

100-79-6148

MOTC-IOT-98-TDB004

# 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

中華民國 100 年 5 月



100-79-6148

MOTC-IOT-98-TDB004

# 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

著者：黃宗煌、倪佩貞、王鐘雄、尹相隆、黃銘崇、張蓓琪、  
葉文健、林成蔚、林澄政、李太雨、林師模、楊晴雯、  
魏筠橋、蔡棻霓、陳怡君  
黃運貴、黃新薰、楊智凱

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 5 月

國家圖書館出版品項行編目(CIP)資料

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 / 黃宗煌等著. -- 初版. -- 臺北  
市 : 交通部運研所, 民100. 05

面 ; 公分

ISBN 978-986-02-7977-1(平裝)

1. 交通管理 2. 能源節約 3. 空氣汙染防制

557.15

100008883

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

著 者：黃宗煌、倪佩貞、王鐘雄、尹相隆、黃銘崇、張蓓琪、葉文健、  
林成蔚、林澄政、李太雨、林師模、楊晴雯、魏筠橋、蔡茱霓、  
陳怡君、黃運貴、黃新薰、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](http://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 100 年 5 月

印 刷 者：群彩股份有限公司

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：200 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：101001082

ISBN：978-986-02-7977-1(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			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN978-986-02-7977-1(平裝)	政府出版品統一編號 1010001082	運輸研究所出版品編號 100-79-6148	計畫編號 98-TDB004
本所主辦單位：綜合技術組 主管：黃運貴 計畫主持人：黃運貴 研究人員：楊智凱、黃新薰 聯絡電話：02-2349-6868 傳真號碼：02-2712-0223	合作研究單位：開南大學 計畫主持人：黃宗煌 研究人員：倪佩貞、王鐘雄、尹相隆、黃銘崇、張蓓琪、葉文健、林成蔚、林澄政、李太雨、林師模、楊晴雯、魏筠橋、蔡茶霓、陳怡君 地址：桃園縣蘆竹鄉開南路1號 聯絡電話：03-341-2500		研究期間 自 98 年 03 月 至 98 年 11 月
關鍵詞：溫室氣體、運輸能源效率指標、運輸能源消耗模式			
<p>摘要：</p> <p>本計畫為賡續節能及溫室氣體減量行動方案系列研究之子計畫之一，系列計畫分3年期辦理，分別為96年「探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響」、97年「建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」，以及本(98)年「建立運輸能源效率指標與運輸能源成長預測模式」等3項子計畫。本計畫為第3年期，研究重點包括下列7項：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 持續蒐集更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫；</li> <li>2. 建置運輸部門能源與溫室氣體查詢網頁；</li> <li>3. 規劃可行的運輸能源整合模型架構；</li> <li>4. 彙整並檢討運輸部門行動方案執行成果並研擬減量策略；</li> <li>5. 建立運輸能源成長預測模式；</li> <li>6. 建立運輸能源效率指標；</li> <li>7. 蒐集國內外運輸部門節能及節能減碳推動現況資料。</li> </ol> <p>研究成果除建立更完備之運輸部門能耗與排放資料，並依「跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)」進階之推估方法進行運具溫室氣體排放計算外，更依據更新後數據進行運輸部門排放基線預測、檢視運輸部門減量行動方案執行成效，並在考慮整體經建發展情況下，提出既定減量目標可能高估運輸部門減量潛力。</p> <p>本研究成果可提供運輸部門作為研訂節能及溫室氣體減量目標與策略之參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 5 月	602	200	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 月 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：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: Inventory of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Transportation Sector (3/3) —Developing Energy Efficiency Indicator and Modeling Energy Consumption for Transportation Sector			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-7 977-1(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010001082	IOT SERIAL NUMBER 100-79-6148	PROJECT NUMBER 98-TDB004
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Yung-Kuei Huang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Kuei Huang PROJECT STAFF: Chih-Kai Yang, Hsin-Hsun Huang PHONE: +886 2 23496868 FAX: +886 2 27120223			PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO November 2009
RESEARCH AGENCY: Kainan University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Huang Huang PROJECT STAFF: Pei-Chen Ni, Ghungh-Siung Wang, Shung-Lung Yin, Ming-Chorng Hwang, Peggy Chang, Wen-Chien Yeh, Cheng-Wei Lin, Tseng-Cheng Lin, Tae-Woo Lee, Shih-Mo Lin, Chin-Wen Yang, Yun-Chiao Wei, Fenni Tsai, Yi-Chun Chen ADDRESS: No.1 Kainan Road, Luzhu, Taoyuan County 33857, Taiwan, R.O.C. PHONE: +886 3 3412500			
KEY WORDS: Green House Gas, Transportation Energy Efficiency Indicator, Transportation Energy Consumption Model			
ABSTRACT: <p>This is a 3-year-phase project, which focuses on “Reviewing the impact of transportation policy on Green House Gas (GHG) emissions (2007)”, “Establishing the GHG accounting, registration, audit standards and fleet mechanism (2008)”, and “Establishing the index of transportation energy efficiency and growth prediction model of transportation (2009)” for separate fiscal years. This research is the third phase project.</p> <p>The main work items include:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. continually updating the national GHG inventory for the transportation sector</li> <li>2. establishing the GHG inquiring website for transportation</li> <li>3. evaluating the feasibility of an energy-transportation integrated modeling framework</li> <li>4. reviewing the performance of the existing reduction action plans and providing the recommendations of reduction policy in the transportation sector</li> <li>5. formulating and predicting the energy consumption and the GHG emissions for the transportation sector</li> <li>6. developing the transportation energy efficiency indicator</li> <li>7. exploring, collecting, and reviewing the state of the art in energy saving and GHG emissions reduction for transportation sector</li> </ol> <p>Therefore, a more correct and complete database is built up with the methodologies of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), and the baseline of the transportation sector can be re-estimated with the updated database. According to these results, the performance of the reduction action plan of the transportation sector is looked into, and the latent capacity of transportation abatement may be overestimated when considering the future tendency of the economy and industry structure.</p> <p>These results could be used for references to set up future reduction targets and strategies of the transportation sector.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2011	NUMBER OF PAGES 602	PRICE 200	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 .....	1-2
1.2 研究範圍與內容 .....	1-3
1.3 研究步驟與流程 .....	1-4
第二章 文獻回顧 .....	2-1
2.1 國內外航空運輸能源與溫室氣體推估方法 .....	2-1
2.1.1 跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)推估方法 .....	2-1
2.1.2 歐洲環境總署(EMEP/CORINAIR, EEA)推估方法 .....	2-5
2.1.3 國際民航組織(ICAO)推估方法 .....	2-7
2.1.4 航空運輸溫室氣體排放推估 .....	2-9
2.2 國內外水路運輸能源與溫室氣體推估方法 .....	2-12
2.2.1 IPCC 之推估方式 .....	2-12
2.2.2 國際海運組織 .....	2-20
2.3 國內外軌道運輸能源與溫室氣體推估方法 .....	2-21
2.3.1 國外推估方法 .....	2-21
2.3.2 國內採用之推估方法 .....	2-25
2.4 國內外運輸能源預測模式 .....	2-26
2.4.1 國內外運輸能源相關研究 .....	2-26
2.4.2 預測模型相關研究 .....	2-29
2.5 國內外能源效率指標 .....	2-33
2.5.1 能源效率指標的類別 .....	2-33
2.5.2 要素使用的綜合效率指標 .....	2-35
2.5.3 技術效率的實證分析 .....	2-38
2.5.4 效率評估的方法 .....	2-47
2.6 自願性減量協議 .....	2-49

2.6.1 OECD 國家的自願性減量協議 .....	2-49
2.6.2 自願性減量協議的誘因機制 .....	2-54
2.6.3 自願性減量的績效評估 .....	2-56
2.6.4 我國運輸部門推動自願性減量協議的可行性 .....	2-67
2.6.5 小結 .....	2-68
<b>第三章 運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫更新 .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 運輸部門溫室氣體排放推估方法 .....	3-1
3.2 運輸部門溫室氣體排放推估結果 .....	3-21
3.3 運輸部門能源密集度推估 .....	3-27
<b>第四章 航空運輸溫室氣體排放推估 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1 IPCC Tier3A 估算 .....	4-1
4.1.1 我國航空運輸活動資料 .....	4-1
4.1.2 Tier3A 計算 .....	4-4
4.2 我國國籍航空實際能耗與排放 .....	4-10
4.3 我國國籍航空經濟與排放關聯分析 .....	4-12
4.4 世界航空溫室氣體排放預判 .....	4-13
4.5 小結 .....	4-18
<b>第五章 水路運輸溫室氣體排放推估 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1 公部門資料 .....	5-1
5.1.1 交通部航政司 .....	5-1
5.1.2 經濟部能源局 .....	5-5
5.1.3 臺灣中油公司 .....	5-11
5.2 個案分析 .....	5-15
5.2.1 散裝船 .....	5-16
5.2.2 貨櫃船 .....	5-20
5.2.3 客輪 .....	5-24
5.3 各國之節能做法 .....	5-27

5.3.1 中國大陸提出的節能政策與法規 .....	5-27
5.3.2 日本國土交通省排碳減量對策 .....	5-27
5.3.3 MARINTEK2000 年減量措施 .....	5-28
5.3.4 世界航商節能技術 .....	5-30
5.3.5 國際海運有關削減溫室氣體之國際動向 .....	5-31
5.4 小結 .....	5-32
<b>第六章 軌道運輸溫室氣體排放推估 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 軌道運輸系統簡介 .....	6-1
6.1.1 臺灣鐵路系統 .....	6-1
6.1.2 臺北捷運系統 .....	6-7
6.1.3 高速鐵路系統 .....	6-10
6.1.4 高雄捷運系統 .....	6-12
6.2 軌道運輸溫室氣體排放推估方法 .....	6-15
6.2.1 Tier 2 .....	6-15
6.2.2 Tier 3 .....	6-16
6.3 軌道運輸溫室氣體排放推估 .....	6-17
6.3.1 軌道運輸能耗資料蒐集 .....	6-19
6.3.2 軌道運輸溫室氣體排放係數 .....	6-28
6.3.3 軌道運輸溫室氣體排放推估結果 .....	6-30
6.4 軌道系統相關資料調查 .....	6-39
6.4.1 調查目的 .....	6-39
6.4.2 調查對象與範圍 .....	6-39
6.4.3 調查範疇界定 .....	6-39
6.4.4 調查程序 .....	6-41
6.4.5 調查表格 .....	6-44
6.5 小結 .....	6-49
<b>第七章 運輸部門溫室氣體排放量基線預測 .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 運輸部門能源消費量資料蒐集 .....	7-1

7.2 經濟計量模型 .....	7-2
7.2.1 變數選取 .....	7-3
7.2.2 能源消費量歷史趨勢分析 .....	7-4
7.2.3 模型建構 .....	7-12
7.3 模型參數校估 .....	7-13
7.4 能源消費與 CO <sub>2</sub> 排放量基線預測 .....	7-21
7.5 小結 .....	7-29
<b>第八章 運輸部門能源效率指標建立 .....</b>	<b>8-1</b>
8.1 能源效率的重要性 .....	8-1
8.2 能源效率指標 .....	8-3
8.2.1 能效技術標準與績效標準 .....	8-3
8.2.2 能源密集度與能源生產力 .....	8-5
8.2.3 能源的邊際產值(或需求函數) .....	8-7
8.2.4 脫鈎指標 .....	8-8
8.3 使用能源生產力衡量效率的問題 .....	8-12
8.4 技術效率、成本效率與需求效率的衡量 .....	8-16
8.4.1 技術效率、配置效率、成本效率與需求效率 .....	8-16
8.4.2 隨機邊界與效率的推估 .....	8-19
8.5 實證分析結果與政策意涵 .....	8-23
8.5.1 市區公車與公路客運 .....	8-23
8.5.2 空運：國籍航空客運 .....	8-27
8.5.3 軌道運輸：臺鐵 .....	8-31
8.6 小結 .....	8-32
<b>第九章 節能減碳的策略與潛能推估 .....</b>	<b>9-1</b>
9.1 前言 .....	9-1
9.2 各運具之 3E 聯立函數的推估 .....	9-7
9.2.1 公車與客運(市區公車＋公路客運) .....	9-8
9.2.2 自小客車 .....	9-11

9.2.3 計程車 .....	9-13
9.2.4 機車 .....	9-15
9.2.5 公路貨運：大貨車與小貨車 .....	9-17
9.2.6 軌道運輸：臺鐵客運與貨運 .....	9-20
9.2.7 空運：國籍航空客運 .....	9-23
9.3 運輸部門減量策略 .....	9-25
9.4 運輸部門節能減碳績效 .....	9-32
9.5 小結 .....	9-45
<b>第十章 運輸與能源模型整合架構分析 .....</b>	<b>10-1</b>
10.1 節能減碳評估模式 .....	10-1
10.1.1 研發目的與功能 .....	10-1
10.1.2 國內、外能源模型類別與特性 .....	10-3
10.2 整合評估模式 .....	10-8
10.2.1 整合評估模式研發目的與定義 .....	10-8
10.2.2 整合評估模式類別與特性 .....	10-10
10.2.3 整合評估模式研究方法 .....	10-15
10.3 運輸、能源與經濟整合模式 .....	10-23
10.3.1 國際重要的運輸、能源與經濟整合模式 .....	10-23
10.3.2 國內需要的運輸、能源與經濟整合模式 .....	10-28
10.3.3 臺灣運輸部門 3E 整合模型架構規劃 .....	10-30
10.4 運輸部門 CGE 模型架構規劃 .....	10-33
10.4.1 運輸部門可計算一般均衡模型之發展 .....	10-33
10.4.2 模型建構流程 .....	10-43
10.4.3 主要資料來源與部門定義 .....	10-44
10.4.4 模型巢式架構 .....	10-46
10.4.5 臺灣運輸部門 3E 整合模型操作介面規劃 .....	10-51
10.5 小結 .....	10-63
<b>第十一章 結論與建議 .....</b>	<b>11-1</b>

11.1 結論 .....	11-1
11.2 建議 .....	11-7
參考文獻 .....	R-1
附錄 1 計畫摘要 .....	附錄 1-1
附錄 2 期中報告審查意見與回應 .....	附錄 2-1
附錄 3 期末報告審查意見與回應 .....	附錄 3-1
附錄 4 國外運輸部門節能減碳趨勢資料蒐集(參與 COP15 會議) .....	附錄 4-1
附錄 5 「運輸部門 CO <sub>2</sub> 排放之推估方法」專家學者座談會 .....	附錄 5-1
附錄 6 「運輸部門能源消費預測與能源效率推估」專家學者座談會 .....	附錄 6-1
附錄 7 軌道系統新建系統簡介 .....	附錄 7-1
附錄 8 期末報告資料 .....	附錄 8-1
附錄 9 運輸部門能源與溫室氣體查詢網頁 .....	附錄 9-1



# 圖目錄

圖 1-1 京都議定書附件一國家至 2010 年各部門溫室氣體排放推估 .....	1-1
圖 1-2 我國各部門 CO <sub>2</sub> 排放趨勢：1980-2006 .....	1-2
圖 1-3 研究流程圖 .....	1-7
圖 2-1 IPCC 對航空排放估算層次選擇之決策樹 .....	2-3
圖 2-2 估計飛機排放的燃料為基礎的簡單方法 .....	2-6
圖 2-3 ICAO 計算碳排放量所需資料 .....	2-7
圖 2-4 NASA 排放計算 .....	2-9
圖 2-5 IPCC 水運排放的決策樹 .....	2-15
圖 2-6 Farrell 之生產邊界理論 .....	2-36
圖 2-7 環境管制過程之三階段 .....	2-53
圖 2-8 影響靜態效率之架構流程 .....	2-57
圖 3-1 公路部門各車種歷年能源消耗變化趨勢 .....	3-23
圖 3-2 運輸部門溫室氣體 CO <sub>2</sub> 排放量變化趨勢 .....	3-26
圖 3-3 公路客運各運具能源密集度變化趨勢圖 .....	3-28
圖 3-4 公路貨運各運具能源密集度變化趨勢圖 .....	3-30
圖 3-5 鐵路客運能源密集度變化趨勢圖(公升油當量/延人公里) .....	3-32
圖 3-6 鐵路客運能源密集度變化趨勢圖(度/延人公里) .....	3-33
圖 3-7 鐵路貨運(行駛)能源密集度變化趨勢圖 .....	3-34
圖 3-8 航空客運能源密集度變化趨勢圖 .....	3-35
圖 3-9 海運貨運能源密集度變化趨勢圖 .....	3-37
圖 4-1 民航統計年報與 OAG .....	4-1
圖 4-2 桃園機場之電子檔資料 .....	4-2
圖 4-3 高雄機場之電子檔資料 .....	4-2
圖 4-4 歷年出入境班次比例 .....	4-3
圖 4-5 歷年出入境座位總數比例 .....	4-3
圖 4-6 AEA 與 ICAO 調整大圓航線的比較 .....	4-8

圖 4-7 國內線航空年度 CO <sub>2</sub> 排放量 Tier 3A 與 Tier 1 比較.....	4-8
圖 4-8 國際線航空年度 CO <sub>2</sub> 排放量 Tier 3A 與 Tier 1 比較.....	4-9
圖 4-9 飛機中停的能源耗用比較.....	4-10
圖 4-10 按月計算之 CO <sub>2</sub> 排放量 .....	4-12
圖 4-11 我國之 GDP 與 CO <sub>2</sub> /Pkm 之趨勢分析.....	4-12
圖 5-1 歷年國籍船延噸海哩數.....	5-2
圖 5-2 歷年各船種總噸位數(單位：噸).....	5-3
圖 5-3 2008 年各船種之總噸位佔比.....	5-4
圖 5-4 歷年各船種載重噸位數(單位：噸).....	5-5
圖 5-5 2008 年各船種之載重噸佔比.....	5-5
圖 5-6 國際用油之柴油耗油量(單位：公秉).....	5-9
圖 5-7 國際用油之燃料油耗油量(單位：公秉).....	5-9
圖 5-8 國內用油之柴油耗油量圖.....	5-10
圖 5-9 國內用油之燃料油耗油量.....	5-10
圖 5-10 每年各港口國際柴油用油佔比.....	5-11
圖 5-11 每年各港口國際燃料油用油佔比.....	5-12
圖 5-12 每年各港口國內柴油用油佔比.....	5-12
圖 5-13 每年各港口國內燃料油用油佔比.....	5-13
圖 5-14 2008 年國際用油佔比.....	5-14
圖 5-15 2008 年國內用油佔比.....	5-14
圖 5-16 個案散裝船公司耗油量(單位：噸).....	5-17
圖 5-17 某散裝船公司 CO <sub>2</sub> 排放量 .....	5-18
圖 5-18 某散裝船公司 CH <sub>4</sub> 排放量 .....	5-19
圖 5-19 某散裝船公司 N <sub>2</sub> O 排放量.....	5-19
圖 5-20 個案散裝船公司 GHG 排放量 .....	5-20
圖 5-21 個案貨櫃船公司耗油量.....	5-22
圖 5-22 某貨櫃船公司 CO <sub>2</sub> 排放量 .....	5-22
圖 5-23 某貨櫃船公司 GHG 排放量 .....	5-23
圖 5-24 某貨櫃船公司 CH <sub>4</sub> 排放量 .....	5-23

圖 5-25 某貨櫃船公司 N <sub>2</sub> O 排放量 .....	5-24
圖 5-26 客輪使用柴油之 GHG 排放量 .....	5-25
圖 5-27 客輪使用燃料油之 GHG 排放量 .....	5-26
圖 5-28 客輪 GHG 排放量 .....	5-26
圖 5-29 商船三井 CO <sub>2</sub> 碳排放計算 .....	5-31
圖 6-1 臺鐵路線別圖 .....	6-3
圖 6-2 臺北捷運路線圖 .....	6-8
圖 6-3 臺灣高鐵各站 .....	6-11
圖 6-4 高雄捷運路線圖 .....	6-13
圖 6-5 本研究推估流程圖 .....	6-18
圖 6-6 臺鐵動力車線別行駛公里表-1 .....	6-21
圖 6-7 臺鐵動力車線別行駛公里表-2 .....	6-22
圖 6-8 臺鐵動力車線別行駛公里表-3 .....	6-23
圖 6-9 臺灣軌道運輸歷年溫室氣體排放量趨勢圖 .....	6-32
圖 6-10 臺鐵 2008 年各路線行駛溫室氣體排放量 .....	6-37
圖 6-11 確認及計算溫室氣體排放之步驟 .....	6-41
圖 7-1 能源別公路汽油、柴油歷史消費量趨勢 .....	7-5
圖 7-2 能源別鐵路電力合計歷史消費量趨勢 .....	7-6
圖 7-3 能源別北捷、高捷、高鐵、臺鐵電力歷史消費量趨勢 .....	7-6
圖 7-4 能源別鐵路柴油歷史消費量趨勢 .....	7-7
圖 7-5 能源別航空燃油歷史消費量趨勢 .....	7-7
圖 7-6 能源別國際水運燃油歷史消費量趨勢 .....	7-8
圖 7-7 能源別水運(不含國際水運燃油)歷史消費量趨勢 .....	7-8
圖 7-8 運具別汽油自用小客車、汽油機車歷史消費量趨勢 .....	7-9
圖 7-9 運具別汽油營業小客車歷史消費量趨勢 .....	7-10
圖 7-10 運具別自用小貨車歷史消費量趨勢 .....	7-10
圖 7-11 運具別營業小貨車歷史消費量趨勢 .....	7-11
圖 7-12 運具別大客車(柴油)歷史消費量趨勢 .....	7-11
圖 7-13 運具別大貨車(柴油)歷史消費量趨勢 .....	7-12

圖 7-14 參數校估流程.....	7-14
圖 8-1 國內自用車輛之平均能耗.....	8-5
圖 8-2 國內各運具單位運量之平均能耗.....	8-6
圖 8-3 我國運輸部門能源生產力及能源密集度.....	8-6
圖 8-4 不理性的能耗量與經濟損失.....	8-7
圖 8-5 Tapio(2006)的脫鉤型態及其指標值.....	8-9
圖 8-6 我國各部門之能耗與 GDP 的脫鉤比與脫鉤因子.....	8-10
圖 8-7 我國國籍航空客運能耗與 GDP 的脫鉤指標.....	8-11
圖 8-8 生產力及生產效率提升之示意圖.....	8-12
圖 8-9 平均生產力的差異並不反映效率的差異.....	8-14
圖 8-10 匱效率與能源效率提升之示意圖.....	8-14
圖 8-11 臺灣各部門的能源平均生產力.....	8-15
圖 8-12 生產運輸服務之技術效率與配置效率.....	8-17
圖 8-13 生產運輸服務之能源需求曲線與用電需求效率的衡量.....	8-18
圖 8-14 公車與客運車之能源需求效率變動趨勢.....	8-26
圖 8-15 公車與客運車之能源需求效率變動趨勢.....	8-27
圖 8-16 國籍航空客運之能源需求效率變動趨勢.....	8-31
圖 8-17 臺鐵之能源需求效率變動趨勢.....	8-31
圖 9-1 國內各運具之運量成長趨勢.....	9-1
圖 9-2 GDP 成長趨勢.....	9-2
圖 9-3 GDP 組成因子成長趨勢.....	9-3
圖 9-4 國內運輸各部門之 GDP 成長趨勢.....	9-3
圖 9-5 國內各運具的運量成長率.....	9-4
圖 9-6 國內自用運具的登記車輛數及其成長率.....	9-4
圖 9-7 國內各類運具之單位運量的能耗量.....	9-5
圖 9-8 我國軌道運輸能耗量(電力及柴油).....	9-6
圖 9-9 我國空運部門能耗量.....	9-6
圖 9-10 我國各產業部門之 CO <sub>2</sub> 排放量.....	9-7
圖 9-11 運輸部門的 3E 關聯體系.....	9-8

圖 9-12 國內各項能源產品之價格指數.....	9-10
圖 9-13 國籍航空客運之能耗與運量的增長趨勢.....	9-24
圖 9-14 國籍航空客運之能源生產力.....	9-24
圖 9-15 國家減量目標下之排放路徑示意圖.....	9-34
圖 9-16 節能減量績效評估方法與流程.....	9-36
圖 9-17 高、中、低案經濟成長率.....	9-37
圖 9-18 高、中、低案人均 GDP.....	9-38
圖 9-19 國家排放量與減量目標.....	9-39
圖 9-20 運輸部門排放量佔比.....	9-40
圖 9-21 等比例減量下運輸部門減量潛力.....	9-41
圖 9-22 等比例減量下運輸部門排放路徑.....	9-41
圖 9-23 成本有效減量下運輸部門減量潛力.....	9-42
圖 9-24 成本有效減量下運輸部門排放路徑.....	9-43
圖 9-25 等比例減量與成本有效減量下之運輸部門排放路徑.....	9-44
圖 10-1 能源模型的分類體系.....	10-7
圖 10-2 氣候變遷整合評估模型之一般性架構.....	10-11
圖 10-3 AIM 家族關聯圖.....	10-16
圖 10-4 ObJECTS 與 MiniCAM 整合架構.....	10-19
圖 10-5 IIASA-ECS 模型建構體系.....	10-20
圖 10-6 EPPA/MARKAL 模型體系.....	10-24
圖 10-7 EPPA/MARKAL 整合流程.....	10-25
圖 10-8 ECLIPSE 模型體系.....	10-27
圖 10-9 ECLIPSE 模型整合流程.....	10-29
圖 10-10 運輸部門 3E 整合模型架構.....	10-31
圖 10-11 運輸部門 3E 整合模型整合流程.....	10-33
圖 10-12 EPPA 家計部門巢式架構圖.....	10-39
圖 10-13 Berg(2007)家計部門消費巢式架構.....	10-40
圖 10-14 (a) Abrell (2007)一般生產部門生產巢式架構.....	10-41
圖 10-14 (b) Abrell (2007)運輸服務部門生產巢式架構.....	10-41

圖 10-14 (c) Abrell (2007)能源部門生產巢式架構. ....	10-42
圖 10-14 (d) Abrell (2007)家計部門消費巢式架構 .....	10-42
圖 10-15 運輸部門 CGE 模型建構流程圖 .....	10-44
圖 10-16 主計處雙面平減表-運輸部門國內生產毛額占全國比重 .....	10-47
圖 10-17 (a) 本研究產業部門生產巢式架構圖 .....	10-49
圖 10-17 (b) 運輸工具巢式架構圖 .....	10-49
圖 10-17(c) 運輸服務巢式架構圖 .....	10-50
圖 10-18 本研究家計部門消費巢式架構圖 .....	10-50

# 表 目 錄

表 2-1	IPCC 排放計算對航空不同層次的數據需求	2-2
表 2-2	EEA 航空排放量基本計算方法	2-6
表 2-3	大圓航線修正對照表	2-8
表 2-4	全球航空排放清單模式比較	2-11
表 2-5	IPCC 水運排放和清除類別的分類和定義	2-13
表 2-6	IPCC 水運污染源類別結構	2-14
表 2-7	CO <sub>2</sub> 排放係數(kg/GJ)	2-16
表 2-8	初始水運 CH <sub>4</sub> 和 N <sub>2</sub> O 排放係數	2-17
表 2-9	按發動機類型的平均燃料消耗(船隻>500 GRT)	2-17
表 2-10	IPCC 船隻燃料消耗係數(全功率)	2-18
表 2-11	2010 年底以前建造的船舶排放標準	2-20
表 2-12	2011 年 1 月 1 日以後建造的船舶排放標準	2-20
表 2-13	2016 年 1 月 1 日之後建造的船舶排放標準	2-21
表 2-14	火車引擎段數對應動力及速率表	2-23
表 2-15	火車引擎測試排放量	2-24
表 2-16	火車引擎排放率	2-24
表 2-17	美國鐵路排放盤查分類方式	2-25
表 2-18	U.S.EPA 鐵路機車排放係數	2-25
表 2-19	國內外運輸能源相關研究	2-27
表 2-20	預測模型彙整表	2-31
表 2-21	加油站經營績效評估相關文獻研究內容與發現	2-44
表 2-22	四種效率評估法之特性	2-47
表 2-23	臺灣與 OECD 國家的自願性協議型態	2-51
表 2-24	各國自願減量協議之產業範圍與承諾內容	2-52
表 2-25	國際自願性協議的誘因機制	2-55
表 2-26	評估準則與要素	2-59

