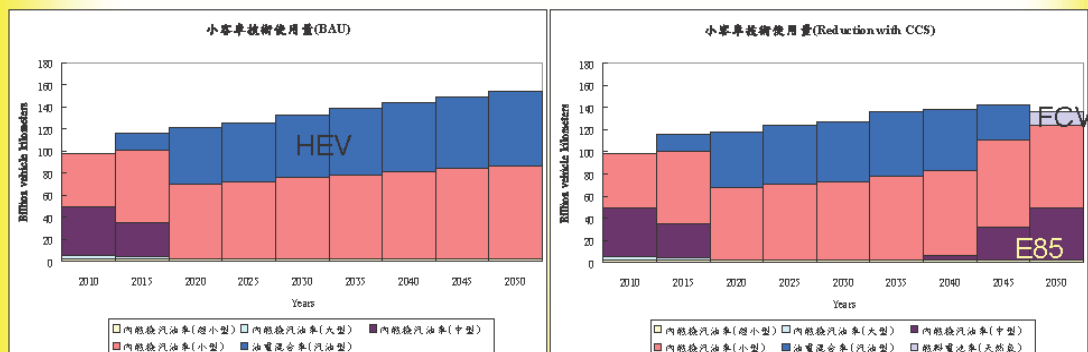


基線與減量情景模擬結果 -運輸部門排放量



初步分析結果，請勿引用

基線與減量情景模擬結果 -小客車技術



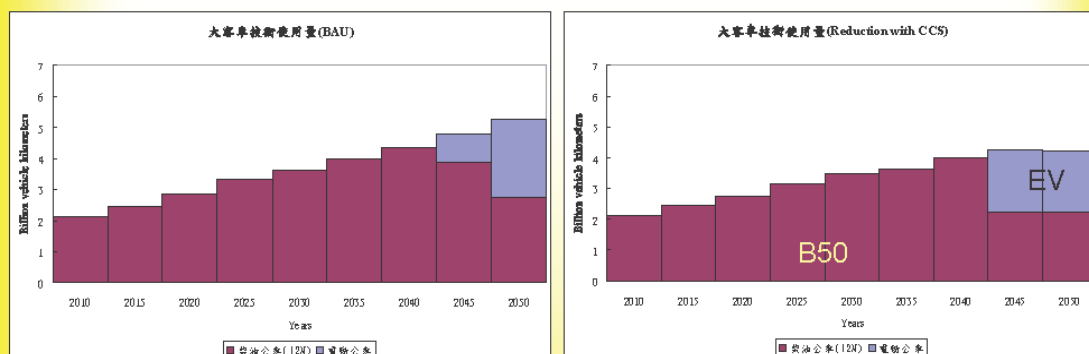
初步分析結果，請勿引用



行政院原子能委員會核能研究所

21

基線與減量情景模擬結果 -大客車技術



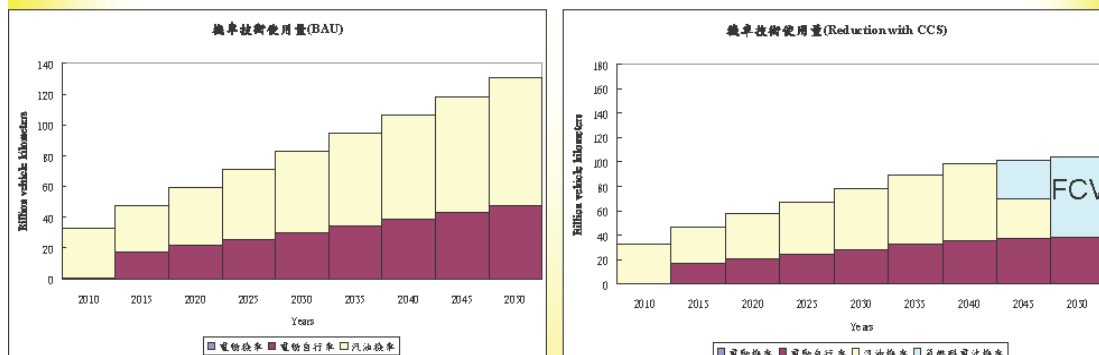
初步分析結果，請勿引用



行政院原子能委員會核能研究所

22

基線與減量情景模擬結果 -機車技術



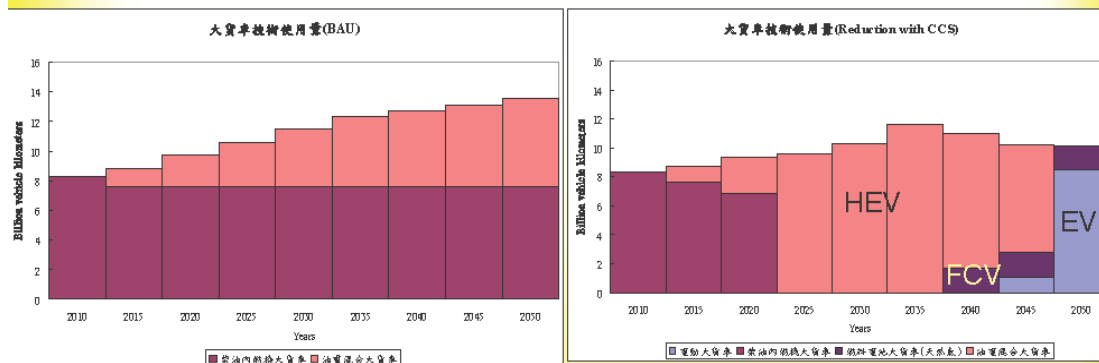
初步分析結果，請勿引用



行政院原子能委員會核能研究所

23

基線與減量情景模擬結果 -大貨車技術



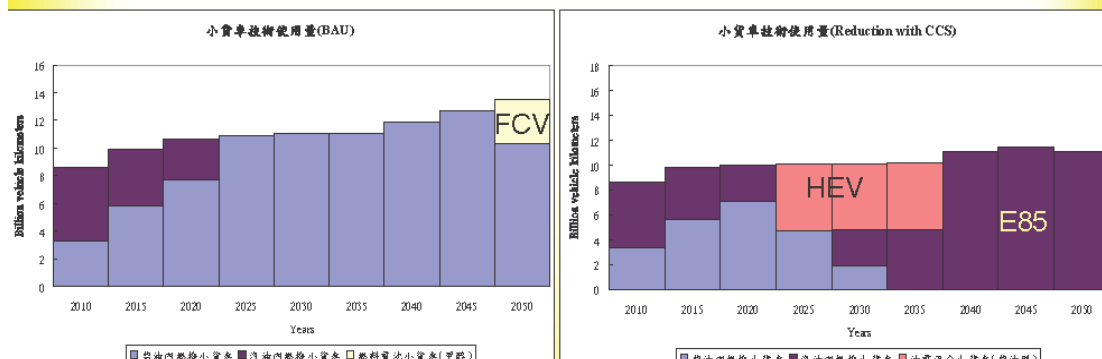
初步分析結果，請勿引用



行政院原子能委員會核能研究所

24

基線與減量情景模擬結果 -小貨車技術



初步分析結果，請勿引用



行政院原子能委員會核能研究所

25

MARKAL模型發展方向

- **Standard MARKAL**
 - Linear Programming
 - 部份均衡(Partial Equilibrium): 給定外生能源服務需求
 - 假設完全競爭市場
- **MARKAL-MACRO**
 - Non-linear Programming
 - 外接MACRO模組: 以生產函數代表全國產出，為能源與勞動/資本之CES函數
 - 依價格彈性決定各需求量的減少幅度



行政院原子能委員會核能研究所

26

MARKAL模型發展方向(續)

- **MARKAL with Elastic Demand (MED)**

- 指定各需求之價格彈性(Price Elasticity)
- 將非線性之目標式加以線性近似(piece-wise linear approximation)後,再用線性規劃方法求解
- 另可加入各需求之所得彈性(income elasticity), 稱為EDI

- **Stochastic MARKAL**

- 以隨機規劃 (Stochastic programming) , 處理未來情景發展之不確定性(Uncertainty)
- 利用決策樹(Decision Tree)的概念,針對未來可能發展的數個情景設定發生機率,求解時以期望成本(Expected Cost)最小化為目標
- 利用兩階段隨機規劃(Two-Stage Stochastic Programming)進行求解



行政院原子能委員會核能研究所

27



**報告完畢
敬請指教**

千禧團隊簡報

「運輸部門溫室氣體減量評估模型」

交通部運輸研究所
「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立」
模型交流會



運輸部門溫室氣體減量 評估模型



千禧決策科技

黃宗煌

大綱



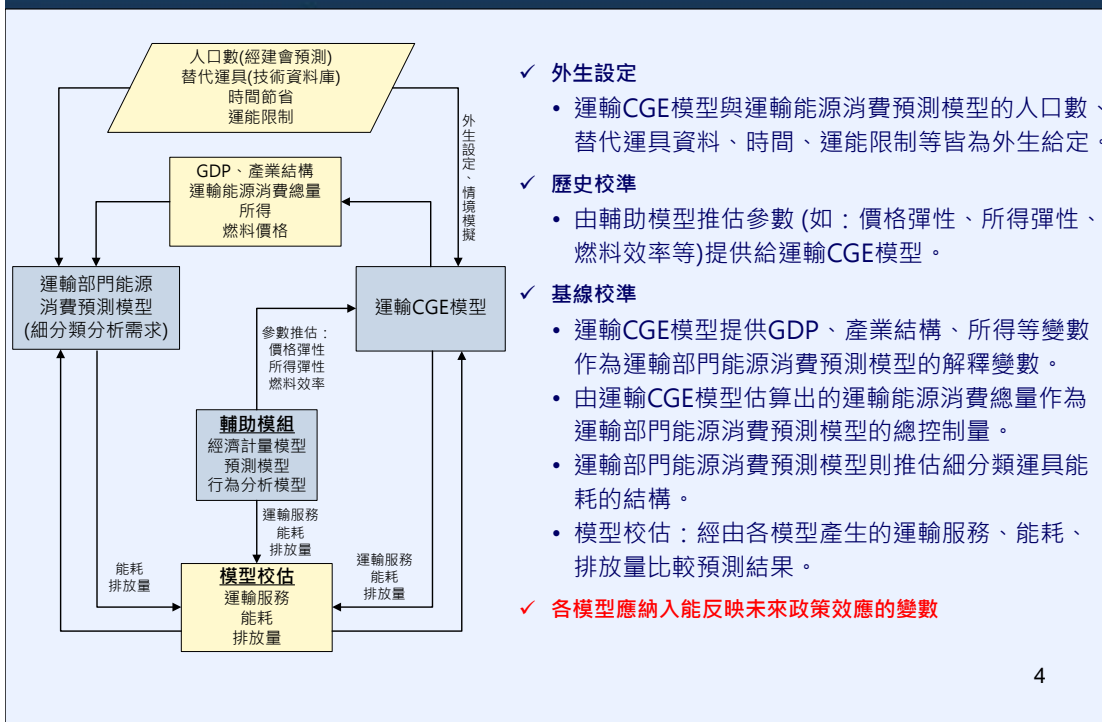
- 模型功能與特色
- 模型基本架構
- 運輸部門機制設計
- 基準情境
- 未來發展方向

模型功能與特色

- 考慮經濟發展、產業活動、技術條件、其他部門等外在因素對運輸部門排放量之影響
- 在上述外部因素影響下，運輸部門最適當的減量目標與減量幅度
- 探討運輸部門可行且有效的減量措施與方案，並評估減量成效與減量成本
- 凸顯運輸需求特性，強化運輸服務選擇決策
- 整合適當工具，提供分析所需資訊

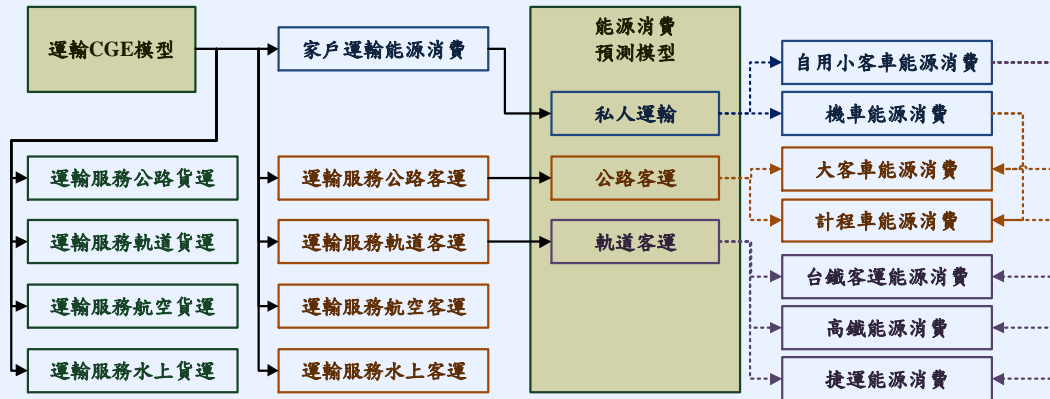
3

模型整體架構(1/2)



4

模型整體架構(2/2)

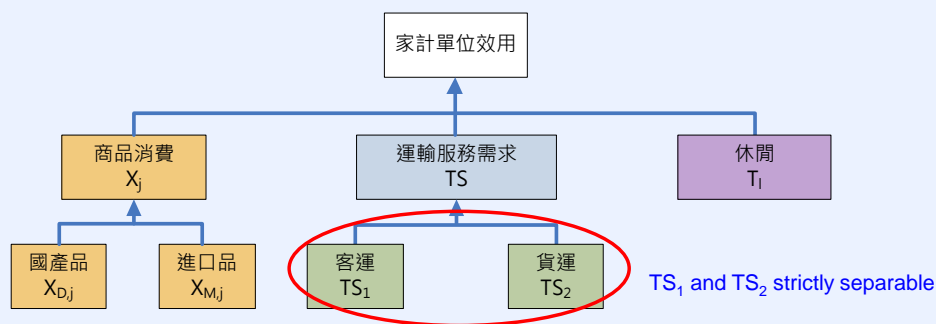


- 1.實線：運輸CGE模型輸出變數
- 2.虛線：運輸部門能源消費預測模型輸出變數

資料來源：本研究繪製。

5

家計單位運輸服務需求決策：效用最大化



$$\max_{X, TS, T_l} U = U(V(X, TS_1, T_l), TS_2)$$

$$s.t. \sum_j P_{X,j} \cdot X_j + C_1 \cdot TS_1 + C_2 \cdot TS_2 = w \cdot T_w + r \cdot K$$

$$T_w + T_l + T_1 + T_2 = \bar{T}$$

$$\rightarrow TS_i = TS_i(C_i, T_i; \Psi)$$

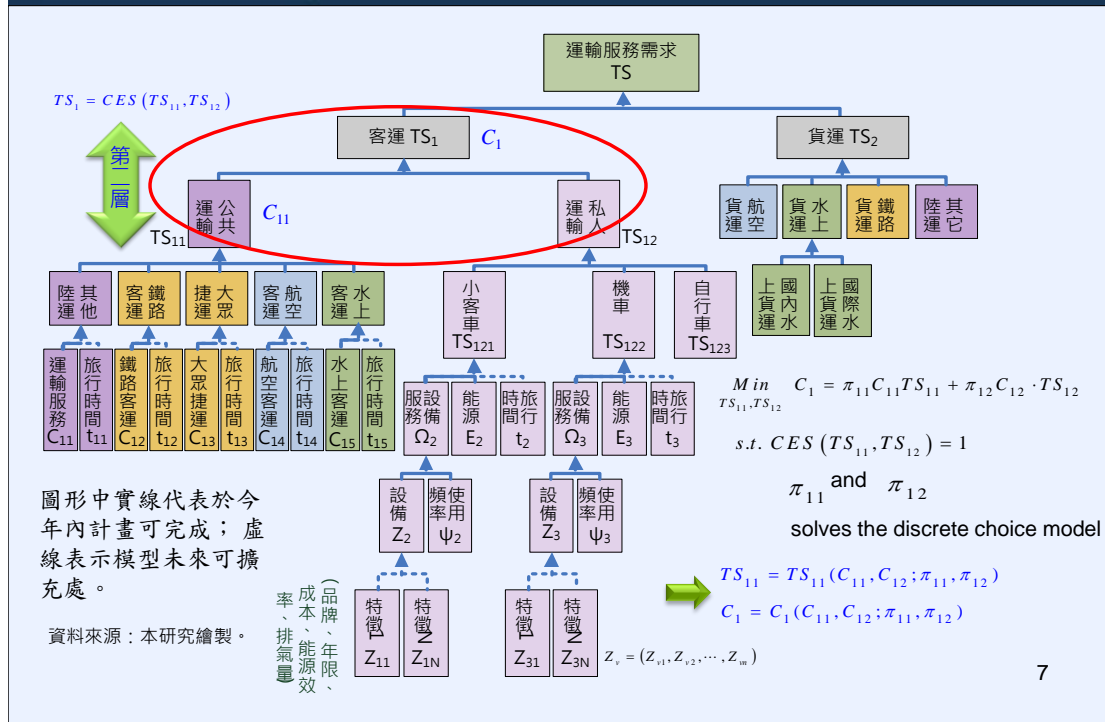
資料來源：本研究繪製。

➤ **第一層：**在滿足**所得限制**與**時間限制**下，選擇使效用最大的最適商品消費量 (X)、運輸服務需求 (TS) 與休閒時間 (T_l)

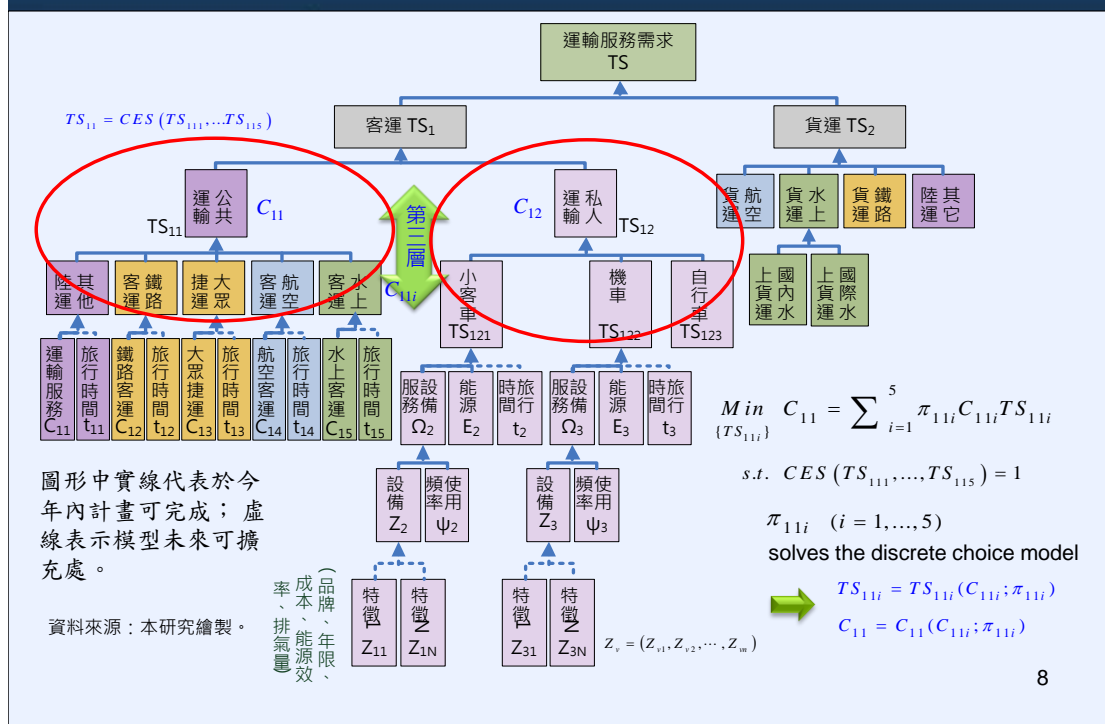
時間限制式：工作時間、休閒時間與行車時間之總和受限於時間賦與 \bar{T}

6

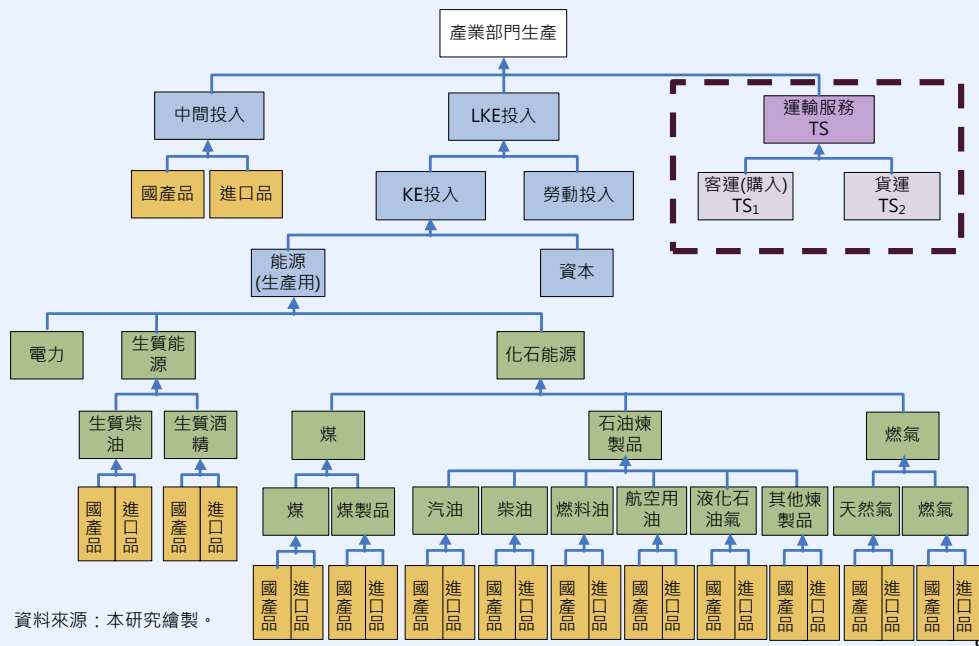
家計單位運輸服務需求決策：公共運輸與私人運輸



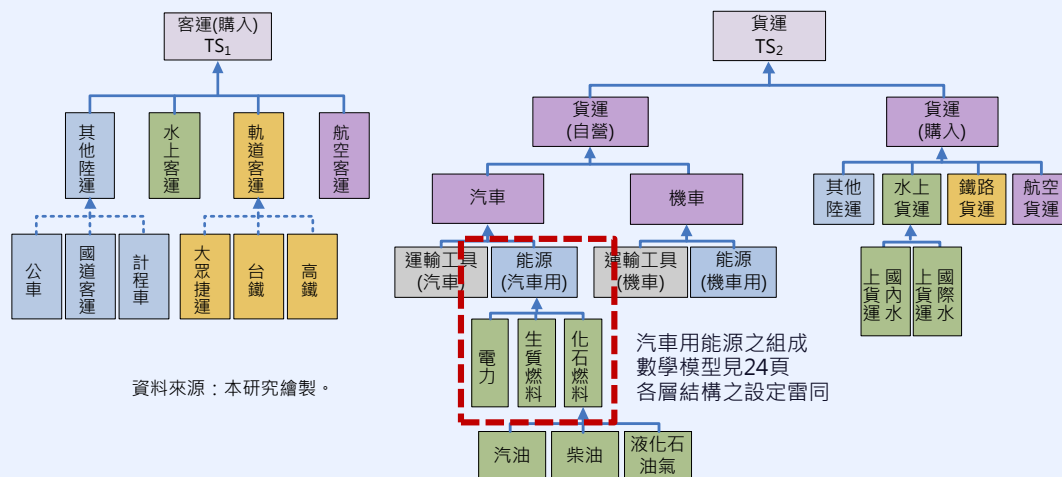
家計單位運輸服務需求決策：運輸型態



一般產業部門生產架構(1/2)



一般產業部門生產架構(2/2)



能源消費預測模型(1/2)

► 聯立方程式(Simultaneous equations)迴歸模型

- 近似無相關迴歸模型(SUR)
(Seemingly Unrelated Regression)
- 各運具之替代性或互補性
- 各運具之油電能源使用具有相關性
- 例如：某些運具能源消費可能因油價變動而有相關性的影響

$$E_t = \alpha_0 \prod_{i=1}^n x_{it}^{\beta_i} \prod_{j=1}^m \alpha_j^{z_{jt}} \quad (1)$$

E_t ：能源 E 在 t 年的消費量

x_{it} ：自變數 x_i 在 t 年的值，假設自變數有 n 個($i=1,2,\dots,n$)

z_{jt} ：政策變數 z_j 在 t 年的值，其值為0或1，1表示 t 年已實施政策 z_j ，
0則否，假設變數共有 m 個($j=1,2,\dots,m$)

α_0 、 β_i 、 α_j ：為模型參數

$$\ln E_t = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln x_{it} + \sum_{j=1}^m z_{jt} \ln \alpha_j \quad (2)$$

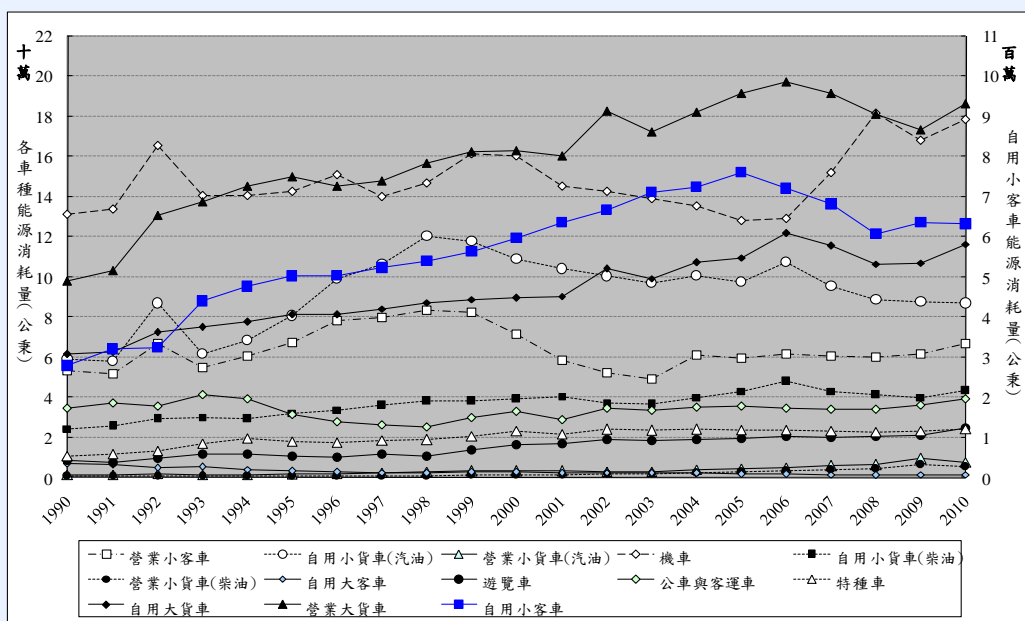
11

能源消費預測模型(2/2)

	能源別能源總計消費量		運具別能源消費量模型(公路運輸)	
	變數名稱	單位	變數名稱	單位
因變數	公路汽油	公乘	汽油自用小客車	公乘
	公路柴油		汽油營業小客車	
	鐵路電力		汽油自用小貨車	
	鐵路柴油		汽油營業小貨車	
	國內航空燃油		汽油機車	
	國際航空燃油		柴油自用小貨車	
	國內水運燃油		柴油營業小貨車	
	國內水運柴油		柴油自用大客車	
	國際水運燃油		柴油遊覽車	
	國際水運柴油		柴油公車/客運車	
			柴油自用大貨車	
			柴油營業大貨車	
	自變數		變數名稱	
國內生產毛額(GDP)		新台幣：百萬元		
人均GDP		新台幣：元		
人均所得		新台幣：元		
車輛持有(人均及戶均)		輛/平均每人		
能源價格		元/公升		
高鐵政策變數				
捷運政策變數				
高速公路電子收費政策變數				

12

公路運輸能源消耗變化趨勢



13

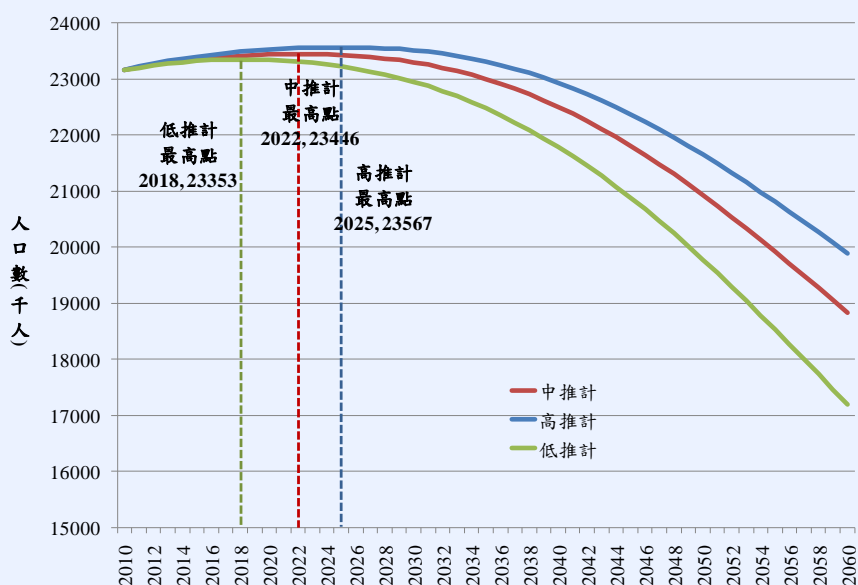
運輸能源消費預測初步結果

類別	項目	聯立方程式校估模型	
		2015年預測值	2025年預測值
能源消費量預測	能源別	汽油	10,309
		柴油	4,673
		公路合計	14,981(78.6%)
		運輸部門合計	19,063
	運具別	汽油車	10,833
		柴油車(不含特種車)	4,688
CO ₂ 排放量預測	能源別	汽油	26,917
		柴油	13,047
		公路合計	39,964(78.2%)
		運輸部門合計	51,085
	運具別	汽油車	28,285
		柴油車(不含特種車)	13,089
	能源別	汽油	33,303
		柴油	15,560
		公路合計	48,863(75.6%)
		運輸部門合計	64,635
	運具別	汽油車	37,339
		柴油車(不含特種車)	16,421
	能源別	汽油	33,303
		柴油	15,560
		公路合計	48,863(75.6%)
		運輸部門合計	64,635
	運具別	汽油車	37,339
		柴油車(不含特種車)	16,421
	能源別	汽油	33,303
		柴油	15,560
		公路合計	48,863(75.6%)
		運輸部門合計	64,635
	運具別	汽油車	37,339
		柴油車(不含特種車)	16,421

資料來源：本研究推估。

14

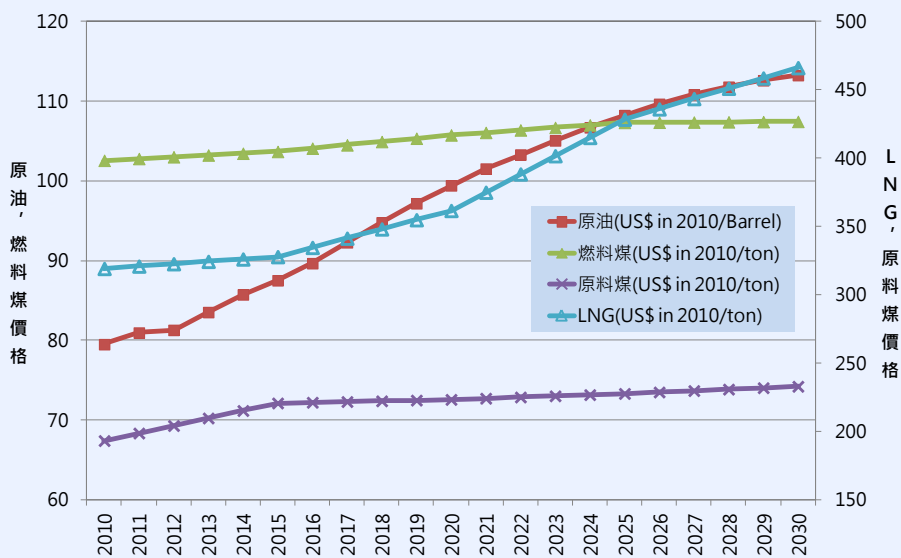
基準情境：人口數



資料來源：經建會(2010)·「2010年至2060年臺灣人口推計」。

15

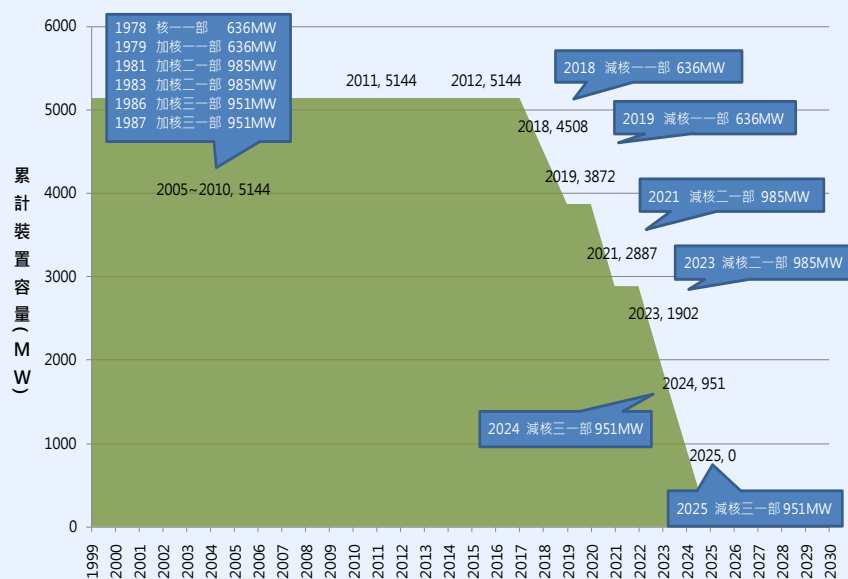
基準情境：進口初級能源價格



資料來源：AEO(2011)、工研院。

16

基準情境：核四不商轉，核一、核二、核三如期除役



17

基準情境：再生能源維持現有躉購費率

再生能源類別	電能躉購費率(元/度)
1 瓩以上至 10 瓩太陽光電*	11.1883
10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	12.9722
500 瓩以上太陽光電	11.1190
1 瓩以上至 10 瓩風力	7.2714
10 瓩以上風力	2.3834
風力發電離岸系統	4.1982
川流式水力	2.0615
地熱能	5.1838
生質能	2.0615
廢棄物	2.0879
其他	2.0615

*基於國內融資體系尚未完備之前，就 1 瓩以上至 10 瓩太陽光電設置案另外提供 5 萬元/瓩設備補助。

資料來源：能源局，「中華民國九十九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」，附表2。

➡ 依實際躉購電量與躉購金額計算平均費率。

獲補助金額*	再生能源類別	電能躉購費率(元/度)
12 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	5.9758
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	4.4684
	500 瓩以上太陽光電	2.7555
11 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	6.6026
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	5.0952
	500 瓩以上太陽光電	3.3823
10 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	7.2294
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	5.7221
	500 瓩以上太陽光電	4.0092
9 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	7.8563
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	6.3489
	500 瓩以上太陽光電	4.6360
8 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	8.4831
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	6.9757
	500 瓩以上太陽光電	5.2628
7 萬元	1 瓩以上至 10 瓩太陽光電	9.1099
	10 瓩以上至 500 瓩太陽光電	7.6026
	500 瓩以上太陽光電	5.8897

*曾獲得補助之金額未列於表內者，其電能躉購費率由經濟部依照補助額度，扣除該補助額度後，依據上述公式(折現率為 4.25%、運維比為 0.7%、年運轉時數為 1200 小時)計算核定之。

資料來源：能源局，「中華民國九十九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」，附表3。

18

基準情境：生質燃料摻配率

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

19

	生質酒精 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)	生質柴油 (公秉)	摻配比率 (%)	實際比率 (%)
2006	0		0.0000%	1876	1%	0.04%
2007	123	3%	0.0012%	3717	1%	0.09%
2008	23	3%	0.0002%	19008	1%	0.46%
2009	93	3%	0.0010%	31620	1%	0.77%
2010	215	3%	0.0022%	43774	1%	0.99%
2011-2030			0.0022%			2%

註：1. 生質酒精與生質柴油為實際消費量，由能源平衡表取得。

2. 生質柴油摻配比率已由經濟部依石油管理法公告「石油煉製業及輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」施行，2010年1月起摻配1%，2010年6月起摻配2%。

3. 生質酒精實際比率為能源平衡表生質酒精消費量佔車用汽油最終消費之比率；生質柴油實際比率為能源平衡表生質柴油消費量佔公路柴油消費量之比率。

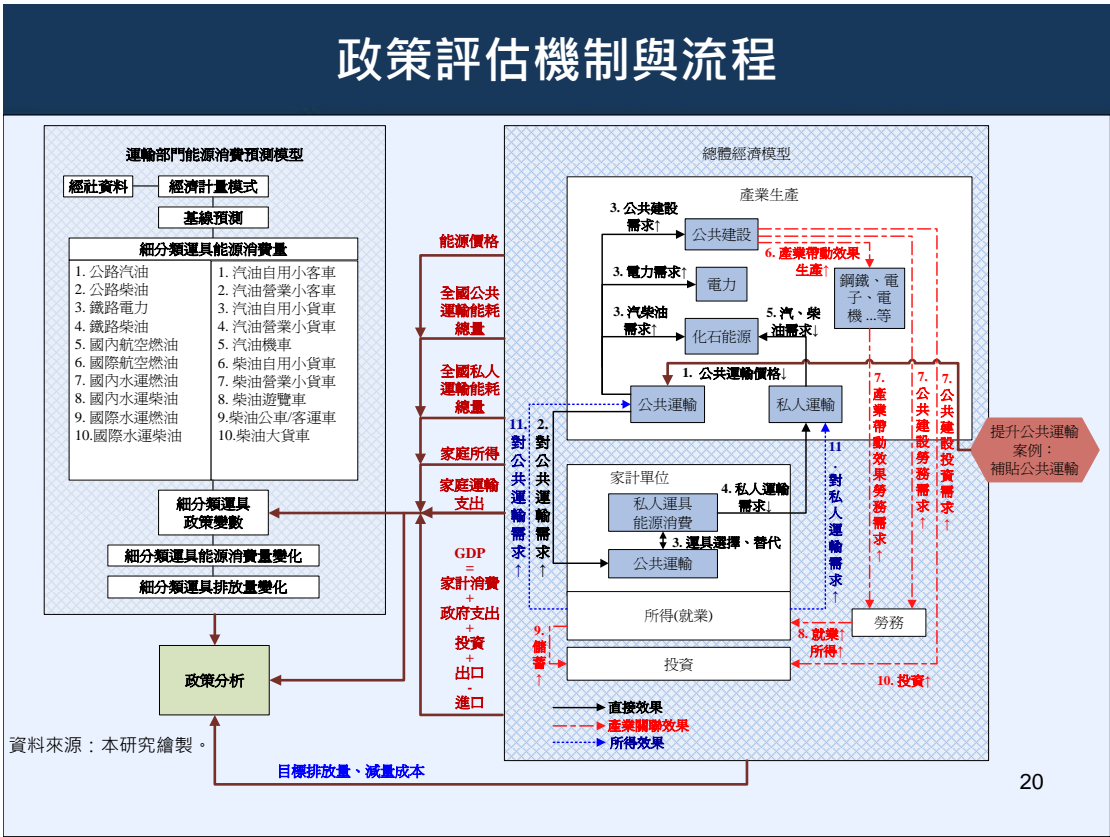
✓ 依石油管理法公告，2010年6月起摻配率為2%，故假設基準情境中，2011年至2030年之摻配率為2%。

✓ 生質酒精摻配比率為3%，全台目前有14座加油站提供E3油品，但未有強制措施。生質酒精實際消費量佔車用汽油比率偏低。

✓ 在基準情境中假設2011年至2030年生質酒精佔車用汽油比率維持2010年現況，為0.0022%。

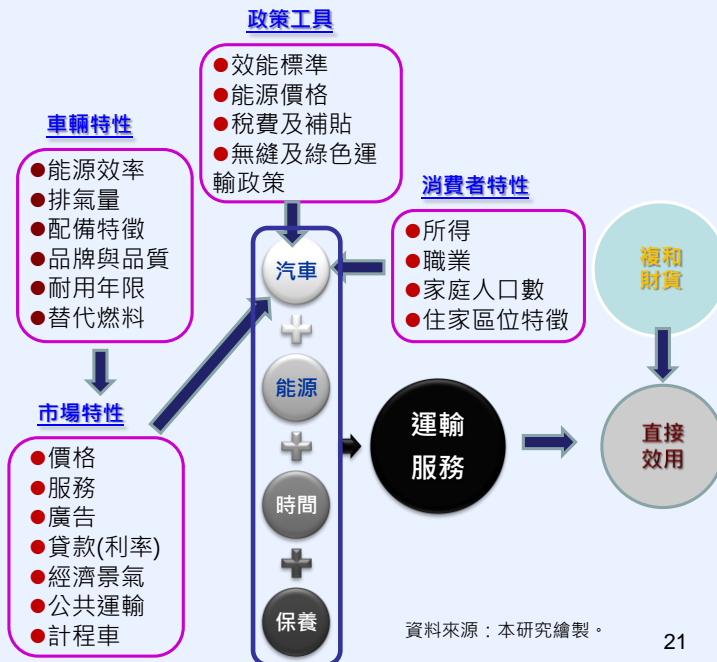
19

政策評估機制與流程



模型未來發展方向：私人運輸之服務需求

- 應用**家計生產模型** (household production model)
- 兼顧車輛**購買選擇**及其**勞務需求** (使用) 的決策。
- 兼顧影響決策的四大面向：消費者特性、政策工具、車輛特性、以及市場特性。



21

模型未來發展方向：耐久財選擇決策

- 耐久性財貨的消費組合： $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_J)$
- 任一消費組合所衍生的效用：

$$V(\Theta_j) = \max_{\{x, t, z_2\}} u(z_1, z_2; \eta)$$

$$S.t. \quad z_1 = f(x, t; \Theta_j)$$

$$px + z_2 = wL - r(\Theta_j)$$

$$L + t = T$$

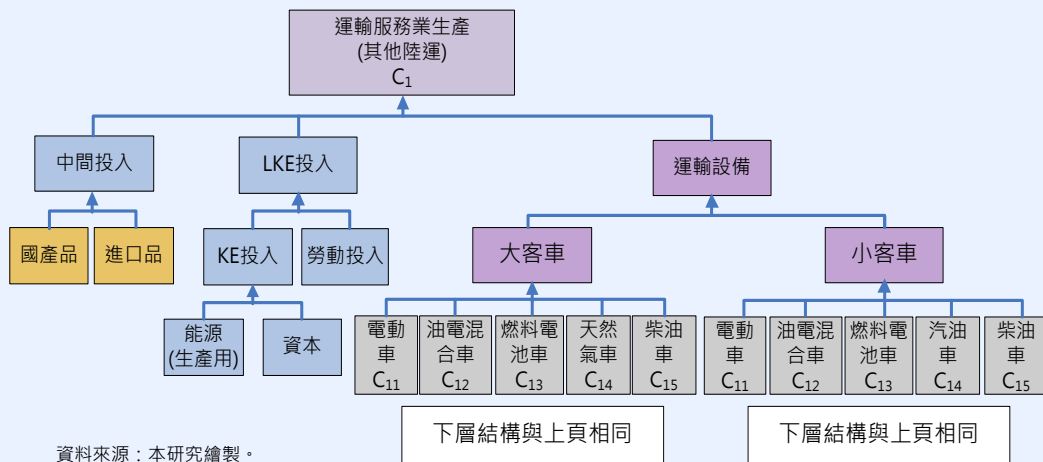
- 消費主選擇效用最大的耐久財消費組合 (**耐久財的選擇決策**)：

$$\max_{\{j \in 1, \dots, J\}} \Theta = (V(\Theta_1), V(\Theta_2), \dots, V(\Theta_J))$$

z_1 = 耐久性財貨所提供之勞務；
 z_2 = 一般的composite goods，其市場價格標準化為1；
 η = 消費者對勞務的偏好參數；
 x = 從事勞務生產所投入的市場財貨，其市場價格為 p ；
 t = 從事勞務生產所付出的時間；
 L = 工作的勞動時間；
 w = 工資率；
 $r(\Theta_j)$ = 耐久財的資本成本 (capital cost)；
 T = 時間賦與

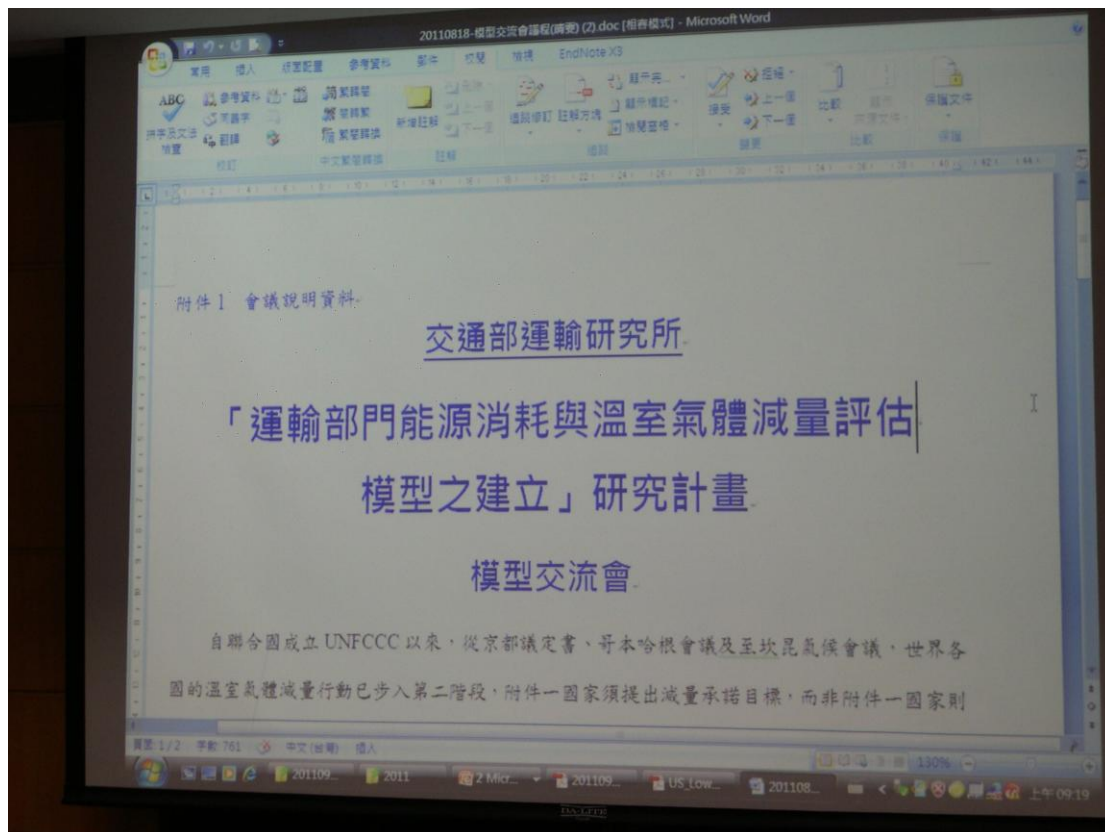
22

模型未來發展方向：納入低碳運具(2/2)



公共運輸的AFV

交流會實況



附錄 7

「綠色運輸節能減碳發展政策」

研究成果發表會

議程與實錄

交通部運輸研究所

「運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估 模型之建立」研究計畫

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會

為因應地球暖化與氣候變遷發展趨勢，推動「節能減碳」已成為全球各國政府施政最主要議題之一。同時國際社會間亦透過「聯合國氣候變化綱要公約締約國大會(Conference of the Parties, COP)」平台，推動氣候變遷因應與國際溫室氣體減量等相關活動，其中還包括推動多項綠色新政。而石油蘊藏量依外專家的預測，其使用年數僅餘四、五十年，世界各國將面臨傳統化石能源耗竭的嚴峻危機，而隨之而來的全球能源價格劇烈變動，亦將衝擊各國社會與經濟之穩定發展。

為肆應氣候變遷與化石能源耗竭所可能帶來之衝擊，行政院於 97 年 6 月 5 日世界環境日通過「永續能源政策綱領」，以「提高能源效率」、「發展潔淨能源」與「確保能源供應穩定」作為永續能源的政策目標。而總統亦已正式宣示我國二氧化碳排放減量目標為：於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量。

配合國家節能減碳政策，交通部已將推動「綠運輸」作為當前重要施政之一，並以「發展綠色運輸系統」、「加強運輸需求管理」及「提昇運輸系統能源使用效率」作為揭槓「綠運輸發展政策」之三大政策方向。在實務作業方面，則透過於 99 年 2 月 24 日成立之「綠運輸推動小組」推動各項節能減碳行動計畫。

由於運研所負責上述「綠運輸推動小組」的幕僚作業，同時亦扮演交通部制定節能減碳政策之重要智庫角色。因此，近年來規劃推動

多項能源國家型科技計畫，以支援前揭之重要任務。

而「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會，即是集結運研所近年相關重要研究成果，議程主題包括：「運輸部門能源消耗與溫室氣體評估模型與資訊平台」、「城際客運安全駕駛行為與節能策略」、「臺灣港埠節能減碳效益提升之研究」以及「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放之研究」等四項。相關研究成果除以海報方式展示於會場周邊之看板外，並有「隨車量測系統(on-board measurement)」以實車展示。

本次與會專家、學者、相關系所研究生與運研所同仁約 140 人，議程順利進行，討論熱烈，對我國綠運輸的政策與實務工作，有新的認識與願景，參加者均受益良多。

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會議程

主辦單位：交通部運輸研究所

協辦單位：千禧決策科技股份有限公司

時間：100 年 11 月 28 日(一) 上午 9:00 至下午 4:00

會議地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

時間	議程
9:00~9:30	報到
9:30~9:40	長官致詞：林所長志明
9:40~10:00	專題報告：我國綠運輸發展策略 主講人：運輸研究所黃組長新薰
10:00~11:00	主持人：運輸研究所黃組長新薰 題 目：運輸部門能源消耗與溫室氣體評估模型與資訊平台 主講人： 1.運輸研究所楊研究員智凱 (20 分鐘) 2.運輸研究所林副研究員忠欽 (20 分鐘) 與談人：(每位 5~10 分鐘) 1.台灣綜合研究院謝副所長智宸 2.行政院原能會核能所葛分組長復光
11:00~11:20	茶點/休息
11:20~12:10	主持人：運輸研究所張組長開國 題 目：城際客運安全駕駛行為與節能策略 主講人：運輸研究所喻研究員世祥 (30 分鐘) 與談人：(每位 5~10 分鐘) 1.龍華科技大學許教授峻嘉 2.公路總局王副組長在莒
12:10~13:30	午餐
13:30~14:30	主持人：運輸研究所陳研究員桂清 題 目：臺灣港埠節能減碳效益提升之研究 主講人：運輸研究所柯研究員正龍 (30 分鐘) 與談人：(每位 5~10 分鐘) 1.成功大學交通管理科學系暨電信管理所張助理教授瀨之 2.高雄港務局鍾總工程司英鳳 3.瑩諮科技股份有限公司葉協理雨松
14:30~14:50	茶點/休息
14:50~16:00	主持人：運輸研究所蘇組長振維 題 目：車輛動態能源消耗與溫室氣體排放之研究 主講人： 1.運輸研究所楊研究員幼文 (20 分鐘) 2.鼎漢國際工程顧問公司陳高級規劃師柏君 (20 分鐘) 與談人：(每位 5~10 分鐘) 1.鼎漢國際工程顧問公司胡技術長以琴 2.交通大學交通運輸研究所邱教授裕均
16:00	散會

註：每場次之成果發表，由主持人簡單介紹後，由主講人進行簡報。之後由兩位與談人進行 5~10 分鐘之發言，再開放討論。

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會 簽到單

地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

時間：100年11月28日（一）

服務單位	姓名	簽到	素食	身分證字號
宜蘭縣政府建設處	鍾 瑋	鍾 瑋		
桃園縣政府交通局	鄭雅萍			
桃園縣政府環保局	高瑄鈺	高瑄鈺		
基隆港務局港埠工程處	詹錦生	詹錦生		
臺中市政府交通局	陳蓉鑫	陳蓉鑫		
臺北市政府交通局	李忠遠	李忠遠	是	
臺北市公共運輸處綜合規劃科	劉怡汎	劉怡汎		
交通部運輸研究所	陳一昌	陳一昌		
悠遊網資訊服務有限公司	林瀚翔	林瀚翔		
運研所	黃詠蕙	黃詠蕙		
運研所	陳國岳	陳國岳		
運研所	林忠欽	林忠欽		
運研所	楊育凱	楊育凱		
"	邱雅莉	邱雅莉		
"	林上傑	林上傑		
"	陳一平	陳一平		
"	陳欽同	陳欽同		
"	陳同榮	陳同榮	✓	
"	張恩文	張恩文		
"	張開國	張開國		
	張恩文	張恩文		
	吳昭輝	吳昭輝		
	吳昭輝	吳昭輝		
	吳昭輝	吳昭輝		
	吳昭輝	吳昭輝		

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會 簽到單

地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

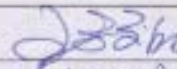
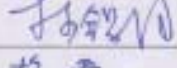
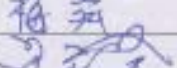
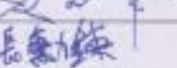
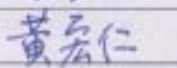
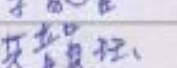
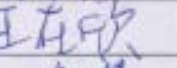
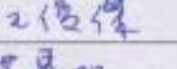
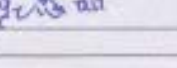
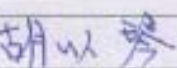
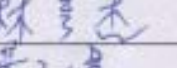
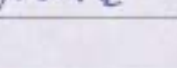
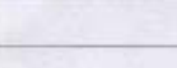
時間：100年11月28日（一）

服務單位	姓名	簽到	素食	身分證字號
成功大學電信管理研究所	吳欣蓉	吳欣蓉		
成功大學電信管理研究所	杜易宸	杜易宸		
海洋大學航運管理學系	林泰誠			
海洋大學航運管理學系	趙時標	張正綱		
海洋大學運輸科學系	蘇健民	蘇健民		
南開科技大學	黃靖雄			
真理大學觀光系	朱純孝	朱純孝		
真理大學觀光事業學系	林孟龍	林孟龍		
逢甲大學運輸科技與管理系	陳方元			
開南大學	孫國勛			
開南大學運輸科技與管理學系	黃文吉	黃文吉		
開南大學物流系	曾柏興			
臺大土木所交通組	莊元拔	莊元拔		
臺大土木所交通組	陳品潔	陳品潔		
運研所		陳品潔		
運研所		陳品潔		
"	張錦川	張錦川	X	
"	張錦川	張錦川		
"	黃立飲	黃立飲		
"	鄭永清	鄭永清		
"	劉政言	劉政言		
"	許紹豪	許紹豪		
"	蕭益元	蕭益元		
"	張益	張益		

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會 簽到單

地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

時間：100年11月28日（一）

服務單位	姓名	簽到	素食	身分證字號
3M台灣子公司	王建仁			
亞聯工程顧問股份有限公司	林錫鈞			
亞聯工程顧問股份有限公司	梅 舜			
昕傳科技	吳文峰			
思維環境科技有限公司	張勳鋒			
財團法人中興工程顧問社	黃宏仁			
悠遊網資訊服務有限公司	林瀚榭			
傳聞工程股份有限公司	重思佩			
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	李家春		✓	
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	洪韻珏		✓	
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	林維信			
鼎漢國際工程顧問股份有限公司	王在欣		✓	
環科工程顧問公司	王俊傑			
環科工程顧問股份有限公司	莊惠如			
寶錄電子股份有限公司	范利漢			
鼎漢國際工程顧問公司				
高速鐵路工程局	吳振峰			
新北市交通局	林多杰			
開南大學空運系	葉子健			
	尹和佳			

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會 簽到單

地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

時間：100年11月28日（一）

服務單位	姓名	簽到	素食	身分證字號 (公務人員學習時數)
台灣綜合研究院 ✓	謝智宸			
交通大學交通運輸研究所	邱裕鈞			
交通部公路總局	王在莒	王在莒		
成功大學交通管理科學系暨電信管理	張潛之	張潛之		
行政院原能會核能所	葛復光			
國科會節能減碳分項交通運輸子項召集人 ✓	張學孔			
鼎漢國際工程顧問公司	陳柏君	✓		
鼎漢國際工程顧問公司 ✓	胡以琴			
登諾科技股份有限公司	葉雨松	葉雨松 ✓		
龍華科技大學	許峻嘉	許峻嘉	✓	
交通部運輸研究所	林志明			
〃	吳弘竹	吳弘竹		
〃	江正瑛	江正瑛	X	
〃	鍾國和	鍾國和		
〃	黃俊喜	黃俊喜	X	
〃	張昭芸	張昭芸		
〃	范松梅	范松梅	X	
〃	楊幼文	楊幼文	✓	
〃	鄭和昆	鄭和昆		
〃	何貝貝	何貝貝		
內政部警政署	張珮璇	張珮璇		
運研所	劉坤隆	劉坤隆		

「綠色運輸節能減碳發展政策」研究成果發表會 簽到單

地點：交通部運輸研究所地下一樓國際會議廳

時間：100年11月28日（一）

服務單位	姓名	簽到	素食	身分證字號
交通部	鄭永忠	鄭永忠		
交通部	劉建邦			
交通部公路總局	張心怡	張心怡		
交通部公路總局	劉文忠	劉文忠	✓	
交通部民用航空局	呂宜峰	呂宜峰		
交通部民用航空局	黃建元	黃建元		
交通部高速公路局	張耿宗	張耿宗		
交通部高速鐵路工程局	何松濤	何松濤		
交通部高雄港務局船舶機械修造工廠	廖景松			
交通部臺灣區國道新建工程局	楊雅玲	楊雅玲	✓	
交通部臺灣區國道新建工程局	馮壽平	馮壽平		
交通部鐵路改建工程局	林玲香	林玲香	✓	
交通部運輸研究所	史習平	史習平		
交通部運輸研究所	劉銘韻	劉銘韻		
交通部運輸研究所	張世龍	張世龍	✓	
交通部運輸研究所	曾幸敏	曾幸敏		
交通部運輸研究所	黃明正	黃明正		
交通部運輸研究所港研中心	陳桂清	陳桂清	✓	
交通部運輸研究所港研中心	柯正龍	柯正龍		
運研所	胡光榮	胡光榮		
運研所	朱珮芸	朱珮芸		
運研所	呂怡嘉	呂怡嘉		
鼎漢工程顧問	林大鈞	林大鈞		
運研所	喻世祥	喻世祥		

運研所林所長致詞



主持人演講



專題研討



課間茶點與討論



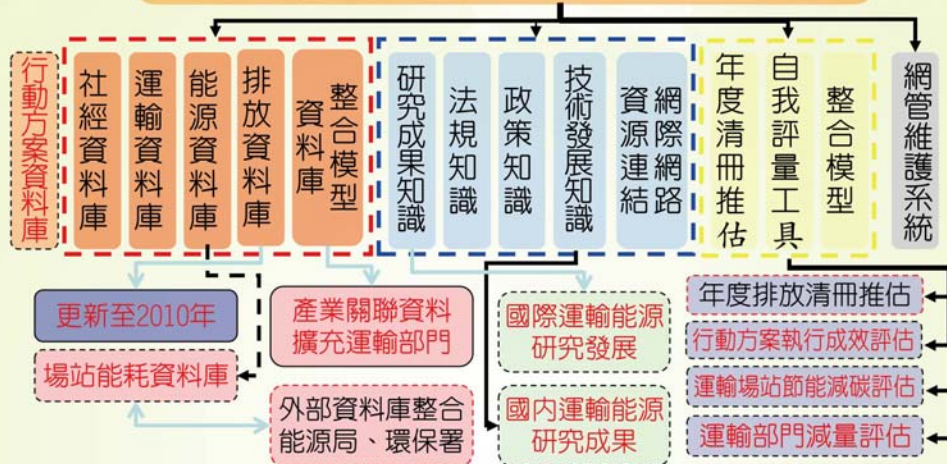
海報展場



運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台^①

整合資訊平台系統架構

運輸部門能源使用與溫室氣體排放整合資訊平台



資料庫查詢



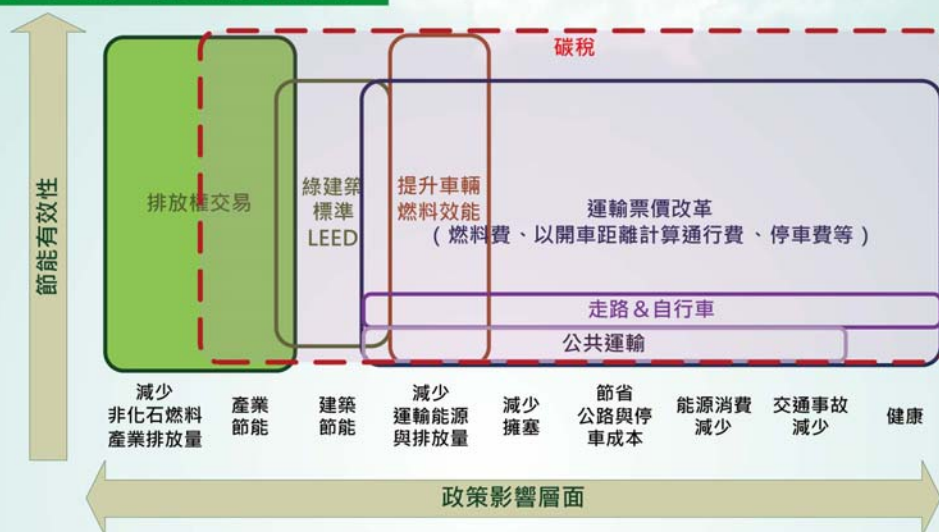
交通部運輸研究所綜合技術組海報

運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台²

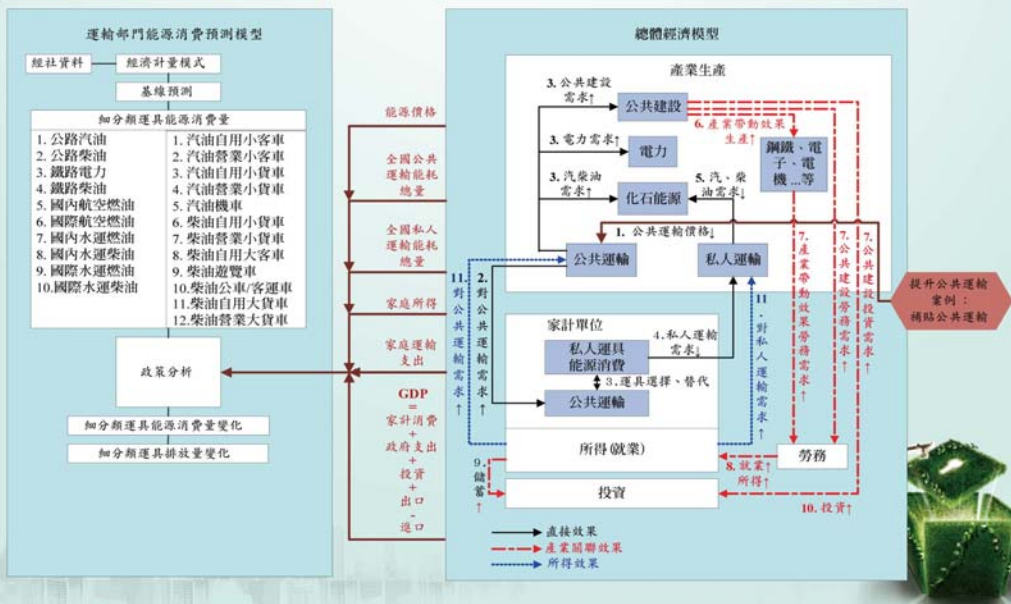


運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建立

多元減量策略評估需求



減量策略評估流程

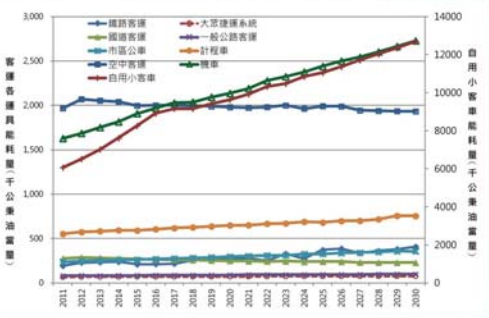


能源消費量基線預測

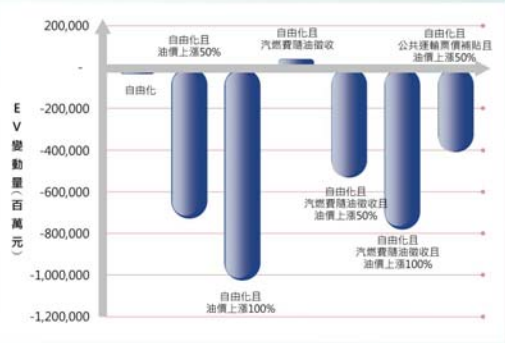
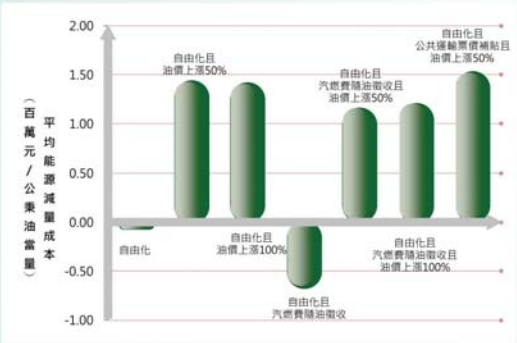
能源消費預測模型

以 2005 年為基準	2020 年		2025 年	
	預測區間值	成長倍數	預測區間值	成長倍數
能源消費量 (13,876 千公秉油當量)	17,679	1.27	20,484	1.48
	21,647	1.56	25,086	1.81
	14,351	1.03	16,584	1.20
CO ₂ 當量 (37,039 千公噸)	46,543	1.26	53,937	1.46
	57,809	1.56	67,020	1.81
	38,760	1.05	44,922	1.21

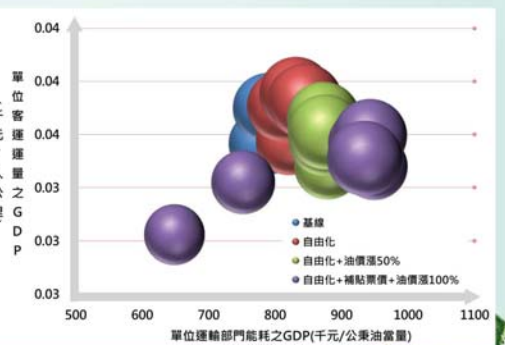
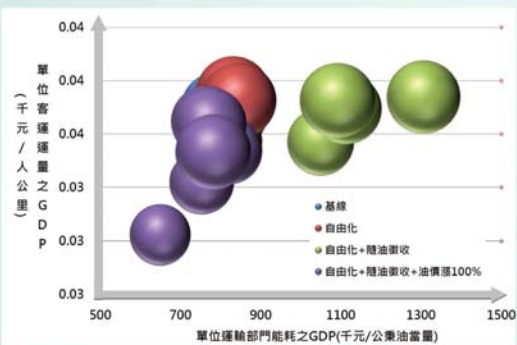
運輸CGE模型



提升公共運輸策略：經濟與福利效果



提升公共運輸策略：運輸與能源生產力



車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究^①

研究背景

因應本部節能減碳相關策略之評估

- ◆近年來國內旅運需求型態改變，總旅次數不再大幅成長，總延車公里數成長有限，傳統上以旅行距離計算公路運輸能耗排放方法，無法敏感估算。
- ◆傳統估算方法對於目前以提升速率或改善運作效率為主之策略與措施，無法充分反映其節能減碳效果。

國內參數必須研究蒐集與校估

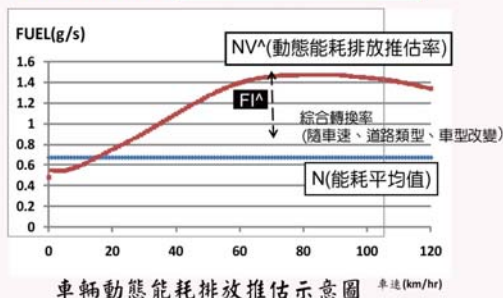
- ◆車輛能耗排放特性隨車種、道路類型、交通狀況而異，相關參數有必要以國內車隊狀況及環境特性修正調整。國內現況能耗排放資料僅有車輛情轉或實驗室數據，無法有效反映各車種及道路類型之影響。
- ◆本系列研究對象分為小客車、大客車及機車等三大族群，分年度辦理分析與實驗，以了解國內不同群體車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性，供政府政策分析及後續研究之基礎。

研究重點與特色

- ◆本研究藉由「車載量測系統」(on-board measurement)蒐集車輛於道路實際運行之動態能耗排放值，建構車輛動態能耗排放資料庫與能耗排放推估模式。
- ◆考量運輸規劃模式之方案模擬能力，以速率、道路類型為主要變數。
- ◆有別於傳統以「行車公里」衡量公路系統之能耗排放；本研究以「行車時間」之能耗排放率，可評估車輛於動態(行駛中)、靜態(停等)產生的能耗排放。

模式構想

$$NV^{\wedge} = FI^{\wedge} \times N$$



道路實車實驗



96-100年大小客車道路實車實驗

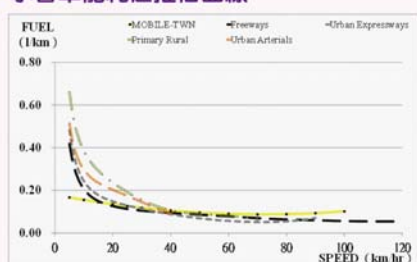
	實驗A車	實驗B車	實驗C車	實驗D車	實驗E車
車廠	中華三菱	國瑞(豐田)	台灣本田	瑞典SCANIA	韓國大宇
車款	Space Gear 2.4	NCP91L-AHPVKR YARIS(1.5E)	HONDA CIVIC LX1.8	K380	BS120CN
車型	7-9人座廂型車	5門小客車(轎式、旅行式)	4門小客車(轎式、旅行式)	國道公車(僅設座位)	市區公車(座位+立位)
排氣量	2,400C.C	1,500C.C	1,800C.C	11,705C.C	7,640C.C
車齡	1年內	1年內	1年內	2年內	3年內
環保法規	3期	4期	4期	4期	4期
資料庫	實驗室	實驗室	實驗室	-	-
樣本數	實際道路	16萬秒	10萬秒	12.1萬秒	39萬秒
				26萬秒	

車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究²

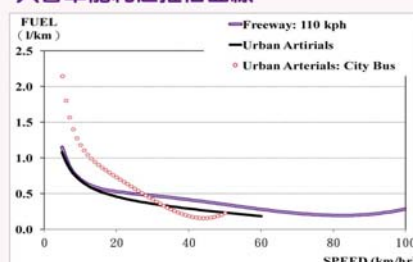
主要成果

- ◆建立國內第一套大、小客車動靜態能耗排放資料庫(含不同道路類型)。
- ◆建立國內第一套大、小客車能耗排放推估模式，可將車輛之實際能耗平均值，轉換為各道路上動態(隨速率變化)能耗排放值。
- ◆提供大、小客車能耗與CO₂排放率，供運輸方案之節能減碳績效評估使用，提供決策參考。

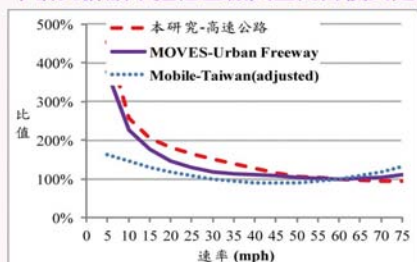
小客車能耗推估曲線



大客車能耗推估曲線



本研究排放率推估曲線與國內外模式之比較(小客車)



- ◆本研究所推估之排放率曲線與美國最新的MOVES模式所轉換的曲線曲率方面大致相符，但低速部分較MOVES略高，推論可能是因為國內駕駛習慣較為激進，加減速率較大之故。而MOBILE-Taiwan以平均速率推估的曲線與MOVES和本研究模式差異性都很大，顯示本研究之排放率曲線明顯優於傳統模式。

比較方式：個別模式在各速率下與時速60哩之CO₂排放率比值

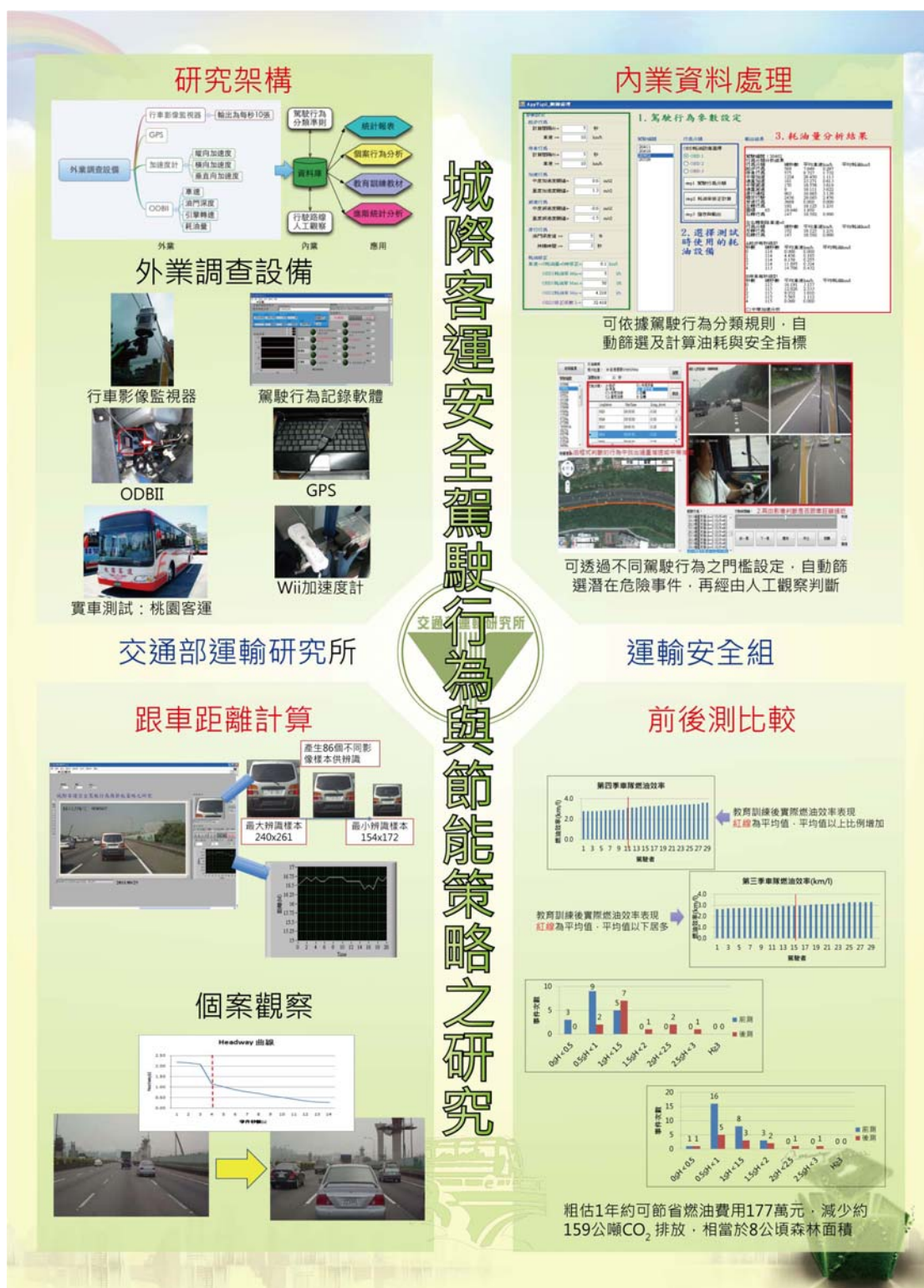
研究成果應用

- ◆巨觀方面，可應用於評估城際運輸計畫之能耗與排放效果，例如鐵道或公路新興建設計畫評估，及營運管理計畫之影響分析等。
- ◆微觀方面，可應用於評估改善措施/策略之能耗與排放量，例如路口號誌改善、行車速率改善之效益估算及高速公路電子收費之耗能與排放量估算分析等。