表 3-1 運輸部門相關化石燃料溫室氣體排放係數.....	3-2
表 3-2 公路部門總耗油量公式.....	3-4
表 3-3 歷年車輛登記數統計量.....	3-8
表 3-4 歷年各車種年平均行駛里程.....	3-9
表 3-5 歷年車輛燃油效率值.....	3-10
表 3-6 歷年車輛平均年耗油量推估結果.....	3-11
表 3-7 歷年各車種年總耗油量推估結果.....	3-12
表 3-8 歷年公路客貨運年總耗油量推估結果.....	3-13
表 3-9 鐵路部門總耗油量公式.....	3-14
表 3-10 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-1.....	3-15
表 3-11 鐵路運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站)-2.....	3-16
表 3-12 航空運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站).....	3-17
表 3-13 航空部門總耗油量公式.....	3-18
表 3-14 水運運輸歷年年總耗油量推估結果(不含場站).....	3-19
表 3-15 水運部門總耗油量公式.....	3-20
表 3-16 全國歷年能源消費統計.....	3-21
表 3-17 運輸部門歷年能源消耗統計(含電力).....	3-22
表 3-18 公路各車種歷年能源消耗佔公路運輸比例.....	3-24
表 3-19 運輸部門歷年溫室氣體排放量推估統計(含電力).....	3-25
表 3-20 運輸部門溫室氣體排放量公式.....	3-26
表 3-21 公路客運能源密集度推估.....	3-29
表 3-22 公路貨運能源密集度推估.....	3-31
表 3-23 鐵路客貨運能源密集度推估(不含場站).....	3-33
表 3-24 航空客運能源密集度推估(不含場站).....	3-35
表 3-25 水運能源密集度推估(國籍船).....	3-36
表 4-1 歷年出入境班次統計.....	4-3
表 4-2 ICAO 機型對照表-國際航線.....	4-4
表 4-3 ICAO 機型對照表-國內航線.....	4-4
表 4-4 EEA 之各項溫室氣體排放量.....	4-5



表 4-5 大圓航線調整幅度文獻回顧.....	4-7
表 4-6 溫室氣體排放量計算-國際航線 .....	4-11
表 4-7 全球航空能耗情境預估 .....	4-14
表 4-8 未來航空能耗情境比較.....	4-14
表 4-9 燃油效率要滿足京都議定書所需之經濟條件 .....	4-17
表 5-1 國籍船歷年延噸海浬(單位：延噸海浬).....	5-2
表 5-2 國籍船各船種之總噸位(單位：噸).....	5-3
表 5-3 國籍船各船種之載重噸(單位：噸).....	5-4
表 5-4 能源平衡表中水運部分之國際用油(單位：公秉).....	5-7
表 5-5 能源平衡表中水運部分之國內用油(單位：公秉).....	5-8
表 5-6 IPCC 各種船之燃料消耗因子(全速) .....	5-15
表 5-7 2008 年國籍散裝船總噸位及載重噸.....	5-16
表 5-8 個案散裝船公司耗油(單位：噸).....	5-16
表 5-9 某散裝船公司各 GHG 排放量(單位：噸) .....	5-17
表 5-10 2008 年個案貨櫃船公司總噸位及載重噸佔比.....	5-21
表 5-11 2008 年某貨櫃船公司之國籍船每一航次耗油資料.....	5-21
表 5-12 臺灣兩大客輪之相關資料.....	5-24
表 5-13 客輪排放量(單位：噸).....	5-25
表 5-14 日本海運綠色化綜合對策.....	5-28
表 5-15 各種技術性 CO <sub>2</sub> 減量措施 .....	5-29
表 5-16 各種航運層面 CO <sub>2</sub> 減量措施 .....	5-29
表 5-17 世界航商節能技術.....	5-30
表 6-1 臺灣軌道運輸使用能源類型.....	6-1
表 6-2 2008 年臺鐵營運車種特性.....	6-4
表 6-3 臺鐵柴電機車 R100 型與 R150 型比較 .....	6-5
表 6-4 臺鐵電力機車 E200.E300.E400 型 .....	6-6
表 6-5 臺鐵電聯車 EMU 系列車型 .....	6-6
表 6-6 臺北捷運建造型式.....	6-9
表 6-7 臺北捷運高運量車型.....	6-10

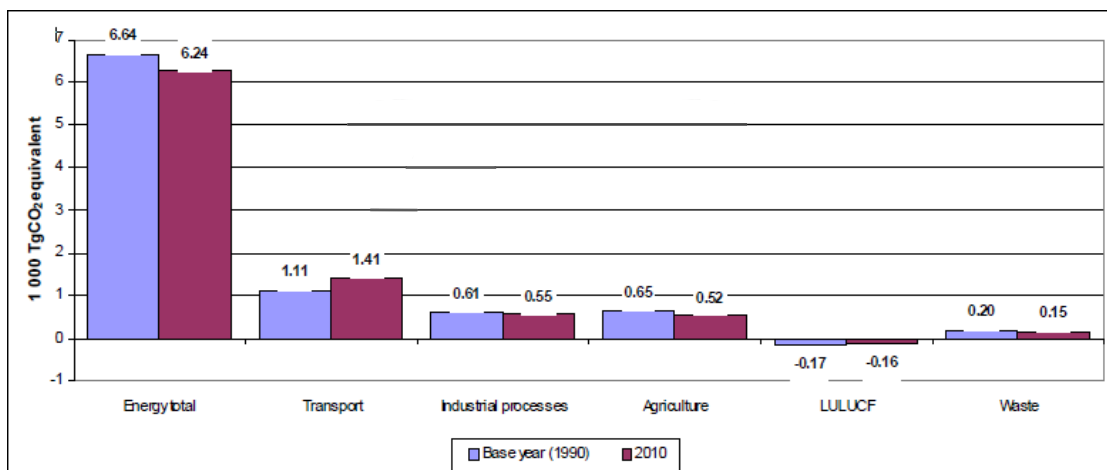
表 6-8 臺灣高鐵 T700 型 .....	6-12
表 6-9 高雄捷運高運量 MRT 電聯車 .....	6-14
表 6-10 臺灣軌道運輸歷年年總能源消耗量(不含場站) .....	6-20
表 6-11 2008 年柴油車輛能源消耗量 .....	6-24
表 6-12 2008 年電力車輛能源消耗量 .....	6-24
表 6-13 2008 年臺鐵柴油車輛路線行駛能耗量 .....	6-25
表 6-14 2008 年臺鐵電力車輛路線行駛能耗量 .....	6-26
表 6-15 北捷歷年各段別軌道用電量 .....	6-27
表 6-16 柴油動力車溫室氣體排放係數 .....	6-28
表 6-17 我國發電與用電最終需求排放密集度 .....	6-29
表 6-18 軌道運輸歷年溫室氣體排放量 .....	6-31
表 6-19 Tier 2 臺鐵縱貫線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-32
表 6-20 Tier 2 臺鐵宜蘭線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-33
表 6-21 Tier 2 臺鐵小運轉線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-33
表 6-22 Tier 2 臺鐵山線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-33
表 6-23 Tier 2 臺鐵北迴線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-34
表 6-24 Tier 2 臺鐵屏東線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-34
表 6-25 Tier 2 臺鐵臨港線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-34
表 6-26 Tier 2 臺鐵成追線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-34
表 6-27 Tier 2 臺鐵南迴線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-35
表 6-28 Tier 2 臺鐵臺東線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-35
表 6-29 Tier 2 臺鐵林口線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-35
表 6-30 Tier 2 臺鐵臺中港線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-35
表 6-31 Tier 2 臺鐵深澳線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-35
表 6-32 Tier 2 臺鐵集集線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-36
表 6-33 Tier 2 臺鐵平溪線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-36
表 6-34 Tier 2 臺鐵內灣線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-36
表 6-35 Tier 2 臺鐵各線別 2008 年溫室氣體(GHG)排放量 .....	6-36
表 6-36 Tier 2 北捷歷年段別行駛溫室氣體排放量 .....	6-38

表 6-37 軌道運輸直接與間接的溫室氣體排放.....	6-40
表 6-38 設備冷媒逸散率排放因子.....	6-43
表 6-39 公司基本資料表.....	6-45
表 6-40 各車種基本資料.....	6-46
表 6-41 車站設施資料.....	6-47
表 6-42 各車型活動數據.....	6-48
表 7-1 模型變數彙整表.....	7-4
表 7-2 能源別「單一方程式獨立校估模型」校估結果.....	7-16
表 7-3 公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」校估結果.....	7-18
表 7-4 能源別「聯立方程式同時校估模型」校估結果.....	7-19
表 7-5 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」校估結果.....	7-20
表 7-6 能源別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量預測結果.....	7-22
表 7-7 公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量結果.....	7-23
表 7-8 能源別「單一方程式獨立校估模型」CO <sub>2</sub> 排放量預測結果.....	7-24
表 7-9 公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」CO <sub>2</sub> 排放量預測結果.....	7-25
表 7-10 能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量預測結果.....	7-26
表 7-11 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量預測結果.....	7-27
表 7-12 能源別「聯立方程式同時校估模型」CO <sub>2</sub> 排放量預測結果.....	7-28
表 7-13 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」CO <sub>2</sub> 排放量校估結果.....	7-29
表 7-14 單一方程式與聯立方程式模型校估結果比較.....	7-30
表 8-1 運輸部門的能源效率指標.....	8-3
表 8-2 我國車輛容許耗用能源標準.....	8-4
表 8-3 公車與客運車之能源消費隨機邊界推估結果.....	8-24
表 8-4 公車與客運車與自用車輛之能源需求效率.....	8-26
表 8-5 國籍航空客運的能源需求隨機邊界推估結果.....	8-30
表 9-1 公車與客運之 3E 函數聯立推估結果.....	9-9
表 9-2 自小客車之 3E 函數聯立推估結果.....	9-12
表 9-3 計程車之 3E 函數聯立推估結果.....	9-14
表 9-4 機車之 3E 函數聯立推估結果.....	9-16

表 9-5 大貨車之 3E 函數聯立推估結果 .....	9-19
表 9-6 小貨車之 3E 函數聯立推估結果 .....	9-19
表 9-7 臺鐵客運之 3E 函數聯立推估結果 .....	9-21
表 9-8 臺鐵貨運之 3E 函數聯立推估結果 .....	9-23
表 9-9 永續能源政策行動方案 .....	9-27
表 9-10 強化策略各情境措施減量推估結果 .....	9-33
表 10-1 EMF 研究領域與主題 .....	10-5
表 10-2 TaiSEND 與 MARKAL、EnFORE、及 TAIGEM-III 的比較 .....	10-9
表 10-3 國際主要整合評估模型 .....	10-12
表 10-4 運輸部門 CGE 模型相關文獻 .....	10-35
表 10-5 主計處產業關聯表運輸相關部門(93 年) .....	10-45
表 10-6 產業關聯表運輸部門附加價值與生產總值(93 年) .....	10-46

# 第一章 緒論

溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)減量是本世紀人類面臨最重要的永續發展課題之一，而全球運輸部門溫室氣體排放量近年來節節高昇。依據聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, 2007)統計指出，京都議定書附件一國家預估至 2010 年運輸部門將增加至 1.41 億噸 CO<sub>2</sub> 當量排放(見圖 1-1)，但相對地其他部門則呈現排放量減少之趨勢，顯見運輸部門將成為全球溫室氣體排放管理的重點對象。因此，2007 年 6 月於德國舉行的 G8 會議，亦相當重視運輸部門的溫室氣體排放問題，會後提出「氣候變遷、能源效率與能源安全－全球經濟成長的挑戰與機會」(Climate Change, Energy Efficiency and Energy Security: Challenge and opportunity for world Economic Growth)，特別針對運輸部門提出永續發展的策略方向。運輸部門的減量問題亦為 2009 年於哥本哈根舉行之 COP15 會議的焦點，尤其歐盟(European Union)在航空運輸部門更將積極推動以收費的方式來抑制 GHG 排放。

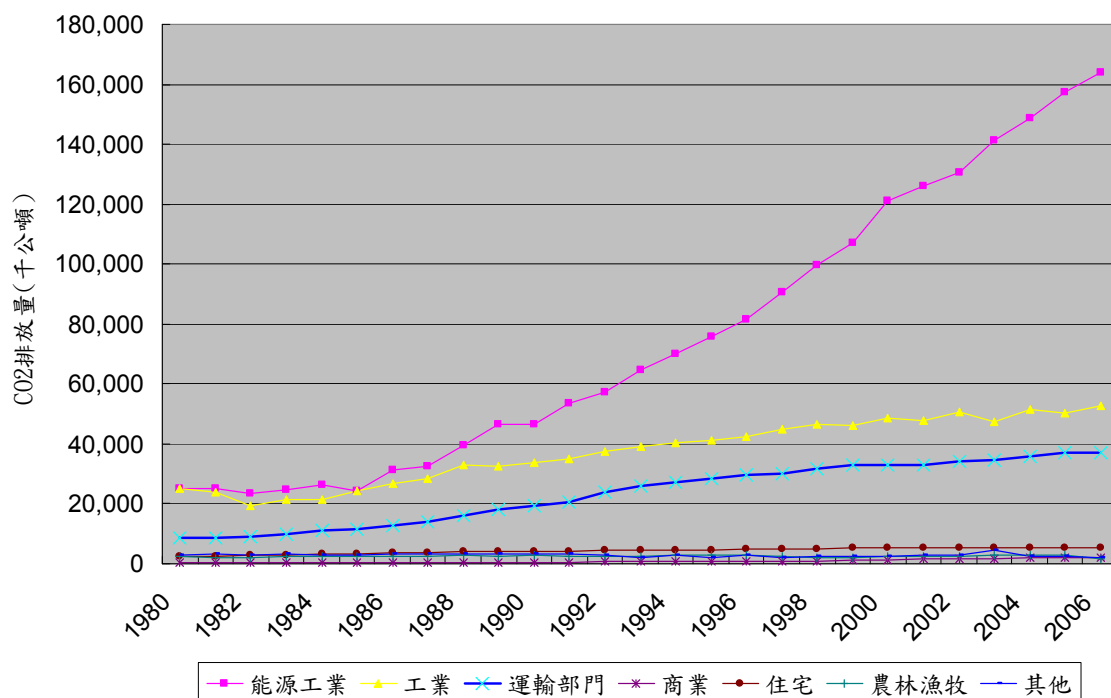


資料來源：[http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3800.php](http://unfccc.int/ghg_data/items/3800.php)。

圖 1-1 京都議定書附件一國家至 2010 年各部門溫室氣體排放推估

我國運輸部門近 27 年(1980-2006)來 CO<sub>2</sub> 排放則呈現穩定成長趨勢，平均年成長率為 5.8%，高於整體年平均長率(5.4%)，排放量僅次於工業部門

(見圖 1-2)。審議中的「溫室氣體減量法(草案)」的第 5 條明定運輸部門應研訂「運輸管理、大眾運輸系統發展及其他運輸部門節能減碳」等工作，以及第 12 條明定排放源之溫室氣體排放量需符合溫室氣體效能標準<sup>1</sup>。此外，「能源稅條例草案」業已就緒，開徵之後運輸部門首當其衝，將面臨全面性的衝擊，運輸部門如何有效節能減碳，並與經濟成長脫鉤(decoupling)，已蔚為運輸部門的重要挑戰，如何及早因應，未雨綢繆，誠乃當務之急。



資料來源：經濟部能源局(不含各部門用電之間接排放量)，2009<sup>[1.1.1]</sup>。

圖 1-2 我國各部門 CO<sub>2</sub> 排放趨勢：1980-2006

## 1.1 計畫背景與目的

本計畫係交通部運輸研究所(以下簡稱本所)依據「2005 年全國能源會議」規劃所辦理之運輸部門節能減碳行動方案 3 年期系列研究—「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立」。96 年度完成第 1 項子計畫「探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響」，其主要內容為「蒐集及研析各主要國家對於運輸部門溫室氣體之減量發展近況」、「運輸部門之溫

<sup>1</sup> 所謂效能標準係指新設或既設排放源別、業別、設施、產品或其他單位產出或單位消耗之溫室氣體年平均排放量。

室氣體排放量調查及推估」、「現行運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響」、「規劃我國未來運輸部門之節能減碳具體行動方案」與「運輸部門溫室氣體清冊建置與盤查程序」；97 年度完成第 2 項子計畫「建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」，該子計畫之重點為「進行車隊溫室氣體盤查」、「持續更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫」、「運輸部門行動方案執行成果檢討及因應策略研擬」。本(98)年度則進行第 3 項子計畫「建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式」，進一步落實相關運輸能源基本資料庫的建立與擴充，以補足以往未充分掌握之能源消耗、污染排放等參變數資料，俾求評估體系之完整性。

## 1.2 研究範圍與內容

本年度計畫以運輸部門能源消耗與溫室氣體排放為主要研究議題範圍，研究對象則包含陸上運輸(含公路與軌道系統)、水路運輸與航空運輸等運輸活動排放源。

主要研究內容分述如次：

- 1.「更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫(IPCC 2006 TIER 1)」：本項為延續前 2 年期之賡續性研究工作，推估各運輸系統能源消耗與溫室氣體排放量，惟能源消耗係以經濟部能源局能源平衡表之總量為基準，此外，本年期同時更新多項推估參數值與推估值。
- 2.運輸部門溫室氣體排放推估(IPCC 2006 TIER X)：本項工作主要以「航空運輸」、「軌道運輸」與「水路運輸」部門為對象，以 IPCC 2006 TIER 1 以上之方法進行溫室氣體排放量推估。
3. 運輸部門溫室氣體排放量基線推估：前期計畫係以簡單迴歸模型進行預測，本期計畫則以經濟計量模型進行溫室氣體排放量基線推估，並就能源別與運具別分別建立模型，同時考量單一方程式獨立校估與聯立方程式同時校估。
4. 建立新的運輸能源效率指標：本項工作先從學理上檢討文獻上常見用於衡量能源效率之指標(如能源生產力)的問題，進而提出具有創新性的「能源需求效率」指標，並就各項運具建構評估此一效率的實證模型，根據實證分析結果可以觀察比較各運具之能源效率的歷年變動情形，亦可清楚掌握影響能源效率之驅動力，為提升能源效率提供有效的政策方向。

5. 建置運輸部門能源與溫室氣體排放量查詢網頁：本項工作包含資料分析、資料庫架構規劃、資料分析、展示、查詢等功能。
6. 運輸部門行動方案執行成果檢討及因應策略研擬：賡續蒐集行動方案執行成效資料，研擬因應達成減量目標之策略，並就各項策略推估 CO<sub>2</sub> 的減量潛力。
7. 提出經濟、能源與運輸整合模型架構：本項工作以回顧既有經濟、能源與運輸整合模型文獻為重點，除探討其整合的可行性，並據以提出未來整合模型的架構建議。
8. 國內外運輸部門節能與溫室氣體減量推動現況之參訪與資料蒐集：出席 COP15 會議，蒐集國際最新發展資料；辦理國內專家學者座談會，針對研究相關課題徵詢意見並凝聚共識。

### 1.3 研究步驟與流程

依據前述所訂定工作項目，本研究執行步驟與方法包括(研究流程如圖 1-3 所示)：

#### 1. 資料庫與網站建構

##### (1) 蒐集運輸部門能源消耗與溫室氣體排放資料

- A. 首先界定鐵路、航空及水運的資料調查範圍；
- B. 接著依據界定範圍以及前期研究所提出的修正更新推算方法，蒐集鐵路、航空及水運能源消耗與溫室氣體排放資料；
- C. 分別由鐵路、航空、及水運之營運主體進行相關資料之蒐集與盤查，軌道運輸的營運主體主要為高鐵局、捷運局、與臺灣鐵路管理局，航空運輸的營運主體為各家航空公司，水運方面的營運主體包括海運業者、貨櫃業者以及港務局。

##### (2) 更新並建立運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫

- A. 遵循 IPCC 準則推算國內運輸部門溫室氣體排放量；
- B. 公路與水路運輸採用 IPCC 準則 Tier1 方法，軌道運輸則採用 Tier2 方法，航空部門採用 IPCC 準則 Tier3A 方法估算；
- C. 更新建立運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫；
- D. 建置維護運輸部門溫室氣體排放查詢網頁。

#### 2. 運輸部門溫室氣體排放基線預測



## (1) 預測模型探討與修正

當前預測方法存在幾個問題：

- A.既有模式設定缺乏需求決策的個體基礎(microfoundation)；
- B.既有預測模式的推估方法及檢測過程不夠嚴謹，模式的設定與選擇亦不夠周延，應根據實際資料主觀判斷適用的預測模型，並於事前檢測資料特性；
- C.缺乏運輸政策之總體經濟與產業影響的評估能力；

故本研究選用多種不同性質的預測模式，加強對照功能。就短期預測而言，本計畫以時間序列預測模型為主；長期預測則以經濟計量模型及動態 CGE 模型為主。

## (2) 進行排放基線預測與評析

### A.由個別轉為聯立

為考量整體運輸系統各運具間之關聯，與能源使用之互補與替代關係，本研究除單一方程式外，另行採用聯立方程式加以改善。

### B.由迴歸轉為序列

由於線性或對數迴歸方式在本質上對較具波動性變化的數列解釋能力有限，而由實際資料彙整亦發現，臺鐵與航空運量或能源耗用趨勢不定，因此，本研究同時考慮其他時間序列模式，比較模式解釋能力。

### C.由個體轉為總體

目前不論在城際或都會區旅運需求推估上，均採考量使用者個體特性的羅吉特模式，以此推估新運具加入或新政策推行之運具間運量轉移比例，再依各運具調整後運量進一步計算能源使用量與污染排放量。個體旅運需求模式主要變數為運具屬性與使用者特性，對於整體或區域的社經變化則視為外生變數、或是影響需求的間接因素。因此，本研究嘗試以動態 CGE 模型重新推估。

### D.由外生轉為內生

前期模式對於能源使用成本或溫室排放價格均視為外生變數，然而上述變數除影響燃油價格與外在成本，同時影響業者的營運成本與消費者的使用成本。因此，為能將上述外生變數充分轉化為模式內生，以動態 CGE 模型推估亦可解決此項限制。

### 3. 建立運輸部門能源效率指標

#### (1) 檢視既有能源效率指標

「能源生產力」是目前政府部門最常用來反映能源效率的指標，而每「延人公里」或「延噸公里」之能源消耗量則是衡量運具的慣用指標。然而能源生產力與使用效率在本質上並不相同，能源生產力提升不必然表示能源效率提升，良好的技術效率也不代表高經濟效率，因此直接以「延人公里」或「延噸公里」之能源消耗量衡量運輸部門能源效率值得商榷。

#### (2) 定義能源效率指標層級

能源效率的衡量可從國家層級(或總體經濟面)、產業部門層級、個別廠商層級、個別運具、或設備層級而分別訂定適當的指標。鑑於運具及設備層級的能源效率指標已具共識，且普遍在國際間採行，因此本研究以部門層級的能源效率指標為主。

#### (3) 提出適當的能源效率指標

能源效率應區分技術效率與配置效率，前者表示由投入面觀察，在技術水準不變下，欲減少一種投入的使用量必增加他種投入的使用量為代價，即為達到技術效率；後者表示在一定的產量下，若任兩投入之邊際產出量比例等於投入價格的比例時，則達到配置效率。只有同時達成技術效率與配置效率時，方能稱為具有能源效率。

### 4. 計算運輸部門節能減碳行動方案執行成效

延續前期計算方法，計算節能減碳行動方案執行成效。

### 5. 推估運輸部門節能減碳潛能並提出策略

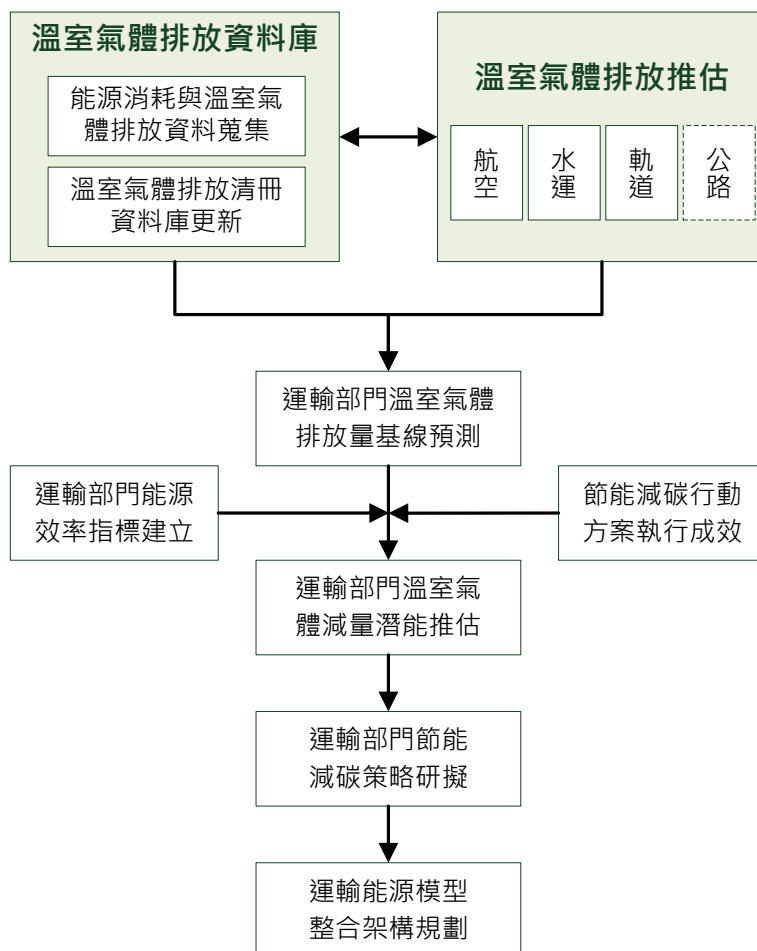
彙整運輸部門溫室氣體排放基線預測與節能減碳行動方案成效估算結果，並運用動態 CGE 模型推估不同經建發展條件與外部政策(如能源稅)下之運輸部門排放趨勢，計算運輸部門未來節能減碳潛能，檢視運輸部門減量目標並提出因應策略。

### 6. 運輸與能源模型整合架構規劃

以發展運輸部門能源消耗與溫室氣體減量政策評估工具為目標，本研究透過文獻探討與國內研究現況，規劃未來運輸與能源模型可行的整合架構，主要研究流程包括：

#### (1) 彙整國內外整合模式架構；

- (2) 彙整國內運輸與能源模型現況；
- (3) 提出運輸與能源模型整合發展規劃。



資料來源：本研究繪製。

圖 1-3 研究流程圖



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 國內外航空運輸能源與溫室氣體推估方法

航空業溫室氣體與污染物排放推估方法在國際上有數種不同之計算方式，本研究就跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)、歐洲環境總署(EEA)與國際民航組織(ICAO)所提出之推估方法作為計算之基礎。

#### 2.1.1 跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)推估方法

依據IPCC對於航空器排放的依據是來自噴氣燃料(噴氣煤油和噴氣汽油)和航空汽油的燃燒。飛機發動機的排放污染物CO<sub>2</sub>大致有70%、H<sub>2</sub>O略少於30%與少於1%的NO<sub>x</sub>、CO、SO<sub>x</sub>、NMVOC<sup>1</sup>、微粒和其他微量成分。排放量取決於飛機飛行次數和類型、飛機發動機的類型和效率、使用的燃料、飛行距離、馬力設定、每個飛行階段所經歷的時間；其次取決於排放廢氣的飛行高度<sup>[2.1.1]</sup>。

基於上述之準則，飛機航程被區分為著陸/起飛(Landing and Take Off, LTO)週期與巡航兩階段，各種機型在起降滑行的LTO週期約佔10%排放量；另外90%則是離開機場的階段。排放之污染物中，碳氫化合物和CO之比重，約為30%比70%<sup>[2.1.2]</sup>。

依據IPCC估算CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>與N<sub>2</sub>O的排放量有3個層次方法。Tier 1和Tier 2方法直接引用燃料消耗資料，其中Tier 1只根據燃料資料，而Tier 2係依據起降週期(LTOs)的次數和燃料耗量，另Tier 3則根據各航次飛機的飛行資料，所有方法均區分為國內和國際飛行。顯然地，Tier 1直接引用的能源統計資料很難區分國內和國際及各個來源類別，但相對地Tier 2與Tier 3自然較能準確的區分，因為層次愈高，國內和國際的區分就愈容易。

表2-1說明各層次的資料需求。圖2-1的決策樹則有助於各方法的選擇。

---

1 NMVOC, non-methane volatile organic compounds,非甲烷揮發性有機物(特指除甲烷外的其他揮發性有機物)

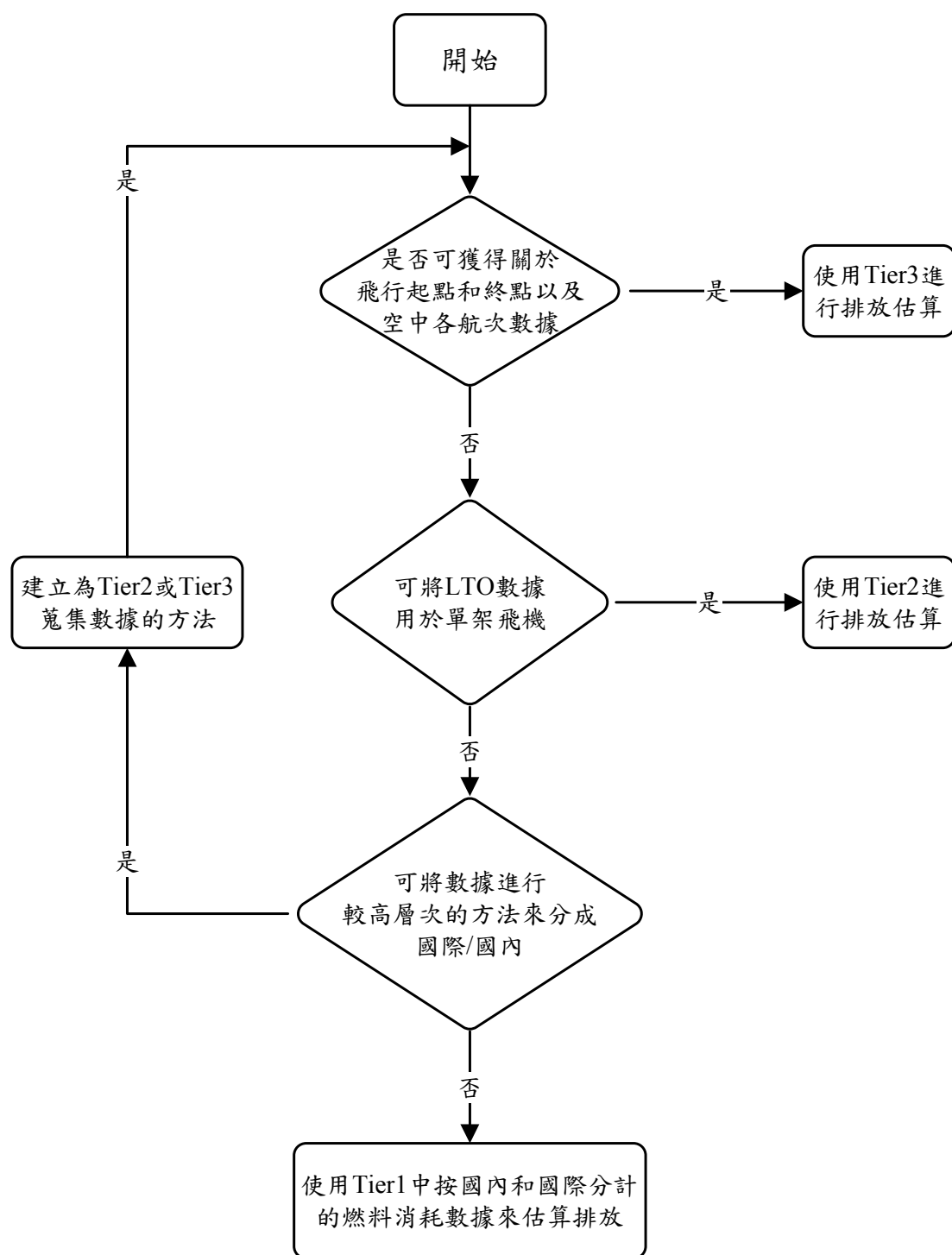
表 2-1 IPCC 排放計算對航空不同層次的數據需求

數據(包含國內和國際)	Tier 1	Tier 2	Tier 3A	Tier 3B
航空汽油消耗	X			
噴氣燃料消耗	X	X		
總LTO				
按飛機類型的LTO		X		
按飛機類型的起飛地和目的地(OD)			X	
全部航次的飛機和發動機數據				X

資料來源：2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指南<sup>[2.1.3]</sup>。

使用 Tier 3A 或 3B 模式，利用巡航階段的估算會更加準確。而且由於使用飛行資料代替燃料耗用值，可更準確地區分國內和國際航次。Tier 3 的許多資料可從一些模式，如 SAGE<sup>[2.1.4]</sup> 和 AERO2K<sup>[2.1.5]</sup> 獲得，另外再引用可區分國內和國際燃料耗用的方法或數據計算，包括依據 LTOs、乘客-公里數資料、航班時間表資料等，其中航班時間表資料可呈現的資訊如 OAG(Official Airline Flight Schedules and Guides) 資料，各國進行的噸位-公里數的 ICAO 統計等。

選擇高層級方法可以與其他污染物(如 NO<sub>x</sub>) 同時進行排放估算，也可結合多個資料庫。在 Tier 2 以上的方法中，LTO 和巡航階段的排放可分別進行估算，並比照一些空氣污染模式只計算 914 公尺(3,000 呎) 高度以下的排放量。



資料來源：2006年IPCC國家溫室氣體清單指南<sup>[2.1.3]</sup>。

圖 2-1 IPCC 對航空排放估算層次選擇之決策樹

### 1. Tier 1

Tier 1的方法是利用航空燃料消耗資料的總計數量(LTO和巡航)再乘上平均排放係數，因此排放係數是平均計算在飛行的每一階段。其排放量計算

如公式：

$$\text{排放量} = \text{燃料消耗} \times \text{排放係數}$$

Tier 1基本上是用以估算使用航空汽油的飛機所產生之排放，但航空汽油僅用於小型飛機，且這種小型飛機的燃料消耗不及航空燃料的1%。在無法獲得飛機飛行數據時，才會考慮使用Tier 1的方法。

## 2. Tier 2

Tier 2僅適用於噴射飛機發動機的噴射燃料使用。仍區分為LTO和巡航階段。使用Tier 2時，必須獲得國內和國際航空LTO運行的次數，最好還能包括飛機類型。在Tier 2中，可區分低於和高於914公尺(3,000呎)的排放；

Tier 2將航空排放的估算分為以下步驟：

- (1) 估算國內和國際航空的燃料消耗總量；
- (2) 估算國內和國際航空的LTO燃料消耗；
- (3) 估算國內和國際航空的巡航燃料消耗；
- (4) 估算國內和國際航空的LTO和巡航階段的排放。

其公式如下：

$$\text{總排放量} = \text{LTO排放} + \text{巡航排放}$$

式中：

$$\text{LTO排放} = \text{LTO燃料消耗} \times \text{排放係數}_{\text{LTO}}$$

$$\text{LTO燃料消耗} = \text{LTOs次數} \times \text{每LTO燃料消耗}$$

$$\text{巡航排放} = (\text{燃料消耗總量} - \text{LTO燃料消耗}) \times \text{排放係數}_{\text{巡航}}$$

在Tier 2中，值得注意的是巡航階段的燃料估算是總燃料使用減去使用於飛行的LTO階段的燃料。國內和國際航空的燃料使用分別進行估算。用累計排放係數(平均或每種飛機類型)乘以估算的巡航燃料使用，以估算CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>巡航排放量。用於LTO階段的排放和燃料量則根據LTOs次數(平均或每種飛機類型)與各排放係數或每LTO週期的燃料使用係數(平均或每種飛機類型)統計資料來進行估算。

Tier 2考量到飛機的個別資料，因此需要獲得飛機類型及國內和國際LTO次數的資料。估算應包括用於國內和國際航空的所有飛機類型。為求簡化，可將類似機種整合為一，例如Airbus 330包括ICAO的A30B、A306及IATA的AB3、AB4、AB6、ABF、ABX、ABY。除了NO<sub>x</sub>，Tier 2並未提供排放的巡



航排放係數，必須以國家排放係數或各既定之排放係數來估算巡航排放。

### 3. Tier 3

Tier 3是利用實際飛行移動之數據，包括Tier 3A與Tier 3B兩類。Tier 3A考慮國內與國際飛行，起飛地至目的地等不同飛行距離，以及各種飛機類型細節之排放，Tier 3A亦考慮起飛/降落(LTO)階段與巡航階段之排放量差異，一般LTO階段之燃料使用量較高。

Tier 3B之方法記錄完整飛行軌跡訊息，比Tier 3A更為詳細，包括使用飛機和特定發動機之排放係數來計算實際排放量，為了更為精確估算Tier 3B之排放量，需要更複雜之電腦來記錄飛機在飛行時一切之資訊，如飛行的航路、高度、經緯度、發動機等。

## 2.1.2 歐洲環境總署(EMEP/CORINAIR, EEA)推估方法

空中交通的燃燒排放來源取決於飛機機型、引擎類型與油料的使用、引擎的排放特性(每使用一單位之油料所排放的污染)、飛行高度與交通量，但並未考慮到老齡化對發動機的排放是否有影響。一般認為這樣的影響是對於總排放量來說只是輕微的影響，因為排放量是來自於使用的煤油和航空汽油(航空汽油只使用在小型飛機上)。

而其他空中交通的排放是跟飛機有關的，如：一般加油和燃料的處理、飛機引擎的維修、飛機塗裝、空廚車輛與其他服務車輛、飛機的防冰與除冰設備，還有飛機在等待慢車(Idle)、滑行(Taxi)與起飛時油料的消耗。

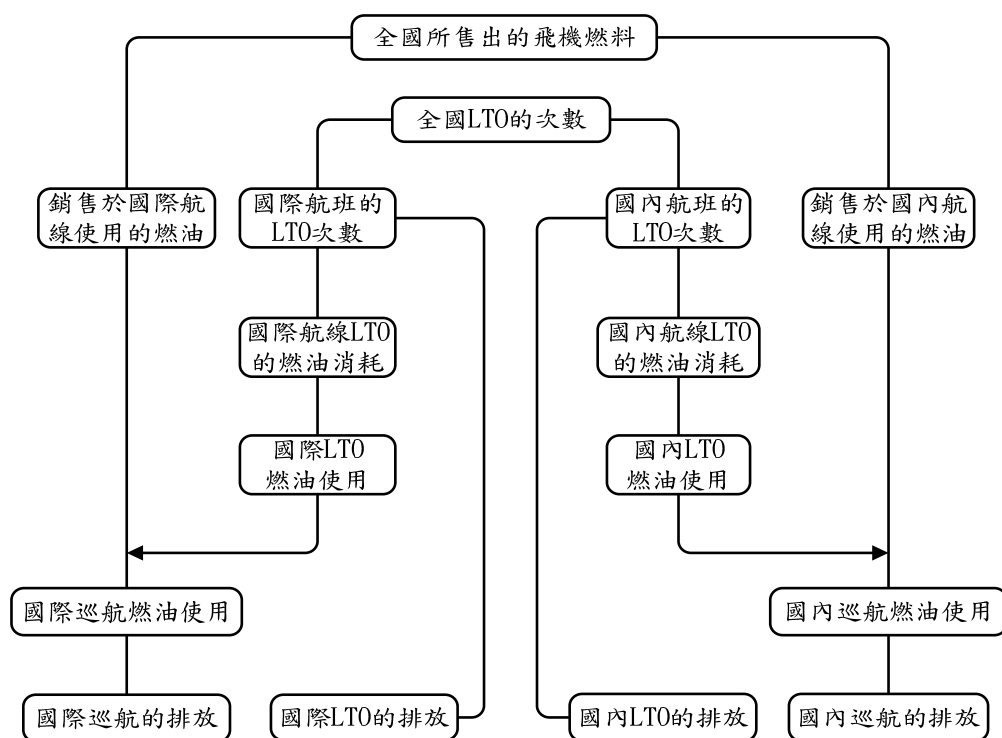
在不同國家，也許有著很大不同的計算方法與來源，最後EEA制3種計算的方法，包括「非常簡單」(Very Simple)、「簡單」(Simple)與「詳細」(Detailed)。這3種方法之間的區別主要在於機型的使用，「非常簡單」法是不考慮使用的機型，只利用飛行的時間計算；「簡單」法，係考慮到機型的使用與飛行的時間；而「詳細」法還加上了發動機的類型。相關資料如表2-2所示。

表 2-2 EEA 航空排放量基本計算方法

方法		起飛與降落	巡航與爬升
非常簡單	活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>LTO彙總</li> <li>時間模式(ICAO)</li> </ul>	燃油剩餘
	排放係數	普通航空器	普通航空器
簡單	活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>每架飛機類型的LTO(普通航空器)</li> <li>時間模式(ICAO)</li> </ul>	燃油剩餘
	排放係數	每架飛機類型	一架普通航空器
詳細	活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>每架飛機類型的LTO活動(普通航空器)(發動機的類型)</li> <li>時間模式：應採用實際數據，若無實際數據則可參考ICAO。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行距離</li> <li>獨立估計巡航的燃油使用</li> </ul>
	排放係數	<ul style="list-style-type: none"> <li>每架飛機類型的LTO(普通航空器)</li> <li>發動機的類型</li> </ul>	每架飛機的類型(普通航空器)還有飛行距離

資料來源：Emission Inventory Guidebook (2001)<sup>[2.1.6]</sup>。

「非常簡單」的計算方法都是基於LTO的數據和所售出的燃料量，詳見圖2-2。這裡推測所用的燃料相當於出售的燃料，再從總銷售的飛機燃料，依照IPCC與UNECE的報告分配。

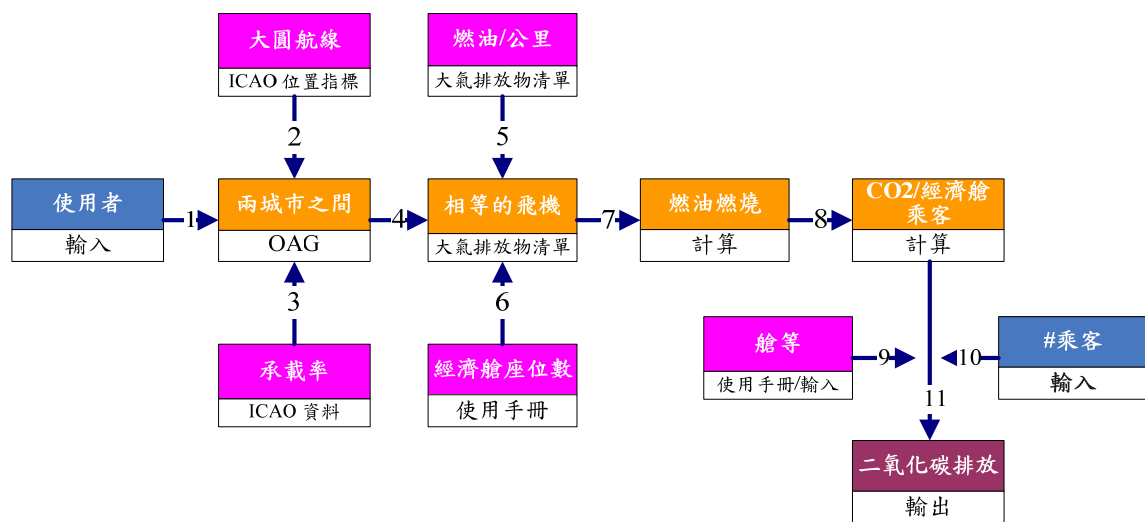


資料來源：2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指南<sup>[2.1.3]</sup>。

圖 2-2 估計飛機排放的燃料為基礎的簡單方法

### 2.1.3 國際民航組織(ICAO)推估方法

ICAO在2008年6月啟動了一種以網路為基礎的碳排放計算器，這是一項經過國際組織批准的網路工具，用於確定特定飛行航程之二氧化碳(CO<sub>2</sub>)排放量，網站提供碳抵消方案使用。ICAO所用之排放計算方法兼顧各種變數，例如航空器類型、航路特定數據、載客率和所運貨物等，如圖2-3所示。ICAO除採用距離的方法來估算每一名旅客在不同的航空器中單一航程的排放量外，並利用燃油消耗和其他方法計算，以尋求改進，進而獲得更好的排放估算方法。



資料來源：ICAO Carbon Emissions Calculator, (2008)<sup>[2.1.7]</sup>。

圖 2-3 ICAO 計算碳排放量所需資料

ICAO的碳排放計算，需要每架飛機的起飛地與目的地，以獲得每架飛機飛行的距離，並加上大圓航線所需加上之距離，如表2-3所示。其他載客之因素，經ICAO透過貨物和乘客的比例，推估蒐集相關之數據。

2 OAG(Official Airline Guide)官方航空指南，是提供全球航班資訊與數據的國際公司

表 2-3 大圓航線修正對照表

大圓航線距離(Great Circle Distance)	大圓航線修正量
550公里以下	+ 50Km
介於550到5500公里之間	+ 100Km
大於5500公里	+125Km

資料來源：Sutkus et al. 2001, P.9<sup>[2.1.9]</sup>。

- 1.兩城市間(City Pair)：從航空公司多邊定期航線資料庫來獲得，定期航班資料的數據是根據最新的資料，且每3個月更新一次。
- 2.大圓航線(Great Circle Distance)：出發地和目的地之間的距離依經緯度座標，地點從國際民航組織指標資料庫取得(見表2-3)。
- 3.承載率(Load Factors)：計算的來源於交通的飛行行程資料庫，一般會使用平均的算法，其資料庫蒐集航空運送人每年所載運的量與國內交通營運資料，再向ICAO蒐集兩者資料。
- 4.燃料/公里(Fuel/Km)：這個資料，是分成每種飛機機型的排放量，並從大氣排放清單資料庫得到，且由ICAO擴展到區域型噴射機的燃油消耗。
- 5.經濟艙座位(Y-seats)：這是指可安裝於飛機內經濟艙的座位。ICAO所提出讓航空公司參考使用標準客艙的配置(按座位廚房、廁所和出口)，但實際配置，還是依飛機的特性與飛機製造商的規劃。
- 6.使用者輸入：使用者輸入起點與終點機場，資料庫會搜尋所有的航班，直飛或非直飛兩城市間的服務。可以讓工具不計算轉機行程班號的總排放量，如果要計算的完整，使用者可以選擇建立將每個航程分開的計算方法。而共用班號的航班會被當成單獨的一個航程。

$$\text{每一乘客分擔的CO}_2 = 3.157 \times \frac{(\text{總油量} \times \text{客貨承載因子})}{(\text{經濟艙座位數} \times \text{乘客載客因子})}$$

- 7.總油量＝加權平均從起點到終點機場所使用之油量，權重的比例是依每種不同的機型去計算。
- 8.客貨承載率＝依ICAO在某一航程中乘客數量與貨運量的統計數據資料庫的比例。
- 9.經濟艙座位數＝往特定城市航班之經濟艙座位數量。
- 10.承載因子＝ICAO依統計資料庫計算出乘客數量與可提供座位數的一定比

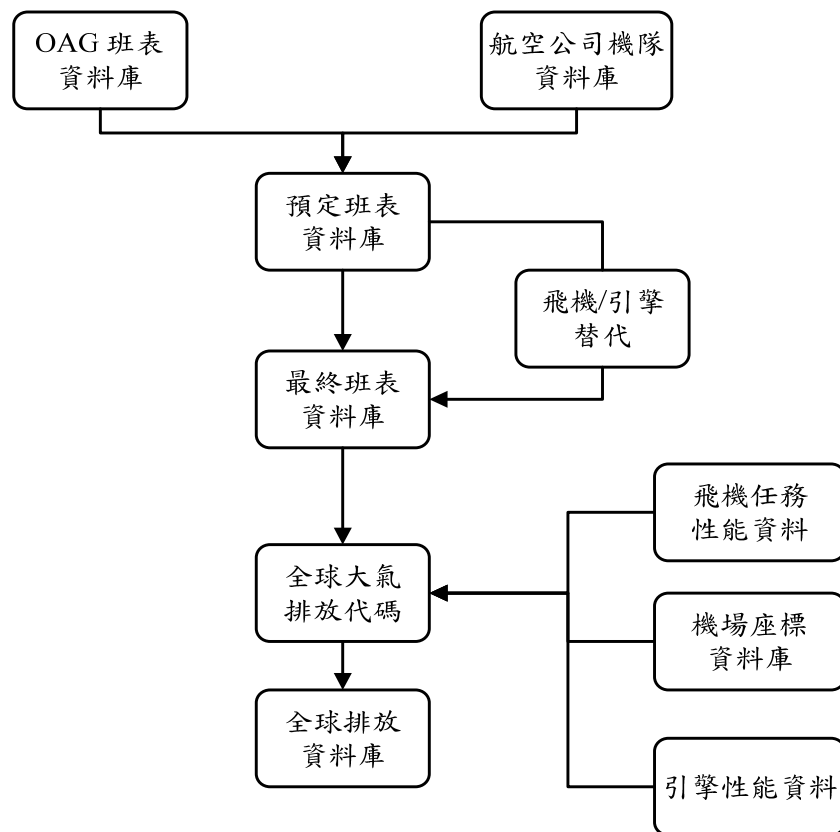
率。

11. 3.157=燃燒一噸航空燃油所排放出二氧化碳的常數項。

## 2.1.4 航空運輸溫室氣體排放推估

### 1.NASA

在1999年定期民用航空器排放清單中，波音商用飛機集團與NASA進行了一個高效率發動機技術(Ultra Efficient Engine Technology Program, UEET)的計畫，利用三維數據來得到飛機燃油燃燒和排放之NO<sub>x</sub>、CO與HC，這個計算方式是一個較保守之計算方法，也是全球航空排放模型之一，於1999年的計算不包括不定期航班起降、國家航空器、包機與軍用飛機。如前所述，定期與不定期航班係分開估算，如圖2-4<sup>[2.1.8]</sup>所示。



資料來源：Sutkus et al. 2001, P.9<sup>[2.1.9]</sup>。

圖 2-4 NASA 排放計算

### 2.AERO2k

2002年的AERO2k是排放清單裡被開發的一部分，由歐盟第5次採購計畫

中由Qineit Q公司、歐洲航行安全組織與曼徹斯特大學、荷蘭國家航太實驗室與德國航太中心共同研究，其研究結果指出，軍用航空與民用航空是分開計算，而民航部分只限於飛行航班，大多數的不定期航班都不列入計算。

所排放之二氧化碳、水、氮氧化物、一氧化碳和碳氫化合物的計算與燃料使用與每一網格之旅行距離，不同以往的排放清單，這個方法可以得到民用航空更仔細的排放量。而這種微粒排放量和飛行距離都使用氣象學研究的凝結雲和卷雲。除2002年每個月的三維清單外，每天24小時一天4次等於每6小時都有民用航空的紀錄更新，此外，空中巴士公司(Airbus)與英國貿易與工業部門也開始對於2025年發展需求與科技做相關之預測。

### 3. SAGE

全球航空業排放評估系統(System for Assessing Aviation's Global Emissions (SAGE))，是由FAA、VNTSC(Volpe National Transportation Systems Center)全國運輸系統中心、麻省理工學院以及物流管理學會共同協力開發而成，其提供排放之方法為延遲與追蹤散佈，以研究航空排放為主，但並未公開使用。其主要是計算民用航空器所排放的NO<sub>x</sub>、CO及HC，但不包括軍用與國家航空器。此外，此方法提供全球每一經緯度之排放數據，使有關之每一航班或部分航班使用，其動態資料也提供航空公司營運之參考；其預測模式也是SAGE的重點，因為SAGE具有良好的記錄方法，結合大範圍的輸出數據，所以是常被運用的方法之一，以上3種模式之內容請見表2-4。

表 2-4 全球航空排放清單模式比較

		NASA 1999[Sutkus et al. (2001)]	AERO2k [Eyers et al. (2004)]	SAGE version 1.5 [FAAa,b,c,d (2005)]
一般資訊	年份	1999至2020	2002，預測至2025	2000-2004預測開發中
	涵蓋範圍	定期航班	定期與不定期航班 軍用航空	定期及不定期航班
動態資料	來源	OAG飛行班表	飛航管制資料從ETMS AMOC飛行班表	ETMS飛航管制資料 OAG飛行班表
	資料蒐集期間	1999的每一個個月	2002 為 6 個 代 表 星 期 (ATC)，及每個月(班表)	2000-2004的每一個個月
	資料庫內容	定期航班資料	ATC資料的四維軌跡及定期航班資料	ATC資料的四維數據及分散航點的定期航班
呈現	飛機與引擎的組合	120 (噴射機及普通渦輪螺旋槳發動機)	40 (噴射機及渦輪螺旋槳發動機)	91 (噴射機及渦輪螺旋槳發動機)
	顯示資料及模式	波音專有的資料及波音任務分析計畫(BMAP)	PIANO飛機模型 PIANO高階軟體	BADA & INM飛機模式 BADA & INM表現方法
	選擇假設任務	大圓航線，70%的乘客承載率，最大貨載經驗的承載率，連續爬升巡航。	實際路線，60.9%的承載率，階段爬升與巡航	實際路線從ETMS航班起飛重量從INM估計階段爬升與巡航，延遲模式。
排放	排放資料及模式	ICAO排放指標+工業資料，波音方法2 (Boing Method 2) (NO <sub>x</sub> , CO, HC)	ICAO排放指標+工業資料 DLR燃料流量(NO <sub>x</sub> ), DLR omega方法(CO, HC) DLR 煙灰方法(微粒)	ICAO排放指標+ EDMS資料，波音方法2 (Boing Method 2) (NO <sub>x</sub> , CO, HC)
小結	配置軟體	波音GAEC	AERO2k資料整合工具	SAGE燃料消耗及排放模式
	涵蓋形式	燃油消耗，NO <sub>x</sub> ，CO，HC	燃油消耗，CO <sub>2</sub> ，H <sub>2</sub> O，NO <sub>x</sub> ，CO，HC，煙灰+每一網格之距離	燃油消耗，CO <sub>2</sub> ，H <sub>2</sub> O，NO <sub>x</sub> ，CO，HC，SO <sub>x</sub> +每一網格之距離
	分析	三維資料1° x 1° x 1km的網格	三維資料1° x 1° x 500 ft網格 四維資料1° x 1° x 500 ft x 6h網格	三維資料1° x 1° x 1km網格 四維原始數據的任何要求

資料來源：Methodologies for Aviation Emission Calculation P.78<sup>[2.1.8]</sup>。

## 2.2 國內外水路運輸能源與溫室氣體推估方法

關於水路運輸溫室氣體推估方法，目前國際上主要採用聯合國氣候變化綱要公約的「跨政府間氣候變遷專家小組」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)<sup>[2.1.3]</sup>所訂定之溫室氣體推估方法。其次，海運另有一種計算推估方式，由驗船協會所訂定，各國驗船協會所制定之計算方式差異不大，之後將以法國驗船協會之計算方式為例作說明。國內可依據該例中採用之推估方式作為標準。

### 2.2.1 IPCC 之推估方式

#### 2.2.1.1 溫室氣體

在聯合國氣候變化綱要公約的「跨政府間氣候變遷專家小組」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)<sup>[2.1.3]</sup>中，以「燃料燃燒」項目區分 8 個部門(能源及轉換工業、工業、運輸、商業、住宅、農林、其他)，當中運輸部門，佔全球能源排放量第 3 大為 14/。「海上運輸」造成環境許多的污染負荷，同時從陸路運輸到船舶運輸的轉換中，也對整體的 CO<sub>2</sub> 排放量有極大的影響。

IPCC 2006 中提出溫室氣體的項目有：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、氫氟烴(HFCs)：如三氟甲烷(CHF<sub>3</sub>)、四氟乙烷(CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>)、二氟乙烷(CH<sub>3</sub>CHF<sub>2</sub>)、全氟碳(PFCs)：CF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>10</sub>、c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>12</sub>、C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)、三氟化氮(NF<sub>3</sub>)、五氟化硫三氟化碳(SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>)、鹵化醚(例如 C<sub>4</sub>F<sub>9</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>、CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OC<sub>2</sub>F<sub>4</sub>OCHF<sub>2</sub>、CHF<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>OCHF<sub>2</sub>)。但針對海運的部分，只探討二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)這 3 種溫室氣體。

#### 2.2.1.2 類別的分類與定義

IPCC 2006 中將各種運輸分門別類並加以定義，有關 IPCC2006 所定義水運部分之類別代碼、定義及相關氣體如表 2-5 所示。



表 2-5 IPCC 水運排放和排除類別的分類和定義

類別代碼和名稱	定義	氣體
1A3 運輸	所有運輸活動(除軍事運輸外)中，燃料燃燒和蒸發引起的排放與部門無關，例如從事國際運輸(1 A 3 a i 和 1 A 3 d i)的飛機和船舶出售時燃料燃燒產生氣體排放，應該盡可能地排除在該類別的總量和部分總量外，並應單獨報告。	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、NO <sub>x</sub> 、CO、NMVOC、SO <sub>2</sub>
1A3d 水運	用於推進輪船(包括氣墊船和水翼船，但漁船除外)的燃料排放。應根據每個出港和到港來區分國際/國內運輸，而非依旗幟或船舶的國籍。	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、NO <sub>x</sub> 、CO、NMVOC、SO <sub>2</sub>
1A3d1 國際水運 (國際燃油)	參與國際水運的所有旗幟船隻所用燃料的排放。國際水運可以在海上、內湖和沿海水域進行。包括在不同國家離/靠岸的各種行程的排放。漁船的消耗量除外。如果使用了同樣的定義區別，並能獲得支援此定義的資料，則國際軍事水運的排放可以作為國際水運的單獨子類別。	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、NO <sub>x</sub> 、CO、NMVOC、SO <sub>2</sub>
1A3d2 國內水運	在同一國家起程和抵達的所有船隻使用燃料的排放(不包括應在 1 A 4 c 3 的漁業和在 1 A 5 b 的軍事)。這可能包括一個國家內兩個港口間相當長的航行(如從舊金山市到檀香山)。	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、NO <sub>x</sub> 、CO、NMVOC、SO <sub>2</sub>