研究貢獻

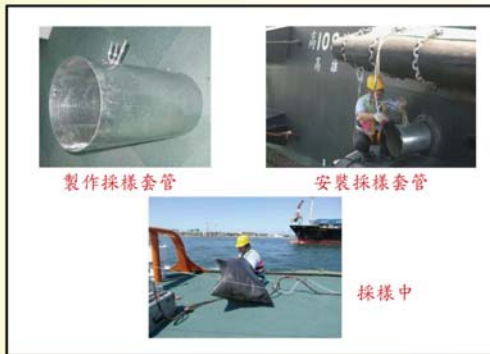
- ◆成功運用車載量測系統，建立在地化大、小客車之動態能耗排放資料庫與推估模式，反應道路類型、速率與能耗排放之關係。
- ◆以「行車時間」為能耗排放之分析單元，改善過去以「行車公里」計算嚴重低估車輛停等之能耗排放所產生的誤差。同時，以車輛能耗值做為推估模式的輸入值，可用於單一車輛，亦可用於車隊整體績效的分析。
- ◆整合運輸規劃模式與能耗排放模式，強化運輸方案在節能減碳指標的評估能力。
- ◆由低速區間(時速40公里以下)耗油率的觀察結果，對於節能減碳策略之啟示：都會區應負擔更大的責任，擁擠管理與環保駕駛對節能減碳發揮應有顯著功效。

交通部運輸研究所運輸安全組海報



臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(1/4)

本計畫為「臺灣港埠節能減碳效益提升之研究」四年計畫的第1年，目標為針對港區空氣污染物及能源消耗之量測方法進行研究，主要針對柴油引擎直接排放及電力使用間接產生的溫室氣體(CO₂, N₂O, CH₄)及一般空氣污染物(PM₁₀, PM_{2.5}, DPM, SO₂, NO_x, VOC(HC))等，建立排放量調查推估方法，包含6大直接排放源，即港勤船舶、裝卸機具、車輛、火車、遠洋船舶及漁用船舶。本研究同時推動各國際港口的自主性溫室氣體調查，優先建立《港區溫室氣體排放量調查作業手冊》及探討船舶採用岸電設施之效益，俾便未來能持續每年定期調查更新排放清冊，做為推動節能減碳成效評估的基礎與指標。



港勤船排放係數驗證

以98年度為例進行評估

船舶生產每度電排放污染量 單位: g/kW·h

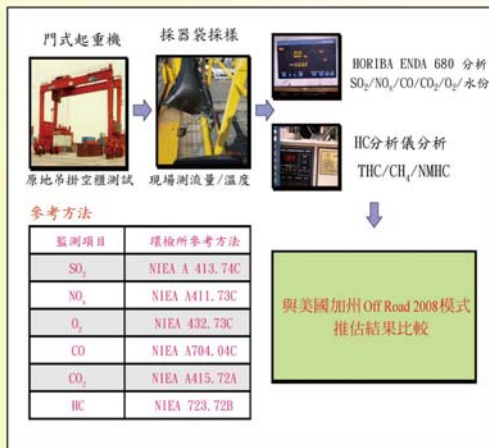
能源別	PM	NO _x	SO ₂	CO ₂ (e)
重油	1.0	14.7	12.3	722
柴油	0.3	13.9	4.3	722
台電供電	0.011	0.178	0.161	616

船舶靠泊改用岸電污染減量比例

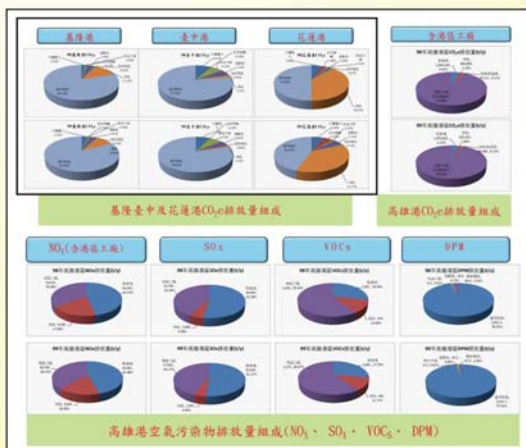
	PM	NO _x	SO ₂	CO ₂
重油	98.9%	98.9%	98.5%	14.7%
柴油	96.2%	98.8%	95.9%	14.7%

註：發電量資料來源為中央政府總預算查詢及統計資料庫網站，98年度全國消費電力；排放量資料為該年度台電火力發電廠總排放量。

岸電污染減量評估



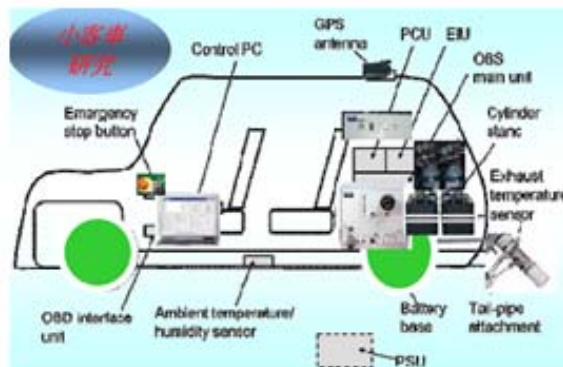
柴油機具排放係數驗證



建置排放清冊

運輸計畫組隨車量測系統

實車展示



附錄 8

聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）
第十七屆締約國會議（COP17）暨京都議定
書生效第七屆締約國大會(CMP7)

出國報告

壹、會議資訊

一、會議時間

民國一〇〇年十一月二十八日（星期一）至民國一〇〇年十二月九日（星期五）

二、會議地點

南非德班(Durban)舉行。



三、第十七屆締約國會議議程

本次會議同時是 UNFCCC 生效十七週年(COP17)與京都議定書生效第七屆會議(CMP7)，主要的會期的安排包括：附屬機構會議、主席團會議、部長級會議、締約國全體會議、聯合國機構、計畫署、特別機構、及相關組織、政府與非政府組織聲明或發言。

本次會議議程分別就締約國全體會議、附屬履行機構會議、附屬科技機構會議等三項說明如下：

(一) 第 17 屆締約國會議(COP17)全體會議議程

1. 會議開幕

- (a) 第 17 屆締約國會議主席致詞
- (b) 選舉第 18 屆締約國會議主席
- (c) 主席發言
- (d) 致歡迎詞
- (e) 執行秘書發言

2. 組織事項

- (a) 《公約》和《京都議定書》的批准現況
- (b) 通過議事規則
- (c) 通過議程
- (d) 選舉主席以外的主席團成員
- (e) 接納相關組織為觀察員
- (f) 工作安排（含兩附屬機構會議）
- (g) 第 18 屆締約國會議的日期和地點與《公約》機構會議行事曆：COP18 預期於 2012 年 12 初在卡達舉行
- (h) 通過全權證書審查報告

3. 附屬機構的報告及其中的決議和結論：減緩氣候變遷之科學、科技與社會經濟觀點

- (a) 第 35 屆附屬科學技術諮詢機構(SBSTA)報告
- (b) 第 35 屆附屬履行機構(SBI)報告
- (C) 第 7 屆特設工作小組-長期合作協議(AWG-LCA)

(D) 第 7 屆特設工作小組-長期合作協議(AWG-KP)

4. 審查承諾的履行情況和《公約》其他規定的執行情況：促進長期合作行動的報告

(a) 具永續性的承諾目標

(b) 調適行動的描述

(c) 科技發展潛力的全面性瞭解

(d) 市場基礎機會的全面性瞭解

5. 第 35 屆 SBSTA 會議議程

6. 承諾執行的評鑑

公約財務機制：參考第 35 屆 SBI 會議議程

(a) 國家通訊：附件一與非附件一國家通訊

(b) 技術移轉的發展

(c) 公約下的能力建構

(d) 執行公約第四條第八與第九款

(i) 執行布宜諾斯艾利斯之調適與回應措施計畫(decision 1/ CP.10)

(ii) 低度開發國家的相關事宜

7. 開發中國家毀林之排放減量議題：激勵行動分析

8. 公約第四條第二款(a)、(b)適宜性的第二次評鑑

9. 行政、財務與制度事務

(a) 2010~2011 兩年期方案預算執行情況

(b) 2012~2013 兩年期預算規劃

(c) 秘書處功能與運作的持續評鑑

10. 高階層(部長)會議

11. 觀察員組織的發言

12. 其他事項

13. 會議閉幕

(a) 通過第 17 屆會議報告

(b) 會議閉幕

四、聯合國氣候變化綱要公約第十七屆締約國會議及第三十五屆附屬機構會議日程安排

11月28日 星期一	11月29日 星期二	11月30日 星期三	12月1日 星期四	12月2日 星期五	12月3日 星期六
<ul style="list-style-type: none"> ■ 公約第17屆締約國會議開幕 ■ 議定書第7屆締約國會議開幕 ■ AWG-LCA(特設工作小組開幕): SBI(科技諮詢機構) ■ AWG-KP: SBSTA(居附屬機構會議) 	SBSTA 35、SBI 35及AWG7會議	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公約第17屆締約國會議(COP17)第7次締約國會議(CMP7) 2. AWG-LCA工作討論會 3. AWG-KP工作討論會 	非正式團體會議 科技諮詢機構與履行機構第35屆會議、特設工作小組非正式會議 公約締約國第17屆會議與議定書第7屆會議 公約締約國第17屆非正式團體會議 AWG-KP工作會	公約締約國第17屆會議與議定書第7屆會議	非正式團體會議
12月5日 星期一	12月6日 星期二	12月7日 星期三	12月8日 星期四	12月9日 星期五	12月10日 星期六
非正式團體會議	非正式團體會議 <ol style="list-style-type: none"> 1. AWG-LCA工作討論會(閉門會議) 2. AWG-KP工作討論會(閉門會議) 	COP17及CMP7高級部長會議 SBI, SBSTA, AWG-KP, AWG-LCA開幕	各國立場發言	公約第17屆締約國會議: 通過決議和結論 議定書第7屆締約國會議決議與開幕 高級部長會議開幕	

貳、參加人員名單與團務規劃

一、聯合國氣候變化綱要公約第十七次締約國大會參與名單

本次我國參與 COP17/CMP7 代表團，由行政院環保署張子敬副署長帶領包括產、官、學、及非政府組織等，合計超過 60 人參與盛會。與會代表團名單如下：

部 門	單 位	職 稱	姓 名
政府部門	行政院環境保護署	副署長	張子敬
	行政院環境保護署	副處長	簡慧貞
	行政院環境保護署	科員	吳奕霖
	行政院環境保護署	環境技師	邱美璇
	行政院環境保護署	環境技師	王俊勝
	國安會	秘書	王文娟
	交通部氣象局	副局長	葉天降
	交通部氣象局	主任	程家平
	行政院衛生署國民健康局	局長	邱淑禔
	清大科法所	教授	范建得
	台灣大學	副教授	邱祈榮
	台北大學資源所	副教授	李堅明
	台灣大學政治系	副教授	林子倫
	中國鋼鐵公司	助理總經理	張西龍
	中國鋼鐵公司	專員	吳一明
	環科公司	計畫經理	王俊傑
	永智顧問公司	總經理	石信智
	工研院能資所	童遷祥所長、楊日昌顧問、胡文正研究員、及盧裕倉研究員	

二、COP17/CMP7 日程活動規劃

COP17/CMP7 日程活動規劃				說明
1. 代表團成員自行前往中正機場華航櫃檯等候辦理團體 Check-in。 2. 代表團抵達德班國際機場，入境後團員可在機場兌換當地貨幣，駐地代表前往接機（請外交部協助辦理），前往德班旅館； 3. 辦理註冊，領取識別證。				全體團員
日期	時間	活動內容	周邊會議與會談	視實際狀況及任務分工規劃
星期一	07: 00-08: 30	早餐(旅館供應)	視實際狀況規劃	
	08: 00-10: 00	由坎昆住宿處前往大會會場		
	10: 00-13: 00	締約國會議、SBSTA與SBI聯席會議		
	13: 00-15: 00	午餐(自理)		
	15: 00-18: 00	締約國會議、SBSTA與SBI聯席會議		
	18: 30 ~	晚餐		
星期六	另排	SBSTA與SBI聯席會議/自由活動	視實際狀況規劃	
		休會 一日行程參訪／自由活動		
	12: 00	1. 行李集中旅館大廳； 2. 團員各自辦理旅館結帳； 3. 團員出發赴德班國際機場辦理登機； 4. 搭乘班機返國。		
星期日				

Side Events at COP 17/CMP 7
Friday, 9 December 2011

Adaptation and related issues
Mitigation and related issues
Cross-cutting issues
Others

Scheduled	Time/room	Organizer	Title / theme / speakers
Friday, 09 December 2011	11:30– 13:00 Aples River	Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) Ms. Valentina Bosetti vughetta.molin@feem.it +39 41 2700444	The San Giorgio Group: Expanding Green, Low-Emissions Finance CPI, backed by FEEM, the WB Group, CLP and other partners established a working group of key financial intermediaries and institutions engaged in green finance. The San Giorgio Group explores how existing funding can be scaled up and effectively deployed by deriving lessons from current practices. Speakers: Professor Thomas C. Heller, Executive Director, Climate Policy Initiative; Prof. Carlo Carraro, President, Ca'Foscari University of Venice and FEEM; Dr. Barbara K. Buchner, Director, CPI Venice; Andrew Steers, Special Envoy for Climate Change, the World Bank; Calo Koch-Weser, Vice Chairman, Deutsche Bank
		Ca' Foscari University, Venice* (UNIVE) Mr. Carlo Carraro martina.marian@unive.it +39 41 2700431	
		Climate Policy Initiative, Inc* (CPI) Ms. Barbara Buchner Barbara.buchner@cpi-venice.org +39 41 2700426	
Friday, 09 December 2011	11:30– 13:00 Blyde River	California College of the Arts* (CCA) Ms. Kim Anno skimi2@comcast.net +1 510 8474745	"The Rights of Nature, an Idea Whose Time Has Come" by Robin Milam This is an audio/visual presentation of internationally significant artists, designers, and scientists from California collaborating to address scientific, cultural and social arenas under the shadow of climate change. Kim Anno's film, "Men and Women in Water Cities" and will be shown. Speakers: Kim Anno, artist; Christine Metzger, scientist
		Beyond War* Ms. Robin Ritger Milam rmilam@wsimarketing.com +1 530 2631483	

Scheduled	Time/room	Organizer	Title / theme / speakers
Friday, 09 December	11:30– 13:00 Indwe River	Center of Life Institute* (ICV) Sra. Alice Thuault alice@icv.org.br +55 65 96225860	Making REDD happen on the ground: reducing deforestation at jurisdictional scale in Brazil. As UNFCCC definitions for REDD+ are taking shape, on the ground initiatives are piloting new approaches to reduce deforestation at jurisdictional scale. Speakers from Brazilian Amazon civil society and governments will share promissory results and debate on the main challenges to make REDD happen. Speakers: Instituto Centro de Vida - ICV; Cotriguaçu municipality representatives;
Friday, 09 December	11:30– 13:00 Hex River	HEDA Resources Centre* (HEDA) Mr. Arigbabu Sulaimon arrayso@gmail.com +234 1 8033468114	Integrity of West African coastline and international instruments on managing shipwrecks 1. Shipwrecks and coastal communities in West Africa: Who bears the brunt? 2. International wreck control instruments for community and environmental remediation 3. Can West African states access global mitigation funds for wreck removal? 4. Human rights perspectives to shipwrecks in West Africa Speakers: 1. Muiz Banire (Ph.D Law) 2. Prof. Awosika Larry (DG, Nigerian Institute for Oceanography and Marine Research) 3. Mr. Tunji Bello (LLM) Commissioner for the Environment, Lagos State 4. Mr. Ziakede Patrick Akpobolokem (NIMASA's Director General)

Scheduled	Time/room	Organizer	Title / theme / speakers
Friday, 09 December	13:15– 14:45 Hex River	<p>Korean Standards Association* (KSA) Ms. Jeung Im Nam jungim.nam@ekosa.or.kr +82 2 5593573</p> <p>Korea Chamber of Commerce and Industry (KCCI) Mr. KJ Lim lkj@korcham.net +82 2 60503815</p>	<p>Post-Kyoto offset mechanism and MRV- Korean industry's initiative This side event will stimulate discussions on aspects of post-kyoto offset mechanism and measurement, reporting and verification (MRV). Bilateral Offset Mechanism will be highlighted as a proper post-2012 offset mechanism for business sector.</p> <p>Speakers: Introduction Kyoto offset mechanism and CDM reform(TBD*) Post-2012 offset mechanism and MRV(POSRI, Korea) Japan's Bilateral offset scheme(IEEJ, Japan) Developing countries' perspective on post-2012 offset mechanism (TBD) TBD* POSRI, Korea IEEJ, Japan TBD*</p>
Friday, 09 December	13:15– 14:45 Levubu River	<p>Mauritania Mr. Sidi Mohamed El Wavi elwavi.sm@gmail.com +222 4600 8383</p>	<p>Vulnerability and efforts of adaptation in Mauritania Raising awareness on Mauritania's ecosystems vulnerability and on adaptation efforts as to address climate change: "case of Nouakchott city"</p> <p>Speakers: ministère environnement, programme alimentaire mondial et giz</p>
Friday, 09 December	13:15– 14:45 Aples River	<p>Centre for International Governance Innovation (CIGI) Mr. Jason Blackstock jblackstock@cigionline.org +1 519 4984561</p> <p>Fundación Desarrollo Sustentable, A.C.* (FDS) Mr. Jose Maria Valenzuela josemariav@gmail.com +52 1 5541337439</p>	<p>Low-Carbon Innovation for an Electricity-Dependent World This workshop explores pathways to a low-carbon future, as well as the innovation ecosystem needed to support next-generation technologies that enable global access to low-carbon electricity. This Side Event will preview findings to be published in the coming Equinox Blueprint.</p> <p>Speakers: Jason Blackstock (Canada), Velma McColl (Canada), Aaron Leopold (Belgium)</p>

Scheduled	Time/room	Organizer	Title / theme / speakers
Friday, 09 December	13:15– 14:45 Indwe River	<p>Rainforest Foundation Norway (RFN) Ms. Siri Damman sirid@rainforest.no +47 23 109500</p> <hr/> <p>Forest Peoples' Programme (FPP) Mr. Francesco Martone henson@forestpeoples.org +44 1608 652893</p>	<p>Safeguards in REDD and the Green Climate Fund: How to achieve rights-based forest management? Based on early experiences with REDD on the ground in Peru and Guyana, government, IP and NGO speakers will discuss how financing mechanisms could be linked to the implementation of safeguards in order to stimulate a development of REDD which is rights-based, efficient and equitable.</p>

參、公約議題趨勢觀察

一、大會會議基本觀察

聯合國氣候變化綱要公約第十七屆締約國大會(The 17th Conference of Parties, COP17)暨京都議定書生效的第七次締約國會議(The 7th Conference of Parties, CMP7)於今年(2011年)11月28日至12月9日在南非德班(Durban)舉行，來自全球194個氣候變化綱要公約會員國與非政組織參與，人數超過13,000人，大會經過延會一天半，最後取得共識，提出「德班強化行動平台」(Durban Platform for Enhanced Action, DPEA)，奠立後京都協商基礎。

台灣代表團由行政院環保署張子敬副署長代領包括產、官、學、及非政府組織等，合計超過60人參與盛會。本次會議重點在長期合作行動(Long-term Cooperative Action, LCA)與修訂京都議定書(Kyoto Protocol, KP)的協議兩軌進行下，涉及的焦點議題，包括附件一國家在京都議定書下的進一步減排承諾、綠色氣候基金(green climate fund)的籌措與運用、京都機制(Kyoto mechanism)與財務與技術移轉(financial and technology transfer)等。

本次大會合計完成COP的20項決議，以及CMP的17項決議，COP18/CMP8將於2012年11月26日~12月7日於卡達(Qatar)舉行。以下綜合分析本次大會觀察心得如下：

二、全球溫室氣體排放現況

依據聯合國氣候變化綱要公約最新統計資料，指出附件一國家(1990~2009)GHG排放減少11.5%，見圖1，已超過京都議定書減排5.2%之承諾目標；其中經濟轉型國家減排41.4%，而非經濟轉型國家(工業化國家)則仍然成長2.1%，表示附件一國家溫室氣體減量仍來自於經濟轉型國家的減量貢獻為主。就部門別而言，大部分部門均已

呈現減排趨勢，其中，能源部門約減排 8.8%、工業製程約減排 28.9%、農業部門約減排 21.6%、廢棄物部門約減排 10.2%、LULUCF 部門碳匯約增加 67.0%，見圖 2。由此可知，農業部門是減排率最高的部門。

至於能源消費部門而言，能源產業與運輸部門呈現增排趨勢，其中，運輸部門增排 9.9%，是唯一成長的部門，是未來最關鍵的能源消費部門，見圖 3。其餘部門均已呈現減排狀況，其中，工業部門減排率最高，減排 25.1%，而能源產業亦達到減排 4.6%。

Changes in greenhouse gas emissions from Annex I Parties, 1990–2009

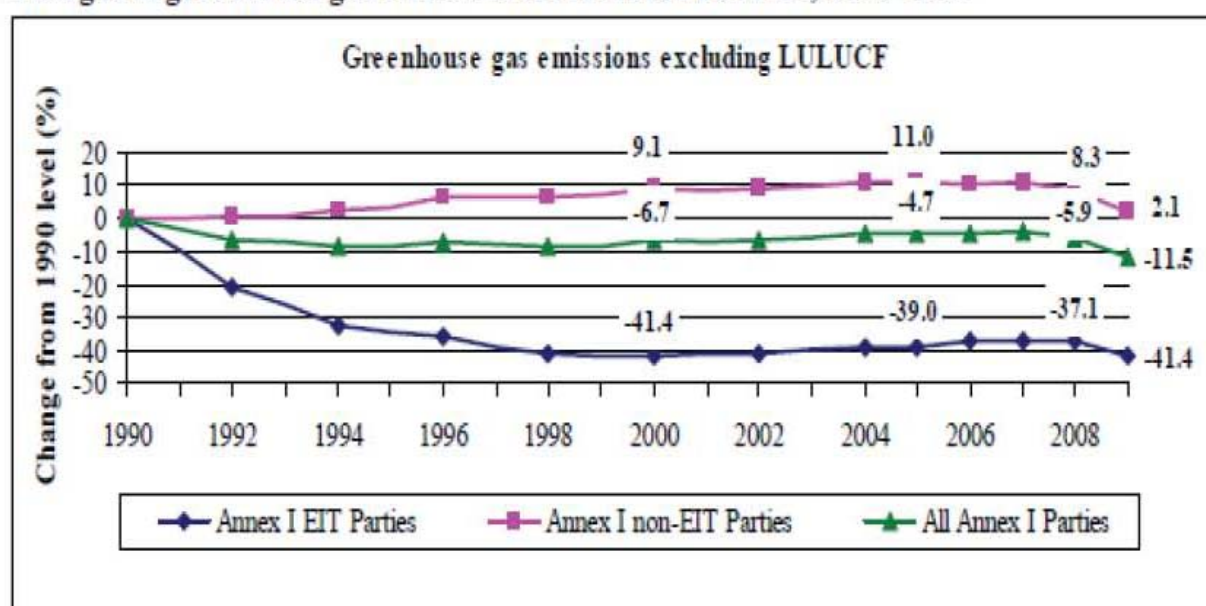


圖 1 附件一國家(1990-2009)溫室氣體排放趨勢

資料來源：UNFCCC(2011), National GHG Inventory Data for the period 1990-2009.(FCCC/SBI/2011/9)

Greenhouse gas emissions/removals from Annex I Parties by sector, 1990 and 2009

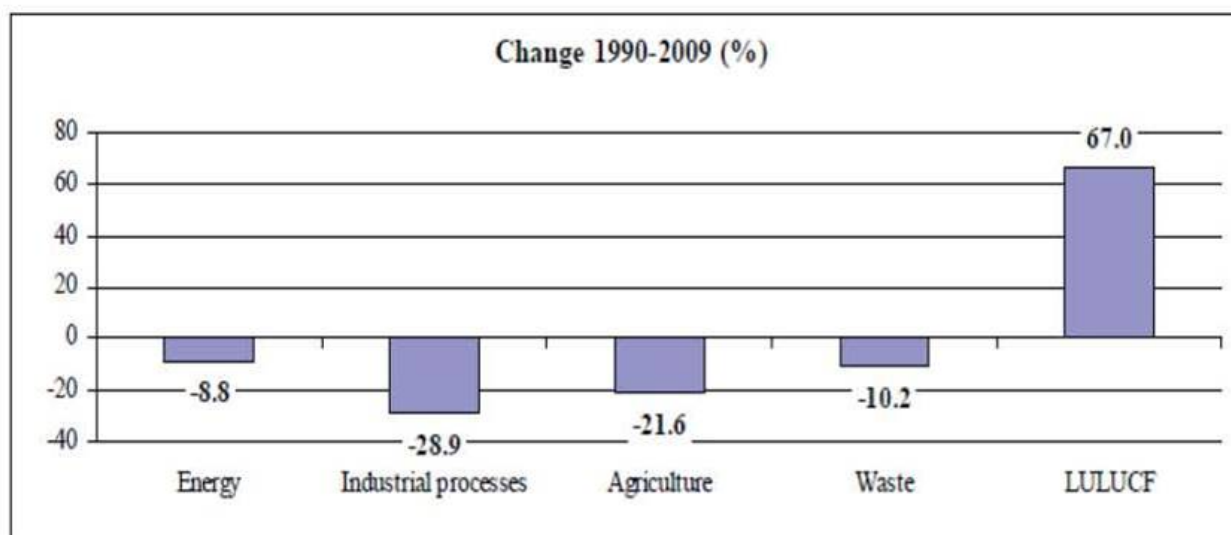
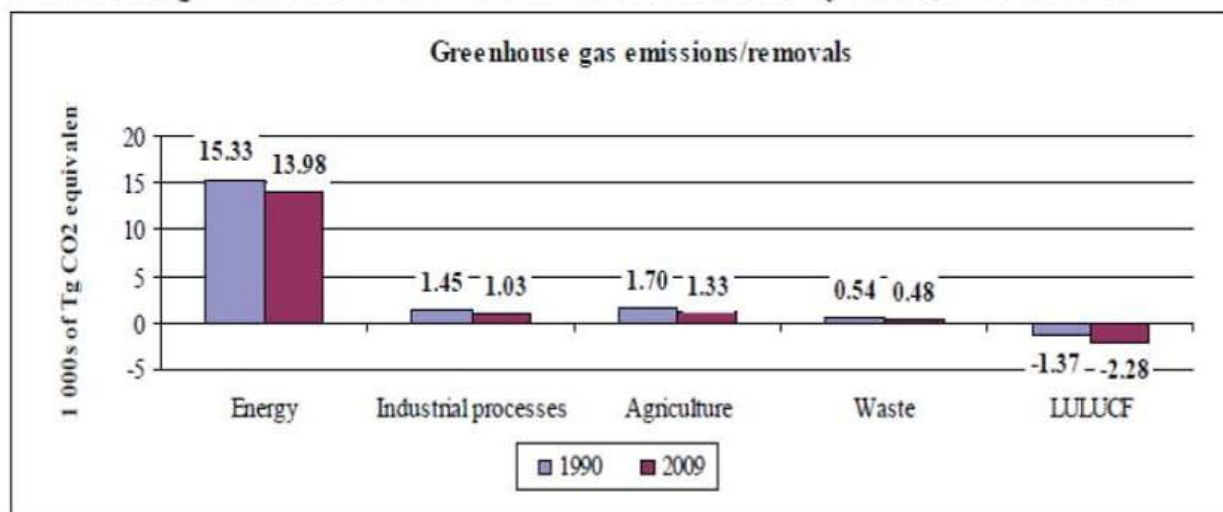


圖 2 部門別歷年溫室氣體排放變化情況比較

資料來源：UNFCCC(2011), National GHG Inventory Data for the period 1990-2009.(FCCC/SBI/2011/9)

Greenhouse gas emissions from Annex I Parties in the energy sector, 1990 and 2009

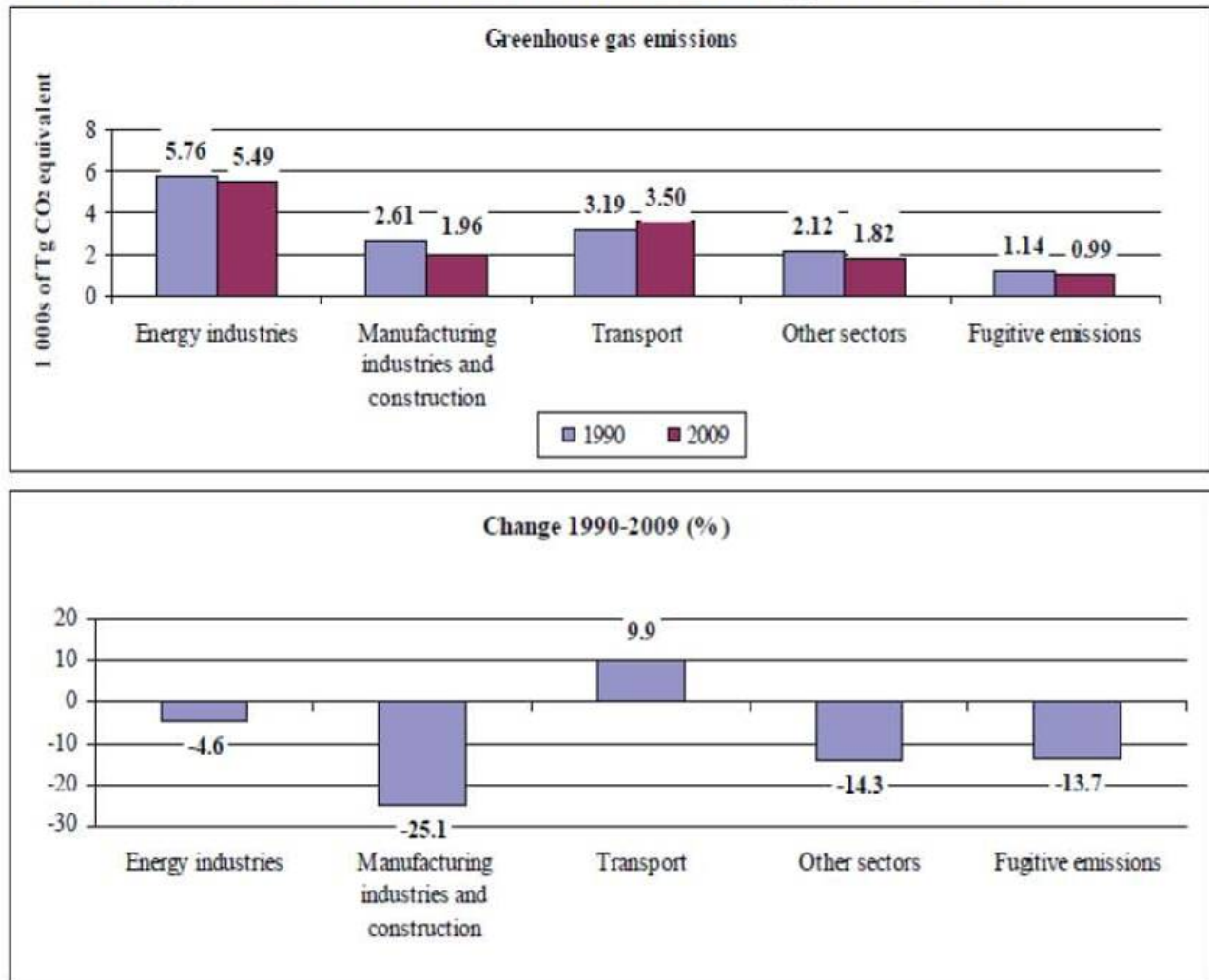


圖 3 能源消費部門歷年溫室氣體排放變化情況比較

資料來源：UNFCCC(2011), National GHG Inventory Data for the period 1990-2009.(FCCC/SBI/2011/9)

三、大會主要議題與決議

本次締約國會議經過兩個星期正規會議之後，無法如期取得共識，經由展延一天半會期，緊密協商，最後總算獲得大會共識與重要決議。本次大會主要討論議題一如往常，包括：後京都減量協商(區分兩軌進行，分別為延長京都議定書期程與制定新議定書)、如何進一步發展 CDM、京都機制執行、調適進展與調適基金、綠色氣候基金(green climate fund)、技術發展與移轉、開發中國家毀林與減排(Reducing Emissions from Deforestation in Development Countries, REDD)、及碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)技術等。歸納大會焦點議題與重要決議簡述如下：

(一)、大會焦點議題

1. 京都議定書特設工作小組(Ad Hoc Working Group, AWG-KP)報告
1. 討論如何將減量目標轉為 QELROs (Quantified Emission Limitation and Reduction Objectives)，涉及課題包括：基線推估、初期年、單一數值或範圍值、如何確認與第二減量承諾期長度相容性。
2. 如何處理剩餘 AAUs (Assigned Amount Units)？
- 長期合作特設工作小組(Ad Hoc Working Group, AWG-LCA)報告
- I、減排：
 1. 已開發國家(附件一國家)減排：應建立共同計算規則，且應奠基在 IPCC 的方法學上
 2. 開發中國家減排：開發中國家減排是德班會議成功與否的關鍵
- II、調適：
 1. 應發展小額調適融計畫
 2. 應簡化認證程序
- CDM 進展

1. 建立額外性(additionality)指引
2. 標準化基線，應符合 MRV (Measurable, Reportable, Verifiable)
3. 第二減量承諾期與嚴格的 QELROs 將決定 CDM 的未來發展

■ 國際航運 GHG 管理

1. 界定衡量範疇
2. 由 ICAO 與 IMO 共同制定指引(guideline)
3. 積極推動減排行動
4. 導入市場工具(如碳交易制度或航運稅)

■ 其他議題

1. 綠色氣候基金(Green Climate Fund, GCF)：應建立 GCF 的管理工具
2. 成立技術執行委員會：討論技術移轉問題
3. 市場機制：應建立新市場機制，且加強市場機制的環境完整性。

(二)、大會主要決議

I、德班加強行動平台(Durban Platform for Enhanced Action, DPEA)

- 體認氣候變遷對人類與地球的威脅，因此，所有會員國與國家，應在適當及有效的國際因應積極參與，並加速降低全球溫室氣體排放。
- 然而，目前各國提出的減量承諾，仍與控制溫升低於 20C 或 1.50C 所需達到的全球溫室氣體減排量，存在相當大的差距。
- 為達到公約的最終目標，需要在公約基礎下，加強建立多邊與規則基礎。
- 決議：
 1. 為達到 Bily 行動計畫，決定延長 AWGLCA 一年工作時間。
 2. 推動另一個適用於所有會員國，且具有法律基礎的新議定書。

3. DPEA 工作小組應於 2012 年前半年開始展開工作，且應向締約國會議報告其進展。
4. DPEA 工作小組應儘速於 2015 年完成新議定書的建立，以利 2020 年可以開始執行。
5. DPEA 工作小組應儘速於 2012 年上半年完成如下工作：減緩、調適、技術發展與移轉、行動透過、獎勵與能力建設等相關技術、社會與經濟資訊及專家。
6. 會員國應依據 IPCC 第五版科學報告(2013-2015 年提出)，提出積極的減排承諾目標。
7. 成立積極減排承諾推動工作計畫，確立會員國已盡其最大努力，且能夠降低減排缺口。

II、AWG-LCA

- 長期合作行動共同願景：2050 年應大幅減排全球溫室氣體排放
- 加強減排行動：
 1. 已開發國家的適當減排承諾(NAMC)：(1)所有已開發國家的減排努力均應符合 MRV；(2)努力於 2100 年控制溫升低於 20C；然而，也需要考量是否可能控制低於 1.50C；(3)2012 年持續討論國家或個別部門減排目標，並必需考量基準年、GWP、涵蓋的溫室氣體與部門、期望減排量、LULUCF 及碳額度取得等因子，且應於 2012 年 3 月 5 日完成。
 2. 開發中國家的 NAMAs：(1)努力於 2100 年控制溫升低於 20C；然而，也需要考量是否可能控制低於 1.50C；(2)認同開發中國家提交減排行動的多元性，包括假設與方法，然而，必須建立締約國間的信賴。

III、京都機制

1. 再確定京都機制僅是輔助其國內減排行動，而國內減排行動應與 QELROs 結合。

2. 決議於 COP18 檢討「承諾期保留」(commitment period reserve, CPR)的設計，包括 MRV 等，以促進排放交易的運行。

IV、溫室氣體範圍

1. 京都議定書的第二減量承諾期，應增加納入 nitrogen trifluoride (NF3)，並納入 QELROs。
2. 未來仍考量是否納入其他高 GWP 氣體於國家減排承諾目標中。
3. 未來應加強檢討 GWP 的合理性，且應於 2015 年之前提交評估報告。

V、溫室氣體盤查指引

1. 當使用 2006 年 IPCC 國家溫室氣體盤查版本時，必須說明相關方法學的議題。
2. 應於 2015 年開始使用新版國家溫室氣體盤查方法

VI、CCS 與 CDM 新指引

1. CCS 納入 CDM 計畫，每五年評鑑一次其執行形式。
2. CCS 計畫涉及碳儲存於他國或他境時，仍具有合格性。
3. CDM 理事會簡化「額外性」認定，包括能源效率與再生能源。同時，簡化上開計畫活動的基線方法學。
4. CDM 理事會簡化「登錄」與「CERs 核發」程序，可以大幅縮短計畫參與者的等待時間。
5. 改善計畫週期效率，加速確證與查證程序。

VII、附件一國家進一步減排承諾

1. 考量附件一國家之潛在環境、社會及經濟等資訊，例如外溢效果(spillover effect)、工具、政策與措施及技術等的可獲得性。
2. 在獲得附件一與非附件一國家的共識下，應最小化減排政策與措施的不利衝擊(adverse impact)。

3. 體認減排政策與措施之正向與負向之衝擊。
4. 應特別考量非附件一國家的最小化衝擊效果。
5. 應瞭解預測、分配與量化等工作的挑戰性。
6. 應瞭解學習效果的利益，以及國家政策與措施之正向與負向衝擊效果。
7. 應瞭解附件一國家制度及管制架構等因素對減排政策與措施之潛在衝擊。
8. 附件一國家應協助非附件一國家能力建設。
9. 體認到可以透過下列工具，深入瞭解潛在衝擊：
 - (1)所有締約國應儘可能的完整提供政策與措施，所產生之潛在衝擊的資訊；
 - (2)由相關國家研究機構或國際組織提供之潛在衝擊評估報告；
 - (3)由 UNFCCC 機構所提出之潛在衝擊資訊。

VIII、綠色氣候基金

1. 決議將氣候基金成為公約下之財務機制，並於 COP18 決定如何補助開發中國家相關活動。
2. 決議由綠色氣候基金理事會制定指引，包括相關政策與計畫優先性之原則與準則。
3. 要求理事會平衡分配綠色氣候基金在減緩與調適資金。
4. 要求理事會研提與調適、技術執行委員會及其他機構的合作機制，以確立綠色氣候基金與相關機構的適當連結。
5. 對於上述事務的推動，應於 COP19 之前完成。
6. 感謝韓國組織第二次委員會議，並提供綠色氣候基金起動會議所需的行政費用。

肆、周邊會議資訊分析

本次周邊會議的議題相當豐富，合計有 250 場周邊會議以及 200 個展覽攤位。以下選擇幾項焦點議題，包括 IEA(2011)提出的能源政策執行績效計分卡(IEA Scoreboard, 2011)；IEA(2011)提出的更新 25 項能源效率政策建議 (25 Energy Efficiency Policies Recommendation Update, 2011)；IEA(2010)提出運輸部門能源效率政策建議執行情況(Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation)；看守德國(Germanwatch, 2011)之「氣候變遷績效指數」(Climate Change Performance Index 2012, CCPI)與全球氣候風險指數(Global Climate Risk Index, 2012)；及 OECD(2011)提出之能源與綠色成長(OECD Green Growth Studies... Energy, 2011)等。

一、IEA 能源政策執行績效計分卡

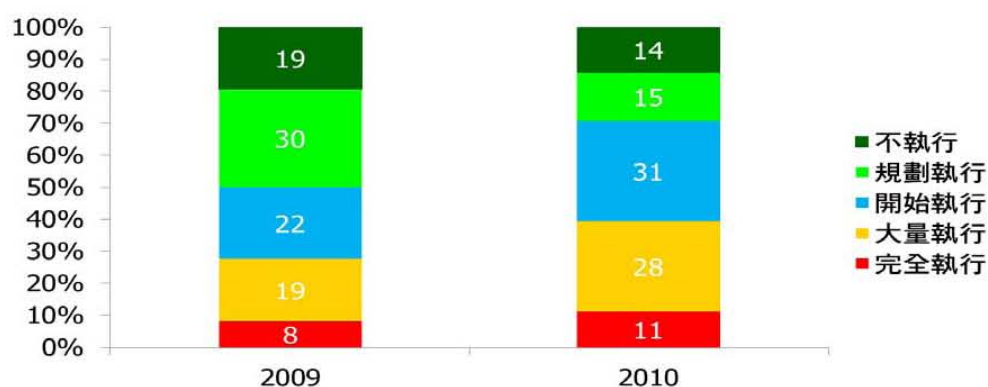
IEA 能源效率政策執行績效計分卡，主要衡量 IEA 國家針對 2008 年提出之 25 項能源效率政策建議之執行進展。為方便比較，IEA 將政策執行狀況依其執行程度區分：完全執行(full implemented)、大量執行(substantial implementation)、開始執行(implementation underway)、規劃執行(plan to implement)及不執行(not implemented)等五個等級。

(一) IEA 國家整體節能政策執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之整體能源效率政策執行績效可知，政策執行率(包括完全執行、大量執行及開始執行三項)已由 2009 年的 49%，提高至 2010 年的 71%，增加 22%，詳見圖 4，其中，大量執行與開始執行率均增加 9%，是最主要的執行績效。

IEA 國家當前跨部門節能政策重點包括：(1)許多 IEA 國家已加強能源效率投資；及(2)加強對自願性或強制性政策執行監督、強化及評估其成效為主。未來進一步發展方向包括：(1)改善國家能源效率策略與行動計畫；(2)擴大財務機制，建立節能 MRV 政策；(3)加強風險管理的努力；及(4)改善能源指標的品質與範疇。(詳見表 1)

單位：%



資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

圖 4 IEA 國家跨部門節能政策執行績效進展

表 1 IEA 國家跨部門節能政策重點與未來發展

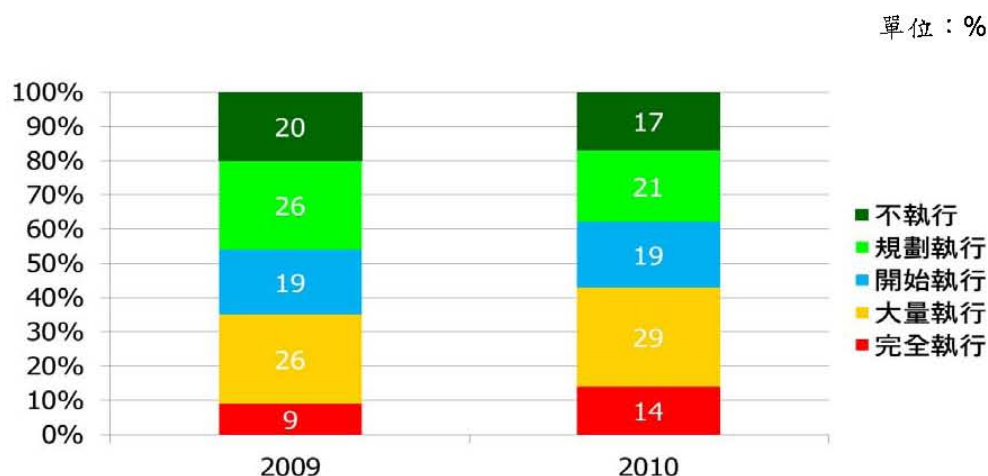
目前政策重點	進一步發展領域
1. 許多 IEA 國家已加強能源效率投資。 2. 加強對自願性或強制性政策執行監督、強化及評估其成效	1. 改善國家能源效率策略與行動計畫 2. 擴大財務機制，建立節能 MRV 政策 3. 加強風險管理的努力 4. 改善能源指標的品質與範疇

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

(二) IEA 國家建築節能政策執行執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之建築節能政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 54%，提高至 2010 年的 62%，增加 8%，詳見圖 5，其中，完全執行增加 5%，是最主要的執行績效。

IEA 國家當前建築節能政策重點包括：(1)制定新建築能源效率標準(如加拿大、韓國、盧森堡、荷蘭與英國)；(2)推動節能建築權證(如歐盟)；及(3)既存建築節能資訊蒐集與報告(如德國、加拿大、日本、韓國、與紐西蘭)等三項。未來進一步發展方向包括：(1)加強新、舊建築的最小能源績效標準(minimum energy performance requirement, MEPS)；(2)強化建築能源效率標準與 MEPS；(3)擴大節能(positive energy houses, PEHs)與零排放建築(zero energy buildings, ZEBs)建造規模；(4)獎勵舊建築改造計畫，以達到 MEPS；及(5)推動節能玻璃等五項。(詳見表 2)



資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

圖 5 IEA 國家建築節能政策執行績效進展

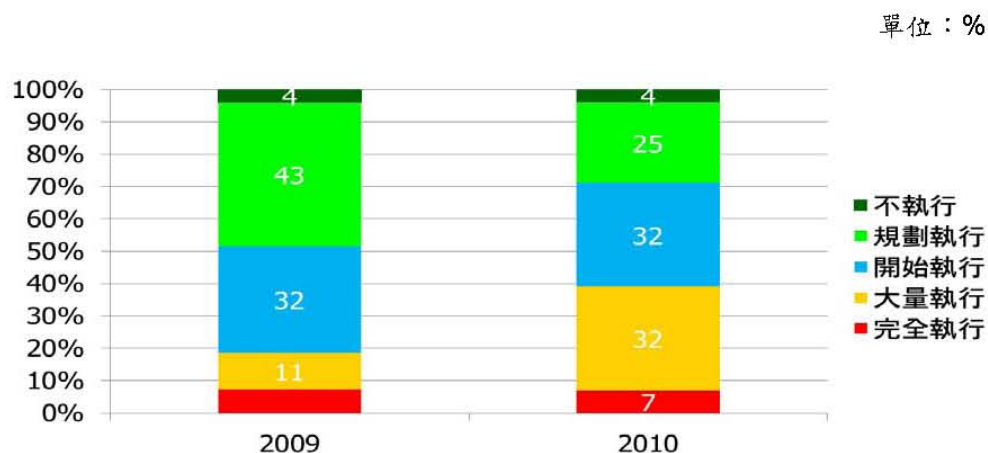
表 2 IEA 國家建築節能政策重點與未來發展

目前政策重點	進一步發展領域
1. 制定新建築能源效率標準(如加拿大、韓國、盧森堡、荷蘭與英國) 2. 推動節能建築權證(如歐盟) 3. 既存建築節能資訊蒐集與報告(如德國、加拿大、日本、韓國、與紐西蘭)	1. 加強新、舊建築的最小能源績效標準(minimum energy performance requirement, MEPS) 2. 強化建築能源效率標準與 MEPS 3. 擴大節能(positive energy houses, PEHs)與零排放建築(zero energy buildings, ZEBs)建造規模 4. 獎勵舊建築改造計畫，以達到 MEPS 5. 推動節能玻璃

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

(三) IEA 國家強制性建築節能權證政策執行績效進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之強制性建築節能權證政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 21%，提高至 2010 年的 71%，增加 50%，詳見圖 6，其中，大量執行增加 21%，是最主要的執行績效。



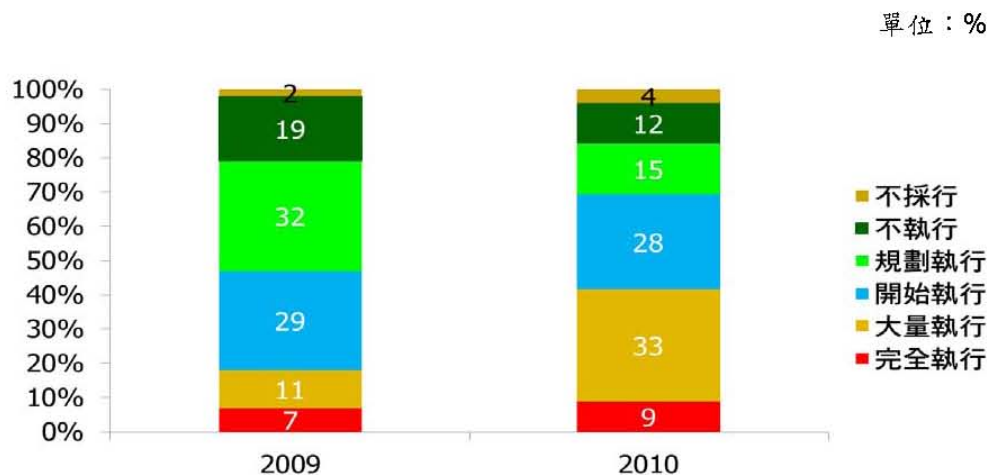
資料來源：IEA(2011)

圖 6 IEA 國家強制性建築節能權證政策執行績效進展

(四) IEA 國家器具設備節能標準政策執行績效進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之器具設備節能政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 47%，提高至 2010 年的 70%，增加 23%，詳見圖 7，其中，大量執行增加 22%，是最主要的執行績效。

IEA 國家當前器具設備節能政策重點包括：(1)強化器具與設的 MEPS；(2)電視機的新 MEPS 與節能標示(如澳洲、加拿大與日本)；及(3)制定與執行待機節能標準等三項。未來進一步發展政策包括：(1)確認器具最小能耗，同時優先建立產業節電議定書；(2)確認執行適當策略，鼓勵電視機製造與銷售商，儘可能提供節能電產品。(詳見表 3)



資料來源：IEA(2011)

圖 7 IEA 國家器具設備節能權證政策執行績效進展

表 3 IEA 國家器具設備節能權證政策重點與未來發展

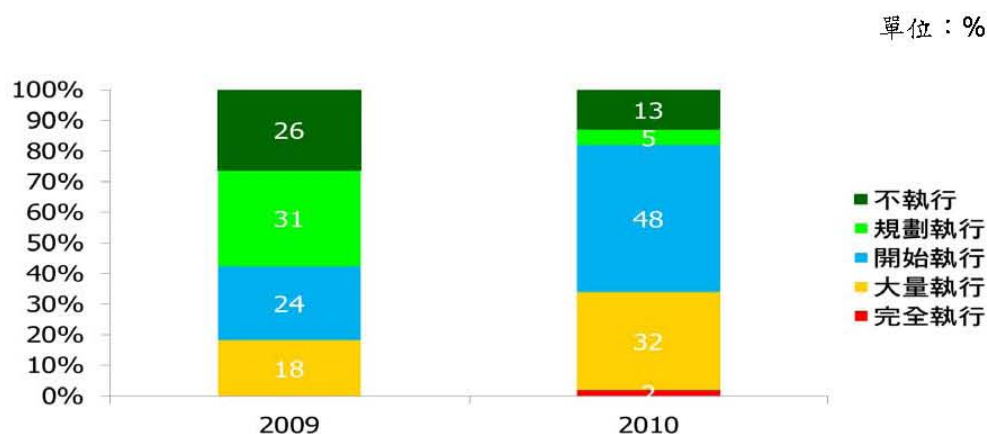
目前政策重點	進一步發展領域
1. 強化器具與設的 MEPS 2. 電視機的新 MEPS 與節能標示(如澳洲、加拿大與日本) 3. 制定與執行待機節能標準	1. 確認器具最小能耗，同時優先建立產業節電議定書 2. 確認執行適當策略，鼓勵電視機製造與銷售商，儘可能提供節能電產品

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

(五) IEA 國家照明節能政策執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之照明節能政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 42%，提高至 2010 年的 82%，增加 40%，詳見圖 8，其中，大量執行與開始執行分別增加 24%，是最重要的執行績效。

IEA 國家當前照明節能政策重點包括：(1)淘汰無效率的白熾燈泡；及(2)加拿大、日本、荷蘭、英國與美國支持與協助開發中國家使用非燃料照明等兩項。未來進一步發展政策包括：(1)發展非住宅使用節能照明政策與措施；及(2)推動使用高效率之非燃料照明獎勵措施等兩項。(詳見表 4)



資料來源：IEA(2011)

圖 8 IEA 國家照明節能權證政策執行績效進展

表 4 IEA 國家照明節能政策重點與未來發展

目前政策重點	進一步發展領域
1. 淘汰無效率的白熾燈泡 2. 加拿大、日本、荷蘭、英國與美國支持與協助開發中國家使用非燃料照明	1. 發展非住宅使用節能照明政策與措施 2. 推動使用高效率之非燃料照明獎勵措施

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

(六) IEA 國家運輸節能政策執行績效進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之運輸節能政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 13%，提高至 2010 年的 76%，增加 63%，詳見圖 9，其中，開使執行增加 48%，是最主要的執行績效。

IEA 國家當前照明節能政策重點包括：(1)歐盟推動運輸器具 MEPS，以及節能輪胎標章措施；(2)歐盟推動小客車 CO2 排放標準；(4)日本啟動自願性節能輪胎標章制度；(5)美國加嚴 CAEF 標準(2012-2016 年)；(6)歐盟推動新客車傳動指標管制等六項。未來進一步發展政策包括：(1)制定重型車輛燃油效率標準與節能標章制度；(4)確認所有計畫的執行；及(3)推動節能駕駛教育宣傳等三項政策。(詳見表 5)

單位：%

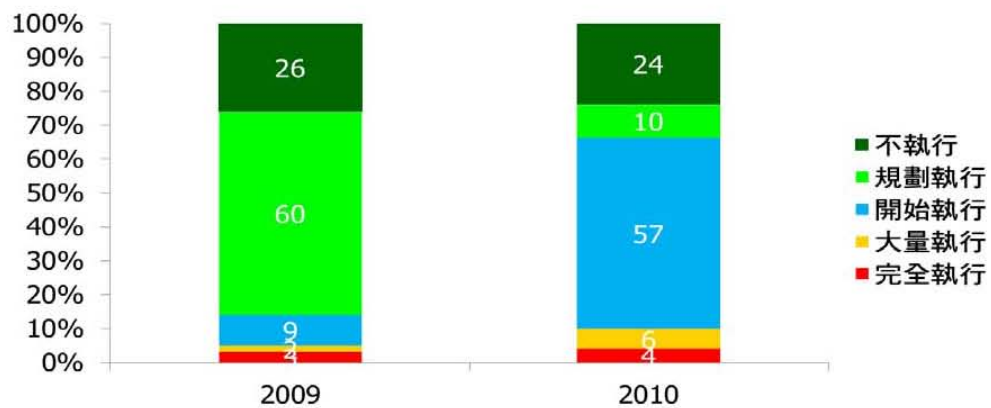


表 5 IEA 國家運輸節能政策重點與未來發展

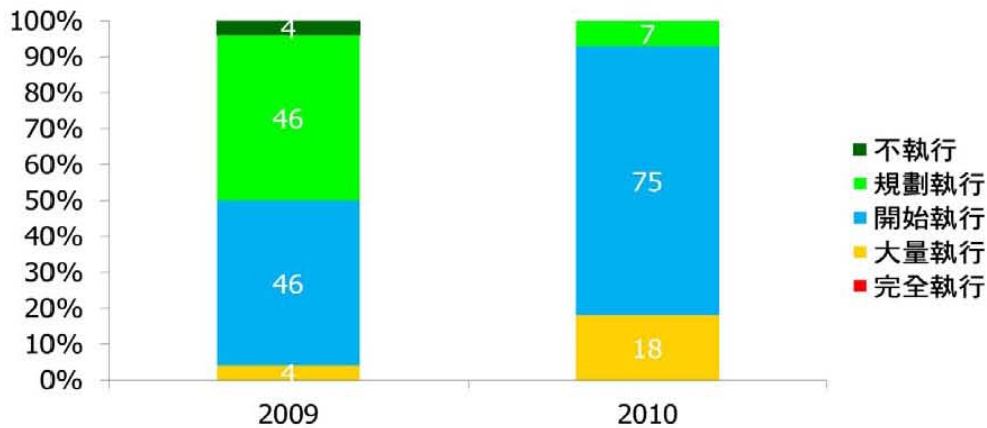
目前政策重點	進一步發展領域
<ol style="list-style-type: none"> 1. 歐盟推動運輸器具 MEPS，以及節能輪胎標章措施 2. 歐盟推動小客車 CO2 排放標準 3. 日本啟動自願性節能輪胎標章制度 4. 美國加嚴 CAEF 標準(2012-2016 年) 5. 歐盟推動新客車傳動指標管制 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制定重型車輛燃油效率標準與節能標章制度 2. 確認所有計畫的執行 3. 推動節能駕駛教育宣傳

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

(七) IEA 國家節能駕駛政策執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之節能駕駛政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 50%，提高至 2010 年的 93%，增加 43%，詳見圖 10，其中，開始執行增加 29%，是最主要的執行績效。

單位：%



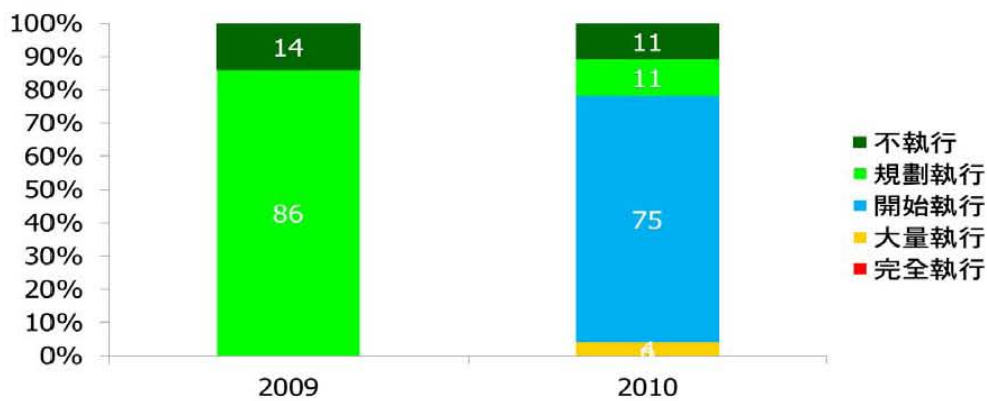
資料來源：IEA(2011)

圖 10 IEA 國家節能駕駛政策執行績效進展

(八) IEA 國家輪胎節能政策執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之節能輪胎政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 0%，提高至 2010 年的 78%，增加 78%，詳見圖 11，其中，開使執行增加 75%，是最主要的執行績效。

單位：%



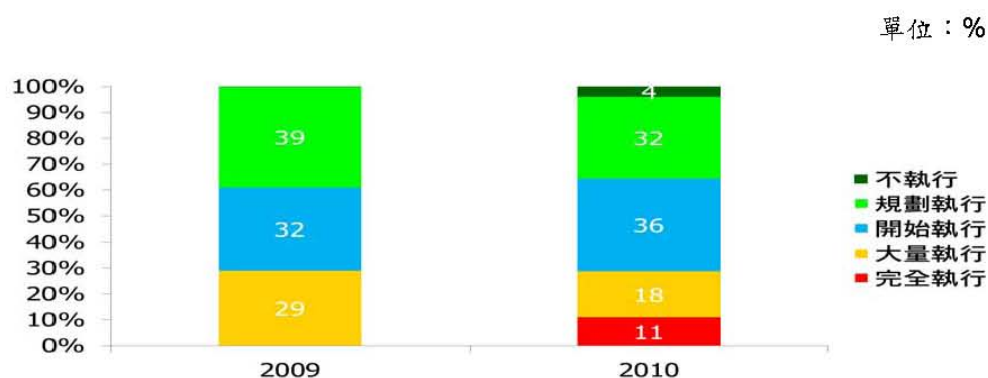
資料來源：IEA(2011)

圖 11 IEA 國家節能輪胎政策執行績效進展

(九) IEA 國家電力部門節能政策執行進展

比較 IEA 國家 2009 年與 2010 年之運輸節能政策執行績效可知，政策執行率已由 2009 年的 61%，提高至 2010 年的 64%，增加 4%，詳見圖 12，其中，完全執行增加 11%，是最主要的執行績效。

IEA 國家當前照明節能政策重點包括：(1) 進一步推動電力事業單位改善終端電力消費節能措施(如加拿大、丹麥、愛爾蘭、波蘭、西班牙、英國及美國)。未來進一步發展政策包括：(1) 加強終端電力用戶節能誘因措施。(詳見表 6)



資料來源：IEA(2011)

圖 12 IEA 國家電力部門節能政策執行績效進展

表 6 IEA 國家電力部門能政策重點與未來發展

目前政策重點	進一步發展領域
1. 進一步推動電力事業單位改善終端電力消費節能措施(如加拿大、丹麥、愛爾蘭、波蘭、西班牙、英國及美國)	1. 加強終端電力用戶節能誘因措施

資料來源：IEA(2011), IEA Scoreboard.

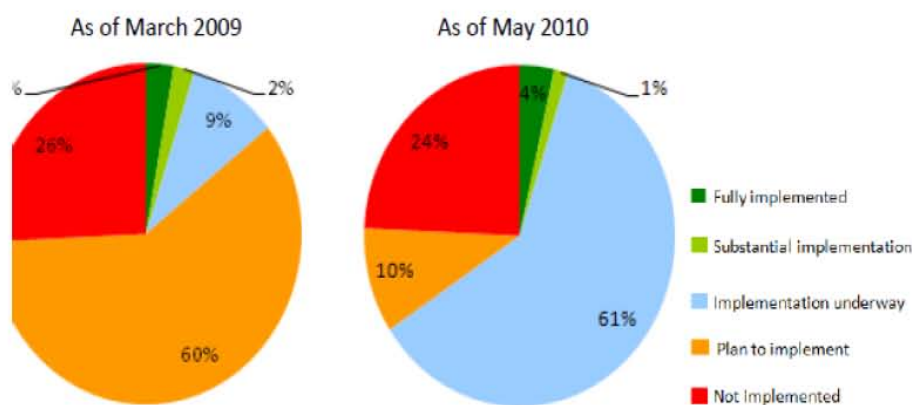
二、IEA(2010)運輸部門能源效率政策推動進展檢視

IEA(2008)於 COP14 會議首先提出 25 項能源效率政策建議，提供各國政府推動節能政策之參考。其中，運輸部門能源效率政策包括：輪胎效率、輕型車輛能源效率、重型車輛能源效率及節能駕駛等四大項能源效率政策建議。為掌握 IEA 會員國的推動情況，IEA(2010)再提出運輸部門節能政策執行績效檢視報告，瞭解各國推動運輸部門節能政策之進展，以下簡述該檢視報告內容如下：

(一)、整體運輸部門能源效率政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國運輸部門節能政策推動進展可知，整體運輸部門的節能政策大部分已由規劃中(占 60%)，改變為開使執行(占 61%)，詳見圖 13，顯示 IEA 國家推動運輸部門節能政策的積極性。

IEA 會員國依據其不同國情，亦推動不同的運輸部門節能政策，詳見表 7，輕型車輛節能效率政策可以達到 20-30%節能效果，是節能效果最佳的政策，亦是大部分 IEA 國家最優先與普遍採行的節能政策。



資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 13 IEA 國家運輸部門跨部門節能政策執行績效進展

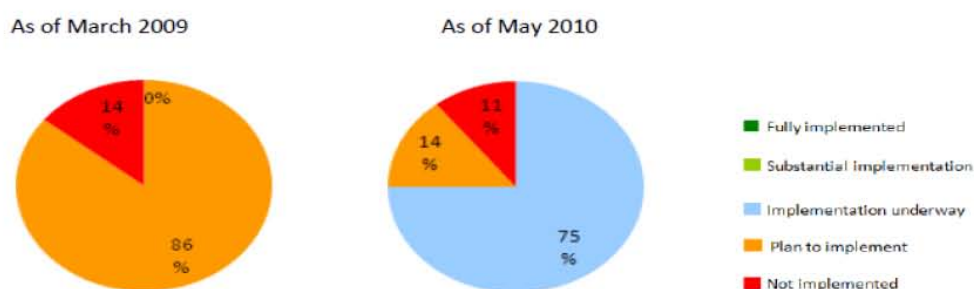
表 7 IEA 會員國推動運輸部門節能政策比較

Status/ Recommendation	Fully implemented	Implementation underway	Planning to Implement	Not implemented	Estimated energy saving
Fuel-efficient tyres		European Union, Canada, United States	Japan, Korea	Australia, New Zealand, Turkey	4-5%
Fuel efficiency standards: LDV	Japan, United States	Canada, European Union, Korea		New Zealand, Turkey Australia	20-30% reduction over the period 2005- 2015/16
Fuel efficiency standards: HDV	Japan		European Union, United States	Australia, Canada, Korea, New Zealand, Turkey	12% reduction over the period 2006- 2015 at Japanese target
Eco-driving programmes		Australia, Canada, European Union, Japan, Korea, New Zealand, United States		Turkey	5%-20% short term, circa 5-10% medium term

資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

(二)、效率輪胎標章政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國效率輪胎標章政策推動進展可知，效率輪胎標章政策於 2009 年時，大部分國家仍處理規劃中(占 86%)，然而，至 2010 年，則大部分國家均以開使執行(占 75%)，詳見圖 14，顯示 IEA 國家推動效率輪胎的積極性。

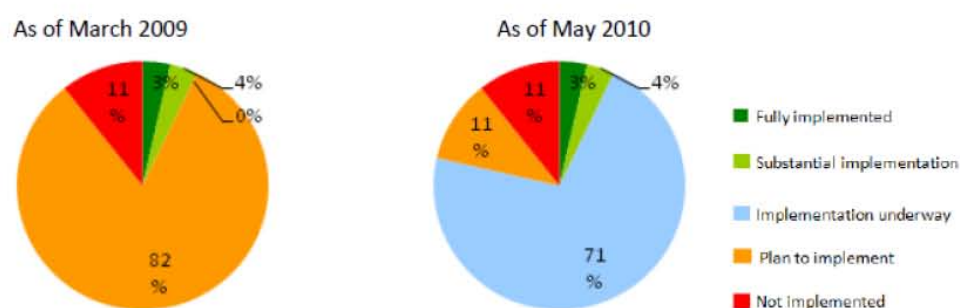


資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 14 IEA 國家推動效率輪胎標章政策執行績效進展

(三)、胎壓監測系統政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國效率輪胎標章政策推動進展可知，胎壓監測系統政策於 2009 年時，大部分國家仍處理規劃中(占 82%)，然而，至 2010 年，則大部分國家均以開使執行(占 71%)，少數已達到大量執行，甚至完全執行，詳見圖 15，顯示 IEA 國家推動輪胎效率的成效。



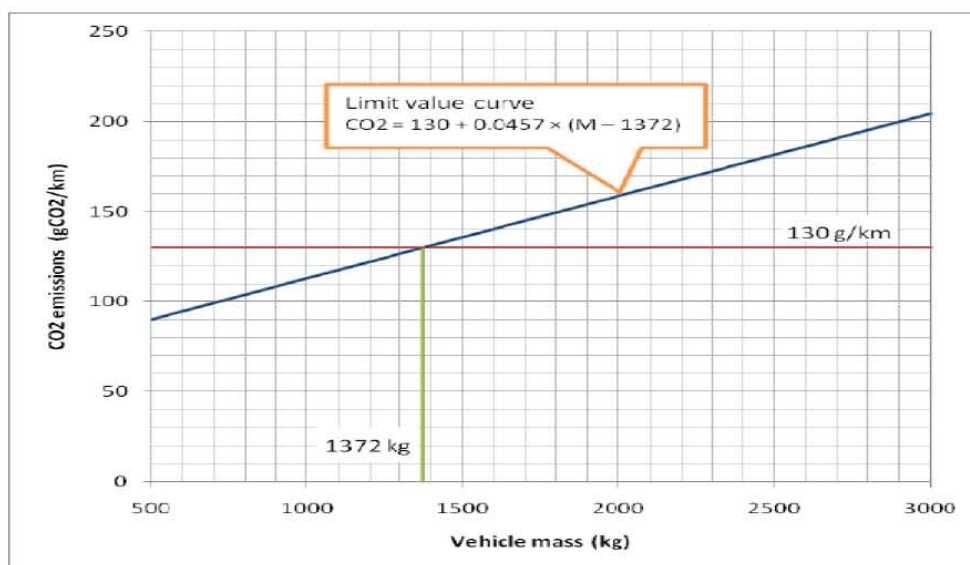
資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 15 IEA 國家推動胎壓監測系統政策執行績效進展

(四)、輕型車輛碳排放標準與車重之關聯性分析

歐盟已制定輕型車輛排碳標準，要求 2012 年車廠生產的新車總數的 65%須達到 130g/km，¹由於碳排放與車輛重量有關，因此，歐盟評估不同車輛重量與每公里碳排放分析，如圖 16 所示。由圖 16 可知，當車重超過 1,372 公斤時，其每公里碳排放量將超過 130 公克，此評估報告可以提供車廠生產車輛之參考。

¹ 2013 年要提升至 75%；2014 年提升至 80%；2015 年以後要達到 100%。

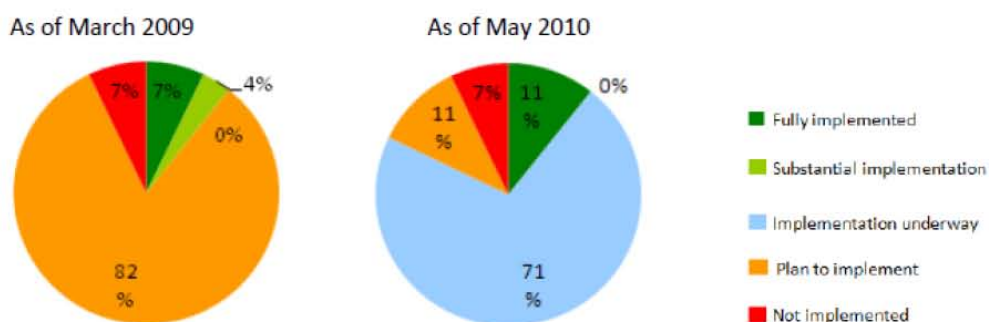


資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 16 不同車重與碳排放之關係圖

(五)、輕型車輛效率標準政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國輕型車輛效率標準政策推動進展可知，輕型車輛效率標準政策於 2009 年時，大部分國家仍處理規劃中(占 82%)，然而，至 2010 年，則大部分國家均以開使執行(占 71%)，少數已達到大量執行，甚至完全執行，詳見圖 17，顯示 IEA 國家推動輕型車輛效率標準的成效。

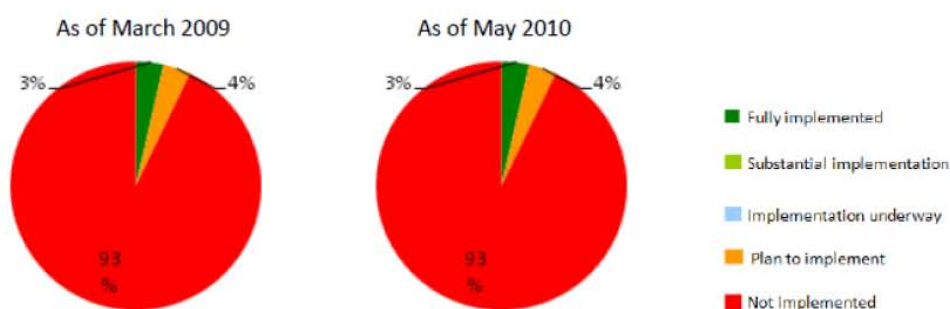


資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 17 IEA 國家推動輕型車輛效率標準政策執行進展

(六)、重型車輛效率標準政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國重型車輛效率標準政策推動進展可知，重型車輛效率標準政策推動毫無進展，大部分仍處理規劃中(占 93%)，詳見圖 18，顯示重型車輛效率標準政策推動的困難度。然而，IEA 國家仍積極努力之中，表 8 指出，IEA 國家已制定不同車重之效率標準，且隨著車重增加，調降其效率標準(公里/公升)。



資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 18 IEA 國家推動重型車輛效率標準政策執行進展

表 8 IEA 會員國卡車效率標準比較

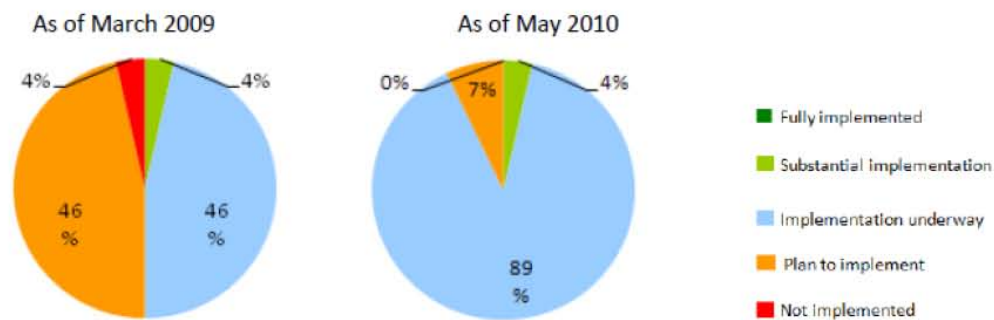
Class	Gross vehicle weight (tonnes)	Target standard value (km/L)
1	3.5 – 7.5 payload <= 1.5 tonnes	10.83
2	3.5 – 7.5 payload 1.5 - 2 tonnes	10.35
3	3.5 – 7.5 payload 2 - 3 tonnes	9.51
4	3.5 – 7.5 payload > 3 tonnes	8.12
5	7.5 – 8	7.24
6	8 – 10	6.52
7	10 – 12	6.00
8	12 – 14	5.69
9	14 – 16	4.97
10	16 – 20	4.15
11	20 –	4.04

資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

(七)、節能駕駛政策推動進展

比較 2009 年與 2010 年之 IEA 會員國節能駕駛政策推動進展可知，節能駕駛政策推動毫無進展，2009 年約有 48%仍處於規劃中，然而，至 2010 年，已全數轉為開使執行(占 89%)，少數已達到大量執行狀態，詳見圖 19，顯示 IEA 國家推動節能駕駛的積極性與成效。