資料來源：IPCC 2006。

### 2.2.1.3 水運污染源類別

污染源類別包括所有水運，從遊艇到大型遠洋貨船，主要由大型、慢速和中等速度的柴油發動機驅動，有時也由蒸氣或氣體渦輪機驅動。這包括氣墊船和水翼船。水運引起下列排放：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)，以及一氧化碳(CO)、非甲烷揮發性有機化合物(NMVOCs)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、微粒物質(PM)和氮氧化合物(NO<sub>x</sub>)。有關 IPCC 2006 所定義水運污染源類別範圍，詳如表 2-6 所示。

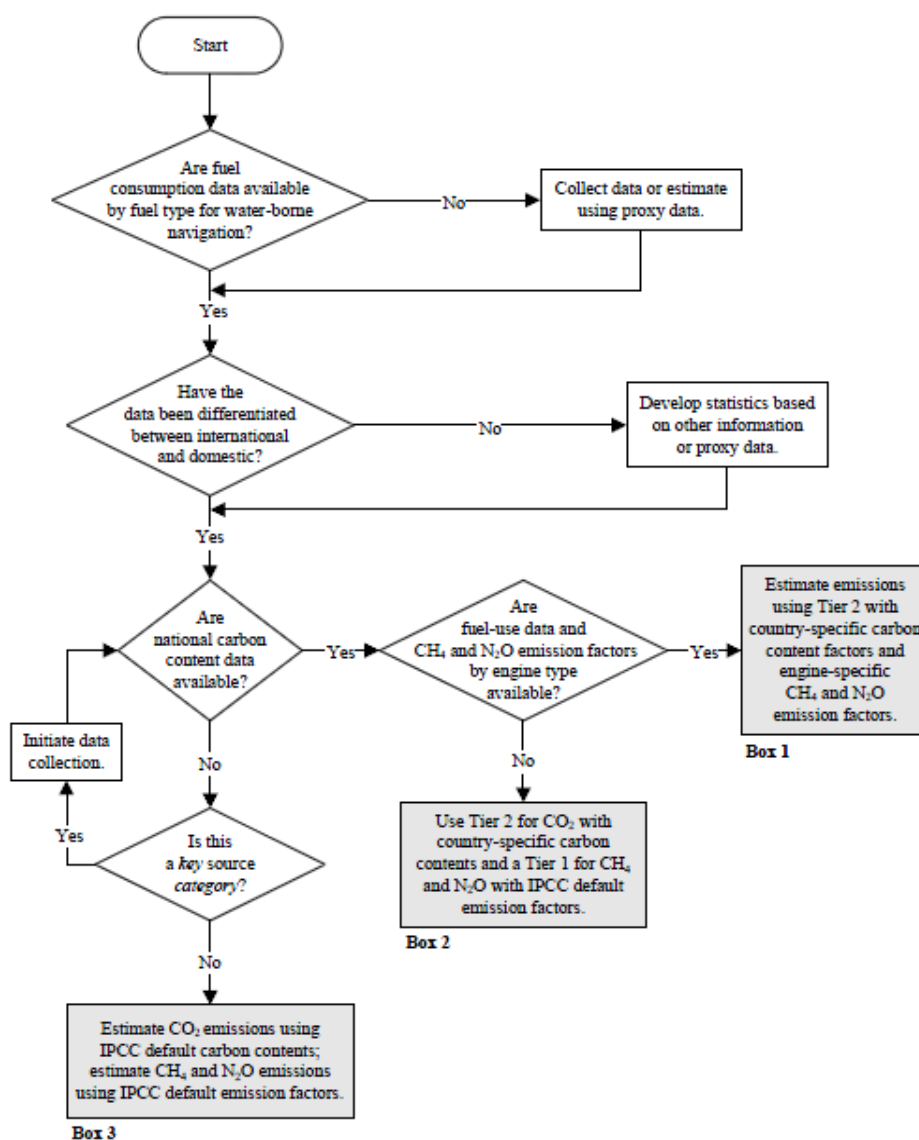
表 2-6 IPCC 水運污染源類別結構

污 染 源 類 別	範 圍
1 A 3 d 水運	來自用於推進船隻的燃料的排放，包括氣墊船和水翼船，但不包括捕撈船。國際/國內劃分應按照始發港口和終點港口，而不是船隻的旗幟或國籍。
1 A 3 d i 國際水運 (國際燃料)	從事國際水運的所有國家船隻的燃料排放。國際航行可能發生在海上、內陸湖泊、水道和沿海水域，包括從一國出發，抵達另一國的航行產生的排放，但不包括漁船消耗(參見其它部門-捕撈)。若提供了相同的定義區分，並且有資料可用來支援定義，那麼國際軍事水運產生的排放可列為國際水運的單獨子類別。
1 A 3 d ii 國內水運	抵達或離開同一國家的所有國家的船隻使用的燃料產生的排放(不包括捕撈，捕撈應報告在 1A4ciii，也不包括軍事，應報告在 1A5b)。注意，這可能包括同一國家中距離相當遠的兩個港口間的航行。(例如，從三藩市到檀香山)。
1 A 4 c iii 捕撈 (移動源燃燒)	用於內陸、沿海和深海捕撈的燃料產生的排放。捕撈應包括已在國內補給燃料的各國船隻(包括國際捕撈)。
1 A 5 b 移動 (水運組成)	來自在別處未說明的燃料燃燒產生的所有剩餘水中移動排放。包括提供給國家軍方的並未單獨列入 1A3di 中的燃料以及由國內提供但用於未參與多邊活動的外國軍方的燃料所產生的軍事水運排放。
多邊活動 (水運組成)	按照「聯合國憲章」，用於多邊活動中水運的燃料產生的排放。包括提供關於本國和其他國家軍方的燃料產生的排放。

資料來源：IPCC2006。

#### 2.2.1.4 方法的選擇

IPCC 2006 提供了兩種計算溫室氣體排放量的方法，用於估算來自水運的 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放。兩種方法均將排放係數用於燃料消耗的活動資料。圖 2-5 所示的決策樹有助於在兩種方法間作出選擇。另國內和國際水運排放係分別進行估算。



資料來源：IPCC 2006。

圖 2-5 IPCC 水運排放的決策樹

### (1) Tier 1

Tier 1 最為簡易，可與初始值(Default)或國家特定資訊同時使用。Tier 1 中的燃料消耗資料和排放係數為特定燃料類型，應用於相應的活動資料(如用於航行的汽油/柴油)。計算基於燃燒燃料量以及 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放係數。計算如公式 2.2.1 所示，排放係數見表 2-7 和表 2-8。

$$\text{溫室氣體排放} = \sum \left( \text{燃料消耗}_{ab} \cdot \text{排放係數}_{ab} \right) \dots\dots\dots(2.2.1)$$

其中：

a=燃料類型(柴油、汽油、LPG、煤等)

b=水運類型(船或艇，還有引擎發動機類型)(僅在 Tier 2 中使用的燃料，根據船舶類型加以區分使用，因此在 Tier 1 中 b 可被忽略。)

## (2) Tier 2

Tier 2 也使用各類燃料的燃料消耗，但需要在模式下列分類中具有較大特殊性的特定國家排放係數：模式(如遠洋船和艇)、燃料類型(如燃料油)乃至引擎發動機類型(如柴油)(公式 2.2.1)。使用 Tier 2 時，應注意引擎和船舶類型以及船隻移動資料來估算船舶排放資料。

### 2.2.1.5 排放係數的選擇

#### (1) Tier 1

二氧化碳排放係數如表 2-7 所示，主要是基於燃料類型和考慮二氧化碳的比例來研擬。關於非 CO<sub>2</sub> 氣體，表 2-8 提供了通用級的 Tier 1 初始排放係數。

表 2-7 CO<sub>2</sub> 排放係數(kg/GJ)

Fuel		Default	Lower	Upper
Gasoline		69300	67500	73000
Other Kerosene		71900	70800	73600
Gas/Diesel Oil		74100	72600	74800
Residual Fuel Oil		77400	75500	78800
Liquefied Petroleum Gases		63100	61600	65600
Other Oil	Refinery Gas	57600	48200	69000
	Paraffin Waxes	73300	72200	74400
	White Spirit & SBP	73300	72200	74400
	Other Petroleum Products	73300	72200	74400
Natural Gas		56100	54300	58300

資料來源：IPCC2006。

表 2-8 初始水運 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放係數

	<b>CH<sub>4</sub> (kg/TJ)</b>	<b>N<sub>2</sub>O (kg/TJ)</b>
<b>Ocean-going Ships*</b>	<b>7 ±50%</b>	<b>2 +140% -40%</b>
*Default Values derived for diesel engines using heavy fuel oil. Source: Lloyd's Register (1995) and EC (2002)		

資料來源：IPCC2006。

## (2) Tier 2

Tier 2 排放係數應視個別國家情況制定，可能的話，應來自對燃料和用於國內水運發動機運轉所造成燃油消耗的測試，若缺乏適當資料或測試結果，則可依照 IPCC 指南中所描述的排放係數(表 2-9 與表 2-10)進行記錄。

表 2-9 按發動機類型的平均燃料消耗(船隻>500GRT)

<b>Ship Type</b>	<b>Main Engine Consumption (%)</b>	<b>Avg. Number of Aux. Engines Per Vessel</b>	<b>Aux. Engine Consumption (%)</b>
Bulk Carriers	98%	1.5	2%
Combination Carriers	99%	1.5	1%
Container Vessels	99%	2	1%
Dry Cargo Vessels	95%	1.5	5%
Offshore Vessels	98%	1	2%
Ferries/Passenger Vessels	98%	2	2%
Reefer Vessels	97%	2	3%
RoRo Vessels	99%	1.5	1%
Tankers	99%	1.5	1%
Miscellaneous Vessels	98%	1	2%
Totals	98%		2%
Source: Fairplay Database of Ships, 2004. GRT=Gross Registered Tonnage			

資料來源：IPCC2006。

表 2-10 IPCC 船隻燃料消耗係數(全功率)

Ship type	Average Consumption (tonne/day)	Consumption at full power(tonne/day) as a function of gross tonnage(GRT)
Bulk Carriers		
Solid Bulk	33.8	$20.186+0.00049 \times \text{GRT}$
Liquid Bulk	41.8	$14.685+0.00079 \times \text{GRT}$
General Cargo	21.3	$9.8197+0.00143 \times \text{GRT}$
Container	65.9	$8.0552+0.00235 \times \text{GRT}$
Passenger/Ro-Ro/Cargo	32.3	$12.834+0.00156 \times \text{GRT}$
Passenger	70.2	$16.904+0.00198 \times \text{GRT}$
High Speed Ferry	80.4	$39.483+0.00972 \times \text{GRT}$
Inland Cargo	21.3	$9.8197+0.00143 \times \text{GRT}$
Sail Ships	3.4	$0.4268+0.00100 \times \text{GRT}$
Tugs	14.4	$5.6511+0.01048 \times \text{GRT}$
Fishing	5.5	$1.9387+0.00448 \times \text{GRT}$
Other Ships	26.4	$9.7126+0.00091 \times \text{GRT}$
All Ships	32.8	$16.263+0.001 \times \text{GRT}$

資料來源：IPCC2006。

雖然在運輸過程中，仍有來自貨物蒸發的氣體，這些氣體主要為 LNG (Liquefied Natural Gas) 或揮發性有機化合物 VOC(Volatile Organic Compounds)之回收，回收後可能用作船隻燃料，但與總燃料消耗相比，其數量通常都不大。由於貢獻較小，因此在 Tier 2 清單中無須對此進行計算。

#### 2.2.1.6 建立一致的時間序列

最好的方式是對所有年份進行相同的方法確定所使用的燃料。如果不可行，資料蒐集應有足夠的份量可以檢查所採用方法的一致性。 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放將取決於發動機的類型和技術。除非已經制定了特定技術排放係數，否則最好的作法是對於所有年份採用相同特定燃料組合的排放係數。然而，只有使用特定發動機排放係數或擬定控制技術假設才可以找到影響排放係數的減低排放選擇，排放係數隨著時間的改變應需要詳盡記錄。船用柴油和重質燃料油是水運主要用使用的燃料，由於這些燃料的碳含量可能在時間序列上產生變化，因此， $\text{CO}_2$  排放係數應該要明確描述，同時，日期和燃料應予測試。

### 2.2.1.7 清單品質保證/品質控制(QA/QC)

最佳的作法是進行品質控管檢查。以下大略概述各排放源類別之品質控管流程。

#### 1.使用替代方法的排放比較

如果可能的話，清單制定者應使用 Tier 1 和 Tier 2 比較水運中確定的估算。清單制定者應調查和解釋排放估算之間是否有出現任何異常，應將這種比較的結果記錄下來。

#### 2.排放係數審核

清單編制者應確保排放係數原始資料來源適用於每種類別，並確保已對資料獲取和計算進行了準確性檢查。若可獲得國家排放係數，並且記錄詳實即可予以使用。對於預設值(Default)係數，清單制定者應確保係數是否適用並且要與類別相關。如果使用除去預設值係數之外的資料來編制軍事使用產生的排放量，清單制定者應檢查計算的準確性以及資料的適用性和相關性。

#### 3.活動資料審核

應對活動資料來源進行評審以確保類別的適用性和相關性。倘若可行之情況，應將統計資料與歷史活動資料或模式輸出進行比較，透過此項方式尋找異常的地方。除此之外，也可透過與其他國家相比，檢查計算得到之水運燃料消耗來驗證資料之合理性。歐洲環保局<sup>[2.2.1]</sup>提供了一個實用資料的資料庫<sup>3</sup>說明歐洲每種運輸模式(包含海運、空運、陸運等運輸模式)的排放和乘客/貨物容量。相關例子包括：對於少於 3000 Gross Tonnage 的船舶，係數從 0.09-0.16kgCO<sub>2</sub>/噸位-公里；對於較大船舶為 0.04-0.14CO<sub>2</sub>/噸位-公里；對於客運渡輪，係數範圍為 0.1-0.5kg/乘客-公里。

#### 4.外部評審

清單編制者應對排放清單的計算與假設或歸檔進行獨立且客觀的評估，並控制品質與計畫的有效性。從事同樣航業的評審應由熟悉該領域的專家並建立專家清單(如運輸機構、船運公司和軍事人員)以進行評估。

---

<sup>3</sup> [http://air-climate.eionet.eu.int/databases/TRENDS/TRENDS\\_EU15\\_data\\_Sep03.xls](http://air-climate.eionet.eu.int/databases/TRENDS/TRENDS_EU15_data_Sep03.xls)

## 2.2.2 國際海運組織

IMO MERC.58 會議於 2008 年 10 月 6 日至 10 日在 IMO 倫敦總部召開，影響最大的是通過關於空氣污染防治 MARPOL Annex VI 修訂<sup>[2.2.2~2.2.3]</sup>，主要變更為：

- 1.採用漸進式管制以降低船用柴油機的 NO<sub>x</sub> 排放。
- 2.採用漸進式管制以降低船舶 SO<sub>x</sub> 排放。
- 3.定義排放管制海域(Emission Control Areas, ECA)的申請與核定程序。

另外，在降低 NO<sub>x</sub> 排放方面，適用於所有 130kw(含)以上的柴油機，均需具備柴油機國際防止空氣污染(Engine International Air Pollution Prevention, EIAPP)證書，但供緊急用途者以及純國內航行者除外，漸進式管制分以下三階段：

### 1.Tier 1 (2000 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日)

即等同目前現行 Annex VI 的要求標準，適用於所有 2000 年 1 月 1 日以後到 2010 年底以前建造的船舶，排放標準如表 2-11 所示。

表 2-11 2010 年底以前建造的船舶排放標準

引擎轉速 < 130rpm	17.0g/kwh
130rpm ≤ 引擎轉速 < 2000rpm	$45 \times n^{(-0.2)}$ g/kwh
2000rpm ≤ 引擎轉速	9.8g/kwh

資料來源：EIAPP。

在 2010 年底之前建造的船舶所產生的排放標準，表示引擎每分鐘的轉速皆不能高於限定的標準值，因此所產生每小時的功率皆有限制。

### 2.Tier 2 (2011 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日)

同時，在 2011 年的 1 月 1 日以後建造船舶在利用 Tier 2 進行計算下大約為 Tier 1 的 80%，因此較為新建的船舶適用較為嚴格的限定標準如表 2-12。

表 2-12 2011 年 1 月 1 日以後建造的船舶排放標準

主機轉速 < 130rpm	14.4g/kwh
130rpm ≤ 引擎轉速 < 2000rpm	$44 \times n^{(-0.23)}$ g/kwh
2000rpm ≤ 引擎轉速	7.7 g/kwh

資料來源：EIAPP。



### 3.Tier 2 (2016 年 1 月 1 日之後)

由船舶逐漸更新，因此提出在 2016 年 1 月 1 日之後所建造的船舶需達到引擎每分鐘的轉速不能超過的限定標準值，因此所產生每小時的功率皆有限制如表 2-13。從 2016 年的限定日期以後建造的船舶與 Tier 1 在 NECA 相比更大幅降低約 20%。

表 2-13 2016 年 1 月 1 日之後建造的船舶排放標準

引擎轉速 < 130rpm	3.4g/kwh
130rpm ≤ 引擎轉速 < 2000rpm	$9 \times n^{(-0.2)}$ g/kwh
2000rpm ≤ 引擎轉速	2.0g/kwh

資料來源：EIAPP。

## 2.3 國內外軌道運輸能源與溫室氣體推估方法

國外推估方法大致分為兩個方向：IPCC<sup>[2.1.3]</sup>及其他軌道系統，主要不同在於其計算時的分類方式及推估的排放物。目前國內較缺乏實際檢測資料，以參考 IPCC 為主要方法。

### 2.3.1 國外推估方法

#### 1. IPCC：

關於溫室氣體排放量計算方法，為顧及公平原則及可比較性，同時確保各國統計內容之透明化，在聯合國氣候變化綱要公約的第一次締約國大會(1995 年 3 月)中，即決議採納「IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(簡稱 IPCC 準則)」，做為成員國計算及報告其溫室氣體統計量規範，故國際上普遍皆以 IPCC 準則為參考依據。

目前國際統計與估算溫室氣體排放，多以跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)推出之「溫室氣體統計初步準則」(IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)為參考基準，臺灣所制訂之「國家通訊」也是透過此方法估算溫室氣體的排放。

溫室氣體種類眾多，不同溫室氣體對地球能量平衡影響程度也不同。而車輛排放之溫室氣體除 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 與 N<sub>2</sub>O 外，透過冷媒的洩漏同樣排放溫室氣體。為使政策評估者能計算不同溫室氣體對全球暖化的衝擊，IPCC 引入

溫室氣體生成潛勢(Global Warming Potential , GWP)來反映個別溫室氣體與對地球暖化的影響程度，GWP 是用來測量各種溫室氣體與 CO<sub>2</sub> 相比之相對輻射效應，透過 GWP 轉換因子可將各種溫室氣體的排放量轉換成 CO<sub>2</sub> 當量。

IPCC 針對軌道車輛建議推估方法可區分為 2 種：

(1)「Tier 1」簡要方法，又稱為由上而下(Top-down)，可利用燃油使用量與碳排放係數來運算溫室氣體排放量

(2)「Tier 2/Tier 3」詳細方法，又稱為由下而上(Bottom-up)，利用排放控制技術、燃油種類來進行運算

本研究推估主要依據最新版本—2006 年更新版，溫室氣體排放基本推估公式為：

溫室氣體排放量＝排放係數<sub>ab</sub>×活動強度<sub>ab</sub>；

其中，排放係數＝各燃料的單位溫室氣體排放係數或各種軌道車輛於不同速度下之排放係數；

活動強度＝燃料消耗量或行駛里程數等；

a：燃料類別(柴油、電力等)；

b：運輸工具型態(如公路之小客車、小貨車、大客貨等)。

透過相關參數的蒐集可進而求出各溫室氣體之排放量。

IPCC 之 Tier 1、Tier 2 及 Tier 3 之公式如下：

(1)Tier 1：

*IPCC Tier1*

$$\text{溫室氣體排放量} = \sum_j (\text{能源消耗量}_j \times \text{排放係數}_j)$$

$j$  = 能源類型

(2)Tier 2：

*IPCC Tier2*

$$\text{溫室氣體排放量} = \sum_i (\text{能源消耗量}_i \times \text{排放係數}_i)$$

$i$  = 機車頭類型

(3) Tier 3：

IPCC Tier3

$$\text{溫室氣體排放量} = \sum_i (\text{數量}_i \times \text{年運轉小時}_i \times \text{平均功率}_i \times \text{負載因子}_i \times \text{平均排放係數}_i)$$

$i$  = 機車頭類型與旅行類型

## 2. 其他軌道系統

### (1) 紐西蘭鐵路<sup>[2.3.2]</sup>：

紐西蘭軌道運輸與國內所使用之軌道同為窄軌系統；紐西蘭依照軌道服務類別將火車分為主線柴電機車、柴油調度車與柴油通勤列車。

其柴油車的動力由 8 個不同的接觸器運作，稱作段數。段數決定引擎的燃料量，在每一個段數下，機車的牽引控制系統會將引擎維持在固定的負荷與速度。相對應之動力速率表如表 2-14 所示。

表 2-14 火車引擎段數對應動力及速率表

段數	GM-EMD <sup>a</sup>		GE <sup>b</sup>	
	動力(%)	速率(%)	動力(%)	速率(%)
8	100	100	100	100
7	90	92	84	95
6	68	82	65	95
5	47	73	48	95
4	35	64	33	82
3	25	55	20	82
2	11	37	10	56
1	5	30	4	42
Idle	0	25	0	42

資料來源：紐西蘭鐵路，本研究整理。

a：美國通用汽車公司(General Motors Corporation, GM)，EMD 為其引擎型號。

b：美國奇異公司(General Electric Company, GE)。

針對機車所使用的引擎 GM-EMD645 與 GE 7FDL 進行 CO、HC、PM 與 NOx 的排放測試。發現在同樣的動力基礎下，柴油機車引擎的燃料消耗率，以及 CO、HC 與 PM 的排放率都相當低。但是，當機車引擎拖曳重型車時，高負荷因子會使得 NOx 的排放量相當明顯。比較其兩種引擎

型式的排放測試結果，可知速度慢的機車引擎會讓氧氣有更多的時間燃燒，減少了 PM 的排放，但增加了氧化時間，導致了更多的 NO<sub>x</sub>，如表 2-15 所示。

表 2-15 火車引擎測試排放量

引擎型式	各排放物排放量 g/kWh			
	HC	CO	PM	NO <sub>x</sub>
GM-EMD 645 E3B	0.44	1.07	0.37	15.7
GE 7FDL-12	0.80	3.00	0.34	14.3

資料來源：紐西蘭鐵路，本研究整理

由於 NO<sub>x</sub> 排放量相當明顯，因此在不同段數下針對 NO<sub>x</sub> 作排放測試，經測試發現 NO<sub>x</sub> 比例會隨著 645F3 型號的動力增高而增加，在低動力時則會增加額外的氧化量，見表 2-16。

表 2-16 火車引擎排放率

排放物	段數	各引擎排放率 g/kWh		
		645E3	645E3B	645F3
HC	8	0.46	0.48	0.43
CO	8	2.51	2.25	1.66
PM	8	0.35	0.34	0.35
NO <sub>x</sub>	8	15.7	17.6	17.2
	7	15.9	17.4	18.6
	6	17.4	17.4	18.7
	5	18.7	18.7	20.1
	4	19.4	18.7	20.8
	3	19.4	18.7	20.1
	2	20.1	21.4	24.1

資料來源：紐西蘭鐵路，本研究整理

## (2)美國鐵路

U.S. EPA(Environmental Protection Agency)將鐵路排放盤查分為三部分：Tier 0、Tier 1 與 Tier 2，再將每個 Tier 分為 line-haul (主線)與 switch (支線)。Line-haul 的操作特性是在大部分的時間中，都將段數維持在較高的功率下，而 switch 則是多以怠速與低功率的方式操作。一般來說，於 line-haul 所使用的機車頭擁有 3,000 至 4,000 馬力的引擎，而 switch 的機車頭引擎較小，馬力約在 1,200 至 3,000。其盤查分類相關說明如表 2-17 所示，分類方式以引擎製造年份為考量；分類後的機車排放係數如表 2-18 所示，表中所呈現的是車隊的平均排放係數。

表 2-17 美國鐵路排放盤查分類方式

Tier 0	機車/引擎的製造是從 1973 年到 2001 年(當初並沒有管制排放量)
Tier 1	原始製造在 2002 年到 2004 年
Tier 2	原始製造在 2005 年

資料來源：本研究整理。

表 2-18 U.S.EPA 鐵路機車排放係數

單位：g/kWh

排放物	HC	CO	PM	NO <sub>x</sub>
Tier 0				
line-haul	0.64	1.71	0.43	11.5
switch	1.35	2.45	0.59	16.9
Tier 1				
line-haul	0.63	1.71	0.43	9.0
switch	1.35	2.45	0.59	13.3
Tier 2				
line-haul	0.35	1.71	0.23	6.7
switch	0.70	2.45	0.28	9.8

資料來源：本研究整理。

雖然美國鐵路機車動力皆高於紐西蘭機車，對紐西蘭鐵路的初步分析，可採取美國的溫室氣體排放係數是因為：

- (1)機車皆為美國製造；
- (2)現行機車引擎的排放沒被控制，其排放標準也只在近期提出；
- (3)測試結果顯示，不同引擎型式的排放率差異不大。

## 2.3.2 國內採用之推估方法

目前因國內較缺乏各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。我國軌道運輸所使用之能源種類主要為柴油及電力，因此，推估軌道溫室氣體排放量時所需主要參數即各類能源消費使用量及相對能源類別之排放係數，包括柴油排放係數及電力排放係數。

由於他國對於軌道所排放的污染物之測定分為 HC、CO、PM 與 NO<sub>x</sub>，

而本國僅針對溫室氣體，於此研究計畫中因無法取得真正之能源排放係數作推估，僅能參考國外提供之方法及係數。

## 2.4 國內外運輸能源預測模式

本計畫將國內外運輸能源相關文獻分為兩部分，第一為國內外運輸能源相關研究，第二部分為預測模式相關研究，分別說明如下。

### 2.4.1 國內外運輸能源相關研究

國內運輸能源之相關研究分為三大類，第一類為運輸能源相關研究，本所(2002)<sup>[2.4.1]</sup>曾提出建立完整之相關基礎資料及運輸能源需求預測模式。黃運貴(2005)<sup>[2.4.2]</sup>指出運輸部門的運輸活動量與能源消費量，推估各運輸系統的延人公里數及延噸公里數。蔡期源<sup>[2.4.3]</sup>於 2006 年探討在課徵碳稅的情形下對私人運具與大眾運輸的影響。呂孝竹(2007)<sup>[2.4.4]</sup>針對小客車數量之成長預測為研究對象建立預測模式，預測小客車數量最佳之精確度。邢治宇(2008)<sup>[2.4.5]</sup>以 1986-2006 年我國能源消費總量為原始數據，建立迴歸預測模式，結果顯示預測模式 MAPE<sup>4</sup>值小於 10 為具極佳預測能力。

第二類為溫室氣體排放量相關研究。Sözen *et al.*<sup>[2.4.6]</sup>於 2007 年透過類神經網路方法，預測土耳其國內之不同行業能源消耗的溫室氣體排放。林珮筠(2007)<sup>[2.4.7]</sup>利用計量方法探討能源相關稅制對溫室氣體減量之效果。2007 年林世強<sup>[2.4.8]</sup>以金門之島嶼特性並且利用島嶼二氧化碳之排放與固定量之關係，探討島嶼之永續民生消費與開發建設行為。張翊峰等作者<sup>[2.4.9]</sup>於 2007 年探討電力事業中二氧化碳排放趨勢，以投入產出分析法及模糊目標規劃法搭配 IPCC 法，推估 2007~2015 年 CO<sub>2</sub> 排放量。Huang *et al.*(2008)<sup>[2.4.10]</sup>探討經濟轉型國家的經濟發展情況與溫室氣體排放的關係，透過分析單一國家溫室氣體排放歷年數據和國內生產毛額，證明大部分的國家不能提供支持顧志耐曲線<sup>5</sup>假說之證據。