表 9 顯示，不同國家推動節能駕駛的差異性，例如荷蘭與奧地利利用國家性計畫推動節能駕駛；日本則以教育宣導以及滯速熄火等。



資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

圖 18 IEA 國家推動重型車輛效率標準政策執行進展

表 9 不同國家推動節能駕駛政策比較

	Method	Short-term	Mid-term
Netherlands	National programme	10-20%	5-10%
Austria	National programme	10-15%	5-10%
Japan	Smart driving contest	25%	
Japan	Idle stop driving	10%	
Japan	Eco-drive workshop	12%	
Japan	Average mileage workshop	26%	
Sweden	Driver training courses	5-15%	
Austria	ÖBB Post Bus Best Practice training courses, competition, monitoring, feedback	10%	
Austria	Eco-driving competitions for licensed drivers	30-50%	
Austria	Mobility management for company fleets	10-15%	
Deutsche Bahn	Training courses, monitoring, feedback, rewards		3-5%
Shell		5-20%	
Ford	Training courses and trip/driving style analysis	25%	10%
FIA – AASA (South Africa)		15%	
FIA – Plan Azul (Spain)		14%	
FIA – ADAC (Germany)		25%	
FIA – öAMTC (Austria)		6%	
FIA – JAF (Japan)		12-16%	
Nissan		18%	
UK – Lane Group			4%
UK – Walkers			9%

資料來源：IEA(2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

三、IEA(2011)運輸部門能源效率政策更新建議

IEA(2011)於本次締約國會議再提出 25 項能源效率政策的更新建議，提供各國政府推動節能政策之參考，其中，運輸部門節能政策更新建議，以及與 2008 年 25 項能源效率政策建議之比較，簡述如下：

(一)、IEA(2008)運輸部門能源效率政策建議

■ 燃料效率輪胎

1. 採用國際輪胎效率標準檢驗程序，制定適當的胎壓標準

■ 制定輕型車輛燃料效率標準

1. 儘速制定適當的燃料效率標準
2. 調合未來不同效率標準

■ 制定重型車輛燃料效率標準

1. 制定適當的效率標準
2. 推動相關政策，包括效率標章與提升效率之財務誘因

■ 推動生態駕駛

1. 推動駕駛人訓練
2. 推動智慧型車輛系統(in-car feedback instrument)

(二)、IEA(2011)運輸部門能源效率更新政策建議

■ 非引擎燃油效率

1. 採用國際輪胎效率標準檢驗程序，制定適當的胎壓標準
2. 引入高效率空調系統

■ 制定車輛燃油效率標準

1. 儘速制定輕型適當的燃料效率標準
2. 調合未來不同效率標準
3. 制定重型車輛燃油效率標準

■ 提升車輛燃油效率措施

1. 推動效率標章
2. 開徵租稅，鼓勵購買節能車輛

■ 推動生態駕駛

1. 推動駕駛人訓練
2. 推動智慧型車輛系統(in-car feedback instrument)

■ 運輸系統效率

1. 使用者付費(包括經濟、環境與能源三全成本)
2. 加強運輸基礎建設，提高運具的經濟與環境效益
3. 都市發展規劃需要考量運輸能源需求

比較 2008 年與 2011 年更新政策可知，2011 年運輸部門能源效率政策建議增加：(1)車輛空調效率；(2)提升運輸系統效率(包括使用者付費、加強運輸基礎建設及都市發展規劃納入運輸能源需求等)。易言之，2011 年更新政策建議擴大運輸部門能源效率的範疇，強化整體運輸部門能源效率提升潛力。

四、2012 年氣候變遷績效指標報告

(一)、背景介紹

1. 發佈機構：「看守德國」(Germanwatch)與「歐洲氣候行動網絡」(Climate Action Network Europe)於 2005 建立「氣候變遷績效指標」(Climate Change Performance Index, CCPI)。
2. 最早發佈時間：2005 年(COP11)，已引起全球 100 多個國家的重視。
3. 評比對象：全球溫室氣體排放量超過 1%的 57 個國家之氣候績效。
4. 評估範圍包括排放趨勢、排放水準與氣候政策等三個構面。

(二)、評估內容

1. 僅評估國家能源相關排放之績效。
2. 由於畜牧(livestock)與毀林(deforestation)之排放資料不確定高，因此，沒有納入計算範籌。
3. 未來如果資料品質提高，將納入評估範籌。

(三)、CCPI 架構

1. 區分三個構面：過部門排放趨勢(Emissions Trends by sector)：50%；排放水準(Emissions Level)：30%；氣候政策(Climate Policy)：20%，指標架構見圖 19。
2. 合計 12 項指標，各項指標權重彙整如表 10 所示。

(四)、部門排放趨勢指標之意義與計算

原始部門趨勢評估：依據部門排放量對氣候變遷的影響設定其權重(電力部門權重約為 47%，運輸部門權重約 22%，工業部門權重約 20%，住宅部門約 11%)，占 CCPI 的 35%，包含三項指標：

1. 能源部門：檢視電力與再生能源的排放趨勢；
2. 運輸部門：檢視道路運輸與國際航空排放趨勢；
3. 住商部門：檢視住宅排放趨勢，不計住宅使用電力之排放；
4. 工業部門：檢視製造業與建築業之排放趨勢。

比較實際人均排放趨勢與同期之想要目標(desire target)，此項指標占 CCPI 的 15%。

部門排放趨勢以 3 年平均計算，優點可平均各期的資料波動，其計算方法說明如下：

1. 能源部門：計算發電排放，核能沒有納入計算。
2. 運輸部門：空運排放計算以國家航空燃料儲存量，並參考 IPCC 排放因子(2.7)。
3. 住宅部門：計算建築物熱能與水資源用量排放，但沒有包括用電排放(避免重複計算)。
4. 依據「共同但差異性原則」，區分排放趨勢(占 35%)，以及目標與趨勢差距(占 15%)。
5. 以 1990 年以來之實際人均排放趨勢與同期之想要目標(desire target)值(以達到 20C 之人均排放量為想要目標，亦即全球於 2050 年之人均排放量要收斂至某一水準)比較。換言之，工業化國家必須要較大幅度的降低。

(五)、排放水準指標之意義與計算

為考慮各國國情之差異，將生活型態與工業化程度納入排放水準之考量，故評估絕對碳排放量所包涵的核心資料包括：人口、經濟能力(以 PPP 平減之 GDP)與初級能源使用，占 CCPI 的 30%，包含三項指標：

1. 初級能源 CO2 排放量：指標權重為 15%，可檢視初級能源的碳排放量情形；
2. 初級能源密集度(單位 GDP 之初級能源需求量)：指標權重為 7.5%，可檢視能源效率的變化；
3. 人均初級能源消費量：指標權重為 7.5%，可檢視人均之初級能源消費狀態。

在計算方法上，受到全球化影響，貿易排放會產生衡量一個國家 CO2 排放量的誤差，然而，貿易排放資料取得不易，以及至正確性等因素，故不計入。

(六)、氣候政策

檢視國家減量政策的適宜性與因應態度，占 CCPI 的 20%，包含二項指標：

1. 國家氣候政策(National Climate Policy)：檢視國家氣候政策的適宜性。
2. 國際氣候政策(International Climate Policy)：檢視國家參與國際溫室氣體減量與相關會議等之努力程度。

計算方法說明如下：

1. 以問卷方式蒐集各國非政府組織氣候專家對政府採取國內與國際減量措施之評價，作為績效評估的基礎。
2. 評估目前氣候政策對達到具約束力目標與額外減量之潛力。
3. 全球約有 120 位專家接受評估 57 個國家之氣候政策，如果該國沒有適當的專家，則以全球平均值代表之。

4. 為避免過於強調目前排放量的重要性，同時考量國家排放量與減量措施之間可能存在時間落遲，氣候政策與排放趨勢兩構面之權重設定（70%）高於實際排放水準（30%），以適度修正各國於氣候變遷政策之努力。

(七)、CCPI 評估方法說明

CCPI 的排序是依據 OECD 建立的績效指標指引 (see Freudenberg, 2003)，每一績效值均是相對值，亦即相對其他國家氣候保護政策的努力程度。各項指標的評分以全球各國的相對表現呈現，分數從 0 到 100 分（表現最佳的國家可獲得 100 分，最差的國家則為 0 分）。式(1)為標準化過程，表示第 i 國的 CCPI 值的標準化過程，其中， X^i 為第 i 國分數。再將第 i 國各細項指標指加權平均獲得 CCPI 的綜合值，如式(2)所示。

$$X^i = \frac{CCPI^i - CCPI^{\min}}{CCPI^{\max} - CCPI^{\min}} \times 100 \quad (1)$$

$$I^i = \sum_{j=1}^n w_j \times X_j^i \quad (2)$$

(八)、資料來源

部門排放趨勢與水準的計算資料，主要來自 IEA 編制的“CO2 Emissions from Fuel Combustion”，而氣候政策資料，主要來自：

1. 主要透過問卷調查的方式，詢問當地氣候專家的意見。
2. 詢問當地對能源、運輸、工業與住宅溫室氣體管理績效瞭解的代表性非政府組織。

(九)、台灣 2012 年全球排名

台灣於 2009 年被納入評比之後，CCPI 全球排名由 32 名，掉落至 2012 年的 50 名。台灣名次退步原因：(1)溫室氣體排放仍持續成長；及(2)國內適當政策發展仍不足。如何持續改善台灣 CCPI 策略，包括：

1. 推動再生能源，提高再生能源發電占比，可以同時提高再生能源(排放趨勢構面)與單位能源 CO₂ 排放(排放水準構面)分數，應列為最優先策略。
2. 強化能源效率績效，可以同時降低單位 GDP 之能源消費與單位人口之能源消費，應列為無悔策略。
3. 制定新氣候政策與積極參與國際氣候會議與協議。
4. 推動再生能源，提高再生能源發電占比，可以同時提高再生能源(排放趨勢構面)與單位能源 CO₂ 排放(排放水準構面)分數，應列為最優先策略。
5. 強化能源效率績效，可以同時降低單位 GDP 之能源消費與單位人口之能源消費，應列為無悔策略。
6. 制定新氣候政策與積極參與國際氣候會議與協議。

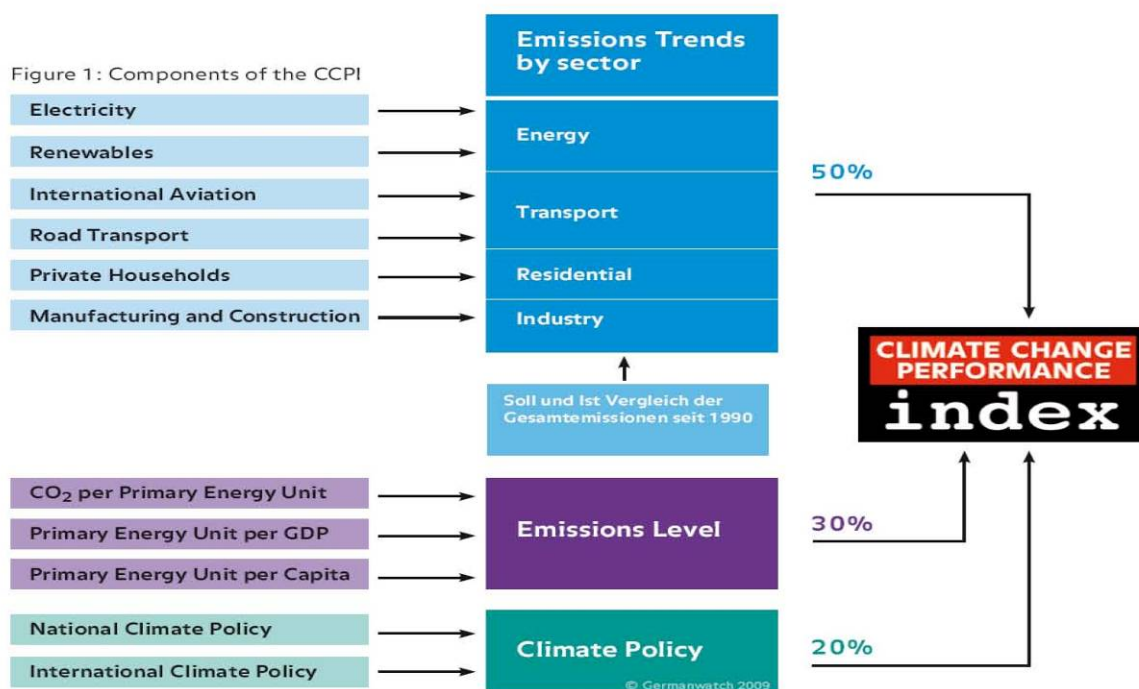


圖 19 CCPI 指標架構

資料來源：Germanwatch (2011), The Climate Change Index.

表 10 氣候變遷績效指數架構

構面	權重 (%)	指標項目	權重 (%)
部門排放趨勢	50	目標與真實績效趨勢之比較	15
		能源部門	
		電力排放	8
		再生能源排放	8
		運輸部門	
		道路運輸排放	4
排放水準	30	國際航空排放	4
		住宅部門	
		家計部門排放	4
氣候政策	20	工業部門	
		製造業與建築業排放	7
		初級能源之 CO ₂ 排放量	15
		初級能源密集度	7.5
		人均初級能源消費量	7.5
		國際氣候政策	10
		國家氣候政策	10

資料來源：GERMANWATCH，Climate Change Performance Index (2011)。

表 11 台灣近年(2009-2012)之全球 CCPI 排名變化

CCPI年度	全球表現最佳國家	排名	亞洲鄰近國家	排名	備註
2006	冰島	1	中國	29	
	拉脫維亞	2	日本	34	
	英國	3	南韓	49	
2007	瑞典	1	日本	26	
	英國	2	新加坡	28	
	丹麥	3	韓國	48	
	-	-	中國	54	
2008	瑞典	1	中國	40	
	德國	2	日本	42	
	冰島	3	新加坡	46	
	-	-	韓國	51	
2009	(從缺)	1	台灣	32	(29)
	(從缺)	2	新加坡	38	(35)
	(從缺)	3	韓國	41	(38)
	瑞典	4	日本	43	(40)
	德國	5	中國	49	(46)
	法國	6	-	-	

CCPI年度	全球表現最佳國家	排名	亞洲鄰近國家	排名	備註
2010	(從缺)	1	日本	35	
	(從缺)	2	新加坡	40	
	(從缺)	3	韓國	41	
	巴西	4	台灣	47	
	瑞典	5	中國	51	
	英國	6	-	-	
2011	(從缺)	1	新加坡	32	
	(從缺)	2	韓國	34	
	(從缺)	3	日本	39	
	巴西	4	台灣	47	
	瑞典	5	中國	48	
	英國	6	中國	56	
2012	(從缺)	1	韓國	41	
	(從缺)	2	日本	43	
	(從缺)	3	台灣	50	
	瑞典	4	新加坡	51	
	英國	5	中國	57	
	德國	6	-	-	

資料來源：GERMANWATCH，Climate Change Performance Index (2012)。

六、2011 年全球氣候風險指數報告

(一)、背景介紹

1. 發佈機構：「看守德國」（Germanwatch）與「歐洲氣候行動網絡」（Climate Action Network Europe）於 2010 建立「全球氣候風險指數」（Global Climate Risk Index, GCRI）。
2. 最早發佈時間：2010 年(COP16)。
3. 評比對象：UNFCCC 會員國。
4. 台灣因為人口數與經濟實力，而被納入評比

(二)、評估指標

全球氣候風險指數是依據歷史極端氣候事件對該國產生的曝險與傷害的情況，可視為一國警訊，作為該國未來調適的參考依據。主要的指標包括：

1. 死亡人數(death toll)
2. 每十萬居民的死亡數(death per 100,000 inhabitant)
3. 總損失金額(total losses)
4. 單位 GDP 的損失(losses per unit GDP)
5. 極端氣候事件(number of events)

(三)、指標權重

全球氣候風險指數之指標權重如表 12 所示，死亡人數與總損失金額權重均為 1/6；每十萬居民的死亡數與單位 GDP 的損失權重均為 1/3。

表 12 GCRI 指標權重

指標	權重	資料來源
死亡人數	1/6	-
每十萬居民的死亡數	1/3	國際貨幣基金
總損失金額	1/6	國際貨幣基金
單位 GDP 的損失	1/3	國際貨幣基金

資料來源：Germanwatch (2011), Global Climate Risk Index 2011.

(四)、2010 年全球氣候風險排名

依據看首德國最新公布的 2010 年全球氣候風險排名，台灣已由 2009 年的全球氣候風險最高的第二名，降低 2010 年的第 43 名，顯示，台灣於 2010 年遭受氣候衝擊的災害已大幅下降。

伍、結語

雖然本次會議，事先未被看好，然而，最後仍取得後京都氣候協議。歸結本次會議的主要結論預建議如下：

一、大會部分

1. 延長京都議定書至 2015 年，不致造成國際減量活動的空窗期，避免碳市場崩盤。
2. 不提 2020 年減量目標，改提 2050 年減量目標，將減排量期程拉長，降低會員國爭議。
3. 2015 年前完成新議定書架構，納入所有大排放國家，可以達到真正控制溫室氣體排放問題。
4. CCS 納入 CDM 計畫，可以加速 CCS 商業化期程，促進煤碳永續利用。
5. 簡化 CDM 程序，可以大幅降低 CDM 交易成本，有利 CDM 發展。
6. 國家減排行動應符合 MRV，並與 QELROs 結合。
7. 合計有七項溫室氣體種類，且溫室氣體盤查方法將修改。

二、周邊會議

1. 台灣 CCPI 每況愈下，主要關鍵在於溫室氣體排放成為率仍高，國內與國際溫室氣體政策不足之主要原因。
2. IEA 提出部門能源效率更新政策，並追蹤政策執行績效，發現 IEA 國家得執行率已大幅提升。

三、運輸部門節能政策

由於節約能源是全球因應氣候變遷，降低溫室氣體排放的最主要政策措施，因此，IEA(2008)提出之 25 項節能政策建議，儼然已成為全球推動部門能效率政策的主要參考依據。此外，IEA(2010,2011)

持續追蹤與考核會員國執行進展，並再提出更新政策建議。依據 IEA(2011)針對運輸部門的能源效率政策執行進展的最新檢視可知：

1. 大部分節能政策建議均以被落實，特別是輕型車輛效率標準與節能駕駛兩項節能政策推動。
2. 節能駕駛政策推動具各國執行特色，各國依據其國情採行多元化的推動策略。
3. 輕型車輛能源效率標準是最重要的節能政策，其節能潛力相當高，成為 IEA 國家最主要的推動策略。

四、政策建議

(一)、台灣整體氣候變遷因應策略建議

1. 將 2050 年國家減排目標置入「溫減法」，加速完成立法

「溫減法」爭議的焦點在減量目標的制定與否，是導致「溫減法」遲遲無法通過的原因。因此，參考德班會議的決議，將 2050 年國家減排目標置入溫減法，以利溫減法加速通過，並提高我國 CCPI 績效。

2. 建立國家 QELROs，並制定碳預算(carbon budget)，追蹤國家減排績效

依據德班會議，國家減量行動應與 QELROs 結合，並據此制定碳預算，作為國家減排績效與目標落實度的參考。

3. 建立部門能源效率政策執行績效追蹤機制，提高能源效率政策成效

參考 IEA 提出之 25 項能源效率政策，並追蹤政策落實度，作為檢視能源效率政策執行績效的參考依據。

4. 加速制定國家綠色成長政策與績效追蹤指標

推動綠色 GDP、提高能資源價格與擴大政府綠色採購等綠色成長政策，以及建立包括能資源生產力、自然資源及健康生活品質等綠色成長績效指標系統。

5. 加強 CCS 研發與推動

CCS 已成為與再生能科技一樣重要的淨碳技術，德班會議之後，全球將會展開大規模推動策略，為達到我國 NAMAs 目標，CCS 將是重要機會。

(二)、運輸部門因應氣候變遷政策建議

1. 制定運輸部門因應氣候變遷政策架構

加速制定運輸部門完整的減緩與調適架構與因應政策，如圖 20 所示。依據圖 20 可知，運輸部門應制定關鍵與有效的減緩政策，以及適當的法規與制度調適氣候變遷之衝擊。

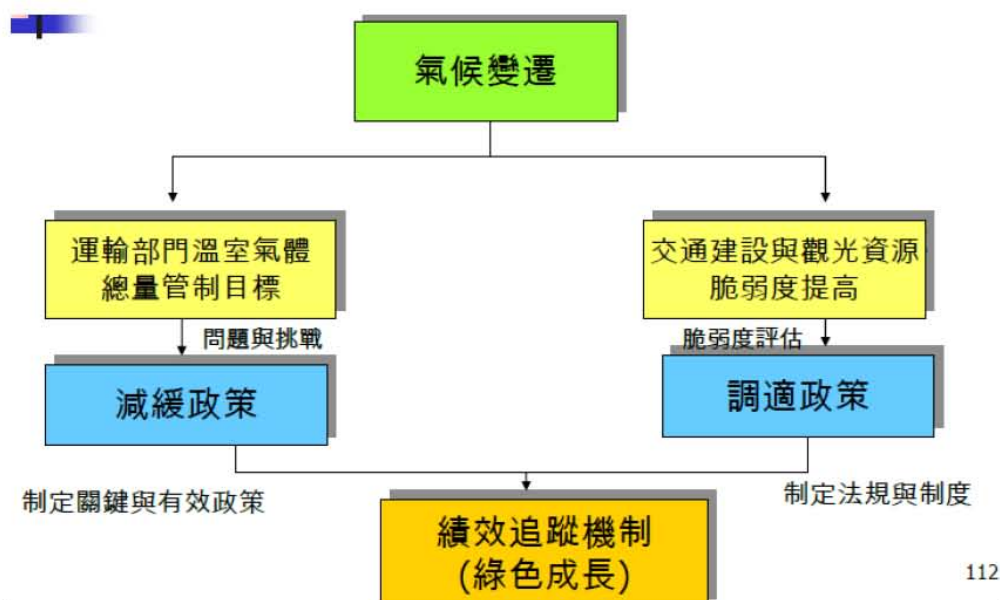
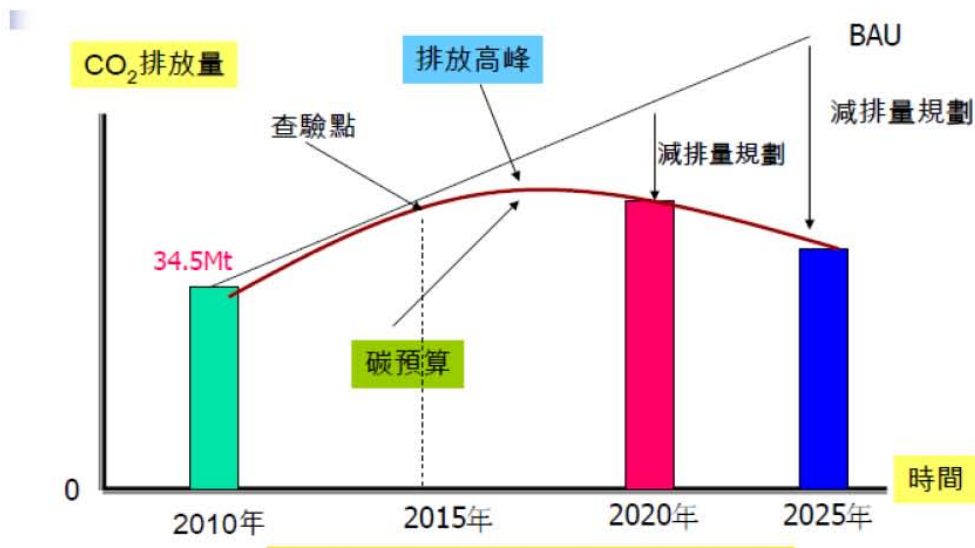


圖 20 運輸部門因應氣候變遷架構

2. 建立運輸部門碳預算與績效追蹤機制

透過運輸部門排放基線推估，規劃運輸部門最適當減排路徑，進而，規劃運輸部門得碳預算與 QELROs，如圖 21 所示，建立運輸部門溫室氣體減排數量化管理機制，作為追蹤運輸部門減排績效，以及政策修定與強化之參考依據。



3. 制定運輸部門減排旗艦(Flagship Policy)計畫

選擇適當的減緩與調適政策，並制定為旗艦計畫，提高政策的力度與廣度。以道路運輸為主，選擇適當的減排旗艦計畫，包括：

- (i) 小客車能源效率提升與節能運具購買計畫
- (ii) 大眾運輸倍增計畫
- (iii) 節能駕駛行為推廣計畫

4. 加強運輸部門減排成本評估

國科會委託麥肯錫 (Mckancy)的推估是否正確應加強檢視與確認，另外，應考量我國國情，確認麥肯席之減排技術設定之普及潛力。再仔細盤點各項減排技術的 S 落點(示範、推廣、商業化前、及完全商業化)，並連結適當政策措施與工具。

5. 建立運輸部門節能績效追蹤機制

利用節能指標系統，可以有效追蹤運輸部門節能政策執行成效，因此，應加速制定運輸部門的節能指標系統，包括：

- 制定不同運具能源效率 PSR 指標系統
- 追蹤能源效率政策執行進展
- 定期檢視與更新能源效率標準
- 建立發布機制，透明化運輸部門節能成效

6. 發展運輸部門碳權經營機制

碳市場已成為激勵科技創新與行為改變的重要驅動力，已成為全球最重要的經濟誘因工具之一。因此，如何連結運輸部門的減碳成效至碳交易市場，即成為運輸部門的重要課題之一。基於此，運輸部門因應策略：

- (i) 掌握運輸部門減碳方法學最新發展趨勢，開發運輸部門減碳效益。
- (ii) 外，應加強評估運輸部門減碳科技之成本效益分析，促進運輸部門減碳科技發展。

7. 立執行措施的 MRV 機制

依據德班會議決議，未來所有減排行動均需符合 MRV 機制，因此，運輸部門應加速減排行動 MRV 機制的建立。MRV 機制的主要執行程序，包括：

- (i) 減排績效量測與監督機制：客觀性
- (ii) 減排績效報告機制：透明化
- (iii) 減排績效查證機制：正確性
- (iv) 制定 MRV 指引

8. 建立運輸部門綠色成長指標系統

如何結合運輸部門因應氣候變遷政策，成為運輸部門追求綠色成長的基礎，亦是運輸部門的施政重點，其中，關鍵課題包括：

(i) 建立運輸部門綠色成長指標系統

(ii) 建置運輸部門綠色成長資料庫

綜合上述，運輸部門因應氣候變遷減緩的核心策略為：

1. 策略一：避免 (avoid) 不必要與低價值的運輸 (avoid unnecessary or low value travel)
2. 策略二：移轉 (avoid) 至更有效率運具 (shift travel to more efficient mode)
3. 策略三：提升 (improve) 車輛效率與低碳燃料 (improve efficiency with more efficient vehicles and low carbon fuels)

然而，為實踐上開策略，制定適當法規與投入適當的資金，是兩大關鍵因子，亦是運輸部門主管機關的重要課題。

陸、參考文獻

IEA (2010), Transport Energy Efficiency Implementation of IEA Recommendation.

IEA(2011), IEA Scoreboard.

Germanwatch (2011), Climate Change Performance Index (2012)。

Germanwatch (2011), Global Climate Risk Index 2011.

UNFCCC (2011), National GHG Inventory Data for the period 1990-2009.(FCCC/SBI/2011/9)

UNFCCC (2011), Consideration of Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol (FCCC/KP/AWG/2011/L.3/Add.5)

UNFCCC (2011), Establishment of an Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action. (FCCC/CP/2011/L.10)

附錄 9

CGE 模型基本要件

一、運輸部門 CGE 模型

為建置一個能考慮運輸、能源與經濟的CGE模型，本研究蒐集當前CGE模型運用於運輸部門的相關文獻，並以Schäfer and Jacoby (2005)^[3.3.1]、Berg (2007)^[3.3.2]、Abrell (2007)^[3.3.3]三文說明CGE模型如何設定運輸部門架構。一般CGE模型因為較為龐大，方程式數量較多，通常會以巢式架構圖來說明模型結構，而所謂巢式架構，通常依研究目的而將關係較密切的商品分類為同一商品群，透過函數設定將群內商品加總為一個代表性商品，以代表該商品群，因此每一商品群的加總函數設定將直接反映群內商品彼此間的關係，若以CES¹函數設定之，則函數中的參數即為商品間的替代彈性，只要更改替代彈性數值，便可輕易的將商品間之關係設定為高替代、低替代、甚至互補。以下分別就構成CGE模型之基本要件、本研究設定之巢式架構及其對映之數學模型、以及求解軟體之選擇與程式撰寫方式逐項說明。

(一) CGE 模型基本要件

在一般均衡理論的框架下，CGE 模型必須具備幾項基本元素，包括必須描述經濟周流、必須由個體基礎建構理論、必須衡量市場均衡狀態、必須設定價格比較基準、必須設定適當函數形式等。

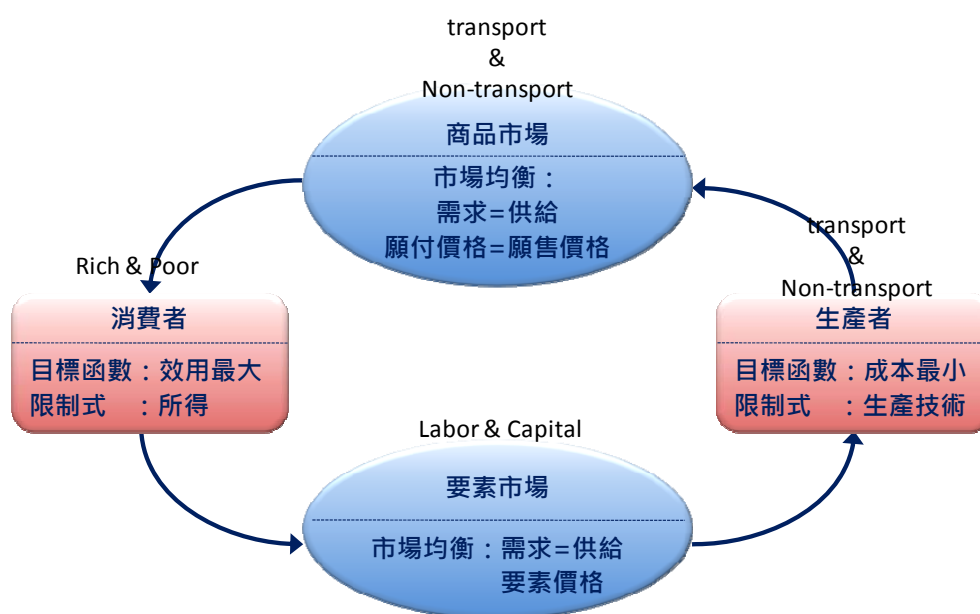
1. CGE 模型描述經濟周流

CGE 必須要能夠描繪分析對象，亦即經濟體系中商品與貨幣之流向，以下稱之為經濟周流，因此體系中所有個體行為與市場運作方式皆須論及。如圖 3.3-1 所示，假設經濟體系中存在兩類經濟個體，生產者與消費者，生產者行為模式設定為在生產技術條件下，追求利潤極大或成本極小，便可藉由使最適化問題，找到生產者對於各類投入要素之需求函數，以及產品之供給函數；相對於生產者，消費者行為模式則設定為在所得限制條件下，追求效用極大之最適化問題，同樣藉由此模式可求得消費者對商品之需求函數，以及對勞動與資本等要素之供給函數。

由於消費者必須付出勞力或提供資本，才能賺取報酬並消費各類商

¹ CES：固定替代彈性模型，Constant Elasticity of Substitution.

品，生產者必須投入勞力或資本才能生產出各類商品，因此在此體系中便存在兩類市場，即商品市場與要素市場。在一般均衡理論下，體系內所有市場皆須達到均衡，亦即供給等於需求的狀態。由上述個體行為模式所求得之供給與需求函數，在供需均衡條件下便可求導出均衡狀態下最適之交易數量與價格。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-1 CGE 模型描述經濟周流

2. 具備個體基礎之最適化模型

如同前述，在闡述經濟周流過程中，經濟個體行為與市場間，透過供需數量與價格緊密相連，為表達聯繫彼此關係之變數，CGE模型通常以巢式架構圖(如圖 3.3-2)呈現，例如 L_1 與 K_1 為生產投入要素， Q_1 為產出，則 Q_1 為 L_1 與 K_1 以某種函數形式所組成，在圖中便可以樹枝狀表示三者層屬關係，其中 ϕ_i 為生產技術水準， σ_i 則為生產投入要素間之替代彈性。

CGE 模型為反映經濟個體決策選擇過程所考量之各項因素，必須以結構式建置模型，因此必須具備由最適化個體行為出發之理論架構。生產者與消費者在最適化前提下所推導而得之要素需求函數與商品需求函數，亦如圖 3.3-2 所示。

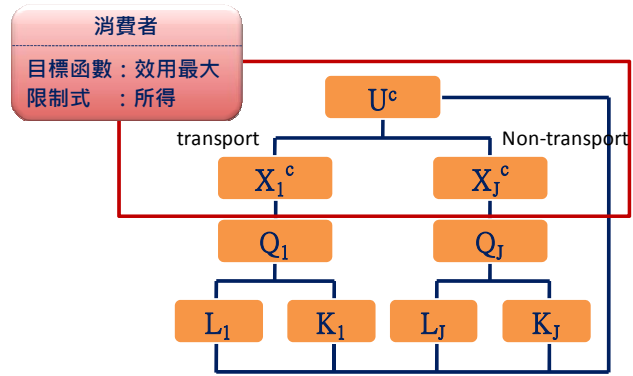
圖中 U^c 代表消費者效用水準， α_i^c 為消費者對第 i 種商品之消費支出佔總支出之比重， σ^c 為商品間之替代彈性， P_i 為商品 i 之價格， X_i^c 為商品 i

消費數量， I^c 為消費者所得水準。

$$MAX_{X_i} U^c = \left[\sum_{i=1}^2 (\alpha_i^c)^{\frac{1}{\sigma_c}} \cdot (X_i^c)^{\frac{\sigma_c-1}{\sigma_c}} \right]^{\frac{\sigma_c}{\sigma_c-1}}$$

$$s.t. \quad P_1 X_1^c + P_2 X_2^c \leq I^c = P_K K^c + P_L L^c$$

$$X_i^c = \frac{\alpha_i^c I^c}{P_i^{\sigma_c} (\alpha_1^c P_1^{(1-\sigma_c)} + \alpha_2^c P_2^{(1-\sigma_c)})}$$



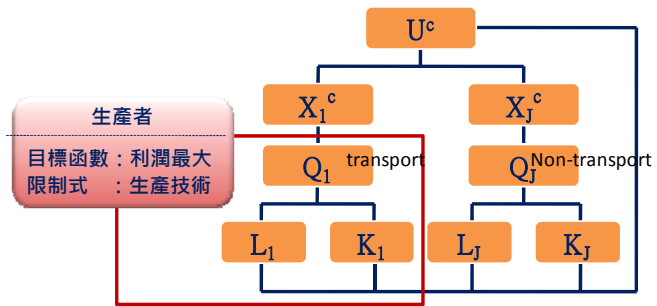
(a) 消費者最適化行為

$$MIN_{L_i, K_i} P_K K_i + P_L L_i$$

$$s.t. \quad Q_i = \phi_i \left[\delta_i L_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} + (1-\delta_i) K_i^{\frac{\sigma_i-1}{\sigma_i}} \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i-1}}$$

$$L_i = \phi_i^{-1} Q_i \left[\delta_i + (1-\delta_i) \left[\frac{\delta_i P_K}{(1-\delta_i) P_L} \right]^{(1-\sigma_i)} \right]^{\frac{\sigma_i}{1-\sigma_i}}$$

$$K_i = \phi_i^{-1} Q_i \left[(1-\delta_i) + \delta_i \left[\frac{(1-\delta_i) P_L}{\delta_i P_K} \right]^{(1-\sigma_i)} \right]^{\frac{\sigma_i}{1-\sigma_i}}$$



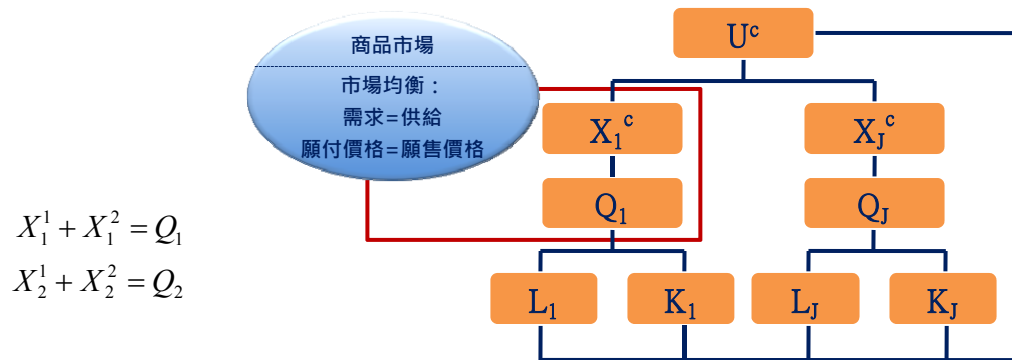
(b) 生產者最適化行為

資料來源：本研究繪製。

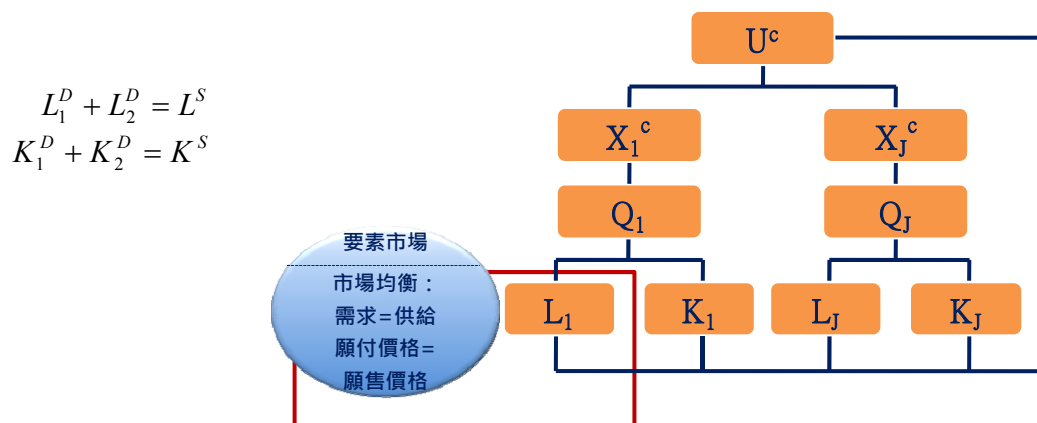
圖 3.3-2 CGE 模型之個體基礎

3. 經濟體系之市場均衡

為衡量市場交易狀態，進而決定市場均衡價量，CGE 必須設定市場均衡條件，如圖 3.3-3 所呈現。在體系中若 n 個市場，依一般均衡理論，只要 $n-1$ 個市場達成均衡，第 n 個市場亦同時達到均衡，因此 CGE 模型會設定 $n-1$ 個市場結清式(即供需相等)，經由反求解檢視最後一個市場是否亦為均衡，若否則須重新設定模型。



(a) 商品市場均衡



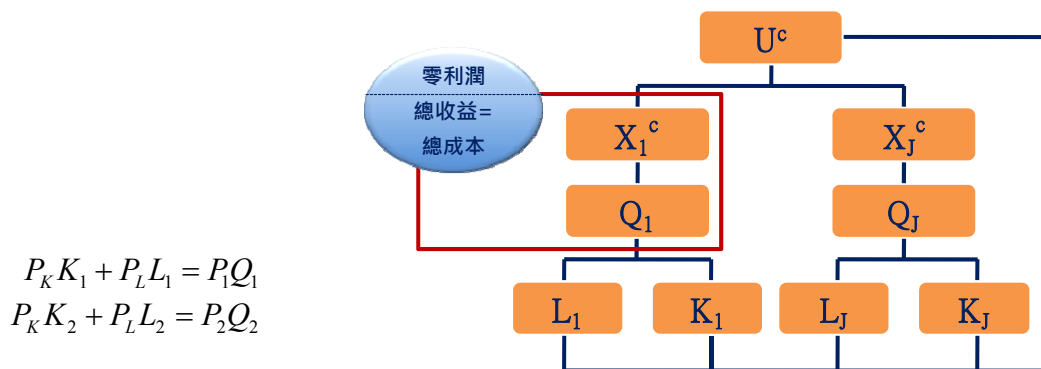
(b) 要素市場均衡

資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-3 CGE 模型之市場均衡

4. 自由參進之零利潤條件

在完全競爭市場中，由於假設廠商數量多，且可自由參進或退出市場，因此均衡時邊際廠商必滿足零利潤條件，如圖 3.3-4 所示。此項設定在考慮不完全競爭市場時，必須加以修正，此時透過廠商訂價策略的設定，取代市場決定均衡價格的假設。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-4 CGE 模型之零利潤條件

5. 價格體系之比較基準

在 CGE 模型中，價格體系透過零利潤條件彼此關聯，而個體決策則取決於相對價格變化，因此當體系中所有價格皆同幅調整時，個體決策並不因此改變，如此方程式聯立求解之 CGE 模型便會產生無限組最適解。因此在模型中必須擇定一價格變數作為價格系統之比較基準，稱之為 numeraire，多數文獻選擇消費者物價指數或工資率做為比較基準。

6. 函數型式與經濟意涵

如圖 3.3-2 所示，由個體基礎出發的 CGE 模型，為建立個體最適化決策模型必須設定許多函數以表示投入變數與產出變數之間的關係，因此函數形式的選擇及函數背後所隱含的經濟意義，有時成為在模型操作面與實務評估面必須取捨的考量。文獻上 CGE 模型使用的函數形式包括 Cobb-Douglas 函數、固定替代彈性(constant elasticity of substitution, CES)函數、translog 函數、CRESH (constant ratio of elasticity of substitution, homothetic)函數、線性支出系統 (linear expenditure system, LES)、Leontief 函數、線性函數等。其中最普遍使用的是 CES 函數，因為 Leontief 函數與 Cobb-Douglas 函數皆為其特例，只要透過替代彈性值的設定，便可輕易地在三種函數形式間轉換。

(二) 數學模型設定

1. 產業部門最適化決策

(1) 生產決策

產業部門之最適化問題包含當期之生產決策與跨期之投資決策，而後者為本模型得以動態化之關鍵。在生產決策中，本研究針對運輸部門設計較為複雜的巢狀架構(如圖 3.3-5 與圖 3.3-6 所示)，因此以下以運輸部門為例，說明模型設定方法。設定時，針對每一層巢狀架構，皆會設立一組最適化問題，以求得下層投入要素之需求函數。

A. 國產\進口商品組合

由最底層開始，首先設定購買商品之來源。由於模型假設無論做為生產投入之中間商品或消費者最終消費商品，消費者於市場購買時，可以分辨國內生產與進口商品之些微差異，因此兩種來源之商品為異質，當兩類商品相對價格發生變化，購買者便會調整兩類商品購買組合或比重。其設定方法如下式，對商品 i 之需求，由來自 s 之同類商品透過 CES 函數所組成，在此組成限制條件下，務必使購買商品 i 之總支出為最小：

$$\underset{FF_{i,s}}{MIN} \sum_s P_{i,s}^{ff} \cdot FF_{i,s} \quad (3-1)$$

$$s.t. \quad FF_i = \phi_i^{ff} \left[\sum_s \delta_{i,s}^{ff} (FF_{i,s})^{\rho_i^{ff}} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^{ff}}} \quad (3-2)$$

透過一階條件可求得對 s 來源之第 i 種化石能源之需求為：

$$FF_{i,s} = \left(\frac{1}{\phi_i^{ff}} \right)^{1-\sigma_i^{ff}} \cdot (\delta_{i,s}^{ff})^{\sigma_i^{ff}} \cdot \left(\frac{P_i^{ff}}{P_{i,s}^{ff}} \right)^{\sigma_i^{ff}} \cdot FF_i$$

$$\text{for } P_i^{ff} = \frac{1}{\phi_i^{ff}} \cdot \left[\sum_s (\delta_{i,s}^{ff})^{\sigma_i^{ff}} (P_{i,s}^{ff})^{1-\sigma_i^{ff}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_i^{ff}}} \quad (3-3)$$

$$\text{and } \sigma_i^{ff} = \frac{1}{1 + \rho_i^{ff}}$$

式中 $P_{i,s}^{ff}$ 為第 s 來源(國產或進口)，第 i 種化石能源(FF)之購買者價格；

$FF_{i,s}$ 為第 s 來源(國產或進口), 第 i 種化石能源(FF)之消費數量; FF_i 為第 i 種化石能源(FF)之消費數量; ϕ_i^{ff} 為技術參數, 代表不同來源化石能源(FFi,s)之組成對化石能源消費(FFi)的貢獻; $\delta_{i,s}^{ff}$ 為代表權重之參數, 為非負且總和為 1 之參數; ρ_i^{ff} 為與替代彈性相關之參數; σ_i^{ff} 為不同來源化石能源彼此間之替代彈性; P_i^{ff} 為不同來源化石能源價格之總合(aggregated)價格。

B. 化石能源組合

$$\underset{FF_i}{MIN} \sum_i P_i^{ff} \cdot FF_i \quad (3-4)$$

$$s.t. \quad FF = \phi^{ff} \left[\sum_i \delta_i^{ff} (FF_i)^{-\rho^{ff}} \right]^{-\frac{1}{\rho^{ff}}} \text{ for } \sum_i \delta_i^{ff} = 1 \quad (3-5)$$

透過一階條件可求得第 i 種化石能源之需求為：

$$FF_i = \left(\frac{1}{\phi^{ff}} \right)^{1-\sigma^{ff}} \cdot (\delta_i^{ff})^{\sigma^{ff}} \cdot \left(\frac{P_i^{ff}}{P^{ff}} \right)^{\sigma^{ff}} \cdot FF$$

$$\text{for } P^{ff} = \frac{1}{\phi^{ff}} \cdot \left[\sum_i (\delta_i^{ff})^{\sigma^{ff}} (P_i^{ff})^{1-\sigma^{ff}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{ff}}} \quad (3-6)$$

$$\text{and } \sigma^{ff} = \frac{1}{1 + \rho^{ff}}$$

式中 P_i^{ff} 為不同化石能源價格之總合(aggregated)價格; FF_i 為第 i 種化石能源(FFi)之消費數量; FF 為化石能源(FF)之總合(aggregated)消費數量; ϕ^{ff} 為技術參數, 代表不同化石能源(FFi)之組成對化石能源總消費(FF)的貢獻; δ_i^{ff} 為代表權重之參數, 為非負且總和為 1 之參數; ρ^{ff} 為與替代彈性相關之參數; σ^{ff} 為不同化石能源彼此間之替代彈性; P^{ff} 為化石能源價格之總合(aggregated)價格。

C. 電力\生質能源\化石能源之能源組合

$$\underset{FF,BF,EL}{MIN} \quad P^{ff} \cdot FF + P^{bf} \cdot BF + P^{el} \cdot EL \quad (3-7)$$

$$s.t. \quad EA = \phi^{ea} \left[\delta^{ff} (FF)^{-\rho^{ea}} + \delta^{bf} (BF)^{-\rho^{ea}} + \delta^{el} (EL)^{-\rho^{ea}} \right]^{\frac{-1}{\rho^{ea}}} \\ \text{for } \delta^{ff} + \delta^{bf} + \delta^{el} = 1 \quad (3-8)$$

透過一階條件可分別求得總合化石能源、生質能源與電力之需求為：

$$FF = \left(\frac{1}{\phi^{ea}} \right)^{1-\sigma^{ea}} \cdot (\delta^{ff})^{\sigma^{ea}} \cdot \left(\frac{P^{ea}}{P^{ff}} \right)^{\sigma^{ea}} \cdot EA \quad (3-9)$$

$$BF = \left(\frac{1}{\phi^{ea}} \right)^{1-\sigma^{ea}} \cdot (\delta^{bf})^{\sigma^{ea}} \cdot \left(\frac{P^{ea}}{P^{bf}} \right)^{\sigma^{ea}} \cdot EA \quad (3-10)$$

$$EL = \left(\frac{1}{\phi^{ea}} \right)^{1-\sigma^{ea}} \cdot (\delta^{el})^{\sigma^{ea}} \cdot \left(\frac{P^{ea}}{P^{el}} \right)^{\sigma^{ea}} \cdot EA \quad (3-11)$$

for

$$P^{ea} = \frac{1}{\phi^{ea}} \cdot \left[(\delta^{ff})^{\sigma^{ea}} (P^{ff})^{1-\sigma^{ea}} + (\delta^{bf})^{\sigma^{ea}} (P^{bf})^{1-\sigma^{ea}} + (\delta^{el})^{\sigma^{ea}} (P^{el})^{1-\sigma^{ea}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{ea}}}$$

$$\text{and } \sigma^{ea} = \frac{1}{1 + \rho^{ea}}$$

P^{ff} 為化石能源價格之總合(aggregated)價格； FF 為化石能源(FF)之總合(aggregated)消費數量； BF 為生質能源(BF)之消費數量； EL 為電力(EL)之消費數量； ϕ^{ea} 為技術參數，代表不同能源(FF,BF,EL)之組成對汽車用能源總消費(EA)的貢獻； $\delta^{ff}, \delta^{bf}, \delta^{el}$ 為代表權重之參數，為非負且總和為 1 之參數； ρ^{ea} 為與替代彈性相關之參數； σ^{ea} 為化石能源、生質能源與電力彼此間之替代彈性； P^{ea} 為能源之總合(aggregated)價格。

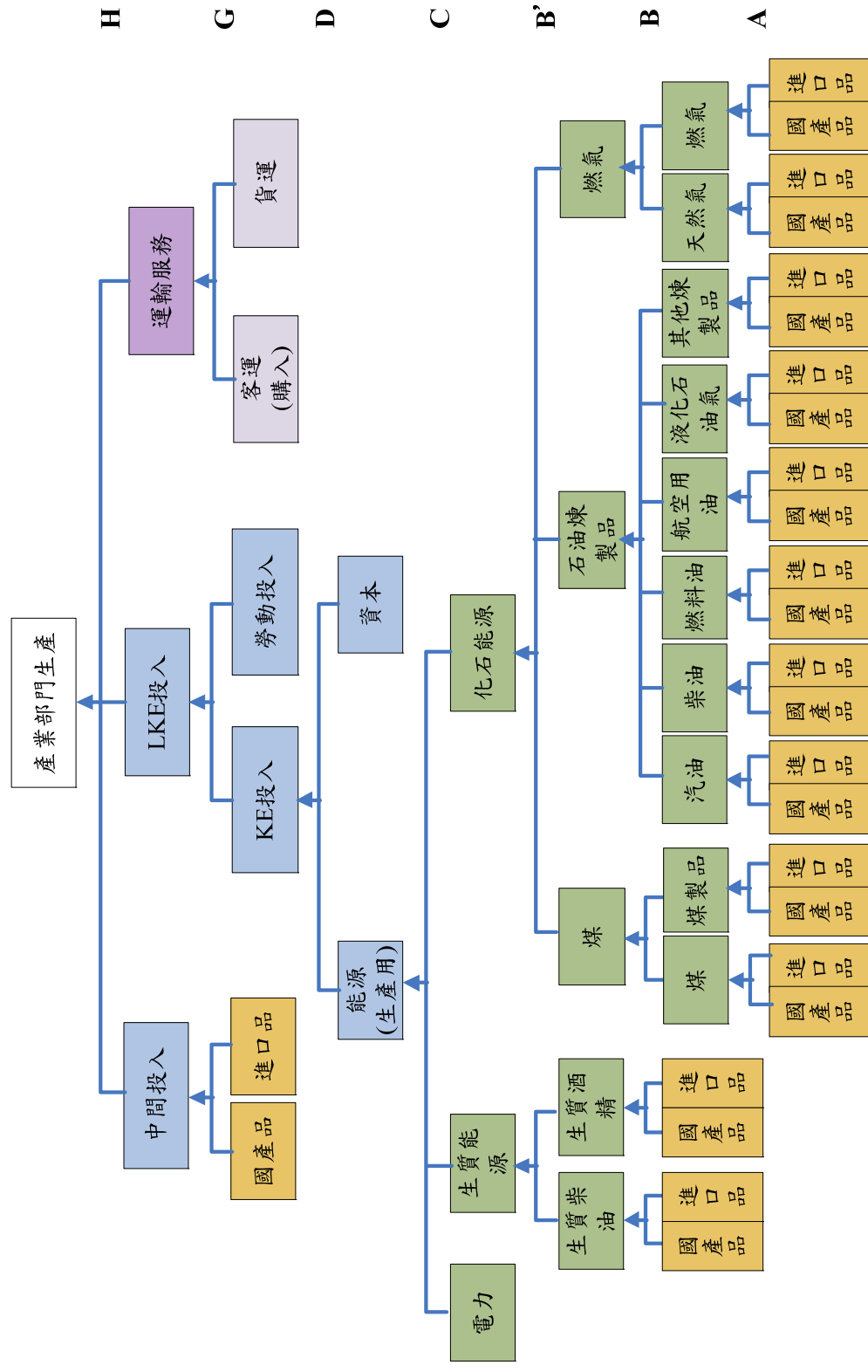
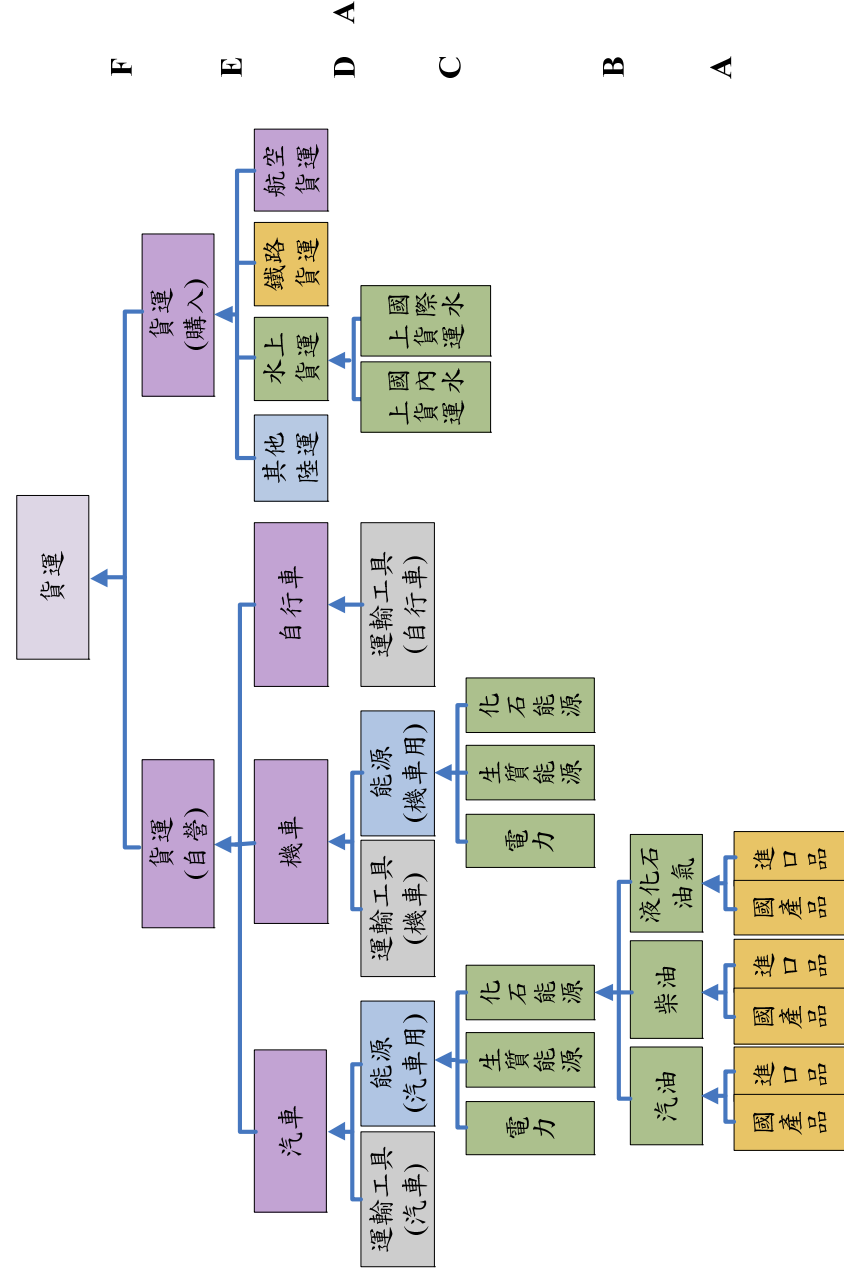


圖 3.3-5 一般產業部門生產巢式結構



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-5 一般產業部門生產巢式結構(續)

D. 能源\資本(能源\運具)組合

為呈現運具使用與能源消費之關係，本研究特地將能源消費區分為生產用與運輸用，多數產業能源消費為運輸用油與場所用電，部分能源產業或非金屬製品業才有大量能源做為生產原料。

$$\underset{AM, EN}{MIN} \quad P^{am} \cdot AM + P^{ea} \cdot EA \quad (3-12)$$

$$\begin{aligned} s.t. \quad OA &= \phi^{oa} \left[\delta^{am} (AM)^{-\rho^{oa}} + \delta^{ea} (EA)^{-\rho^{oa}} \right]^{\frac{-1}{\rho^{oa}}} \\ \text{for } \delta^{am} + \delta^{ea} &= 1 \end{aligned} \quad (3-13)$$

透過一階條件可分別求得總合能源與資本之需求為：

$$AM = \left(\frac{1}{\phi^{oa}} \right)^{1-\sigma^{oa}} \cdot (\delta^{am})^{\sigma^{oa}} \cdot \left(\frac{P^{oa}}{P^{am}} \right)^{\sigma^{oa}} \cdot OA \quad (3-14)$$

$$EA = \left(\frac{1}{\phi^{oa}} \right)^{1-\sigma^{oa}} \cdot (1 - \delta^{am})^{\sigma^{oa}} \cdot \left(\frac{P^{oa}}{P^{ea}} \right)^{\sigma^{oa}} \cdot OA \quad (3-15)$$

$$\text{for } P^{oa} = \frac{1}{\phi^{oa}} \cdot \left[(\delta^{am})^{\sigma^{oa}} (P^{am})^{1-\sigma^{oa}} + (\delta^{ea})^{\sigma^{oa}} (P^{ea})^{1-\sigma^{oa}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{oa}}}$$

$$\text{and } \sigma^{oa} = \frac{1}{1 + \rho^{oa}}$$

P^{am} 為汽車之總合(aggregated)價格； EA 為汽車使用之總合能源(aggregated)消費數量； OA 為以自有汽車為運輸工具所提供之貨運服務； ϕ^{oa} 為技術參數，代表汽車與能源之組成對自有汽車貨運服務的貢獻； δ^{am}, δ^{ea} 為代表權重之參數，為非負且總和為 1 之參數； ρ^{oa} 為與替代彈性相關之參數； σ^{oa} 為汽車與能源間之替代彈性； P^{oa} 為汽車與能源之總合(aggregated)價格。

E. 運具別運輸服務組合

考量不同運具間可能存在替代關係，故將各類運具設置一層巢狀架構，並以下列最適化問題，說明在給定的總運量下，如何分配運具結構。

$$\underset{OA, OM, OB}{MIN} \quad P^{oa} \cdot OA + P^{om} \cdot OM + P^{ob} \cdot OB \quad (3-16)$$

$$\begin{aligned}
s.t. \quad OF &= \varphi^{of} \left[\delta^{oa} (OA)^{-\rho^{of}} + \delta^{om} (OM)^{-\rho^{of}} + \delta^{ob} (OB)^{-\rho^{of}} \right]^{\frac{-1}{\rho^{of}}} \\
\text{for } \delta^{oa} + \delta^{om} + \delta^{ob} &= 1
\end{aligned} \tag{3-17}$$

透過一階條件可分別求得對各運具別運輸服務之需求為：

$$OA = \left(\frac{1}{\phi^{of}} \right)^{1-\sigma^{of}} \cdot (\delta^{oa})^{\sigma^{of}} \cdot \left(\frac{P^{of}}{P^{oa}} \right)^{\sigma^{of}} \cdot OF \tag{3-18}$$

$$OM = \left(\frac{1}{\phi^{om}} \right)^{1-\sigma^{of}} \cdot (\delta^{om})^{\sigma^{of}} \cdot \left(\frac{P^{of}}{P^{om}} \right)^{\sigma^{of}} \cdot OF \tag{3-19}$$

$$OB = \left(\frac{1}{\phi^{of}} \right)^{1-\sigma^{of}} \cdot (\delta^{ob})^{\sigma^{of}} \cdot \left(\frac{P^{of}}{P^{ob}} \right)^{\sigma^{of}} \cdot OF \tag{3-20}$$

$$\text{for } P^{of} = \frac{1}{\phi^{of}} \cdot \left[(\delta^{oa})^{\sigma^{of}} (P^{oa})^{1-\sigma^{of}} + (\delta^{om})^{\sigma^{of}} (P^{om})^{1-\sigma^{of}} + (\delta^{ob})^{\sigma^{of}} (P^{ob})^{1-\sigma^{of}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{of}}}$$

$$\text{and } \sigma^{of} = \frac{1}{1+\rho^{of}}$$

P^{oa} 為汽車之總合(aggregated)價格； OM 為以自有機車為運輸工具所提供之貨運服務； OA 為以自有汽車為運輸工具所提供之貨運服務； OB 為以自有自行車為運輸工具所提供之貨運服務； OF 為總合(aggregated)自營貨運服務量； ϕ^{of} 為技術參數，代表汽車、機車與自行車之組成對自有汽車貨運服務的貢獻； $\delta^{oa}, \delta^{om}, \delta^{ob}$ 為代表權重之參數，為非負且總和為 1 之參數； ρ^{of} 為與替代彈性相關之參數； σ^{of} 為汽車、機車與自行車間之替代彈性； P^{of} 為汽車、機車與自行車之總合(aggregated)價格。

F. 自營\購入運輸服務組合

為衡量自有車隊與交付貨運之間的替代關係而設立此層架構。

$$\min_{OF, PF} \quad P^{of} \cdot OF + P^{pf} \cdot PF \tag{3-21}$$

$$s.t. \quad FT = \phi^{ft} \left[\delta^{of} (OF)^{-\rho^{ft}} + \delta^{pf} (PF)^{-\rho^{ft}} \right]^{\frac{-1}{\rho^{ft}}}$$

$$\text{for } \delta^{of} + \delta^{pf} = 1 \tag{3-22}$$

透過一階條件可分別求得對自營與購入運輸服務之需求為：

$$OF = \left(\frac{1}{\phi^{ft}} \right)^{1-\sigma^{ft}} \cdot (\delta^{of})^{\sigma^{ft}} \cdot \left(\frac{P^{ft}}{P^{of}} \right)^{\sigma^{ft}} \cdot FT \quad (3-23)$$

$$PF = \left(\frac{1}{\phi^{ft}} \right)^{1-\sigma^{ft}} \cdot (\delta^{pf})^{\sigma^{ft}} \cdot \left(\frac{P^{ft}}{P^{pf}} \right)^{\sigma^{ft}} \cdot FT \quad (3-24)$$

$$\text{for } P^{ft} = \frac{1}{\phi^{ft}} \cdot \left[(\delta^{of})^{\sigma^{ft}} (P^{of})^{1-\sigma^{ft}} + (\delta^{pf})^{\sigma^{ft}} (P^{pf})^{1-\sigma^{ft}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{ft}}}$$

$$\text{and } \sigma^{ft} = \frac{1}{1 + \rho^{ft}}$$

P^{of} 為汽車、機車與自行車之總合 (aggregated) 價格； OF 為總合 (aggregated) 自營貨運服務量； P^{ft} 為陸、水、空、鐵貨運服務之總合價格； PF 為總合購入貨運服務量； FT 為包含自營與購入之總合貨運服務量； ϕ^{ft} 為技術參數，代表自營與購入貨運之組成對整體貨運服務的貢獻； δ^{of}, δ^{pf} 為代表權重之參數，為非負且總和為 1 之參數； ρ^{ft} 為與替代彈性相關之參數； σ^{ft} 為自營與購入貨運間之替代彈性。

G. 客運\貨運運輸服務組合

雖然以相同的函數形態設定客\貨運分配決策，但可透過彈性值調整兩者替代程度，若彈性值設為 0，即成為 Leontief 函數，兩者為互補關係。

$$\underset{PT, FT}{MIN} \quad P^{pt} \cdot PT + P^{ft} \cdot FT \quad (3-25)$$

$$s.t. \quad TS = \phi^{ts} \left[\delta^{pt} (PT)^{-\rho^{ts}} + \delta^{ft} (FT)^{-\rho^{ts}} \right]^{\frac{-1}{\sigma^{ts}}}$$

$$\text{for } \delta^{pt} + \delta^{ft} = 1 \quad (3-26)$$

透過一階條件可分別求得對客運與貨運運輸服務之需求為：

$$PT = \left(\frac{1}{\phi^{ts}} \right)^{(1-\sigma^{ts})} \cdot (\delta^{pt})^{\sigma^{ts}} \cdot \left(\frac{P^{ts}}{P^{pt}} \right)^{\sigma^{ts}} \cdot TS \quad (3-27)$$

$$FT = \left(\frac{1}{\phi^{ts}} \right)^{(1-\sigma^{ts})} \cdot (\delta^{ft})^{\sigma^{ts}} \cdot \left(\frac{P^{ts}}{P^{ft}} \right)^{\sigma^{ts}} \cdot TS \quad (3-28)$$

$$\text{for } P^{ts} = \frac{1}{\phi^{ts}} \cdot \left[(\delta^{pt})^{\sigma^{ts}} (P^{pt})^{1-\sigma^{ts}} + (\delta^{ft})^{\sigma^{ts}} (P^{ft})^{1-\sigma^{ts}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^{ts}}}$$

$$\text{and } \sigma^{ts} = \frac{1}{1 + \rho^{ts}}$$

P^{ts} 為客運與貨運之總合(aggregated)價格； TS 為包含客運與貨運之總運量； PT 為總合(aggregated)客運服務量； P^{pt} 為客運服務之總合價格； FT 為總合貨運服務量； P^{ft} 為貨運服務之總合價格； ϕ^{ts} 為技術參數，代表自營與購入貨運之組成對整體貨運服務的貢獻； δ^{pt}, δ^{ft} 為代表權重、為非負且總和為 1 之參數； ρ^{ts} 為與替代彈性相關之參數； σ^{ts} 為總合客運與總合貨運間之替代彈性。

H. 運輸服務與其他投入之組合

$$\underset{TS, LKE, M}{MIN} \quad P^{ts} \cdot TS + P^{lke} \cdot LKE + P^m \cdot M \quad (3-29)$$

$$s.t. \quad Q = \phi^q \left[\delta^{ts} (TS)^{-\rho^q} + \delta^{lke} (LKE)^{-\rho^q} + \delta^m (M)^{-\rho^q} \right]^{\frac{1}{\rho^q}}$$

$$\text{for } \delta^{ts} + \delta^{lke} + \delta^m = 1 \quad (3-30)$$

透過一階條件可分別求得對各運具別運輸服務之需求為：

$$TS = \left(\frac{1}{\phi^q} \right)^{1-\sigma^q} \cdot (\delta^{ts})^{\sigma^q} \cdot \left(\frac{P^q}{P^{ts}} \right)^{\sigma^q} \cdot Q \quad (3-31)$$

$$LKE = \left(\frac{1}{\phi^q} \right)^{1-\sigma^q} \cdot (\delta^{lke})^{\sigma^q} \cdot \left(\frac{P^q}{P^{lke}} \right)^{\sigma^q} \cdot Q \quad (3-32)$$

$$M = \left(\frac{1}{\phi^q} \right)^{1-\sigma^q} \cdot (\delta^m)^{\sigma^q} \cdot \left(\frac{P^q}{P^m} \right)^{\sigma^q} \cdot Q \quad (3-33)$$

$$\text{for } P^q = \frac{1}{\phi^q} \cdot \left[(\delta^{ts})^{\sigma^q} (P^{ts})^{1-\sigma^q} + (\delta^{lke})^{\sigma^q} (P^{lke})^{1-\sigma^q} + (\delta^m)^{\sigma^q} (P^m)^{1-\sigma^q} \right]^{\frac{1}{1-\sigma^q}}$$

$$\text{and } \sigma^q = \frac{1}{1 + \rho^q}$$

P^q 為廠商之生產者價格； Q 為產品生產量； LKE 為勞動、資本與生產用能源之總合數量； P^{lke} 為 LKE 之總合價格； M 為生產過程所需投入之其他原物料與中間商品； P^m 為 M 之總合(aggregated)價格； ϕ^q 為技術參數，即總要素生產力，代表中間商品、 LKE 與運輸服務之組成對產業生產的貢獻； $\delta^{ts}, \delta^{lke}, \delta^m$ 為代表權重之參數，為非負且總和為 1 之參數； ρ^q 為與替代彈性相關之參數； σ^q 為中間商品、 LKE 與運輸服務間之替代彈性，一般設定為 0，函數則成為 Leontief 形式，表示三類投入彼此間為互補關係，且固定比例。

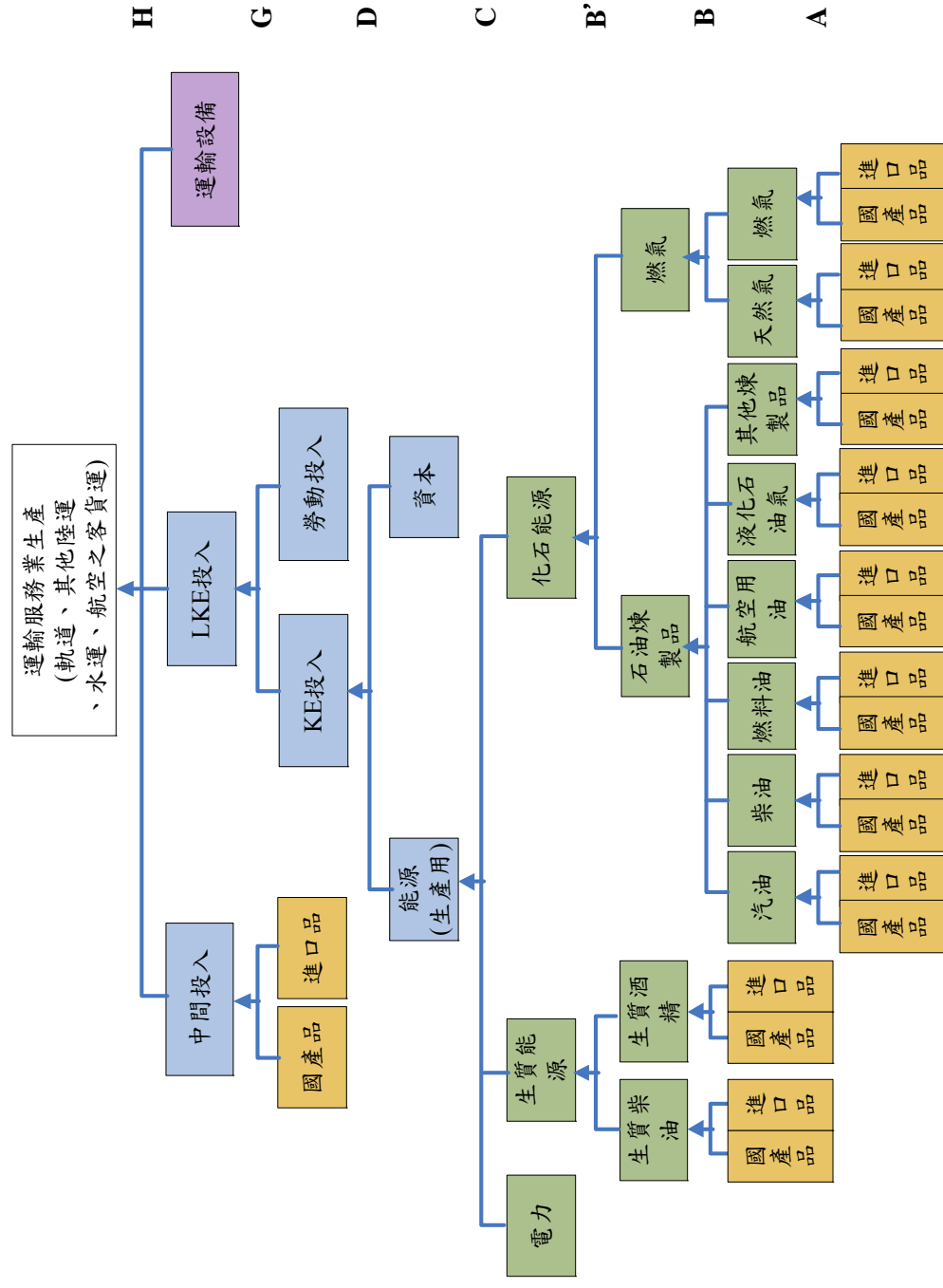
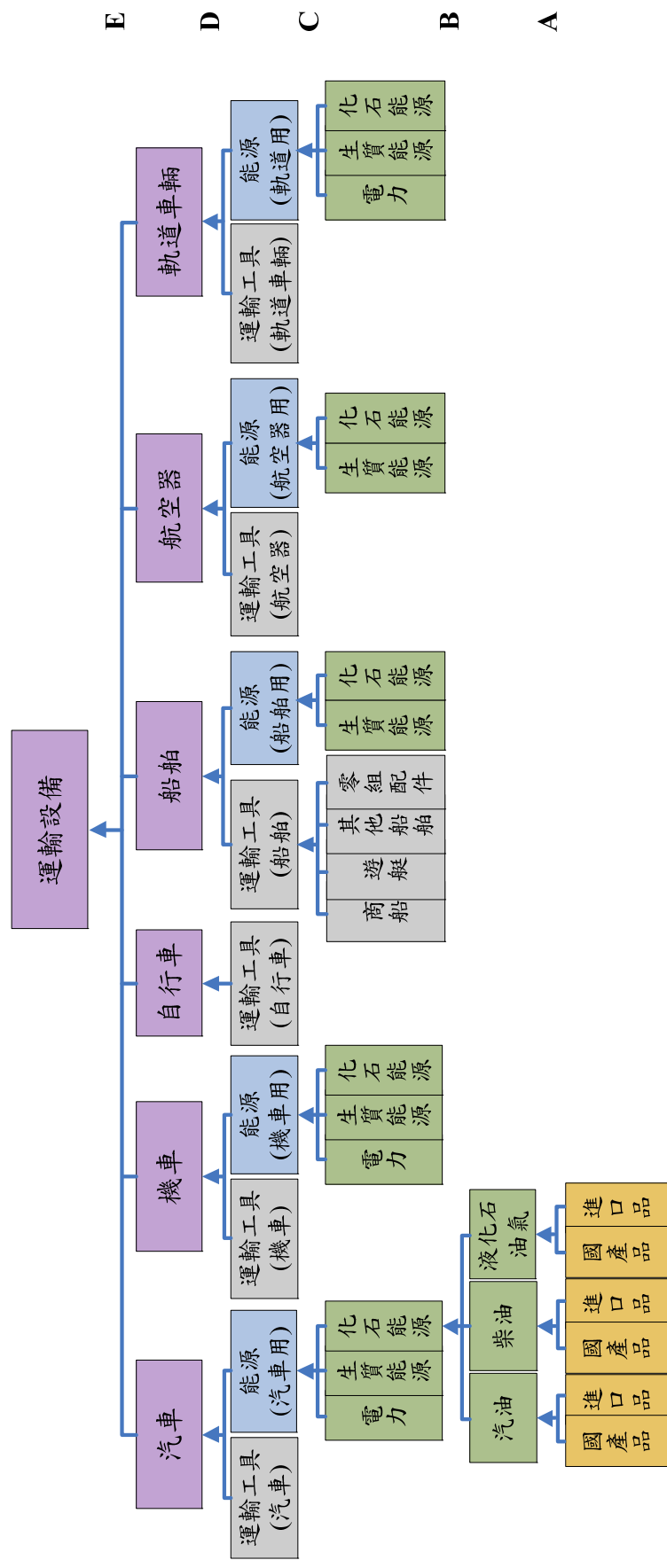


圖 3.3-6 運輸服務業部門生產巢式結構



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-6 運輸服務業部門生產巢式結構(續)

(2) 投資決策

A. 投資需求

在文獻上，各 CGE 模型關於投資決策的理論不盡相同，所考慮的重點也不完全一樣。傳統的投資模型大都立基於新古典經濟學說的假設，在資本累積的限制下，追求利潤現值之極大，因此投資的跨期最適化問題為：

$$\underset{\{K,L\}}{\text{Max}} \quad V = \int_0^{\infty} \{p(t) \cdot F[K(t), L(t)] - w(t)L(t) - p_I(t) \cdot I(t)\} e^{-R(t)} dt \quad (3-34)$$

$$\text{S.t.} \quad \dot{K}(t) = I(t) - \delta K(t) \quad (3-35)$$

其中 $K(t)$ 與 $L(t)$ 分別代表生產時所雇用的資本與勞動，而 $F[K(t), L(t)]$ 則代表生產函數，通常假設具有規模報酬遞減；初期之資本存量為 $K(0) = \bar{K}$ ，資本的折舊率為 δ ；勞動的工資率與資本財的價格分別為 $w(t)$ 與 $p_I(t)$ ；此處假設生產者在產品市場與要素市場均為價格接受者。 $R(t) = \int_0^t r(s) ds$ 代表折現率，而 $r(s)$ 則代表在時點 s 的利率（或折現率）；當 $r(s)$ 在所有時點均為固定常數 r 時，則 $R(t) = \int_0^t r(s) ds = rt$ 。

然而新古典理論中資本存量可以隨時瞬間調整特性，使得未來的任何參數（如資本價格、工資率等）的可能變動不會影響目前的決策，因此無法考慮廠商對於未來任何變數的預期，相對地廠商在過去的決策結果，對目前或未來的決策沒有任何影響。另一方面，模型推導而得之資本存量只決定於當期資本財價格與產品價格之結果，表示當價格變動，資本存量將立即改變，此亦與實務差距甚大。

為解決上述問題，1960 年代逐漸形成內部調整成本的概念，所謂內部調整成本指設置新的機器設備時必須停工直到新設備設置完成，操作人員也需要新的技術訓練，在此期間所發生之操作與機會成本。自 1960 年代之後多數投資相關模型會將內部調整成本納入。

及至 1990 年代，當 CGE 廣泛被運用於政策評估，以基期資料做為經濟結構參考基準的 CGE 模型，在面對結構快速變遷的經濟體系下，常無法充分反映若干年後的經濟狀態，Orlowski (1996)^[3.3.4]、Braber et al. (1996)^[3.3.5]、Hare et al. (1993)^[3.3.6] 等研究即指出此種現象，因此 Keuschnigg and Kohler (1996)^[3.3.7] 與 Piazolo (2001)^[3.3.8] 等研究便提出在動態模型中納入調整成本以解決此類問題。

因此，為能反應大型建設、生產方式與設備調整所產生的成本與時間延遲，本研究以調整成本修正(3-34)式為：

$$\text{Max}_{(I,L)} \int_0^{\infty} \{F[K(t), L(t)] - wL(t) - p_I \cdot [I(t) + A[I(t), K(t)]]\} e^{-rt} dt \quad (3-36)$$

$$A(I, K) = I \cdot h(I/K) \quad (3-37)$$

其中 $A(I, K)$ 為調整成本函數， $h' > 0$ ， $h'' > 0$ ²。令

$$\partial A / \partial I = h(I/K) + (I/K)h'(I/K) = \phi(I/K),$$

$$\partial A / \partial K = -(I/K)^2 h'(I/K) = -\phi(I/K),$$

$$h = (cI/K)^2,$$

$$K(0) = \bar{K}。$$

則可求導出一階必要條件如下：

$$p_I (1 + \psi) \left[(r + \delta) + \frac{2\psi \left(\frac{2}{3} \frac{I}{K} - \frac{\dot{I}}{I} - \delta \right)}{1 + \psi} - \frac{\dot{p}_I}{p_I} \right] = \frac{\partial F(K, L)}{\partial K} \quad (3-38)$$

(3-38)式表示最適的資本存量及投資，應使資本的使用者成本(此即等號左側所包含的利息支出($p_I \cdot (1 + \psi)r$)、折舊($p_I \cdot (1 + \psi)\delta$)、調整成本($-p_I \cdot (\psi + \phi)$)之總和，並扣除資本增值($(1 + \psi) \cdot \dot{p}_I$)後的淨值)等於資本的邊際生產力($\partial F(K, L) / \partial K$)³。

²調整成本函數形式的選擇，會影響投資時徑跳動的改善狀況，Uzawa (1969) [3.3.9] 的調整成本模型將設置成本設定為投資相對於既有資本存量比例之函數，在給定的投資下，新增資本(投資)的設置成本會隨著資本存量增加而遞減：

$$J(t) = I(t) \left(1 + \phi \cdot \frac{I(t)}{2K(t)} \right), \quad J(t) \text{ 代表毛投資, } I(t) \text{ 代表淨投資, } \phi \text{ 為調整成本參數;}$$

Keuschnigg and Kohler (1996) [3.3.7] 認為投資本身即使在沒有調整成本的情況下，也會在不同期間變動，這是因為規劃進行投資時，就必須同時考慮到投資過程所須投入的資源，因此將Uzawa (1969) [3.3.9] 的調整成本修正為：

$$J(t) = I(t) \left(1 + \phi \cdot \frac{I(t)}{2K(t)} \right) + \xi (I(t) - I(t-1))^2;$$

1990年代部分文獻對於調整成本函數應設為凸函數或凹函數爭論不已，仍有賴實證加以驗證。

³若不考慮調整成本，則式(6.12)將簡化如下： $p_I \cdot (r + \delta) - \dot{p}_I = \partial F(K, L) / \partial K$ ，亦即資本生產力應等於以購買價格(p_I)來計算利息支出與折舊費之總和，再扣除資本增值後的淨值。

假設投資所增加的調整成本($\partial A/\partial I$)在初期極低(亦即 $1+\psi \approx 1$)，同時也忽略投資變動率(\dot{I}/I)，則在長期恆定狀態(steady state)下，則式(3-38)將可改寫如下：

$$p_I(1+\psi)\left[(r+\delta)+\alpha-\frac{\dot{p}_I}{p_I}\right]=\frac{\partial F(K,L)}{\partial K} \quad (3-39)$$

其中 $\alpha \approx 6c^2(I/K)^2(I/K-\delta)$ 。

B. 資金分配

資金在部門間的分配，通常以部門資本利得或報酬率的相對大小決定分配比例，Thurlow (2004)^[3.3.10]提到設定部門間投資分配的方式有幾種，其一假設投資按部門間資本利得或報酬之比例高低進行分配，其二依各部門獲利率相對於整體經濟投資報酬率的高低而調整，亦即獲利率較平均值高的產業，將獲得更高比例的投資，Thurlow (2004)與國內的TAIGEM-III模型皆採後者設定，其設定方式包括：

$$r_i(t)=\frac{R_i(t)}{c_i(t)}-\delta \quad (3-40)$$

$$r_i(t+1)=r_i(t)\left(\frac{K_i(t+1)}{K_i(t)}\right)^{-\beta_i} \quad (3-41)$$

$$\bar{r}=r_i(t)\left(\frac{K_i(t+1)}{K_i(t)}\right)^{-\beta_i} \quad (3-42)$$

(3-40)式表示產業*i*之當期資本淨報酬率為毛報酬率扣除折舊率，式中 $r_i(t)$ 代表產業*i*之當期資本淨報酬率， $R_i(t)$ 代表產業*i*當期給付給單位資本之報酬， $c_i(t)$ 代表使用單位資本之成本， δ 代表折舊率（假設折舊率不變）。(3-41)式則假設新增之資本必須經過一期方能完全設置完成，則經過一期後產業*i*之淨報酬率應與前期淨報酬率及期間資本存量變化有關，此即反映淨報酬率與投資之關係，式中 β_i 代表資本在部門間流動性之高低，為一大於零之正數，當 $\beta_i=0$ ，表示資本不存在流動性，則資本分配將以基期比重決定之。(3-42)式表示總投資以部門

投資報酬率相對高低決定資金分配，當達到均衡時，必然會決定一整體投資報酬率水準，因此透過此式便可知道當產業 i 投資報酬率高於整體投資報酬率，投資將增加，資本相較前期亦將成長。本研究採(3-41)式設定。

2. 家計部門最適化決策

一般家計部門決策行為大多假設在所得限制下，追求使效用最大的商品消費組合。然而家計部門使用能源，大多是為了享受電器、照明、空調與運輸設備帶來的效用，而間接產生對能源之需求，因此稱家計部門對這些設備提供之服務所產生的需求為能源服務需求(energy service demand)。

Elliott (2006)^[3.3.11]強調，「能源服務需求」與「能源終端使用」不應混為一談。Kratena and Wüger (2004)^[3.3.12]亦認為家計單位的效用來自一般商品消費，以及由家計單位透過「投入」與「資本」所自行產生的服務，資本由家計所得購買並累積，但不放入效用函數，而是做為一種投入以生產設備服務的流量。Guertin, et al. (2003)^[3.3.13]更建立住宅能源需求模型，運用加拿大實際資料，分兩階段推估能源服務需求。

能源服務需求為抽象的概念，可以想像為家計部門為了服務自己，而結合設備(車輛)與能源進行生產，產品即為能源服務⁴。因此可設立家計能源服務生產函數，呈現設備、能源使用，與能源服務供給之關係，而設備對效用的貢獻則與設備特徵(如運具種類、車輛cc數、油耗特性、品牌、旅行時間)有關，於是不同設備特徵，其價格便隱含設備購置與使用成本之差異。

運輸服務亦具備相同概念，由於運具使用以及花費於旅途上的時間皆不能為消費者帶來效用，家計部門係透過投入這些成本(燃料成本、運具使用成本、時間成本等)為自己生產運輸服務，進而因運輸服務達成旅行目的，而產生家計部門效用。但由於運輸服務達成旅行目的所產生的效用，並不容易被量化觀察，因此常藉由消費者願意為該運輸服務付出之代價或支出，來代表其效用價值。

4 早在Willet and Naghshpour (1987)^[3.3.14]便提出「家計單位生產理論」，他認為家計單位結合能源投入與設備所提供之服務流量，生產出能源服務，以滿足家計單位之能源服務需求。

設備與車輛被視為耐久性財貨，家計部門耐久財消費理論中，多假設若耐久財消費組合 $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_J)$ 中，任一財貨可帶來效用水準為：

$$V(\Theta_j) = \max_{\{x, t, z_2\}} u(z_1, z_2; \eta) \quad (3-40)$$

$$s.t. \quad z_1 = f(x, t; \Theta_j) \quad (3-41)$$

$$px + z_2 = wL - r(\Theta_j) \quad (3-42)$$

$$L = t = T$$

式中， z_1 代表耐久性財貨所提供之服務， z_2 則為一般的商品消費組合，其市場價格標準化為 1， η 為消費者對耐久財服務的偏好參數， x 表示為從事運輸服務生產所投入的市場財貨，其市場價格為 p ， t 為從事運輸服務生產所付出的時間， L 代表工作的勞動時間， w 為工資率， $r(\Theta_j)$ 為耐久財的資本成本 (capital cost)， T 表示時間賦與。

消費者將選擇可達最大效用之消費組合，藉此決定耐久財之購買決策：

$$\max_{\{j \in 1, \dots, J\}} \Theta = (V(\Theta_1), V(\Theta_2), \dots, V(\Theta_J)) \quad (3-40)$$

一旦 Θ 組合確定，家計生產模型 (household production model) 說明在給定車輛特性的情況下，家計必須選擇成本最小的方式，來提供自身運輸服務，因此家計的運具使用決策必須決定於：

$$C(p, w, z_1; \Theta_j) = \min_{\{x, t\}} px + tw \quad (3-40)$$

$$s.t. \quad z_1 = f(z, t; \Theta_j) \quad (3-41)$$

當勞務生產不具 CRS，而且生產沒有聯合性（亦即某一勞務的產量與其他勞務產量無關），邊際成本將不受勞務產量水準的影響：

$$MC(p, w; \Theta_j) = \partial C(p, w, z_1; \Theta_j) / \partial z_1 \quad (3-40)$$

此時，勞務需求之決策問題（耐久財的使用決策）可簡化為傳統需求模式，並藉此求得運輸服務之需求函數：

$$\underset{\{z_1, z_2\}}{\text{Max}} \quad u(z_1, z_2; \eta) \quad (3-40)$$

$$s.t. \quad MC(p, w; \Theta_j) z_1 + z_2 = wT - r(\Theta_j)$$

$$z_1 = z_1(MC_j, y_j; \eta), \text{ 其中 } y_j = wT - r(\Theta_j)$$

上開勞務需求函數之價格彈性為 0（因邊際成本與勞務需求量無關），但許多實證分析結果均非如此，這是因為偏好參數（ η ）的因人而異，使勞務需求函數中的邊際成本（ MC_j ）內生化，導致需求函數之推估結果產生偏誤。為改善此一內生化的問題，可改採「不連續的選擇模型」（discrete choice model），Dubin and McFadden (1984)首開先河，使決策成為兩階段問題，首先推估購買機率，其次再推估服務需求。

延續運具選擇與使用決策之概念，CGE 模型之家計部門行為設定將納入幾項創新性設定：

■ 加入時間因素

基於運具與運輸系統特性各異，旅行時間又為足以影響家計選擇之重要運具特徵，因此在家計消費決策中，假設滿足所得限制與時間限制下，選擇使效用最大的最適商品消費量、能源服務需求、休閒與工作時間。

■ 建立家計運輸服務之生產函數

家計能源服務生產決策，在滿足能源服務總需求下，選擇使生產成本最小的最適車輛特徵、能源用量、與旅行時間。

■ 強化私人運輸與公共運輸之選擇決策

詳細區分私人運輸與公共運輸選項，並建立運具使用與能源消費之關係，從而反映運具選擇對於運輸部門能耗與溫室氣體排放之影響。

■ 配合旅行時間與家計生產函數的建立，反映車輛設備之特徵與使用頻率

以下茲依據巢式架構，分層說明家計部門消費決策之關聯。

(1) 消費決策

家計部門將在滿足所得限制與時間限制下，選擇使效用最大的最適商品消費量、運輸服務需求、休閒與工作時間分配。因此消費決策模型

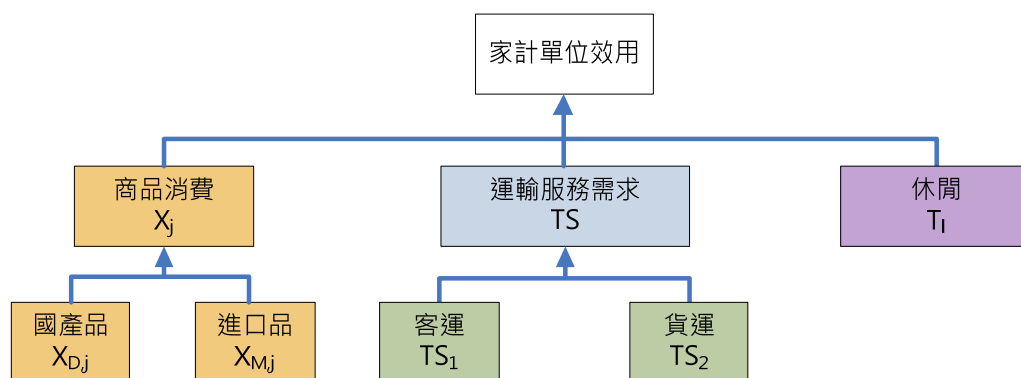
將如(3-43)式至(3-45)式所示。式中 T_l 代表休閒時間， X 為由 j 種商品組成的消費組合向量， T_w 為工作時間， \bar{T} 代表時間稟賦限制總和。

$$\underset{X, TS, T_l}{Max} \quad U = CD(Leontief(X, TS_2), TS_1, T_l) \quad (3-43)$$

$$s.t. \sum_j P_{X,j} \cdot X_j + C_1 \cdot TS_1 + C_2 \cdot TS_2 = w \cdot T_w + r \cdot K \quad (3-44)$$

$$T_w + T_l + T_1 + T_2 = \bar{T} \quad (3-45)$$

其中家計部門商品消費與生產決策中之商品相同，為國產商品與進口品之組合，則此一巢狀架構設定方式與(3-1)式及(3-2)式雷同；能源服務需求部分，亦透過 CES 函數設定，設定方法與前揭生產決策各層最適化問題類似，該巢狀架構如圖 3.3-7 所示。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-7 家計部門消費決策

(2) 運具使用選擇決策

為突顯運具選擇對私人運輸需求及運輸部門排放量之關鍵性角色，本研究有別於一般 CGE 模型，擬將運具選擇與使用決策模式納入家計部門運輸服務需求行為中。運具選擇模式可區分為車輛購買決策與使用決策兩部分，前者為家計部門對於耐久財之消費決策，後者為家計部門對於運輸服務之需求。

$$\underset{TS_{11}, TS_{12}}{Min} \quad C_1 = \pi_{11} C_{11} TS_{11} + \pi_{12} C_{12} \cdot TS_{12} \quad (3-43)$$

$$s.t. \quad CES(TS_{11}, TS_{12}) = 1 \quad (3-44)$$

(3) 私人運輸服務生產決策

第一階段決策，可以(3-46)式至(3-50)式表示。式中 $P_{ES,i}(Z_i)$ 代表第 i 種運輸工具，其設備特徵 Z_i 之特徵價格函數， ρ_i 為設備成本分攤比率， t_i 為旅行時間， w 為旅行頻率； TS_i 為能源服務供給量，為能源 E_i 、車輛提供的服務流量 Ω_i 與旅行時間 t_i 之函數，即能源服務生產函數；而車輛提供的服務流量 Ω_i 則為車輛使用頻率 φ_i 與特徵 Z_i 之乘積； Z_{in} 為設備特徵向量，代表第 i 種車輛之第 n 種特徵， $Z_i = Z_{in}$ 則表示在諸多車輛特徵中選擇其中一類購買後，能源服務的生產便僅能由該類車輛提供。

$$\underset{Z_i, \varphi_i, t_i}{Min} \quad C_i = \rho_i \cdot P_{ES,i}(Z_i) + P_E \cdot E_i + w \cdot t_i \quad (3-46)$$

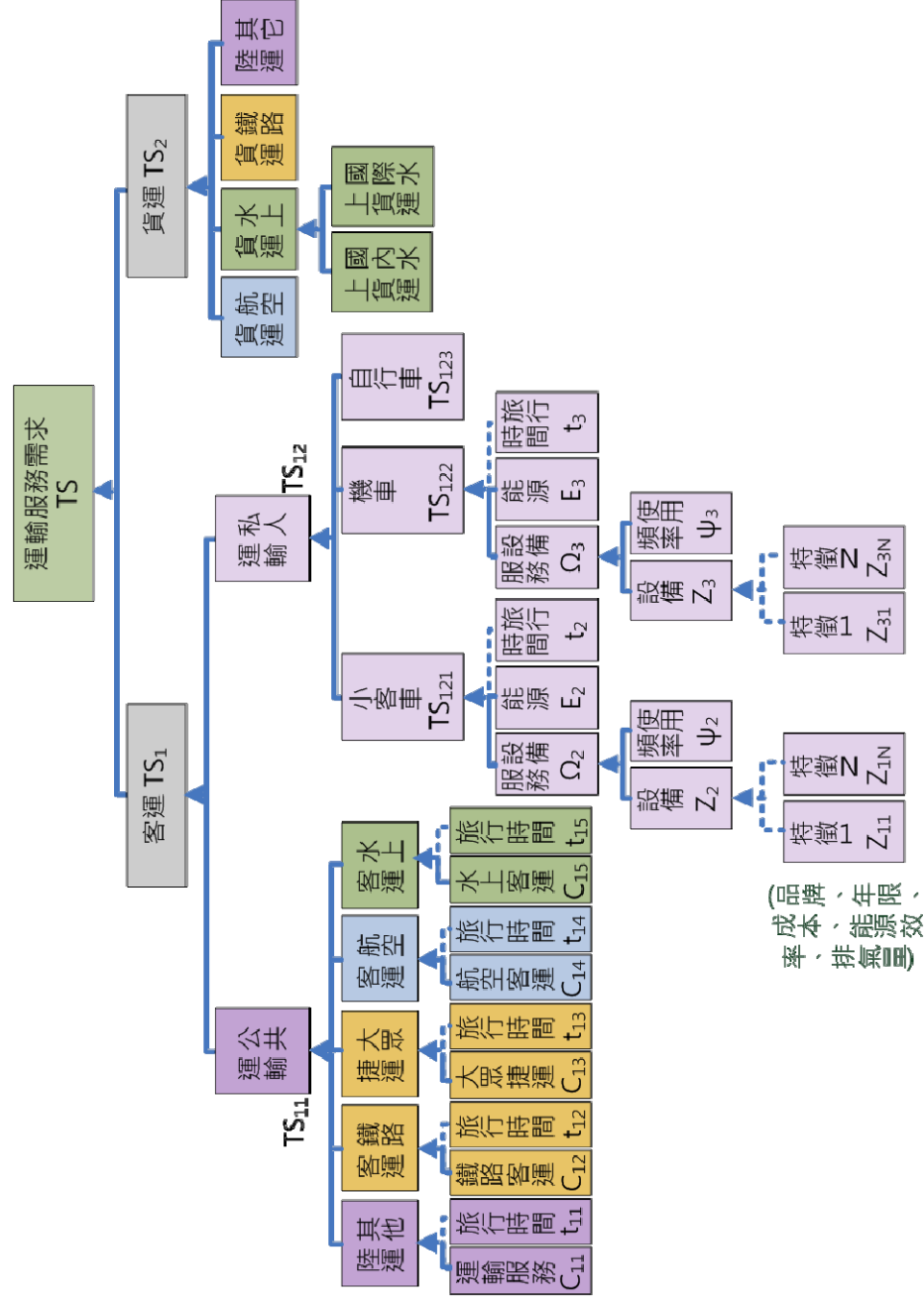
$$s.t. \quad TS_i = f_i(E_i, \Omega_i, t_i) \quad (3-47)$$

$$\Omega_i = \varphi_i \cdot Z_i \quad (3-48)$$

$$Z_i = Z_{in} \quad (3-49)$$

$$t_i \geq \hat{t}_i, \quad \hat{t}_i \text{ is given} \quad (3-50)$$

本研究擬將家計部門之運輸需求依客、貨運及公共運輸\私人運輸加以區分，如圖 3.3-8 所示，為評估私人運輸移轉公共運輸之影響，區分公共運輸與私人運輸為關鍵。公共運輸並無能源服務問題，因此直接以運輸量與旅行時間進入效用函數，私人運輸部分則在小客車與機車兩設備皆設予運輸之能源服務生產函數，再透過上述決策過程求得家計部門之小客車與機車之持有決策與使用頻率。



資料來源：本研究繪製。

圖 3.3-8 家計部門私人運輸服務生產決策

3. 政府部門財政收支平衡

政府部門以財政收支平衡設定之，如下式其總稅收與政府消費支出總額及經常性移轉淨支出之差額，即為政府儲蓄，而稅收的來源則包含各項間接稅、直接稅、環境稅及其他規費：

$$TAXREV = \sum_j X_j^G + SAV^G + TRF^G \quad (3-51)$$

4. 市場均衡

最後設定市場均衡式，即各業產品之市場供給量必須等於市場總需求，包括中間需求與最終消費需求。零利潤假設則依循圖 3.3-1 設定。

$$Q = \sum_j X_j \quad (3-52)$$

5. 容量限制

當考慮私人運輸移轉至公共運輸時，硬體設備對移入需求能否具備足夠容量承載，將成為未來基線推估之重要限制，亦是推廣公共運輸政策必須考量之因素。為此，當運輸服務業透過(3-30)式與(3-52)式決定運量供給時，還必須考慮到運能的限制。

容量取決於設施與設備之特性，設施或設備等資本，透過投資逐期累積而來，即(3-35)式。當投入重大交通建設(如興建捷運、快速道路)，表示大幅提高投資水準 I，將使資本存量 K 快速增加，提高設備容量。

基於運輸系統容量設計，主要考量尖峰時段服務量，為能與模型年度資料融合，系統容量在換算為全年最大容量後，其與實際容量之關係可透過一容量因子 ϕ 呈現：

$$\bar{Q}_t = \phi \cdot K_t \quad (3-53)$$

容量因子之高低，非為模型可產生，仍須外部資訊設定⁵。亦可隨時間而變化。運輸服務業所提供之服務量將因下式而存在上限。

⁵若依據近年來運量成長趨勢推估未來，可能產生運量大幅成長的情況，故而於模型中加入容量限制因子，此乃相關文獻首見。基於模型計算基礎為年度資料，故與交通尖峰容量計算基礎不同，在計算年度容量時，目前採取兩種作法，其一直接採用系統之設計容量，其二利用過去發生之尖峰運量，假設全年中每一天每小時皆為尖峰運量時，計算年度最高可能運量，做為容量設定基礎。

$$Q \leq \bar{Q} \quad (3-54)$$

(三) 求解軟體與程式撰寫

運輸 CGE 模型運用一般性代數模擬系統 (General Algebraic Modeling System, GAMS) 做為求解最適化問題之工具。GAMS 最初由世界銀行(The World Bank)資助，華盛頓特區的發展研究中心執行研發，目前則改由 GAMS Development Corporation 所資助。

GAMS 系統是在一羣數理經濟學家的密切合作之下所開發，在系統的發展上，最重要的成功因素是共同應用在經濟學、電腦科學和運籌學之間。雖然數學規劃(mathematical programming)和經濟理論(economics theory)交錯嚴密，然而 1975 年諾貝爾經濟學獎頒給 Leonid Kantorovich 和 Tjalling Koopmans，以表彰他們在數學規劃中對最佳化資源分配理論的貢獻。其它諾貝爾獎得者，像 1972 年的 Kenneth Arrow、1973 年的 Wassily Leontief、及 1990 年的 Harry Markowitz 也都在數學規劃上非常聞名。

GAMS Development Corporation 所接手開發的 GAMS 軟體，是為了處理模型線性、非線性及混和整數最佳化的問題。GAMS 尤其適合處理須精確模型之大型、複雜及獨特的問題，使得問題符合高度精確及自然的法則等，也允許使用者自行快速且簡便的修改公式以便於求解其它的問題，甚至於只要稍加費心就能轉換線性公式成非線性公式，近年來已廣泛地被世界各經濟學家所使用。

附錄 10

溫室氣體盤查指引與優良作法

一、IPCC 溫室氣體盤查指引與優良作法

IPCC(2000)出版「國家溫室氣體盤查之優良作法指引及不確定性管理」一書¹，成為國際進行溫室盤查的基本規範。大部份固定源燃燒排放CO₂主要來自燃料燃燒過程中的碳釋放，大部分碳立即以CO₂形式排放，而少部分碳是以CO、CH₄及非甲烷揮發性有機物的形式排放，然而這些氣體在大氣中經過幾天至大約 20 年時間，最後仍被氧化為CO₂。依據IPCC指引，上述氣體均應計入CO₂排放，但為避免重複計算，對於那些沒有氧化的碳，例如顆粒物、煙灰或灰渣中的碳，則不計入溫室氣體排放總量之中。

(一)溫室氣體盤查

IPCC 為界定不同排放源之溫室氣體排放量，區分溫室氣體排放源(source)與部門(sector)與溫室氣體抵換(offset)兩大類型，有關排放源與抵換之內容，詳細表 1 與表 2。

表 1 溫室氣體排放源與部門分類

部門	內容
能源	由生產、轉換、運輸及化石原料(包括煤、石油及天然氣)使用所產生之CO ₂ 、CH ₄ 及N ₂ O
工業製程	燃料燃燒之外的所有工業製程產生的溫室氣體，包括水泥、石灰生產及石灰石使用產生之 CO ₂
溶劑與其他產品	使用溶劑及相關產品產生之非甲烷之揮發性有機混合物
農、林業	燃料燃燒之外的所有農業部門之人為排放，包括畜牧、肥料使用、及稻米耕種產生之甲烷
土地使用改變與造林	森林及土地改變使用所產生之排放與碳匯，例如砍伐及燃燒森林、濕地枯竭
廢棄物	廢棄物管理所產生之排放，包括都市廢水管理、廢水排放之消散、廢棄物燃燒等
其他	所有非上述因素所產生的人為排放與碳匯活動

資料來源：IPCC, 2000

¹ IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV) – Trends and Developments in Climate Change Negotiations, Climate Change Group, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, ISBN: 978-4-88788-068-9。

(二) 溫室氣體排放量計算方法型態

IPCC(2000)提出三種計算方法，分別為方法一：基準法(top-down)：以燃料燃燒計算基礎；方法二：以技術為基礎所推估的方法：包括燃料總類及燃燒技術；方法三：「由下往上」(bottom-up)方法：包括燃料種類及燃燒技術。相較上方法二與三較準確，如果一國能源消費資料較完整，建議採取「bottom-up」方法。

表 2 溫室氣體抵換分類

部門	內容
能源	<ol style="list-style-type: none">1. 移轉潔淨與再生能源使用2. 提高生產、轉換及能源使用效率3. 從能源使用煉中回收逸散性溫室氣體
工業製程	<ol style="list-style-type: none">1. 生產技術效率提升2. 引進潔淨製程與原料
溶劑與其他產品	<ol style="list-style-type: none">1. 產品使用更有效率2. 以清潔產品替代
農、林業	<ol style="list-style-type: none">1. 畜牧管理效率提升2. 肥料使用改進3. 修改稻米種植方式4. 將含氮肥料改為有機肥料5. 減緩農業廢棄物燃燒
土地使用改變與造林	<ol style="list-style-type: none">1. 保護森林與濕地2. 提升森林管理效率3. 加強造林4. 提升土壤及綠地管理
廢棄物	<ol style="list-style-type: none">1. 廢棄物回收再利用2. 廢水管理及廢棄物處理之甲烷回收3. 減少廢棄物公開燃燒
其他	<ol style="list-style-type: none">1. 所有其他有關減緩、改變及減少溫室氣體排放之活動

資料來源：IPCC, 2000

1. 五大步驟(以方法一為例)

- (1) 估算進入該國的化石燃料(消費面)
- (2) 碳單位轉換
- (3) 扣除燃料中用於生產長期固碳材料的碳量
- (4) 乘以氧化係數以作為對燃料中沒有氧化部分的碳進行折算
- (5) 將碳轉換為CO₂，並求算出所有燃料總和(但不包括生質能)

2. 排放因子與熱值選擇

由於燃料之化合物組成份不相同，因此，熱值在同一種或不同燃料間差異頗大，IPCC所指為淨熱值，係指一單位燃料完全燃燒所釋放測得之熱值，並假設燃燒過程中，所產生的水以水蒸氣形式存在，但扣除水蒸氣所含熱值。化石燃料燃燒之CO₂排放因子可由單位能量表示，因為以單位能量來表示燃料含碳量時，通常要比用單位質量來表示的數值變化較小，因此，通常以淨熱值將單位質量或體積的燃料消費數據，轉換為以單位能量所表示的數據。

然而，為扣除殘留於煙灰、顆粒物及灰燼中之碳，故一般以氧化率估算燃料燃燒後剩餘的潛在碳排放比例，IPCC 建議盡可能採用「當地數值」，如果無法獲得才採用參考數值。一般來說，IPCC 之油、氣之氧化因子的參考值較精確，然而，煤炭的氧化因子誤差較大，建議採取當地煤碳氧化因子較佳。

3. 活動強度選擇

活動強度(燃料數量及類型)可由國家能源局取得，但是能源平衡表編制單位，需要進行數據品質評估，以提升該數據之正確性。在具有環境報告書制度下，主管機關可要求排放源提供燃料燃燒資料，然而，一般污染源均不易獲得該資料，因此，一般國家的盤查資料都是由大型排放源及其他排放源混合統計推估。

由於活動強度並不直接代表燃料燃燒量，為避免重複估算(例如製程、溶劑及廢棄物部門排放量)，IPCC建議的優良作法是區分固定污染源CO₂排放類別，及相關工業製程類別之排放量估算。

4. 完整性

溫室氣體盤查應包括所有燃料及排放類別，然而，燃料盤查容易誤

差，主要項目如下：

- (1) 化石燃料生產存量變化
- (2) 作為能源使用的廢棄物燃燒：廢棄物燃燒應在廢棄物類別統計，而作為能源用途的廢棄物燃燒則應在能源類別統計
- (3) 能源企業自用之燃料燃燒
- (4) 石化原料轉化為石化產品(固定碳)
- (5) 國際航空及海運燃料燃燒

5. 建立一致性的時間序列資料

由於時間演進將產生方法及數據上的變化，使得在同一時間序列下，一些無法蒐集的數據估算變得更為困難，因此，需要利用現有資料，推估未來數據。當日後採取更高技術層級的推估方法時，必須清楚說明與前述方法上的差異與關聯性。

6. 不確定性評估

一般而言，CO₂盤查的不確定性因素，主要來自兩方面：

- (1) 所有排放源類別的統計範圍是否充分
- (2) 所有燃燒範圍是否充分(包括交易與非交易)

以直接調查或例行報告獲得的大型排放源燃燒的統計，與國家估算數據之間的誤差一般低於 3%。對於已具備良好數據蒐集機制的國家而言，透過數據品質控制系統，可以控制統計誤差率在 2%~3%間，不具備上該機制者，誤差率可高達 10%以上。

7. 盤查資料之 QA 與 QC

為確保資料品質，應比較不同方法估算之排放量，例如活動強度數據核算，應確認如下事宜：

- (1) 應編制以質量單位表示國家能源平衡表與燃料轉換工業的能源平衡表，應檢查統計時間序列的誤差對系統的影響。
- (2) 應編制以能量單位表示國家能源平衡表與燃料轉換工業的能源平衡表，應檢查統計時間序列的誤差以及熱值與國際能源總署提供數值交叉比對。
- (3) 如果作為原料的燃料進出口比較大，則應對總碳排放量是否已調整為化石燃料含碳量。

- (4) 應比較能源統計與國際機構提供之數據，以確認問題。
- (5) 應檢視部分排放源是否基於環保法規要求，已進行排放量數據統計。
- 8. 排放因子查核，應確認如下事宜：
 - (6) 應編制以碳單位表示的國家能源平衡與燃料轉換工業的碳平衡表，並檢查其時間序列差異。
 - (7) 可以利用大型排放源的監測系統資料，作為檢視其他排放源數據之依據。
- 9. 倘若是直接測量值的評估，則應確認：檢視現場計算燃料與氧化率之設施，並進行品質控制評估。

綜合上述，代表性運輸業CO₂排放計算步驟如下：

假設大卡車一年使用柴油 100,000 公秉，一公秉柴油等於 8,800,000 千卡，則溫室氣體排放量計算步驟如下：

- (1) 步驟一：100,000 公秉柴油=880,000,000,000 千卡
- (2) 步驟二：880,000,000,000 千卡=3,684,384 焦耳
- (3) CO₂=3,684,384×20.2×0.99×44÷12×10⁻³=295,030tCO₂

二、 歐盟溫室氣體監測與報告機制

歐盟依據 2003/87/EC 指示，為了推動歐盟排放交易運行必須：

- (一) 建立完整、一致、透明、正確監測(monitring)及申報(reporting)系統。
- (二) 排放源申報量必須獲得驗證(certified)。

基於此，歐盟於 2004 制定溫室氣體監測與報告指引(Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions)^[6.1.2]。簡述其內容如下：

(一) 監測與報告原則

溫室氣體監測與報告應符合下列八大原則：

- 1. 完整性(completeness)：必須包括所有製程與燃料排放。

2. 一致性(consistency)：以相同的監測方法與資料集合與歷史結果比較(如果監測方法改變需獲得認可)。
3. 透明化(transparency)：監測資料包括假設、參考、活動強動、排放因子、氧化作用(oxidation)及轉換(conversion)因子均需填報清楚(包裝記錄、編輯與分析)，以利驗證。
4. 正確性(accuracy)：必須詳實填報排放量，且操作者必須提出合理的確認性，包括計量方式等，以說明該排放量的高度正確性。
5. 成本有效性(cost effectiveness)：監測方式除了考量正確性之外，仍需兼顧其成本有效性，換言之，除非成本過高，否則應以正確性為優先考量。
6. 具體性(materiality)：必須具體提供排放帳資料等可靠資訊。
7. 真實性(faithfulness)：真實性是排放申報查證的基礎。
8. 提升監測與申報績效：建立有效及可靠查證工具，以確保 QA(quality assurance)與 QC(quality control)及監測與申報績效。

(二) 溫室氣體監測

溫室氣體監測的主要工作包括：1.範圍(boundaries)界定；2.決定 GHGs 排放量；3.不確定性評估(uncertainty assessment)等。其中，不確定性評估內容包括：1.計算(calculation)；2.衡量(measurement)；及 3.解釋不確定性現象(illustrative uncertainty figures)等。分述如下：

1. 範疇界定

應包括污染源的所有排放量如下排放：

- (1) 正規運行下之排放
- (2) 基於運輸目的之引擎燃燒排放亦應包含

2. 決定 GHGs 排放量

無論是以計算或衡量方式，均需計算：

- (1) CO₂排放
- (2) Non-CO₂排放

3. 而影響排放量計算因子，包括：1.計算公式；2.CO₂移轉(transferred)；3.CO₂捕捉與儲存(capture and storage)；4.分析層級(tiers of

approach)；5.活動資料(activity of data)；6.排放因子(emission factors)；
7.氧化或轉換因子(oxidation/conversion factors)等七大項。分述如下：

1.計算公式

(1)一般性公式：

$$CO_2 = \text{排放強度} \times \text{排放係數} \times \text{氧化因子}$$

(2)燃料燃燒公式：

$$CO_2 = \text{燃料燃燒}(TJ) \times \text{排放係數}(tCO_2 / TJ) \times \text{氧化因子}$$

(3)製程排放公式：

$$CO_2 = \text{燃料燃燒}(t / m^3) \times \text{排放係數}(tCO_2 / tm^3) \times \text{轉換因子}$$

2.CO₂移轉

不是該設備直接排放，而是移轉至下列用途，稱為CO₂移轉，包括：

(1)碳酸飲料(carbonation of beverages)

(2)乾冰冷卻

(3)冷凍或實驗室氣體

(4)食品或化學溶劑

(5)紙漿與化學產業之尿素或碳酸

(6)出口燃料的一部分

3.CO₂捕捉與儲存

CO₂捕捉與儲存需從排放帳中扣除。

4.分析層級

詳細記錄下列變數之特定方法：

(1)活動強度

(2)排放因子

(3)氧化因子

(4)轉化因子

5.活動強度

活動強度資料(以淨熱值(TJ)、重量(t)或體積(m³)包括：

(1)物質流

(2)燃料消費

(3)投入物質或產出之能源含量

活動強度以存貨變動表示，其計算公式如下：

$$C = P + (S - E) - O$$

其中，C：申報量；P：購買量；S：期初存量；M：期末存量；O：其他用途使用量(如運輸或轉售)。

6.排放因子

排放因子的型態如下：

(1)燃燒排放：tCO₂/淨熱值(TJ)

(2)製程排放：tCO₂/重量(t)或體積(m³)

(3)生質能(biomass)的排放因子可設定為 0

7.氧化/轉換因子

氧化/轉換因子的型態如下：

(1)依據燃料含碳比例制定氧化/轉換因子；

(2)如果使用多種燃料必須決定一個總合的氧化/轉換因子

(三)溫室氣體報告

申報資料應包括下列資訊：

1. 設備資本資料
2. 所有排放源總排放量、衡量方式(測量或計算)、活動強度、排放因子、及氧化或轉換因子等資料
3. 期程永久或暫時性改變，改變原因以期始或終期日
4. 任何設備改變導致排放量改變均應填報

下列資訊雖然不用申報，但需附註：

1. 生質能燃料量(TJ)或改變製程(t or m³)
2. 生質能CO₂排放量(tCO₂)
3. 設備產生之CO₂移轉量(tCO₂)

附錄 11

行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨 抵換專案推動原則

溫室氣體先期與抵換專案推動原則

環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」^[6.1.5] (簡稱推動原則)，促進我國溫室氣體減量誘因，以及與國際接軌之計畫型減碳計畫額度創造。先期與抵換專案推動原則合計九點原則如下。

(一)行政院環境保護署(以下簡稱環保署)為鼓勵溫室氣體排放源(以下簡稱排放源)執行溫室氣體減量，並建立減量成效認定及減量額度核發之一致性原則，特訂定本推動原則。

(二)本推動原則之專有名詞，定義如下：

1. 溫室氣體：指二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)及其他經環保署公告者。但不包含已納入蒙特婁議定書規範之氫氟碳化物。
2. 溫室氣體排放源：指直接或間接排放溫室氣體至大氣中之設施、單元或程序。
3. 溫暖化潛勢：以單一二氧化碳質量單位產生之輻射衝擊為基準，在一段期間內單一溫室氣體質量單位所產生之輻射衝擊相對於二氧化碳之當量倍數。
4. 溫室氣體排放量(以下簡稱排放量)：指自排放源排出之各種溫室氣體量乘以各該物質溫暖化潛勢加總所得之合計量，以二氧化碳當量表示。
5. 公告排放強度：指環保署依行業別業者提供排放資料及國際資訊，公告單一排放源、單位原(物)料、燃料、產品或其他之溫室氣體排放量，係為適用先期專案之認定基準。
6. 先期專案：指自中華民國八十九年一月一日起至溫室氣體減量法施行前，排放源之排放強度優於環保署公告排放強度或環境影響評估書件承諾事項及審查結論要求之排放強度，經申請者提出減量專案，其執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案。
7. 抵換專案：指申請者依環保署認可之減量方法提出專案計畫書，其計畫書內容經中央目的事業主管機關審議及查驗機構確證並向環保

署註冊後，執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案。其中申請者整合管理多個減量子專案者，為方案型抵換專案。

8. 計入期：指於執行抵換專案，可取得減量額度計算之期間。
 9. 外加性分析：指依環保署認可減量方法評估該減量作為非法規所規定，且非技術普遍性或不具投資效益所做之分析，以確認抵換專案係為溫室氣體減量目的而執行。
 10. 活動強度：指產品產量或原(物)料、燃料、能源使用量或購買量等。
 11. 洩漏：指因執行先期專案或抵換專案，造成減量專案執行範圍外之溫室氣體增量情形。
 12. 登錄：指將經由查驗機構完成查證之排放量或碳匯量，登載於國家溫室氣體登錄平台(以下簡稱國家登錄平台)之作業。
 13. 排放密集度：指單廠所有產品單位產值之溫室氣體排放量。
- (三)環保署對符合本推動原則執行溫室氣體排放減量者，得受理其先期專案或抵換專案之申請。但於本推動原則發布前執行溫室氣體排放減量者，應符合下列情形之一：
1. 參與政府之減量協議、輔導、補助專案或節能減碳計畫者。
 2. 產業公(協)會，取得所屬會員廠商之委託，且曾參與政府之減量協議、輔導、補助專案或節能減碳計畫者。
 3. 屬環境影響評估案件之溫室氣體減量抵換需求者。
 4. 屬環境影響評估案件之溫室氣體減量抵換提供者。

(四)環保署受理先期專案或抵換專案之申請，應確認符合下列規定：

1. 先期專案申請者，為排放源之所有人、使用人、管理人或受其委託之產業公(協)會；抵換專案申請者為專案實際執行者或投資者。
2. 先期專案或抵換專案申請者，曾將全廠(場)排放量上傳於國家登錄平台。但於申請抵換專案無排放源者不需上傳。屬產業公(協)會申請者，其委託之全部會員廠商曾將全廠(場)排放量分別上傳於國家登錄平台。
3. 先期專案之申請者，應於環保署研訂公告排放強度時，提供其排放強度資料，且其排放強度應優於環保署公告排放強度。

申請者得同時提出先期專案及抵換專案之申請。但同一排放源之減量計算不得重複。

第一項第三款公告排放強度由環保署會商中央目的事業主管機關定之。

(五)環保署受理先期專案之申請，應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。
2. 國家登錄平台完成盤查登錄之證明文件、減量額度之帳戶證明文件或帳戶申請表。
3. 符合第三點推動原則發布前已執行溫室氣體排放減量者，應檢附下列證明文件之一：
 - (1)參與政府減量計畫、協議或備忘錄證明。
 - (2)參與政府輔導或補助之核可函及紀錄。
 - (3)已通過之環境影響說明書或評估書、減量抵換合作契約。
 - (4)其他環保署指定文件。
4. 先期專案報告書；其內容應包含：申請者基本資料、邊界設定、減量措施、額度計算期間之活動強度、排放係數、排放強度、全廠(場)及專案之溫室氣體排放量及排放減量計算說明等。
5. 由環保署審查通過之查驗機構所出具之先期專案查證總結報告及全廠(場)排放量查證總結報告。
6. 其他經環保署指定文件。

前項第四款排放減量計算說明之計算公式如下：

$$ER = \sum_{n=x}^y On \times [EI_r - EI_n]$$

ER：排放減量。當公告排放強度與申請年度實際排放強度之差值為負值時，該年度之排放減量為零。

n：專案執行期間，起始年為 x，截止年為 y。

O：產品、原(物)料、燃料、能源或其他之活動強度。

EI_r：適用之公告排放強度。但法規規定或環境影響評估書件承諾事項及審查結論之要求，優於公告排放強度時，應以其為計算基準。

EI：申請者排放源之實際排放強度。

(六)環保署除應確認產業公(協)會申請者依前點規定辦理外，並應確認其依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 授權書。
2. 公(協)會與會員廠商之權利與義務聲明書；其內容應包括雙方權利與義務、減量額度之分配及爭議處理。
3. 公(協)會減量額度之帳戶證明文件或帳戶申請表。
4. 其他經環保署指定文件。

(七)環保署審查先期專案之原則如下：

1. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應合理。
2. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應優於法規規定、環境影響評估書件承諾事項及審查結論。
3. 溫室氣體減量或移除之成效，非因排放源所有權轉移、停工、歇業或中間產品外購等造成，且無洩漏風險。
4. 佐證文件足資證明排放強度計算之真實性及正確性。
5. 減量額度不得重複核發。

(八)環保署受理先期專案申請後，應於三十日內完成書面審查，並做成核定減量額度或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

先期專案之申請經審查符合規定者，應核定減量額度及其編碼，並於審查通過七日內核發於國家登錄平台申請者帳戶。但產業公(協)會申請者經審查通過後，應依環保署通知核定之減量額度確認其分配方式，環保署於接獲減量額度分配方式七日內，據以核發於國家登錄平台申請者帳戶。

第一項之申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

(九)環保署受理抵換專案計畫書之申請，除應依專案類型轉送中央目的事業主管機關審議外，並應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。
2. 符合第三點推動原則發布前已執行溫室氣體排放減量者，應檢附下列證明文件之一：

- (1)參與政府減量計畫、協議或備忘錄證明。
- (2)參與政府輔導或補助之核可函及紀錄。
- (3)已通過之環境影響說明書或評估書、減量抵換合作契約。
- (4)其他經環保署指定文件。

3. 抵換專案計畫書；其內容應包含：減量方法描述及應用說明、基線計算方法、外加性分析、減量或移除量計算說明、監測方法描述、專案活動期程描述、環境衝擊分析及公眾意見描述等。但方案型抵換專案申請者除檢附方案型抵換專案計畫書外，另應檢附一件以上之子專案計畫書。

4. 其他經環保署指定文件。

前項抵換專案計畫書之註冊申請，非經中央目的事業主管機關審議通過，環保署不予受理。環保署受理註冊申請時應確認申請者依指定格式檢附下列文件：

- (1)申請書。
- (2)減量額度帳戶證明文件或帳戶申請表。
- (3)計畫書經中央目的事業主管機關審議通過之證明文件。
- (4)由環保署審查通過之查驗機構所出具之確證總結報告。
- (5)確證通過後之抵換專案計畫書。
- (6)確證通過後之抵換專案計畫書已上傳於國家登錄平台之證明文件。
- (7)其他經環保署指定文件。

(十)環保署審查抵換專案計畫書註冊之原則如下：

1. 引用之方法應符合下列規定之一：

- (1)聯合國清潔發展機制執行委員會認可之減量方法。
- (2)經中央目的事業主管機關審議通過並經環保署認可之減量方法。

(3)其他環保署認可之減量方法。

2. 抵換專案計畫書應經中央目的事業主管機關審議通過。
3. 抵換專案應具備外加性分析。
4. 屬能源類型專案者，其單一計入期產生之總減量額度應大於五百公噸二氧化碳當量。
5. 屬林業類型專案者，其植林之毗連面積應大於零點五公頃。
6. 專案之計入期符合下列規定：

(1)屬林業類型專案者：

A.展延型：以二十年為限，至多可展延兩次。每次計入期之展延申請應符合第九點及第十點之規定。

B.固定型：以三十年為限，不得展延。

(2)非屬林業類型專案者

A.展延型：以七年為限，至多可展延兩次。每次計入期之展延申請應符合第九點及第十點之規定。

B.固定型：以十年為限，不得展延。

7. 專案類型非屬核能發電。

(十一)環保署受理方案型抵換專案計畫書註冊申請，除依前點原則審查外，並應符合下列規定：

1. 屬林業類型之方案型抵換專案執行期間以六十年為限，非林業類型者以二十八年為限。
2. 方案型抵換專案於專案執行期間內，得新增子專案，且子專案之新增次數，不予限制。
3. 子專案新增後，應經環保署審查通過之查驗機構確認，且其所有子專案之減量方法或減量方法組合，應與註冊之方案型抵換專案計畫書所提內容一致，並符合其所載之子專案新增條件。
4. 申請者應將方案型抵換專案及其子專案之計畫書上傳至國家登錄平台。
5. 每項子專案僅屬一個方案型抵換專案，且不得重複申請。

已執行之方案型抵換專案，經環保署查核認定其子專案有不適用該方案型抵換專案之情形者，應移除該子專案，且不再受理該子專案之任何申請。

(十二)環保署受理抵換專案計畫書之註冊申請後，應於二十日內完成書面審查，並做成完成註冊或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

抵換專案計畫書之註冊申請經審查符合規定者，應完成註冊並於審查通過七日內通知申請者。

第一項之註冊申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

(十三)環保署審查通過前點抵換專案計畫書之註冊申請後，於受理抵換專案額度申請時，應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。
2. 監測報告書；其內容應包含：減量執行單位基本資料、監測成果描述、數據品質及實際減量成果等。
3. 由環保署審查通過查驗機構出具之查證總結報告。
4. 抵換專案參與者之權利與義務聲明書；其內容應包含：各個參與者之權利與義務、減量額度之分配及爭議處理等。
5. 其他經環保署指定文件。

(十四)環保署審查抵換專案額度之原則如下：

1. 抵換專案之計入期，不得先於環保署完成專案註冊之日期。但抵換專案於本推動原則發布前，經政府機關輔導或補助者，依其計畫書通過確證之計入期起算。
2. 減量額度之計算，應依據抵換專案計畫書之減量方法，並採合理保守的假設、數值及程序。
3. 溫室氣體減量或移除量不得重複計算。
4. 抵換專案之確證及查證作業，應由不同查驗機構執行。但適用聯合國清潔發展機制執行委員會之小規模減量方法者，不在此限。

5. 查證總結報告及監測報告書之專案活動或設施，應與於環保署註冊之抵換專案計畫書相符。
6. 溫室氣體減量或移除之成效，應具有持續性且無洩漏之風險。
7. 監測報告書之減量成果高於抵換專案計畫書計算結果時，應提出合理之說明與文件。
8. 減量額度不得重複核發。

(十五)環保署受理抵換專案之額度申請，應於五十日內完成書面審查，並做成核定減量額度或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

抵換專案之額度申請經審查符合規定者，應核定減量額度及其編碼，並通知申請者確認其分配方式，環保署於接獲減量額度分配方式七日內，據以核發於國家登錄平台申請者帳戶。

第一項之額度申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

第八點第二項及本點第二項之減量額度編碼規則，由環保署另定之。

(十六)先期專案申請者於環保署訂定公告排放強度時所提資訊不符環保署規定或虛偽不實，致影響公告排放強度數值者，環保署得修正公告排放強度，並對修正前已核發之減量額度重新核計。不足者，予以補發；溢發者，通知繳回。

環保署審查先期專案及抵換專案申請者所提資料，為其明知不實之事項而提出，或其申請文書為虛偽記載者，依刑法相關規定辦理。

(十七)環保署核發減量額度之用途如下：

1. 環境影響評估案件開發單位溫室氣體減量承諾之抵換。
2. 國內排放源自願減量之抵換。
3. 其他經環保署認可之用途。

前項減量額度之抵換，為同額抵換。但環境影響評估案件審查結論有特別要求者，應依其規定辦理。溫室氣體減量法施行後，應依該法相關規範辦理。

(十八)環保署得視先期專案及抵換專案申請者全廠(場)排放量登錄於國家登錄平台情形或排放密集度改善情形，核發獎勵減量額度。

附錄 12

國家溫室氣體登錄平台管理要點

(一)行政院環境保護署(以下簡稱環保署)為使「國家溫室氣體登錄平台」(以下簡稱國家登錄平台)溫室氣體減量額度帳戶(以下簡稱帳戶)之申請、審查相關程序有一致性之規範，特訂定本管理要點。

(二)本要點專有名詞定義如下：

1. 溫室氣體減量額度帳戶：指環保署提供作為溫室氣體減量額度(以下簡稱減量額度)存放、轉讓或註銷等作業紀錄之遵循帳戶。
2. 帳戶持有者(以下簡稱持有者)：指於國家登錄平台開立溫室氣體減量額度帳戶，經環保署審查認可後取得帳戶者。
3. 電子憑證：指透過晶片卡或其他憑證載具，由憑證發行機構以數位簽章簽署之資料訊息，用以確認持有者身分之數位式證明。
4. 異動：指基本資料、指定帳戶操作代表人、指定電子訊息傳遞之電子郵件地址或公(協)會會員名冊等變更之情形。
5. 凍結：指暫停帳戶內減量額度之轉讓及註銷等作業。
6. 關閉：指終止帳戶之使用，包含減量額度之存放、轉讓及註銷等作業。
7. 轉讓：指減量額度依持有者申請之數量或條件，自該持有者帳戶轉出，並轉入其他持有者帳戶之情形。
8. 註銷：指為持有者之抵換或其他需求，將減量額度依持有者申請之數量或條件，自持有者帳戶轉出，並轉入環保署註銷帳戶之情形。

(三)持有者於國家登錄平台使用帳戶，應以其指定之工商憑證或自然人憑證為其電子憑證之識別依據。

(四)環保署受理帳戶開立申請，應確認屬「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」(以下簡稱推動原則)規定之專案申請者，始得同意其於國家登錄平台開立帳戶。每一公司法人僅得開立一帳戶

(五)環保署受理帳戶開立申請時，應審查申請者依下列規定檢附資料及文件：

1. 帳戶開立申請表。
2. 負責人及帳戶指定操作代表人身分證正反面影本。
3. 指定電子憑證種類。

4. 帳戶開立切結書。
5. 帳戶使用約定書。
6. 申請或持有減量額度之證明文件影本。
7. 屬公司行號者，應檢附目的事業主管機關核准設立、登記或營運之相關證明文件影本；屬公(協)會者，應檢附目的事業主管機關核准設立、登記之相關證明文件影本及公(協)會會員名冊。
8. 其他經環保署指定之文件。

前項資料有異動，持有者應即檢附下列規定資料及文件，向環保署申請異動：

1. 帳戶異動申請表。
2. 異動項目更新之資料及文件。

(六)環保署受理帳戶開立或異動申請後，應於十四日內完成書面審查，做成同意或駁回之決定。其為同意申請者開立帳戶，環保署應依帳號編碼方式，核發申請者帳戶帳號。

前項申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應即通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請。補正日數不算入審查期間，且補正總日數不得超過十四日。

(七)環保署受理減量額度轉讓申請，應確認減量額度轉讓人依下列規定檢附資料及文件，環保署於受理申請日起十日內，將減量額度自轉讓人帳戶轉至受讓人帳戶，並以電子郵件通知至該持有者指定之電子郵件地址：

1. 申請表。
2. 轉讓人及受讓人雙方具名之減量額度轉讓證明。

註銷申請者僅須檢附前項第一款申請表，環保署於受理申請日起十日內，將減量額度自轉讓人帳戶轉至環保署註銷帳戶。

(八)於環保署指定溫室氣體減量額度交易平台完成交易，且經交易平台提出減量額度之轉讓通知者，環保署依轉讓通知將減量額度自轉讓人帳戶轉至受讓人帳戶，並以電子郵件通知至該持有者指定之電子郵件地址。

同一持有者有兩件以上減量額度同時申請轉讓時，依環保署受理之先後順序辦理。

- (九)環保署管理帳戶定期以電子郵件提供持有者帳戶對帳資料，不另提供書面資料。如有不符，持有者應通知環保署查明；因國家登錄平台系統維修、軟硬體設備更換、搬遷或其他不可抗力等事由，致資料遺失或毀損時，亦同。
- (十)環保署受理持有者申請帳戶關閉時，應確認持有者提出減量額度帳戶關閉申請表及該帳戶已無減量額度，並於十日內以電子郵件通知持有者。
- (十一)持有者有不當操作系統、破壞國家登錄平台或其他影響國家登錄平台運作之重大情事者，環保署得凍結該持有者之帳戶，並通知該持有者。持有者得於收到通知後七日內提出說明或改善，經環保署確認後得解除帳戶之凍結。
- (十二)依第五點、第七點或第十點提出之資料及文件，明知不實之事項而提出，或其申請文書為虛偽記載者，依刑法相關規定辦理。環保署因業者提供不實資訊、操作不當或逾越本要點規範所生之損害，不負賠償責任。
- (十三)國家登錄平台帳戶查詢功能為全日二十四小時，額度轉讓及註銷作業則以國定上班時間為準。但因國家登錄平台系統維修、軟硬體設備更換、搬遷或發生其他特殊情形者，環保署得另行於國家登錄平台公告開放作業時間。

附錄 13

行動計畫減量估算

一、運輸部門節能減碳行動計畫定性成效與定量估算方式

運輸部門節能減碳行動計畫定性成效與定量估算方式

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
(I)發展綠色運輸系統				
(i)健全完善的軌道運輸服務	1.完成高速鐵路建設計畫	因運具轉移減少原運具之車行里程	*當年節能量 =所使用原運具因轉乘高鐵後減少之油量－高鐵用電增加之油當量	■ 高鐵運量(人次)
			*使用原運具因轉乘高鐵後減少之油量 = $\Sigma(\text{高鐵運量(人次)} \times \text{運具轉乘比例} \div \text{平均搭載人數} \times \text{平均行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{油當量轉換率})$, i: 運具別	■ 高鐵平均搭乘里程(Km)(=運具平均行駛里程)
			*高鐵用電增加之油當量=高鐵運量(延人公里)×高鐵能源密集度(公升油當量/延人公里)=高鐵總用電增加量×油當量轉換率	■ 運具轉乘比例
			*當年CO ₂ 減量= $\Sigma(\text{原運具因轉乘高鐵後減少之油量} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數j}) - \text{高鐵用電增加量(度)} \times \text{每度電CO}_2\text{排放量(g/度)}$, i:運具別, j:燃料別	■ 運具耗油率(=1/燃油效率)
				■ 高鐵能源密集度(度/延人公里)
				■ 單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率
				■ 每度電CO ₂ 排放量
	2.持續推動台鐵捷運化計畫 3.推動其他台鐵改	因運具轉移減少原運具之車行里程	*當年節能量 =所使用原運具因轉乘台鐵捷運化後減少之油量－台鐵捷運化用電增加之油當量 *使用原運具因轉乘台鐵捷運	■ 台鐵捷運增加之運量(人次、延人公里) ■ 台鐵捷運平均搭乘里程(Km)

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
	善計畫		化後減少之用油量 = $\Sigma(\text{台鐵捷運化增加之運量(人次)} \times \text{運具轉乘比例} \div \text{平均搭載人數} \times \text{運具平均行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{油當量轉換率})_i$, i:運具別 *台鐵捷運化用電增加之油當量 = 台鐵捷運化增加運量(延人公里) \times 台鐵能源密集度(公升油當量/延人公里) *當年CO ₂ 減量 = $\Sigma(\text{原運具因轉乘台鐵捷運化後減少之用油量}_{ij} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數}_j) - \text{台鐵捷運化用電增加度數} \times \text{每度電CO}_2\text{排放量 (g/度)}$, i:運具別, j:燃料別	■ 運具轉乘比例
				■ 運具平均搭載人數
				■ 運具平均行駛里程
				■ 運具耗油率
				■ 捷運能源密集度(度/延人公里)
				■ 單位發電量耗油量(油當量 KL/千度)
				■ 單位燃料CO ₂ 排放係數
	■ 每度電CO ₂ 排放量			
4.持續推動都會區捷運系統建設 (1)興建台北都會區大眾捷運系統 (2)興建臺中都會區大眾捷運系統 (3)興建高雄都會區大眾捷運系統 (4)桃園國際機場聯	因運具轉移減少原運具之車行里程	*當年節能量 = 所使用原運具因轉乘捷運後減少之用油量 - 捷運用電增加之油當量 *使用原運具因轉乘捷運後減少之用油量 = $\Sigma(\text{捷運運量(人次)} \times \text{運具轉乘比例} \div \text{平均搭載人數} \times \text{運具平均行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{油當量轉換率})_i$, i:運具別 *捷運用電增加之油當量 = 捷運運量(延人公里) \times 捷運能源密集度(公升油當量/延人公里) = 捷運總用電增加量 \times 油當量轉換率 *當年CO ₂ 減量 = $\Sigma(\text{原運具因轉乘捷運後減少之用油量}_{ij} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數}_j) - \text{捷運用電增加之用電量} \times \text{每度電CO}_2\text{排放量 (g/度)}$, i:運具別, j:燃	■ 捷運運量	
			■ 捷運平均搭乘里程	
			■ 運具轉乘比例	
			■ 運具平均搭載人數	
			■ 運具平均行駛里程	
			■ 運具耗油率	
			■ 捷運能源密集度	
			■ 單位發電量耗油量	
			■ 單位燃料CO ₂ 排放係數	
			■ 每度電CO ₂ 排放量	

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
	外捷運系統		料別	
	5.興建輕軌運輸系統 (1)高雄臨港輕軌建設計畫	因運具轉移減少原運具之車行里程	<p>*當年節能量 = 所使用原運具因轉乘輕軌後減少之油量 - 輕軌用電增加之油當量</p> <p>*使用原運具因轉乘輕軌後減少之油量 = $\Sigma(\text{輕軌運量(人次)} \times \text{運具轉乘比例} \div \text{平均搭載人數} \times \text{運具平均行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{油當量轉換率})$, i: 運具別</p> <p>*輕軌用電增加之油當量 = $\text{輕軌運量(延人公里)} \times \text{輕軌能源密集度(油當量/延人公里)} = \text{輕軌總用電增加量} \times \text{油當量轉換率}$</p> <p>*當年CO₂減量 = $\Sigma(\text{原運具因轉乘輕軌後減少之油量}_{ij} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數}_j) - \text{輕軌用電增加之用电量} \times \text{每度電CO}_2\text{排放量(g/度)}$, i: 運具別, j: 燃料別</p>	<p>■輕軌運量</p> <p>■輕軌平均搭乘里程</p> <p>■運具轉乘比例</p> <p>■運具平均搭載人數</p> <p>■運具平均行駛里程</p> <p>■運具耗油率</p> <p>■輕軌能源密集度</p> <p>■單位發電量耗油量</p> <p>■單位燃料CO₂排放係數</p> <p>■每度電CO₂排放量</p>
(ii)提升公路客運及市區公車服務功能	1.持續推動公車動態資訊系統建置計畫	由私人運具轉為使用大眾捷運而節能	屬能力建構計畫	—
	2.鼓勵興建公車捷運系統	因運具轉移減少原運具之車行里程	<p>*當年節能量 = 使用原運具因轉乘公車捷運後減少之油量 - 公車捷運增加之油當量</p> <p>*使用原運具因轉乘捷運後減少之油量 = $\Sigma(\text{公車捷運運量(人次)} \times \text{運具轉乘比例} \div \text{平均搭載人數} \times \text{平均行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{油當量轉換率})$, i: 運具別</p> <p>*公車捷運增加之油當量 = $\text{公車捷運運量(人次)} \times \text{平均行駛}$</p>	<p>■公車捷運運量</p> <p>■公車捷運平均行駛里程</p> <p>■運具轉乘比例</p> <p>■運具平均搭載人數</p> <p>■運具平均行駛里程</p> <p>■運具耗油率</p>

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
			里程/公車平均搭載人數×公車耗油率×油當量轉換率 *當年CO ₂ 減量=Σ(原運具因轉乘公車捷運後減少之油量ij×單位燃料CO ₂ 排放係數j)-公車捷運增加用油量j×單位燃料CO ₂ 排放係數j, i:運具別, j:燃料別	■單位燃料CO ₂ 排放係數
	3.市區及公路客運業公車汰舊換新與偏遠路線公車服務虧損補貼計畫	汰舊車輛以新型低污染油耗車輛取代	*當年節能量= 汰舊數量i×年行駛里程i×耗油率i×新車相較於汰舊車輛油耗之改善率i×油當量轉換率, 汰舊有效年份假設為5年, i:運具別 *當年CO ₂ 減量=汰舊數量i×年行駛里程i×耗油率i×新車相較於汰舊車輛油耗之改善率i×單位燃料CO ₂ 排放係數j, i:運具別, j:燃料別	■汰舊換新車輛數
				■年行駛里程
				■汰舊車輛耗油率
				■新車相較於汰舊車輛油耗之改善率
				■單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率
(iii)提供民眾無遠弗屆的交通轉乘服務	1.高鐵車站聯外接駁系統規劃及開放營運 2.協助地方政府構建大眾運輸轉運中心 3.推動大眾運輸IC票證整合	屬能力建構計畫		

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
(iv)落實以綠色運輸系統為導向之土地使用規劃	1.推動自行車道規劃與設置 2.改善行人交通環境 3.推動大型土地使用新開發案以綠色運輸系統為導向	屬能力建構計畫		
(II)紓緩汽(機)車成長與使用				
(i)降低汽機車成長管理	1.紓緩汽機車成長數量及強化車籍管理 2.落實汽機車監理檢驗	降低汽機車新領牌照數量及強化車籍管理措施均為降低汽機車新增車輛數之配套措施,其成效均反應於實際新增車輛數量,難以區分各別成效	因與大眾運輸成效可能顯著造成重覆估算,故不另計此項成效	—
	3.落實機車排氣檢驗 (1)提高機車排氣檢驗到檢率 (2)加強機車排氣路邊攔檢作業	不合格車輛因調修改善至合格狀態下產生之節能量	*當年節能量= 維修改善車輛數(即不合格改善至合格車輛數)×年行駛里程×耗油率×維修耗能改善率×油當量轉換率 *當年CO ₂ 減量= 維修改善車輛數×年行駛里程×耗油率×維修耗能改善率×單位燃料CO ₂ 排放係數j, j:燃料別	■維修改善車輛數(不合格改善至合格車輛數) ■假設為總機車數之7% ■機車年平均行駛里程 ■機車耗油率 ■機車維修耗能改善率 ■單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
(ii)強化汽機車使用管理	1.推動路邊停車收費制度 2.推動路外停車場附近地區道路禁止路邊停車 3.推動機車退出騎樓 4.強化路邊違規停車取締作業	減少私人運具使用改搭大眾捷運產生之節能量	*當年節能量 = Σ (私人運具因轉乘公共運輸後減少之油當量 i)－公共運輸(公車)增加之油當量 *私人運具因轉乘公共運輸後減少之油當量 i =(人口數×年平均旅次產生率)×平均旅次長度×原公共運輸使用率×公共運輸使用率提高百分比×運具轉乘比例 i ÷平均搭載人數 i×運具平均行駛里程 i×耗油率 i×油當量轉換率 i, i:運具別 *公共運輸(公車)增加之油當量 =(人口數×年平均旅次產生率)×平均旅次長度×原公共運輸使用率×公共運輸使用率提高百分比÷公車平均搭載人數×耗油率×油當量轉換率 *當年CO ₂ 減量 = Σ (私人運具因轉乘公共運輸後減少之用油量 i×單位燃料CO ₂ 排放係數j)－公共運輸(公車)增加之用油量×單位燃料CO ₂ 排放係數j), j:燃料別	■尚未有確定目標數據及成效關聯，故未估算	
(III)提昇運輸系統能源使用效率					
(i)運用先進科技	1.推動高速公路電子收費系統	提升收費站範圍之行駛速率所產生節能效益	*當年節能量= Σ (收費站範圍影響里程數×(實施電子收費前平均車速下油耗 i－實施電子收費後平均車速下油耗 i)×油當量轉換率), i:運具別 *收費站範圍影響里程數 i=車輛通行數 i×電子收費站利用率×影響長度, i:運具別 *當年CO ₂ 減量= Σ (收費站範圍影響里程數×(實施電子收費前平均車速下油耗 i－實施電子收費後平均車速下油耗 i)×單位燃料CO ₂ 排放係數j), i:運具別	■實施電子收費前平均車速	收費站範圍平均車速 46 公里/小時
				■實施電子收費後平均車速	
				■車輛通行數	
				■車流分配比例	
				■電子收費站利用率	

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
			別, j: 燃料別	■ 不同車速耗油率 ■ 收費站影響長度 0.6 公里, 收費站上下游長度各約 300 公尺 ■ 單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率	
	2. 建置高速公路整體路網交通管理系統	提升高速公路整體行駛速率所產生節能效益	* 當年節能量 = $\Sigma(\text{高速公路總車行里程 } i \times (\text{措施實施前平均車速下耗油率 } i - \text{措施實施後平均車速下耗油率 } i) \times \text{油當量轉換率})$, i: 車種別 * 高速公路總車行里程 $i = \text{車輛通行數} \times \text{平均行駛里程}$, i: 車種別 * 當年CO ₂ 減量 = $\Sigma(\text{高速公路總車行里程 } i \times (\text{措施實施前平均車速下耗油率 } i - \text{措施實施後平均車速下耗油率 } i) \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數 } j)$, i: 車種別, j: 燃料別	■ 措施實施前平均車速 ■ 措施實施後平均車速 ■ 不同車速耗油率 ■ 高速公路總車行里程 ■ 單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率	
	3. 持續推動都市交通號誌時制重整與重建計畫	主要成效為提升整體道路行駛速率及降低車輛因道路壅塞所致油耗, 本項措施效益與推動智慧交控系統建置屬配套措	* 當年節能量 = $\Sigma(\text{影響里程數 } i \times (\text{措施實施前平均車速下耗油率 } i - \text{措施實施後平均車速下耗油率 } i) \times \text{油當量轉換率})$, i: 車種別 * 影響里程數(Km/年) = 影響車輛數 × 旅次產生率(1.75 次/車輛. 日) × 365 日 × 平均旅次經過路口數(3 個/次) × 智慧化號誌路口影響距離(0.3Km); 所用到假	■ 措施實施前平均車速 平均車速 20 公里/小時	
				■ 措施實施後平均車速 平均車速 22 公里/小時	
				■ 登記車輛數	

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
		施，其成效難以區分，故合併計算	設參數為前一版設定之經驗值。 *當年CO ₂ 減量 = Σ(影響里程數i×(措施實施前平均車速下耗油率i－措施實施後平均車速下耗油率i)×單位燃料CO ₂ 排放係數j), i:車種別, j:燃料別	■智慧化號誌系統預估可納管車輛數比例 例	2010 年納管車輛數比例假設為全部車輛之 10%，2020 年納管車輛數比例假設為 30%，其餘年份比例依此內插
				■不同車速耗油率	
				■旅次產生率	1.75 次/車(經驗值)
				■平均旅次經過路口數	3 個/次(經驗值)
				■智慧化號誌路口影響距離	0.3Km(經驗值)
				■單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率	
4.擴充與推廣用路人資訊建置與應用計畫	減少車流擁塞狀況,與持續推動都市交通號誌時制重整與重建計畫及推動智慧交控系統建置屬相關配套措施,其成效難以區分,故合併計算	■尚未有確定目標數據故未估算			

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
(ii)強化運輸需求管理	1.推動高速公路之高乘載運具優先措施		—	■尚未有確定目標數據故未估算	
(iii)提升貨物運輸之運作效率	1.推動港區自動化門禁管制系統 (1)高雄港區 (2)桃園航空自由貿易港區 (3)基隆港區 (4)台中港區	減少通關車輛惰轉產生之能耗	*當年節能量 = 通關車輛數 × 通關減少時間 × 惰轉單位時間耗油率 × 油當量轉換率 *當年CO ₂ 減量 = 通關車輛數 × 通關減少時間 × 惰轉單位時間耗油率 × 單位燃料CO ₂ 排放係數j, j:燃料別	■通關車輛數	桃園航空自由貿易港區以進出港貨櫃平均2個貨櫃一車,散裝貨物為30公噸一車,每輛車進出共2次計,貨櫃數量及散裝貨物量參考自交通統計要覽統計量
				■通關減少時間	
				■惰轉單位時間耗油率	
				■單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率	
	2.協助地方政府推動聯合貨物轉運中心 3.推廣貨物運輸排程合理化暨經營管		*當年節能量 = 貨運車輛減少之車行里程i × 耗油率i × 油當量轉換率, i:車種別 *當年CO ₂ 減量 = 貨運車輛減少之車行里程i × 耗油率i × 單位燃料CO ₂ 排放係數j, i:車種別, j:燃料別	■尚未有確定目標數據故未估算	

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數
	理系統整合			
(iv)推廣低污染省能源運具或交通設施	1.鼓勵大眾運輸業者汰舊換新及使用低能耗及低污染大客車	以低污染大客車取代傳統柴油車產生之節能量	$\text{*當年節能量} = \text{累計新增低污染大客車車輛數} \times \text{傳統柴油車減少之柴油油當量} - \text{低污染大客車油耗當量}$ $\text{低污染大客車油耗當量} = \text{累計新增低污染大客車車輛數} \times \text{年行駛里程} \times (\text{傳統柴油車耗油率} \times \text{油當量轉換率} j - \text{低污染車輛耗油率} \times \text{油當量轉換率} j) = \text{累計新增低污染車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{耗油率} \times \text{新車相較於低污染車輛油耗之改善率} \times \text{油當量轉換率}, i: \text{車種別}, j: \text{燃料別}$	<ul style="list-style-type: none"> 累計新增低污染車輛數(即汰換車輛數)
				<ul style="list-style-type: none"> 年行駛里程
				<ul style="list-style-type: none"> 傳統車輛耗油率
				<ul style="list-style-type: none"> 低污染車輛耗油率 (視車輛種類而定)
				<ul style="list-style-type: none"> 單位燃料CO₂排放係數與油當量轉換率
	2.加強低污染、低油耗車輛宣導	以低污染車輛取代傳統車輛產生之節能量	$\text{*當年節能量} = \text{舊車減少油當量} i - \text{新車增加油當量} i = \text{取代舊車車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{傳統車輛耗油率} \times \text{油當量轉換率} - \text{低污染車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{低污染車輛耗油率} \times \text{油當量轉換率}, i: \text{運具別}$ $\text{*當年CO}_2\text{減量} = \text{取代舊車車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{傳統車輛耗油率} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數} j - \text{低污染車輛數} \times \text{年行駛里程} \times \text{低污染車輛耗油率} \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數} j, i: \text{運具別}, j: \text{燃料別}$	<ul style="list-style-type: none"> 取代傳統化石燃料車輛數
				<ul style="list-style-type: none"> 年行駛里程
				<ul style="list-style-type: none"> 傳統車輛耗油率
				<ul style="list-style-type: none"> 低污染、低油耗車輛耗油率 (視車輛種類而定)
				<ul style="list-style-type: none"> 單位燃料CO₂排放係數與油當量轉換率