---

4  $MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \left| \frac{K_t - \hat{K}_t}{K_t} \right| \times 100\%$ ，式中  $K_t$  表示實際值， $\hat{K}_t$  表示預測值，MAPE 值越小表示預測能力越好，預測模式越佳。

5 顧志耐曲線為環境經濟學中很重要的一條曲線，指的是當經濟發展到某個程度時，就會將資源轉移到環境問題上。即一個國家的經濟表現和環境表現，通常會呈正向關係。

第三為運輸能源與溫室氣體排放量相關研究。廖慧嵐(2006)<sup>[2.4.11]</sup>針對臺灣地區公路運輸部門，探討民國 1990 年至 2004 年間能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量的變動趨勢。公路運輸能源需求預測模式，較缺乏對未來能源需求量成長趨勢的探討與二氧化碳排放減量的相關策略評估，因此吳懿哲<sup>[2.4.12]</sup>於 2007 年應用因素分解的方法，針對公路運輸的能源需求進行探討，建構公路運輸的能源需求模式。李正豐等研究者<sup>[2.4.13]</sup>在 2008 年利用分解分析之對數平均數迪氏指數法，探討 1995-2005 年影響公路運輸溫室氣體排放之關鍵因素。以下本文彙整國內外運輸能源如表 2-19。

表 2-19 國內外運輸能源相關研究

	研究者	研究內容
運輸能源相關研究	交通部運輸研究所(2002)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立完整之相關基礎資料及運輸能源需求預測模式。</li> <li>2. 作為後續評估的重要資料與工具，且可提高評估的合理性及正確性，有助於交通部推估各種運輸工具之能源需求。</li> <li>3. 藉以研提合宜之運輸節能措施，諸如增建大眾捷運系統提昇能源使用效率、提高行車效率以節約能源等政策。</li> </ol>
	黃運貴(2005)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 整理運輸部門的運輸活動量與能源消費量，就各運輸系統的延人公里數及延噸公里數進行推估。</li> <li>2. 利用迪氏對數平均指數分解法，分析運輸部門客貨運之活動強度、各運輸系統運量結構及能源密集度等影響因素對運輸部門能源消費量變動的影響效果。</li> <li>3. 利用迴歸分析方法構建運輸部門相關運量與能源消費量的預測式。</li> <li>4. 活動強度與能源密集度為運輸能源消費量主要之公路系統影響因素。</li> </ol>
	蔡期源(2006)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 考慮在課徵碳稅的情形下對私人運具與大眾運輸的影響。</li> <li>2. 大眾運輸：以公路客運及臺鐵客運為主。 私人運具：以自用小客車為主(整體自用小客車、小型自用小客車及大型自用小客車)</li> <li>3. 將自用小客車、大眾運輸視為內生變數，建立自用小客車與大眾運輸客運聯立方程式模型。</li> <li>4. 平均每人所得對小型及大型自用小客車是呈正向影響，在大眾運輸客運方面，大眾運輸平均每人票價對大眾運輸客運量有反向關係，人口總數的變動則對其有正向關係。</li> </ol>

表 2-19 國內外運輸能源相關研究(續)

	研究者	研究內容
溫室氣體相關研究	呂孝竹(2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 採用時間序列的分析理論，針對小客車數量之成長預測為研究對象，觀察值為民國 1981 年至 2007 年每月小客車數量。</li> <li>2. 比較二種單一變數預測方法，有簡單線性迴歸模式與自我迴歸移動平均整合模式(ARIMA)，建立預測模式，驗證何者為預測小客車數量最佳之精確度。</li> <li>3. 經過評估指標比較後，以 ARIMA 模式預測能力較佳，較合適推估預測未來 6 年臺灣地區小客車成長量。</li> </ol>
	邢治宇(2008)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以 1986-2006 年我國能源消費總量為原始數據，建立迴歸預測模式。</li> <li>2. 研究顯示預測模式 MAPE 值小於 10 為具極佳預測能力。</li> </ol>
	Sözen <i>et al.</i> (2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 歐盟在京都議定書下明定 2008-2012 年間將減少 8 %的溫室氣體排放。</li> <li>2. 透過類神經網路方法，預測土耳其國內之不同行業能源消耗的溫室氣體排放。其等式為決定於未來溫室氣體的標準和控制各行業分享的總排放量。</li> </ol>
	林佩筠(2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以綠色稅制改革的先驅者—歐洲 15 國作為研究對象，觀察期間為 1995 年至 2005 年。</li> <li>2. 利用計量方法探討能源相關稅制對溫室氣體減量之效果。</li> <li>3. 提高能源價格有助於降低溫室氣體排放量，而能源密度、發電結構及工業導向之產業結構皆為提高溫室氣體重要因素。</li> </ol>
	林世強(2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以金門之島嶼特性，以島嶼二氧化碳之排放與固定量之關係，探討島嶼之永續民生消費與開發建設行為。</li> <li>2. 利用島嶼建設資材之使用量與民生能源之消費量推算 CO<sub>2</sub> 之排放量，而以島嶼綠地面積與植被種類推算 CO<sub>2</sub> 固定量。</li> <li>3. 發現在扣除製造業，金門人均 CO<sub>2</sub> 排放量為臺灣之 1.18 倍，而人均水泥使用量為臺灣之 3 倍，相較於臺灣本島金門之硬體建設已過量，若金門欲達成京都議定書之規定，則每年應削減 104,000 公噸之 CO<sub>2</sub> 排放。</li> </ol>
	張翊峰等(2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討電力事業中二氧化碳排放趨勢，以投入產出分析法及模糊目標規劃法搭配 IPCC 法，推估 2007~2015 年 CO<sub>2</sub> 排放量。</li> <li>2. 建構投入產出模糊規劃模式，擬定電力事業可行的 CO<sub>2</sub> 減量方案，並分析產業 CO<sub>2</sub> 與 GDP 兩者間的關係。</li> <li>3. 燃煤發電機組改為燃氣發電機組或零排放替代能源時，皆能有效降低 CO<sub>2</sub> 的排放量，且能使產業 GDP 年平均成長率上昇；另一方面電力效率提高模擬結果顯示有助於 CO<sub>2</sub> 減量及 GDP 年平均成長率上昇，但當電力效率提高為 20%時，整體產業之經濟成長率已達到極限值為最可行方案。</li> </ol>



	Huang <i>et al.</i> (2008)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 探討經濟轉型國家的經濟發展情況與溫室氣體排放的關係。</li> <li>2. 透過分析單一國家溫室氣體排放歷年數據和國內生產毛額，證明大部分的國家不能提供支持願志耐曲線假說之證據。</li> <li>3. 研究指出 38 個工業化國家不能在指定時間內達到京都議定書的要求，因為不能從經濟計量學上精確預測創新技術發展及清潔發展機制計畫的範圍。若要落實減量溫室氣體，其現有的國際減量綱要須重新考量，而全球性合作機制也需要提升。</li> </ol>
運輸能源與溫室氣體相關研究	廖慧嵐(2006)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對臺灣地區公路運輸部門，探討民國 1990 年至 2004 年間能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量的變動趨勢。</li> <li>2. 利用因素分解迪氏指標法探討影響其排放變動之關鍵因素，並利用 OECD 與 Tapio 兩種脫鉤指標法，觀察公路運輸部門在經濟發展、能源消費、CO<sub>2</sub> 排放、車輛數、油價、全國 GDP 及相關參數間的變動趨勢。</li> </ol>
	吳懿哲(2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公路運輸能源需求預測模式，較缺乏對未來能源需求成長趨勢的探討與二氧化碳排放減量的相關策略評估。</li> <li>2. 應用因素分解的方法，針對公路運輸的能源需求進行探討，建構公路運輸的能源需求模式。</li> <li>3. 依據紓緩私人運具持有率、紓緩私人旅次長度、紓緩私人使用頻率、運具使用不同種類能源、改善車輛燃油效率，探討二氧化碳排放量之減量情形。</li> </ol>
	李正豐等(2008)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用分解分析之對數平均數迪氏指數法，探討 1995-2005 年影響公路運輸溫室氣體排放之關鍵因素。</li> <li>2. 人均能源消費量及人口成長是造成公路運輸溫室氣體每年排放量增加的關鍵因素。</li> <li>3. 以人均能源消費量為最主要的增量因素，其所造成的排放增量效應有擴大的現象；人口成長是次要的因素，但隨著近年來臺灣人口出生率逐年降低，使得排放增量效應有減小的趨勢。</li> </ol>

資料來源：本研究整理。

## 2.4.2 預測模型相關研究

運輸部門能源之預測模式類型非常多樣，根據本所(2002)<sup>[2.4.1]</sup>提出運輸部門能源預測模式之介紹，本計畫將其整理並加入時間序列模型，其可參考之應用模型為以下7種，分別敘述如下：

1. 單目標最佳化模型：此模型通常採用線性規劃方法，其針對能源部門，屬 bottom-up 模型，具前瞻性，假設市場為完全競爭，並且有詳盡的能源及

能源技術資料，以最有效率能源技術達成所需的能源服務。

- 2.單目標模型結合其他經濟部門：該模型為單一目標最佳化模型結合能源部門最適化模型與一總體經濟模型，採生產函數建立兩個模型間的連結，併納入回饋效果。
- 3.多目標規劃模型：其採用線性規劃或非線性規劃法的原理，可設定多重目標，結合投入產出表進行產業關聯分析，並且結合能源模型，可模擬不同的溫室氣體減量策略之效果。
- 4.總體經濟模型：可系統化呈現部門間的互動關係，著重短期分析，並依經濟計量方法估計經濟決策行為。
- 5.可計算一般均衡模型：可分析長短期的資源分配問題，假設各市場經由價格調整達於均衡，亦或者假設市場運作十分有效率，市場交易成本不存在。
- 6.混合模型：結合 bottom-up 與 top-down 模型的長處，直接耦合模型間的資訊流通與轉換關係為正式且固定，而軟性聯結模型間的資訊流通與轉換需仰賴選擇與判斷。
- 7.時間序列模型：此方法是「根據過去，預測未來」，以固定時間間隔作為時間軸的計算模式，主要依據某變量過去曾發生的資料及誤差往前推算，據以預測未來的變量。以上模型的相關資料彙整如表 2-20 所示。

表 2-20 預測模型彙整表

	單目標最佳化模型	單目標模型結合其他經濟部門	多目標規劃模型	總體經濟模型	可計算一般均衡模型	混合模型	時間序列模型
模型特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>此模型通常採用線性規劃方法。</li> <li>具前瞻性，假設市場為完全競爭。</li> <li>富詳盡的能源及能源技術資料。</li> <li>以最有效率能源技術達成所需的能源服務。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>此模型為單一目標最佳化模型。</li> <li>結合能源部門最適化模型與一總體經濟模型。</li> <li>採生產函數建立兩個模型間的連結，併納入回饋效果。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>採用線性規劃或非線性規劃法的原理，可設定多重目標。</li> <li>結合投入產出表進行產業關聯分析。</li> <li>結合能源模型，可模擬不同的溫室氣體減量策略之效果。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統化呈現部門間的互動關係。</li> <li>著重短期分析。</li> <li>依據經濟計量方法估計經濟決策行為。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可分析長短期的資源分配問題。</li> <li>假設各個市場經由價格調整達於均衡。</li> <li>假設市場運作有效率，市場交易成本不存在。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>結合bottom-up與top-down模型的長處。</li> <li>直接耦合模型間的資訊流通與轉換關係為正式且固定。</li> <li>軟性聯結模型間的資訊流通與轉換需仰賴選擇與判斷。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間序列是「根據過去，預測未來」的方法。</li> <li>以固定時間間隔作為時間軸的計算模式。</li> <li>依某變量過去曾發生及誤差往前推算，據以預測未來的變量。</li> </ul>
優點	<ul style="list-style-type: none"> <li>對於能源系統及能源服務，提供完整並且連貫的規劃。</li> <li>可利於評估提昇能源效率的潛在空間。</li> <li>可供評估能源相關排放問題防制政策的成效。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可捕捉總體經濟回饋效果。</li> <li>可探討涉及經濟成長與能源需求互動關係之重要議題。</li> <li>可討論價格變動引起的能源節約與替代效應。</li> <li>對能源系統的描</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可以分析部門間互動關係的回饋效果。</li> <li>探討不同減量措施對產業影響。</li> <li>配合模糊理論，解決不精確評量的問題。</li> <li>避免經濟計量模</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對減量策略經濟回饋效果提出詳細的部門分析。</li> <li>能衡量經濟體因應排放減量策略所需負擔的調整成本。</li> <li>適於探討碳稅的雙重紅利效果。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>能表達經濟整體排放減量成本。</li> <li>衡量減量策略的結構調整影響。</li> <li>描繪部門互動關係及回饋效果。</li> <li>可以同時分析納入其不同政策之影響。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同時納入排放減量策略的經濟面與技術面考量。</li> <li>技術面資訊豐富，並考慮經濟體的回饋效應。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>預測非線性變化、週期性變化及突發性變化。</li> </ul>

表 2-20 預測模型彙整表(續)

	述仍十分詳盡。	型的技術問題。 • 強調決策選擇性。		• 可探討碳稅雙重紅現象。		
缺點	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 僅能在能源供給上作規劃。</li> <li>• 忽略減量策略與經濟體內其他部門的回饋效果。</li> <li>• 其無法捕捉價格與需求間的互動關係。</li> <li>• 低估減量策略的交易成本。</li> <li>• 假設市場對價格變化的反應符合完全競爭的。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 以投入產出模型為基本架構，亦接收此一方法上的限制。</li> <li>• 須仰賴對於決策目標偏好資訊的掌握，可靠度受偏好資訊假設的影響。</li> <li>• 仍為一線型規劃模型，因此難以避免線型規劃模型的各项缺點。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 評估結果僅在未來仍遵循既有成長路徑的情形下為有效。</li> <li>• 只適於探討財政性防制政策工具的效果。</li> <li>• 不適於探討長期性議題，無法納入技術變遷，行為改變等因素。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對能源最終使用及能源技術缺乏詳細描述。</li> <li>• 市場永遠有效運作的假設並不符實情。</li> <li>• 多數模型採某一年度資料修正較準彈性係數，模型的統計基礎較為薄弱。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 正式結合的混合模型仍需賦予其中一個子模型主導權。</li> <li>• 非正式結合的混合模型常無法獲致單一的結果。</li> <li>• 模型建構十分麻煩和費時，並且成本很高。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 預測只有短期資料可靠。</li> </ul>

資料來源：整理自交通部運輸研究所，(2002) [2.4.1]。

## 2.5 國內外能源效率指標

能源效率的衡量可從國家層級(或總體經濟面)、產業部門層級、個別廠商層級、個別運具、或設備層級而分別訂定適當的指標。一般而言，「能源生產力」是目前政府部門最常用來反映能源效率的指標，而每「延人公里」或「延噸公里」之燃料使用量則是衡量運具(特別是客運與貨運)的慣用指標，但對於特定的運輸服務(transportation service)廠商(如華航、長榮海運、臺鐵、臺灣高鐵等)、或運輸部門整體的能源效率，卻沒有共識性的指標。本節將檢討相關文獻所提出的能源效率指標。

### 2.5.1 能源效率指標的類別

一般而言，如果我們可以用較少的能源投入來生產等量的產出或服務，即可視為能源效率提升的現象。因此，Patterson (1996) <sup>[2.5.1]</sup>將能源效率廣泛地定義為：

$$\text{能源效率} = \frac{\text{製程的有用產出量}}{\text{製程的能源投入量}}$$

其中投入量可用熱力學單位或是貨幣單位來衡量，有用產出量(useful output)則可用熱力學單位、物理單位或是貨幣單位來衡量，由於產出與投入使用的單位不同，能源效率的衡量指標也因而有別。Patterson (1996) <sup>[2.5.1]</sup>即以衡量單位為基礎，將能源效率指標分為下列 4 大類別：

#### 1. 熱力學指標(thermodynamic indicator)

在熱力學指標中，不論是產出或能源投入，都以熱力學上的熱能或作功來衡量，可以對特定環境中的轉換過程或製程作單項且客觀的衡量，但是因為每一生產製程投入與產出單位的不同，無法進行總體層級的能源效率分析與比較。

#### 2. 物理—熱力學指標(physical-thermodynamic indicator)

此類指標通常都以熱力學的單位來計算能源投入，但以物理學的單位來計算有效產出。例如蕭再安、鄭瓊雯(1990) <sup>[2.5.2]</sup>為反映運具之實質運行能源效率所採用的能源密集度指標即屬之。相較於熱力學指標，以物理單位(如公噸)計算產出較為簡單，也較常被使用。和熱力學指標一樣，物理

—熱力學指標可以被客觀地量測，此外還可以用終端使用服務來反映消費者的真實需求，也可以進行時間序列的分析。由於計量單位永遠相同，不會像經濟指標產生貨幣價值改變的問題。以物理單位衡量產出雖然是這類指標的優點，但也是最大的缺點，當一個企業或一個部門的產出不只單一產品，而且單位不同時，這個指標就無法計算。

### 3.經濟—熱力學指標(economic-thermodynamic indicator)

此類指標以熱力學為單位來計算能源投入，但是以經濟學的方式計算有效產出的價值；能源密集度及能源生產力即屬之。這類指標最常被用來衡量國家層級的能源效率，資料的取得也相當便利。但是產業結構的改變<sup>[2.5.3]</sup>、能源使用技術的改變、能源與其他要素的替代關係、能源投入組合的改變<sup>[2.5.4]</sup>等因素都會影響到能源與 GDP 的比值；再者，各國計算 GDP 的方式不盡相同，即使利用匯率換算讓這個指標可以在同一貨幣基準下做各國能源效率的比較，但仍存在沒有考慮通貨購買力的問題。

值得注意的是，Patterson (1996)<sup>[2.5.1]</sup>將常用的能源密集度歸類為「經濟—熱力學」指標，事實上，能源密集度指標中的能源投入通常可以熱值或油當量兩種不同的單位來表示，當能源投入以熱值為單位來計算時，能源密集度指標屬於 Patterson 所稱之「經濟—熱力學」指標；當能源投入以油當量來計算時，則屬於「經濟—物理學」指標。

### 4.經濟指標(economic indicator)

在此類指標中，產出與能源投入都以貨幣單位來計算。1981 年美國國會的聯合經濟委員會(Joint Economic Committee of the Congress of the United States)提出，以全國能源總支出與全國總產值的比值來衡量能源效率，可以更真實地反映能源的經濟生產力，因為能源價格同時反映了能源供給與能源需求兩股力量。Turvey and Norbay (1965)<sup>[2.5.5]</sup>、Berndt (1978)<sup>[2.5.6]</sup>也指出，使用純經濟學的指標可以解決能源品質的問題，亦即貨幣單位避免了投入與產出單位不同不能加總的缺點，此外他們還建議使用「理想價格」(ideal price)來衡量能源投入，而且這些理想價格的權數應可反映生產的邊際轉換率或是消費的邊際替代率。但是理想價格會隨著時間而改變，因此在任何可測量的、一致的、以及沒有前提假設的情況下計算理想價格，其實存在著許多技術上的問題。理論上，經濟學指標和經濟—熱力學指標一樣可以應用在各種層級的效率衡量，但實際上經濟學指標並沒有

被廣泛使用。

事實上，上述指標大都立基於能源之「平均生產力」的概念，然而，平均生產力不僅在意義上與要素(能源)的使用效率完全不同，也不適合作為衡量能源效率的指標。

技術效率(technical efficiency, TE)與配置效率(allocative efficiency, AE)是兩個常被用來衡量個別廠商組合要素的綜合性效率指標<sup>6</sup>。以下概略說明之。

## 2.5.2 要素使用的綜合效率指標

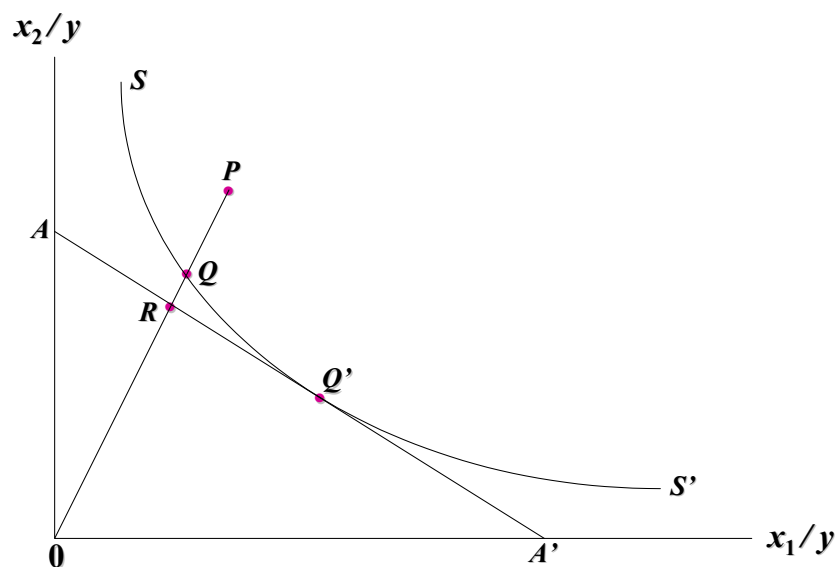
技術效率(TE)與配置效率(AE)的應用在國內外文獻中極為普遍，廣見於發電廠、自來水廠、污水處理廠、醫院、金融機構、運輸部門等之經營效率的評估，是兩個常被用來衡量個別廠商組合要素的綜合性效率指標。

在傳統的生產理論中，假設所有生產者具有完全技術效率，因此過去在探討生產經濟之研究中，主要的研究重點為各生產者之分配效率，而技術效率的研究直到 Farrell (1957)<sup>[2.5.7]</sup>提出「生產邊界」(production frontier)之概念，連結了技術效率之理論與實證分析，才開始受到學界之重視。

在衡量個別生產者之技術效率上，Farrell (1957)<sup>[2.5.7]</sup>利用等產量曲線(isoquant curve)之概念，在等產量之假設下，將所有生產者之生產要素投入組合點之下界設為生產邊界，故生產邊界係指使用最少投入而有相同產量的生產點所連接而成之軌跡，而這些生產點即為最具技術效率之生產點，並據此來估計其餘生產者之技術效率，且可進一步探討所有生產者之分配效率。對於 Farrell (1957)<sup>[2.5.7]</sup>的概念可以圖 2-6 表示。

---

6 最先由 Farrell (1957)提出，並被廣泛採用，藉以評估許多產業或廠商的組合要素的效率；如果資料係屬個別部門(而非個別廠商)，亦可適用。在實證分析時，主要以邊界分析法(frontier analysis)、距離函數法(distant function analysis)，以及資料包絡分析法(data envelopment analysis)為主。



資料來源：Coelli *et al.*(1998), p.135<sup>[2.5.8]</sup>。

圖 2-6 Farrell 之生產邊界理論

圖 2-6 的兩軸分別代表生產一單位產出(如延人公里) $Y$ 所需要的兩種生產要素( $X_1$ ,  $X_2$ )之投入量。假設圖中有  $n$  個可觀察之生產點，分別表示  $n$  個生產者生產一單位產出時所需之要素投入組合，其中  $SS'$  曲線即為在此  $n$  個組合中要素投入量最少的組合之連線，在圖中即為最左下方的生產點所連成之軌跡，易言之，沒有任何一組要素投入組合會落在  $SS'$  曲線與原點之間，此即 Farrell 所假設之生產邊界。其要素投入組合落在  $SS'$  曲線上的生產者即為具有完全技術效率之生產者，而其餘要素投入組合落在  $SS'$  曲線右上方之生產者則具有技術無效率的情形。

圖 2-6 之  $\overline{AA'}$  為等成本線(iso-cost curve)，而  $\overline{AA'}$  與  $SS'$  曲線之切點  $Q'$  即為生產成本最低之要素投入組合，故要素投入組合落在  $Q'$  點之生產者，不但為完全技術效率之生產者，亦具有傳統之生產理論所強調的分配效率，為理論上唯一具有經濟效率之生產者，至於其他要素投入組合落在  $SS'$  曲線上之生產者，雖然具有技術效率，但其生產成本必大於落在  $Q'$  點之生產者，故不具有完全分配效率。

在生產理論中，由於假設生產者具有完全技術效率，故所有的生產者之要素投入組合都落在  $SS'$  曲線上，若以圖中之  $Q$  點為例，其要素投入量可以投入向量表示為  $\overline{OQ}$ ，另外圖中之  $R$  點表示要素投入向量為  $\overline{OR}$  之生產點，理論上  $R$  點並不存在，因為該點落在生產邊界  $SS'$  與原點  $O$  之間，但為



方便比較 $Q'$ 點與 $Q$ 點之生產成本，在此需假設 $R$ 點的存在，由於在要素價格不變之假設下， $R$ 點與 $Q$ 點之生產成本比可表示為 $\overline{OR}/\overline{OQ}$ ，又因為 $R$ 點與 $Q'$ 點落在同一條等成本線上，即此二生產點之成本相同，故 $Q'$ 點與 $Q$ 點之生產成本比亦可表示為 $\overline{OR}/\overline{OQ}$ ，由於 $Q'$ 點為具有分配效率之生產點，故可以 $\overline{OR}/\overline{OQ}$ 表示 $Q$ 點在完全技術效率下相對於 $Q'$ 點之分配效率。

而被傳統生產理論所忽略的部分即為落在 $SS'$ 曲線右上方的生產點，如圖 2-6 中之 $P$ 點，由於 $P$ 點與 $Q$ 點落在同一條自原點延伸之射線上，表示此二生產點之要素投入比例相同，但由要素投入向量觀之，在 $P$ 點生產一單位產出之要素投入量為 $\overline{OP}$ ，而具有完全技術效率之 $Q$ 點僅需要 $\overline{OQ}$ 的要素投入量即可生產一單位產出，故可以 $\overline{OQ}/\overline{OP}$ 來表示 $P$ 點相對於 $Q$ 點之技術效率。

由此可知，所有不是落在生產邊界上的要素投入組合，即 $SS'$ 曲線右上方的生產點，必可在生產邊界上找到一個使用相同要素投入比之生產點作為比較基礎，進而估計其技術效率。此外，藉由所對應之完全技術效率生產點，可進一步估計其經濟效率，若以前述之 $P$ 點為例， $P$ 點之經濟效率為 $\overline{OQ}/\overline{OP} \times \overline{OR}/\overline{OQ} = \overline{OR}/\overline{OP}$ ，亦即 $P$ 點相對於 $Q$ 點之技術效率與 $Q$ 點相對於 $Q'$ 點之分配效率的乘積即為 $P$ 點相對於 $Q'$ 點之經濟效率。

生產邊界的概念使要素使用的綜合性效率的衡量更加明朗，不僅可以比較不同廠商之間的效率差異，亦可推估個別廠商組合要素之效率隨時間經過而變動的趨勢。但在實務上仍須面對許多問題：(1)技術效率與配置效率都是用以衡量個別廠商使用要素的整體效率，無法衡量個別要素的使用效率(尤其是吾人所關心的能源本身)；(2)必須準確地推估出廠商的生產邊界或成本邊界；(3)生產邊界或成本邊界的實證模型非常多元化<sup>7</sup>，且須選擇適當的推估方法。

因此，晚近有些學者著手於能源單一要素之使用效率指標的建構與推估，其基礎理論留待第八章加以說明。

7 在推估生產邊界時，所設定的實證模型很多，例如確定性生產邊界<sup>[2.5.9], [2.5.10]</sup>、隨機性生產邊界<sup>[2.5.11], [2.5.12]</sup>、成本邊界函數法<sup>[2.5.13], [2.5.14], [2.5.15], [2.5.16], [2.5.17], [2.5.18]</sup>等。

## 2.5.3 技術效率的實證分析

### 1.服務業

國內從事產業效率研究之文獻眾多且範圍廣泛，其研究範圍從傳統的農業(如林啟淵(2000)「臺灣農業生產效率及技術進步之衡量」<sup>[2.5.19]</sup>)到高科技產業(如林卓民等(2001)「新竹科學園區 IC 產業技術效率之分析--非中立隨機邊界模型之應用」<sup>[2.5.20]</sup>)、醫院(如張睿詒、侯穎蕙(2001)「省立醫院最佳經營典範探討--技術效率、分配效率與整體效率之評估」<sup>[2.5.21]</sup>)、慈善機關(如張保隆等(1997)「臺灣地區社會福利慈善事業基金會之績效評估」<sup>[2.5.22]</sup>)、政府機關(如刑台平、曾國雄(2002)「警察機關刑事偵防績效衡量--DEA 與 AHP 法之應用」<sup>[2.5.23]</sup>)等，其中尤以金融業的經營績效研究最為廣泛，如黃台心(1999)「由利潤函數衡量我國銀行廠商之經濟效率--參數計量法的應用」<sup>[2.5.24]</sup>，另外尚有許多學者都曾對此一產業之經營效率多所著墨，相關詳細資料可參考王美惠(2002)之博士論文「臺灣銀行業經濟效率與規模經濟分析—參數法與無參數法之比較」<sup>[2.5.25]</sup>中對於與金融業效率相關之文獻有做一詳細整理。