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
	3.推動各縣市辦理LED交通號誌設施，納入96年新興重要公共建設(電力次類別)_計畫(能技組)	LED燈相較於傳統燈泡之節能量	*當年節能量 = 累計裝置LED路口數×平均每處路口裝置組數(平均8組/處)×每組LED燈省能度數×平均單位發電量耗油量 *當年CO ₂ 減量 = 累計裝置LED路口數×8組/處×每組LED燈省能度數×每度電CO ₂ 排放量(g/度)	■ 累計裝置LED路口數(相較於2005年)或累計裝置LED組數	能源局調查：至2013年換裝42.3萬盞，以每3盞為一組計算。台北市90~104年全部更換完畢共136000組。
				■ 每組LED燈省能度數	每盞344.8kWh 參考台北市每組每年節省853kWh
				■ 平均單位發電量耗油量	
				■ 平均每處路口裝置組數(平均8組/處)	
				■ 單位燃料CO ₂ 排放係數與油當量轉換率	
	3.逐步檢討汽機車能源效率標準	新車耗能標準加嚴使得逐年新車耗油率相較於原標準降低，逐年取代高	*當年節能量 = (未公告新車耗油標準下能源變化量(汰舊節能量-新車用油增量)i - 公告新車耗油標準後能源變化量(汰舊節能量-新車增量i×油當量轉換率, i:運具別	■ 撤牌車輛數	=前一年登記數+當年新增車輛數-當年登記數。

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
		油耗舊車產生之節能量	<p>*汰舊節能量 $i = \text{汰舊車輛數} \times \text{年平均行駛里程} \times \text{汰舊車輛符合原耗能標準相對期數之耗油率}$ $i, i: \text{運具別}$</p> <p>*未公告或公告新車耗油標準下新車用油增量 $i = \text{新車銷售輛數} \times \text{年平均行駛里程} \times \text{新車耗能標準之耗油率}$ $i, i: \text{運具別}$</p> <p>*相較於基準年節能量 $= \sum \text{各年節能量}$</p> <p>*當年CO₂減量 $= (\text{未公告新車耗油標準下能源變化量} (\text{汰舊節能量} - \text{新車用油增量}) - \text{公告新車耗油標準後能源變化量} (\text{汰舊節能量} - \text{新車增量}) \times \text{單位燃料CO}_2\text{排放係數})$ $j, i: \text{運具別}, j: \text{燃料別}$</p> <p>*相較於基準年節能量 $= \sum (\text{各年CO}_2\text{減量})$</p>	<p>■ 新增車輛數</p>	<p>新增率假設</p> <p>■ 自用小客車 (5.5%)</p> <p>■ 營業小客車 (3.0%)</p> <p>■ 機車 (7%)</p> <p>■ 汽油小貨車 (3.7%)</p>
				<p>■ 原耗能標準下逐年新車之平均耗油率</p>	<p>原耗能標準下未來新增之汽油自用小貨車、汽油營業小貨車耗油標準</p>

行動計畫		定性成效	節能及CO ₂ 減量量化公式	量化推估使用參數	
				<ul style="list-style-type: none"> 加嚴標準新車之耗油率 	參考行政院民國 97 年「永續能源政策綱領－節能減碳具體方案」進行修正，2015 年將私人運具新車效率水準提高 25%
				<ul style="list-style-type: none"> 年平均行駛里程 	
				<ul style="list-style-type: none"> 單位燃料CO₂排放係數與油當量轉換率 	

資料來源：依據下列文獻整理修正：

1. 交通部運輸研究所 (2006)，運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃。
2. 交通部運輸研究所 (2010)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。

二、本年度行動方案執行成效估算結果

「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」、「持續提升高鐵運量」、「臺鐵捷運化」、「臺北都會區大眾捷運系統計畫」、「廣續推動高速公路電子收費系統」等五項行動方案執行成效估算結果如下。

1. 補助公路汽車客運車輛汰舊換新

如前所述，補助公路汽車客運車輛汰舊換新所帶來的節能減碳成效為車輛燃油效率之提升，本年度經更新後用於評估之參數，如表 1 所示，其中年行駛里程之資料來源為最新一期交通部針對公路汽車客運業之營運調查結果；燃油效率改善率、運具燃油效率(舊車平均)、與新購車輛比例等數值係根據交通部公路總局針對「公路汽車客運車輛汰舊換新」專案報告中所引用；單位燃料之CO₂排放係數與油當量轉換率分別以經濟部能源局最近一次之公佈數值為準。

由於本方案並未取得歷年補助之明確數量，僅知於民國 99 年補助數量為 380 輛，以此數量與各項參數進行估算得該年度因「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」本項行動方案所節省之能源量達 1.39 千公秉油當量，並達成減碳 0.39 萬公噸之數量。另於本方案中由於汰換車輛中全新車與較新車之比例可能因補助金額多寡或客運公司之採購策略而產生變動，所以補助車輛 100 輛進行計算，比較全新車比例對CO₂排放減量之影響，對CO₂排放減量效果而言，當全新車比例增加 10%時其減量效果約可提高 3~4%，約為 0.1 萬公噸上下，此數值可供提供補助款單位考量其成本效益關係決定其補助款之應用。

表 1 行動方案「補助公路汽車客運車輛汰舊換新」估算參數更新結果

參數		數值	單位	資料來源	備註
年行駛 里程	公路汽 車客運	97,531	延車 公里/ 年	交通部(2011)，臺灣地 區公路汽車客運業營運 概況	依99年數值計 算
燃油效 率改善 率	全新車	13.59%	%	交通部公路總局 (2008)，「公路汽車客 運車輛汰舊換新」專案 報告。	
	較新車	9.32%	%		
運具燃 油效率	大客車	2.764	公里/ 公升	交通部公路總局 (2008)，「公路汽車客 運車輛汰舊換新」專案 報告。	公路客運，燃 油效率改善前
新購車 輛比例	全新車	75.60%	%	交通部公路總局 (2008)，「公路汽車客 運車輛汰舊換新」專案 報告。	
	較新車	24.40%	%		
單位燃 料CO ₂ 排放係 數	柴油	2.61	公斤/ 公升	經濟部能源局(2011)， 燃料燃燒及電力使用之 二氧化碳排放係數。	
油當量 轉換率	柴油	0.933	9,000 千卡/ 公升	經濟部能源局(2009)， 99年能源統計手冊，能 源產品單位熱值表	自88年起柴油 油當量轉換率 調整為此數值

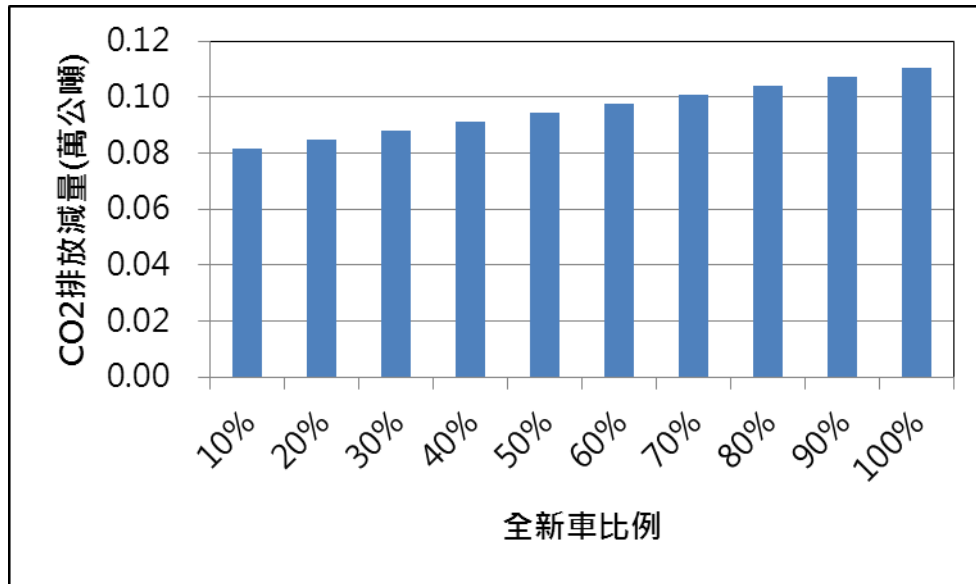


圖 1 全新車比例對CO₂排放減量之影響

2. 持續提升高鐵運量

「持續提升高鐵運量」方案為目前運輸部門各項行動方案中節能減碳效果最顯著者，本年度更新其估算參數，運量移轉比例方面並未進行參數調整，仍以交通部運輸研究所於 2008 年所完成之計畫成果所設定比例為準，由於此比例係估算目前高鐵運量中自不同運具移轉而來之比例，因此其合計並非 100%，因仍有部分運量為高鐵通車後之衍生運量；另其中臺鐵移轉部分因無節能減碳效果，因此於方案中將其貢獻忽略，以移轉比例 0% 為其設定值。由於本項參數對於高鐵節能減碳效果之影響相當關鍵，且隨高鐵不同營運策略(例如是否與觀光結合、是否推出彈性票價)而可能產生不同影響，建議對此參數應進行較大規模之調查，以確保其數值之正確性。移轉運具承載率與運具燃油效率皆以交通部最近一期之小客車與公路汽車客運調查報告而得；能源相關參數包括單位燃料CO₂排放係數與油當量轉換率皆以經濟部能源局最近一期之公佈數值進行更新；能源密集度則依據交通運輸研究所於 2011 年所完成之計畫成果予以更新(如表 2 所示)。

表 2 行動方案「持續提升高鐵運量」估算參數更新結果

參數		數值	單位	資料來源	備註
運量移轉比例	小客車	14%	%	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	臺鐵移轉部分因無節能減碳效果，故於本行動方案中不予估計。
	大客車	16%			
	臺鐵	0%			
	航空	25%			
移轉運具承載率	小客車	2.30	人/車	交通部(2011)，99 年自用小客車使用狀況調查報告。	未分道路等級，全國平均值。
	大客車	19.97		估計自交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區公路汽車客運業營運概況。	99 年全年平均值。
運具燃油效率	自用小客車	11.80	公里/公升	交通部(2011)，99 年自用小客車使用狀況調查報告	「行駛高速公路、快速道路，使用空調」數值。
	大客車	3.10		估計自交通部(2011)，交通統計月報，臺灣地區公路汽車客運業營運概況。	公路客運 99 年全年平均值。由消耗柴油量與營業行車里程相除而得。

參數		數值	單位	資料來源	備註
單位燃料CO ₂ 排放係數	車用汽油	2.26	公斤/公升	經濟部能源局(2011)，燃料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數。	
	柴油	2.61	公斤/公升		
	航空燃油	2.39	公斤/公升		
	電力	0.61	公斤CO ₂ e/度		
油當量轉換率	汽油	0.87	9,000 千卡／公升	經濟部能源局(2009)，98 年能源統計手冊，能源產品單位熱值表	
	柴油	0.93	9,000 千卡／公升		
	航空燃油	0.8889	9,000 千卡／公升		
能源密度	台鐵	0.059	度/延人公里	交通部運輸研究所(2011)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。	
		0.011	公升油當量/延人公里		
	高鐵	0.061	度/延人公里		
		0.015	公升油當量/延人公里		
	航空	0.069	公升油當量/延人公里		

例2 為依據高鐵歷年運量與更新後參數所估算之高鐵CO₂排放減量效果，隨著高鐵運量逐年提高，其CO₂減排效果亦隨之增加，於去(2010)年約可達每季 5 萬公噸左右，今(2011)年前二季再提高至每季 5.5 萬公噸左右，相較於其他行動方案多為每季 1 萬公噸以下之減排效果而言，高鐵之CO₂減排效果非常顯著。

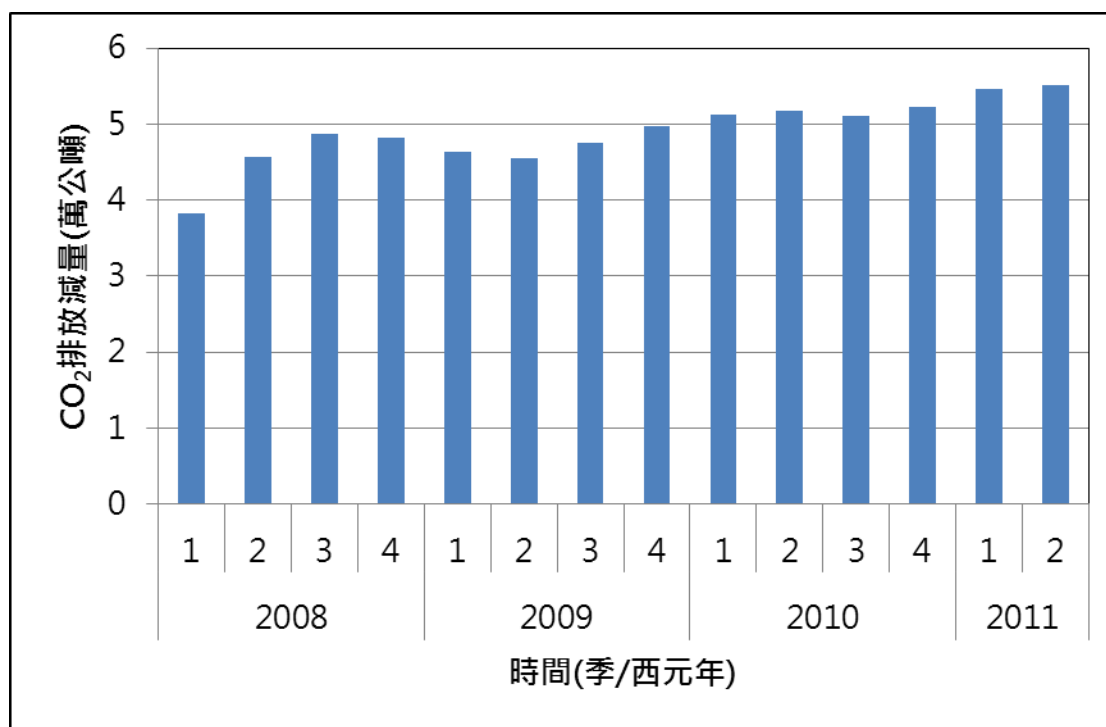


圖 2 高速鐵路歷年CO₂排放減量估算結果

3. 臺鐵捷運化

本年度行動方案「臺鐵捷運化」之估算參數更新結果如

移轉運具承載率	小客車	2.30	人/車	交通部(2011),99年自用小客車使用狀況調查報告	「行駛一般道路、使用空調」數值。
---------	-----	------	-----	----------------------------	------------------

所示，於運量移轉比例上依臺鐵提供之比例以小客車為主，佔總運量之60%，機車與大客車之比例相近；其餘參數之資料來源與「持續提升高鐵運量」方案相同，以交通部之統計資料與經濟部能源局公布資訊為資料來源。

表 3 行動方案「臺鐵捷運化」估算參數更新結果

參數		數值	單位	資料來源	備註
運量移轉比例	小客車	60%	%	臺灣鐵路管理局提供。	
	機車	14%			
	大客車	13%			
移轉運具承載率	小客車	2.30	人/車	交通部(2011),99年自用小客車使用狀況調查報告	「行駛一般道路、使用空調」數值。
	機車	1.36		交通部(2010),98年機車使用狀況調查	
	大客車	26.22		估計自交通部(2011),交通統計月報,臺灣地區市區汽車客運業營運概況。	99年全年平均值。
運具燃油	自用小客車	9.20	公里/公升	交通部(2011),99年自用小客車使用狀況調查報告	

參數		數值	單位	資料來源	備註
效率	機車	22.40		交通部(2010),98年機車使用狀況調查	由消耗柴油量與營業行車里程相除而得。
	大客車	2.24		台北市政府交通局(2011),當期交通統計月報	

表 3 行動方案「臺鐵捷運化」估算參數更新結果(續)

參數		數值	單位	資料來源	備註
單位 燃料 CO ₂ 排放 係數	車用汽 油	2.26	公斤/公升	經濟部能源局(2011)，燃料 燃燒及電力使用之二氧化 碳排放係數	
	柴油	2.61	公斤/公升		
	電力	0.61	公斤CO ₂ e/度		
油當 量轉 換率	汽油	0.8667	9,000千卡／公升	經濟部能源局(2009)，98 年能源統計手冊，能源產 品單位熱值表	
	柴油	0.9333	9,000千卡／公升		
能源 密集 度	台鐵	0.011	公升油當量/延人公 里	交通部運輸研究所 (2011)，運輸部門能源消耗 與溫室氣體減量評估模型 架構之建立。	
		0.058	度/延人公里		

臺鐵捷運化之成效評估方面由於未有臺鐵公布之估算基礎與歷年運量資料，暫以臺鐵捷運化計畫中所完成之九個車站(北部路段三坑、百福、汐科；中部路段太原、大村、大慶；南部路段大橋、嘉北、南科)之 99 年全年旅客量以平均旅次長度 18 公里概估，得其總延人公里數為 95,331,474 人-公里，以此數值估算因臺鐵捷運化所達成之CO₂排放減量為 0.43 萬公噸，節能量則為 1.86 千公秉油當量。

4. 臺北都會區大眾捷運系統計畫

臺北都會區大眾捷運系統至民國 99 年蘆洲線通車後，路網長度已超過 100 公里，累計營運人次已突破 40 億，已然成為臺北都會區不可或缺之重要運輸系統。目前規劃興建中之大眾捷運系統包括：新莊蘆洲線、信義線、松山線、環狀線、土城線等，將為臺北都會區提供更完善之捷運運輸網絡。2/為本年度用以估算「臺北都會區大眾捷運系統計畫」行動方案執行成效之參數表，於運量移轉比例方面沿用交通部運輸研究所 2008 年完成之研究計畫假設值，以機車與小客車為主要移轉來源；其餘參數之資料來源與前二個方案相同。

表 4 行動方案「臺北都會區大眾捷運系統計畫」估算參數更新結果

參數		數值	單位	資料來源	備註
運量移轉比例	小客車	21%	%	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	
	機車	22%			
	大客車	16%			
移轉運具承載率	小客車	2.35	人/車	交通部(2011)，99年自用小客車使用狀況調查報告	未區分使用道路等級；將臺北市與新北市統計結果平均而得。
	機車	1.36		交通部(2010)，98年機車使用狀況調查	
	大客車	25.57		台北市政府交通局(2011)，當期交通統計月報	市區客運數值。
運具燃油效率	自用小客車	9.20	公里/公升	交通部(2011)，99年自用小客車使用狀況調查報告	「行駛一般道路、使用空調」情況下數值。
	機車	22.40		交通部(2010)，98年機車使用狀況調查	
	大客車	2.24		台北市政府交通局(2011)，當期交通統計月報	市區客運數值。由消耗柴油量與營業行車里程相除而得。
能源密集度	捷運	0.011	公升油當量/延人公里	交通部運輸研究所(2011)，運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。	
	捷運	0.05	度/延人公里		
單位燃料CO ₂ 排放係數	車用汽油	2.26	公斤/公升	經濟部能源局(2011)，燃料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數	
	柴油	2.61	公斤/公升		
	航空用油	2.39	公斤/公升		
	電力	0.61	公斤CO ₂ e/度		
油當量轉換率	汽油	0.8667	9,000千卡/公升	經濟部能源局(2009)，98年能源統計手冊，能源產品單位熱值表	自88年起柴油改為本數值。
	柴油	0.9333	9,000千卡/公升	經濟部能源局(2009)，99年能源統計手冊，能源產品單位熱值表	

，為以臺北都會區大眾捷運系統歷年運量與前述參數所估算之臺北捷運系統CO₂排放減量，由圖中可發現明顯的季節特性，各年度之第四季皆有明

顯高於其他三季之數值，此可由每年年終時臺北捷運跨年營運之高運量解釋，由於當日運量可能達平日之近二倍，因此造成第四季整體數值上升。此外由此三年半之數值亦可發現有微幅上升趨勢，今(2011)年第二季數值已達1.47萬公噸，較2008、2009年第四季之數值為高，今年第三季之數值亦已超越去年第四季數值；此可能為蘆洲線通車所帶來之運量增加所致，亦使本行動方案成為運輸部門具有良好節能減碳績效之行動方案，僅次於「持續提升高鐵運量」方案。

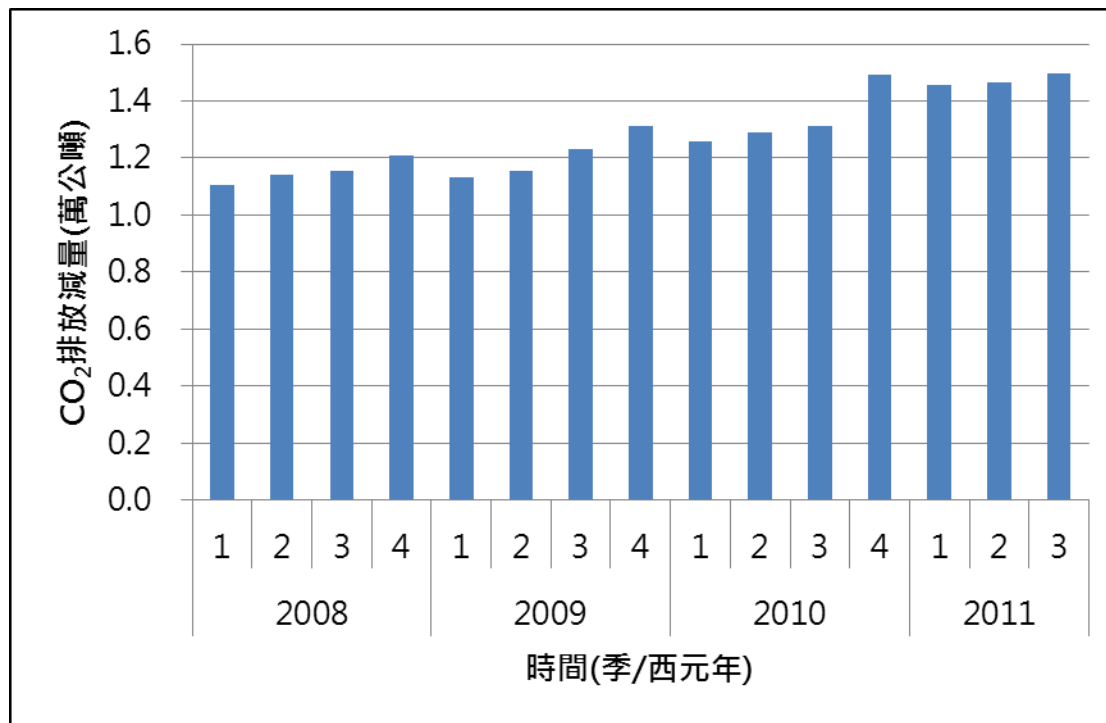


圖3 臺北都會區大眾捷運系統歷年CO₂排放減量估算結果

5. 廣續推動高速公路電子收費系統

高速公路電子收費系統之減碳效果來自於實施前、後之能耗效率差異，由於使用電子收費系統車輛通過收費站時，無須煞停即可進行繳費，車輛於維持較高速度情況下可降低耗油量。對於尖峰時間而言，當過站車輛數量大於收費站容量時，車輛將出現排隊現象，電子收費系統由於容量較大，排隊機率較低，因此於尖峰時間之節能減碳效果將較離峰更佳。本方案估算時即以採用電子收費車輛與人工收費車輛於過站時所需耗用之油料量差異進行計算，並針對尖、離峰情況分別估算其數值，如「電子收費節省燃油」與「尖

離峰比例」所設定值。此外，由於大型車與小型車之燃油效率值不同，因採用電子收費所節省之燃油量亦不同，因此於估算方案成效時須了解車種比例，本年度依據交通部之國道營運資料推算使用電子收費之小型車與大型車比例約為 66%：34%，因此於系統中以此比例進行估算。其於能源相關參數之資料來源與前三個方案相同(如表 5 所示)。

表 5 行動方案「廣續推動高速公路電子收費系統」估算參數結果

參數		數值	單位	資料來源	備註
電子收費節省燃油	小型車尖峰	24.30	毫升/車次	依據「交通部運輸研究所(2009)，能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究」、「交通部運輸研究所(2010)，車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究」計畫研究成果設定。	
	小型車離峰	6.94			
	大型車尖峰	48.23			
	大型車離峰	12.06			
尖離峰比例	小型車尖峰	25%	%	交通部運輸研究所(2008)，運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制。	
	小型車離峰	75%			
	大型車尖峰	25%			
	大型車離峰	75%			
車種比例	小型車比例	66%	%	推估自交通部(2009)，國道營運概況及事故統計分析。	
	大型車比例	34%			
單位燃料CO ₂ 排放係數	車用汽油	2.26	公斤/公升	經濟部能源局(2011)，燃料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數。	
	柴油	2.61	公斤/公升		
油當量轉換率	汽油	0.8667	9,000千卡/公升	經濟部能源局(2009)，98年能源統計手冊，能源產品單位熱值表	自88年起
	柴油	0.9333	9,000千卡/公升		

依歷年高速公路電子收費系統實際通過車輛數與前述參數進行方案執行成效之估算，其結果如**錯誤！找不到參照來源。**所示，整體而言呈現穩定上升趨勢，此應與電子收費系統使用量漸次增加有關，最近二季已達每季 0.22 萬公噸，預期未來推動高速公路里程收費後，電子收費之使用比例應可再提高，亦即代表其減碳效果亦將隨之上升。但由於電子收費系統之使用並未改變高排放量之機動車輛(紅色運具)之使用，因此其減碳效果與高速鐵路及臺北都會區大眾捷運系統等大眾軌道運輸系統(綠色運具)之績效相比仍有相當差距。惟於貨運車輛部分，由於臺灣整體運輸距離較短不利於鐵路貨運之發展，

因此仍賴公路做為主要運輸方式，若可持續推動電子收費應有利於改善大型貨車之碳排放量。

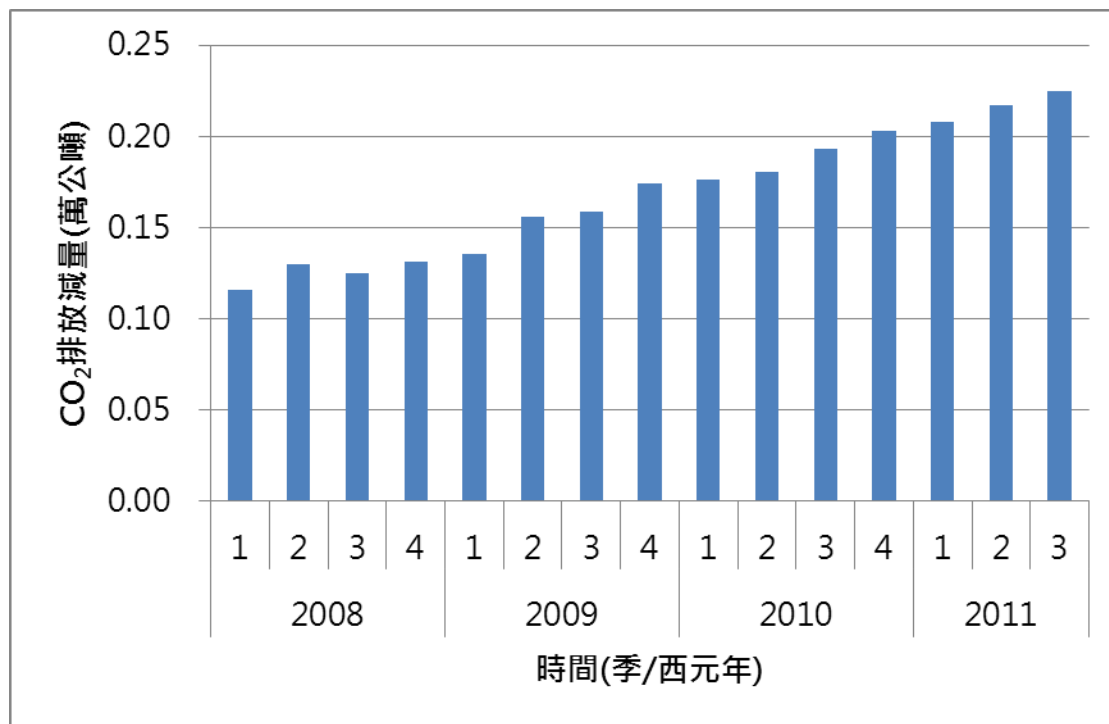


圖 1 高速公路電子收費系統歷年CO₂排放減量估算結果

附錄 14

國內油品市場現況

國內油品市場現況

依據「國內汽、柴油浮動油價調整機制作業原則(99.01.06)」規範，國內汽、柴油價格調整機制包括幾項要點：

1. 調價指標

Platts 報導之 Dubai 及 Brent 均價，分別以 70 % 及 30% 權重計算(70 % Dubai +30% Brent)，取小數二位，採四捨五入。

2. 調價幅度

每週(週一至週五)調價幅度取「調價指標當週均價乘以當週匯率均價與調價指標前週均價乘以前週匯率均價比較」之 80% 變動幅度計算，取小數二位，採四捨五入。

3. 調價金額

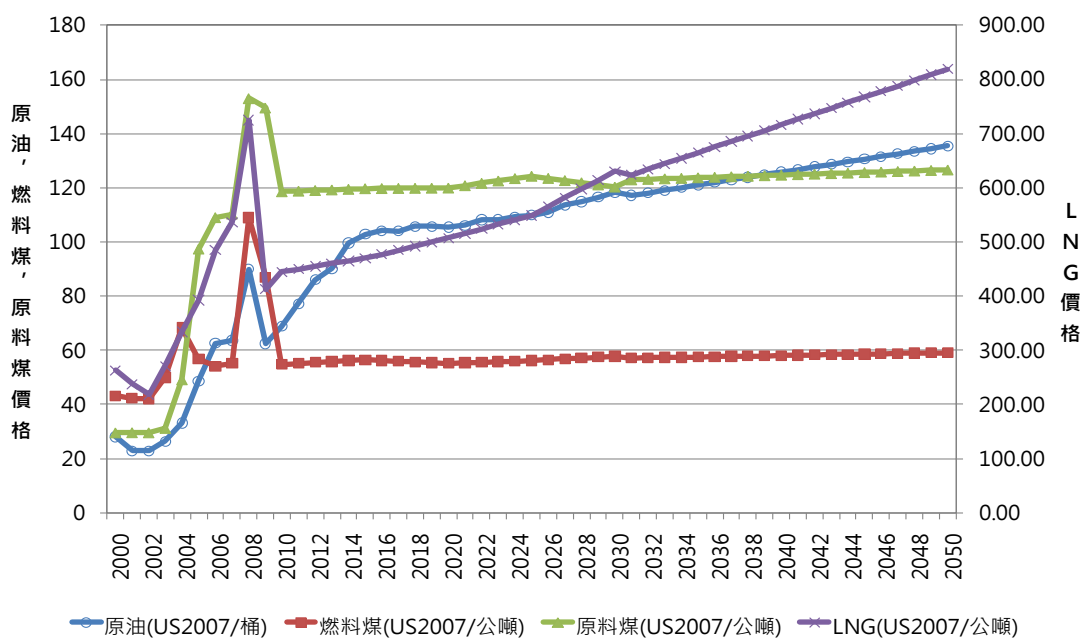
(1) 依「92 無鉛汽油及高級柴油還原依機制計算應調整價格之稅前批售價格」乘以「調價幅度」，分別計算 92 無鉛汽油及高級柴油稅前批售價格，再加上稅費換算零售價(取小數一位，採四捨五入)，據以計算調價金額。

(2) 95 及 98 無鉛汽油比照 92 無鉛汽油調價金額、超級柴油、海運重柴油及甲種漁船油比照高級柴油調價金額同步調整。

4. 價格上限

各週調整後 92 無鉛汽油、高級柴油零售價換算稅前批售價格，以亞鄰競爭國(日本、韓國、香港、新加坡)當週稅前價之最低價做為浮動油價調整的上限。

在模型基準情境中，係假設國際能源價格成長趨勢如圖 1 所示，進口初級能源價格，燃料煤與原料煤在 2015-2030 年間價格平穩；天然氣價格長期呈現成長趨勢，於 2021 年-2025 年間成長迅速；原油價格亦呈增加趨勢，但幅度較天然氣平緩，為穩定成長。



資料來源：歷史年與每五年預測來自 AEO 2009 與工研院推估結果，中間年度利用內插法計算。

圖 1 基準情境中國際能源價格趨勢假設

在上述假設下，假設原油價格上漲 25%、50%、75%與 100%，上漲後原油價格水準如圖 2 所示。

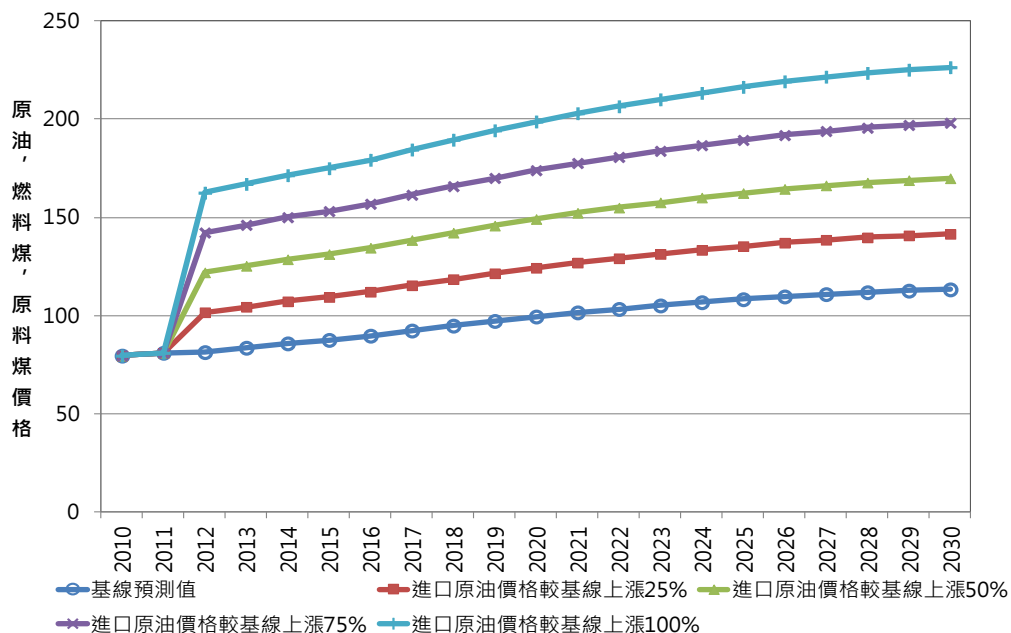


圖 2 原油價格上漲情境

對映於前述「國內汽、柴油浮動油價調整機制作業原則(99.01.06)」之規範，本研究假設在基準情境中，國內油價調整幅度，僅為國際油價波動幅度之80%，如圖3所示。

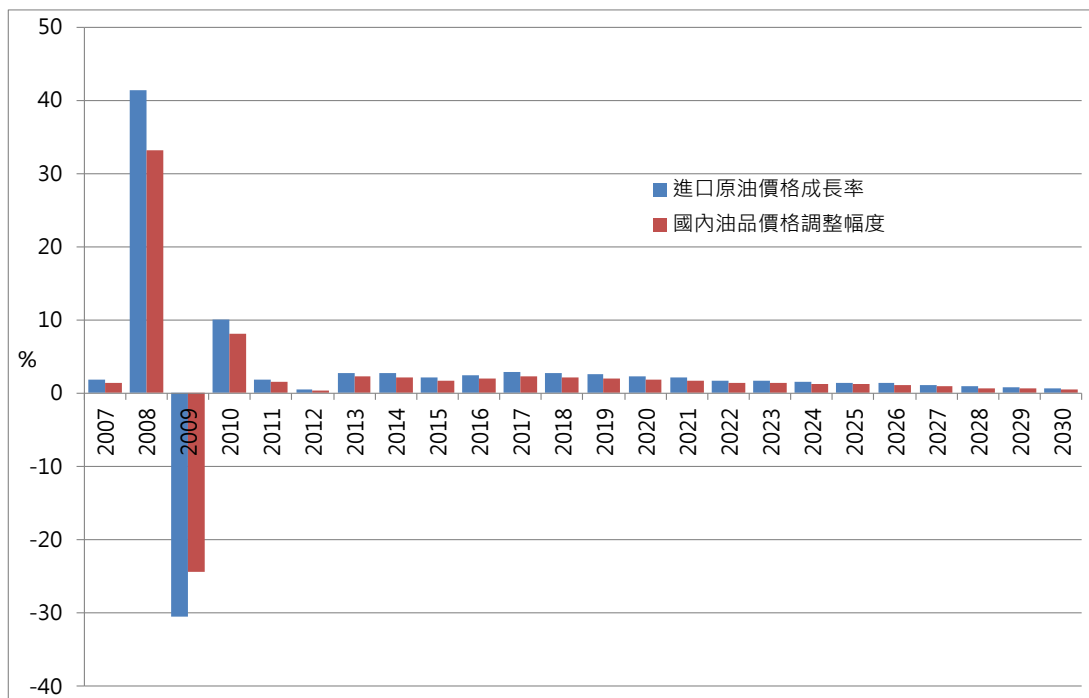


圖3 國內油價對國際原油價格之反應

在考慮自由化情境下，國內油品價格隨國際原油價格上漲之漲幅如圖 4 所示，國內汽油價格在完全反映原油進口價格下，平均較基線增加 7.55%；隨國際油價上漲，將分別較基線平均上漲 30.98%、53.36%、75.00%、96.09%。

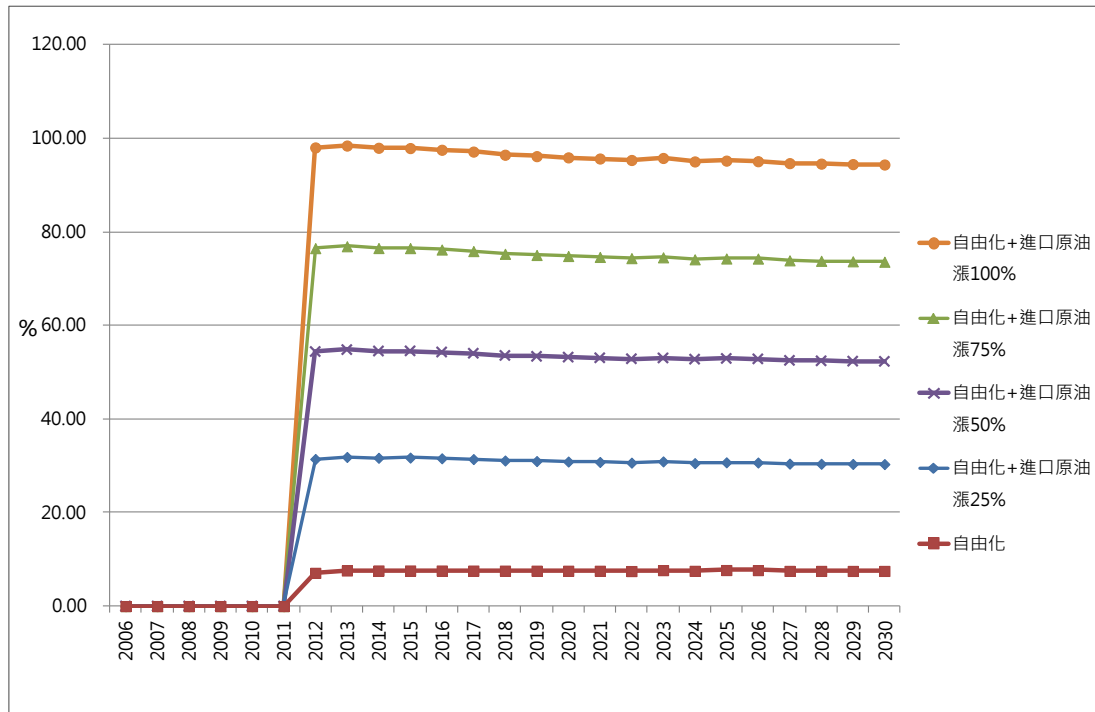


圖 4 國內油價在國際油價上漲後之漲幅

附錄 15

國內汽燃費徵收現況

國內汽燃費徵收現況

依據現行「汽車燃料使用費徵收及分配辦法(100.09.30)」第三條之規定：

汽車燃料使用費按附表(一)及附表(二)之各型汽車每月耗油量及費額，由交通部委任公路總局或委託直轄市政府及其他指定之機關分別代徵之，其費率如下：

一、汽油每公升新臺幣二點五元。

二、柴油每公升新臺幣一點五元。

前項耗油量，按各型汽車之汽缸總排氣量、行駛里程及使用效率計算之。

第一項受交通部委任或委託之機關，得再委任所屬下級機關執行之。

以各型汽車平均每月耗油量計算費額，並按年或按季隨車徵收；在總稅收不變前提下，汽燃費改以隨油徵收；首先計算現行汽燃費總收入，再依據自由化情境下求得之油耗量換算隨油徵收費率。

第四條則明定：

下列各款車輛，免徵汽車燃料使用費：

一、戰列部隊編制裝備內之軍用汽車。

二、領有特種車行車執照並免徵使用牌照稅之消防車、救災車、救護車、憲警巡邏車、警備車、偵防車、勘驗車、偵緝車、灑水車、水肥車、垃圾車及運送郵件之汽車。

三、外交使節車及享有外交待遇之外國人汽車。

四、經公路主管機關核准之市區汽車客運業及公路汽車客運業，專供大眾運輸使用之公共汽車。

五、電動汽車。

六、計程車。

前項第六款規定自中華民國九十四年十月一日起施行。

第一項免徵汽車燃料使用費之車輛因辦理過戶、繳銷、註銷、吊銷牌照、報廢等異動致不符免徵資格者，如有使用道路之情事時，應以自用車費額補繳汽車燃料使用費。

設籍離島地區車輛，以百分之七十計徵汽車燃料使用費，惟限於離島地

區使用，如有於臺灣本島使用、檢驗、異動或換照等情事者，改以全額徵收。

依上述規定，本研究利用各型汽車每(年)徵收汽車燃料使用費費額表(如表 1 所示)與各型車輛之車輛數計算 2006 年至 2010 年汽燃費總收入(表 2)，結果發現近年來汽燃費收入變化並不大，其中主要收入來源為小客車(圖 1)。

利用上述汽燃費總額，除以當年模型產生之汽、柴油消費量，可獲得當年度隨油課徵之平均費率，計算結果如表 3 所示。由於模型產生歷年汽、柴油消費量不斷變化，在維持總額不變下，隨油徵收之費率將逐年緩步增加。

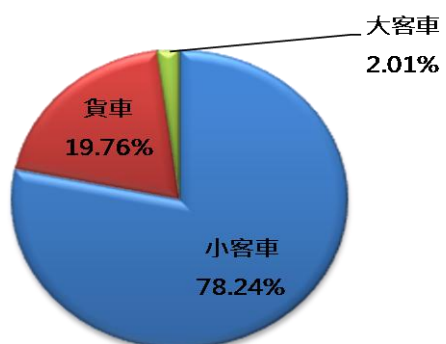
表 1 各型汽車每(年)徵收汽車燃料使用費費額表

	大 客 車				小 客 車				貨 車				機器腳踏車 (每二年)
	遊覽及出租 (每 季)		自 用 (每 年)		營 業 用 (每 季)		自 用 (每 年)		營 業 用 (每 季)		自 用 (每 年)		
	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	
50以下													600
51-125													900
126-250													1,200
251-500							2,160	1,296	788	473	2,160	1,296	1,800
501-600					1,440	864	2,880	1,728	1,050	630	2,880	1,728	2,400
601-1200					2,160	1,296	4,320	2,592	1,575	945	4,320	2,592	3,600
1201-1800					2,400	1,440	4,800	2,880	2,100	1,260	4,800	2,880	3,960
1801-2400					3,083	1,850	6,210	3,726	2,700	1,620	7,710	4,626	
2401-3000	4,725	2,835	8,400	5,040	3,600	2,160	7,200	4,320	3,150	1,890	9,900	5,940	
3001-3600	5,670	3,402	10,080	6,048			8,640	5,184	3,780	2,268	11,880	7,128	
3601-4200	6,443	3,866	11,460	6,876			9,810	5,886	4,298	2,579	13,500	8,100	
4201-4800	7,365	4,419	13,080	7,848			11,220	6,732	4,913	2,948	15,420	9,252	
4801-5400	7,988	4,793	14,190	8,514			12,180	7,308	5,325	3,195	16,740	10,044	
5401-6000	8,588	5,153	15,270	9,160			13,080	7,848	6,683	4,010	18,000	10,800	
6001-6600	10,163	6,098	16,260	9,756			13,950	8,370	7,110	4,266	19,710	11,502	
6601-7200	10,860	6,516	17,370	10,422			14,910	8,946	7,762	4,658	20,490	12,294	
7201-8000	11,453	6,872	18,330	10,998			15,720	9,432	9,165	5,499	25,530	15,318	
8001-9000	13,328	7,997	19,380	11,628					10,298	6,179	27,000	16,200	
9001-10000	14,145	8,497	20,580	12,348					11,573	6,944	28,650	17,190	
10001-11000	15,068	9,041	21,900	13,140					12,323	7,394	32,880	19,728	
11001-12000	15,750	9,450	22,920	13,752					14,318	8,591	36,810	22,086	
12001-13000	16,500	9,900	23,000	14,400					15,000	9,000	43,710	26,226	
13001-14000	17,325	10,395	25,200	15,120					18,900	11,340	54,000	32,400	
14001以上	17,325	10,395	25,200	15,120					18,900	11,340	54,000	32,400	

表 2 歷年汽燃費總額變化

單位：億元								
年度	汽燃費稅收		大客車		小客車		貨車	
	總額	成長率	稅收金額	成長率	稅收金額	成長率	稅收金額	成長率
95年	414.05	1.56%	8.31	-0.13%	323.93	1.51%	81.81	1.95%
96年	415.25	0.29%	8.18	-1.59%	325.81	0.58%	81.26	-0.67%
97年	412.64	-0.63%	8.08	-1.14%	324.20	-0.49%	80.35	-1.12%
98年	415.06	0.59%	8.03	-0.67%	326.43	0.69%	80.60	0.31%
99年	423.54	2.04%	8.33	3.77%	333.72	2.23%	81.49	1.11%
註：不含特種車輛汽燃費稅收								

95年汽燃費稅收分配



99年汽燃費稅收分配

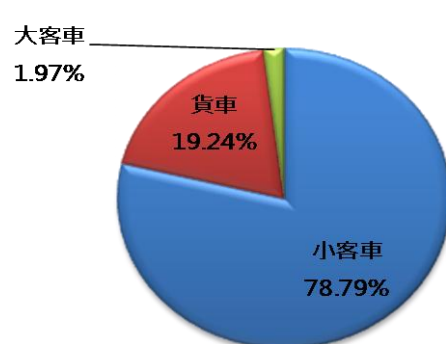


圖 1 歷年汽燃費主要來源

表 3 歷年汽燃費隨油徵收與補貼公共運輸之費率表

	隨油徵收費率 (千元/公秉油當量)	補貼公共運輸票價 (元/人公里)
2006	3.29	1.68
2010	3.44	1.53
2015	3.89	1.52
2020	3.54	1.38
2025	3.74	1.45
2030	3.81	2.09

附錄 16

車輛數推估

車輛數推估

輔助模組本年度首先就不同排氣量之自小客車車輛數進行推估，主要運用近似不相關迴歸模型(seemingly unrelated regressions model, SUR)進行。模型考慮之自變數包括國民所得、交通工具物價指數、總人口數、各排氣量車輛數佔比，各自變數與應變數之資料來源與預測方法如表 1 所示。

表 1 輔助模組車輛數推估之變數設定

不同排氣量之車輛數	實際值	中華電信公司數據通信分公司
	預測值	SUR模式預測結果
	單位	輛
	代號	VEH _{it}
國民所得	實際值	行政院主計處國民所得統計摘要
	預測值	ARIMA模式預測結果
	單位	新台幣百萬元
	代號	NI _t
交通工具物價指數	實際值	行政院主計處
	預測值	ARIMA模式預測結果
	單位	以2006年為基期年
	代號	PI _t
總人口數	實際值	內政部統計處
	預測值	經建會全國人口中推計結果
	單位	人
	代號	POP
不同排氣量車輛數之比率	實際值	中華電信公司數據通信分公司；自行計算結果。
	預測值	ARIMA模式預測結果
	單位	%
	代號	Π _{it}

車輛數預測結果如圖 1 及圖 2 所示，除了 1,200cc 以下車輛之車輛數逐年遞減外，其於車輛皆為逐年增加趨勢，其中 2,400cc 以上之大排氣車輛由於數量少，使成長趨勢相對較高，若比較 1,200cc 至 2,400cc 之中、小排氣車輛，則中型排氣車輛成長較小型車輛快速。運用上述推估結果，一方面做為運輸 CGE 模型推估運量時之參考基準，一方面用於後續計算汽燃費若持續隨車徵收，可能徵得之總收入。

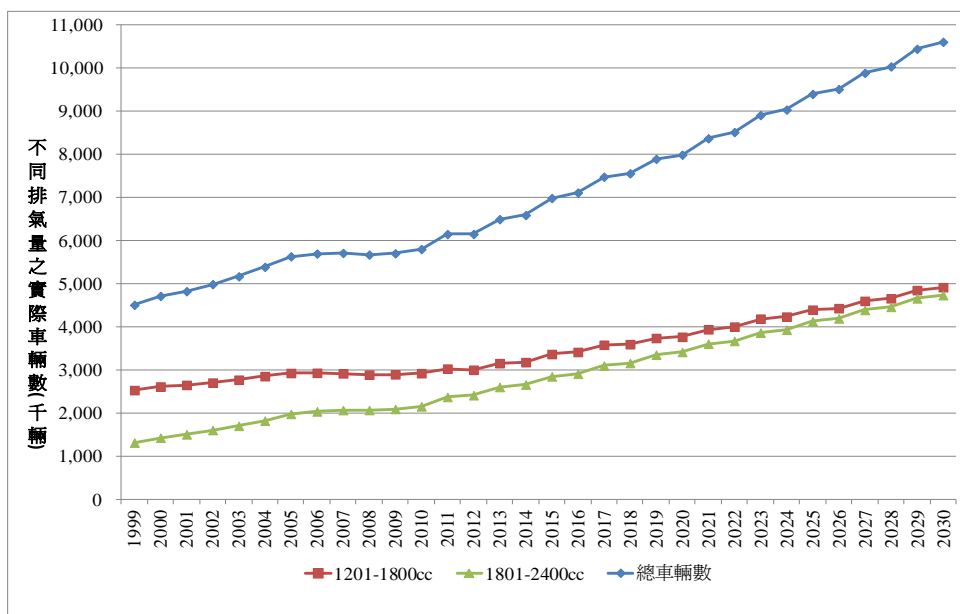


圖 1 總車輛數及 1,201-2,400cc 車輛數預測結果

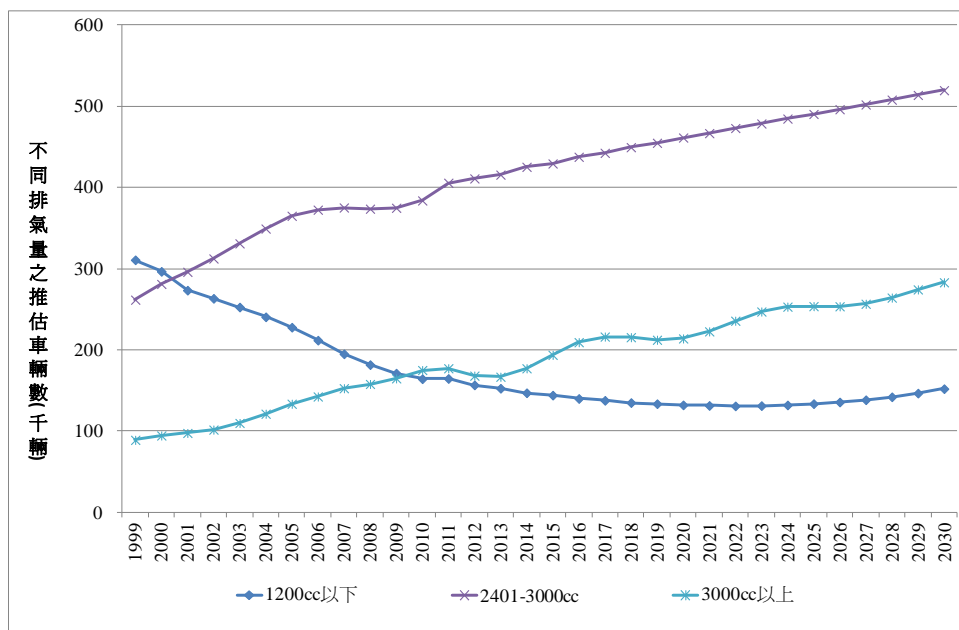


圖 2 1,200 以下及 2,400cc 以上車輛數預測結果

附錄 17

國內外運輸部門節能減碳模型研究

國內外運輸部門節能減碳模型研究

延續去年工作，本研究持續蒐集國內外運輸部門相關研究計畫之成果資料，並釐清這些相關成果所應用之模型與本計畫間彼此之關聯性，以作為後續模型建構之參考資料。以下茲分別說明這些模型，作為後續模型建構之參考資料：

一、國際運輸部門節能減碳相關之研究成果

1. 運輸部門之 CGE 模型

為建置一個能考慮運輸、能源與經濟的 CGE 模型，本研究蒐集當前 CGE 模型運用於運輸部門的相關文獻，並彙整於表 1。綜觀這些文獻，會在 CGE 模型中特別考量運輸部門，目的大多在觀察區域間經濟發展差異、運輸需求變化、基礎建設與交通管理措施之影響。

一般 CGE 模型因為較為龐大，方程式數量較多，通常會以巢式架構圖來說明模型結構，而所謂巢式架構，通常依研究目的而將關係較密切的商品分類為同一商品群，透過函數設定將群內商品加總為一個代表性商品，以代表該商品群，因此每一商品群的加總函數設定將直接反映群內商品彼此間的關係，若以 CES⁵ 函數設定之，則函數中的參數即為商品間的替代彈性，只要更改替代彈性數值，便可輕易的將商品間之關係設定為高替代、低替代、甚至互補。

⁵ CES：固定替代彈性模型，Constant Elasticity of Substitution.

表 1 運輸部門 CGE 模型相關文獻

文獻	主題	模型	結論
Kim et al., 2004 ^[2.3.4]	<p>✓ 結合運輸網絡模型 (transport model) 與動態多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)，分析高速公路興建計畫對經濟成長與區域發展的影響，並提出較佳的興建規劃策略。</p>	<p>✓ 結合運輸模型 (transport model) 與多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)</p> <p>✓ 運輸模型計算區域間最短距離與高速公路興建計畫下之最高承載量</p> <p>✓ 多區域 CGE 模型則評估高速公路興建對整體 GDP、價格、出口、及工資與人口在區域間配置的影響</p>	<p>✓ 結果發現所有的高速公路興建計畫皆可對 GDP 與出口成長產生正面的效果，就工資與人口而言，對於區域間的公平性亦有所助益。</p>
Kim and Hewings, 2005 ^[2.5.5]	<p>✓ 利用多區域 CGE 模型推估比較高速公路計畫之網絡效果，特別是該計畫在興建與營運時期對區域與產業產生之附加價值。</p>	<p>✓ 結合運輸網絡模型 (transport network model) 與多區域 CGE 模型 (multiregional CGE model)</p> <p>✓ 運輸網絡模型預測 132 個地區間旅運需求並計算區域間高速公路所能承載的最大量</p> <p>✓ 多區域 CGE 模型則估計高速公路發展對 5 區域之經濟衝擊</p>	<p>✓ 高速公路計畫在 30 期期間，總計增加 GDP 約 0.3%，GDP 中約有 0.016% 來自網絡效果。</p> <p>✓ 所謂「網絡效果」，指各高速公路系統之間連結道路存在與否情況下之 GDP 差異。</p> <p>✓ 就產業影響而言，KM 區的製造業之網絡效果受益最大。</p> <p>✓ 就區域而言，低度開發地區之網絡效果受益高於高度開發地區，故高速公路計畫有助於縮短城鄉差距。</p>
Bröcker, 2002 ^[2.3.6]	<p>✓ 修正多數空間 CGE 模型只考慮運輸成本的缺點，加入評估客運因時間與節省成本所帶來的福利效果。</p>	<p>✓ 細分商務與私人旅運</p> <p>✓ 利用均等變量 (equivalent variation) 衡量福利變化</p> <p>✓ 進一步運用 Dixit-Stiglitz 方法考慮獨占性競爭情況</p>	

表 1 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續 1)

文獻	主題	模型	結論
Mayeres and Proost, 2004 ^[2.3.7]	利用 CGE 模型比較兩種運輸服務訂價模式(平均成本訂價與社會邊際成本訂價)的效果，並分析在訂價策略改變下，以運輸部門做為衡量福利的指標是否恰當。	靜態單國 CGE 模型 考慮因擁塞、空氣污染與交通事故對消費者福利造成的外部性 運輸部門依服務對象(客運與貨運)、運輸型態(私人旅遊與商務運輸)、運輸工具(小型汽車、大型客車、卡車、鐵路、電車、水運等)、以及離尖峰運輸(陸運部分)詳細區分	結果發現，平均成本訂價與社會邊際成本訂價皆會降低福利，但前者之衝擊尤甚。
Conrad, 1997 ^[2.3.8]	擴增基礎建設雖可改善運輸系統操作效率，避免交通擁塞造成的外部成本，但卻形成另一種外部成本，即空氣污染。本文欲在某排放標準限制下，尋求可使生產與外部成本最小的運輸政策。	理論 CGE 模型 道路基礎建設的效益為運輸系統效率並降低交通擁塞程度(congestion index) 基礎建設的成本包括資金成本、車次成長所衍生的各項變動成本、及空氣污染外部成本，由於資金來源為稅收，故因課稅所造成的市場扭曲也會形成另一種成本	
Schäfer and Jacoby, 2005 ^[2.3.1]	結合 CGE 模型與 MARKAL 模型分析溫室氣體排放限制下汽車市場發展與新興汽車技術的市場滲透力。	遞歸動態多國 CGE 模型(EPPA)，模型中單一運輸部門、五類能源商品、兩類新興能源、家計部門區分自有運輸工具與非自有運輸工具 MARKAL 為動態線性最適化模型，詳細刻畫運輸技術特性，包括汽車、卡車、大客車、鐵道、空運、水運等 由 CGE 提供運輸服務需求預測予 MARKAL，再由 MARKAL 根據技術發展進程，規劃成本最小下最適之汽車技術發展，再將技術發展規劃投入 CGE 做為技術變化限制	結果，在京都議定書限制下，短期消費者對運輸及運具用能源之需求將持續增加，但擠壓對其他商品之消費。 但長期而言，CO ₂ 排放量會下降 21%，其中由非自有汽車運輸貢獻 16%。在 21% 的減排中，約 1/3 來自需求的縮減，2/3 來自採用燃料效率較高的運輸技術。

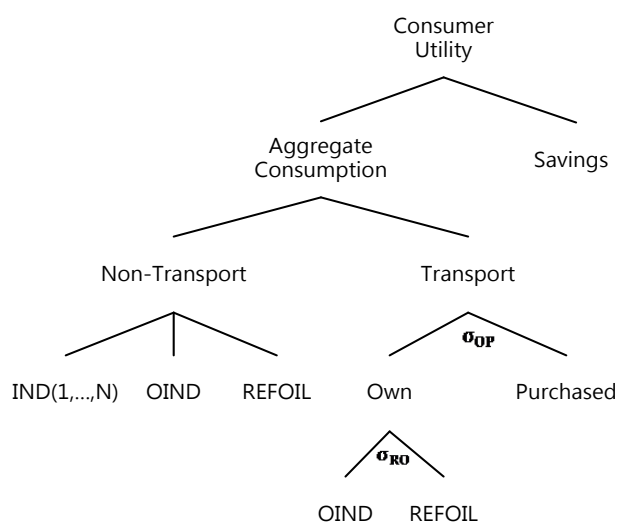
表 1 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續 2)

文獻	主題	模型	結論
Steininger et al. ^[2,3,9]	利用 CGE 模分析澳洲公路收費制度對自有車輛使用之影響。	單國靜態 CGE 模型 依所得高低將家計部門區分為四類	結果，收費制度並不像一般所認為的使低所得者承受不成比例的負擔，相反的對高所得與用車密度較高的族群有較大的衝擊。
Madsen and Butler. ^[2,3,10]	說明建構一個足以分析地區性經濟活動的空間 CGE 經濟模型 (LINE) 所應有的理論架構。	靜態模型 發展完整而龐大的模型，擁有完整的資料庫部門分類與區域分隔可彈性加總	
Berg, ^[2,3,2] 2007	本文主要目的在改善 CGE 模型中對於家計部門之運輸服務需求之設定，並評估在碳排放目標限制下，碳稅稅收運用於抵減勞工社會福利費用及抵減家計直接稅對福利的影響。	單國靜態模型，能源部門細分(五類)，家計部門依所得高低、人口密度細分(九類)，家計部門旅遊運目的將決定勞動供給，而家計部門選擇的運輸型態除了考慮價格、稅賦或補貼等價格因素外，還包括運輸花費的時間。因此效用函數除納入商品消費所帶來的效用，還要考慮休閒旅遊的效用以及工作旅遊的效用。	結果發現，碳稅稅收運用於抵減勞動雇用之社會福利費用，其所產生的福利成本將低於抵減家計直接稅。但較低的福利成本並不能保證達到社會公平，因為無論抵減何者，都會使低所得者承受較高的負擔。
Peterson and Lee, ^[2,3,11] 2009	利用多國 CGE 模型 (GTAP-E)，擴增各國境內運銷差距(運輸、批發、零售)，以探討在碳稅下 CO ₂ 排放與運銷差距的變化。	多國靜態模型 能源細分 境內運銷差距細分	結果發現，在不考慮境內運銷差距的情況 下，課徵某固定碳稅所產生的減量效果會有高估的情況。
Abrell, ^[2,3,3] 2007	利用多國 CGE 模型分析歐盟 15 國在排放交易中納入運輸部門的福利影響。	靜態多區域 CGE 模型 五類能源、四類非能源、三類運輸服務	評估結果發現，若路運納入排放交易體系，可創造較高的福利，納入航空則福利效果較小，對國際貿易船運直接進行排放管制才是比較重要的減量工具。

資料來源：本研究整理。

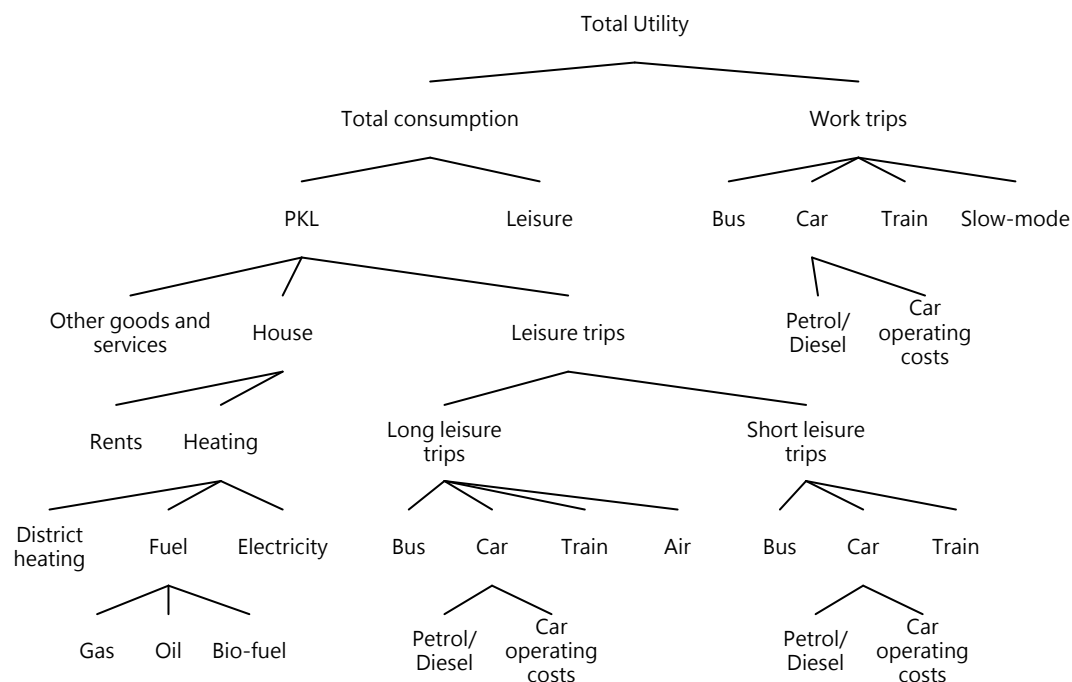
以圖 1 之 EPPA 模型^[2.3.1]的家計巢式架構為例，家計部門對各種商品之消費分為四層，越下層的商品群，群內商品的關係越密切。為了解析運輸服務需求，而在家計部門總消費中，區分為運輸 (transport) 與非運輸需求 (non-transport)，而運輸需求則進一步由自有運具運輸服務 (Own) 與購入運輸服務 (Purchased) 所組成，所謂自有運具運輸服務需求即為家計部門利用自身擁有的運具進行運輸活動，而購入運輸服務則指購買由運輸業者提供之運輸服務，包括空運、軌道、公路運輸等。自有運具運輸服務的部分還會依運具使用所需的投入再區分為運輸工具 (OIND) 與燃料 (REFOIL)。

Berg^[2.3.2]探討重點在家計部門的運輸需求，因而在該模型中對家計部門旅運需求特性描述得非常細緻，其巢式架構如圖 2 所示，為六層巢式結構。首先第一層說明整個家計部門消費可區分為因工作需要而產生的旅運需求以及其他消費；第二層則說明因工作而產生的旅運需求隨運輸工具的差異區分為客運公車、自有汽車、軌道、及其他慢速運輸方式；在其他消費部分，區分為休閒與商品及服務消費兩類，由於該模型強調家計部門消費行為，因此對於休閒與勞務供給的處理區分較為細緻；第三層則將商品及服務消費區分為一般商品與服務消費、住宅支出、與休閒旅運支出；住宅支出項目可分為租金 (或自有住宅設算租金) 與能源支出；休閒旅運支出依旅運距離區分為長途與短程旅運，其次依運具選擇將長途旅程區分為搭乘客運公車、自有汽車、軌道、與航空運輸，短程旅行則分為客運公車、自有汽車以及軌道等。



資料來源：Schäfer and Jacoby, 2005^[3.3.1]。

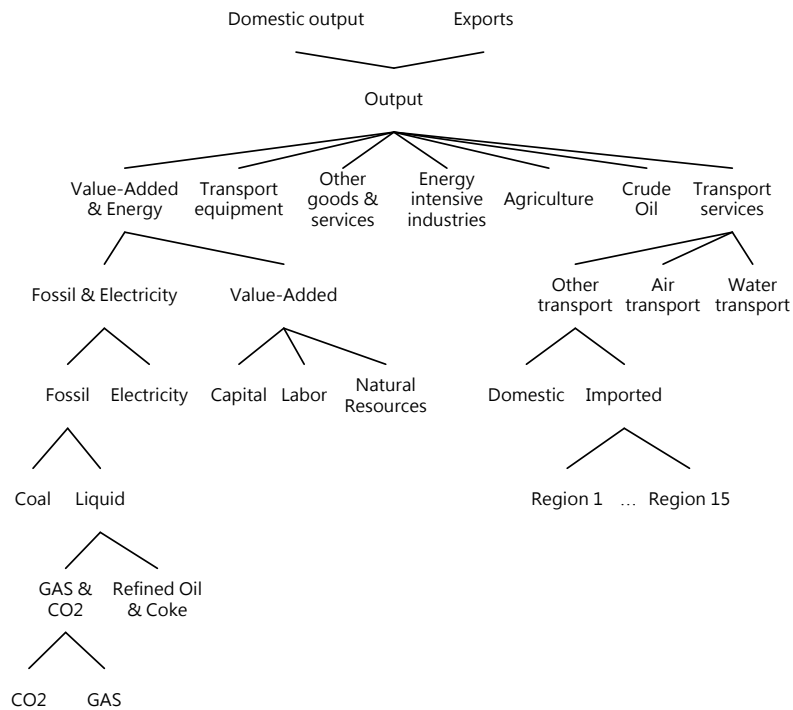
圖 1 EPPA 家計部門巢式架構圖



資料來源：Berg, 2007^[3.3.2]。

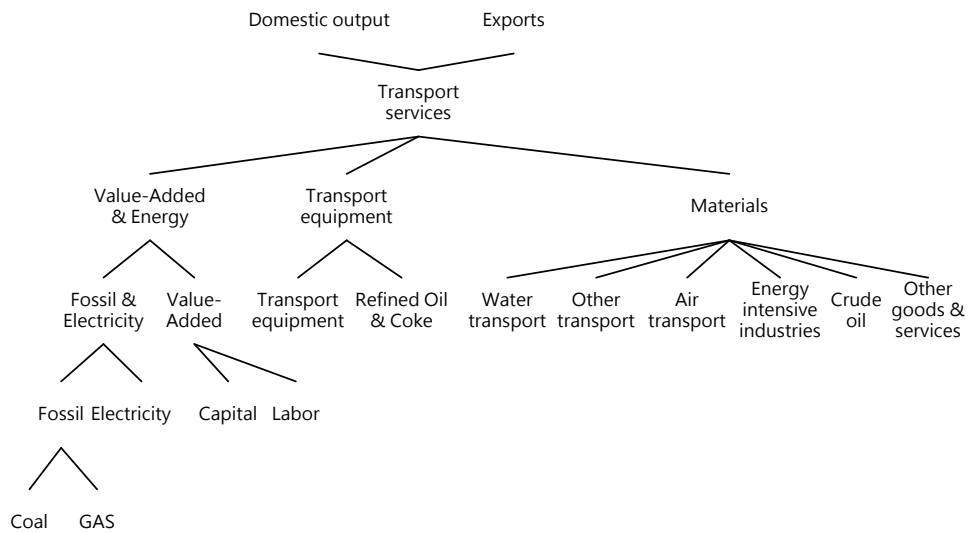
圖 2 Berg^[3.3.2]家計部門消費巢式架構

Abrell^[2.3.3]則因為研究重點在排放交易的福利分析，因此其運輸 CGE 模型是一個部門數、運具別、能源別皆十分少，區域別則較多的少部門多國模型。雖然部門數相對較不細緻，但就 CGE 模型架構而言該文卻十分完整，圖 3(a)至圖 3(d)即為該文所呈現的一般生產部門、運輸部門、能源部門以及家計單位的生產與消費巢式架構圖。



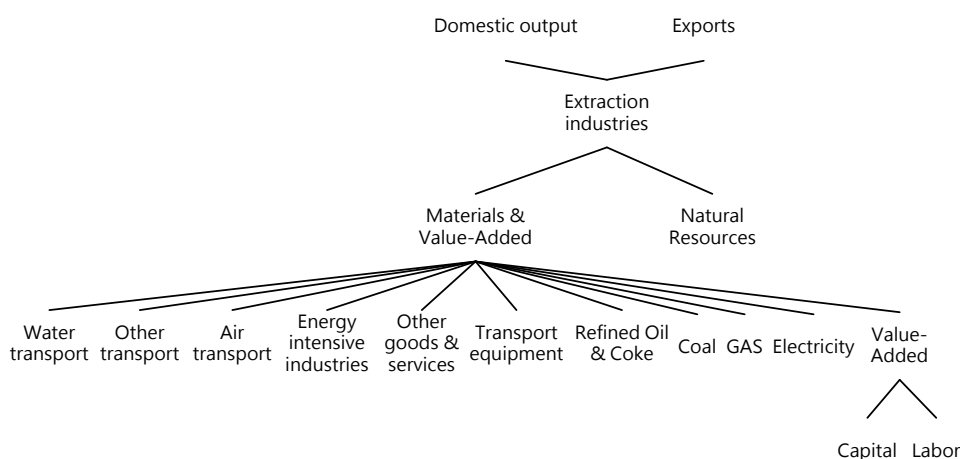
資料來源：Abrell, 2007^[2.3.3]。

圖 3 (a) Abrell^[3.3.3]一般生產部門生產巢式架構



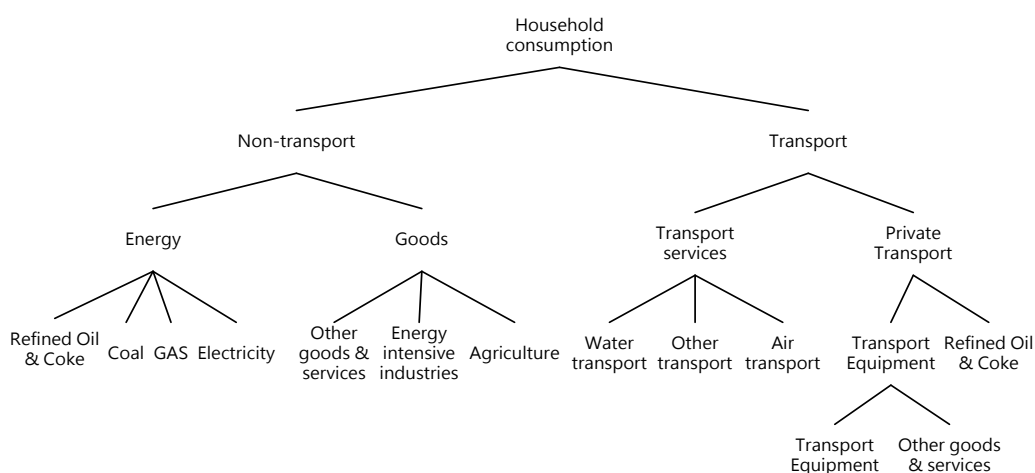
資料來源：Abrell, 2007^[2.3.3]。

圖 3(b) Abrell^[3.3.3]運輸服務部門生產巢式架構



資料來源：Abrell, 2007^[2.3.3]。

圖 3(c) Abrell^[2.3.3]能源部門生產巢式架構



資料來源：Abrell, 2007^[2.3.3]。

圖 3(d) Abrell^[3.3.3]家計部門消費巢式架構

對一般生產部門而言，生產過程中所需之運輸相關投入，包括自行運輸所需之運輸設備，以及委由運輸服務業者提供之運輸服務，基於歐盟地理上的特性，陸上運輸除了國內自身所提供之服務外，還會使用他國所提供之運輸服務，因此在其他運輸服務之下再加以區分進口來源，見圖 3(a)。對運輸服務部門而言，在提供運輸服務過程（運輸服務部門的生產過程）中，需要投入包括資本、勞力、運輸工具及能源消耗，因此圖 3(b)說明該模型將運輸設備區分為運輸工具以及使用運輸工具的同時所需投入的能源（主要為煉製油品與煤製品）。

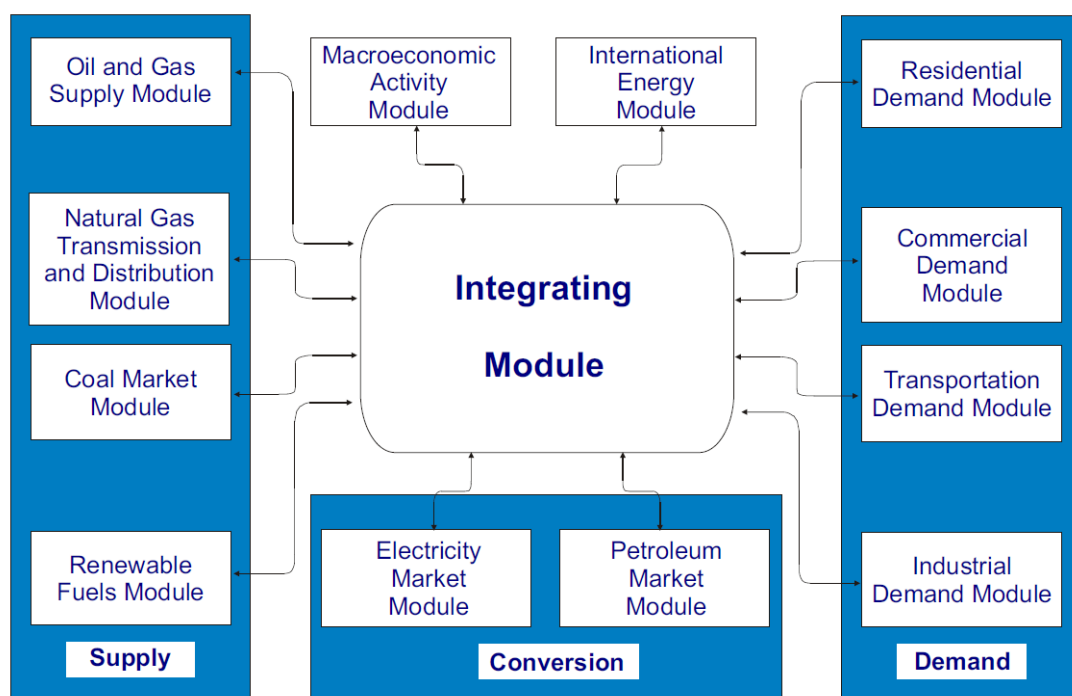
對家計部門而言，私人運具相對整個家計部門運輸支出，占有相當比

重，因此圖 3(d)說明該模型將家計部門所消費的運輸支出區分為私人運具與運輸服務兩部分，私人運具則包含了運具的購置、維修、及使用運具所需花費的燃料支出等。

2. NEMS 之運輸部門模型

美國國家能源模型系統(National Energy Modeling System, NEMS)由美國能源部(U.S. Department of Energy, DOE)能源資訊管理局(Energy Information Administration, EIA)所建構，主要目的為構建美國至 2030 年能源經濟體系而設立之模型系統。該系統在總體經濟、財政因素、全球能源市場、資源可及性與成本因素、技術選擇與決策、能源技術成本與效能、與人口等因素的綜合性考量下，規劃能源之生產、進口、轉換、消費與價格。

NEMS 模型的應用範疇包含：分析既有或規劃中的能源相關政策、法令或規範；評估新的能源生產、轉換與消費技術的潛在衝擊；溫室氣體管制的影響與成本；再生能源運用的影響；能源使用效率提升潛力；替代燃料使用規範之衝擊等。除了定期將模型研究成果刊載於 Annual Energy Outlook 外，亦不定時針對國會、DOE 各部會或其他政府單位之需求，提供情境與評估服務。大體而言，NEMS 旨在呈現美國經濟體系中能源市場行為與交互影響，因此在終端消費市場(按行政區域分為 9 區)要求能源供需必須達到平衡，以決定各類能源價格。由於以市場經濟為出發點，因此產業結構、能源政策與管制措施皆要能影響市場行為。整個 NEMS 系統共包含 4 個能源供給模型(油與氣、天然氣配送、煤炭、再生能源)、2 項轉換模型(電力與原油)、4 類終端需求模型(住宅需求、商業需求、製造業需求與運輸需求)、1 個能源/經濟連結模型(總體經濟活動)、1 個國際能源市場模型(國際能源)、1 個整合其他模組之一般均衡模組，各模組間之關係可彙整如圖 4 所示。



資料來源：EIA (2005)^[2.3.1]

圖 4 NEMS 各模型間之連結關係

其中 4 個終端能源需求模型，用以呈現住宅、商業、運輸與產業部門之能源需求估算，在計算需求時，必須考慮能源價格、總體經濟、與技術特性等給定條件。初級能源供給與轉換模組在給定資源特性、硬體建設、技術條件與全球市場條件下，計算可滿足國內與出口需求之國內生產、進口、運輸成本與能源價格。終端需求模組與初級能源供給轉換模組必須相互回饋，以求取各種能源之供需平衡。

(1) 運輸部門模型概述

而在 4 個終端能源需求模型中的運輸部門模型由一系列不同的模組所組成，以分別處理運輸部門中不同的運具。此模型主要目的在提供運輸部門中、長期的能源需求預測，包含：汽油、柴油、航空燃油、替燃料等能源。模型中運輸部門能源總需求之預測主要係透過不同運具的能源消費量加以加總，包含：私人與車隊的輕型車輛(Light Duty Vehicle, LDV)、航空、海運、鐵路、貨運、大眾運輸及娛樂遊艇。在分析政策面的衝擊或法規的制定對個別運輸工具的影響與技術發展時，NEMS 運輸部門模型其以運具別之分類方式特別擅長處理這一類型的問題。

此外，此模型也可提供一些在估算運輸需求時，所用到的中間數值(Intermediate value)，包含：汽車、航空、大眾運輸的旅運需求、運具效率、

車輛存量數、新技術的滲透率、貨運需求等。在估算出不同運具的能源消費量後，此模型可結合污染物的排放係數，進一步算出各類型的空氣污染排放物，包含：硫氧化物、氮氧化物、碳氫化合物、二氧化碳、一氧化碳、揮發性的有機化合物。

(2) 運輸部門模型結構(Model Structure)

NEMS 的運輸部門模型係由七個模組加以連結而成，這些不同的模組即分別用於表示不同的運具，因此運輸部門的總能源需求即由這些模組所估算出的個別能源需求加總而成。此外，在每個模組中至少包含一個以上的子模型，以下茲分別簡介這七個模組：

①輕型車輛模組 (LDV Module)

在運輸部門模型中，因小客車與輕型貨車在運輸部門中使用的能源最多，所以輕型車輛模組為此運輸部門模型中最重要的模組。在此模組中，輕型車輛會依據車輛大小、年份、引擎技術加以分類，並包含下列三個子模型：

A、燃料經濟子模型(Fuel Economy Model (FEM))

燃料經濟子模型用於估算未來的燃料價格，經濟狀況及法制面管制對不同車輛大小類型的配比影響與新車的燃料效率衝擊。此子模型的產出結果將會作為其他子模型的投入。

B、區域銷售子模型(Regional Sales Model(RSM))

此子模型使用外生給定的新小客車與或輕型貨車的銷售數量及燃料經濟子模型的結果，以估算各個區域的輕型車輛銷售數，接著再作為輕型車輛存量模組的投入(Input)。

C、替代燃料車輛子模型(Alternative Fuel Vehicle (AFV) Model)

此子模型用以估算新型車輛的燃料效率、並從燃料經濟子模型取得燃料價格以估算新型替代車輛的市場滲透率與市場占比，此模組非常適用於分析相關政策實施後對替代車輛的影響。

②輕型車輛存量模組(LDV Stock Module)

A、輕型車輛存量計算子模型(LDV Stock Accounting Model)

輕型車輛存量計算子模型使用來自輕型車輛模組與輕型車輛車隊模組所估算的輕型車輛銷售數與效率，以確認舊型車輛的淘汰數及車隊數量

的增加，並據此估算剩餘車輛(Surviving vehicles)的數量。

B、車輛旅程子模型(Vehicle-Miles Traveled (VMT) Model)

車輛旅程子模型為輕型車輛存量模組中的旅運需求估算子模型，其使用其他模組估算出的燃料價格、個人所得及人口數量以推估未來個人旅行的需求。

③輕型車輛車隊模組(LDV Fleet Module)

輕型車輛車隊模組用以估算使用於商業、政府部門及公共事業的車隊數量(亦即非私人運具)。此子模型同時也會估算這些車隊的旅運需求、燃料效率及能源消費量。

④航空旅行模組(Air Travel Module)

航空旅行模組由航空旅行需求與航空器艦隊效率這兩個子模型所組成，這兩個子模型分別使用 NEMS 其他模組所估算的燃料價格、總體經濟變數、人口成長及對航空器退休率的假設與技術進步，以估算航空旅運與貨運的需求，並據以計算能源的消耗量。

A、航空旅行需求子模型(Air Travel Demand Model)

航空旅行需求子模型用以估算航空旅運需求及貨運需求，分別以延人英里及延噸英里表示。此外，這些需求再結合可提供的客機座位英里(Available seat-miles, ASM)，即可傳遞給航空器艦隊效率子模型用以調整航空器的存量以滿足旅、貨運需求。

B、航空器艦隊效率子模型(Aircraft Fleet Efficiency Model (AFEM))

此子模型在使用者給定的參數下，可用以估算用以滿足需求量的航空器數量。此子模型也可針對現存航空器使用加權平均方式以估算航空器艦隊效率。

⑤貨運模組(Freight Transport Module)

貨運模組使用 NEMS 其他模組所估算的燃料價格及來自 NEMS 總體經濟模型所估算的特定產業的產出與貿易指標，以估算貨車、鐵路及海運三種主要貨運運具的需求量與能源消費量。此模組亦可經由對技術的假設與燃料價格的預測以估算運具之效率成長。

⑥各種的能源使用模組(Miscellaneous Energy Use Module)

此模組用以估算前面各類模組未考慮到的其他運輸部門能源需求，包

含：軍事行動、大眾運輸、娛樂船艇及潤滑油使用的能源消費量。

⑦車輛的污染物排放模組(Vehicle Emissions Module)

由前面 6 個模組所估算出的能源消費量加總後，即可獲得運輸部門能源總消費量，此模組可依據各種能源消費量估算出各類的污染物排放量。

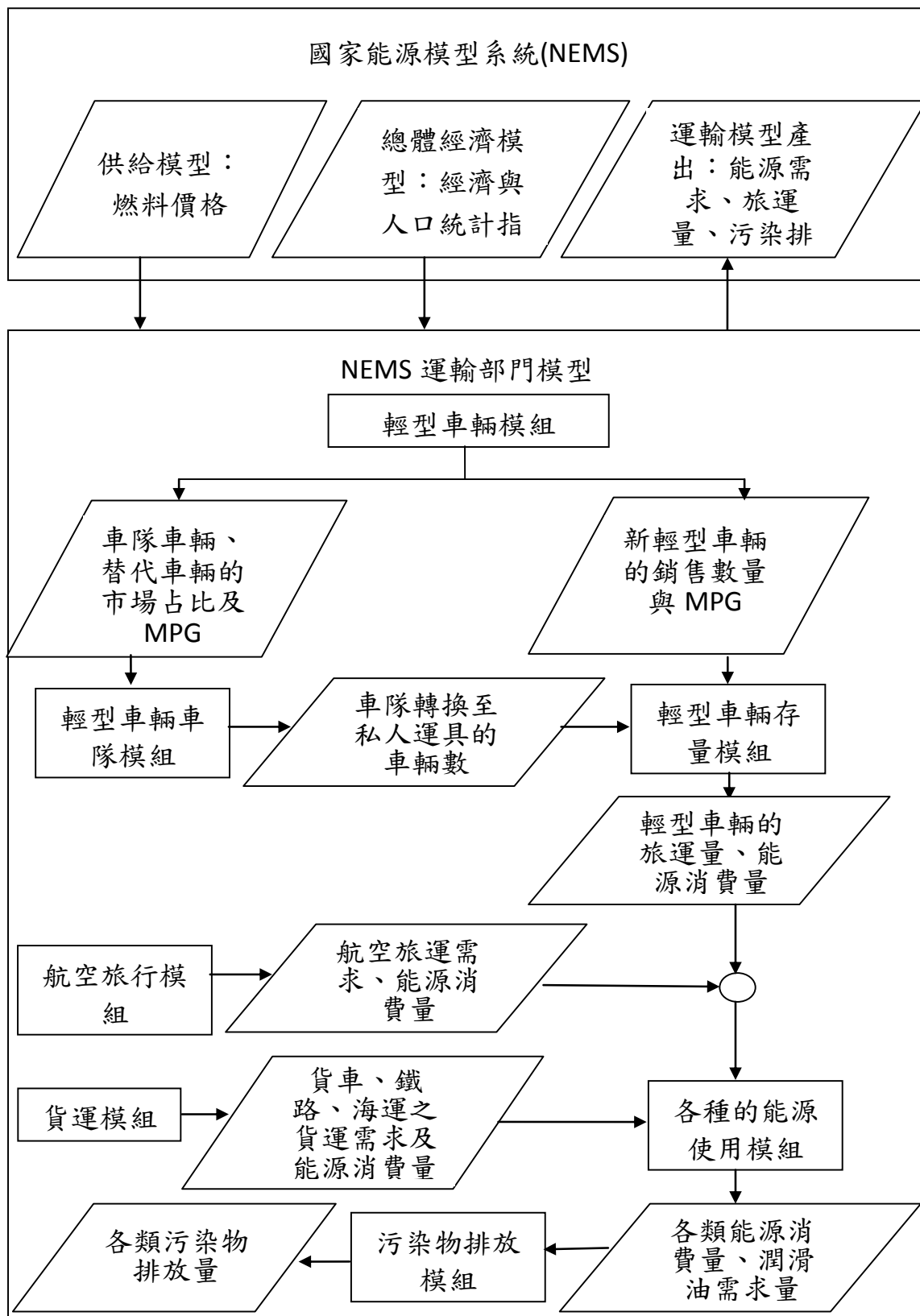
(3) 運輸部門模型的連結關係

NEMS 運輸部門模型中各模組的連結關係及與外部模型間的關係可彙整如圖 5 所示，以下針對這些連結關係進行介紹：

為了產生未來能源需求量的預測，NEMS 運輸部門模型必須仰賴一些來自 NEMS 其他模型所給定的外生參數。主要來自於總體經濟模型(Macroeconomic Model)與供給模型(Supply Model)，總體經濟模型主要提供經濟與人口統計相關的指標，而供給模型主要則提供燃料價格。表 2 彙整了運輸部門模型從其他模型所投入的外生參數。

設定完外生參數後，在運輸部門模型中首先被執行的為輕型車輛模組，這個模組中包含三個子模型，可分別估算新輕型車輛的燃料經濟(MPG)、替代車輛的市場占比及車輛的銷售數量。這些資訊接著傳送給輕型車輛車隊模組，使此模組能夠產生商業、政府部門、公共事業的旅運需求、燃料效率與能源消費。輕型車輛車隊模組接著傳送每年由車隊轉換至私人運具的車輛數給輕型車輛存量模組，加上來自於輕型車輛模組所估算出的新車銷售量與燃料效率，輕型車輛存量模組即可估算出整個輕型車輛的存量數，接著此資訊會再傳遞給各種的能源使用模組。

在航空旅行模組方面，使用 NEMS 其他模型所估出的總體經濟與人口統計參數(包含：航空燃油價格、人口、人均 GDP、可支配所得、商品出口)、由計量方程式所推估的旅運需求及滿足需求量的各類航空器數量，此模組可估算出航空燃油與航空汽油的需求量，接著此資訊同樣也會再傳遞給各種的能源使用模組。而在貨運模組方面，使用 NEMS 其他模組所估算的燃料價格及來自 NEMS 總體經濟模型所估算的特定產業的產出與貿易指標，可估算出貨車、鐵路及海運三種主要貨運運具的需求量與能源消費量，這些資訊也會再傳遞給各種的能源使用模組。



資料來源：EIA (2005) ^[2.3.1]

圖 5 NEMS 運輸部門模型各模組之連結關係

表 2 運輸部門模型從 NEMS 其他模型之投入

NEMS 總體經濟模型：經濟與人口統計指標	NEMS 供給模型：燃料價格			
	油&氣	石油產品	再生能源	電力市場
商品進口 商品出口 國內生產毛額(GDP) GDP 平減指數 可支配所得 美國人口數 超過 16 歲的人口數 超過 60 歲的人口數 產業產出 防禦支出	液化石油 氣 壓縮天然 氣	車用汽油 蒸餾液 (distillate) 燃料油 甲醇 航空燃油 航空汽油	酒精	電力

資料來源：EIA (2005) ^[2.3.1]

各種的能源使用模組方面接收來自 NEMS 產生的軍隊支出，以估算出軍隊能源需求量；接收來自輕型車輛存量模組推估的旅運需求及貨運模組推估的燃料效率即可估算出大眾運輸的能源需求量；接收來自 NEMS 總體經濟模型投入的個人所支配所得即可估算出娛樂船艇的能源需求量；而由高速旅運的需求量則可估算出運輸部門的潤滑油需求量。最後，污染物排放模組使用上述模組估算出的旅運需求與各類能源的需求量即可估算出各類污染物的排放量。

綜言之，經由運輸部門模型的這七個模組，可估算出美國不同區域的運輸能源消費量、旅運需求、燃料效率及不同運具的污染排放量等資訊，再結合 NEMS 不同部門模型所推估的其他部門之能源消費與污染排放量，即可經由國家能源模型系統估算出全國的能源消費與總排放量。

3. EPPA/MARKAL

依據所使用的經濟理論、變數的拆解程度、考量的地區(全球、區域或單國)等因素，可區分不同種類的能源模型，其中一項最常用的分類方法即將能源模型區分為「由上而下」(Top-down)的能源經濟模型及「由下而上」(Bottom-up)的能源工程模型。基本上，「由上而下」之模型主要為總體與產業經濟數量模型，例如：可計算一般均衡模型(Computable General Equilibrium, CGE)、投入產出模型、總體計量模型等。其分析對象涵蓋經濟體系所有部門(視加總程度可將部門分類區分為不同的細緻程度)，而能源部門僅為眾多部門之一，因此除可求解能源部門相關變數外，「由上而下」模型尚包含許多總體經濟變數(如：工資、利率、政府支出等)。不過這類模型的主要缺點在於並無法針對能源部門中的各類技術加以詳細的描述，產出結果缺乏對能源技術方面的細緻資訊。

而「由下而上」的模型則主要以某特定部門為分析對象的部份均衡模型，以 TIMES 或 MARKAL 能源工程模型為例，其對「能源部門」有相當詳細的刻劃，尤其是對能源部門內各種現有及未來的轉換、處理、需求技術皆可進行詳盡的設定，常用以規劃滿足未來能源需求下之各項能源技術組合。不過這類模型係屬於部分均衡模型，故僅能探討能源單一部門的變動影響，無法描述能源系統與整體經濟之間的回饋關係；此外，模型中的能源服務需求係為外生決定，故須仰賴其他模型提供所須參數，才可計算出能源服務需求。

除上述二分法外，因考量到此兩類模型仍存在既有之缺陷，為了系統化的評估能源部門與其他經濟體系的互動關係，並在模型中包含能源技術的詳細細節，因此須仰賴兩類模型的整合架構。因此近年來許多能源經濟專家開始嘗試融合此兩類模型之特點，這些融合模型大都應用於能源部門的評估上，而較少直接應用於運輸部門，僅有 EPPA/MARKAL 模型為專門應用於運輸部門相關政策的評估；基此，本計畫即針對此模型進行介紹。

該整合模型由 Andreas Schafer 與 Henry D. Jacoby MIT 團隊所提出。EPPA/MARKAL 結合了三個主要子模型，包括 EPPA 可計算一般均衡模型、MARKAL 能源工程模型及 Modal Split 運具分配模型，以分別處理經濟、科技技術、交通運具分配等三個面向，藉以分析跨部門、跨區域的溫

室氣體排放問題，以下茲分別介紹此三個子模型。

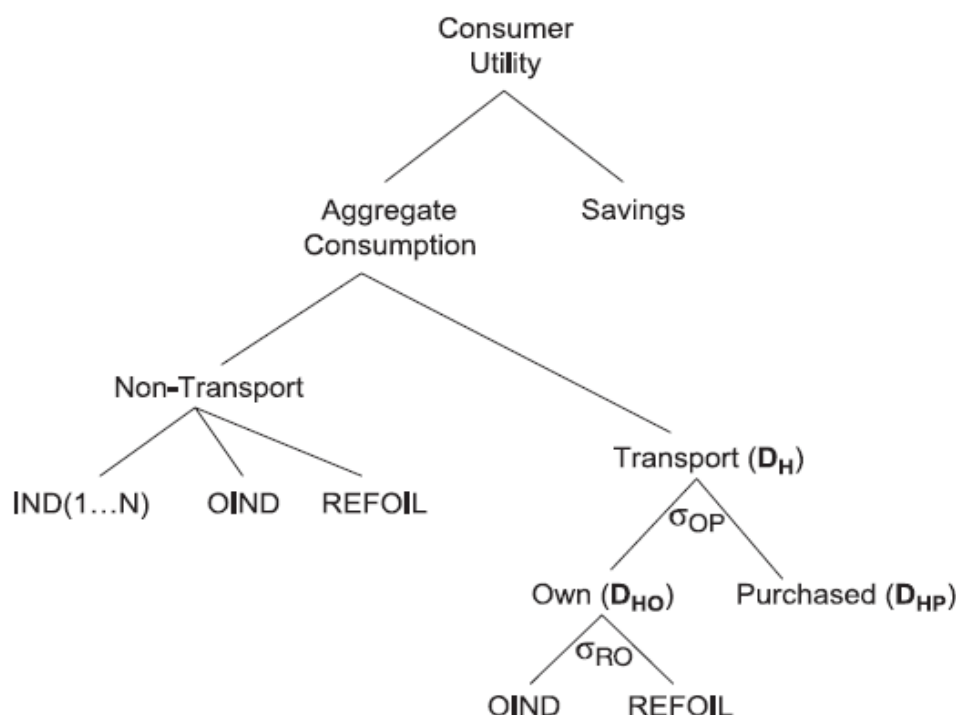
(1) EPPA 可計算一般均衡模型簡介

EPPA (MIT Emission Prediction and Policy Analysis)模型為 MIT 研究團隊所研發之遞歸、動態、多區域可計算一般均衡模型(CGE)。由於 CGE 模型係建立在個體經濟學之一般均衡理論(General Equilibrium Theory)基礎上，可反映經濟體中各部門間的互動效果(產業關聯)，能夠為 3E 的交互作用提供一組一致的總體經濟分析架構。就運輸部門而言，特別是產業部門與運輸部門間的互動效果，通常用於分析外在經濟環境改變下，運輸部門受到影響而產生變化，並藉由產業規模變化估算其節能減碳效果。EPPA 則用來模擬跨部門，跨區域之經濟成長、技術變遷與排放。

由於 CGE 模型必須呈現部門與部門間的相互關聯，並由一系列的關係式聯立求解，因此這類由上而下模型通常無法納入詳細的技術設定，於是必須藉重由下而上的能源工程模型來補足。在 EPPA 中家計部門之巢式結構如圖 6 所示，消費者效用取決於總和消費與儲蓄，而總和消費又可進一步拆解為運輸部門與非運輸部門，以將運輸部門獨立出來加以分析，而運輸部門又可拆解為自有以及購入。不過與一般可計算均衡模型相同，即使把運輸部門拆解出來，不過其為高度加總的單一部門，代表整體運輸部門活動的特性，並無法分析運輸模式甚至運具的變化。但 CGE 強調市場均衡的特性，使商品或勞務之市場價格得以內生求解，提供政策執行前後之價格變化。

(2) MARKAL 能源工程模型

在 MARKAL 能源工程模型中，主要特點在考慮非常細緻及多元的能源技術，以小客車技術而言，在 MARKAL 能源工程模型考慮的技術可彙整(如表 3 所示)。在運輸部門技術資料庫下，可呈現各類運輸技術之單位燃料消耗、技術可用年限、期初投資成本、固定運維成本與變動運維成本等資料。此外，對於高效率的車輛技術會有其市場滲透率的限制，此市場滲透率由車輛的存量模式(Vehicle Stock Model)來推估，推估出的結果將作為 MARKAL 模型的限制式，因此高效率技術並不會無限制取代現有技術，以確保模型結果的合理性。



資料來源：Schäfer and Jacoby (2005) ^[2.3.2]。

圖 6 EPPA 模型中家計部門之巢式結構

表 3 MARKAL 模型之小客車技術

Personal transport technologies, technology description, fuel use, and retail price

Name	Characteristics	Fuel use (L/100 km)	Retail price (US\$95)
95 Flt	Existing fleet in 1995	11.1	
ZeroCost	Improved packaging, engine management, lower drag coefficients	9.3	18,230
LoCost	ZeroCost+Lightweight interior, CVT, high-strength steel unibody	8.0	18,580
PowTrn1	LoCost+higher compression ratio	7.9	18,630
PowTrn2	PowTrn1+VVLVT and cylinder deactivation, electronic power steering, lower parasitic losses	7.3	19,070
Alum	PowTrn2+aluminum intensive vehicle instead of high-strength steel	6.4	20,240
Hybrid	Alum+ICE hybrid drivetrain, elimination of brake drag	5.0	22,370

Technology data are derived from Austin et al. (1997, 1999). CVT=continuously variable transmission; VVLVT=variable valve lift and timing; ICE=internal combustion engine. The ZeroCost Vehicle is an improved version of the sales-weighted new automobile in 1995 with a fuel consumption of 10.1 L/100 km and a retail price of US\$ 18,250.

資料來源：Schäfer and Jacoby (2005) ^[2.3.2]。

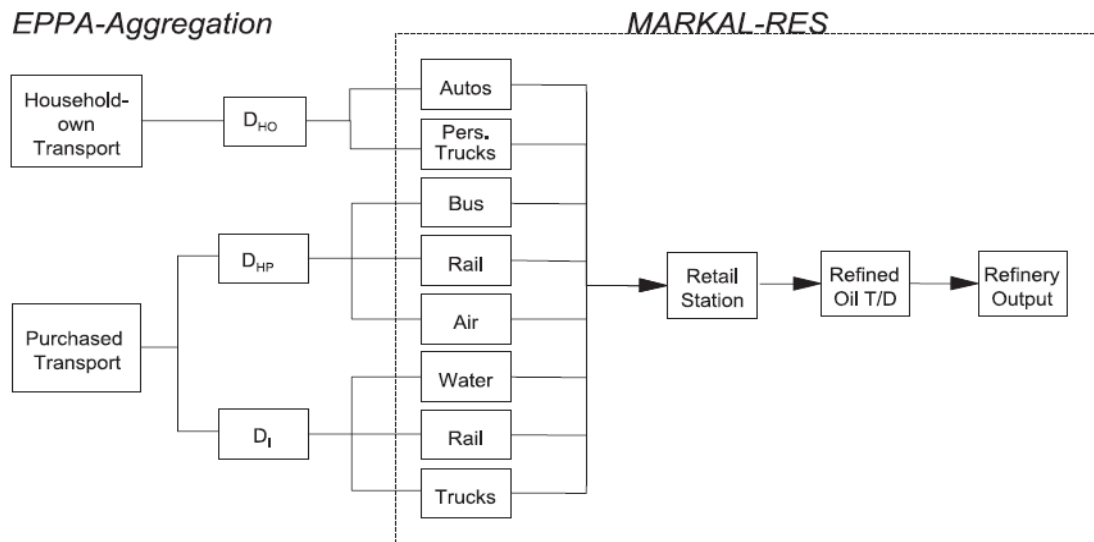
然而對工程模型而言，因考慮非常細緻的技術特性，必須適度簡化總體經濟的設定，通常會直接將能源服務需求、能源相對價格、經濟成長、產業成長等因素視為外生給定，如此一來便忽視經濟體系內各部門間的回饋效果。因此結合由上而下與由下而上模型成為整合評估最常被使用的方式。MARKAL 模型在一給定的整體經濟活動、交通需求、燃油價格等情

況下，分析個別的運輸技術如何滿足不同運輸需求的情況。

(3) Modal Split 運具分配模型

此模型基本上是為了將上述兩個模型串連的關聯模型，主要提供運具分配結果。其運具分配方式茲說明如下：

由圖 7 可看出 EPPA 模型與 MARKAL 模型間的對應關係，主要需將 EPPA 模型自有的部分(DHO)拆解為 MARKAL 模型的小客車與個人貨車；EPPA 模型購入的部分則可分為兩塊，其一為家戶部門的購入，對應至 MARKAL 模型為公車、鐵路與航空，其二為產業部門的購入，對應至 MARKAL 模型為海運、鐵路與公路貨運。



資料來源：Schäfer and Jacoby (2005)^[2.3.2]。

圖 7 EPPA/MARKAL 運輸部門之對應關係

在 Modal Split 客運分配方式，首先家戶運輸需求可分為高速運具(空運與高鐵)、低速運具(私人車輛、大客車、一般鐵路)。其中，私人(或自有)車輛又可細分為小客車與輕型貨車。而該研究^[2.3.2]觀察最近幾十年的消費者行為，顯示人們會花費一個固定的時間在旅行上：約 1.1 小時/每人每天，雖然都會與鄉村會有些差距，不過此數值不論在國家或區域層面都相當一致，故假設此行為在未來仍會保持穩定，因此使用此數值作為未來 Modal Splits 之基礎。除行為假設外，各類運具也會受限於結構性的特徵。如：低速的公共運輸(大客車)會受限於都市化的程度與公共基礎設施的建立，同樣鐵路也會收到鐵路系統興建的限制。加入這些限制，同時估算私人運具與高速運具的平均速度，再結合時間限制，就可估算出私人運具與高

速運具的份額。

在基準情境下估算的結果，私人運具的占比由 1995 年的 82% 逐漸降至 2030 年的 54%；而高速運具的占比由 14% 上升至 42%，剩餘的部份則為低速運具中的大客車與一般鐵路占比。此外，由於美國運輸部門一個顯著的特性為私人的貨車(輕型的貨車，包含：pickup truck, sport utility vehicles, vans))顯著的成長，在 1960~2000 年間在輕型車輛的占比由 5% 提高至 31%。此研究亦假設此趨勢仍會持續的維持，至 2030 年將會上升至 47%。因此可拆解出小客車與輕型貨車。

在 Modal Split 客運分配方式，由於貨運是中間的需求，主要為進行產業間貨物流通而產生。理想上，貨運運具的劃分應透過部門間產業的流動是由何種運具所運輸，來加以劃分。不過在 EPPA 模型中並沒有細分至此類的資料。因此，研究中採用一個初略的近似方式，假設各運具的平均運輸距離維持不變。接著依據貨運 1970~1995 年的歷史趨勢將鐵路貨運與水運的下降趨勢加以外延(Extrapolate)，因此公路貨運即為此兩項運具扣除後的殘差項。依據此方式，可將產業運輸(貨運)細分為鐵路運輸、水運與公路運輸。其中，公路貨運的占比由 1995 年的 56% 逐漸上升至 2030 年的 71%，其他兩類的占比(鐵路貨運與水運)則逐漸下降。綜上所述，茲將三個子模型在整合架構中扮演的角色、特性與功能彙整於表 4。

(4) EPPA/MARKAL 之整合架構

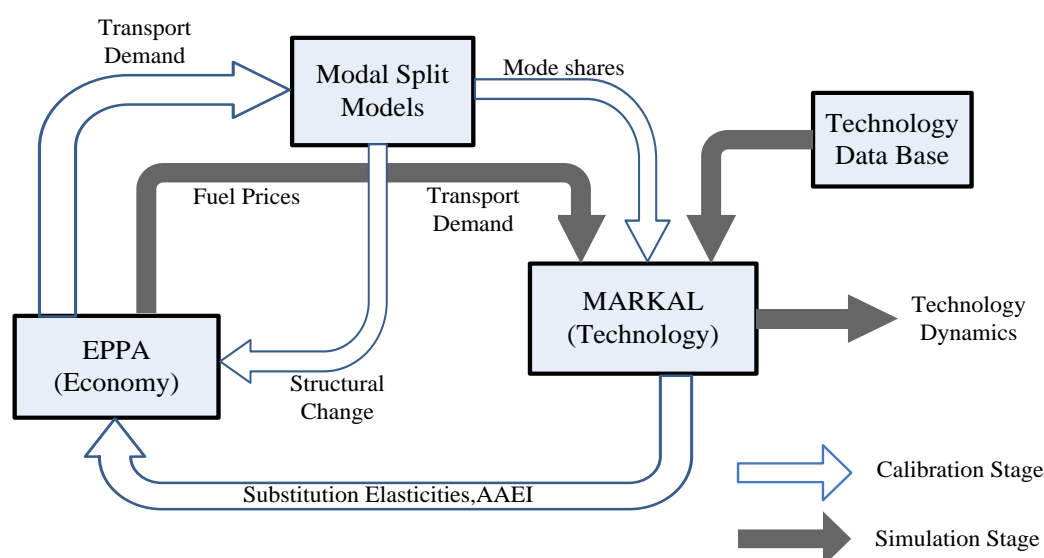
EPPA/MARKAL 模型整合架構可表示如圖 8。整合模型運作過程可區分為基線校準與政策模擬兩階段，在基線校準階段，主要工作在確保子模型假設情境、使用資料、與參數設定上的一致性，因此會先由 EPPA 模型在給定參數下，如：運具間替代彈性、運具成本、能源效率、技術進步率等，先求解出整體經濟成長、產業成長、能源需求、能源價格及排放量等。

而 MARKAL 能源工程模型可將運輸部門中各類不同運具與能源使用技術詳細分類，當 MARKAL 為了滿足 EPPA 給定的經濟成長、運輸需求、能源價格等數據，必須尋求一組在成本極小下，最佳的可行運輸技術組合。而 Modal Split 在此主要功能為將 EPPA 中分類較粗、高度加總的運輸部門需求，運用其對於運輸模式占比之推估結果，將 EPPA 之運輸需求拆解為運具或運輸模式別之運輸需求，再連結至 MARKAL 中細部區分的運輸技術。

表 4 EPPA/MARKAL 子模型特色與功能

	特色與功能
EPPA model (MIT Emission Prediction and Policy Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遞歸、動態、多區域之可計算一般均衡模型； 2. 使用 GTAP 資料庫； 3. 基期為 1995 年，求解期間為 5 年一期； 4. 12 區域、9 部門(4 個非能源部門、5 個能源部門)、2 個未來能源技術 5. 在部門分類中運輸服務部門特別獨立出來 6. 家計對運輸之需求區分為 own 及 purchased
MARKAL model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為 Bottom-up、動態線性最適化模型； 2. 具備詳盡能源系統資料庫，可呈現各類的使用端能源； 3. 包含能源生命週期中各項技術，如開採、再製、轉換、配送、儲存、及至終端使用之能源服務需求； 4. 運輸部門技術包含汽車、貨車(私人)、貨車(貨運)、大客車、軌道(客運)、軌道(貨運)、海運、空運； 5. 技術資料庫呈現各運輸模式下各種可選技術之單位運量之能耗、技術可用年限、期初投資成本、固定運維成本與變動運維成本。
Modal splits model	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助對映與計算 EPPA 與 MARKAL 運輸相關參數； 2. 將 EPPA 運輸服務需求拆解為 MARKAL 個別技術之需求； 3. 提供運輸模式結構變化。

資料來源：Schäfer and Jacoby (2005) ^[2.3.2]。



註：白色箭頭表示校準階段的資料流，灰色箭頭表示模擬階段的資料流。

資料來源：Schäfer and Jacoby(2005) ^[2.3.2]; Schäfer and Jacoby(2006) ^[2.3.3]。

圖 8 EPPA/MARKAL 模型體系

待上述校準工作在 EPPA 與 MARKAL 間取得一致性結果後，便可進

入第二階段，即政策評估。政策評估階段操作流程須視政策內涵而定，例如評估國際能源價格不斷攀升，則先由 EPPA 模擬國際能源價格對國內能源價格、能源需求量、運輸需求量、GDP、所得之影響，再由 MARKAL 針對變動後之 GDP、能源、與運輸需求進行政策模擬，以求算出各類運具的占比與溫室氣體排放。

綜上所述，MIT 之 EPPA/MARKAL 整合兩模型間主要溝通方式係由 EPPA 預估出未來經濟成長與運輸需求趨勢，此趨勢可透過 Modal Split 進一步劃分為不同運具需求，再傳遞給 MARKAL 能源工程模型估算各類運具的能源服務需求量，再由 MARKAL 規劃未來運輸部門的運具占比、能源消費量與溫室氣體排放。

4. 因式分解模型

探討因素變動對經濟變數(如:產出、就業、能源消費、污染物排放等)之影響的分析方法一般常使用因式分解法(decomposition analysis)。因式分解法係透過數學式的拆解方式，將影響經濟變數的驅動力拆解為幾項因素，故此方法具有易於操作、資料需求少、適於跨國比較等特色，且其涵義明確，故廣為應用於分析能源消費量與二氧化碳排放量的變動。

因式拆解的主要目的，係為估算各組成因素對於主變數(例如污染物的排放量或密集度、能源需求或密集度等)的貢獻程度。因此，在決定拆解方式時，必先決定組成因素的項目，Kaya 方程式如式(2.1)乃表現拆解方式的基礎^[2.3.4]：

$$CO2_t = A_t \cdot B_t \cdot C_t \quad (2.1)$$

其中 $CO2_t$ 代表第 t 期之 CO_2 總排放量； A_t 、 B_t 、 C_t 則代表各組成因素；常見的組成因素包括技術因素(如碳密集度、能源密集度等)、經濟規模、部門結構、及人口等。而衡量排放量變動的方式則可分為相對性(式(2.2))與絕對性(式(2.3))兩類，亦即：

$$R_t = CO2_t / CO2_0 \quad (2.2)$$

$$\Delta CO2_t = CO2_t - CO2_0 \quad (2.3)$$

由於式(2.2)與式(2.3)可分別改寫如式(2.4)與式(2.5)，故文獻上習稱之為乘法型及加法型的拆解方式。

$$R_t = \frac{A_t}{A_0} \cdot \frac{B_t}{B_0} \cdot \frac{C_t}{C_0} \quad (2.4)$$

$$\Delta CO2_t = CO2_t \cdot \left\{ \frac{\Delta A_t}{A_t} + \frac{\Delta B_t}{B_t} + \frac{\Delta C_t}{C_t} \right\} \quad (2.5)$$

舉例而言，Ang and Zhang (2000)^[2.3.5]將所有產業在第 t 期的整體能源密集度(以 $I_t \equiv E_t / Y_t$ 表示之，其中 E_t 為所有產業的能源總消費量， Y_t 為所有產業的總產值)的影響因素拆解為各產業之能源密集度($I_{it} = E_{it} / Y_{it}$)與產業結構($S_{it} = Y_{it} / Y_t$)兩項因素的乘積總和(如式(2.6)所示)：

$$I_t \equiv \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \frac{Y_{it}}{Y_t} \cdot \frac{E_{it}}{Y_{it}} = \sum_i S_{it} I_{it} \quad (2.6)$$

因此，乘法型及加法型的拆解方式分別如式(2.7)與式(2.8)所示：

$$R_{tot} = I_T / I_0 = R_{str} \cdot R_{int} \quad (2.7)$$

$$\Delta I_{tot} = I_T - I_0 = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } R_{str} &= \sum_i (Y_{iT} / Y_T) / \sum_i (Y_{i0} / Y_0) ; R_{int} = \sum_i (E_{iT} / Y_{iT}) / \sum_i (E_{i0} / E_0) ; \\ \Delta I_{str} &= \sum_i (Y_{iT} / Y_T) - \sum_i (Y_{i0} / Y_0) ; \Delta I_{int} = \sum_i (E_{iT} / Y_{iT}) - \sum_i (E_{i0} / E_0) 。 \end{aligned}$$

前述關於各組成因素之變動量的計算，均以當期與基準年的差額為基礎(亦即 $\Delta A_t = A_t - A_0$ ，見式(2.5)與式(2.6))。不過，也有一些拆解係以當期與前一期的變動量(亦即 $\Delta CO2_t = CO2_t - CO2_{t-1}$)為基準。因此，文獻上的拆解方式復可因衡量變動量之基準年的不同而分為「拉氏指數法」(Laspeyres index method)及「迪氏指數法」，前者以固定的基準年為基礎，後者則以前一期為基礎。

隨著亞洲地區運輸部門 CO₂ 排放量的快速成長(由 1980 年之 2,136 百萬公噸至 2005 年之 7,692 百萬公噸)，尋找並確認促使 CO₂ 成長的潛在因素，為研擬運輸部門減量政策的重要工作。基此，Timilsina and Shrestha (2009)^[2.3.7]應用因式分解模型(Decomposition analysis)之對數平均數迪氏指標(LMDI)，彙整亞洲 12 個國家 1980-2005 年之 CO₂ 排放量，並考慮 6 項關鍵因素：(1)能源結構；(2)運輸模式；(3)排放係數；(4)能源密集度；(5)

人均 GDP；(6)人口成長。

每一國家之 CO₂ 排放量的拆解恆等式如下：

$$CO_2_t = \sum_{ij} \frac{CO_2_{ijt}}{FC_{ijt}} \times \frac{FC_{ijt}}{FC_{jt}} \times \frac{FC_{jt}}{FC_t} \times \frac{FC_t}{GDP_t} \times \frac{GDP_t}{POP_t} \times POP_t$$

➡
$$CO_2_t = \sum_{ij} EC_{ijt} \times FM_{ijt} \times MM_{jt} \times EI_t \times PC_t \times POP_t$$

其中：

EC 為單位能源消費之二氧化碳排放係數；

FM 為個別運輸模式之各類能源消費結構；

MM 為各運輸模式能源消費佔運輸部門總能源消費之比重；

EI 為運輸部門能源密集度；

PC 為人均 GDP；

POP 為人口數。

建構完因式分解模型後，此研究主要使用此模式針對影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放的關鍵因素進行分析，研究結果可彙整如表 5 所示，由表中顯示經濟成長(PC)、人口成長(POP)為最主要因素，而能源密集度(EI)只在部分國家具重要影響，對中國與印度卻反之，這與兩國軌道運輸的發展有關。能源結構雖然直接造成排放增加，但其效果相對其他因素較小。

表 5 影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放的關鍵因素

Country	Average CO ₂ emission change ('000 tCO ₂)	Factors influencing the CO ₂ emissions change						Influencing factors ^a
		Fuel mix (FM)	Modal mix (MM)	Emission coefficient (EC)	Transport energy (EI) intensity	Per capita GDP (PC)	Population (POP)	
China	10,199	173	-664	-27	-4553	13,591	1679	FM, PC, POP
Bangladesh	140	0	0	0	31	61	48	EI, PC, POP
India	2022	80	-291	30	-2896	3508	1592	FM, EC, PC, POP
Indonesia	2271	-14	1	0	392	1256	637	MM, EI, PC, POP
Korea	2882	32	-88	-10	-254	2758	445	FM, PC, POP
Malaysia	1322	2	0	0	215	647	458	FM, EI, PC, POP
Mongolia ^b	-4	14	-7	0	-45	17	16	MM, EI
Pakistan	719	4	0	0	-75	360	430	FM, PC, POP
Philippines	761	37	6	0	236	192	290	FM, MM, EI, PC, POP
Sri Lanka	137	-1	0	0	-19	120	37	PC, POP
Thailand	1874	27	-18	0	251	1272	343	FM, EI, PC, POP
Vietnam	746	5	-4	0	236	398	112	FM, EI, PC, POP

資料來源：Timilsina and Shrestha (2009) ^[2.3.7]

綜言之，Timilsina and Shrestha (2009) ^[2.3.7] 主要透過因式分解模型，探討影響亞洲國家運輸部門二氧化碳排放變化背後的主要原因，研究主要分析結果顯示，經濟活動、人口成長、能源密集度是影響亞洲國家最主要的因素。而亞洲的發展中國家，因為並不在減排承諾國家之列，並無減緩經濟發展以降低 CO₂ 排放的誘因。因此這些國家要降低運輸部門排放量的主要策略，在於促使經濟成長與排放量脫鉤，例如透過補貼方式提高潔淨能源佔比或移轉至公共運輸，或直接採用效率標準、承載率、擁擠收費等管制工具。此外，由於資料上的限制，使該研究無法觀察到運輸模式改變所造成的減量效果，但該研究認為陸運為亞洲國家非常受歡迎的運輸模式，若能蒐集更細緻的資料，應可大幅提高其減量貢獻。

二、國內運輸部門節能減碳相關之研究成果

1. 車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式

有關私人運具相關之管理策略之相關研究，大多係以參酌國內外學術理論或實施經驗，再配合國內特性與需要，加以研訂而成，較缺乏客觀量化之效果可供佐證。其中，最困難的地方即在於難以預測家戶或個人對各種管理策略之實際反應行為及不同程度的汽機車持有與使用行為，所可能產生之能源消耗與污染排放數量。使得交通與環保主管機關在研議、評估及選擇管理策略時之困擾。因此，有必要建構因應實施之各項機動車輛管理策略之汽機車持有與使用模式，並進一步鏈結其與能源消耗與污染排放間之關係。

基此，邱裕鈞教授團隊在本所三年期之研究經費支持下建構能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式^{[2.3.9], [2.3.10], [2.3.11]}，俾進一步評估及預測各種汽機車管理策略對與污染減量之效果。所建構的整合模式共包含 6 個次模式，茲分別簡述如下：

(1) 汽機車持有與使用總體模式(全國層級)

該研究利用羅吉斯迴歸模式分別建立我國汽機車持有與使用之總體模式，用以預測未來各年度我國汽機車持有與使用之總體數量。雖然，個體選擇模式也可透過抽樣技術予以放大，而獲得總體數值。但根據以往文獻及研究經驗，一般均存有總量明顯低估之現象。此外，總體模式可獲得較為精確之預測總量。但總量模式的缺點在於無法分別建立各車型、車齡等影響能源消耗與污染排放之重要變數，也較難據以評估實施某些特定管理策略之具體效果。基此，在實施不同管理策略下，我國車輛在各車型、車齡等重要變數之分佈狀況，該研究藉由個體模式加以推估，再乘上總量模式之預測總量，即可獲得能源消耗及污染排放模擬所需之總量數值。

至於汽車及機車之持有與使用，亦分別建構羅吉斯迴歸模式，共計有汽車之持有模式、使用模式、機車之持有模式及使用模式等 4 條模式。

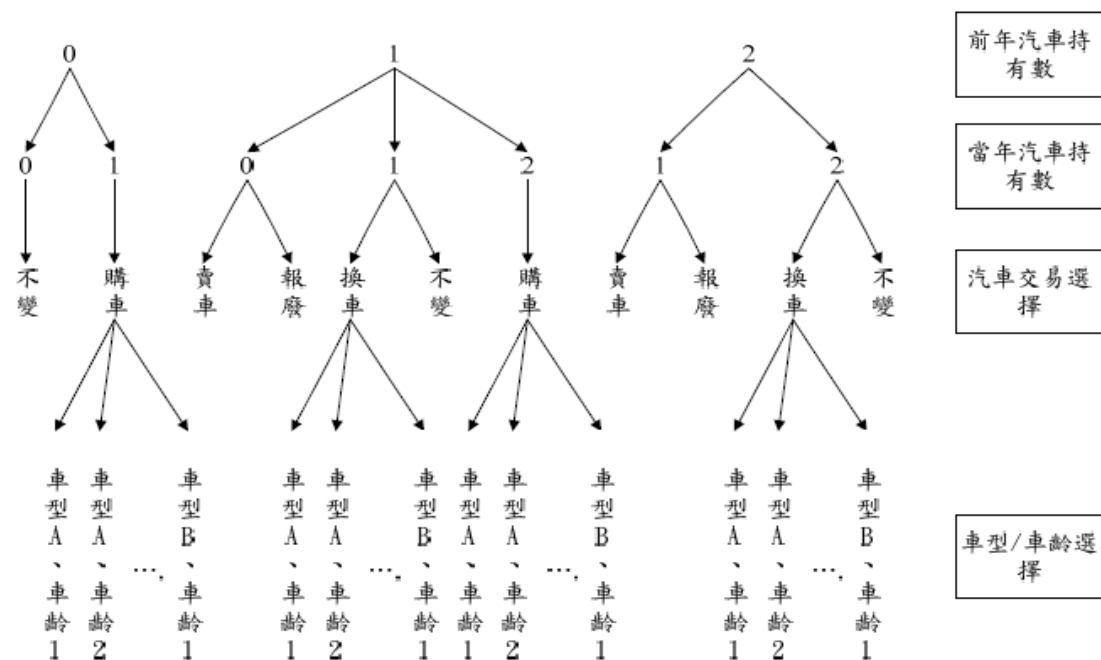
(2) 汽機車持有與使用總體模式(區域層級)

另為反應不同區域(縣市)特性，該研究分別建立我國 23 縣市之汽機車持有與使用總體模式，據以推估 23 縣市汽機車持有與使用總量，及其可

能產生之能源消耗與污染排放量。此外，亦依據 23 縣市特性，利用群落分析(Cluster analysis)技術加以分群。將分群結果，以虛擬變數方式，納入個體選擇模式中，據以推估不同群落之縣市居民，對同一管理策略之反應程度差異，以作為策略實施時之參考。

(3) 全國及區域型個體選擇模式(包括汽機車交易、持有、車型(車齡)選擇及使用等四項個體選擇模式)

由於車輛持有與使用的決策項目相當多，考量汽車及機車持有與使用的交互影響，會增加模式的複雜性，造成參數估計的困難。因此，該研究分別建立汽車及機車家戶持有與使用的行為模式。以汽車為例，家戶汽車持有、交易、車型/車齡之多層次選擇架構可彙整如圖 9 所示。機車持有與使用亦採用類似圖 7 之架構，僅在每層方案中，汽車與機車可能會有不同。



資料來源：交通部運輸研究所 (2008)^[2.3.9]。

圖 9 家戶汽車持有、交易、車型/車齡之多層級選擇架構

而上述 4 項「個體選擇模式」為此研究最重要之核心模組，係透過個體模式，以建構家戶汽機車交易、持有、車型選擇及使用等 4 項選擇模式。

(4) 車輛使用與能源消耗及污染排放之關聯模式

車輛使用與能源消耗及污染排放之關聯模式在研究中係分別利用問卷調查資料及汽機車定檢資料庫加以建構。其中，有關能源消耗關聯模式係依高快速公路及市區道路之燃料效率分別加以建構及分析。而污染排放

關聯模式則針對車輛特性(如：車齡、排氣量、廠牌、行駛里程、車重等)建構其 HC 及 CO 之排放量。此外，汽機車車型與車齡選擇模式中，如何設定車齡、車型(排氣量)之類別詳細程度，或依各變數類別分別建構預測模式，故必須先利用資料探勘(data mining)透過定檢資料庫進行分析及檢定，其主要目的包含下列三項：

①車輛類別設定

一般而言，車輛類別愈多，在模式處理及變數設定愈複雜。但若未加以分類，又無法反應不同車型持有與使用數量變化，對能源消耗及污染排放之影響差異。因此，該研究針對不同類別之車輛，如其能源消耗及污染排放數量未具有顯著差異者，則加以合併為同一類，俾減少車輛類別，及增加同一類別車輛之樣本總數，以利模式之校估與分析。

②變數選取

透過資料庫之分析，可了解能源消耗及污染排放之顯著影響因素(如：車型、車齡、排氣量大小、已行駛里程、使用油品種類等)，以作為汽機車持有與使用模式選擇解釋變數或被解釋變數之參考。

③關聯模式建立

透過車輛使用相關屬性(含不同車種、車齡、車型、行駛里程、行駛道路環境、區域、使用者等因素)之分析，建立車輛使用屬性影響污染排放及能源消耗之關聯模式。此外，由於車輛定檢資料庫未包括 5 年以下汽車(約占汽車總數之 33.1%)及 3 年以下機車(約占機車總數之 3%)之資料。因此，該研究額外蒐集經濟部能源局及車測中心所完成之相關研究，配合各型新車之審驗資料及家戶問卷調查資料加以補充。

(5) 污染排放模擬模式(MOBILE)

為能推估不同汽機車管理策略下之減污效果，該研究利用 MOBILE 軟體進行污染排放總量推估。其中，其汽機車在不同道路系統之使用量係由個體選擇模式加以推估，至於各車種之劣化係數及相關參數(駕駛習慣、車輛保養)則由定檢及問卷分析結果所提供。最後，並配合個體及總體模式之輸出結果，以進行全國及區域排放總量之推估。

(6) 決策支援系統及整合數學規劃模式

為進一步將各次模式加以整合，該研究於上述 5 個模式建置完成後，

建構一決策支援系統結合各資料庫及模式庫所能提供之資訊，進行不同管理策略之效果推估。此外，為使此決策支援系統具備參數最佳化之功能，該研究亦進一步整合各次模式，利用數學規劃模式求解最佳化之政策參數(如停車費率、燃料費、牌照稅等)，以供決策參考。

建構完整合模式後，即可利用此模式進行政策分析；其中在油價調漲之分析上共分為兩個方向，一項為單純之油價上漲，另一項為汽燃費隨油徵收。此二項政策調整之技術變數皆為油價。而因應油價調漲，此兩項政策皆會導致行駛里程、各項污染排放及能源消耗降低，主要乃因為部分車主將改購買較省能源之車型與車齡。此外，分析結果顯示主要都會區之平均降幅略高於次要都會區，再高於一般城市，推測其主因乃主要都會區之大眾運輸系統相對於次要都會及一般城市較為方便，故可獲致較為顯著之減量效果，此亦顯示在實施私人運具使用抑制策略時，可配合強化大眾運輸服務，以收其綜效。

而在替代能源車輛政策分析，則包含提高替代能源車型的燃油可及性、購車補助及續航力等，以期汽油車市占率能轉移至替代性能源車輛。依據該研究分析結果顯示，對小汽車而言就購車補助及改善車輛性能與燃油可及性而言，皆以油電混合車之轉移比例最高，此可判斷選購油氣雙燃料車時，燃油可及性及續航力皆為其主要選擇因子，因此改善上述條件後，可吸引部分汽油車使用者轉移使用該車種。對機車而言，提供購車補助時電動車之轉移比例相較氫燃料電池車大，顯示電動車相對氫燃料電池車選購意願高。在改善車輛性能及燃油可及性之部分顯示，當續航力提升30%時，會使2%左右之汽油機車移轉至替代性能源車輛。由此顯示這些策略對於家戶機車車型選擇行為具有相當的影響力

2. 工研院 MARKAL 及 TIMES 能源工程模型

(1) 能源工程模型的特性與主要功能

在國內長期以來，能源局與環保署已運用 MARKAL 能源工程模型，針對長期能源結構配比規劃、政策影響評估及溫室氣體排放分析等議題，進行溫室氣體減量與政策規劃工作。MARKAL 為 MARKet Allocation 的縮寫，係由國際能源總署(IEA)於 1976 年成立一個由多國共同合作的能源技術系統分析計畫(Energy Technology Systems Analysis Program, ETSAP)

所發展，計畫主要目的為建立各會員國應用模型在能源系統政策分析的能力。經過超過 30 年之發展，目前 MARKAL 模型已被全球 70 個國家、約 230 個研究機構所廣泛使用。模型早期被先進國家及主要開發中國家用以研究國家或區域性的能源規劃，目前最主要的應用則為研究氣候變遷的考量下如何調整國家的能源系統。

MARKAL 將複雜的能源系統(全國/地區及部門)以線性規劃模式展現。MARKAL 根據能源平衡原則，將諸多變數、參數以及使用者自定的限制條件，組成聯立線性方程式／不等式，構建而成線性模組。MARKAL 利用線性規劃特性，組合出能滿足各項能源服務需求的能源系統技術組合，並使其各期成本淨現值(Discounted net present value)的總和為最低(成本最小化)。線性規劃的解描繪出構建能源系統的各種能源技術以及能源流程，而這個能源系統是可行的(Feasible)同時也是最適的(Optimal)。可行的意思代表須滿足所有限制條件，並能充份供應各部門未來的能源服務需求；最適的意思則表示眾多可行解中成本最低者。

MARKAL 模型為一動態最佳化模型，模型核心將能源供給至能源使用之關聯建置於資料庫中，其範圍含蓋了各種能源自其來源(開採、進口等)，經過能源轉換過程(煉油、發電等)及最後被各能源服務需求部門使用的整個流程，並定義上述每一個階段目前和未來可用技術的工程參數(容量、效率等)、環境參數(污染排放係數)及經濟參數(成本)。MARKAL 模型是以能源服務需求(外生變數)為驅動力，透過線性規劃尋求最低成本之能源供應及能源使用技術組合，滿足長期經濟發展所需之能源服務需求，模型時程為中長期(30~50 年)之規劃，且 5 年為 1 期。

其模型資料庫由能源服務需求、初級能源供應以及能源技術三類資料建成，資料內容包括投資成本、固定及變動運維費、使用年限、使用能源類別、效率、可用度、輸出及最大市場穿透力預估等，三類資料庫內容說明如下：

①能源服務需求：工業、住宅、商業、運輸等各部門未來數十年的能源服務需求；

②初級能源供應：未來數十年各類初級能源的自產，進口上限與價格；

③能源技術：既有及未來可能商品化的能源轉換、處理與使用技術。

(2) MARKAL 能源工程模型在我國運輸部門之應用

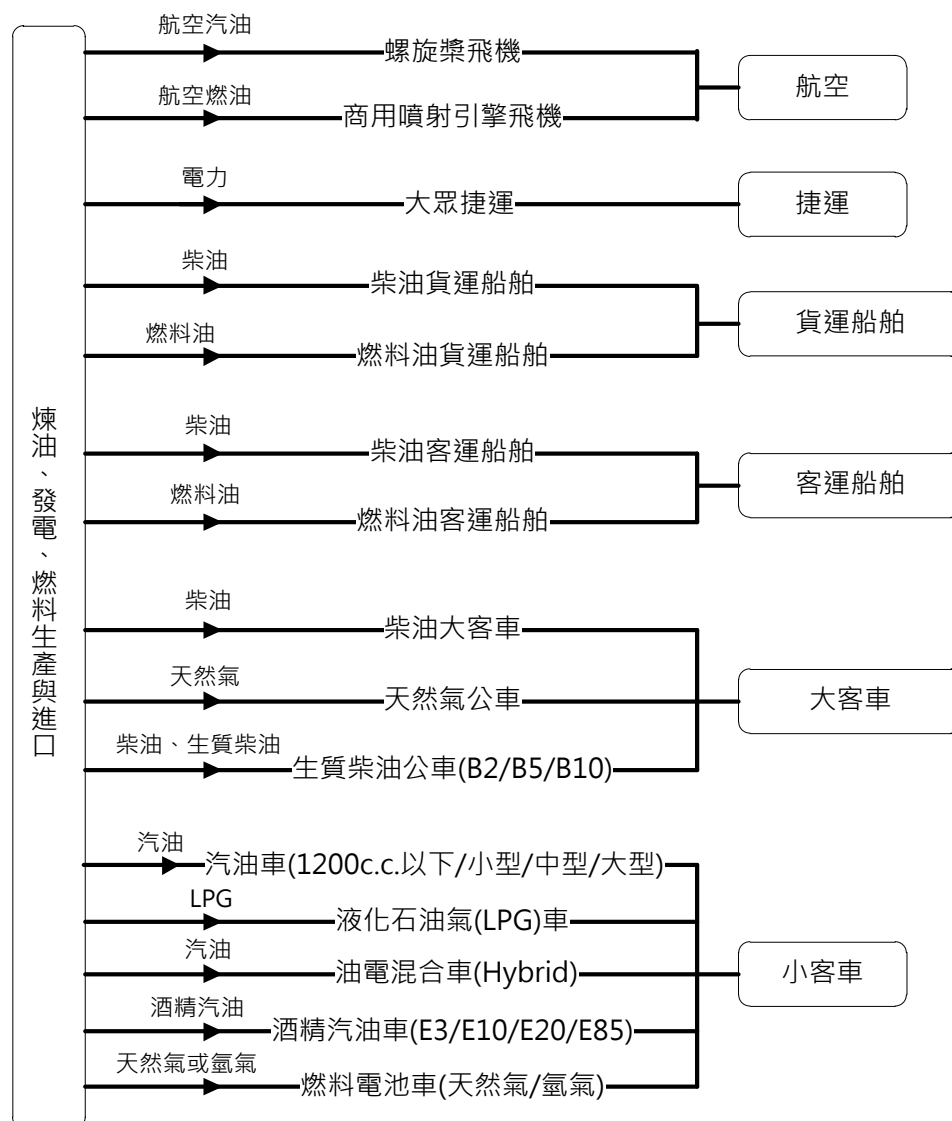
在經濟部能源局的經費支持下，工研院綠能與環境研究所於 1994 年完成 MARKAL 能源工程模型建置，迄今累積豐富技術資料庫，並提供國內相關政府機構(如：能源局、環保署)重要的決策資訊，亦在歷次國家重要能源會議扮演重要角色，包括：1998、2005 及 2009 年全國能源會議、2003 年非核家園會議、2006 年永續發展會議，提供長期能源結構配比規劃、政策影響評估及溫室氣體排放分析等資訊。

在運輸部門的應用及影響評估方面，主要包含：能源局在 2009 年的「能源模型研究與溫室氣體減量策略評估」委辦計畫案特別針對「運輸部門」，進行 MARKAL 模型運輸部門資料庫全面更新擴充，而 MARKAL 能源工程模型之主要特點在考慮非常細緻且多元的技術分類，該年度計畫主要彙整工研院已建置運輸部門技術，並對運輸技術進一步詳細分類，MARKAL 能源工程模型運輸部門所包含之技術可彙整如圖 10 所示；同時，蒐集國內、外運輸部門節能減碳相關政策及措施，並運用 MARKAL 模型進行運輸部門減量情境規劃分析。在此計畫中主要蒐集國內、外運輸部門節能減碳策略，並嘗試將相關策略透過 MARKAL 模型予以量化評估。

依據該計畫之研究結果顯示，在先進車輛技術佈局規劃方面：小客車的技術佈局在 2010~2015 年間以提升效率為主；2020~2030 年新型高效率車輛動力技術(油電混合及燃料電池)開始進入市場，並取代原有汽油車市場。貨車的技術佈局在 2010 至 2030 年間以生質柴油替代為主，效率提升的新車市場滲透逐期增加，油電混合貨車自 2015 年開始佈局且市場滲透逐期增加。大客車的技術佈局在 2010~2030 年間採生質柴油結合公車捷運化系統及混合動力三種策略同時並行，混合動力公車隨著公車捷運化系統而逐期擴增。航空器及船舶的技術佈局以效率提升為主，自 2010 年起技術佈局容量逐期擴增。

二氧化碳減量貢獻及節能成效方面：小客車 2015 年加入效率標準提升策略及 2020 年以後加入燃料電池及插電式油電混合車策略，故 2015~2030 年維持 8~15%的減量貢獻度；大客車自 2015 年以後採取生質柴油摻配率提高+公車捷運化+柴油效率提高+油電混合等策略，故 2015~2030 年維持 1.2~2.5%的減量貢獻度；航空器及船舶主要的減量策略以效率提升為主，2015~2030 年二項運具合計平均的減量貢獻度約

0.9~1.9%。該計畫估算在設定上述三大類型的減量策略下，運輸部門技術策略組合的減量貢獻在 2010 年約為 2.35 CO₂ 百萬公噸，至 2030 年達 14.7 CO₂ 百萬公噸。而節能成效分析方面，總合 2010~2030 年運輸部門技術策略組合的總節能成效顯示仍為正面效益，總節能量約 31~126 PJ。

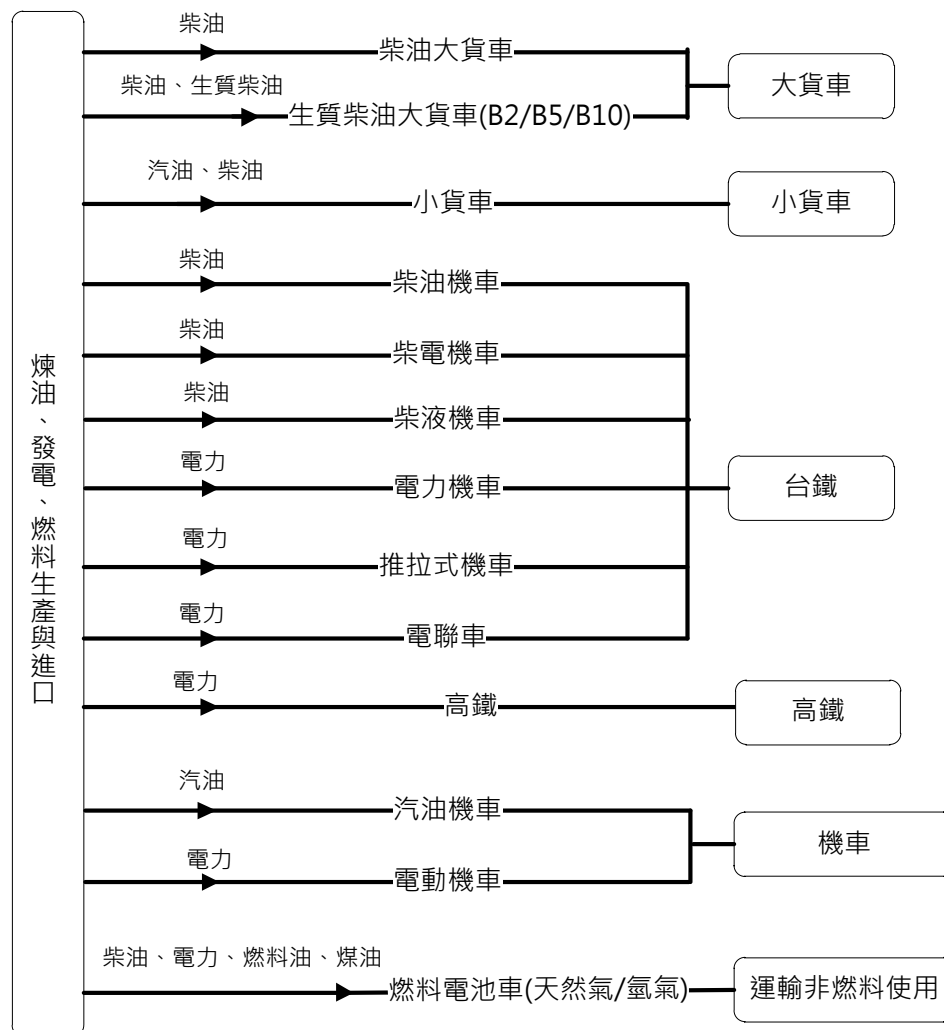


資料來源：工研院綠能所 (2009) ^[2.3.12]。

圖 10 工研院綠能所 MARKAL 能源工程模型運輸部門技術分類

總體經濟影響分析方面：自 2020 年開始以後各期，由於能源系統成本持續大幅上升，使得國內所得分配為了支付高額的能源系統成本，而必需犧牲民間消費與投資，故整體 GDP 也開始呈現衰退，估計 2020~2030 年 GDP 降低的幅度約 33~80 十億美元，因此，為了達成節能減碳目標所需付出的代價，根據該計畫之估計，2020~2030 年 CO₂ 減量 6~15 百萬公噸，

平均每公噸 CO₂ 的減量成本，以廣義的社會福利損失計算(GDP)約為 5.5~6.3 千美元／公噸 CO₂，以狹義的能源直接成本計算(EC)約為 5.5~8.3 千美元／公噸 CO₂。



資料來源：工研院綠能所 (2009)^[2.3.12]。

圖 10 工研院綠能所 MARKAL 能源工程模型運輸部門技術分類(續)

(3) TIMES 能源工程模型在我國運輸部門之應用

而為改善 MARKAL 模型以 5 年為一期的模擬期間不能符合短期能源策略分析的需求及 MARKAL 模型之既有功能尚有許多考量不周全之處，國際能源總署的 ETSAP⁶ 計畫於 ANNEX VI(1996-1998)期間開始發展 TIMES 模型，於 ANNEX VII(1999-2001)期間進行模型驗證與應用。

⁶ ETSAP : Energy Technology Systems Analysis Program.