關於能源技術效率的分析，目前文獻較為少見，以下僅就服務業相關之效率評估文獻做一回顧。

黃崇興、黃蘭貴(2000)在「應用數據包絡法於航空公司航線經營績效之分析」<sup>[2.5.26]</sup>一文中，應用 DEA 方法於航空公司重要的國際客運航線的相對效率評估，並解釋分析結果，最後將評估結果與各航線在經營管理上的實際狀況進行比對。

蕭志同等(1999)在「臺灣連鎖便利商店經營效率之研究」<sup>[2.5.27]</sup>一文中以資料包絡分析法針對 9 家臺灣較具代表性之連鎖超商進行相對經營效率之分析。實證結果顯示：所觀察的 9 家便利商店之中，有 3 家具有相對經營效率，但與不具效率者比較起來，兩者差距並不大。而影響經營效率的主要關鍵因素是營業時數與資本額多寡。除此之外，賣場坪數與連鎖店數之多寡，並非對經營績效具有絕對的影響。

鄭秀玲、周群新(1998)在「調整風險後之銀行效率分析：臺灣銀行業的實證研究」<sup>[2.5.14]</sup>一文中二種風險指標分別納入隨機邊界成本函數模型，來分析 1986-1994 年間國內 13 家銀行之成本效率，並計算出各銀行每年調整風險後的相對成本效率值。接著於第二階段以隨機效果模型探討影響銀

行效率的主要原因。模型一之隨機邊界成本函數並未加入風險變數；模型二以不良放款比例來衡量銀行的風險及模型三以風險性資產比例來衡量銀行的風險。

董鈺琪等(2000)在「綜合教學醫院推行品質管理與營運績效之關係研究」<sup>[2.5.28]</sup>一文中，評鑑醫院為地區教學以上的 123 家醫院，以郵寄問卷方式進行普查，測量醫院至 85 年底為止，推行品質管理的情況。問卷的回收率為 54.47%，將這些資料與來自衛生署「臺灣地區 85 年醫院現況及服務量量表資料」的次級資料作合併；再以資料包絡法，測量醫院的營運績效，最後以 Tobit 迴歸模式，分析品質管理與營運績效間之關係。

陳榮方(1998)在「以資料包絡法評量我國大學校院之教育品質」<sup>[2.5.29]</sup>引用天下雜誌所述調查資料應用資料包絡法的觀念，比較我國大學校院教育品質之相對評價。並將各校分為柏拉圖理想化組織(POO)與柏拉圖非理想化之組織(PNO)兩大類。

## 2.加油站的技術效率評估

國內、外分析加油站之相關文獻，大致以下列問題為主：加油站選址問題、油品自由化之影響、加油站市場結構及加油站績效評估等。其中就目前加油(氣)站經之營績效的評估，則大都採用 DEA，茲按資料型態及來源、樣本大小、研究區域、研究方法、投入要素、產出項、特徵變數及研究發現等內容加以整理如表 2-21 所示。

Price and Weyman-Jones (1996)<sup>[2.5.30]</sup>對英國 12 個地區之天然氣產業的配送中心進行民營化前後生產力變化的分析，採用的是以 DEA 為基礎所計算的 Malmquist 生產力指數法，該篇文章主要的目的在探討英國在天然氣產業民營化後是否有提升生產效率，對象是英國天然氣公司(British Gas Corporation)所屬配送中心，期間由 1977/78 到 1991 年，民營化時點在此期間之中點—1986 年，採用的方法是以 DEA 為基礎的 Malmquist 生產力指數法，Malmquist 生產力指數可分解為技術變化與效率變化兩指標；以員工人數、配送距離長度為投入要素，家用天然氣銷售量、工業用天然氣銷售量、商用天然氣銷售量、服務顧客數、桶裝天然氣銷售量為產出項進行 DEA 分析。研究發現，民營化後天然氣產業之生產力提升的速度明顯高於民營化前，而生產力之提升主要來自於管制之解除。但民營化前後經營效率並無顯著改變，可能是因為某些管制標準(yardstick regulation)仍在，因

此，無法獲得真正的因市場競爭而來的效益。作者在處理民營化前後生產力變化的模式有著強烈假設，認為民營化前後並無技術進步的情形，所以作者把民營化前所有 DMU 建立一個技術邊界，同時以民營化後的所有 DMU 建立另一個技術邊界，以此兩邊界作為衡量民營化是否對生產力進步有幫助，事實上如此的作法可能會掩蓋民營化實際的效果，因為在這麼長的期間中，技術進步、對天然氣的需求、配送網路等外在環境因素均會對生產力之衡量有所影響，比較嚴謹的作法是應對這些變數納入模式中加以處理，雖然本篇文章把各地區之人口密度作為環境控制變數，以 Banker and Morey(1986)的方式加以處理，但因作者使用的是經緯資料(panel data)，依時間變化可能產生的因素，如生產技術、市場對天然氣的需求，亦應一併考量。

國內黃芸珊(2002)<sup>[2.5.31]</sup>則在考慮外部環境變數下採取 FSY 所提之修正之 DEA 程序，修正由於外部環境變數對 DMU 之效率得分影響，以 4 項投入要素(總員工工時、總儲油量、加油槍數及加油泵島數)及一項產出要素(油品發油量)以評估臺灣地區加油站之經營效率，首先以 CCR 模式及 BCC 模式計算效率得分，並依加油站之類別加以分析。在傳統 CCR 模式與 BCC 模式均指出加盟連鎖之加油站之相對平均效率得分較高，且在區位之差異上，平均效率得分由高至低均為國道型、都市型、城鎮型及鄉村型。另外，就地區之效率差異而言，此二種模式均指出相同的效率次序，由高至低依次為北部地區、中部地區、南部地區及東部地區。而探究其無法與傳統 CCR 模式及 BCC 模式有明顯之差異原因，並非如作者所言可能在於 4 個投入要素迴歸式之 R square 只有 0.015 至 0.042 之間，無法充分解釋所選定之變數，而可能是因為作者以 DMU 平均效率得分較高，作為迴歸式之參考群體(reference case)進行其他 DMU 的差額變數調整。此種調整方式並非 FSY 模式之原意，因為依據 FSY 所述，若要排除外在環境對技術效率的影響，則在投入導向時是最不能適應外在環境的 DMU 為標準而非以 DMU 平均效率得分較高作為調整基準。其他所有 DMU 在投入上，均依次往上調整，該文認為此種調整方式提供 DMU 在不受外在環境影響下，可達成執行目標，並可使得 DMU 無法以外在環境作為達不到目標的藉口，而且採取此種投入導向在往上調整的過程中，亦可避免投入會有負值的情況發生。除 FSY 模式外，Fried, Lovell, Schmidt, Yaisawarng

(2002)提出三階段法(3-stage method)，以隨機邊界函數代替原 FSY 模式，並以 OLS 估計一般迴歸式，其結果顯示更能處理此類環境變數之調整。

呂理瑒(1999)<sup>[2.5.32]</sup>曾對國內的民營加油站進行相對績效評估，其分析方法為資料包絡分析法，以總資產、營業費用、員工人數、加油槍數等 4 項投入要素及營業收入單一產出要素，衡量臺灣地區民營加油站之經營績效，顯示出對加油站的經營績效評估之重要性，此乃 DEA 之貢獻。該研究之發現有：(1)為因應時代潮流及加入 WTO，油品自由化一直是政府努力的方向，對消費者而言，開放進口增加供應來源，必能取得價廉物美的油品，對油品煉製業而言，開放市場增加競爭者，可激勵業者強化體質，邁向合理化經營之途徑。(2)日本、韓國在油品自由化前後，已逐步對加油(氣)站管制措施逐步鬆綁。(3)以 DEA 評估加油(氣)站相關經營績效，所獲致之結果，作為未來經營管理發展策略參考。運用此方法分析發現達到相對經營有效率者，加油站有 69%、加氣站 80%、漁船加油站 20%。對於未達相對有效率之加油站須減少不必要的營業費用、增加加油槍在營業時間內的使用效率、提高場站安全程度及油品發油量、增加其他營業項目之面積(多角化經營)；對於未達相對有效率的加氣站，應減少閒置的加氣槍設備或增加加氣槍在營業時間內的使用效率，以減少不必要的營業費用支出；對於未達相對有效率之漁船加油站，須減少不必要的營業費用支出，增加加油槍及營業時間內的使用效率，並提高場站安全程度及油品發油量，減少加油服務營業面積，以達相對地經營有效率。該文僅應用傳統 CCR 模式<sup>8</sup>進行績效評估，忽略加油站之經營與內部服務品質(如場站安全程度與顧客服務滿意程度)與外部環境變數(各縣市小汽車持有率、道路密度、加油站彼此競爭程度、加油站本身之規模等)有著極大的相關；在評估模式中應適當的加以考慮。

林唐裕(2004)<sup>[2.5.33]</sup>將分析目標設定為加油(氣)站的績效評比，希望藉由模式分析提供業者相關改善策略，以及政府輔導加油(氣)站產業之政策規劃。首先，著手選擇欲研究的 DMU，繼而參考相關文獻及考量產業特性，列出十幾個投入產出項目，再選定一組較具管理意義的組合，最後，針對模式的產出數值深入探討，並再參酌加油(氣)站產業專業人士的意見，提出分析結果。最後以營業費用、營業時間、佔地坪數、加油槍數為

---

8 相關模式將在第八章詳細介紹。

投入要素；以場站安全程度、油品發油量、營業收入、服務滿意度為產出項。作者認為所選用的 4 項投入要素，均為各 DMU 所能自行調整及控制，故採用投入導向 CCR 模式進行分析。研究發現：(1)位於中南部地區、近 10 年成立且營業面積約小於 950 坪、非 24 小時營業之加油站，較具有經營效率。(2)位於北部地區、近 10 年成立且營業面積約小於 525 坪、全天營業之加油站，較具有經營效率。(3)加油站的營業型態及區位在此處並無明顯差異。因此，是否為獨立站、直營連鎖或加盟連鎖。以及都市型、城鎮型或鄉村型，均與經營效率較無相關。該文以傳統 CCR 模式進行效率分析，異於以往相關文獻之重點在於納入服務品質變數一場站安全程度及服務滿意度。但是場站安全程度及服務滿意度究竟是產出亦或是投入要素則須視受評估單位之性質而定。以加油站而言，加油站是一個營利單位，不像公共服務部門，加油站場站安全程度及服務滿意度的提高可以增加顧客來源，進而增加營收或售油量，所以視之為投入似乎比較適當。

Hollas, Macleod and Stansell(2002) <sup>[2.5.34]</sup>以資料包絡分析法探討美國天然氣產業解除管制前後天然氣業者效率及生產力變動之情形，主要在研究美國聯邦能源管制委員會(FERC)的解除管制之政策及措施對 33 家天然氣配送業者在從 1975 至 1994 年的 20 年間效率及生產力變動。這段期間共經歷了幾個市場結構性改變，如解除管制及提升競爭環境，作者將 20 年分成三個階段，即以 1975 至 1978 年間尚未解除管制時期、1979 至 1985 年的結構重組期及價格管制解除期、FERC 為提昇競爭環境所發布之 436 至 636 法案等 3 個期間資料構建 3 個生產邊界，作為分析各期間之效率(包括技術效率與規模效率)及生產力評估之依據。採用 3 種投入—天然氣購進量、員工人數、資本存量；3 種產出—住宅用銷售量、商業用銷售量及工業與大戶銷售量之 DEA 模式構建 Malmquist 生產力指數進行分析。結果顯示在解除管制前、解除管制初期與解除管制後期 3 個時期天然氣銷售業者的效率並無顯著改變，表示解除管制與提升競爭環境對經營效率之改進並無顯著效果。然而在此 3 個期間卻很明顯的對業者之規模產生顯著之影響，一般而言，在這段期間業者規模有變小的趨勢，但是業者規模變小並沒有對經營績效有顯著之影響；雖然在管制後期 1985 至 1994 年期間純技術效率有惡化的現象，但整體而言統計上亦沒有證據顯示解除管制與提升競爭環境對技術效率有不良的影響；而業者之生產力也沒有因為管制之解

除而獲得提升。此篇文章所得之結果大異於 Price and Weyman-Jones (1996)<sup>[2.5.30]</sup>對英國天然氣業者民營化前後績效改變，可能是美國的業者本來就是民營公司，在 20 年逐漸解除的管制過程並無法對業者之效率有所影響；然而英國天然氣業者由公營轉變為民營，使得業者追求利潤的動機更為強烈，而產生效率與生產力的大幅改進。此篇文章同樣有未把外在需求因素考慮在內的缺點，同時 20 年間估計 3 個邊界，顯示作者認為這 20 年間對技術的改變只有解除管制此項因素，此一強烈的假設極易造成績效評估的誤差。因此，以 DEA 作長期間研究對各期的環境變數之影響應極為謹慎。

表 2-21 加油站經營績效評估相關文獻研究內容與發現

作者	資料型態及來源	樣本大小	研究區域	研究方法	投入要素	產出項	特徵變數	研究發現
呂理場 (2000)	橫斷面資料 行政院公平 交易委員會 「車用加油站 市場結構調查報告」	446 座民營 加油站	臺灣 本島 地區	投入導向 DEA	員工人數 加油站槍數 營業成本 營業費用 總資產	營業收 入	無	1. 直營連鎖加油站與獨立加油站相對經營效率沒有顯著差異。 2. 經營效率與營業規模大小無顯著相關。 3. 投入資源閒置與生產力不佳是造成無效率的主要因素。 4. 蜷曲有效率的業者，在其個別縣市的評比仍為有效率。 5. 不同縣市因所處的區位環境有差異，不同縣視之加油站其鄉對效率亦有顯著差異。
黃芸珊 (2002)	橫斷面資料 自行問卷調 查	695 公、民 營加油站	臺灣 地區	CCR 模式 BCC 模式 FSY 修正 程序	總員工工時 總儲油量 加油站槍數 加油站島數	油品發 油量	經營 型態 區位	1. CCR 模式與 BCC 模式均指出加盟連鎖之加油站之相對平均效率得分較高，且在區位之差異上，平均效率得分由高至低均為國道型、都市型、城鎮型及鄉村型。 2. 就地區之效率差異而言，此二種模式均指出相同的效率次序，由高至低依次為北部地區、中部地區、南部地區及東部地區。 3. 將區位及營業型態變數納入 FSY 所提之修正 DEA 模式之外部變數部分，無法在前後二種模式有明顯之差異原因，可能在於：4 個投入要素迴歸式之 R square 只有 0.015 至 0.042 之間，無法充分解釋所選定之變數，因此造成調整前後結果相差
林唐裕 (2001)	橫斷面資料 經濟部能源 委員會	100 加油 站、10 加氣 站、36 漁船 加油站	臺灣 地區	投入導向 CCR 模式	營業費用 營業時間 佔地坪數 加油站槍數	場站安 全程度 發油量	無	1. 位於中南部地區、近 10 年成立，且營業面積小於 950 坪、非 24 小時營業之加油站，較具有經營效率。位於北部地區、近 10 年成立，且營業面積小於 525 坪、全天營業之加油站，較具有經營效率。



表 2-21 加油站經營績效評估相關文獻研究內容與發現(續)

作者	資料型態及來源	樣本大小	研究區域	研究方法	投入要素	產出項目	特徵變數	研究發現
						營業收入 服務滿意度		<p>2. 加油站的營業型態及區位在此處並無明顯差異，因此，是否為獨立站、直營連鎖或加盟連鎖與經營效率較無相關。</p> <p>3. 在 9 個加氣站 DMU 中，有近 8 成的 DMU 達到相對的經營有效率。</p> <p>4. 20 漁船加油站個 DMU 中，只有二成的 DMU 達到相對的經營有效率。</p> <p>5. 相對無效率的加油(氣)站均可藉由減少不必要的營業費用支出、增加加油(氣)槍在營業時間內的使用效率並可減少加油(氣)服務之營業坪數，建議可增加其它營業項目之坪數(多角化經營)，以達相對地經營有效率。</p>
Sueyoshi (2000)	橫斷面資料 自行調查	60 加油站	日本 東京 地區	CCR 模式 隨機 CCR 模式	員工人數 加油站面積 營運成本	總加氣量 總加油量	加油站規模	<p>1. 加油站之隨機效率隨著顯著水準與期望水準增加而變大。</p> <p>2. 當顯著水準小於 0.5 代表風險迴避者、等於 0.5 代表風險中立者、大於 0.5 代表風險偏好者。</p> <p>3. 由傳統 CCR 模式與隨機 CCR 模式(顯著水準=0.5、期望水準=1)之結果相似，顯示加油站總經理對未來需求預測正確。</p> <p>4. 油規模較大之加油站的效率較高來看，未來加油站有合併的需要。</p>
Price and Weyman-Jones (1996)	經緯資料	12 地區加氣站配送中心	英國 12 個 地區	Malmquist 生產力指數	員工人數 配送距離	家用天然氣銷售量 工業用	民營化前後地區	<p>1. 民營化後天然氣產業之生產力提升的速度明顯高於民營化前，而生產力之提升主要來自於管制之解除。</p> <p>2. 民營化前後經營效率並無顯著改變，可能是因為某些管制標準(yardstick regulation)仍在，因此，無法獲得真正的因市場競爭而來的效益。</p>

表 2-21 加油站經營績效評估相關文獻研究內容與發現(續)

作者	資料型態及來源	樣本大小	研究區域	研究方法	投入要素	產出項	特徵變數	研究發現
						天然氣銷售量 商用天然氣銷售量 服務顧客數 桶裝天然氣銷售量	人口數	
Hollas, Macleod and Stansell(2002)	經緯資料	33 民營天然氣站配送業者	美國 1975 至 1994	Malmquist 生產力指數	天然氣購進量 員工人數 資本存量	住宅用銷售量 商業用銷售量 工業與大戶銷售量	無	<p>1. 結果顯示在解除管制前、解除管制初期與解除管制後 1.期 3 個時期天然氣銷售業者的效率並無顯著改變，表示解除管制與提升競爭環境對經營效率之改進並無顯著效果。</p> <p>2. 然而在此 3 個期間卻很明顯的對業者之規模產生顯著之影響，一般而言，在這段期間業者規模有變小的趨勢，但是業者規模變小並沒有對經營績效有顯著之影響；</p> <p>3. 雖然在管制後期 1985 至 1994 年期間純技術效率有惡化的現象，但整體而言統計上亦沒有證據顯示解除管制與提升競爭環境對技術效率有不良的影響；而業者之生產力也沒有因為管制之解除而獲得提升。</p>

資料來源：本研究整理。

## 2.5.4 效率評估的方法

依據 Coelli, Rao and Battese (1998)<sup>[2.5.8]</sup>，效率評估的方法可依是否為參數評估法、對廠商的假設、函數型態、衡量標的、與使用資料型態，歸納整理如表 2-22。

表 2-22 四種效率評估法之特性

方法	特性
<b>是否為參數或非參數評估法？</b>	
傳統計量方法	是
總要素生產力指標法(TFP)	否
資料包絡分析法(DEA)	否
隨機邊界(SF)	是
<b>方法中是否包含誤差項？</b>	
傳統計量方法	是
總要素生產力指標法(TFP)	否
資料包絡分析法(DEA)	否
隨機邊界(SF)	是
<b>該種方法是否假設所有的廠商皆為有效率？</b>	
傳統計量方法	是
總要素生產力指標法(TFP)	是
資料包絡分析法(DEA)	否
隨機邊界(SF)	否
<b>該種方法對於廠商行為作何種假設？</b>	
最小平方法(LS)	端視使用何種函數型態： a) 生產或距離函數----不需假設 b) 成本函數----成本極小 c) 利潤函數----利潤極大
總要素生產力指標法(TFP)	成本極小且利潤極大
資料包絡分析法(DEA)	不需假設
隨機邊界(SF)	同最小平方法
<b>該種方法通常被用來衡量什麼？</b>	
傳統計量方法	a) 技術變動 b) 規模經濟
總要素生產力指標法(TFP)	總要素生產力變動
資料包絡分析法(DEA)	a) 技術效率 b) 規模效率 c) 分配效率 d) 密集效率 e) 技術變動與總要素生產力變動

表 2-22 四種效率評估法之特性(續)

方法	特性
隨機邊界(SF)	a) 技術效率 b) 規模效率 c) 分配效率 d) 技術變動與總要素生產力變動
<b>運用該種方法所需的變數資料？</b>	
傳統計量方法	端視使用何種函數型態： a) 生產或距離函數----投入、產出量 b) 成本函數----成本、產出量和投入價格 c) 利潤函數----利潤、投入和產出的價格
總要素生產力指標法(TFP)	投入、產出的量與價格
資料包絡分析法(DEA)	端視使用何種函數型態： a) 標準 DEA----投入、產出量 b) 成本效率----投入、產出量和投入價格 c) 收益效率----投入、產出量與產出價格 d) 利潤函數----投入與產出的量與價格
隨機邊界(SF)	和 LS 一樣
<b>該種方法可應用於時間序列、跨期或追蹤資料嗎？</b>	
傳統計量方法	皆可用
總要素生產力指標法(TFP)	皆可用
資料包絡分析法(DEA)	可以用跨期或追蹤資料
隨機邊界(SF)	可以用跨期或追蹤資料

資料來源：Coelli，Rao 和 Battese(1998) [2.5.8]。

## 2.6 自願性減量協議

自 1990 年代起，許多歐洲國家紛紛藉由自願性協議(voluntary agreement)來建立公、私部門的夥伴關係，以達成預定的環境目標，其中尤以自願性資源回收(例如廢機動車輛回收)最為常見。1995 年起，荷蘭、德國、丹麥、法國等國家則進一步將自願性協議推廣至節能減碳等層面，這使自願性協議成為一個頗受矚目的環境管理制度。

雖然自願性協議在一些地區曾發揮了原訂效果，但也有許多協議因缺乏有效的誘因機制(incentive mechanism)，以致成效不彰的個案仍有所見。因此，如何藉由政府的激勵性政策工具(例如補貼、租稅減免等)與懲處性工具來促進公、私部門合作，提升自願性協議績效，誠為各界咸所關注的重要課題。

自願性協議雖然廣被應用到許多產業部門(尤其是能源密集產業)，但由運輸業者與政府部門簽訂減量或節能之自願性協議的案例委實不多。本章旨為說明國際先進國家推動自願性協議的型態及相關配套措施，同時說明評估自願性協議績效的準則及其關鍵因子，以為政府推動自願性協議的參考。

### 2.6.1 OECD 國家的自願性減量協議

OECD 國家在 1990 年初期即已廣泛推動自願性協議，做為環境政策的一環，但大多侷限於資源回收及環境污染防治；1995 年以後，應用於節能減碳的案例始漸增加。據統計，歐盟國家至 1990 年代末期已成功推動超過 300 件的自願性協議；日本的成效更佳，成功完成約 3,000 個地方污染防治協定；美國聯邦政府也有超過 40 個自願性方案進行。

本節將就 OECD 國家推動之自願性協議的制度與成效進行比較分析，主要內容包括：(1)自願性協議型態與內容及(2)自願性協議的推動過程。茲分述如下：

#### 2.6.1.1 自願性減量協議的型態與內容

國際上為因應日趨嚴重的 CO<sub>2</sub> 排放問題，於 1990 年初開始推動產業部門提升能源效率的自願性協議計畫。根據歷往經驗，自願協議可歸納為 3 類型態如下(Price, 2005)<sup>[2.6.1]</sup>：

### **(一)完全自願性協議(completely voluntary agreement)**

參與者完全出於自願性，沒有受到政府的壓力。例如臺灣的「能源查核制度」、澳洲的「溫室氣體挑戰」(Greenhouse challenge)、及加拿大「產業節能計畫」(Industry Program for Energy Conservation)等。此外，「完全自願性」通常搭配較低成本的誘因，例如政府與公眾認可、能源效率資訊提供、能源管理協助與訓練、金融補貼，及能源查核成本補貼及能源效率設備租稅抵減等誘因。

### **(二)自願協議搭配未來的管制或租稅(如能源稅或碳稅)**

自願性協議搭配未來的管制或租稅措施，亦有諸多國家採行，例如德國的「德國產業抑制全球暖化宣言」(German Industry on Global Warming Prevention)、日本「經團連環境自願行動計畫」(Keidanren Voluntary Action Plan on Environment)，及荷蘭「長期能源效率協議」等均屬之。該型態之自願性協議通常搭配不同型式的誘因機制，包括：較寬鬆的環境許可程序、降低額外管制、免除能源稅或碳稅，以及參與排放交易等。

### **(三)搭配現存的管制與租稅制度**

此類自願性協議則搭配國家現行的相關管制措施，包括：不遵行的處罰、提高管制標準或開徵能源稅或碳稅。實施國家包括加拿大「大型最終排放者計畫」(Large Final Emitters Program)、丹麥「產業能源效率協議」(Agreements on Industrial Energy Efficiency)、紐西蘭「新溫室氣體協議」(New Negotiated Greenhouse Agreements)、瑞士「新二氧化碳減排自願措施法案」(New CO<sub>2</sub> Law Voluntary Measures)，及英國「氣候變遷稅與協議」(Climate Change Levy and Agreements)等。

表 2-23 係臺灣與國際間推動自願性協議的一般內容。由此可知，自願性溫室氣體減量計畫的案例以第二與第三類居多。表 2-24 為各國自發性溫室氣體減量計畫所涵蓋之產業範圍及參與企業之承諾內容，其中美國、丹麥、瑞典及英國「企業承諾運動」的推動形式，均屬於公開性自願遵循減量方案；荷蘭、法國、加拿大、韓國、德國以及英國的「氣候變遷稅協議」的推動形式則屬於協商合約，而日本實行的產業自主性減量計畫則屬於片面承諾。德國的自發性溫室氣體減量計畫形式上雖極類同片面承諾，然而此形式乃囿於該國法令約束所不得不，事實上德國政府在自發性溫室氣體減量計畫的推動上有極積極角色，只是不能簽署協議，因而文獻上都視之為協商合約。

表 2-23 臺灣與 OECD 國家的自願性協議型態

國家	自願協議計畫	實施年度
完全自願性		
澳洲	溫室氣體挑戰	1996~
加拿大	產業節能計畫	1975-2003
芬蘭	1. 產業節能行動計畫 2. 提升產業節能協議	1992-1997 1997~
法國	二氧化碳減量自願協議	1996-2002
愛爾蘭	自行查核計畫	1994-1997
韓國	節能與溫室氣體減量自願性協議	1998~
瑞典	節能計畫	1994-2002
臺灣	能源查核計畫	2002-2020
美國	氣候願景	2003~
搭配未來管制或租稅誘因		
法國	AERES 協議計畫	2002~
德國	1. 產業抑制全球暖化宣言 2. 氣候保護協議	1995-2000 2000-2012
日本	經團連環境自願行動計畫	1997~
荷蘭	產業能源效率提升長期協議	1989-2000
紐西蘭	限制二氧化碳排放自願性協議	1995-2000
搭配現行能源稅或管制		
加拿大	大型最終排放者計畫	2003-2012
丹麥	產業能源效率提升協議	1993~
愛爾蘭	節能協議試辦計畫	2002-2003
紐西蘭	溫室氣體減排協議	2003-2012
瑞士	二氧化碳減排自願措施法案	2000-2012
英國	氣候變遷協議	2001-2013

資料來源：本研究整理。

表 2-24 各國自願減量協議之產業範圍與承諾內容

類別	國家	推動之產業範圍	參與企業之承諾
公開性自願遵循減量方案	美國	適用個別方案之各企業為單位參與，不只限於製造及能源部門。	採行政府推廣的特定方案，依循政府設定之可行技術。
	丹麥(1996)	高度能源密集產業(重工業)，約佔工業部門整體能源消費量之 50%。	採行標準措施，包括： 1.能源查核 3.資本支出 2.能源規劃 4.能源管理
	瑞典(1994)	低能源密集度但具能源效率提升潛力的開創性企業。	採行標準措施，包括： 1.能源查核 2.能源管理(達成 ISO 14000 與 EMAS 的標準)
	英國(企業承諾運動)(1991)	大型企業。	採行標準措施，包括： 1.公布企業能源與環保政策 2.訂定能源效率提升目標 3.能源管理 4.能源查核 5.向員工與股東公告制度與執行進度
協商合約	荷蘭(1990)	各產業部門(含服務業)，參與部門至少須涵蓋該部門產業數量之 80%。	1.部門與企業階層的能源效率提升目標與時程表 2.接受能源查核與能源規劃(以許可制度要求)
	法國	能源密集產業。	部門或企業階層的二氧化碳減量與能源效率提升目標
	加拿大	各工業部門(涵蓋工業部門能源消耗之 85%)	能源效率改善目標
	韓國	能源部門與能源消費事業	1.設定節能及溫室氣體減量目標 2.提出執行計畫
	英國氣候變遷稅協議(2001)	能源密集產業。	部門階層的二氧化碳減量與能源效率提升目標
	義大利(規劃中)	各產業與企業。	尚不明確
	德國	能源密集產業。	部門階層的二氧化碳減量與能源效率提升目標
片面承諾	日本	除了製造及能源部門之外，亦涵蓋其他產業部門。	設定具體量化目標，包括： 1.單位產出能源投入 2.單位產出之 CO <sub>2</sub> 排放量 3.能源投入或 CO <sub>2</sub> 減量目標

資料來源：本研究整理。

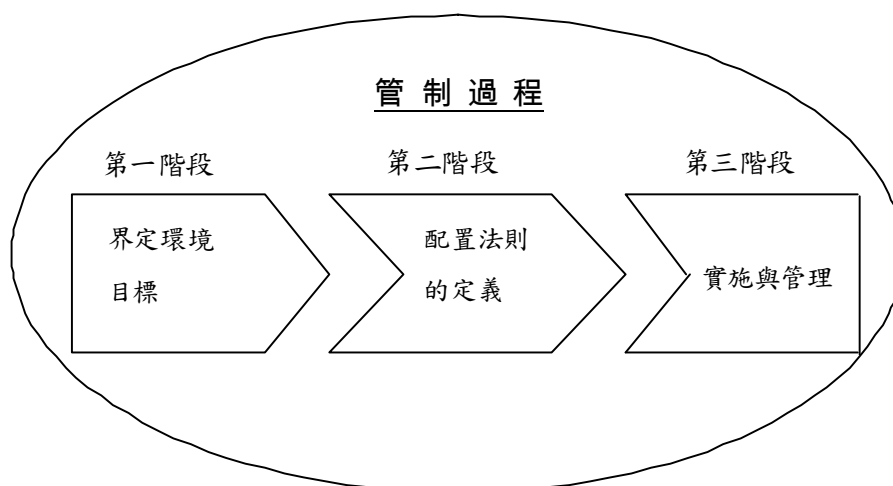


由此可見，在大多數國家，能源密集產業皆為主要推動對象，有些則更盡可能擴及所有產業。唯一的例外為瑞典，僅選擇低能源密集度但具能源效率提升潛力企業為對象，此應與瑞典早已針對能源密集產業實施的碳稅已使其節能減碳初具成效有關。

綜合上述可知，國際推動節能或 CO<sub>2</sub> 減排自願性協議計畫，主要目的在於盤查公司企業的能源消費或溫室氣體排放量，冀能進行有效管理(包括衡量與監測等)，並做為推動排放交易制度的基礎，最終能夠達到管制目標。

### 2.6.1.2 自願性減量協議的推動過程

自願性環境協議的推動過程通常區分為 3 個階段(見圖 2-7)：(1)第一階段：界定環境目標(definition of the environmental objective)，亦即界定節能或減量的目標與期程；(2)第二階段：界定分配法則(definition of the allocation rule)；(3)執行與控制(execution and control)。



資料來源：Cabugueira (2001)<sup>[2.6.2]</sup>。

圖 2-7 環境管制過程之三階段

OECD 國家選擇自願性協議型態時，受到各國特有之制度與經濟條件不同之影響而存在差異性。例如日本，大多採行地方層級之協商合約型態，目的在尋求國家法規與地方需求間取得共識，避免中央與地方政府環境政策的不一致性。該項協議可以不受到地方法規之約束，因此，可以有效降低制度執行的障礙，故受到較大的回響。同時，可獲得地方當局協助建立新設備及生產擴充之許可證體制。

雖然歐盟國家間之自願性協議政策，亦存在許多差異性，然而，仍可找

出其代表性模式。觀察歐盟國家，發現大部分國家偏好採行國家層級的自願性協議，該協議一方面可促進政府及廠商間達成協議，另一方面，可以提升環境政策效率。對於未能達成此協定合約之環境議題，則會透過新法規強制執行。

美國普遍採行公開性自願方案，由環保署與各廠商簽署協定，且未制定任何規定。簽署廠商希望藉由參與自願性協議，提升企業環保形象，因此，美國透過企業對環保形象的需求，推動公開性自願方案，期望能夠達到真正提升環境改善之目的。

比較各國實施「完全自願性協議」的作法，一般均涵蓋較少的溫室氣體排放配比，約低於 50% 國家產業部門溫室氣體排放量。然而，「搭配未來管制措施」的自願性協議，則納入較多的參與者，平均約占綜合整體產業部門的 90% 溫室氣體排放量。此外，完全自願性協議的執行成效，由於缺乏足夠誘因，因此執行績效相對較不佳，通常無法達到其減量承諾目標。反觀搭配誘因機制的自願性協議，則成效較佳，例如英國的經驗，於 2002 年已達到承諾目標量的 3 倍，丹麥則於 2005 年已成功降低 4.6% (相較於 1988 年) 排放水準。

## 2.6.2 自願性減量協議的誘因機制

自願性協議是重要的溫室氣體減量政策之一，然而，運輸部門執行自願性協議，無論是設備更新，抑或行為管理，均需投入適當的成本與生產資源，因此，如果缺乏適當的獎勵機制，運輸部門將很快喪失驅動力。一般而言，商業部門參與自願性協議，是基於如下動機：

- (1) 獲得政府較優惠的政策。
- (2) 及早學習減量經驗(learning by doing)。
- (3) 滿足市場綠色產品需求。
- (4) 避免面臨更嚴格的管制措施。
- (5) 提高企業環保形象。

然而，完全自願性減量協議，往往無法持續維持其減量誘因，存在如下問題：

- (1) 無法達到節能或減量目標；
- (2) 無法具備足夠客觀的評估方法，證明(或說服)其節能或減量目標的達

成。

由此可知，如果能夠搭配適當的經濟誘因政策，可以有效提高自願性協議的成效。為持續激勵自願性減量誘因，必須搭配適當的獎勵機制，歸納國際先進國家搭配的經濟誘因工具包括正向誘因與負向誘因(如表 2-25 所示)，其中正向誘因包括：政府與公眾認可、資訊提供、協助與訓練、能源查核與評估、金融誘因、排放交易、放寬管制或租稅減免，以及降低能源稅或碳稅等 8 項。負向誘因包括：較嚴格環境排放許可、提高管制標準、罰金，以及開徵能源稅或碳稅等 4 項，政府可依據國情及現有措施，予以適宜搭配，提高自願性減量協議的誘因。

表 2-25 國際自願性協議的誘因機制

誘因								處罰			
政府與公眾認可	資訊提供	協助與訓練	能源查核與評估	金融誘因	排放交易	放寬管制或租稅減免	降低能源或碳稅	嚴格環境排放許可	提高管制標準	罰金	能源或碳稅
完全自願性											
◎	◎	◎									
◎	◎	◎	◎	◎							
◎				◎							
◎	◎	◎	◎	◎							
◎	◎	◎		◎							
◎	◎	◎									
◎	◎	◎		◎							
◎	◎	◎	◎								
◎	◎	◎	◎								
◎	◎	◎	◎								
管制或租稅誘因											
◎		◎			◎					◎	
◎						◎	◎				
◎	◎	◎	◎	◎		◎		◎			
◎	◎			◎		◎		◎			
◎		◎				◎					
能源稅或管制											
	◎	◎	◎		◎	◎			◎	◎	
	◎	◎	◎	◎			◎				◎
	◎		◎	◎			◎				◎
					◎		◎				◎
					◎		◎				◎
◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎				◎

資料來源：Price(2005)<sup>[2.6.1]</sup>。

## 2.6.3 自願性減量的績效評估

如何建立適宜的績效機制並評估自願性協議績效，攸關自願性協議目標的落實與政策修訂，是推動自願性協議的關鍵課題。OECD 國家實施的自願性協議雖已建立了明確的架構，惟其成效的評估(無論是已實施的經驗，抑或理論上的分析)，仍然不足。儘管如此，自願性協議如果能夠與其他政策工具搭配(如直接管制)，則可提高其環境有效性；此外，自願性協議亦具有過渡至下一階段更嚴格環境政策的功能。事實上，許多 OECD 國家的能源密集部門已採用自願性協議作為 CO<sub>2</sub> 減量的第一個步驟，而成為總量管制與排放交易(cap and trade)的能力建構階段。

自願性協議之績效評估必須考量以下 3 個層面：(1)是否兼顧「靜態成本效率」(static cost efficiency)與「動態環境效率」(dynamic environmental efficiency)，前者係指短期間能夠以最小成本方式執行環境協議，而後者係指長期能夠達到提升環境品質之目的。(2)是否能夠確保所採行的環境措施具有有效性(effectiveness)；(3)是否能夠確保執行措施的「公平性」(equity)，亦即環境措施不會折損企業的競爭力<sup>[2.6.2]</sup>。

評估自願性協議績效評估，包括下列 5 個構面：

- (1) 靜態成本效率(static cost efficiency)：短期以最低成本執行環境協議；
- (2) 動態效率(dynamic efficiency)：能夠達成長期提升環境品質之目的；
- (3) 有效性(effectiveness)：有效提升環境品質；
- (4) 公平性(equity)：維持參與者的競爭力；
- (5) 參與動機(participation motivation)：提高參與誘因。

其中較重要的績效評估機制為靜態效率、動態效率、有效性，及公平性，其績效評估機制如下：

(一)靜態效率：評估自願性減量協議對降低交易成本的能力

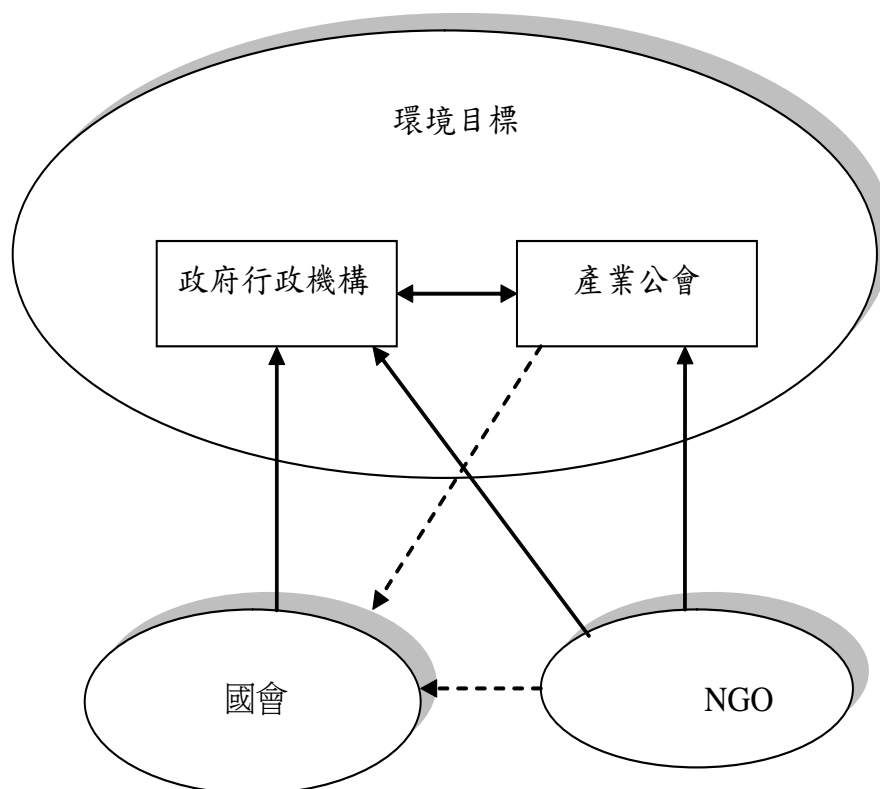
基於下列 3 項假設：

- (1) 隨著資訊數量增加，執行程序的邊際成本固定；
- (2) 聯繫單位愈多，聯繫成本增加；
- (3) 兩單位敵對性愈強，聯繫成本愈高。

經由上述假設，獲得影響靜態效率的因子：

- (1) 聯繫單位愈多，交易成本愈高；
- (2) 與協會協商成本低，與個別公司的協商成本高。

影響靜態效率之架構流程如圖 2-8 所示。



註：實線表示聯繫成本較高；實線表示聯繫成本較低

資料來源：Cabugueira (2001) <sup>[2.6.2]</sup>。

圖 2-8 影響靜態效率之架構流程

(二)動態效率：激勵技術創新誘因，包括

- (1) 配套措施的彈性(flexibility)：**(a)**直接創新誘因：如研發補貼；**(b)**間接創新誘因：增加減量效益，如達到減量目標，給予租稅降低等。
- (2) 創造衍生的操作程序(co-operation process)：執行 VA 創造資訊聯繫管道，創造集體學習及知識分享機制，產生學習效果。
- (3) 提高環境認知(environmental awareness)的能力：(1)利用處罰機制或社會壓力，促進公司進行有效的環境改善行動；(2)執行環境管理查核、環保標章及內部研發計畫。

(三)有效性

評估自願性協議的有效性包括如下議題：

- (1) 建立具法律(簽署合約)與非法律約束的協議：雖然無法確保高執行績效，但仍有其價值性，可提高參與者的執行動機。
- (2) 結合金融與非金融誘因，可促進自願性協議達到環境目標的效果。
- (3) 搭配環境管理措施，如環境查核等。
- (4) 觀察產業公會的環境控制績效及能力是否提高(可降低資訊不對稱及成本)，可觀察 3 個指標：(1)創造資訊分享機制；(2)提高參與者的環境改善的道德認知；(3)降低交易成本。

#### (四)公平性

自願性協議的有效性，主要評估參與者間之成本與利益的分配，觀察指標包括：

- (1) 「競爭環境」變化：參與者間之環境成本之衝擊大小，評估指標包括管制時間、生產製成特性、區位特性，以及已執行之環境管理狀態。
- (2) 「集體責任」(collect responsibility)：是否存在「坐享其成者」(free rider)，因此，參與者是否因此而喪失競爭力，抑或是否存在經濟誘因工具，確保參與者的公平性。

歸納而言，各先進國家之自願性協議的績效評估準則包括：靜態效率(經濟效率)、動態效率(長期環境效率)、有效性(環境有效性、公平性(競爭力)及參與動機等 5 項，再依據 14 項評估指標(evaluation variable)，做為檢視自願性協議績效的評估依據，彙整所有評估準則與指標於表 2-26，茲分項說明其意義如下：

##### (一)產業特色(characteristics of the industry)

從經濟(economic)與地理(geography)觀點分析產業集中度(degree of concentration)，以及交易成本(transaction cost)的變化，一般而言，市場集中度愈高，亦或參與者家數不多，則自願性協議產生的交易成本愈低，換言之，市場競爭力(公平性)較能夠維護。評估指標以「產業集中度(industrial concentration)」為主。

表 2-26 評估準則與要素

評估要素	評估準則				
	靜態效率	動態效率	有效性	公平性	參與動機
(1)產業特色					
0 產業集中度	+			+	
(2)VA 參與者					
1 獨立公司	—				
2 產業協會的公司	+				
3 所有公司			+	+	
4 包含所有利害關係人之機構			+		
5 國會	—		+		
6 外部第三單位					
6.1 執行控制的專業技術人員			+		
6.2 NGO(環保團體)	—		+		
7 清楚界定所有公司的權利與義務			+		
(3)法律位階與處罰					
8 法律的約束力			+		
9 處罰					
9.1 罰金條例			+		
9.2 減弱特權			+		
9.3 區隔商業與經濟			+	+	
10 處罰的執行力			+		
(4)界定協議目標與控管方式					
11 清楚界定環境目標			+		
12 清楚界定遵行計畫			+		
13 界定評估始點、過程、及負責人			+		
(5)資訊創造與擴散					
14 正式的資訊管道	+	+			公/私
15 非正式的資訊管道	+	+			公/私
16 資訊提供的工具	+	+	+		公/私
17 降低資訊不對稱	+				公/私
18 降低公司間的資訊不對稱	+				公/私
(6)促進參與者間的合作機制					
19 建立正式學習機制	+	+			私
20 建立非正式學習的機制	+	+			私

表 2-26 評估準則與要素(續)

(7)自願性協議環境目標彈性的要件					
21 個人化條款	+			+	私
22 執行中立				+	
(8)自願協議執行之彈性工具的要件					
23 搭配經濟誘因工具	+	+			
24 誠實申報誘因機制	+				
25 誠實遵行誘因機制			+		
26 政府管制工具調合	+				
26.1 配合政府管制之經濟工具的調合	+				
(9)支持環境管理的要件					
27 長期保證	+				私
28 促進環境管理	+	+			私
29 執行環管系統				+	私
(10)直接促進創新的要件					
30 直接創新誘因		+			私
31 無創新誘因		+			私
(11)捕捉(capture)執行成效的要件					
32 公司環管程序					私
33 目標操作		—	—		私
34 執行機制的操作		—	—		私
35 控制程序的操作		—	—		私
(12)提升外部揭露的要件					
36 管制程序的透明化			+	+	私
37 協會對公共評估的看法			+		私
38 建立正式執行成果公開化機制			+		私
39 建立非正式執行成果公開化機制			+		
(13)提升公部門參與的誘因					
40 較好的資訊獲得性	+	+	+		公
41 政府管制措施彈性			+		公
42 清楚界定政府管制的意向			+		公
43 降低環境政策的行政管制成本			+		公
44 落實「使用者付費原則」	+		+	+	公
45「責任分擔原則」				+	公



表 2-26 評估準則與要素(續)

46 「防止行動原則」			+		公
47 正式與非正式維護 「經濟價值」		—	—		公
48 與其他領域之經濟 政策相調合	+				公
49 外部環境壓力					公
(14)提升私部門參與的誘因					
50 非財務誘因	+	+	+		私
51 政府管制措施的信用 危及			+		私
52 規避政府執行管制 措施的可能性					私
53 預測政府執行管制的 可能性					私
54 促使政府執行管制 更具彈性的可能性					私
55 執行「互惠原則」			+		私
56 外部環境壓力					私
56.1 社區或消費者					私
56.2 供給者與金融機構					私
56.3 股東					私
56.4 公部門管制單位					私
57 生產力提升					私
58 先行者的優勢					私
59 私人行動的信用					私
60 財務誘因					私
60.1 管制單位的金融 補貼	+				私

註：+ =於效率(靜態或動態)、效能、公平有正面貢獻；— =於效率(靜態或動態)、效能、公平有負面貢獻；私=非官方代理人參與的激勵因子；公=官方代理人參與的激勵因子

資料來源：Cabugueira(2001) [2.6.2]。

## (二)自願性協議的參與者(participants in the agreement)

參與者的型態亦會影響靜態效率與動態效率，如果是以產業公會的形式參與，由於公會較不會受到國會與 NGO 團體的影響，故就經濟效率而言，一方面可降低交易成本，然而，卻不利環境有效性。因此，參與者分散

(diversity)(而非隸屬同一產業公會)，較不具政治影響力，因此，有利於環境價值提升，以及更好的管理績效。評估指標包括：

- (1) 獨立公司(isolated company)
- (2) 參與協會公司(association of company)
- (3) 所有公司(all companies)
- (4) 包括所有利害關係人的機構(institution that integrates all the stakeholder)
- (5) 國會(parliament)：包括外部第三單位(external third party)與非政府組織(non-government organize, NGO 環保團體)
- (6) 清楚界定所有參與者的權利(right)與義務(obligation)

(三)協議的法律位階與處罰條款(legal statute of the agreement and existence of sanctions)

協議如果具有較高的法律位階，以及存在處罰條款，則可提高參與者不遵行成本，可以提高協議的有效性。評估指標包括：

- (1) 法律約束力(legally binding)
- (2) 處罰(sanction)
- (3) 罰金規定(penalty clauses)
- (4) 減弱特權(loss of privileges)
- (5) 區隔商業與經濟(commercial and economic isolation)
- (6) 處罰的執行力(guarantees that the penalty will be applied immediately after the detection of non-compliance)

(四)界定協議目標與控管方式(elements that define the agreement objective and the control ,methods)

就管制有效性而言，協議必須能夠回答下列 4 個問題：(1)管制標的為何(what is being regulated)?、(2)協議期間有多長(how long)?、(3)何時及如何查驗執行成果(when and how will the results be verified)?、及(4)有誰負責查驗(who is responsible for that verification)?等。評估指標包括：

- (1) 清楚界定環境目標(clear definition of the environmental objective)
- (2) 清楚界定執行政程序表(clear definition of the compliance schedule)
- (3) 界定評估始點、程序及負責人(definition of the evaluation milestones, the evaluation processes and who's responsible for that)

evaluation)

(五) 資訊創造與擴散工具(instruments of information creation and diffusion)

資訊是環境管理的基礎，透過環境管理創造有用資訊，例如如何降低交易成本(靜態經濟效率)以及提升環境品質(動態環境效率)，並透過適當的方式，擴散該資訊，促進資訊分享機制，提高整體環境改善的能力。因此，在資訊創造方面，如果在進行環境協議時，能夠要求建立正式或非正式的資訊蒐集機制，利用建立網站。而在資訊擴散機制，則可利用舉辦會議、提交報告及查核等作法，有效的擴散資訊。評估指標包括：

- (1) 正式界定資訊管道(information channels, formerly defined)。
- (2) 非正式界定資訊管道(information channels, informally defined)。
- (3) 資訊提供的工具(information support instruments)。
- (4) 透過協商，降低管理者與公司間的資訊不對稱(decrease of asymmetric information during negotiation between the administration and the company)。
- (5) 透過協商，降低公司間的資訊不對稱(decrease of asymmetric information during negotiation between the administration and the company)。

(六) 促進參與者間的合作機制(instruments that promote co-operation among the participants)

建立參與者的合作關係，可以創造資訊流量(information flow)，降低環境管理風險與不確定性。建立參與者的「專案小組」(task force)的合作關係，包括第一者查證到第三者驗證等工作，此外，舉辦定期會議，進行意見與經驗交流，以及研發的合作等，均是良好的參與者合作機制，將有利自願性協議目標的達成。評估指標包括：

- (1) 正式建立「集體學習」工具(instruments of “collective learning”, formerly established)
- (2) 非正式建立「集體學習」工具(instruments of “collective learning”, informally established)

(七) 自願性協議環境目標彈性的要件(elements of flexibility in the form of the Voluntary Agreement)

由於參與者特性的差異，因此，參與自願性協議將產生不同的成本衝擊，因此，自願性協議如果能夠參考公司與產業的差異性而彈性調整，制定符合該公司或產業能力的差異性環境管制目標，則可以促進靜態經濟效率、公平性及動態環境效率績效的達成。評估指標項目包括：

(1) 個人化規定(personalization clause)

(2) 執行中立(enforcement neutral)

(八)自願性協議執行之彈性工具的要件(elements of flexibility in the instruments used on the Voluntary Agreement)

自願性協議除了要符合政府政策的管制要求外，亦可以利用不同的遵行方式達到所要求的目標，故相對而言是較具有彈性的。較具彈性的自願性協議，可降低參與者遵行成本，從而促進參與者的邊際防治成本(marginal abatement cost)相等，短期間，即可達到成本有效性(cost effectiveness)。評估指標項目包括：

(1) 搭配經濟誘因工具(use of incentive schemes with an impact similar to the “economic instruments “ of public regulation)

(2) 誠實申報誘因機制(contracts in which the expected profit from “lying“ is inferior to that of “telling the truth”)

(3) 誠實遵行誘因機制(contracts in which the expected profit from “not complying“ is inferior to that of “being honest”)

(4) 政府管制工具的調合(co-ordination with instruments of public regulation)：調合政府的經濟工具(economic instruments)

(九)支持環境管理的要件(elements of support eco-management)

自願性協議參與者對環境管理的意向與態度，也是影響自願性協議的績效；如果參與者瞭解環境管理行動(如執行環境管理與查核計畫，Eco-Management and Audit Scheme, EMAS)，的確有助於提升參與者的經濟效率，則將更願意支持(包括財務上或技術上)自願性協議，從而提高環境品質。

評估指標項目包括：

(1) 長期保證(stability guarantees for the long term)

(2) 促進環境管理(eco-management promotion)

(3) 執行環境管理系統(implementation of eco-management system)

(十)直接促進創新的要件(elements of directly promote innovation)

如果自願性協議能夠促進參與者技術創新誘因，將可以提升自願性的長期動態效率，亦即改善環境品質。

評估指標項目包括：

- (1) 直接的創新誘因(direct incentives for innovation)
- (2) 無創新誘因(innovation waivers)

(十一)捕捉(capture)執行成效的要件(elements of capture)

所謂「捕捉」係指掌握自願性協議參與者執行成效的能力(capacity)，如果無法掌握參與者的執行狀況，將有害環境品質的維護。因此，需要特別審視其他績效評估要件對提升參與者執行狀況掌握能力的影響，例如是否清楚界定環境品質目標、控制程序及外部查核的揭露等。

評估指標項目包括：

- (1) 公司的環境管制程序(control of the regulation process by the company)
- (2) 目標操作(objectives manipulation)
- (3) 執行工具的操作(manipulation of implementation instruments)
- (4) 控制程序的操作(manipulation of the control process)

(十二)提升外部揭露的要件(elements that increase the exposition to external evaluation)

社會各階層能夠獲得自願性協議參與者執行成效之資訊，必須透過執行成果的外部揭露程序。並且藉由社會壓力，促進參與者改善環境績效，因此，如何設計一套執行成果的揭露機制，亦是評估自願性協議績效的重要配套措施。

評估指標項目包括：

- (1) 管制程序的透明化(transparency of the regulation process)
- (2) 協會對公共評估的看法(subject the association to public evaluation)
- (3) 建立正式執行成果公開化機制(publicity of the results, formerly established )
- (4) 建立非正式執行成果公開化機制(publicity of the results, formerly established )

### (十三)提升公部門參與的誘因(incentives to public agent participation)

此準則主要評估如果鼓勵公部門參與自願性協議，以及提升公部門機構的執行成效。如果能夠提升管理制度的彈性度(flexibility)，亦即依據公部門特性，給予差異性的環境目標與管理模式，則有助於公部門的參與誘因。此外，對於公部門機構的經濟效率提升，其評估為負向影響環境績效。

評估指標項目包括：

- (1) 較好的資訊獲得性(better access to information )
- (2) 政府管制措施的彈性(public regulation flexibility)
- (3) 清楚界定政府管制的意向 (clear definition of the public regulator's intentions)
- (4) 降低環境政策的行政管制成本(reduction of the administrative cost related to the application of the environmental policy )
- (5) 落實「使用者付費原則」(better application of the “polluter pays principle”)
- (6) 落實「責任分擔原則」(inclusion of the “share responsibility principle”)
- (7) 落實「創新行動原則」(inclusion of the “inventive action principle”)
- (8) 正式與非正式維護「經濟價值」(formal or informal defence of “economic value”)
- (9) 與其他領域之經濟政策相調合(co-ordination with other areas of economic policy)
- (10) 外部環境壓力(external environmental pressures)

### (十四)提升私部門參與的誘因(incentives to private agent participation)

提高民眾參與自願性減量協議誘因，是促進環境有效性的關鍵因子。表 2-26 之第 51-57、14-21、及 27-40 等評估變數，均屬於非財務誘因指標，具有激勵私部門參與者採行誠實(遵行自願性減量協議)、積極及經濟理性等行動，從而促進經濟效率、環境品質及公平性績效目標的達成。至於財務誘因指標，有利用於經濟利益，可促進靜態效率。

評估指標項目包括：

- (1) 非財務誘因(non-financial incentives to voluntary action)
- (2) 政府管制措施的信用脅迫(credible menace of public regulation)

- (3) 規避政府執行管制措施的可能性 (possibility of avoiding implementation of public regulation)
- (4) 預測政府執行管制的可能性 (possibility of anticipating implementation of public regulation)
- (5) 促使政府執行管制更具彈性的可能性 (possibility of complementing or making the public regulation more flexible)
- (6) 執行「互惠原則」 (implementation of “moral principle of reciprocity”)
- (7) 外部環境壓力 (external environmental pressures)
- (8) 社區與消費者 (from the community and the consumers)
- (9) 供給者與金融機構 (from the suppliers and financial institute)
- (10) 利害關係者 (from stockholders)
- (11) 公部門管制單位 (from public regulators)
- (12) 生產力提升 (productivity improvements)
- (13) 先行者的優勢 (first mover advantages)
- (14) 私人行動的信用 (private action credibilization)
- (15) 財務誘因 (financial incentive to voluntary action)
- (16) 管制單位的金融補貼 (financial support by the administration)

## 2.6.4 我國運輸部門推動自願性減量協議的可行性

自願性減量協議的目的及其型態甚為多元，綜觀國內外的經驗可知，目前仍以能源密集產業(尤其是石化、鋼鐵、水泥、能源等)或法定回收業(如容器使用業者、汽車及輪胎製造業者、通訊產品及家電業者等)為主要的應用對象，運輸部門業者與政府簽訂自願性協議的案例猶不多見。主要原因如下：