TIMES 為 The Integrated MARKAL-EFOM System 的縮寫，此說明其為 MARKAL 與 EFOM(Energy Flow Optimization Model)兩模型之結合體，而 EFOM 亦為能源工程模型，主要用於歐洲各國，其特點在於可模擬彈性的投入與產出機制，因此 TIMES 模型比 MARKAL 模型在投入與產出關係之設定上更具彈性。

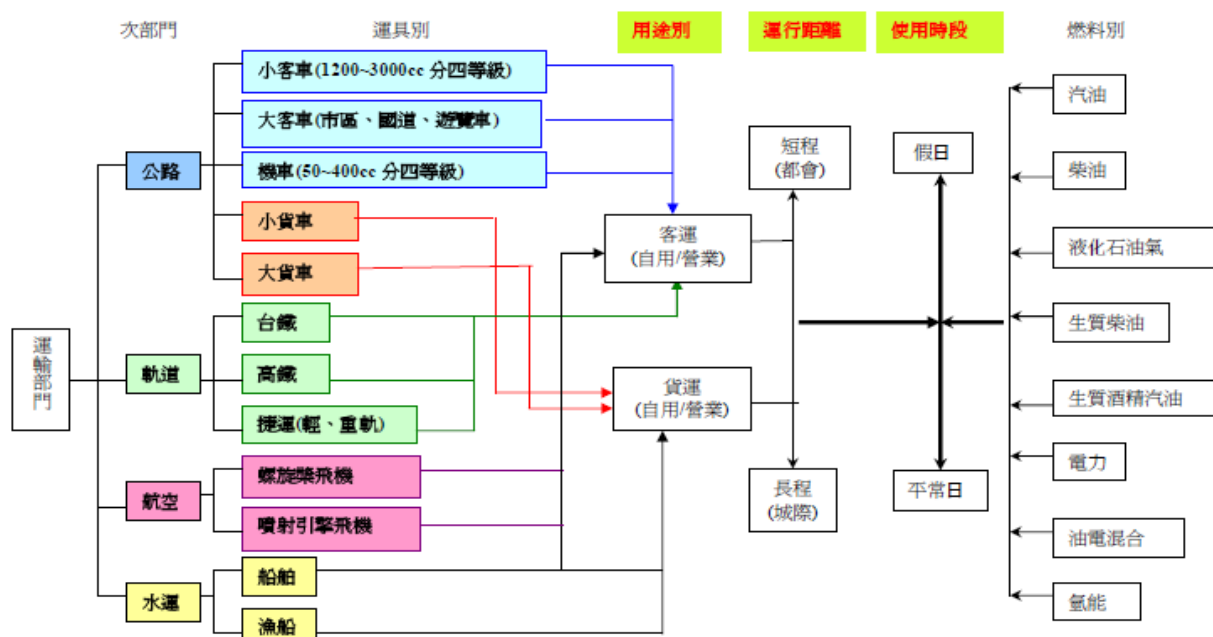
基於 ETSAP 會員國長期使用 MARKAL 進行能源政策規劃之廣泛經驗，TIMES 保留了 MARKAL 的各種工程模型優點，但額外新增了各種功能，以加強實際應用之需要，並彌補各種不足。如：TIMES 模型之規劃期長度及時間間隔皆可彈性調整(時間參數可細分至以小時為單位)、考量技術之時期(Vintage)機制、更加彈性的投入與產出機制、考量設備建造之前置時間(Lead Time)與成本、納入除役與拆廠成本選擇、增加技術的減量信用(Credit)與補貼效果等。

至目前為止，TIMES 模型已發展完成，且被歐洲原 MARKAL 模型使用者所採用，評估全球至 2050 年不同技術發展路徑下，未來二氧化碳減量效果與技術組合。為提昇能源供需展望分析內涵，配合未來技術研發規劃，並展現短期溫室氣體減量策略效果。

能源局於 2008 年開始透過委託工研院綠能與環境研究所，分階段建置本土化之 TIMES 模型。其中，2008 年為第一階段，主要進行 TIMES 模型功能研析與軟體操作工作，研究成果包含建置能源供需關連及主要變數與參數之特性、使用介面與模型內不同模組功能、預估轉版作業需求並進行時程與工作規劃等；2009 年進行第二階段工作，進入實質技術資料庫建置工作，將台灣 MARKAL 資料庫轉版為 TIMES 模型，並嘗試運用台灣 TIMES 模型進行電力部門情境模擬分析，研究成果包含完成台灣 TIMES 模型電力部門與處理技術資料庫建置，並對於模型初步模擬分析結果進行驗證；2010 年則持續建置台灣 TIMES 模型工業、住商及運輸部門技術資料庫，完成台灣 TIMES 模型轉版工作，並運用 TIMES 模型進行情境模擬分析及與 MARKAL 模型進行比較。

由於 TIMES 模型在 2010 年才開始建置 TIMES 模型運輸部門技術資料庫(能源局「能源模型研究與供需規劃評估」委辦計畫案^[2.3.13])，因此尚未進行相關減量情境之模擬。故以下主要說明目前 TIMES 模型在建置運輸部門技術資料庫的相關研究成果：

該研究計畫根據 2009 年已更新的 MARKAL 模型運輸部門資料庫為基礎，進行 TIMES 模型運輸部門資料庫格式轉換，主要分類基準包括「運具別」、「用途別」、「運行距離」、「使用時段」、「燃料別」等，以架構出完整的運輸系統資料庫，充分發揮 TIMES 模型在刻劃未來運輸部門節能減碳策略研擬的細緻度，提高模型模擬之品質。圖 11 匯整目前 TIMES 模型在運輸部門資料庫的分類架構；由圖 11 顯示，TIMES 模型資料庫內容涵蓋「公路」、「軌道」、「航空」及「水運」四大類別，往下可再細分為各類運具，目前資料庫中所建置的運具使用燃料涵蓋傳統的汽柴油、電力及新的潔淨燃料—生質燃油、油電混合、氢能等。鑑於運輸部門資料庫在「運具別」及「燃料別」的資料已相當完備，但在「用途別」、「運行距離」、「使用時段」仍顯粗略，因此，該計畫根據 TIMES 模型可提供的細緻加強功能選項，針對「用途別」、「運行距離」、「使用時段」進行細緻化擴充，除完成 MARKAL 資料庫轉版至 TIMES 資料庫外，並進一步期達成資料分類細緻化的目標，以進行更多面向的政策分析。



資料來源：經濟部能源局(2010)^[2.3.13]。

圖 11 TIMES 能源工程模型運輸部門資料庫分類架構

3. 系統動態模型

(1) 系統動態模型的緣起與特性

系統動態模型於 1960 年代由 MIT Jay W. Forrester 教授，發展之初主要應用在工程管理領域，所謂動態系統係指變數會隨時間交互作用而產生變化，其特性為掌握系統的主要影響因素後，藉由分析主要因素彼此間的互動和影響程度，來探討系統長期的均衡及發展趨勢，可瞭解複雜系統在長期時間演進後互相消長與影響。

系統動態模型(System Dynamics Model)起源於 1950 年代，由麻省理工學院(MIT)的電機工程系教授 Jay W. Forrester 所發展。50 年代末期及 60 年代，系統動態學領域快速發展，包括理論內涵及電腦模型語言(Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations, SIMPLE)及第一代動態模型軟體 DYNAMO (DYNAMIC Models)陸續問市，至 1961 年 Forrester 第一本系統動態學的經典著作 Industrial Dynamics 出版。此後，系統動態學理論與方法被大量應用於企業管理及非企業管理的議題之上，如 60 年代末期，以都市發展為主題的 Urban Dynamics 及 70 年代初期以人口、自然資源與經濟發展議題主題之 World Dynamics 模型及書籍(如 1971 年的成長的極限 及 1991 年之超越極限)分別問市，並在個別的領域造成極大迴響，系統動態學在社會經濟及自然生態與科技領域的重要性，因此被廣泛的認知與肯定，而近年來亦有越來越多的案例用在運輸領域之分析。

由於系統動態學理論乃指系統具有因果、相互循環與回饋之關係，當決策(decision)影響系統時，則會產生行為變化，而這些行為變化則反回影響系統產生新的狀態，這新的狀態訊息則產生新的決策。並且也可了解系統隨著時間所可能產生成長(growth)、衰退(decay)、震盪(oscillation)之趨勢。一般而言，系統動態學之特性可分為下列五點：

①擅長處理週期性的問題

已有不少之系統動態模型，對於短期(約 4 年)、中期(約 15 年)與長期(約 40 至 80 年)等週期形成之機制加以解釋。

②擅長處理長期性的問題

系統動態方法之系統行為主要由系統內各項因素相互影響所決定，因

此具有因果關係之特性，可透過長期間模擬，了解系統行為之變化。

③缺乏數據的條件下仍可進行研究

在缺乏統計數據及某些參數或關係無法量化時，系統動態方法由於具有回饋基礎，因為多重回饋環之存在，對於系統動態模型之各參數較不敏感，只要估計各參數可容忍之誤差值，系統行為也能顯現出相同的變化型態。

④擅長處理高階、非線性、具時間變化的問題

一般數學方法較難以應付高階、非線性與時間變化問題，系統動態方法可以利用電腦模擬協助處理較複雜系統。

⑤強調條件下之預測的結果

系統動態方法，依據不同的條件情況下產生不同的預測結果，讓預測結果能更接近於真實之社會情況。

系統動態學的基礎是以定量之分析方法，研究複雜之實際問題，以數學語言的一階導數微分方程或高階系統，來表現一系統複雜的正負回饋結構、因果關係及延滯效果。因果關係圖(Causal Relationship Diagram)或因果回饋圖(Causal-Loop Diagram)係用圖形描述系統變量間的因果關係，此種關係即為系統動態學模型的基礎，茲簡要說明如下：

在實際社會中，當 A 增加，B 可能是增加或減少的，如果 A 變數增加，B 變數亦增加，則可認為此兩變數的變化方向是相同的，則以「+」號表示，此稱為正因果鍵(Positive Causal Link)；反之，則稱為負因果鍵(Negative Causal Link)。任何一變數的變動，會造成環路產生強化該變數的變動幅度者，稱為正向因果回饋迴路(Positive Causal Feedback Loop)，亦可由迴路中有偶數個負性因果鍵判別之。反之迴路中任何一改動會造成該迴路產生抑制該變數的變動幅度者，稱為負向因果回饋迴路(Negative Causal Feedback Loop)，亦可由迴路中有奇數個負性因果鍵判別之。理論上正回饋環路隨著時間將是發散成長的過程，相反的，負回饋環路則是一個動態的收斂過程，由於正、負回饋環路兩股力量逐漸抵銷，因此會逐漸趨於穩定，亦即系統狀態將朝系統目標或邊界不斷前進，並不斷地縮小差距，此即為系統動態學中相當重要的兩種迴路(正向迴路與負向迴路)。

綜言之，系統動力學本身並非需要運用精深數學建立的方程式組成，

而是在建立各系統元素之間相互消長回饋之互動方式，而各系統元素之間的消長則以時間模擬方式來探討各元素之間之互動影響，並預測各時間點上系統元素之狀況。這樣的探討方式使得系統動態學成為一相當具有彈性的方法，可以模擬許多不同的系統，因此被各領域廣泛應用(包含應用於運輸領域)。

(2) 系統動態模型在我國運輸部門之應用

面對石油耗竭、能源安全與全球氣候變遷的壓力，對於目前 98% 的液體燃料仰賴石油產品的運輸部門而言，如何移轉對石油的依賴，同時達到溫室氣體減量目標，已成為台灣極為迫切的政策議題。基此，張四立教授係使用系統動態模型並結合計量經濟模型，建構運輸部門之燃料需求推估子模式，並以此模型探討國內油品價格的變動、運輸部門的節能減碳行動及潔淨運輸燃料的推廣應用，對於運輸部門燃料需求量之影響，並進而評估其所衍生之二氧化碳減量效益。

張四立教授所建構的系統動態模式將公路運輸系統能源消費及二氧化碳系統動態模型分為「小客車及機車能源消費及二氧化碳排放系統動態模型」、「大客車能源消費及二氧化碳排放系統動態模型」及「公路貨運能源消費及二氧化碳排放系統動態模型」等 3 個子模型，以下分別就各系統動態子模型加以介紹：

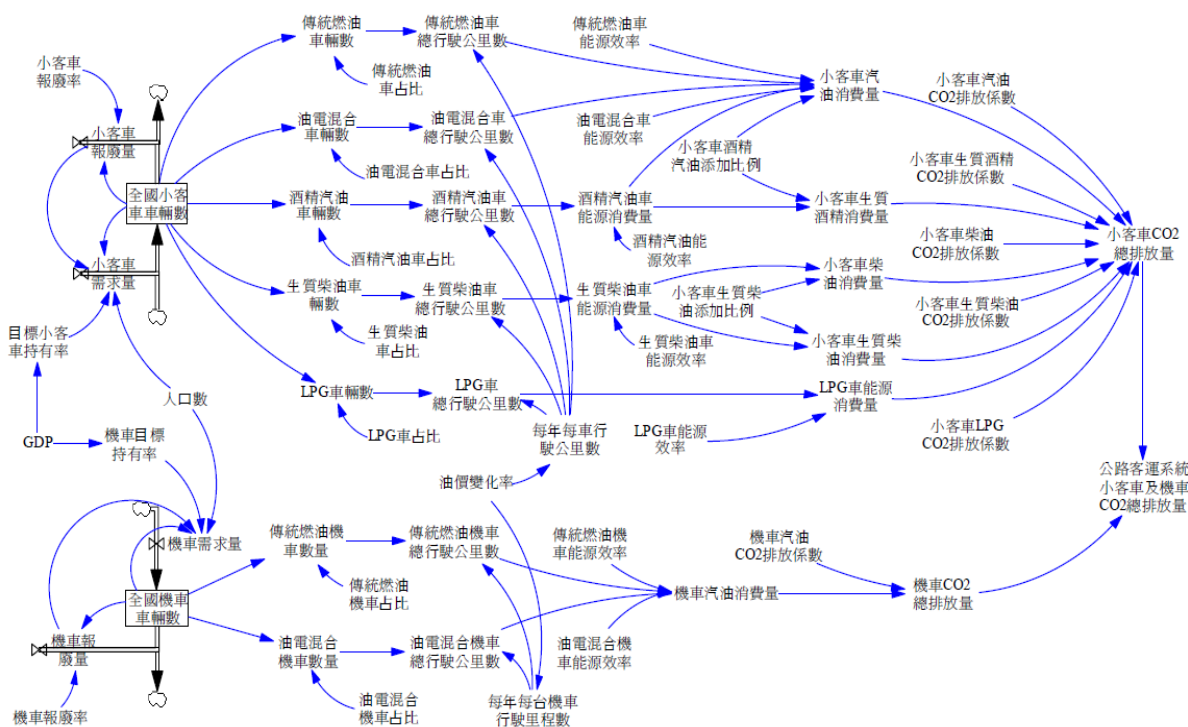
① 小客車及機車能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

有關公路客運小客車及機車運輸系統動態模型可彙整如圖 12 所示，由於能源消費量及二氧化碳排放量與車輛數多寡息息相關，此系統動態子模型主要考量小客車及機車車輛數、不同燃料類型車輛占比、車輛行駛里程數、不同燃料類型車輛能源效率、不同燃料類型車輛二氧化碳排放係數等因素，探討公路客運小客車及機車能源消費量及二氧化碳排放量之變化，其中小客車及機車車輛數設定為存量，受到每年小客車及機車需求量與報廢量影響，小客車及機車需求量的影響變數為包含報廢量、車輛持有率、GDP 及人口數等，小客車及機車報廢量之影響變數為報廢率。

② 大客車能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

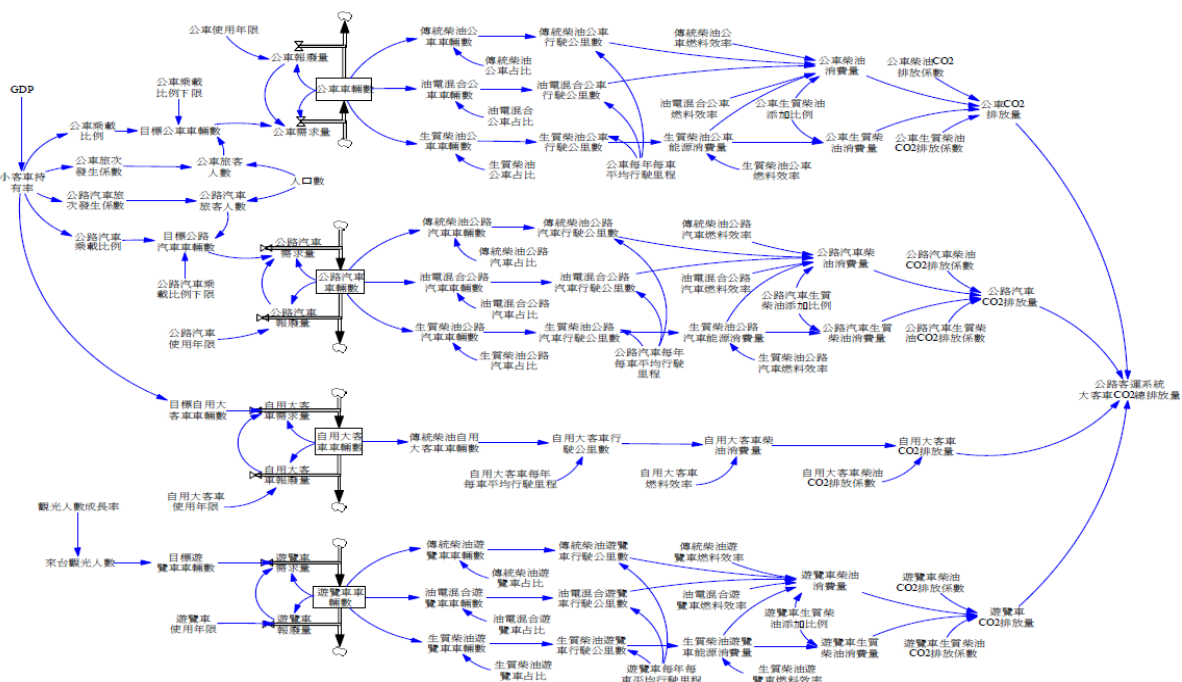
有關公路客運大客車系統動態模型可彙整如圖 13 所示，大客車能源消費及二氧化碳排放系統動態模型主要考量小客車持有率排擠大客車車

輛數之影響、觀光人數對遊覽車車輛數之影響、不同燃料類型大客車車輛占比，大客車行駛里程、不同燃料類型大客車能源效率，不同燃料二氧化碳排放係數等因素，探討公路客運大客車能源消費量及二氧化碳排放量之變化，其中將大客車分為公共汽車(City bus)、公路汽車(highway bus)、自用大客車及遊覽車 4 種類型，將該 4 類型之大客車車輛數設定為存量，並分別受到需求量及報廢量影響，公共汽車及公路汽車需求量受到 GDP、小客車持有率、人口數、旅客人數及車輛乘載率等影響，自用大客車受到 GDP 及小客車持有率影響，遊覽車需求量則受到觀光人數影響，大客車報廢量之影響變數為大客車使用年限。



資料來源：張四立(2009) [2.3.14]。

圖 12 小客車及機車能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

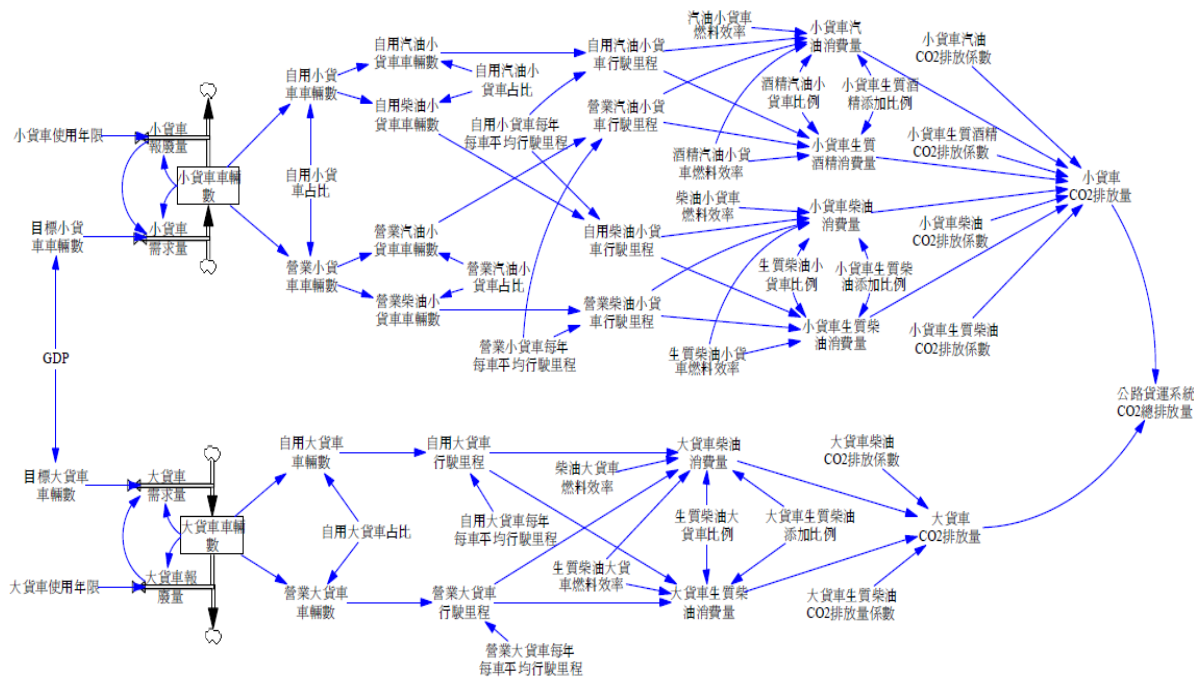


資料來源：張四立(2009) [2.3.14]。

圖 13 小客車及機車能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

③公路貨運能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

有關公路貨運能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型可彙整如圖 14 所示，主要考量小貨車及大貨車車輛數、不同燃料類型之車輛占比、車輛行駛里程數、不同燃料類型車輛能源效率、不同燃料類型之二氧化碳排放係數等因素，探討公路貨運能源消費量及二氧化碳排放量之變化，以小貨車及大貨車車輛數設定為存量，受到每年小貨車及大貨車需求量與報廢量影響，小貨車及大貨車需求量的影響變數為 GDP，小貨車及大貨車報廢量影響變數為小貨車及大貨車使用年限。



資料來源：張四立(2009)^[2.3.14]。

圖 14 公路貨運能源消費及二氧化碳排放系統動態子模型

在模擬情境方面，此研究考量運輸部門未來在運載具的能源效率、替代能源技術及燃料價格等面向，設定 7 種政策模擬情境，分析不同的節能減碳方案對燃料需求及二氧化碳排放量之影響，個別情境之說明可彙整如表 6 所示。

而在模擬結果方面，單一情境策略以開徵能源稅可得到最佳節能及減碳效果，其次為提升新車燃料效率情境，但兩者在 2020 年之能源消費量及 CO₂ 排放量皆無法回歸到 2005 年水準。情境依節能減碳成效高低，依序為情境 4(開徵能源稅)、情境 1(提升新車燃料效率)、情境 3(發展低耗能

及替代能源運具(加強成長)及情境 2 (發展低耗能及替代能源運具(一般成長))。

表 6 系統動態模型政策模擬情境說明

情境別	特 色	說 明
基本 情境	個燃料運具比例分配	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 油電混合小客車約占整體小客車數量 0.02%，假設未來至 2020 年油電混合小客車占比皆不變。 ◇ LPG 車小客車占比方面，2005 年至 2008 年依實際 LPG 車數量及占比設定，及假設未來年 LPG 車站比皆維持在 2008 年水準。 ◇ 酒精汽油車級生質柴油方面，各車種皆假設無推廣使用。
	行駛里程數及燃料效率假設	◇ 假設未來年(2009 年至 2020 年)各類運具行駛里程數皆不變，及燃料效率亦無提升改變。
情境 1	提升新車燃料效率	◇ 車燃料效率至 2015 年較 2005 年燃料效率提升 20%，至 2020 年新車燃料效率較 2005 年燃料效率提高 30%。
情境 2	發展低耗能及替代能源運具(低度成長)	◇ 2009 年起柴油全面添加 1%生質柴油，2010 年起，添加比例將提高至 2%；生質酒精車及油電混合車採低幅度成長；LPG 小客車採高幅度成長。
情境 3	發展低耗能及替代能源運具(加速成長)	◇ 參考韓國低排放及低耗能及替代能源運具發展情境，增加生質柴油添加比例及強化油電混合車發展。
情境 4	開徵能源稅	◇ 參考行政院賦稅改革委員會，於 2009 年五月討論綠色稅制報告內容，規劃 2010 年起開徵能源稅，稅額分 10 年逐年調升，每年每公升調升 1.8 元。
情境 5	綜 合 情 境 (1+2)	◇ 提升新車燃料效率及發展低耗能與替代能源運具(低度成長)，將情境 1 與情境 2 假設條件，同時進行模擬。
情境 6	綜 合 情 境 (1+2+4)	◇ 提升新車燃料效率、發展低能耗與替代能源運具(低度成長)及開徵能源稅，將情境 1、情境 2 及情境 4 假設條件，同時進行模擬。
情境 7	綜 合 情 境 (1+3+4)	◇ 提升新車燃料效率、發展低能耗與替代能源運具(加速成長)及開徵能源稅，將情境 1、情境 3 及情境 4 假設條件，同時進行模擬。

資料來源：張四立(2009)^[2.3.14]。

而在綜合情境策略方面，依節能減碳成效高低依序為情境 7(提升新車燃料效率、發展低耗能與替代能源運具(加強成長)及開徵能源稅)；情境 6(提升新車燃料效率、發展低耗能與替代能源運具(一般成長)及開徵能源稅)；情境 5(提升新車燃料效率及發展低耗能與替代能源運具(一般成長))。此

外，推廣替代能源運具在能源分散及二氧化碳減量方面，皆有正面效果，以單一情境策略而言，情境 2 及情境 3 發展低耗能及替代燃料運具，至 2020 年情境 2 及情境 3 對汽柴油依賴度由 99.9% 分別下降至 96.6% 及 95.6%，二氧化碳減量效果，情境 2 及情境 3 與基本情境比較，減少 403,265 噸及 965,099 噸二氧化碳。

4. 因式分解模型於台灣運輸部門之應用

我國在「全國能源會議」中曾針對運輸部門之溫室氣體減量工作提出發展綠色運輸系統、紓緩汽(機)車使用與成長及提升運輸系統能源使用效率三大方向。然而目前措施之實際執行效果如何？有效減緩公路運輸部門 CO_2 排放的最適策略組合為何？以上皆為當前我國公路運輸部門溫室氣體減量工作上極為重要且值得深入探討之課題。此外，國內應用因式分解模型於能源消費或二氧化碳排放議題的研究眾多，但卻極少研究針對運輸部門的二氧化碳排放問題進行分析。基此，李正豐教授應用因式分解模型(Decomposition analysis)之對數平均數迪氏指標(LMDI)，將五個與公路運輸二氧化碳排放相關的因子對排放量變動的影響程度加以量化，藉以分析探討 1986-2006 年間影響台灣與中國大陸公路運輸二氧化碳排放的關鍵因素 [2.3.15] 。

此研究中路運之 CO_2 排放量的拆解恆等式如下：

$$Q = \sum_{i=1}^2 Q_i = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E_{tot}} \times \frac{E_{tot}}{V} \times \frac{V}{P} \times P = \sum_{i=1}^2 (c_i s_i e v P)$$

其中，

i 為燃料種類，分為液態燃料(汽油、柴油)及氣態燃料(LPG、天然氣)；

Q 為路上運輸 CO_2 總排放量，百萬噸(Mt)/年；

Q_i 為燃料 i 的 CO_2 排放量，百萬噸(Mt)/年；

E_i 為燃料 i 的消費量，千噸油當量(ktoe)/年；

E_{tot} 為路上運輸燃料總消費量，千噸油當量(ktoe)/年；

V 為車輛數數(千輛)；

P 為人口數(千人)。

使用加法型的分解方式，故路上運輸在 t_1 年至 t_2 年間的 CO_2 排放變動量(ΔQ)可分解為下列五種排放影響效應的加總

$$\Delta Q = Q^{t2} - Q^{t1} = \Delta Q_c + \Delta Q_s + \Delta Q_e + \Delta Q_v + \Delta Q_P$$

其中，

ΔQ^{t2} 為 t_2 年 CO_2 排放量，Mt；

ΔQ^{t1} 為 t_1 年 CO_2 排放量，Mt；

ΔQ_c 為 CO_2 排放係數變動之影響效應，Mt；

ΔQ_s 為燃料配比變動之影響效應，Mt；

ΔQ_e 為車均能耗變動之影響效應，Mt；

ΔQ_v 為人均車輛數變動之影響效應，Mt；

ΔQ_P 為人口數變動之影響效應，Mt。

應用對數平均數迪氏指標，可將上述式子改寫如下：

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i^{t2} - Q_i^{t1}}{\ln Q_i^{t2} - \ln Q_i^{t1}} \ln \frac{c_i^{t2}}{c_i^{t1}} + \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i^{t2} - Q_i^{t1}}{\ln Q_i^{t2} - \ln Q_i^{t1}} \ln \frac{s_i^{t2}}{s_i^{t1}} + \frac{Q^{t2} - Q^{t1}}{\ln Q^{t2} - \ln Q^{t1}} \ln \frac{e^{t2}}{e^{t1}} \\ + \frac{Q^{t2} - Q^{t1}}{\ln Q^{t2} - \ln Q^{t1}} \ln \frac{v^{t2}}{v^{t1}} + \frac{Q^{t2} - Q^{t1}}{\ln Q^{t2} - \ln Q^{t1}} \ln \frac{P^{t2}}{P^{t1}}$$

建構完上述因式分解模型後，此研究主要使用此模式探討影響我國公路運輸二氧化碳排放的關鍵因素進行分析，並與中國大陸進行比較。此研究之分析結果顯示，人均車輛數的成長為 1986-2006 年間造成台灣及中國公路運輸 CO_2 排放增加的關鍵因子，且增量效應有持續擴大的跡象；尤其是中國，此因子在 10 年間的 CO_2 增量效果由 96.56 Mt 擴增為 249.71 Mt。顯示若不採取有效對策，未來私有車輛擁有率的持續成長將對公路運輸的 CO_2 減量工作造成不利影響。

另車輛的平均能耗是主要的排放減量因子，但無論在台灣或中國大陸，減量效應均主要來自車輛結構改變，亦即機車的增加數量高於汽車所導致，而非燃料效率有顯著提升。人口成長雖對公路運輸的 CO_2 排放亦造成增量效果，但與人均車輛數產生的效應比較相對不顯著。研究結果亦顯示，排放係數及燃料配比二因子對 CO_2 排放的影響在各分析期程均不明顯，顯示以低碳燃料(如 LPG)替代高碳燃料(汽、柴油)的努力仍應仍續加強。

而由於降低人均車輛數是當前減少公路運輸部門 CO₂ 排放的重要方向；因此促進大眾運輸系統的建設與利用就是減少私人車輛使用的重要機制。因此，如何建構一個整合大眾運輸系統、自行車及其他綠色載具的運輸網路，並在便利性及搭乘成本上提供民眾足夠的誘因，將是短、中期內公路運輸能否有效節能減碳的重要關鍵。另車輛之燃料使用效率仍有極大的提升空間，故相關權責機構應更積極鼓勵並促進車輛引擎相關技術的研發，以便能較大幅度的提升車輛燃料使用效率及減少 CO₂ 排放。此外，由於目前化石燃料幾乎仍是台灣所有車輛的動力來源，故長期而言，非碳或再生能源的使用將是公路運輸部門執行 CO₂ 減量的必然選項，而相關應用技術則是兩岸政府從現階段起應積極促進發展的項目。

附錄 18

國內外 MRV 發展現況

國內外 MRV 發展現況

一、歐盟溫室氣體監測與報告機制

歐盟依據 2003/87/EC 指示，為了推動歐盟排放交易運行必須：

- 一、建立完整、一致、透明、正確監測(monitring)及申報(reporting)系統。
- 二、排放源申報量必須獲得驗證(certified)。

基於此，歐盟於 2004 制定溫室氣體監測與報告指引(Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions)^[6.1.2]。簡述其內容如下：

一、監測與報告原則

溫室氣體監測與報告應符合下列八大原則：

1. 完整性(completeness)：必須包括所有製程與燃料排放。
2. 一致性(consistency)：以相同的監測方法與資料集合與歷史結果比較(如果監測方法改變需獲得認可)。
3. 透明化(transparency)：監測資料包括假設、參考、活動強動、排放因子、氧化作用(oxidation)及轉換(conversion)因子均需填報清楚(包裝記錄、編輯與分析)，以利驗證。
4. 正確性(accuracy)：必須詳實填報排放量，且操作者必須提出合理的確認性，包括計量方式等，以說明該排放量的高度正確性。
5. 成本有效性(cost effectiveness)：監測方式除了考量正確性之外，仍需兼顧其成本有效性，換言之，除非成本過高，否則應以正確性為優先考量。
6. 具體性(materiality)：必須具體提供排放帳資料等可靠資訊。
7. 真實性(faithfulness)：真實性是排放申報查證的基礎。
8. 提升監測與申報績效：建立有效及可靠查證工具，以確保 QA(quality assurance)與 QC(quality control)及監測與申報績效。

二、溫室氣體監測

溫室氣體監測的主要工作包括：1.範圍(boundaries)界定；2.決定 GHGs 排放量；3.不確定性評估(uncertainty assessment)等。其中，不確定性評估

內容包括：1.計算(calculation)；2.衡量(measurement)；及 3.解釋不確定性現象(illustrative uncertainty figures)等。分述如下：

(一)範疇界定

應包括污染源的所有排放量如下排放：

1. 正規運行下之排放
2. 基於運輸目的之引擎燃燒排放亦應包含

(二)決定 GHGs 排放量

無論是以計算或衡量方式，均需計算：

1. CO₂ 排放
2. Non-CO₂ 排放

而影響排放量計算因子，包括：1.計算公式；2.CO₂ 移轉(transferred)；3.CO₂ 捕捉與儲存(capture and storage)；4.分析層級(tiers of approach)；5.活動資料(activity of data)；6.排放因子(emission factors)；7.氧化或轉換因子(oxidation/conversion factors)等七大項。分述如下：

1.計算公式

(1)一般性公式：

$$CO_2 = \text{排放強度} \times \text{排放係數} \times \text{氧化因子}$$

(2)燃料燃燒公式：

$$CO_2 = \text{燃料燃燒 (TJ)} \times \text{排放係數 (tCO}_2 / \text{TJ)} \times \text{氧化因子}$$

(3)製程排放公式：

$$CO_2 = \text{燃料燃燒 (t / m}^3\text{)} \times \text{排放係數 (tCO}_2 / \text{tm}^3\text{)} \times \text{轉換因子}$$

2.CO₂ 移轉

不是該設備直接排放，而是移轉至下列用途，稱為 CO₂ 移轉，包括：

- (1)碳酸飲料(carbonation of beverages)
- (2)乾冰冷卻
- (3)冷凍或實驗室氣體
- (4)食品或化學溶劑
- (5)紙漿與化學產業之尿素或碳酸
- (6)出口燃料的一部分

3.CO₂ 捕捉與儲存

CO₂ 捕捉與儲存需從排放帳中扣除。

4.分析層級

詳細記錄下列變數之特定方法：

- (1)活動強度
- (2)排放因子
- (3)氧化因子
- (4)轉化因子

5.活動強度

活動強度資料(以淨熱值(TJ)、重量(t)或體積(m³)包括：

- (1)物質流
- (2)燃料消費
- (3)投入物質或產出之能源含量

活動強度以存貨變動表示，其計算公式如下：

$$C = P + (S - E) - O$$

其中，C：申報量；P：購買量；S：期初存量；M：期末存量；O：其他用途使用量(如運輸或轉售)。

6.排放因子

排放因子的型態如下：

- (1)燃燒排放：tCO₂/淨熱值(TJ)
- (2)製程排放：tCO₂/重量(t)或體積(m³)
- (3)生質能(biomass)的排放因子可設定為 0

7.氧化/轉換因子

氧化/轉換因子的型態如下：

- (1)依據燃料含碳比例制定氧化/轉換因子；
- (2)如果使用多種燃料必須決定一個總合的氧化/轉換因子

三、溫室氣體報告

申報資料應包括下列資訊：

1. 設備資本資料

2. 所有排放源總排放量、衡量方式(測量或計算)、活動強度、排放因子、及氧化或轉換因子等資料
3. 期程永久或暫時性改變，改變原因以期始或終期日
4. 任何設備改變導致排放量改變均應填報

下列資訊雖然不用申報，但需附註：

1. 生質能燃料量(TJ)或改變製程(t or m³)
2. 生質能 CO₂ 排放量(tCO₂)
3. 設備產生之 CO₂ 移轉量(tCO₂)

二、國際 MRV 制度發展

為確實掌握部門溫室氣體減排績效，近年來，聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC) 為確認國際減排狀態，以及建立排放盤查(emissions inventories)與國家通訊(national communication)的有效利用，積極推動 MRV(MEASUREMENT, REPORTING AND VERIFICATION)制度，並規劃制定相關指引(guideline)，建立全球統一的溫室氣體排放與減排的計算標準。

日本全球環境策略研究院 Institute for Global Environmental Strategies (IGES, 2010) [6.1.3]，提出一份結合國家適當減緩行動(National Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)與 MRV 的最新報告，提供全球參考，本小節簡述 MRV 的基本觀念與操作，提供未來運輸部門減排行動成效之估算、檢核、成本效益分析與模式驗證之參考。

一、建立 MRV 制度之目的

1. 受到公約要求：非附件一國家接受國外資金推動 NAMAs，必須符合國際 MRV 制度
2. 查驗 NAMAs 減排目標的落實程度
3. 奠立減排額度參與國際碳交易的基礎
4. 透明化非附件一國家的排放資料，確認全球減排績效進展

二、附件一與非附件一國家 MRV 制度差異

附件一國家 MRV 制度的內容：

1. 國家溫室氣體盤查估算
2. 瞭解減量目標進展最新現狀
3. 估算減排政策之減排量
4. 瞭解減量方法學與假設
5. 掌握對非附件一國家之財務與能力建設協助之現狀
6. 掌握排放交易與其他京都機制抵換現狀

非附件一國家 MRV 制度的內容：

1. 國家溫室氣體盤查估算
2. 估算減排政策之減排量
3. 瞭解減量方法學與假設
4. 未受協助之國內減排行動績效查證
5. 瞭解低碳排放發展策略之績效
6. BAU 方法學使用計算
7. 掌握排放交易活動的現狀

有關附件一與非附件一國家 MRV 內容之差異性比較彙整如表 6.1-3 所示：

表 6.1-3 附件一與非附件一國家之 MRV 內容差異性比較

Developed countries	Developing countries	
<ul style="list-style-type: none"> Emissions inventories Status of progress toward achieving targets Estimated reduction through implementation of policies Methodologies used and assumptions made in calculating reductions State of affairs of support (financial, technology, capacity-building) State of emissions trading activities or other offsets 	<ul style="list-style-type: none"> Emissions inventories Status of implementation of policies and estimated reductions resulting Methodologies used and assumptions made in calculating reductions Result of domestic verification of unsupported actions (low-emissions development strategy) (Methodologies used for calculation of BAU) (State of emissions trading activities) 	<p>排放盤查</p> <p>政策執行與減排量</p> <p>減排量估算之方法學與假設</p> <p>未受協助行動之國內查證結果</p> <p>低排放發展策略</p> <p>BAU方法學</p> <p>排放交易現狀</p>

資料來源：IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV)^[6.1.3]

三、MRV 執行情序

圖 6.1-1 以國家減量目標執行為例，呈現 MRV 標準作業程序與步驟如下：

1. 測量階段：

步驟一：提出國家減排績效初步報告

步驟二：接受專家委員會的審查與評鑑

2. 報告階段

步驟三：提交評鑑報告草案給國家諮詢機構

3. 查證階段

步驟四：向大眾揭示評估結果



資料來源：IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV) ^[6.1.3]

圖 6.1-1 MRV 標準執行程序

四、NAMAs 與 MRV 之關係

MRV 主要運用於 NAMAs，易言之，針對 NAMAs 之減排目標與減排行動的執行必須建立 MRV 制度。首先必須估算其國內氣候政策的減排量，並將此結果，經由國際諮詢機構進行分析(International Consultant and Analysis, ICA)，詳細內容見表 6.1-4。

表 6.1-4 NAMAs 與 MRV 之關係

Mitigation Target	Mitigation Actions	Reviewing Measures	International Review
Copenhagen Pledge “India will Endeavour to reduce the emissions intensity of its GDP by 20-25% by 2020 in comparison to the 2005 level”	<p>Actions planned under National Action Plans for Climate Change</p> <p>Action Planned under Post Copenhagen Domestic Actions</p> <p>State action plans on Climate Change</p>	Domestic monitoring and evaluation of voluntary climate change action plans	<p>Mitigation actions/its operation will be communicated through NATCOMs</p> <p>International Consultation and Analyses (IC&A) (international consultation and analysis under clearly defined guidelines that ensures sovereignty is respected)</p>

資料來源：IGES (2010), Measurable, Reportable and Verifiable (MRV)^[6.1.3]

五、德國溫室氣體減排 MRV 制度

德國溫室氣體排放之 MRV 管理系統簡述如下：

1. 監測系統

德國溫室氣體監測系統的利害關係人包括排放源、地方環保局、國家監測機構、及聯邦環保署等四個單位。以下簡述其程序如下：

- (1)排放源之溫室氣體排放必須向德國地方環保局申報其排放量
- (2)地方環保局認可其排放量
- (3)聯邦環保署授權國家監測機構
- (4)國家監測機構制定監測標準
- (5)地方環保局提交資料至國家排放監測機構審查

彙整上述流程如圖 6.1-2 所示。

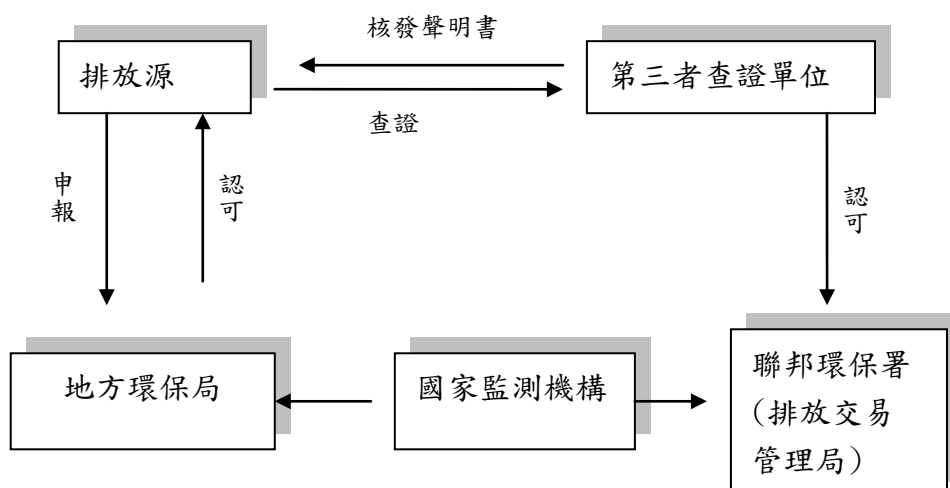


圖 6.1-2 德國溫室氣體排放管理之 MRV 架構

2. 申報與查證系統

德國溫室氣體監測系統的利害關係人包括排放源、地方環保局、第三者查證單位、及聯邦環保署等四個單位。以下簡述其程序如下：

- (1) 排放源之溫室氣體排放申請第三者查證
 - (2) 第三者查證單位依據聯繫環保署制定的國家監測計畫查證其排放量，並核發查證聲明書
 - (3) 第三者查證單位向聯邦環保署申請登錄
 - (4) 排放源取得查證聲明書，向地方環保局申報
- 彙整上述流程如圖 6.1-2 所示。

三、我國環保署溫室氣體 MRV 制度

一、溫室氣體盤查及登錄管理原則

環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體盤查及登錄管理原則」^[6.1.4] (簡稱盤查與登錄管理原則)¹，奠立我國溫室氣體管理的可量測、可報告與可查證之三可制度 (Measureable, Reportable, and Verifiable, MRV)。盤查與登錄管理原則合計九點原則，完整內容如下：

- (一) 行政院環境保護署 (以下簡稱本署) 為建立溫室氣體盤查登錄作業之一致性原則，以供環保署溫室氣體先期專案與抵換專案之申請者、承諾

進行盤查登錄之環境影響評估開發單位或自願盤查登錄者遵循，特訂定本管理原則。

(二)本管理原則之專有名詞說明如下：

1. 盤查：指彙整、計算及分析排放量或碳匯量之作業。
2. 查證：指排放量數據或溫室氣體減量(含碳匯量)數據，經查驗機構驗證之作業。
3. 登錄：指將經由查驗機構完成查證之排放量、碳匯量，登載於國家溫室氣體登錄平台之作業。
4. 溫室氣體排放源(以下簡稱排放源)：指直接或間接排放溫室氣體至大氣中之設施、單元或程序。
5. 溫室氣體：指二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)及六氟化硫(SF₆)及其他經中央主管機關公告者。但不包含已納入蒙特婁議定書規範之氫氟碳化物。
6. 溫暖化潛勢：以單一二氧化碳質量單位產生之輻射衝擊為基準，在一段期間內單一溫室氣體質量單位所產生之輻射衝擊相對於二氧化碳之當量倍數。
7. 溫室氣體排放量(以下簡稱排放量)：指自排放源排出之各種溫室氣體量乘以各該物質溫暖化潛勢加總所得之合計量，以二氧化碳當量表示。
8. 碳匯量：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除之數量，扣除固定或封存於碳匯過程中所產生之排放量及一定期間後再排放至大氣之數量後，所得到固定或封存之溫室氣體排放量淨值。
9. 盤查邊界：指盤查排放量及碳匯量所屬排放源之地理範圍，並將溫室氣體排放及碳匯量分類為直接排放、能源利用間接排放及其他間接排放。
10. 營運控制權法：指依具有實質營運管理權力者之管理範圍，進行排放源溫室氣體排放量及碳匯量盤查邊界劃分之法。
11. 排放範疇：指依溫室氣體排放來源劃分之三大類溫室氣體排放範疇，範疇一係指來自於製程或設施之直接排放；範疇二係指來自於外購

電力、熱或蒸汽之能源利用間接排放；範疇三係指非屬自有或可支配控制之排放源所產生之排放，如因租賃、委外業務、員工通勤等造成之其他間接排放。

(三)環保署對符合下列情形進行之盤查登錄者，得依本管理原則辦理登錄資料審查：

1. 依行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則規定，申請減量額度者。
2. 環境影響評估案件之開發單位承諾進行溫室氣體盤查登錄者。
3. 參加政府機關推動之產業溫室氣體盤查登錄者。
4. 其他自願辦理盤查登錄者。

其他自願進行盤查作業，得參考本管理原則進行盤查。

(四)環保署審查前點登錄資料之原則如下：

1. 依中華民國國家標準 CNS 14064-1「組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告附指引之規範」、溫室氣體盤查與登錄指引及其他環保署指定方式進行盤查，並完成溫室氣體盤查報告書(以下簡稱盤查報告書)及排放量清冊。
2. 前款盤查報告書及排放量清冊，應由環保署審查通過之查驗機構查證，並取得查證聲明書。
3. 依環保署登錄規定於國家溫室氣體登錄平台登錄其排放量清冊，並上傳盤查報告書及查證聲明書。

(五)環保署審查前點盤查報告書時，應注意該報告書內容已載明及確認下列事項：

1. 編製目的。
2. 盤查年度。
3. 盤查邊界須位於我國境內，且其邊界係依營運控制權法設定，並據以彙總數據。
4. 量化方法及其選用原因。
5. 排除門檻所排除量化之排放源及排除原因。
6. 盤查邊界、量化方法及基準年之變更說明。

7. 排放量計算相關數據之不確定性分析。
8. 盤查年度期間完整之操作數據佐證文件。
9. 其他環保署指定之項目。

環保署審查前點排放量清冊時，應確認其已載明排放源之基本資料、排放範疇完整涵蓋範疇一及範疇二並定性描述範疇三、排放來源型式、溫室氣體種類、原(物)料、燃料活動數據、排放係數及年排放量統計結果。

(六)經環保署審查登錄資料有不合規定或內容有欠缺者，應通知登錄者限期補正。屆期未補正或補正未符規定者，視為未完成登錄作業；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過六十日。

(七)環保署審查登錄者所提資料，為其明知不實之事項而提出，或其登錄文書為虛偽記載者，依刑法相關規定辦理。

(八)環保署審查本管理原則發布前已完成盤查之登錄資料，應注意下列事項：

1. 登錄資料未經環保署審查通過之查驗機構完成查證者，應於本管理原則發布後由環保署審查通過之查驗機構補查證。
2. 執行補查證應依環保署溫室氣體查驗指引為之。

未補查證或補查證未符規定者，視為未完成登錄作業。

(九)經環保署審查完成之登錄資料，其登錄者應自取得查證聲明書之日起十年內，保存盤查報告書及排放量清冊相關之數據及佐證文件。

二、溫室氣體先期與抵換專案推動原則

環保署於 2010 年 9 月 10 日公告「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」^[6.1.5] (簡稱推動原則)²，促進我國溫室氣體減量誘因，以及與國際接軌之計畫型減碳計畫額度創造。先期與抵換專案推動原則合計九點原則，簡述內容如下：

(一)行政院環境保護署(以下簡稱環保署)為鼓勵溫室氣體排放源(以下簡稱排放源)執行溫室氣體減量，並建立減量成效認定及減量額度核發之一致性原則，特訂定本推動原則。

(二)本推動原則之專有名詞，定義如下：

1. 溫室氣體：指二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)及其他經環保署公告者。但不包含已納入蒙特婁議定書規範之氫氟碳化物。
2. 溫室氣體排放源：指直接或間接排放溫室氣體至大氣中之設施、單元或程序。
3. 溫暖化潛勢：以單一二氧化碳質量單位產生之輻射衝擊為基準，在一段期間內單一溫室氣體質量單位所產生之輻射衝擊相對於二氧化碳之當量倍數。
4. 溫室氣體排放量(以下簡稱排放量)：指自排放源排出之各種溫室氣體量乘以各該物質溫暖化潛勢加總所得之合計量，以二氧化碳當量表示。
5. 公告排放強度：指環保署依行業別業者提供排放資料及國際資訊，公告單一排放源、單位原(物)料、燃料、產品或其他之溫室氣體排放量，係為適用先期專案之認定基準。
6. 先期專案：指自中華民國八十九年一月一日起至溫室氣體減量法施行前，排放源之排放強度優於環保署公告排放強度或環境影響評估書件承諾事項及審查結論要求之排放強度，經申請者提出減量專案，其執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案。
7. 抵換專案：指申請者依環保署認可之減量方法提出專案計畫書，其計畫書內容經中央目的事業主管機關審議及查驗機構確證並向環保署註冊後，執行減量實績經查驗機構查證及環保署審查通過核發減量額度之專案。其中申請者整合管理多個減量子專案者，為方案型抵換專案。
8. 計入期：指於執行抵換專案，可取得減量額度計算之期間。
9. 外加性分析：指依環保署認可減量方法評估該減量作為非法規所規定，且非技術普遍性或不具投資效益所做之分析，以確認抵換專案係為溫室氣體減量目的而執行。
10. 活動強度：指產品產量或原(物)料、燃料、能源使用量或購買量等。

11. 洩漏：指因執行先期專案或抵換專案，造成減量專案執行範圍外之溫室氣體增量情形。

12. 登錄：指將經由查驗機構完成查證之排放量或碳匯量，登載於國家溫室氣體登錄平台(以下簡稱國家登錄平台)之作業。

13. 排放密集度：指單廠所有產品單位產值之溫室氣體排放量。

(三)環保署對符合本推動原則執行溫室氣體排放減量者，得受理其先期專案或抵換專案之申請。但於本推動原則發布前執行溫室氣體排放減量者，應符合下列情形之一：

1. 參與政府之減量協議、輔導、補助專案或節能減碳計畫者。
2. 產業公(協)會，取得所屬會員廠商之委託，且曾參與政府之減量協議、輔導、補助專案或節能減碳計畫者。
3. 屬環境影響評估案件之溫室氣體減量抵換需求者。
4. 屬環境影響評估案件之溫室氣體減量抵換提供者。

(四)環保署受理先期專案或抵換專案之申請，應確認符合下列規定：

1. 先期專案申請者，為排放源之所有人、使用人、管理人或受其委託之產業公(協)會；抵換專案申請者為專案實際執行者或投資者。
2. 先期專案或抵換專案申請者，曾將全廠(場)排放量上傳於國家登錄平台。但於申請抵換專案無排放源者不需上傳。屬產業公(協)會申請者，其委託之全部會員廠商曾將全廠(場)排放量分別上傳於國家登錄平台。
3. 先期專案之申請者，應於環保署研訂公告排放強度時，提供其排放強度資料，且其排放強度應優於環保署公告排放強度。

申請者得同時提出先期專案及抵換專案之申請。但同一排放源之減量計算不得重複。

第一項第三款公告排放強度由環保署會商中央目的事業主管機關定之。

(五)環保署受理先期專案之申請，應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。

2. 國家登錄平台完成盤查登錄之證明文件、減量額度之帳戶證明文件或帳戶申請表。
3. 符合第三點推動原則發布前已執行溫室氣體排放減量者，應檢附下列證明文件之一：
 - (1)參與政府減量計畫、協議或備忘錄證明。
 - (2)參與政府輔導或補助之核可函及紀錄。
 - (3)已通過之環境影響說明書或評估書、減量抵換合作契約。
 - (4)其他環保署指定文件。
4. 先期專案報告書；其內容應包含：申請者基本資料、邊界設定、減量措施、額度計算期間之活動強度、排放係數、排放強度、全廠(場)及專案之溫室氣體排放量及排放減量計算說明等。
5. 由環保署審查通過之查驗機構所出具之先期專案查證總結報告及全廠(場)排放量查證總結報告。
6. 其他經環保署指定文件。

前項第四款排放減量計算說明之計算公式如下：

$$ER = \sum_{n=x}^y O_n \times [EI_r - EI_n]$$

ER：排放減量。當公告排放強度與申請年度實際排放強度之差值為負值時，該年度之排放減量為零。

n：專案執行期間，起始年為 x，截止年為 y。

O：產品、原(物)料、燃料、能源或其他之活動強度。

EI_r：適用之公告排放強度。但法規規定或環境影響評估書件承諾事項及審查結論之要求，優於公告排放強度時，應以其為計算基準。

EI：申請者排放源之實際排放強度。

(六)環保署除應確認產業公(協)會申請者依前點規定辦理外，並應確認其依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 授權書。
2. 公(協)會與會員廠商之權利與義務聲明書；其內容應包括雙方權利與義務、減量額度之分配及爭議處理。

3. 公(協)會減量額度之帳戶證明文件或帳戶申請表。
4. 其他經環保署指定文件。

七、環保署審查先期專案之原則如下：

1. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應合理。
2. 減少或移除溫室氣體排放之技術或措施應優於法規規定、環境影響評估書件承諾事項及審查結論。
3. 溫室氣體減量或移除之成效，非因排放源所有權轉移、停工、歇業或中間產品外購等造成，且無洩漏風險。
4. 佐證文件足資證明排放強度計算之真實性及正確性。
5. 減量額度不得重複核發。

(八)環保署受理先期專案申請後，應於三十日內完成書面審查，並做成核定減量額度或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

先期專案之申請經審查符合規定者，應核定減量額度及其編碼，並於審查通過七日內核發於國家登錄平台申請者帳戶。但產業公(協)會申請者經審查通過後，應依環保署通知核定之減量額度確認其分配方式，環保署於接獲減量額度分配方式七日內，據以核發於國家登錄平台申請者帳戶。

第一項之申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

(九)環保署受理抵換專案計畫書之申請，除應依專案類型轉送中央目的事業主管機關審議外，並應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。
2. 符合第三點推動原則發布前已執行溫室氣體排放減量者，應檢附下列證明文件之一：

- (1)參與政府減量計畫、協議或備忘錄證明。
- (2)參與政府輔導或補助之核可函及紀錄。
- (3)已通過之環境影響說明書或評估書、減量抵換合作契約。

(4)其他環保署指定文件。

3. 抵換專案計畫書；其內容應包含：減量方法描述及應用說明、基線計算方法、外加性分析、減量或移除量計算說明、監測方法描述、專案活動期程描述、環境衝擊分析及公眾意見描述等。但方案型抵換專案申請者除檢附方案型抵換專案計畫書外，另應檢附一件以上之子專案計畫書。
4. 其他經環保署指定文件。

前項抵換專案計畫書之註冊申請，非經中央目的事業主管機關審議通過，環保署不予受理。環保署受理註冊申請時應確認申請者依指定格式檢附下列文件：

- (1)申請書。
- (2)減量額度帳戶證明文件或帳戶申請表。
- (3)計畫書經中央目的事業主管機關審議通過之證明文件。
- (4)由環保署審查通過之查驗機構所出具之確證總結報告。
- (5)確證通過後之抵換專案計畫書。
- (6)確證通過後之抵換專案計畫書已上傳於國家登錄平台之證明文件。
- (7)其他經環保署指定文件。

(十)環保署審查抵換專案計畫書註冊之原則如下：

1. 引用之方法應符合下列規定之一：
 - (1)聯合國清潔發展機制執行委員會認可之減量方法。
 - (2)經中央目的事業主管機關審議通過並經環保署認可之減量方法。
 - (3)其他環保署認可之減量方法。
2. 抵換專案計畫書應經中央目的事業主管機關審議通過。
3. 抵換專案應具備外加性分析。
4. 屬能源類型專案者，其單一計入期產生之總減量額度應大於五百公噸二氧化碳當量。
5. 屬林業類型專案者，其植林之毗連面積應大於零點五公頃。

6. 專案之計入期符合下列規定：

(1)屬林業類型專案者：

A.展延型：以二十年為限，至多可展延兩次。每次計入期之展延申請應符合第九點及第十點之規定。

B.固定型：以三十年為限，不得展延。

(2)非屬林業類型專案者

A.展延型：以七年為限，至多可展延兩次。每次計入期之展延申請應符合第九點及第十點之規定。

B.固定型：以十年為限，不得展延。

7. 專案類型非屬核能發電。

(十一)環保署受理方案型抵換專案計畫書註冊申請，除依前點原則審查外，並應符合下列規定：

1. 屬林業類型之方案型抵換專案執行期間以六十年為限，非林業類型者以二十八年為限。
2. 方案型抵換專案於專案執行期間內，得新增子專案，且子專案之新增次數，不予限制。
3. 子專案新增後，應經環保署審查通過之查驗機構確認，且其所有子專案之減量方法或減量方法組合，應與註冊之方案型抵換專案計畫書所提內容一致，並符合其所載之子專案新增條件。
4. 申請者應將方案型抵換專案及其子專案之計畫書上傳至國家登錄平台。
5. 每項子專案僅屬一個方案型抵換專案，且不得重複申請。

已執行之方案型抵換專案，經環保署查核認定其子專案有不適用該方案型抵換專案之情形者，應移除該子專案，且不再受理該子專案之任何申請。

(十二)環保署受理抵換專案計畫書之註冊申請後，應於二十日內完成書面審查，並做成完成註冊或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

抵換專案計畫書之註冊申請經審查符合規定者，應完成註冊並於審查通過七日內通知申請者。

第一項之註冊申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

(十三)環保署審查通過前點抵換專案計畫書之註冊申請後，於受理抵換專案額度申請時，應確認申請者依環保署指定格式檢附下列文件：

1. 申請書。
2. 監測報告書；其內容應包含：減量執行單位基本資料、監測成果描述、數據品質及實際減量成果等。
3. 由環保署審查通過查驗機構出具之查證總結報告。
4. 抵換專案參與者之權利與義務聲明書；其內容應包含：各個參與者之權利與義務、減量額度之分配及爭議處理等。
5. 其他經環保署指定文件。

(十四)環保署審查抵換專案額度之原則如下：

1. 抵換專案之計入期，不得先於環保署完成專案註冊之日期。但抵換專案於本推動原則發布前，經政府機關輔導或補助者，依其計畫書通過確證之計入期起算。
2. 減量額度之計算，應依據抵換專案計畫書之減量方法，並採合理保守的假設、數值及程序。
3. 溫室氣體減量或移除量不得重複計算。
4. 抵換專案之確證及查證作業，應由不同查驗機構執行。但適用聯合國清潔發展機制執行委員會之小規模減量方法者，不在此限。
5. 查證總結報告及監測報告書之專案活動或設施，應與於環保署註冊之抵換專案計畫書相符。
6. 溫室氣體減量或移除之成效，應具有持續性且無洩漏之風險。
7. 監測報告書之減量成果高於抵換專案計畫書計算結果時，應提出合理之說明與文件。
8. 減量額度不得重複核發。

(十五)環保署受理抵換專案之額度申請，應於五十日內完成書面審查，並做成核定減量額度或駁回之決定；必要時，得辦理現場勘查。現場勘查期間不計入書面審查期間。

抵換專案之額度申請經審查符合規定者，應核定減量額度及其編碼，並通知申請者確認其分配方式，環保署於接獲減量額度分配方式七日內，據以核發於國家登錄平台申請者帳戶。

第一項之額度申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請；補正日數不計入審查期間。但補正總日數不得超過九十日。

第八點第二項及本點第二項之減量額度編碼規則，由環保署另定之。

(十六)先期專案申請者於環保署訂定公告排放強度時所提資訊不符環保署規定或虛偽不實，致影響公告排放強度數值者，環保署得修正公告排放強度，並對修正前已核發之減量額度重新核計。不足者，予以補發；溢發者，通知繳回。

環保署審查先期專案及抵換專案申請者所提資料，為其明知不實之事項而提出，或其申請文書為虛偽記載者，依刑法相關規定辦理。

(十七)環保署核發減量額度之用途如下：

1. 環境影響評估案件開發單位溫室氣體減量承諾之抵換。
2. 國內排放源自願減量之抵換。
3. 其他經環保署認可之用途。

前項減量額度之抵換，為同額抵換。但環境影響評估案件審查結論有特別要求者，應依其規定辦理。溫室氣體減量法施行後，應依該法相關規範辦理。

(十八)環保署得視先期專案及抵換專案申請者全廠(場)排放量登錄於國家登錄平台情形或排放密集度改善情形，核發獎勵減量額度。

三、溫室氣體減量額度帳戶管理要點草案

行政院環境保護署為推動我國產業溫室氣體自願減量作業，業已於2010年9月10日發布「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」(以下簡稱推動原則)，依推動原則第八點及第十五點規定，溫室氣體減量專案經環保署審查通過者，將核發溫室氣體減量額度於國家溫室氣體登錄平台申請者帳戶，為明定溫室氣體減量額度帳戶(以下簡稱帳戶)開立、關閉、轉讓及註銷等相關管理事項，爰訂定「行政院環境保護署溫室氣體減量額度帳戶管理要點」草案(2011/04/18)^[6.1.6]，共計十三點，其要點如下：

(一)行政院環境保護署(以下簡稱環保署)為使「國家溫室氣體登錄平台」(以下簡稱國家登錄平台)溫室氣體減量額度帳戶(以下簡稱帳戶)之申請、審查相關程序有一致性之規範，特訂定本管理要點。

(二)本要點專有名詞定義如下：

1. 溫室氣體減量額度帳戶：指環保署提供作為溫室氣體減量額度(以下簡稱減量額度)存放、轉讓或註銷等作業紀錄之遵循帳戶。
2. 帳戶持有者(以下簡稱持有者)：指於國家登錄平台開立溫室氣體減量額度帳戶，經環保署審查認可後取得帳戶者。
3. 電子憑證：指透過晶片卡或其他憑證載具，由憑證發行機構以數位簽章簽署之資料訊息，用以確認持有者身分之數位式證明。
4. 異動：指基本資料、指定帳戶操作代表人、指定電子訊息傳遞之電子郵件地址或公(協)會會員名冊等變更之情形。
5. 凍結：指暫停帳戶內減量額度之轉讓及註銷等作業。
6. 關閉：指終止帳戶之使用，包含減量額度之存放、轉讓及註銷等作業。
7. 轉讓：指減量額度依持有者申請之數量或條件，自該持有者帳戶轉出，並轉入其他持有者帳戶之情形。
8. 註銷：指為持有者之抵換或其他需求，將減量額度依持有者申請之數量或條件，自持有者帳戶轉出，並轉入環保署註銷帳戶之情形。

(三)持有者於國家登錄平台使用帳戶，應以其指定之工商憑證或自然人憑證為其電子憑證之識別依據。

(四) 環保署受理帳戶開立申請，應確認屬「行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則」(以下簡稱推動原則)規定之專案申請者，始得同意其於國家登錄平台開立帳戶。每一公司法人僅得開立一帳戶

(五) 環保署受理帳戶開立申請時，應審查申請者依下列規定檢附資料及文件：

1. 帳戶開立申請表。
2. 負責人及帳戶指定操作代表人身分證正反面影本。
3. 指定電子憑證種類。
4. 帳戶開立切結書。
5. 帳戶使用約定書。
6. 申請或持有減量額度之證明文件影本。
7. 屬公司行號者，應檢附目的事業主管機關核准設立、登記或營運之相關證明文件影本；屬公(協)會者，應檢附目的事業主管機關核准設立、登記之相關證明文件影本及公(協)會會員名冊。
8. 其他經環保署指定之文件。

前項資料有異動，持有者應即檢附下列規定資料及文件，向環保署申請異動：

1. 帳戶異動申請表。
2. 異動項目更新之資料及文件。

(六) 環保署受理帳戶開立或異動申請後，應於十四日內完成書面審查，做成同意或駁回之決定。其為同意申請者開立帳戶，環保署應依帳號編碼方式，核發申請者帳戶帳號。

前項申請，經審查不合規定或內容有欠缺者，環保署應即通知申請者限期補正，屆期未補正或補正未符規定者，駁回申請。補正日數不算入審查期間，且補正總日數不得超過十四日。

(七) 環保署受理減量額度轉讓申請，應確認減量額度轉讓人依下列規定檢附資料及文件，環保署於受理申請日起十日內，將減量額度自轉讓人帳戶轉至受讓人帳戶，並以電子郵件通知至該持有者指定之電子郵件地址：

1. 申請表。

2. 轉讓人及受讓人雙方具名之減量額度轉讓證明。

註銷申請者僅須檢附前項第一款申請表，環保署於受理申請日起十日內，將減量額度自轉讓人帳戶轉至環保署註銷帳戶。

(八)於環保署指定溫室氣體減量額度交易平台完成交易，且經交易平台提出減量額度之轉讓通知者，環保署依轉讓通知將減量額度自轉讓人帳戶轉至受讓人帳戶，並以電子郵件通知至該持有者指定之電子郵件地址。

同一持有者有兩件以上減量額度同時申請轉讓時，依環保署受理之先後順序辦理。

(九)環保署管理帳戶定期以電子郵件提供持有者帳戶對帳資料，不另提供書面資料。如有不符，持有者應通知環保署查明；因國家登錄平台系統維修、軟硬體設備更換、搬遷或其他不可抗力等事由，致資料遺失或毀損時，亦同。

(十)環保署受理持有者申請帳戶關閉時，應確認持有者提出減量額度帳戶關閉申請表及該帳戶已無減量額度，並於十日內以電子郵件通知持有者。

(十一)持有者有不當操作系統、破壞國家登錄平台或其他影響國家登錄平台運作之重大情事者，環保署得凍結該持有者之帳戶，並通知該持有者。持有者得於收到通知後七日內提出說明或改善，經環保署確認後得解除帳戶之凍結。

(十二)依第五點、第七點或第十點提出之資料及文件，明知不實之事項而提出，或其申請文書為虛偽記載者，依刑法相關規定辦理。環保署因業者提供不實資訊、操作不當或逾越本要點規範所生之損害，不負賠償責任。

(十三)國家登錄平台帳戶查詢功能為全日二十四小時，額度轉讓及註銷作業則以國定上班時間為準。但因國家登錄平台系統維修、軟硬體設備更換、搬遷或發生其他特殊情形者，環保署得另行於國家登錄平台公告開放作業時間。

綜上所述，本計畫目前已蒐集 IPCC 有關溫室氣體盤查的最佳作法、歐盟溫室氣體排放監測與報告制度、UNFCCC 之 MRV 制度發展及環保署

建立有關溫室氣體盤查與帳戶管理制度，故已針對MRV制度建立之目的、MRV執行程序等相關國內外資訊進行詳細蒐集與彙整。後續計畫工作依據全球MRV制度的最新發展趨勢及國內相關部門之作法，建立「運輸部門」與國際相容且與國內部門相連結的MRV制度。

附錄 19

簡報資料

交通部運輸研究所

運輸部門能源消耗與溫室 氣體減量評估模型之建立

中華民國100年12月14日

大綱



- 本年度工作項目與完成狀況
- 運輸部門溫室氣體減量策略
- 運輸部門溫室氣體減量評估模型
- 提升公共運輸案例分析
- 模型後續研究議題建議

本年度工作項目與完成狀況

1. 文獻蒐集與回顧

1. 文獻蒐集回顧

第2章

- ✓彙整全球運輸部門能源消費與溫室氣體排放概況；
- ✓彙整國內外運輸部門節能減碳政策；
- ✓探討國內外運輸部門模型相關研究成果，包括國際著名的NEMS模型、EPPA/MARKAL模型、因式分解模型、CGE模型，以及國內之車輛使用與能源消耗、污染排放之整合模式、MARKAL與TIMES能源工程模型、系統動態模型與因式分解模型。

主要結論

- 運輸部門節能減碳政策可概分為四類：
 - 傳統汽柴油車輛燃油效率改善；
 - 潔淨替代燃料車輛發展應用；
 - 交通運輸管理相關措施；
 - 經濟工具與財政手段運用。
- 模型定位在發揮同時評估運輸部門內、外部政策功能下，應包含能表現運輸部門行為及運輸部門與其他部門關聯之CGE模型，同時視評估所需，運用其他方法輔助評估。

2.運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置(1/2)



1. 運輸部門CGE模型建置

第3章

- ✓完成運輸部門CGE數學模型建置；
- ✓完成運輸部門CGE模型程式撰寫；
- ✓完成運輸部門CGE模型基線校估；
- ✓運用輔助模型進行運量與車輛數推估；
- ✓完成能源消費預測模型推估。

主要結論

- 持續擴充運具選擇行為設定，如車輛購買、使用頻率、行駛里程等因素之決定機制；
- 納入旅行時間成本，以考量交通管理策略產生之外部效益；
- 進一步納入替代燃料運具選項，並考慮技術學習效果；
- 提升基線校估結果之合理性；
- 建立能源消費預測模型系統化推估流程，並與輔助模組加以整併。

5

2.運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之建置(2/2)



2. 模型資料庫建置

第4章

- ✓完成運輸部門CGE模型基礎資料庫建置；
- ✓完成能源消費預測模型資料庫蒐集與計算；
- ✓蒐集相關文獻彈性值，以設定運輸部門CGE模型彈性參數；
- ✓配合「運輸部門能源消耗與溫室氣體排放整合資訊平台擴充與維護」計畫，建立運輸部門減量政策評估模組系統性資料庫。

主要結論

- 後續應配合模型擴充，增建資料庫內容，包括不同所得階層之運輸相關支出、運具別旅次、平均行駛里程、運輸相關之財政收支資料等；
- 蒐集統計資料，推估運具間替代彈性；
- 彙整替代燃料運具相關研究之技術發展路徑，建立學習曲線。

6

3. 案例分析：提升公共運輸使用率



1. 評估之政策工具

第5章

- ✓ 油品市場自由化；
- ✓ 汽燃費隨油徵收；
- ✓ 公共運輸票價補貼。

主要結論

- 油價上漲可抑低整體運量與能耗量；
- 油價上漲同時增加私人運輸與公路公共運輸之使用成本，在未對公路公共運輸票價補貼情況下，難以有效提升公共運輸使用率；
- 油價上漲同時使自用小客車運量移轉至機車與公共運輸，但前者效果較大，亦限制移轉公共運輸比率；
- 汽燃費改以隨油徵收後，因消費者可藉由調整運具使用，盡可能降低燃料支出，因此對消費者福利具正面效益(相較於隨車徵收)。

7

4. 運輸部門節能減碳行動方案成效估算



1. 運輸部門MRV機制建立

第6章

- ✓ 掌握全球MRV制度的最新發展趨勢，包括IPCC溫室氣體盤查指引、歐盟溫室氣體監測與報告機制、日本全球環境策略研究院之國家適當減緩行動與MRV的最新報告；
- ✓ 彙整我國環保署溫室氣體MRV制度。

2. 節能減碳行動方案成效估算

第6章

- ✓ 整理行動方案內涵；
- ✓ 檢討公式與參數之正確性；
- ✓ 彙整並更新參數；
- ✓ 提出行動方案執行成效。

8

5. 節能減碳策略之減量成本推估(1/3)

1. 減量成本之定義與衡量指標

第7章

- ✓「成本」定義的範疇：可以是計畫層級、技術層面、部門層級、國家層級甚至是全球的減量成本；
- ✓「直接成本」與「間接成本」：依產生來源區分，前者包括資本成本、維護成本、燃料成本、以及其他操作成本，後者包括推動成本、交易成本、搜尋成本、風險與不確定性成本、附屬成本與效益與總體經濟成本等；
- ✓衡量指標：直接成本、GDP損失、邊際福利成本、影子價格。

9

5. 節能減碳策略之減量成本推估(2/3)

2. 總體經濟成本與McKinsey成本

第7章

	總體經濟成本	McKinsey成本
評估方法	由上而下評估	由下而上評估
常用模型	可計算一般均衡模型 (CGE)	麥肯錫 (McKinsey) 減量成本
評估範疇	全球(跨國)、國家、部門、產業	全球(跨國)、國家、部門、產業、廠商、計畫、技術
減量成本內涵	影子價格、GDP損失、福利損失	技術成本(投資成本、操作成本、原物料成本、節能之成本節省)
評估優勢	<ul style="list-style-type: none"> ■ 考慮經濟體系所有部門互動與回饋 ■ 強調價格因素與能源需求 ■ 可充分考慮市場與產業發展趨勢 ■ 可納入多元政策工具，包含經濟工具、財政工具、管制工具 ■ 適於評估政策效果 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過產業調查與專家判斷，蒐集可行減量技術與各種減量手段之潛力與成本，可貼近實務經驗值 ■ 可考慮個別技術特性 ■ 減量成本曲線表現方式易於瞭解掌握 ■ 一致的定義與計算流程，易於進行跨國或跨部門比較
評估限制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 不易觀察減量技術細節 ■ 技術發展潛力需要外部資訊 ■ 評估結果綜合複雜趨動因素之影響，較難釐清個別效果 ■ 若要考慮交易成本、訊息成本與技術優勢導致的市場進入障礙等問題，須檢討並重新建構模型理論架構 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 缺乏需求面考量，無法納入市場因素 ■ 各項技術減量潛力計算彼此獨立，忽略因資本或資源有限所導致之技術選擇競合問題 ■ 忽略交易成本、訊息成本、補貼或稅賦、CO2成本 ■ 不考慮動態效果，無法解決路徑相依問題 ■ 政策影響評估項目有限 ■ 難以涵蓋全面性減量成本
應用領域	<ul style="list-style-type: none"> ■ 適合評估整體性的減量成本 ■ 適合考量在不同政策執行情況下之減量成本 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 適合評估特定計畫或技術採用之減量成本 ■ 適合提供技術發展潛力，而非預測結果¹⁰

5. 節能減碳策略之減量成本推估(3/3)

3. 節能減碳策略之減量成本

第7章

- ✓「總體經濟成本」：以GDP損失與消費者福利成本為觀察指標；
- ✓配合案例分析，計算各策略單位節能之GDP損失；
- ✓另輔以運輸部門單位能耗GDP(能源生產力)與單位客運運量GDP(運輸生產力)觀察經濟活動、運輸需求與能源消耗三者關係。

主要結論

- 減量成本隨油價上漲幅度增加而增加；
- 汽燃費隨油徵收同時帶來抑低能源消費與微幅改善GDP的效果(相較於隨車徵收)，故可緩和油價上漲造成的減量成本擴增幅度；
- 將汽燃費或能源稅稅收運用於公共運輸票價補貼，可提升公共運輸使用比率，有效改善能源稅賦造成的減量成本。

11

6. 其他計畫執行工作成果(1/2)

1. 專家座談會-2場次

- ✓分別於本年7月與11月辦理；
- ✓針對評估模型理論架構與資料建置以及運輸部門基線預測與提昇公共運輸之評估結果，網羅專家經驗與建議。

2. 模型交流會-1場次

- ✓於本年9月辦理；
- ✓邀請國內知名的工業技術研究院與原子能委員會核能研究所兩組MARKAL模型團隊，分享模型建構與政策評估經驗。

3. 「綠運輸節能減碳發展政策」展覽

- ✓於本年11月28日辦理；
- ✓本次與會專家約140人，集結運研所重要研究成果，除以海報方式展示於會場周邊之看板外，並有「隨車量測系統(on-board measurement)」以實車展示。

12

6. 其他計畫執行工作成果(2/2)



4. 論文發表

- ✓ Chung-Huang Huang and Chin-Wen Yang, Measurement of Energy Efficiency : a new economic indicator, European Association of Environmental and Resource Economists 18th Annual Conference, June 29- July 2, 2011, Rome.
- ✓ Pei-Ling Shan and Chung-Huang Huang, Decomposition of Sectoral CO2 Emission and its Linkage to Policy Instruments, 4th IC-EpsMsO Conference, July 6-9, 2011, Athens, Greece.

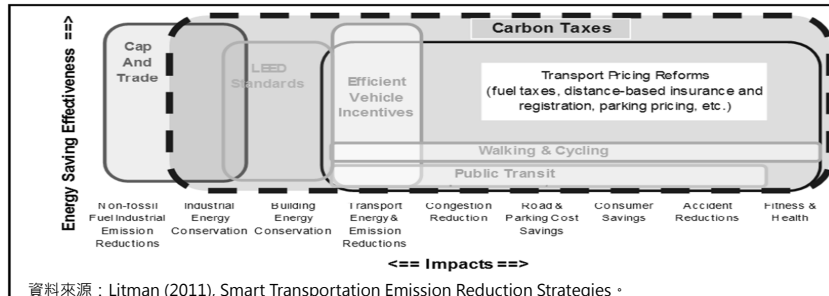
5. 參與COP17會議

- ✓ 12月於南非德班舉行；
- ✓ 成果將匯併於附錄。

13

運輸部門溫室氣體減
量策略

運輸部門溫室氣體減量策略(1/2)



資料來源：Litman (2011), Smart Transportation Emission Reduction Strategies。

- 節能減碳策略多樣化，但減量效果與衝擊各有不同範疇；
- 總量管制與排放交易大多鎖定工業排放減量；
- LEED針對建築節能；
- 提升車輛效能僅具降低車輛能耗效果，反而可能刺激使用率增加進而產生交通問題；
- 運輸相關訂價(如燃料稅、里程費、車輛登記費、停車費等)與碳稅則可同時減少能源消費與交通衝擊；
- 公共運輸與非機動運具服務改善雖然節能效果有限，卻具備其他效益(如改善交通擁塞、降低噪音與空氣污染等)。

15

運輸部門溫室氣體減量策略(2/2)

Cleaner Vehicles	Mobility Management		
More Efficient and Alternative Fuel Vehicles	Improved Transport Options	Incentives To Choose Efficient Options	Land Use Management
Efficient vehicle technology development	Transit improvements	Congestion pricing	Smart growth policies
Fuel efficiency standards (such as CAFE)	Walking & cycling improvements	Distance-based fees	Transit oriented development
Alternative fuel requirements and incentives.	Rideshare programs	Commuter financial incentives	Location-efficient development
Feebates (financial rewards for purchasing efficient and alternative fuel vehicles)	HOV priority	Parking pricing	Parking management
Fuel tax increases	Carsharing	Parking regulations	Carfree planning
	Telework & flextime	Fuel tax increases	Traffic calming
	Taxi service improvements	Transit encouragement	

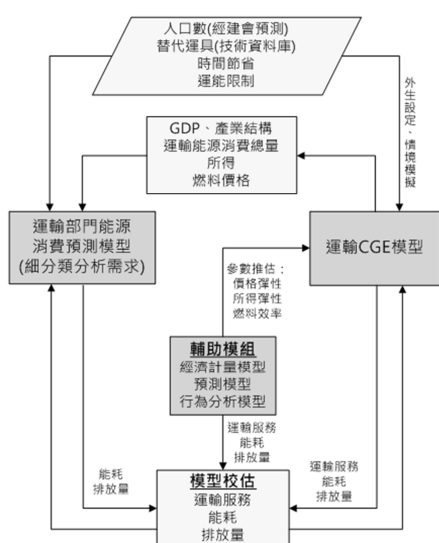
資料來源：Litman (2011), Smart Transportation Emission Reduction Strategies。

- 潔淨車輛技術降低每車公里之排放率，機動性管理策略減少總行駛里程；
- 潔淨車輛技術的發展有可能刺激更多旅次產生，而機動性管理策略可增加公共運輸旅次；
- 潔淨車輛技術是考慮車輛節能減排效益，機動性管理是著眼於整體社會福利的增進
- 潔淨車輛技術與機動性管理，兩者是運輸部門相輔相成的減量策略選項。

16

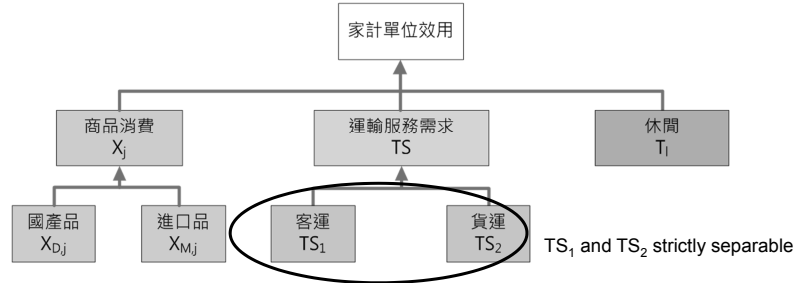
運輸部門溫室氣體減量評估模型

運輸部門溫室氣體減量模型



- ✓ 外生設定
 - 運輸CGE模型與運輸能源消費預測模型的人口數、替代運具資料、時間、運能限制等皆為外生給定。
- ✓ 歷史校準
 - 由輔助模型推估參數(如：價格彈性、所得彈性、燃料效率等)提供給運輸CGE模型。
- ✓ 基線校準
 - 運輸CGE模型提供GDP、產業結構、所得等變數作為運輸部門能源消費預測模型的解釋變數。
 - 由運輸CGE模型估算出的運輸能源消費總量作為運輸部門能源消費預測模型的總控制量。
 - 運輸部門能源消費預測模型則推估細分類運具能耗的結構。
 - 模型校估：經由各模型產生的運輸服務、能耗、排放量比較預測結果。
- ✓ 各模型應納入能反映未來政策效應的變數

貨運支出與商品消費之互補特性



$$\text{Max}_{X, TS, T_l} U = CD(\text{Leontief}(X, TS_2), TS_1, T_l)$$
 ➤ 消費者對貨運之支出，為伴隨商品消費而產生之運費，故假設與商品消費具互補特性

$$\text{s.t.} \sum_j P_{X,j} \cdot X_j + C_1 \cdot TS_1 + C_2 \cdot TS_2 = w \cdot T_w + r \cdot K$$

$$T_w + T_l + T_1 + T_2 = \bar{T}$$

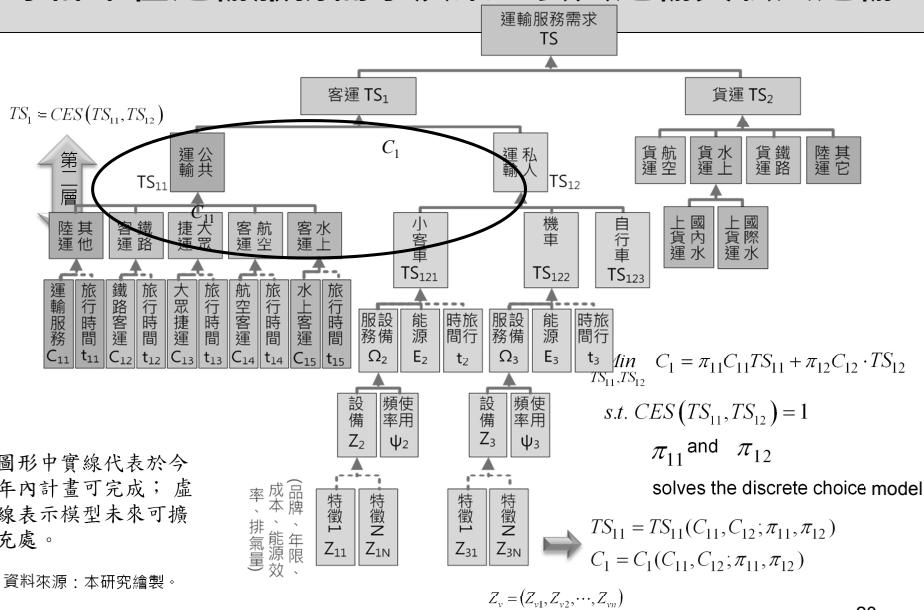
$$\Rightarrow TS_i = TS_i(C_i, T_i; \Psi)$$

資料來源：本研究繪製。

時間限制式：工作時間、休閒時間與行車時間之總和受限於時間賦與 \bar{T}

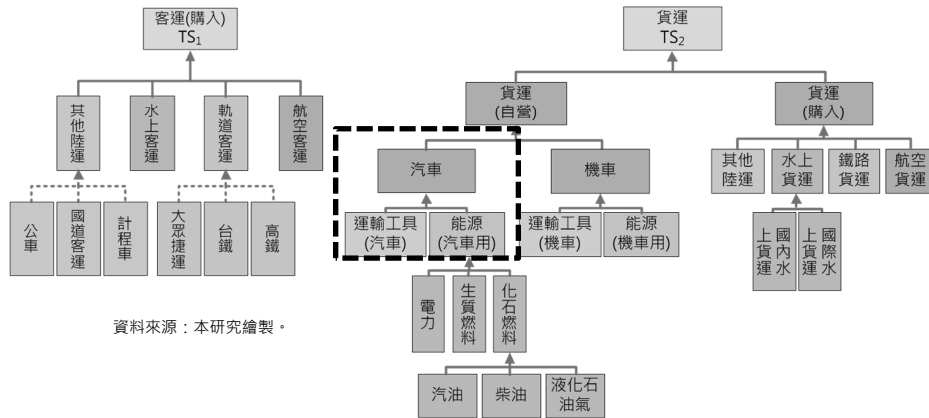
19

家計單位運輸服務需求決策：公共運輸與私人運輸



20

一般產業部門生產架構(2/2)



23

能源消費預測模型(1/2)

✓ 建立含政策變數之經濟計量模型

$$E_t = \alpha_0 \prod_{i=1}^n x_{it}^{\beta_i} \prod_{j=1}^m \alpha_j^{z_{jt}} \quad (1)$$

E_t ：能源 E 在 t 年的消費量

x_{it} ：自變數 x_i 在 t 年的值，假設自變數有 n 個($i=1,2,\dots,n$)

z_{jt} ：政策變數 z_j 在 t 年的值，其值為0或1，1表示 t 年已實施政策 z_j ，0則否，假設變數共有 m 個($j=1,2,\dots,m$)

α_0 、 β_i 、 α_j ：為模型參數

$$\ln E_t = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln x_{it} + \sum_{j=1}^m z_{jt} \ln \alpha_j \quad (2)$$

✓ 聯立方程式(Simultaneous equations)迴歸模型

– 近似無相關迴歸模型(SUR)

(Seemingly Unrelated Regression)

– 各運具之替代性或互補性

– 各運具之油電能源使用具有相關性

– 例如：某些運具能源消費可能因油價變動而有相關性的影響

24

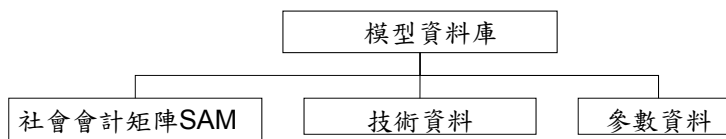
能源消費預測模型(2/2)

	能源別能源總計消費量		運具別能源消費量模型(公路運輸)	
	變數名稱	單位	變數名稱	單位
因變數	公路汽油	公乘	汽油自用小客車	公乘
	公路柴油		汽油營業小客車	
	鐵路電力		汽油自用小貨車	
	鐵路柴油		汽油營業小貨車	
	國內航空燃油		汽油機車	
	國際航空燃油		柴油自用小貨車	
	國內水運燃油		柴油營業小貨車	
	國內水運柴油		柴油自用大客車	
	國際水運燃油		柴油遊覽車	
	國際水運柴油		柴油公車/客運車	
			柴油自用大貨車	
			柴油營業大貨車	

	變數名稱	單位
自變數	國內生產毛額(GDP)	新台幣：百萬元
	人均GDP	新台幣：元
	人均所得	新台幣：元
	車輛持有(人均及戶均)	輛/平均每人
	能源價格	元/公升
	高鐵政策變數	
	捷運政策變數	
	高速公路電子收費政策變數	

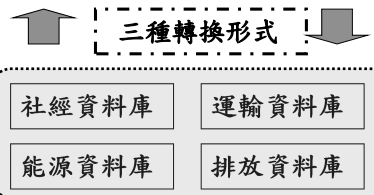
25

模型資料庫架構



模型資料庫與其他資料庫存在三種轉換形式：

- ① 經由原始資料蒐集、整理與分析即可轉換，例如：運量、總計能耗量、排放係數、燃油效率、彈性係數、技術參數等；
- ② 必須經由計算或建立輔助模型推估即可轉換，例如：細分類能耗量推估、排放量推估、既有研究成果或文獻無法提供之參數或技術學習曲線等；
- ③ 輸出入變數之間的轉換(校估或模擬過程的一致性檢定)，例如：社經變數、能源價格、運輸服務價格、運量、能耗量、排放量(總計量與細分量)等。



資料來源：本研究繪製。

26

社會會計矩陣總表編製結果

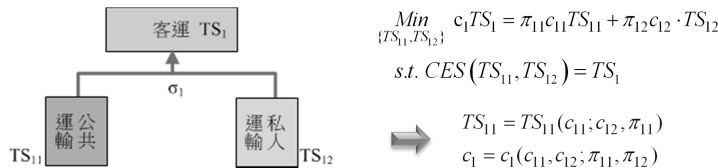
	活動帳 C1	商品帳 C2	要素帳				機構帳				資本帳				合計 C14	國外帳 C15	總收入 C16	
	活動帳 R1	商品帳 R2	勞動 C3	資本 C4	民營企業 C5	公營企業 C6	合計 C7	政府 C8	政府 C9	公營企業 C10	民營企業 C11	資本帳 C12	民營企業 C13	合計 C14	國外帳 C15	總收入 C16		
	活動帳 R1	中間投入 16,618,987					合計消費 7,154,003	政府消費 1,469,296	政府固定資本形成 375,313	固定資本形成 189,326	固定資本形成 2,097,821	固定資本形成 29,702	固定資本形成 15,866	固定資本形成 2,708,028	出口 8,317,126	28,554,915	(1)	
	商品帳 R2															27,950,314	(2)	
要素帳	勞動 R3	勞動報酬 6,324,738													國外生產要素報酬收入 6,334,335		(3)	
	資本 R4	資本收益 3,679,022													國外和營企業所得收入 4,198,548		(4)	
	民營企業 R5				企業對居民和政府的收入 3,545,278		合計對國內企業所得 138,607									3,684,835	(5)	
	公營企業 R6				政府對公營企業的收入 348,104											348,104	(6)	
合計 R7			合計對國外勞動 6,321,127		合計對國內企業所得 2,471,622	合計對國內企業所得 138,607	合計對國內企業所得 378,134								國外對總計稅收 323,886	711,795	(7)	
機構帳	國產總內需 137,219	進口貨物稅 21,582			貿易和服務淨出口 311,888	政府稅收 348,995	合計稅收 334,330										1,154,414	(8)
	加值稅 43,111	進口關稅 79,567					加值稅 94,341										294,535	(9)
	非加值稅 48,607																48,607	(10)
	印花稅 8,714						遺產稅 23,516										32,230	(11)
	賭博稅 52,548					契稅 2,734	贈與稅 5,377										60,459	(12)
	菸酒稅 54,660						契稅 51,240										65,940	(13)
	娛樂稅 52,494																52,494	(14)
	遺產稅 1,988				土地增價稅 14,931	臨時交易稅 17,547	臨時交易稅 794										16,917	(15)
	國產稅 17,375	進口貨物稅 7,401															130,205	(16)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															90,709	(17)
政府 R9	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															40,854	(18)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															57,729	(19)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															337,499	(20)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															150,929	(21)
資本帳	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															3,221,084	(22)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															3,707,723	(23)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															9,077,880	(24)
	國產稅 3,667	進口貨物稅 7,401															9,077,880	(25)
國外帳 R15		進口 7,576,839	國外生產要素報酬收入 13,208	國外和營企業所得收入 304,216	合計對國外勞動 6,321,127	合計對國內企業所得 2,471,622	合計對國內企業所得 138,607	合計對國內企業所得 378,134	合計對國內企業所得 334,330	合計對國內企業所得 94,341	合計對國內企業所得 4,850	合計對國內企業所得 53,745	合計對國內企業所得 466	合計對國內企業所得 249	合計對國內企業所得 68,525	合計對國內企業所得 8,501	合計對國內企業所得 1,154,414	(26)
總收入 R16	28,554,915	27,950,314	6,334,335	4,198,548	3,684,835	348,104	9,504,544	2,045,093	184,928	194,176	2,151,566	30,168	16,115	3,707,723	9,077,880	9,077,880	(27)	

資料來源：行政院主計處及本研究編列。

27

參數設定：替代彈性(1/3)

✓ 替代彈性 (elasticity of substitution) 之定義



$$\sigma_1 = \frac{\text{公共/私人運輸需求比例}(TS_{11}/TS_{12})\text{之變動百分比}}{\text{公共/私人運輸邊際產量比例}(MP_{TS_{11}}/MP_{TS_{12}})\text{之變動百分比}}$$

$$= \frac{d \ln(TS_{11}/TS_{12})}{d \ln(MP_{TS_{11}}/MP_{TS_{12}})}$$

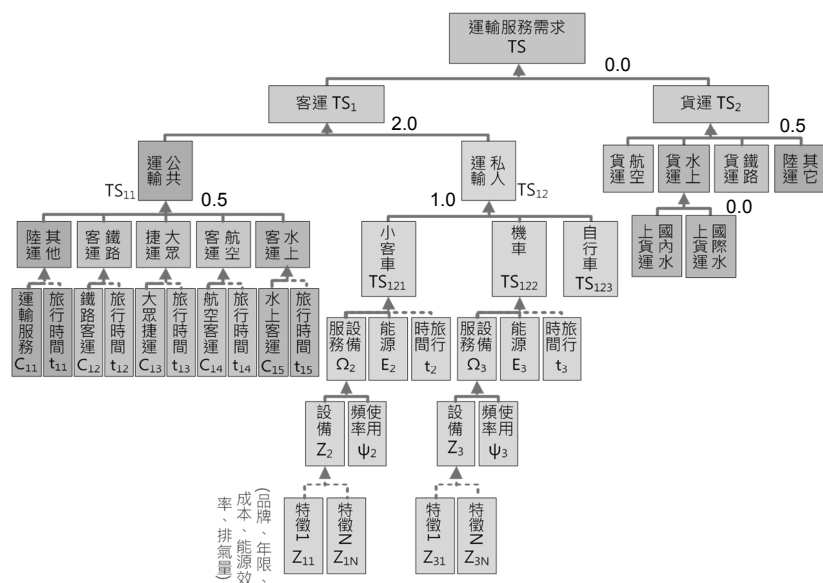
在維持客運總量 (TS₁) 固定不變的條件下，公共運輸 (TS₁₁) 與私人運輸 (TS₁₂) 之邊際產量比例 (MP_{TS₁₁}/MP_{TS₁₂}) 每變動1%所引起之兩者需求比例 (TS₁₁/TS₁₂) 的變動百分比。

28

參數設定：替代彈性(2/3)

文獻	(能源\資本)替代彈性	(能源\其他投入)替代彈性	(電力\非電力)替代彈性	(化石\AFV)運輸服務替代彈性	(購入\私人)運輸替代彈性	燃料自身價格需求彈性
Mazumder (2004)	能源\運具 1.0			1.0		
Schäfer and Jacoby (2005)	能源\附加價值 0~0.062					
Krzyzanowski, et al. (2004)	能源\資本 0~0.256	0.014~0.126			0.0	
Paltsev, et al. (2004)	家計能源\運具 0.3~0.7	家計 0.4 產業 0.0	0.5		0.2	汽油 -0.3~-0.4
Paltsev, et al. (2005)		0.4~0.5	0.5	1.0	0.2	
Lazarus, et al. (2001)						煤-0.2 住商-0.25 運輸部門 -0.05~-0.2
文獻	(休閒\消費\休閒旅行時間)替代彈性	(短程旅行\長程旅行)替代彈性	(尖峰\離峰)替代彈性	(各種運輸模式)替代彈性	(都會\非都會)公路運輸替代彈性	
Abrell (2011)	0.7	0.1	0.9	尖峰：2.2 離峰：1.9	0.1	

參數設定：替代彈性(3/3)



基線校估

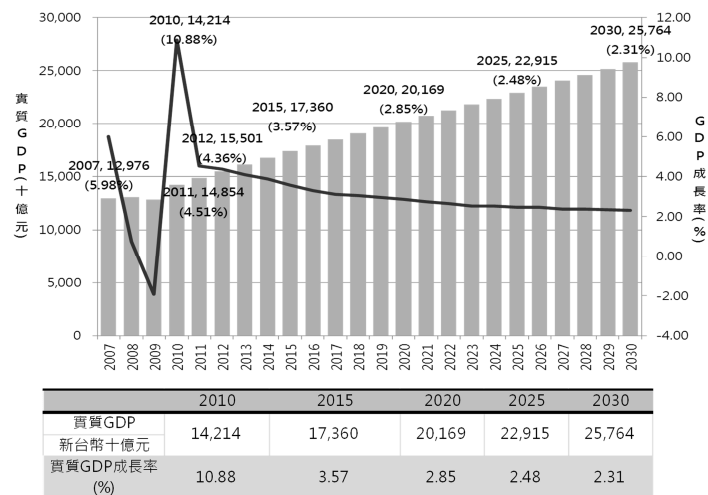
1. GDP成長率基線預測(1/2)

預測機構	發布日期	2011年	第一季	第二季	第三季	第四季	2012年
行政院主計處	2011.10.31	4.56	6.16	5.02	3.37	3.87	4.38
中央研究院經濟研究所	2011.07.19	5.52	6.55	5.02	4.18	6.35	
中華經濟研究院	2011.10.14	4.58	6.16	5.02	3.52	3.81	4.15
台灣經濟研究院	2010.11.09	4.64	6.16	5.02	3.23	4.32	4.22
臺灣綜合研究院	2011.06.14	4.95	6.55	3.76	4.56	5.02	
寶華綜合經濟研究院	2011.10.15	4.73	6.16	5.02	3.52	4.38	4.51
台綜院 (時間序列模式-YearData)	2011.11.11	4.50					4.32
台綜院 (時間序列模式-QuarterData)	2011.11.11	4.41	6.16	5.02	3.30	3.42	4.34
台綜院 (多元迴歸模式)	2011.11.14	4.60					4.01
台綜院 (TaiSEND模型)	2011.11.15	4.55					4.32

資料來源：台綜院(2011)。

- 彙整歷史年(2006-2010)實質GDP成長率實際值；
- 彙整2011年與2012年各研究預測結果，本年度年末預測2011年經濟成長率在4.41%至4.73%之間，2012年在4.01%至4.51%之間。

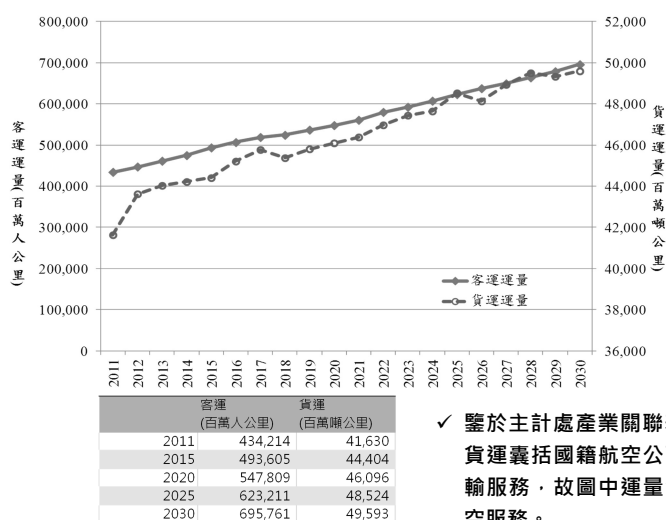
1. GDP成長率基線預測(2/2)



資料來源：本研究。

33

2. 運量與運具結構 (1/3)

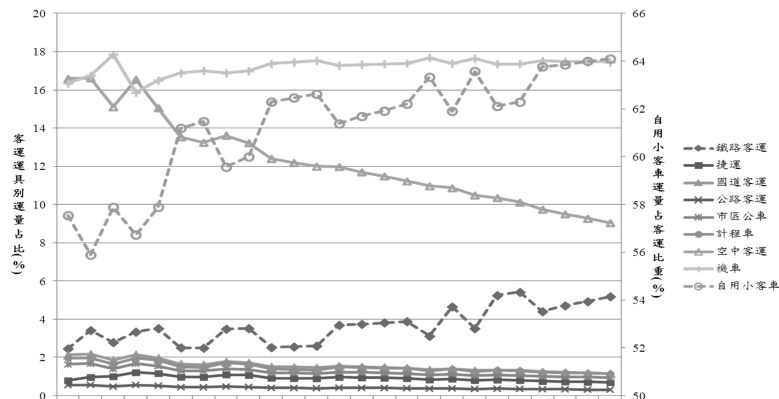


✓ 鑒於主計處產業關聯表分類中，空中客、貨運囊括國籍航空公司於國內、外之運輸服務，故圖中運量包含國籍之國際航空服務。

資料來源：本研究。

34

2. 運量與運具結構 (2/3)



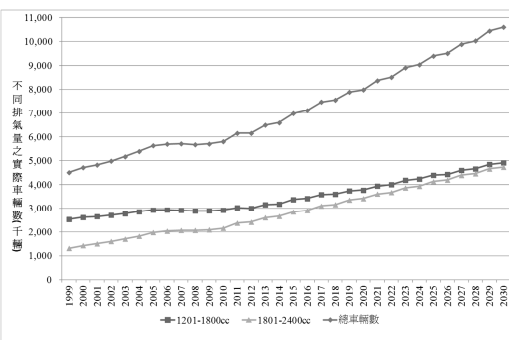
(%)	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
2012	2.50	0.97	1.62	0.43	1.28	1.47	13.24	61.48	17.00
2015	2.52	0.92	1.52	0.40	1.20	1.38	12.40	62.29	17.36
2020	3.82	0.92	1.48	0.40	1.18	1.45	11.48	61.91	17.35
2025	5.24	0.83	1.34	0.36	1.08	1.34	10.35	62.11	17.35
2030	5.18	0.69	1.16	0.31	0.93	1.15	9.04	64.10	17.44
12-2030	3.87	0.87	1.43	0.38	1.14	1.38	11.23	62.35	17.36

資料來源：本研究。

✓ 依據歷史發展，私人運具有較明顯成長趨勢，使得整體公共運輸運量佔比微幅下降，至2025年約佔20.54%。

35

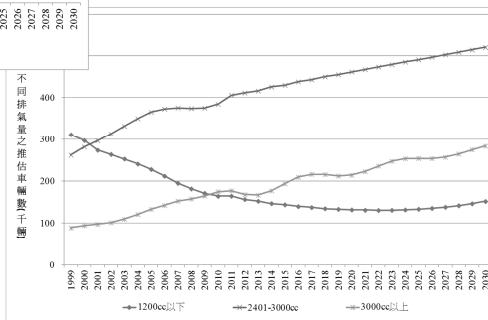
2. 運量與運具結構 (3/3)



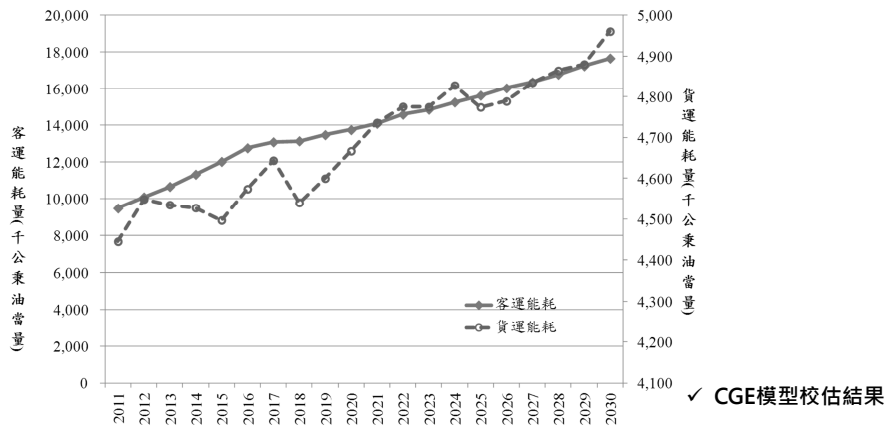
✓ 運用SUR模型推估不同排氣量之車輛數變化趨勢。

資料來源：本研究。

不同排氣量之車輛數	實際值	中華電信公司數據通信分公司
	預測值	SUR模式預測結果
國民所得	單位	輛
	代號	VEH ₀
交通工具物價指數	實際值	行政院主計處國民所得統計摘要
	預測值	ARIMA模式預測結果
總人口數	單位	新台幣百萬元
	代號	NI
不同排氣量車輛數之比率	實際值	行政院主計處
	預測值	ARIMA模式預測結果
總人口數	單位	以2006年為基期年
	代號	PI
不同排氣量車輛數之比率	實際值	內政部統計處
	預測值	ARIMA模式預測結果
總人口數	單位	經建會全國人口中推計結果
	代號	POP
不同排氣量車輛數之比率	實際值	中華電信公司數據通信分公司
	預測值	自行計算結果
總人口數	單位	自行計算結果
	代號	PI



3. 運輸部門能源消費量 (1/11)



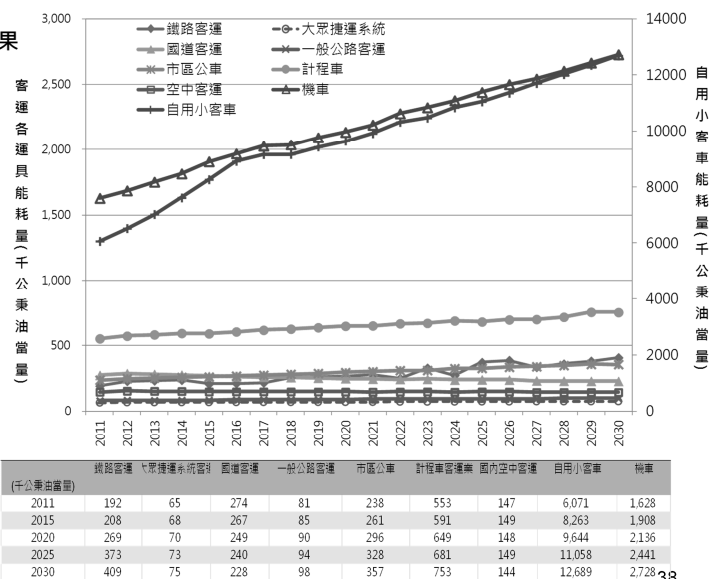
	客運 (千公秉油當量)	貨運 (千公秉油當量)	國際航空 (千公秉油當量)	國際水運 (千公秉油當量)
2011	9,470	4,445	2,166	1,835
2015	12,018	4,497	2,721	2,882
2020	13,747	4,667	2,709	2,164
2025	15,625	4,774	3,650	3,662
2030	17,662	4,961	4,097	2,928

資料來源：本研究。

✓ 由於主計畫產業關聯表中，於各機場港口所添加之油品，皆列為油品之出口項，因此可清楚區分國際航空與國際水運之油品消費量，故圖中能耗量並不包含國際航空與國際水運用油。

3. 運輸部門能源消費量 (2/11)

✓ CGE模型校估結果



(千公秉油當量)	鐵路客運	大眾捷運系統	國道客運	一般公路客運	市區公車	計程車客運	國內空中客運	自用小客車	機車
2011	192	65	274	81	238	553	147	6,071	1,628
2015	208	68	267	85	261	591	149	8,263	1,908
2020	269	70	249	90	296	649	148	9,644	2,136
2025	373	73	240	94	328	681	149	11,058	2,441
2030	409	75	228	98	357	753	144	12,689	2,728

資料來源：本研究。

3. 運輸部門能源消費量 (3/11)

✓ 總計能源別消費聯立方程式參數校估結果

函數	解釋變數	單位	係數		P-value	R^2	D-W Stat..
公路汽油	截距		-3.660		0.000	0.986	1.912
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.330		0.000		
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.571		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)		0.89	-0.122	0.000		
公路柴油	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.990		0.000	0.913	0.777
	Ln柴油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.299		0.000		
鐵路電力合計	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.678		0.000	0.958	0.642
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	0.690		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)		1.48	0.391	0.000		
鐵路柴油(台鐵)	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.829		0.000	0.801	1.136
	Ln柴油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.993		0.000		
國際水運燃油	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.959		0.000	0.376	0.740
	Ln燃料油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.415		0.000		
國際水運柴油	截距		-22.770		0.003	0.595	1.733
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	2.408		0.000		
	Ln柴油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-1.365		0.000		
國際航空燃油	截距		-6.066		0.000	0.875	0.207 ³⁹
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.276		0.000		

資料來源：本研究。

3. 運輸部門能源消費量 (4/11)

✓ 運具別能源消費聯立方程式參數校估結果

函數	解釋變數	單位	係數		P-value	R^2	D-W Stat.
自用小客車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.129		0.000	0.971	1.953
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.498		0.000		
	Ln人均持有自小客車輛數(X ₃)	輛/平均每人	0.651		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)		0.86	-0.156	0.000		
	捷運政策變數(Z ₂)		0.92	-0.086	0.022		
機器腳踏車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.996		0.000	0.383	1.301
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.893		0.000		
	Ln戶均持有機車輛數(X ₃)	輛/平均每戶	2.337		0.000		
	捷運政策變數(Z ₁)		0.83	-0.191	0.000		
捷運	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	3.743		0.000	0.544	0.446
市區公車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.820		0.000	0.787	0.454
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	1.643		0.000		

資料來源：本研究。

3. 運輸部門能源消費量 (5/11)

✓ 運具別能源消費聯立方程式參數校估結果

函數	解釋變數	單位	係數		P-value	R ²	D-W Stat.
自用小客車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.114		0.000	0.974	2.435
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.407		0.000		
	Ln人均持有自小客車輛數(X ₃)	輛/平均每人	0.651		0.000		
	高鐵政策變數(Z ₁)		0.81	-0.207	0.000		
	捷運政策變數(Z ₂)		0.89	-0.113	0.010		
台鐵	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.790		0.000	0.922	0.685
國道客運	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.161		0.000	0.383	1.190

資料來源：本研究。

41

3. 運輸部門能源消費量 (6/11)

✓ 能源別能源消費聯立方程式參數校估結果

函數	解釋變數	單位	係數	P-value	R ²	Durbin-Watson Stat
汽油 自用小貨車	截距		-10.116	0.000	0.651	1.369
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.703	0.000		
	Ln汽油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-1.185	0.000		
汽油 營業小貨車	截距		-17.868	0.000	0.887	1.073
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	1.759	0.000		
柴油 自用小貨車	截距		2.810	0.000	0.878	0.902
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.623	0.000		
柴油 營業小貨車	截距		-27.304	0.000	0.859	0.335
	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	2.305	0.000		
柴油 自用大貨車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.856	0.000	0.869	0.538
柴油 營業大貨車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.924	0.000	0.898	0.859
	Ln柴油油價(X ₂)	新台幣元/公升	-0.205	0.000		

資料來源：本研究。

42

3. 運輸部門能源消費量 (7/11)

✓ 運具別能源消費方程式參數校估結果(獨立校估)

函數	解釋變數	單位	係數		P-value	R ²	D-W Stat.
營業小客車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.81		0.000	0.460	20.40
	AR(1)		0.914		0.000		
自用大客車	載距		13.112		0.000	0.827	0.418
	Ln柴油油價(X ₁)	新台幣元/公升	-1.114		0.000		
遊覽車	LnGDP(X ₁)	新台幣:百萬元	0.741		0.000	0.785	0.510
一般公路客運	載距		18.079		0.000	0.88	2.122
	Ln人均持有自小客車輛數(X3)	輛/平均每人	-0.284		0.000		
	Ln戶均持有機車輛數(X3)	輛/平均每人	-0.862		0.003		
	捷運政策變數(Z ₁)		1.174	0.16	0.003		
	台汽民營化政策變數		0.867	-0.143	0.000		

資料來源：本研究。

43

3. 運輸部門能源消費量 (8/11)

✓ 總計能源別消費聯立方程式基線預測：能源消費量預測值

部門	以2005年為基準	2020年預測值	2025年預測值
公路	汽油車 (9,102千公秉油當量)	11,096	12,697
	柴油車 (3,985千公秉油當量)	5,264	5,965
	公路合計 (13,086千公秉油當量)	16,361	18,662
	國內水運 (394千公秉油當量)	341	353
	鐵路 (143千公秉油當量)	355	439
	航空-國內航空 (219千公秉油當量)	178	183
	航空-國際航空 (2,272千公秉油當量)	4,256	5,422
	運輸部門合計 (16,114千公秉油當量)	21,491	25,060
	水運-國際水運 (2,793千公秉油當量)	3,055	3,315

44

3. 運輸部門能源消費量 (9/11)

✓ 運具別消費聯立方程式基線預測：能源消費量預測值

部門	以2005年為基準	2020年預測值	2025年預測值
公路	小客車 (6,962千公秉油當量)	9,222	11,145
	汽油小貨車 (866千公秉油當量)	1,139	1,282
	機器腳踏車 (1,273千公秉油當量)	1,476	1,528
	汽油車 (9,102千公秉油當量)	11,837	13,955
	柴油小貨車 (447千公秉油當量)	699	869
	大客車(不含特種車) (656千公秉油當量)	837	958
	大貨車 (2,522千公秉油當量)	3,482	3,978
	柴油車 (3,624千公秉油當量)	5,019	5,805
	公路合計 (12,726千公秉油當量)	16,855	19,761

3. 運輸部門能源消費量 (10/11)

✓ 總計能源別消費聯立方程式基線預測：CO2排放量預測值

部門	以2005年為基準	2020年預測值	2025年預測值
公路	汽油車 (23,766千公噸排放量)	28,974	33,153
	柴油車 (11,126千公噸排放量)	14,699	16,656
	公路合計	43,673	49,810
國內水運 (1,135千公噸排放量)		979	1,012
鐵路 (335千公噸排放量)		1,060	1,313
航空-國內航空 (589千公噸排放量)		480	492
航空-國際航空 (6,121千公噸排放量)		11,466	14,610
運輸部門合計		57,658	67,236
水運-國際水運 (8,109千公噸排放量)		9,669	10,313

資料來源：本研究。

46

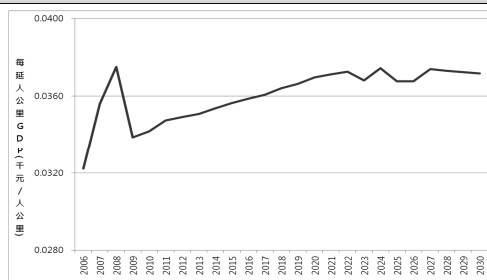
3. 運輸部門能源消費量 (11/11)

✓ 運具別能源消費聯立方程式基線預測：CO2排放量預測值

部門	以2005年為基準	2020年預測值	2025年預測值
公路	小客車 (18,179千公噸排放量)	25,836	31,840
	汽油小貨車 (2,261千公噸排放量)	1,180	1,198
	機器腳踏車 (3,325千公噸排放量)	4,023	4,157
	汽油車 (23,766千公噸排放量)	31,039	37,195
	柴油小貨車 (1,248千公噸排放量)	1,851	2,210
	大客車(不含特種車) (1,830千公噸排放量)	2,771	3,097
	大貨車 (7,041千公噸排放量)	9,950	11,373
	柴油車 (10,119千公噸排放量)	14,573	16,680
	公路合計 (12,726千公噸排放量)	45,612	53,875

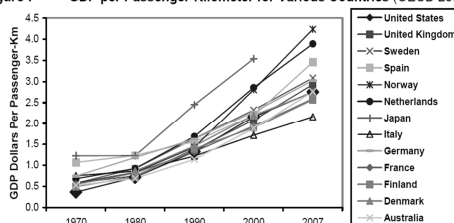
資料

4. GDP與運輸生產力



	GDP (百萬元)	當年度GDP成長率 (%)
2007	12,975,985	5.98
2010	14,213,635	10.88
2015	17,360,182	3.57
2020	20,169,049	2.85
2025	22,915,406	2.48
2030	25,763,888	2.31

Figure 7 GDP per Passenger-Kilometer for Various Countries (OECD 2009)



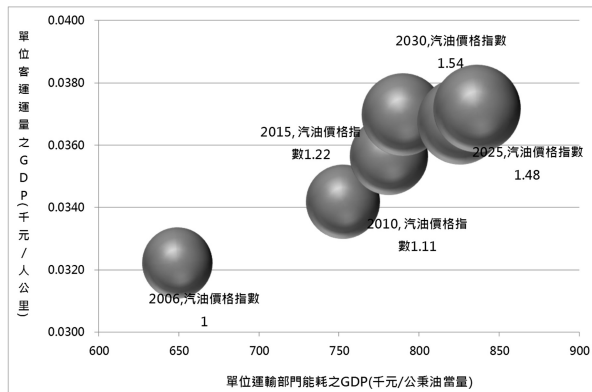
Most countries are increasing GDP per passenger-mile, some much more than the U.S.

資料來源：Litman (2011), "Are Vehicle Travel Reduction Targets Justified?"

- ✓ 基線之單位運量GDP呈現長期成長趨勢；
- ✓ 此生產力指標受經濟振盪影響，當GDP大幅波動時，運量未必同幅變化；
- ✓ 單位運量GDP，平均約為36元/人公里；
- ✓ 2007年單位運量GDP約為35.61元/人公里，與OECD國家相較，約與義大利相當，但普遍低於其他國家。

48

5. 油品價格、運輸生產力與能源生產力



- ✓ 基線之國內油品價格，隨著國際原油價格的設定而逐年增加，2025年相對基年(2006年)成長為1.48倍；
- ✓ 經濟成長使客運總需求逐年增加，但受到油價壓力與運輸需求彈性相對遲滯，運量成長不若GDP迅速，使單位運量GDP正向成長；
- ✓ 在運輸部門能源效率以自發性技術進步率1%之速度提升，以及油價之影響下，運輸部門單位能耗之GDP亦呈正向增長；

✓ 整體而言，我們期望上述分佈圖應向右上方集中，方能在不犧牲經濟發展與運輸服務的情況下，改善運輸部門能源消費趨勢。

49

提升公共運輸案例分析

公共運輸之定義

✓ 公共運輸

依據「陸路交通政策建議書」所定義，公共運輸包括大眾運輸及副大眾運輸(Paratransit)，其中副大眾運輸包括：計程車、遊覽車、小客車租賃業、汽車共乘（包括：小汽車共乘、中型車共乘及計程車共乘）、撥召或需求反應式公車（Dial-A-Ride & Demand Respond Bus）等。

✓ 大眾運輸

依據「發展大眾運輸條例」第二條第一項：「大眾運輸係指具有固定路（航）線、固定班（航）次、固定場站及固定費率，提供旅客運送服務之公共運輸。」第二條第二項：「大眾運輸事業包括：市區汽車客運業、公路汽車客運業、鐵路運輸業、大眾運輸業、大眾捷運系統運輸業、船舶運送業、載客小船經營業及民用航空運輸業。」

51

公共運輸使用率指標選擇

✓ 依旅次計算

✓ 依運量(延人公里)計算

✓ 依總行駛里程計算

✓ 依車次計算

➤ 交通部統計資料以「旅次」計算公共運輸使用率；

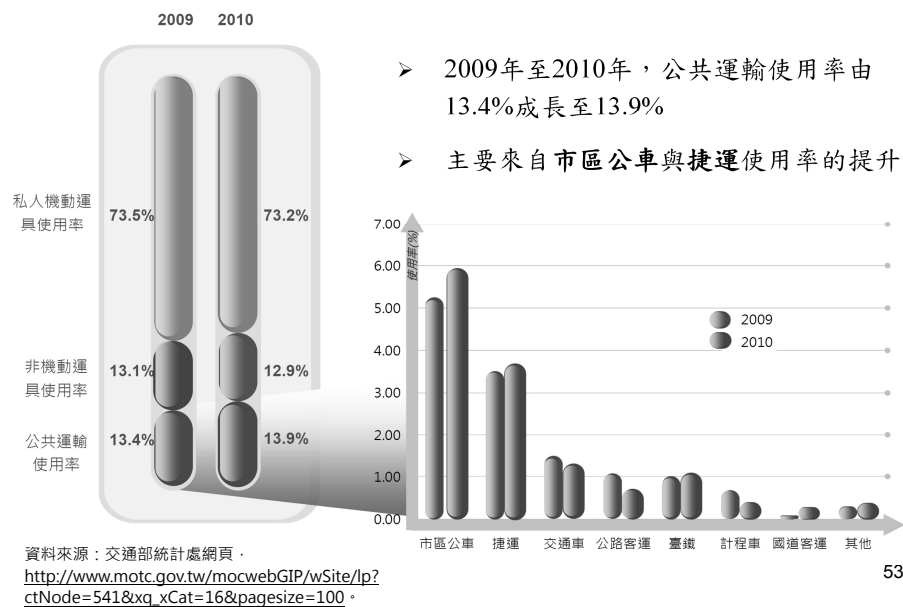
➤ 但由能源消耗與溫室氣體減量角度，本研究認為仍應以公共運輸之「運量」做為使用率觀察指標。

(千人公里)	台灣實績值	高雄實績值	大眾運輸系統客運	公路客運	市區公車	計程車客運業	空中客運	自用小客車	機車
							國內	國際	
2006	9,339,169		2,999,376	10,190,969	6,195,016	7,491,067	2,748,635	60,294,197	218,702,533
2007	8,937,387	3,520,173	3,298,870	9,685,410	6,293,834	7,166,911	1,972,843	61,314,232	195,541,622
2008	8,717,782	6,566,120	3,770,303	9,340,145	6,442,971	7,159,764	1,473,750	57,032,362	178,582,688
2009	8,386,856	6,863,960	4,018,222	9,449,233	6,433,076		1,268,615	55,649,773	69,486,854
2010	8,998,411	7,491,020	4,437,891	9,285,945	6,557,161		1,238,690	58,812,537	

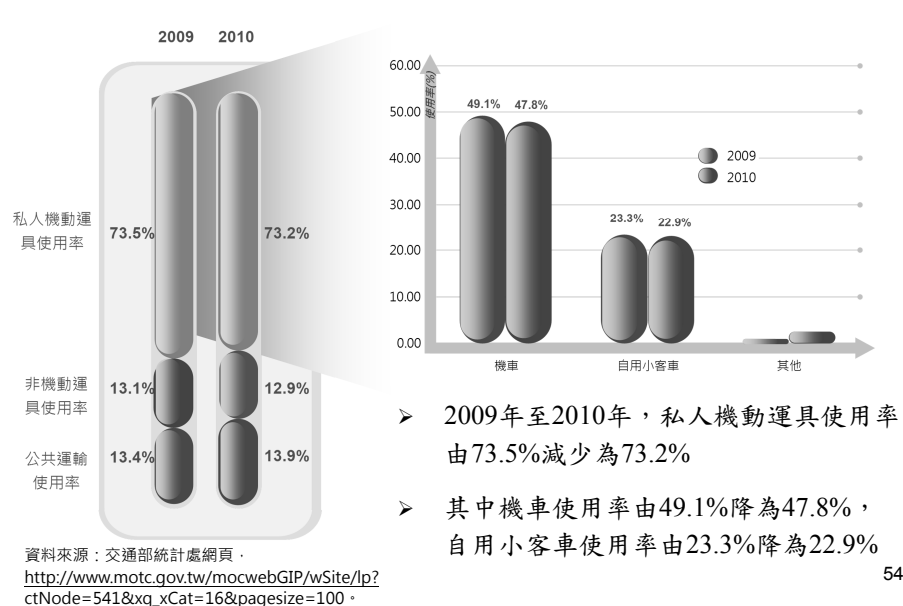
	公共運輸佔比 不含國際航空(%)	私人運輸佔比 (%)	公共運輸佔比 含國際航空(%)	私人運輸佔比 (%)
2006	12.19	87.81	26.12	73.88
2007	13.49	86.51	28.05	71.95
2008	14.91	85.09	28.83	71.17
2009	-	-	-	-
2010	-	-	-	-

52








































































公共運輸使用率-所有旅次(1/2)



公共運輸使用率-所有旅次(2/2)



提升公共運輸之政策工具(1/2)

Trip Purpose	Automobile Dependent	Transit Oriented Development	Carfree
Work commuting	    	   	   
School commuting	    	    	    
Work-related business	 	 	 
Personal travel (errands)	     	      	      
Social and recreation	    	     	     
Total car trips	21	9	3
Total transit trips	1	5	6
Total non-motorized trips	3	11	16
Total trips	25	25	25

資料來源：Litman (2010), *Evaluating Household Savings From High Quality Public Transit Service*。

- 建置高品質公共運輸系統，考量因素包括硬體環境的改善及消費行為的改變；
- 高品質公共運輸系統的消費行為特型有：減少私人車輛旅次，增加公共運輸或非機動運具（如：步行、自行車等）的旅次；
- 高品質公共運輸系統的硬體環境特性有：路網廣、等車時間短、等車環境安全舒適、及良好的步行與騎自行車環境等；
- 平日通勤（如：上班、上學等）不使用私人車輛，是高品質公共運輸系統的重要概念。

55

提升公共運輸之政策工具(2/2)

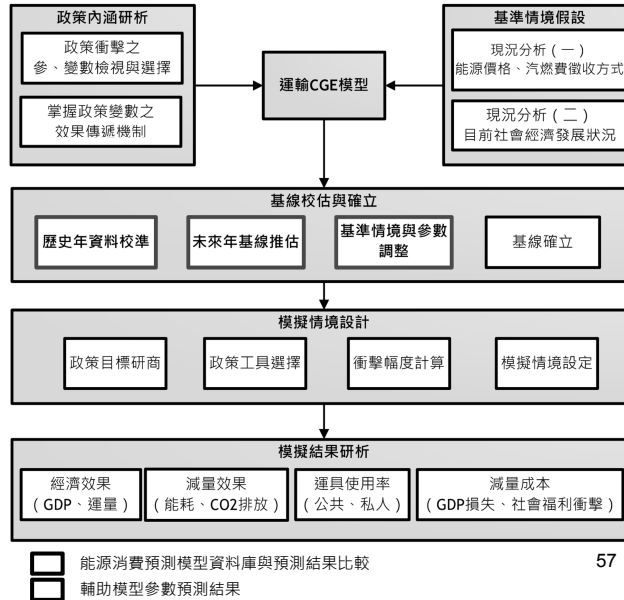
政策工具選項	私人機動運具旅次	非機動運具旅次	公共運輸旅次
課徵能源稅	—	+	+
補貼公共運輸	—	+	+
過路費改以里程計費	—	+	+
調高停車費用	—	+	+
燃料稅隨油徵收	—	+	+
車輛保險費隨旅次計算	—	+	+
無接縫運輸交通	—	+	+

- 一般的旅次目的地可分為通勤（上班或上課）、工作相關應酬、私人旅行或朋友聚會等，而旅次成本則與選擇的運輸工具有關；
- 在總旅次固定下，增加私人機動運具的旅次成本，應該可以轉移部分旅次到公共運輸或非機動運具，進而提升公共運輸使用率；
- 如何增加私人機動運具的旅次成本？常見的政策工具有：課徵能源稅、里程計費、調高停車費用、燃料稅隨油徵收、車輛保險隨旅次計算等。

56

政策評估流程

- 評估前，掌握政策內涵並分析現況；
- 基線校估，包含歷年資料校準、修正參數設定趨勢以調校未來年重要變數結果，經討論後確立基線；
- 模擬情境設計，依據政策內涵，研討適當政策目標，並據以選擇適合政策工具，計算各情境的衝擊幅度；
- 模擬結果研析，包含經濟效果、減量效果、運具使用率和減量成本等面向。



57

模擬情境設計

情境	說明	情境	說明
1. 基準情境	設定情境包括： a. 國際能源價格； b. 人口數； c. 能源自給性技術進步率； d. 國內油品市場價格調整幅度為國際原油價格之波動。	6. 自由化+隨油徵收+油價50%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率； c. 假設國際原油價格上漲50%。
2. 自由化	除維持原 基準情境 外： a. 國內油品市場價格完全反映進口原油價格之波動。	7. 自由化+隨油徵收+油價100%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率； c. 假設國際原油價格上漲100%。
3. 自由化+油價漲50%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設國際原油價格相對基線上漲50%； b. 國際原油價格調升為一次性衝擊。	8. 自由化+油價漲50%+票價補貼	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，用以補貼公共運輸票價； b. 在不影響總稅收情況下，計算補貼率； c. 假設國際原油價格上漲50%。
4. 自由化+油價漲100%	在 自由化 情境外，加上： a. 假設國際原油價格相對基線上漲100%； b. 國際原油價格調升為一次性衝擊。	9. 自由化+能源稅	在 自由化 情境外，加上： a. 假設鄭麗文委員版能源稅草案(2011.03)於2012年開始徵收。
5. 自由化+隨油徵收	在 自由化 情境外，加上： a. 假設現行隨車徵收之汽燃費，改採隨油徵收； b. 在不影響總稅收情況下，計算徵收費率。	10. 自由化+能源稅+票價補貼	在 自由化 情境外，加上： a. 假設鄭麗文委員版能源稅草案(2011.03)於2012年開始徵收； b. 假設能源稅稅收之1/3用於補貼公共運輸票價。

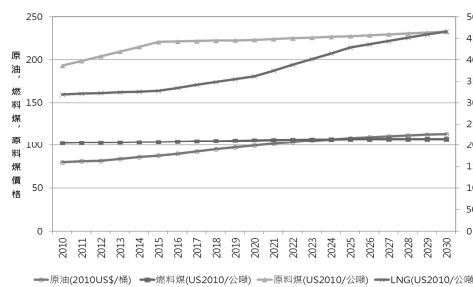
58

提升公共運輸政策工具：油價上漲

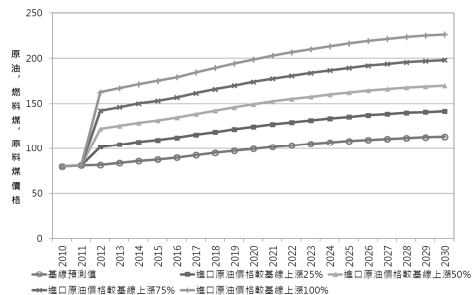
- 國內汽、柴油浮動油價調整機制作業原則(99.01.06)
 - ✓ 調價指標：Platts報導之Dubai 及Brent均價，分別以70 %及30%權重計算(70 % Dubai + 30% Brent)，取小數二位，採四捨五入。
 - ✓ 調價幅度：每週(週一至週五)調價幅度取「調價指標當週均價乘以當週匯率均價與調價指標前週均價乘以前週匯率均價比較」之80%變動幅度計算，取小數二位，採四捨五入。
 - ✓ 調價金額：
 - (一)依「92無鉛汽油及高級柴油還原依機制計算應調整價格之稅前批發價格」乘以「調價幅度」，分別計算92無鉛汽油及高級柴油稅前批發價格，再加上稅費換算零售價(取小數一位，採四捨五入)，據以計算調價金額。
 - (二)95及98無鉛汽油比照92無鉛汽油調價金額、超級柴油、海運重柴油及甲種漁船油比照高級柴油調價金額同步調整。
 - ✓ 價格上限：各週調整後92無鉛汽油、高級柴油零售價換算稅前批發價格，以亞鄰競爭國(日本、韓國、香港、新加坡)當週稅前價之最低價做為浮動油價調整的上限。

59

油價上漲情境設計(1/2)



資料來源：AEO(2011)、工研院與本研究推算。



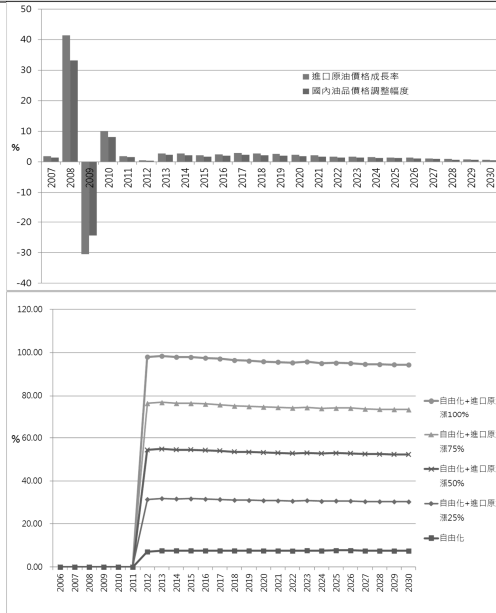
資料來源：本研究假設。

- ✓ 基準情境：
 - 進口初級能源價格，燃料煤與原料煤在2015-2030年間價格平穩；
 - 天然氣價格長期呈現成長趨勢，於2021年-2025年間成長迅速；
 - 原油價格亦呈增加趨勢，但幅度較天然氣平緩，為穩定成長；
 - 依「國內汽、柴油浮動油價調整機制作業原則」，國內油價以國際原油價格之80%變動幅度計算。

- ✓ 國內油品市場自由化情境：
 - 取消80%變動幅度限制；
 - 一次性漲價；
 - 進口原油價格分別較基準上漲25%、50%、75%、100%；
 - 模擬起始年為2012年。

60

油價上漲情境設計(2/2)



✓ 基準情境：

國內油品價格調漲幅度限縮；

依進口原油價格歷年變化幅度之80%計算國內汽、柴油歷年價格成長率。

✓ 國內油品市場自由化情境：

國內汽油價格在完全反映原油進口價格下，平均較基線增加7.55%；

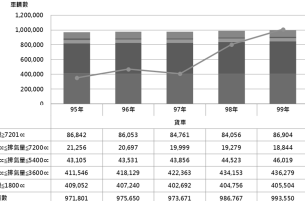
隨國際油價上漲，將分別較基線平均上漲 30.98%、53.36%、75.00%、96.09%。

61

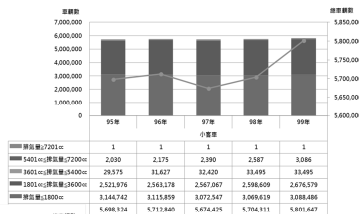
提升公共運輸政策工具：汽燃費隨油徵收

- 現行「汽車燃料使用費徵收及分配辦法」以各型汽車平均每月耗油量計算費額，並按年或按季隨車徵收；
- 在總稅收不變前提下，汽燃費改以隨油徵收；
- 首先計算現行汽燃費總收入，再依據自由化情境下求得之油耗量換算隨油徵收費率。

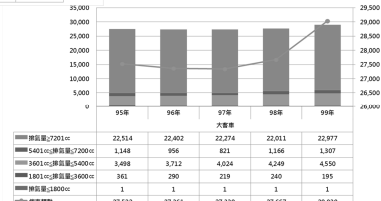
✓ 貨車車輛數



✓ 小客車車輛數



✓ 大客車車輛數



目前汽燃費計算方式(1/2)

➤ 汽車燃料使用費徵收及分配辦法(100.09.30)

✓ 第三條：

汽車燃料使用費按附表（一）及附表（二）之各型汽車每月耗油量及費額，由交通部委任公路總局或委託直轄市政府及其他指定之機關分別代徵之，其費率如下：

一、汽油每公升新臺幣二點五元。

二、柴油每公升新臺幣一點五元。

前項耗油量，按各型汽車之汽缸總排氣量、行駛里程及使用效率計算之。

第一項受交通部委任或委託之機關，得再委任所屬下級機關執行之。

63

目前汽燃費計算方式(2/2)

➤ 汽車燃料使用費徵收及分配辦法(100.09.30)

✓ 第四條：

下列各款車輛，免徵汽車燃料使用費：

一、戰列部隊編制裝備內之軍用汽車。

二、領有特種車行車執照並免徵使用牌照稅之消防車、救災車、救護車、憲警巡邏車、警備車、偵防車、勘驗車、偵緝車、灑水車、水肥車、垃圾車及運送郵件之汽車。

三、外交使節車及享有外交待遇之外國人汽車。

四、經公路主管機關核准之市區汽車客運業及公路汽車客運業，專供大眾運輸使用之公共汽車。

五、電動汽車。

六、計程車。

前項第六款規定自中華民國九十四年十月一日起施行。

第一項免徵汽車燃料使用費之車輛因辦理過戶、繳銷、註銷、吊銷牌照、報廢等異動致不符免徵資格者，如有使用道路之情事時，應以自用車費額補繳汽車燃料使用費。

設籍離島地區車輛，以百分之七十計徵汽車燃料使用費，惟限於離島地區使用，如有於臺灣本島使用、檢驗、異動或換照等情事者，改以全額徵收。

64

各型汽車每（年）徵收汽車燃料使用費費額表

	大 客 車				小 客 車				貨 車				機梯腳踏車 (每二年)	
	租賃及出租 (每季)		自 用 (每 年)		裝 乘 用 (每季)		自 用 (每 年)		裝 乘 用 (每季)		自 用 (每 年)			
	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油	汽油	柴油		
50以下														600
51-125														900
126-250														1,200
251-500							2,160	1,296	788	473	2,160	1,296		1,800
501-600					1,440	864	2,880	1,728	1,050	630	2,880	1,728		2,400
601-1200					2,160	1,296	4,320	2,592	1,575	945	4,320	2,592		3,600
1201-1800					2,400	1,440	4,800	2,880	2,100	1,260	4,800	2,880		3,960
1801-2400					3,083	1,850	6,210	3,726	2,700	1,620	7,710	4,626		
2401-3000	4,725	2,835		5,040	3,600	2,160	7,200	4,320	3,150	1,890	9,900	5,940		
3001-3600	5,670	3,402	10,080	6,048			8,640	5,184	3,780	2,268	11,880	7,128		
3601-4200	6,443	3,866	11,460	6,876			9,810	5,886	4,298	2,579	13,500	8,100		
4201-4800	7,365	4,419	13,080	7,848			11,220	6,732	4,913	2,948	15,420	9,252		
4801-5400	7,988	4,793	14,190	8,514			12,180	7,308	5,325	3,195	16,740	10,044		
5401-6000	8,588	5,153	15,270	9,160			13,080	7,848	6,683	4,010	18,000	10,800		
6001-6600	10,163	6,098	16,260	9,756			13,950	8,370	7,110	4,266	19,710	11,502		
6601-7200	10,860	6,516	17,370	10,422			14,910	8,946	7,762	4,658	20,490	12,294		
7201-8000	11,453	6,872	18,330	10,998			15,720	9,432	9,165	5,499	25,530	15,318		
8001-9000	13,328	7,997	19,380	11,628					10,298	6,179	27,000	16,200		
9001-10000	14,145	8,497	20,580	12,348					11,573	6,944	28,650	17,190		
10001-11000	15,068	9,041	21,900	13,140					12,323	7,394	32,880	19,728		
11001-12000	15,750	9,450	22,920	13,752					14,318	8,591	36,810	22,086		
12001-13000	16,500	9,900	23,000	14,400					15,000	9,000	43,710	26,226		
13001-14000	17,325	10,395	25,200	15,120					18,900	11,340	54,000	32,400		
14001以上	17,325	10,395	25,200	15,120					18,900	11,340	54,000	32,400		

資料來源：汽車燃料使用費徵收及分配辦法(100.09.30)。

65

汽燃費總額概估

車種別 Type	總 計	大 客 車				小 客 車				貨 車		
		Bus				Passenger Car				Truck		
		小計	自用	營業		小計	自用	營業		小計	自用	營業
排氣量 C.C.	Total	Subtotal	Private	Business	Subtotal	Private	Business	計程車 Taxi	Subtotal	Private	Business	
95 總 計 Grand Total	41,404,748,788	930,808,420	16,614,264	614,194,156	32,395,041,832	30,613,995,040	1,579,046,792	961,185,916	8,180,696,536	5,309,710,909	2,871,187,626	
95 500 C.C.	92,966				82,080	82,080	0	0	10,886	10,886	0	
95 501 - 600 C.C.	7,135,056				6,831,960	6,825,600	5,760	0	303,696	300,672	3,024	
95 601 - 1200 C.C.	1,867,213,512				905,562,720	904,551,840	1,010,880	336,960	961,650,792	940,771,584	20,879,208	
95 1201 - 1800 C.C.	14,814,719,808				14,460,763,200	13,694,395,200	766,368,000	629,116,800	353,956,608	349,263,360	4,693,248	
95 1801 - 2400 C.C.	13,797,095,238	475,020	10,090	464,940	12,936,474,932	12,378,007,980	558,466,952	327,204,956	860,145,286	843,854,566	16,290,720	
95 2401 - 3000 C.C.	4,282,143,624	98,280	30,240	68,040	2,730,002,400	2,634,112,800	95,889,600	3,648,200	1,552,042,944	1,440,811,152	111,231,792	
95 3001 - 3600 C.C.	1,381,631,098	3,014,928	919,296	2,095,632	1,000,725,120	895,302,720	105,422,400	777,600	877,891,050	832,538,907	45,352,143	
95 3601 - 4200 C.C.	532,587,525	40,861,272	4,304,376	36,556,896	160,019,370	140,448,770	19,569,600	28,800	331,706,883	246,528,360	85,178,523	
95 4201 - 4800 C.C.	200,410,706	7,372,656	196,200	7,176,456	124,186,140	97,243,740	26,942,400	28,800	68,851,910	48,617,410	20,234,500	
95 4801 - 5400 C.C.	106,299,678	666,286	647,064	19,172	41,361,000	38,610,600	2,750,400	28,800	64,272,442	48,476,362	15,796,080	
95 5401 - 6000 C.C.	57,340,247	2,418,352	1,264,080	1,154,272	25,009,800	22,482,200	2,527,600	0	29,912,095	22,174,560	7,737,535	
95 6001 - 6600 C.C.	179,332,381	10,317,652	1,999,980	8,317,672	308,250	265,050	43,200	0	168,706,379	83,297,646	85,408,733	
95 6601 - 7200 C.C.	170,307,276	10,149,210	323,082	9,826,128	1,699,740	1,699,740	0	0	158,458,326	83,250,050	75,208,275	
95 7201 - 8000 C.C.	619,366,040	194,879,454	2,078,622	192,800,832	15,720	15,720	0	0	424,470,866	207,951,041	216,519,826	
95 8001 - 9000 C.C.	76,227,886	43,145,756	697,680	42,448,076					33,082,130	12,558,240	20,523,890	
95 9001 - 10000 C.C.	152,236,502	96,363,908	1,469,412	94,894,496					55,872,594	3,609,900	52,262,694	
95 10001 - 11000 C.C.	189,419,716	76,394,764	52,560	76,342,204					113,024,952	18,867,859	94,157,092	
95 11001 - 12000 C.C.	1,092,763,338	191,728,872	838,872	190,890,000					841,094,466	77,336,338	763,698,128	
95 12001 - 13000 C.C.	539,314,697	28,382,400	28,800	28,353,600					510,932,297	59,449,097	451,483,200	
95 13001 - 14000 C.C.	175,748,616	115,826,760	1,648,080	114,178,680					59,921,856	15,940,800	43,981,056	
95 14001以上 C.C.	1,223,362,980	8,712,900	105,840	8,607,060					1,214,650,080	474,102,720	740,547,360	

資料來源：本研究估算。

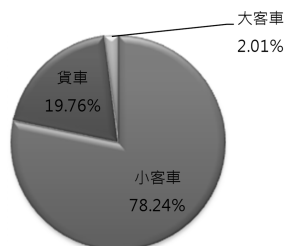
66

歷年汽燃費總額變化

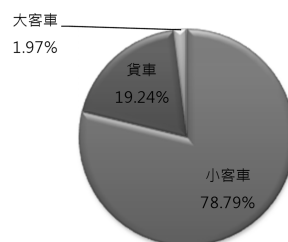
單位：億元								
年度	汽燃費稅收		大客車		小客車		貨車	
	總額	成長率	稅收金額	成長率	稅收金額	成長率	稅收金額	成長率
95年	414.05	1.56%	8.31	-0.13%	323.93	1.51%	81.81	1.95%
96年	415.25	0.29%	8.18	-1.59%	325.81	0.58%	81.26	-0.67%
97年	412.64	-0.63%	8.08	-1.14%	324.20	-0.49%	80.35	-1.12%
98年	415.06	0.59%	8.03	-0.67%	326.43	0.69%	80.60	0.31%
99年	423.54	2.04%	8.33	3.77%	333.72	2.23%	81.49	1.11%

註：不含特種車輛汽燃費稅收

95年汽燃費稅收分配



99年汽燃費稅收分配



資料來源：本研究估算。

67

隨油徵收費率與票價補貼率

	隨油徵收費率 (千元/公秉油當量)	補貼公共運輸票價 (元/人公里)
2006	3.29	1.68
2010	3.44	1.53
2015	3.89	1.52
2020	3.54	1.38
2025	3.74	1.45
2030	3.81	2.09

✓ 隨油徵收費率：

約在每公秉油當量在3.29千元至3.78千元之間。

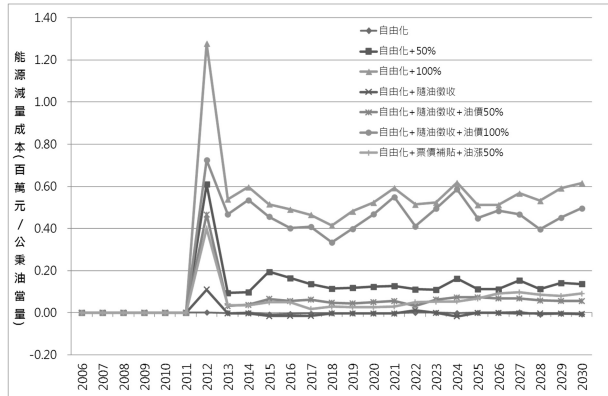
✓ 公共運輸票價補貼：

財源為汽燃費；
補貼率為每延人公里1.38元至2.09元之間；
模擬起始年為2012年。

資料來源：本研究估算。

68

經濟與福利效果(1/2)



能源減量成本 (百萬元/公秉油當量)	自由化	自由化+50%	自由化+100%	自由化+隨油徵收	自由化+隨油徵收+油價50%	自由化+隨油徵收+油價100%	自由化+票價補貼+油價50%
2007	-	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-	-	-
2015	-0.01	0.19	0.52	-0.02	0.07	0.46	0.05
2020	0.00	0.12	0.52	0.00	0.05	0.47	0.03
2025	0.00	0.11	0.51	0.00	0.07	0.45	0.07
2030	-0.01	0.14	0.62	-0.01	0.05	0.50	0.09

✓ 單位能源減量之GDP損失

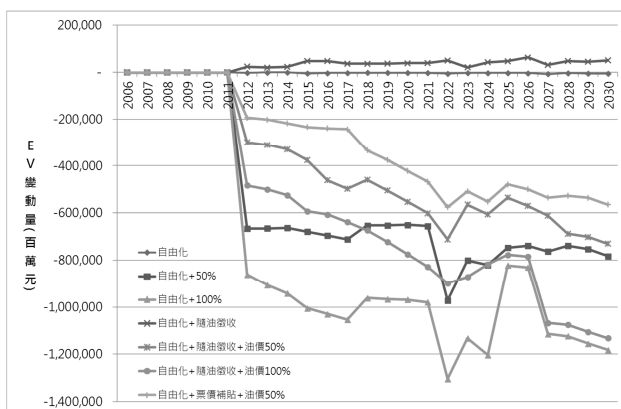
隨著油價上漲(來自油品市場自由化、國際原油價格上漲、汽燃費隨油徵收)幅度越高，GDP損失越大，能源使用量同時下降；

汽燃費隨油徵收一方面增加油品使用成本，同時抑低GDP與油品使用，另一方面取消隨車徵收，使車輛使用者得視油品價格調整運具使用比重，對GDP產生正面助益，故汽燃費隨油徵收造成之單位能源減量之GDP損失較小；

若將汽燃費用以公共運輸票價補貼，可改善因油價攀升所造成的經濟損失。

69

經濟與福利效果(2/2)



EV (百萬元)	自由化	自由化+50%	自由化+100%	自由化+隨油徵收	自由化+隨油徵收+油價50%	自由化+隨油徵收+油價100%	自由化+票價補貼+油價50%
2007	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0
2015	-4,439	-678,905	-1,005,986	47,734	-375,907	-593,078	-233,357
2020	-2,036	-651,029	-969,140	38,129	-553,311	-775,304	-421,874
2025	-2,884	-747,072	-822,087	46,805	-535,023	-777,984	-479,828
2030	-5,287	-783,485	-1,182,194	50,960	-729,932	-1,131,375	-564,649

✓ 消費者福利變化

油品市場自由化與隨油徵收對消費者福利具有微幅正面效果；

公共運輸票價補貼亦有助於消費者福利改善。

70

運具移轉效果

✓ 各運具運量佔比及其變化

	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
BAU運量占比(%)	3.87	0.87	1.43	0.38	1.14	1.38	11.23	62.35	17.36
2012-2030平均運量占比比較									
油價上漲50%	0.38	0.04	-0.09	-0.03	-0.08	-0.13	0.30	-0.55	0.16
油價上漲50%，同時汽燃費隨油徵收	0.40	0.03	-0.13	-0.04	-0.11	-0.18	0.19	-1.00	0.85
油價上漲50%，同時補貼公共運輸票價	1.00	0.04	-0.10	-0.02	-0.05	-0.14	0.19	-0.94	0.02

資料來源：本研究計算。

✓ 油價上漲與汽燃費隨油徵收

油價上漲帶來的運具使用成本增加，同時衝擊公路運輸、計程車、自用小客車與機車用量，其中自用小客車受到影響最大，其運量移轉至機車與其他公共運輸，致使機車最終佔比呈現增加。

與所內其他研究相較，油價上漲使運輸需求移往機車比重高於公共運輸，此一結論在方向上是相同的。

✓ 公共運輸票價補貼

若將汽燃費用以補貼公共運輸票價，則相對有助於提升公共運輸利用。

油價上漲10%			油價上漲30%		
項目	調查戶數	比例	項目	調查戶數	比例
運具別			運具別		
繼續使用汽車	2110	61.16%	繼續使用汽車	1535	44.49%
改使用機車	931	26.99%	改使用機車	1237	35.86%
改使用公車	100	2.90%	改使用公車	176	5.10%
改使用腳踏車	90	2.61%	改使用腳踏車	159	4.61%
改用步行	82	2.38%	改使用捷運	125	3.62%
改使用捷運	77	2.23%	改用步行	103	2.99%
改使用鐵路（含高鐵）	28	0.81%	改使用鐵路（含高鐵）	58	1.68%
其他	27	0.78%	其他	57	1.65%
改使用計程車	5	0.14%	改使用計程車	5	0.14%
總計	3450	100.00%	總計	3450	100.00%

項目	油價上漲10%	油價上漲30%	50%	100%
油價上漲比例	10%	30%	50%	100%
汽車行駛里程	69.43%	64.43%	59.38%	46.75%
移轉至機車之移轉比例				
推估方式	問卷調查	問卷調查	外插法	外插法

71

交通部運研所(2009)，「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(2/3)」。

能源消費變化

✓ 各運具運量佔比及其變化

	鐵路客運	捷運	國道客運	公路客運	市區公車	計程車	空中客運	自用小客車	機車
BAU平均能耗運量(千公秉油當量)	265	57	212	57	169	432	1,984	10,074	1,772
2012-2030平均能耗運量BAU變動百分比									
油價上漲50%	-8.55	-10.92	-25.21	-25.50	-25.54	-32.84	-5.18	-4.51	-2.85
油價上漲50%，同時汽燃費隨油徵收	-8.56	-12.78	-29.07	-29.42	-29.46	-37.99	-6.01	-5.23	1.02
油價上漲50%，同時補貼公共運輸票價	5.17	-11.00	-25.18	-23.36	-23.19	-32.93	-5.49	-4.53	-3.03

資料來源：本研究計算。

✓ 油價上漲與汽燃費隨油徵收

油價上漲帶來的運具使用成本增加，同時衝擊所有運具能源使用量，在缺乏補貼情況下，公路運輸受到影響最大；

當同時考慮油價上漲與汽燃費隨油徵收時，由於隨油徵收產生的正反兩層面之影響(燃料成本增加與隨車固定費率的取消)，使機車能源消費量不減反增；

與所內其他研究相較，對於機車能源消費變化的評估結果，須視情境與油價變化幅度而定，並未存在完全一致的結果。

➢ 油價上漲50%的影響

項目	汽車			機車		
	油價未調漲	油價上漲50%	變動百分比	油價未調漲	油價上漲50%	變動百分比
總行駛里程(百萬公里)	57,375	44,463	-22.50%	54,898	59,538	8.45%
CO2排放量(千公噸)	129,839	100,620	-22.50%	124,235	134,736	8.45%
能源消耗量(百萬公升)	5,949	4,598	-22.71%	2,495	2,669	6.97%

交通部運研所(2009)，「能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究(2/3)」。

72

模型後續研究議題(1/2)

1. 車輛技術發展之減量效果與減量成本

- ✓ 替代燃料車輛技術發展進程對運輸部門運具選擇與減量成效之影響；
- ✓ 財政工具如綠色運具購置補貼之減量成效與減量成本；
- ✓ 硬體建設如充電站與其設備的投資與建設對替代車輛選擇之影響。

2. 運輸公共建設對運輸部門排放之影響

- ✓ 便利之公路建設對運量移轉與排放之影響；
- ✓ 大眾捷運系統建設對運量及排放之影響；
- ✓ 後ECFA之產業發展對公共運輸及其建設之需求，及其帶動之運量與排放變化。

3. 舒緩汽機車成長

- ✓ 替代燃料新車購車補助，鼓勵車輛汰舊換新；
- ✓ 限制傳統化石燃料車輛登記數；
- ✓ 公車捷運化，縮短等候時間。

73

模型後續研究議題(2/2)

4. 經濟工具選項

- ✓ 道路使用費、擁擠費、計程收費等財政工具運用；
- ✓ 研擬財政收入運用方式，以提升公共運輸品質、促進公共運輸使用為目標，研擬配套措施。

5. 經濟發展與所得分配對運輸需求行為之影響

- ✓ 經濟發展與所得差異，對運具購買與使用行為之影響；
- ✓ 臺灣做為海、空運樞紐，未來產業結構與貿易趨勢變化對運輸需求及排放之影響。

74

結論與建議

結論

- ✓ 運輸部門節能減碳政策可概分為四類：
 - (1) 傳統汽柴油車輛燃油效率改善；
 - (2) 潔淨替代燃料車輛發展應用；
 - (3) 交通運輸管理相關措施；
 - (4) 經濟工具與財政手段運用。
- ✓ 本研究將模型定位在發揮同時評估運輸部門內、外部政策功能下，應包含能表現運輸部門行為及運輸部門與其他部門關聯之CGE模型，同時視評估所需，運用其他方法輔助評估。

75

結論與建議

結論

- ✓ 本年度完成油價上漲、汽燃費隨油徵收與公共運輸票價補貼之政策評估，重要結論包括：
 - (1) 油價上漲可抑低整體運量與能耗量；
 - (2) 油價上漲同時增加私人運輸與公路公共運輸之使用成本，在未對公路公共運輸票價補貼情況下，油價上漲將限制公共運輸使用率提升成效；
 - (3) 油價上漲同時使自用小客車運量移轉至機車與公共運輸，但前者效果較大，亦限制移轉公共運輸比率；
 - (4) 汽燃費改以隨油徵收後，因消費者可藉由調整運具使用，盡可能降低燃料支出，因此對消費者福利具正面效益(相較於隨車徵收)。
 - (5) 公共運輸票價補貼能產生效佳運具移轉成效(相較於油價上漲與汽燃費隨油徵收)，惟欲大幅降低運輸部門能源消耗與排放量，仍須與其他策略配套執行。

76

結論與建議

結論

- ✓ 有關策略減量成本結論如下：
 - (1)減量成本隨油價上漲幅度增加而增加；
 - (2)汽燃費隨油徵收同時帶來抑低能源消耗與微幅改善GDP的效果(相較於隨車徵收)，故可緩和油價上漲造成的減量成本擴增幅度；
 - (3)將汽燃費或能源稅稅收運用於公共運輸票價補貼，可提升公共運輸使用比率，有效改善能源稅賦造成的減量成本。

77

結論與建議

建議

- ✓ 建議後續模型研發方向為：
 - (1)持續擴充運具選擇行為設定，如車輛購買、使用頻率、行駛里程等因素之決定機制；
 - (2)納入旅行時間成本，以考量交通管理策略產生之外部效益；
 - (3)進一步納入替代燃料運具選項，並考慮技術學習效果；
 - (4)提升基線校估結果之合理性；
 - (5)建立運具能源消耗預測模型系統化推估流程，並與輔助模組加以整併。
- ✓ 未來政策評估方向建議：
 - (1)車輛技術發展之減量效果與減量成本
 - (2)紓緩汽機車成長
 - (3)經濟工具運用
 - (4)經濟發展與所得分配對產業結構及能源消耗之影響⁷⁸

結論與建議

建議

✓ 資料庫內容擴充建議：

- (1) 不同所得階層之運輸相關支出、運具別旅次、平均行駛里程、運輸相關之財政收支資料等；
- (2) 蒐集統計資料，推估運具間替代彈性；
- (3) 彙整替代燃料運具相關研究之技術發展路徑，建立學習曲線。