- (1)運輸供應鏈從上游至下游所涉業者甚多，不僅車輛生產業者多元化，車輛使用業者也甚多，形成自願性協議的交易成本甚高。
- (2)促成運輸部門落實節能減碳或污染防制的措施及政策工具雖然很多，但多數非屬運輸主管機關職權(例如排放標準、效能標準等管制)，可行之誘因工具委實不多。
- (3)運輸部門的供需大多以國內市場為主，國外競爭不如其他產業敏感。
- (4)除國籍國際航空外，運輸部門之多數供應者及消費者的節能減碳意識仍屬

薄弱，在欠缺減量目標及管理機制的規範下，自願性減量的動機與意願較為不足。

(5)運輸部門推動減量之彈性機制的經驗欠缺，交易成本也高，減碳之短期利益不彰。

基於上述原因，目前國內業者與政府簽訂自願性減量協議動機與意願的也都不高，因此現階段的可行性較低；如果溫減法得以通過，在總量管制的壓力下，對運輸部門將造成立即衝擊，屆時自願性減量協議或可能成為業者的選項之一。

## 2.6.5 小結

自願性減量協議雖然廣被應用到許多產業部門(尤其是能源密集產業)，但由運輸業者與政府部門簽訂減量或節能之自願性協議的案例委實不多。本章旨為說明國際先進國家推動自願性減量協議的型態及相關配套措施，同時說明評估自願性減量協議績效的準則及其關鍵因子，以為政府推動自願性協議的參考。

利害關係人(如企業家、決策者、學者、及環保團體等)對自願性減量協議的效率有不同的意見。雖然目前資料顯示，僅有少數自願性減量協議具提升環境品質成效，然而，自願性協議已大幅擴散環境改善之資訊與認知，進而產生顯著性「軟性效果(soft effect)」，有利於長期環境品質改善。儘管如此，自願性協議的執行成本(enforcement cost)亦是影響其成效的關鍵因子，因而，容易產生搭便車(free-riding)及管制規避(regulatory capture)的現象，是影響自願性協議成效的不利因子。

藉由 OECD 各國實施經驗，協商合約與公開性自願性協議具有下列兩項政策意涵：

### (一)搭配其他政策(using them in a policy mix)

連結自願性協議與傳統直接管制(command control)政策措施，可以提高自願性協議之彈性度(flexibility)與成本有效性(cost effectiveness)，從而降低其執行與管理。雖然自願性協議亦可與經濟誘因工具配套，然而，其成效仍有待未來更多實施案例來判斷。

### (二)衍生新政策措施(using them to explore new policy area)



一般而言，完整的環境政策應循序推進，自願性協議是推動相關環境措施的第一階段工作，可作為第二階段環境政策(如總量管制)的過度階段，政府與廠商經由自願性協議的推動與執行，可以建立與提升下一階段更嚴格環境措施的能力與成效，因此，自願性協議的政策過渡與能力建構功能不可忽視。

為提升自願性協議的環境效果以及降低其執行成本，在制度設計下，建議如下：

- (1) 設定明確的目標：建立透明與清楚的量化目標。
- (2) 基本情境的特性：在制定目標之前，應先掌握基本情境的特性，作為基線推估之參考。
- (3) 可靠的管制措施：協商階段，可藉由主管機關的施壓，激勵廠商改善的動力與誘因。
- (4) 可靠及可信的監控機制：有效的監測機制，可以持續追蹤與瞭解績效改善狀況，以利目標的達成。
- (5) 第三者驗證：在簽訂目標與監控的過程，應有第三驗證單位參與，以確保自願性協議成效的可信度。
- (6) 不遵行的處罰：應制定處罰機制，對於未達到遵行目標之廠商，應給予適當的處罰。
- (7) 資訊提供機制：為了提高自願性協議的成效，應提供技術支援、專責小組，及執行指引等。
- (8) 降低競爭扭曲風險之規定：為避免自願性協議產生市場競爭力的扭曲，應隨時檢視市場行為，並及時提供相關資訊供反壟斷管理機構(如臺灣的公平會)參考。



# 第三章 運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫更新

## 3.1 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，輸入之排放係數乃採 IPCC 準則<sup>[2.1.3]</sup>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為各類能源消費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 3-1，主要化石燃料種類包含 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 及 N<sub>2</sub>O，其中，CO<sub>2</sub> 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；至熱值參數的部分，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(最新版)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 CO<sub>2</sub> 排放係數估算公式歸納如下所示。

CO<sub>2</sub> 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、國內航空、國內水運」的能源消耗量，而國際航空與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。依照 IPCC2006 準則，本年度計畫更新修正部分數值；航空燃油之碳排放係數由 19.6 修定為 19.5，經濟部能源局在 2009 年 5 月更新其能源產品單位熱值表，根據熱值

表其柴油、燃料油和天然氣有更新之數據，主要區分為兩種數值，柴油及燃料油分別是 1998 年以前及 1999 年之後數據不同，天然氣分別為 1990 以前及 1991 之後數據不同。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 CO<sub>2</sub> 排放係數為計算依據。茲將運輸部門相關化石燃料之溫室氣體排放係數彙整於表 3-1。

表 3-1 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 <sub>4</sub> 排放係數	N <sub>2</sub> 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	2009 年度計畫推估引用數值					排放係數單位
	(T-C/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)			J/cal		碳氧化率	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	GHG	
汽油(Gasoline)	18.9	25.0	8.0	L	7800	4.187	0	1	2263	0.816 <sup>a</sup>	0.261	2359	g/L
航空燃油(Jet Kerosene)	19.5 <sup>b</sup>	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 <sup>c</sup>				(1999 年以後) 2606			(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 <sup>c</sup>				(1999 年以後) 3111			(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 <sup>3</sup>	(1990 年以前) 9000	4.187	0	1	(1990 年以前) 2114	0.038 <sup>a</sup>	0.004 <sup>a</sup>	(1990 年以前) 2116	g/m <sup>3</sup>
					(1991 年以後) 8900 <sup>c</sup>				(1991 年以後) 2090			(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。[3.1.1]

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

全國溫室氣體排放量之排放係數包含化石燃料以及電力排放係數，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。其相關推估程序係沿用去年度計畫已建立之方式，推估過程中所引用之相關參數若有最新實際統計數據者，則以近期更新值取代之。

### 1.公路

參考本所 97 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(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」計畫<sup>[3.1.2]</sup>，將公路車種分為 8 種，分別是自用小客車，營業小客車(本報告所列之營業小客車為計程車)、汽油小貨車、機車、柴油小貨車、公車與客運車、其他大客車及大貨車，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、液化石油氣之年總消耗量，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、用油比例以及總用油量分配，最後再以全國實際統計消耗量進行校估。

本計畫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 3-2 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、車輛使用率以及各化石燃料油當量。

表 3-2 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(公里/公升)×(C)各車種登記車輛數×(D)使用率×(E)各化石燃料油當量(公升)÷1,000,000				
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	附註	
(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.交通部統計專題分析-96年臺灣地區汽車延車公里統計 <sup>[3.1.3]</sup> 2.交通部統計要覽-96年「遊覽車營運狀況調查」摘要分析 <sup>[3.1.4]</sup> 3.交通部統計要覽-臺灣地區公路汽車客運業營運概況 <sup>[3.1.5]</sup> 以及臺灣地區市區汽車客運業營運概況 <sup>[3.1.6]</sup> 4.環保署公布之機車定檢資料	1.目前網站未更新 2.遊覽車及機車：兩年調查一次，因此參照2007年 3.公車與客運車：已更新至2008年 4.特種車：假設比照遊覽車之50%	
(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.LPG 燃油效率=(LPG 熱值/汽油熱值)×營業小客車燃油效率	1.交通部統計要覽-95年自用小客車使用狀況調查摘要分析 <sup>[3.1.7]</sup> 2.交通部統計要覽-96年計程車營運狀況調查摘要分析 <sup>[3.1.8]</sup> 3.交通部統計要覽-遊覽車96年「遊覽車營運狀況調查」摘要分析	1.小客車：兩年調查一次，因此參照2007年 2.公式1：參考自交通部統計要覽-自用小客車及計程車營運調查摘要分析 3.小貨車、大客車：未有統計資料，故比照2005年 4.遊覽車：兩年調查一次，因此參照2007年	
(C) 登記車輛數		1.交通部統計要覽-機動車輛登記數 <sup>[3.1.9]</sup> 2.交通部統計要覽-臺灣地區市區汽車客運營運概況、臺灣地區公路汽車客運業營運概況		
(D) 使用率	使用率假設為100%	交通部統計要覽-96年機車使用狀況調查報告 <sup>[3.1.10]</sup>	機車：兩年調查一次，因此參照2007年	
(E) 各化石燃料油當量(汽/柴油)		經濟部能源局網站-能源產品單位熱值表	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。

有關車輛汽油、柴油、液化石油氣之使用對象與考量因素說明如下。

汽油消費統計量主要摘自能源平衡表表中的全國車用汽油消費統計量，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、小貨車、機車。

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費統計量。使用柴油車種主要為公車與客運車、其他大客車、大貨車、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。

環保署自 1996 年起即以營業小客車為主要對象開始推廣，近年因改以加氣補助方式，使用量自 2005 年後有較大幅度提高，至 2007 年使用車輛數約 13,000 輛左右，故在液化石油氣計算時，主要是探討營業小客車。

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 3-3 至表 3-8，各表主要係整理出 1990 至 2008 年各車種的對應數據，本年度推估時持續蒐集國內最新實際調查統計數據進行更新，相較於 97 年度資料，本年度主要更新部分說明如下：

#### (1)車輛數及車輛使用率

表 3-3 為歷年各車種登記車輛數資料，係參考交通部統計要覽之「機動車輛登記數」。其中公車與客運車資料來源主要為交通部統計要覽之「97 年臺灣地區市區汽車客運營運概況」及「97 年臺灣地區公路汽車客運業營運概況」。前期報告中，2007 年數據為比照 2006 年，本計畫已更新至實際調查統計數據。表中機車使用率無更新的實際調查統計數據，故 2008 年延用 2007 年之數據。

使用率方面，機車實際使用率參考自交通部「96 年機車使用狀況調查」報告，由於其他車種之使用率目前並無相關實際調查統計資料，依一般經驗判斷其使用率接近 1，因此對於其他車種之使用率皆假設為 1。

#### (2)年平均行駛里程

表 3-4 為歷年各車種年平均行駛里程資料。由於未有新的統計數據，

因此 2008 年沿用 2007 年數據。在更新歷年資料時發現，部分年度的統計資料有誤，例如 2003 年營業小客車行駛里程應為 53,527；2004 年營業大貨車行駛里程應為 74,451...等，本研究於此予以更正。

公車與客運車方面，本研究參考交通統計要覽之歷年市區客運及公路客運業總行車里程，經加權後得到公車與客運車各年平均行駛里程，其加權計算方式如下：

$$\frac{\sum (\text{車輛登記數} \times \text{年平均行駛里程})}{\sum \text{車輛登記數}} \quad \text{市區公車、公路客運}$$

### (3)平均燃油效率

小客車平均燃油效率主要使用到以下 2 種公式：

$$\frac{1}{\frac{0.55}{\text{一般道路行駛燃油效率}} + \frac{0.45}{\text{高速公路及快速道路行駛燃油效率}}} \dots\dots(a)$$

$$\frac{\text{LPG熱值}}{\text{汽油熱值}} \times \text{營業小客車燃油效率} \dots\dots(b)$$

表 3-5 為歷年各車種平均燃油效率資料，本年度持續蒐集彙整相關統計調查文獻，歷年有更新者為營業小客車及遊覽車。其分別參考交通部統計處之「2007 年計程車營運狀況調查報告」和「2007 年遊覽車營運狀況調查」，經加權計算後得到數值，依此修改 2007 年數據，2008 年沿用 2007 年；加權公式係比照國內車輛耗能標準檢測計算公式。

汽、柴油小貨車原先研究者參考經濟部能源局 1999 年「運輸部門能源消費調查研究」的調查結果，假設汽油小貨車比照營業小客車之逐年變化比例，柴油小貨車則比照營業大貨車之逐年變化比例進行其他年份推估，本年度採用相同之方法。

LPG 車輛平均燃油效率，此主要係以使用中汽油營業小客車的平均燃油效率數值為基礎，利用汽油與 LPG 的熱值(分別為 7,800 及 6,635 仟卡/公升)換算概估結果，由於營業小客車平均燃油效率於 2007 年有更新數值，依此修改 2007 年數值。無更新資料者則沿用 2007 年數值。

### (4)各車輛平均年用油量



各車輛平均年用油量是由年平均行駛里程(表 3-4)除以各車種平均燃油效率(表 3-5)得出，由於經濟部能源局於 2009 年修正能源平衡表數值，並追溯至 1980 年，因此本研究將歷年能源使用量更新後，進一步乘上登記車輛數及使用率後合計得總耗油量，再由與全國車用汽柴油總量相較之比例進行校正，各車種校正前後平均年用油量如表 3-6 中所列。另外，汽油及柴油小貨車之數量為參考本所 97 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(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」計畫之估算方式進行運算，目前以 2008 年之柴油小貨車為基準比例，柴油小貨車之比例= $\sum$  (各地區柴油小貨車比例 $\times$ 小貨車總車輛數比例)。

#### (5)各車種年總用油量

各車種年總用油量之估算公式如下：

各車種年總用油量=(年平均行駛里程 $\div$ 各車種平均燃油效率) $\times$ 登記車輛數 $\times$ 使用率

表 3-7 之汽油車與柴油車總耗油量主要來自於能源平衡表，由於經濟部能源局修正能源平衡表新表，因此本年度更新 1990 至 2008 年汽油車與柴油車之總耗油量。

表 3-8 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 3-3 歷年車輛登記數統計量

單位：輛

年份	小客車			小貨車			大客車			特種車	大貨車			機器腳踏車			
	小計	自用	營業	小計	自用	營業	小計	自用	營業		小計	自用	營業	登記數	調整後之機車實際使用數(考量使用單位)	機車實際使用率	
									遊覽車								公車與客運車
1990	2,263,419	2,160,378	103,041	480,189	474,560	5,629	20,836	5,694	15,142	12,178	22,465	119,033	65,971	53,062	7,145,625	7,145,625	100%
1991	2,541,364	2,440,685	100,679	495,167	489,381	5,786	20,120	5,381	14,739	12,167	24,049	121,161	66,184	54,977	7,409,175	7,409,175	100%
1992	2,900,042	1,977,519	100,523	533,218	527,274	5,944	21,294	5,155	16,139	11,466	26,857	137,535	71,996	65,539	7,649,308	7,649,308	100%
1993	3,238,754	3,139,876	98,878	548,272	542,428	5,844	21,210	4,601	16,609	11,545	32,595	148,297	76,964	71,333	7,867,396	7,867,396	100%
1994	3,570,497	3,469,377	101,120	556,553	550,758	5,975	21,252	3,971	17,281	11,571	39,015	155,256	79,802	75,454	8,034,509	8,034,509	100%
1995	3,874,203	3,771,662	102,541	591,394	583,379	6,015	21,598	3,760	17,838	11,446	40,496	156,756	81,081	75,675	8,517,024	8,399,510	99%
1996	4,146,475	4,039,649	106,826	622,144	615,966	6,178	21,772	3,487	18,285	11,209	43,420	155,740	81,964	73,776	9,283,914	8,936,599	96%
1997	4,411,911	4,302,622	109,289	655,410	648,713	6,697	22,743	3,269	19,474	10,689	46,066	158,000	83,702	74,298	10,051,613	9,415,619	94%
1998	4,545,488	4,433,195	112,293	657,855	650,592	7,263	22,871	3,088	19,783	11,388	47,642	156,239	81,953	74,286	10,529,040	9,616,561	91%
1999	4,509,430	4,401,730	107,700	627,034	618,943	8,091	23,798	2,878	20,920	11,582	46,159	152,878	79,434	73,444	10,958,469	9,752,979	89%
2000	4,716,217	4,608,960	107,257	652,963	643,796	9,167	23,923	2,748	21,175	11,456	50,791	155,623	81,003	74,620	11,423,172	10,010,286	88%
2001	4,825,581	4,720,641	104,940	675,533	665,718	9,815	24,053	2,580	21,473	11,252	51,528	155,140	81,813	73,327	11,733,202	9,899,833	84%
2002	4,989,336	4,888,050	101,286	700,978	690,750	10,228	25,079	2,326	22,753	11,978	52,002	155,805	82,649	73,156	11,983,757	9,836,234	82%
2003	5,169,733	5,071,981	97,752	728,624	717,915	10,709	25,628	2,196	23,432	12,282	52,653	157,156	83,912	73,244	12,366,864	9,810,097	80%
2004	5,390,848	5,262,693	128,155	758,809	743,939	14,870	26,453	2,042	24,411	12,748	52,616	160,460	85,662	74,798	12,793,950	10,478,939	82%
2005	5,634,362	5,495,693	138,669	789,222	770,659	18,563	26,967	1,883	25,084	13,068	52,743	164,248	88,049	76,199	13,195,265	11,084,023	84%
2006	5,698,324	5,555,507	142,817	805,590	783,979	21,611	27,522	1,812	25,710	13,024	52,522	166,211	90,142	76,069	13,557,028	11,387,904	84%
2007	5,712,842	5,567,687	145,155	811,646	787,361	24,285	27,361	1,793	25,568	13,155	52,428	164,004	91,050	72,954	13,943,473	12,130,822	87%
2008	5,674,426	5,530,314	144,112	812,440	786,782	25,658	27,339	1,723	25,616	12,967	51,480	161,231	91,215	70,016	14,365,442	12,130,822	87%

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，96 年。

2. 交通部，96 年「機車使用狀況調查」報告。

3. 公車與客運車：交通部統計要覽，97 年「臺灣地區市區汽車客運營運概況」、97 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(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所，97 年。

表 3-4 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	36,911		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	36,113		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	32,519		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	30,322		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	29,450		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	28,951		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	28,438		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	27,939		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	27,074		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	26,208		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	28,332		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	30,455		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	29,121		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	27,786		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	28,477		40,330	74,451	4,446
2005	17,548	52,578	21,335	38,807	21,335	38,807	30,957	57,710	90,284	28,855		39,028	74,875	4,446
2006	17,894	52,634	22,976	38,946	22,976	38,946	31,638	58,335	89,527	29,168		41,559	75,866	4,276
2007	15,964	50,072	19,934	38,522	19,934	38,522	28,097	55,635	85,719	27,818		38,018	74,760	4,490
2008	15,964	50,072	19,934	38,522	19,934	38,522	28,097	55,635	80,056	27,818		38,018	74,760	4,490

資料來源：1. 交通部統計要覽，臺灣地區汽車延車公里統計，96 年。

2. 公車與客運車：交通部統計要覽，97 年「臺灣地區市區汽車客運營運概況」、97 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：交通部統計處，96 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，假設比照遊覽車之 50%(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(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所，97 年。

表 3-5 歷年車輛燃油效率值

單位：公里/公升

年份	小客車(汽車)		汽油小貨車		柴油小貨車		大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車	小客車(LPG)
	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	2.61	3.86	3.68	26.99	8.17
1991	9.30	9.60	9.65	9.32	9.50	8.07	2.46	2.61	2.60	2.61	3.71	3.53	27.12	8.17
1992	9.15	9.30	9.34	9.03	9.75	8.28	3.01	3.20	2.58	3.20	3.81	3.62	27.24	7.91
1993	9.00	9.20	9.24	8.93	9.41	8.27	2.90	3.08	2.55	3.08	3.80	3.62	27.37	7.83
1994	9.12	9.10	9.14	8.84	9.38	7.97	3.09	3.28	2.49	3.28	3.66	3.48	27.50	7.74
1995	9.23	8.90	8.94	8.64	7.87	6.68	3.10	3.30	2.57	3.30	3.07	2.92	27.63	7.57
1996	9.50	8.60	8.64	8.35	7.14	6.07	3.11	3.31	2.54	3.31	2.79	2.65	27.14	7.32
1997	9.55	8.40	8.44	8.16	7.10	6.03	3.13	3.33	2.48	3.33	2.77	2.64	26.92	7.15
1998	9.60	8.30	8.34	8.06	7.04	5.98	3.02	3.21	2.49	3.21	2.75	2.62	27.65	7.06
1999	9.90	8.20	8.24	7.96	7.71	6.55	2.90	3.08	2.48	3.08	3.01	2.87	27.20	6.98
2000	10.20	8.70	8.74	8.45	7.85	6.66	2.82	3.00	2.51	3.00	3.06	2.92	27.21	7.40
2001	10.07	9.10	9.14	8.84	7.28	6.19	2.75	2.92	2.63	2.92	2.85	2.71	27.25	7.74
2002	9.94	8.90	8.94	8.64	8.96	5.91	2.71	2.88	2.66	2.88	2.72	2.59	27.11	7.57
2003	9.82	8.69	8.73	8.44	7.37	6.26	2.66	2.83	2.69	2.83	2.69	2.55	27.32	7.39
2004	9.70	8.69	8.73	8.44	7.37	6.26	2.75	2.92	2.75	2.92	2.71	2.57	27.51	7.39
2005	9.00	8.69	8.73	8.44	7.37	6.26	2.83	2.98	2.79	3.01	2.64	2.51	27.76	7.39
2006	9.84	8.69	8.73	8.44	7.37	6.26	2.83	3.01	2.82	3.01	2.58	2.45	27.90	7.39
2007	9.84	9.15	8.73	8.44	7.37	6.26	2.83	3.02	2.81	3.01	2.59	2.47	27.68	7.78
2008	9.84	9.15	8.73	8.44	7.37	6.26	2.83	3.02	2.81	3.02	2.59	2.47	27.68	7.78

資料來源：1. 交通部統計處，95 年自用小客車使用狀況調查。

2. 交通部統計處，96 年計程車營運狀況調查報告。

3. 交通部統計處，96 年遊覽車營運狀況調查。

4. 部分資料未有更新統計數據，故比照 2007 年。

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(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所，97 年。

表 3-6 歷年車輛平均年耗油量推估結果

單位：公升

年份	小客車		小貨車				大客車			特種車	大貨車		機器腳踏車	小客車 (LPG)
	自用	營業	汽油		柴油		自用	遊覽車	公車與客運車		自用	營業		
			自用	營業	自用	營業								
1990	1,288	5,173	1,704	3,560	1,544	3,670	9,666	23,519	23,015	11,760	7,583	15,001	184	-
1991	1,313	5,156	1,630	3,407	1,572	3,735	9,743	23,461	24,898	11,730	7,714	15,291	180	-
1992	1,636	6,650	2,258	4,714	1,815	4,313	8,382	18,348	27,601	9,174	8,899	17,666	216	-
1993	1,402	5,572	1,554	3,246	1,780	4,088	9,912	20,489	30,885	10,245	8,449	16,727	179	-
1994	1,372	6,006	1,704	3,556	1,745	4,145	9,133	17,950	30,005	8,975	8,570	16,999	175	-
1995	1,327	6,545	1,883	3,933	1,840	4,376	8,056	15,193	24,841	7,596	9,040	17,926	170	-
1996	1,239	7,281	2,187	4,567	1,855	4,404	7,132	12,941	22,653	6,471	9,097	18,064	168	7,964
1997	1,203	7,223	2,223	4,641	1,894	4,502	7,117	12,435	22,772	6,218	9,304	18,413	147	8,211
1998	1,201	7,307	2,495	5,212	2,020	4,799	7,098	11,791	20,628	5,895	9,909	19,616	150	8,395
1999	1,255	7,504	2,557	5,343	2,103	4,997	8,530	13,460	23,780	6,730	10,324	20,422	162	8,584
2000	1,265	6,517	2,269	4,737	2,038	4,847	9,114	15,227	26,040	7,613	10,017	19,799	157	7,664
2001	1,311	5,398	2,083	4,346	2,035	4,831	8,434	14,891	23,192	7,446	9,964	19,763	143	6,920
2002	1,321	4,977	1,928	4,027	1,812	5,543	9,512	15,750	25,974	7,875	11,437	22,653	141	7,077
2003	1,361	4,874	1,798	3,754	2,010	4,776	9,461	14,662	24,299	7,331	10,554	20,998	134	7,241
2004	1,346	4,661	1,810	3,654	2,148	4,936	9,285	14,708	24,525	7,354	11,222	21,845	122	7,280
2005	1,356	4,207	1,699	3,197	2,190	4,690	8,276	14,652	24,483	7,253	11,185	22,569	111	7,113
2006	1,273	4,240	1,843	3,230	2,338	4,665	8,384	14,533	23,807	7,267	12,080	23,221	107	7,120
2007	1,198	4,041	1,686	3,370	2,104	4,787	7,724	14,332	23,731	7,190	11,419	23,546	120	6,773
2008	1,136	3,832	1,599	3,195	2,160	4,913	7,927	14,709	22,747	7,355	11,720	24,166	114	6,785

資料來源：本研究整理推估。

表 3-7 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		特種車		大客車			大貨車								
	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	197,869	5,577	55,041	356,125	280,271	264,181	500,238	795,974	5,233,189	2,455,276			
1991	3,205,655	519,057	582,359	14,389	1,336,740	207,713	5,835	52,430	345,791	302,937	282,106	510,562	840,673	5,658,200	2,548,047			
1992	3,235,566	668,429	869,193	20,456	1,655,803	258,339	6,922	43,211	296,121	316,476	246,392	640,719	1,157,800	6,449,448	2,965,980			
1993	4,402,257	550,967	615,458	13,848	1,405,047	260,723	6,451	45,607	340,308	356,569	333,925	650,247	1,193,161	6,987,577	3,186,992			
1994	4,760,940	607,327	685,034	15,509	1,408,068	259,465	6,687	36,267	310,198	347,193	350,164	683,891	1,282,646	7,476,878	3,276,511			
1995	5,006,808	671,083	804,742	17,270	1,444,424	290,832	7,106	30,289	271,004	284,333	307,618	732,993	1,356,556	7,944,327	3,280,732			
1996	5,003,778	777,773	983,259	20,597	1,559,109	308,469	7,346	24,868	236,625	253,914	280,953	745,626	1,332,657	8,344,517	3,190,457			
1997	5,176,683	789,395	1,052,852	22,691	1,478,730	331,763	8,140	23,264	242,164	243,411	286,426	778,800	1,368,031	8,520,352	3,281,998			
1998	5,324,597	820,485	1,185,158	27,632	1,581,746	354,781	9,411	21,918	233,253	234,910	280,869	812,075	1,457,219	8,939,619	3,404,436			
1999	5,523,477	808,211	1,155,347	31,556	1,775,439	351,477	10,916	24,548	281,589	275,420	310,656	820,113	1,499,902	9,294,030	3,574,622			
2000	5,829,103	699,023	1,066,454	31,702	1,789,856	354,168	11,997	25,046	322,424	298,316	386,695	811,431	1,477,393	9,416,138	3,687,471			
2001	6,188,308	566,507	1,012,185	31,142	1,674,817	365,845	12,804	21,760	319,764	260,952	383,663	815,176	1,449,153	9,472,959	3,629,118			
2002	6,459,323	504,050	972,373	30,069	1,686,320	337,869	15,308	22,125	358,350	311,116	409,512	945,216	1,657,174	9,652,135	4,056,671			
2003	6,905,008	476,451	942,461	29,351	1,651,634	389,615	13,811	20,777	343,561	298,437	386,000	885,611	1,537,994	10,004,905	3,875,806			
2004	7,082,860	597,302	983,024	39,667	1,556,348	431,457	19,817	18,959	359,034	312,641	386,935	961,294	1,633,942	10,259,201	4,124,079			
2005	7,449,955	583,324	955,894	43,320	1,469,313	455,730	23,507	15,584	367,526	319,943	382,539	984,812	1,719,764	10,501,805	4,269,404			
2006	7,074,473	605,585	1,054,474	50,964	1,454,610	494,857	27,223	15,191	373,654	310,066	381,668	1,088,872	1,766,416	10,240,107	4,457,946			
2007	6,671,097	586,593	969,044	59,744	1,670,004	447,319	31,390	13,849	366,430	312,187	376,943	1,039,734	1,717,806	9,956,482	4,305,656			
2008	6,282,989	552,204	918,159	59,851	1,631,397	458,758	34,038	13,658	376,783	294,962	378,614	1,069,041	1,692,031	9,444,600	4,317,884			

資料來源：本研究整理推估。

表 3-8 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	54	348		274	1,137	4,687	67.58%	705	18	258	489	778	2,249	32.42%	6,936
1991	2,778	450	51	338		296	1,159	5,072	68.59%	708	18	276	499	822	2,323	31.41%	7,395
1992	2,804	579	42	290		309	1,435	5,460	64.31%	1,006	24	241	626	1,132	3,030	35.69%	8,490
1993	3,815	478	45	333		349	1,218	6,236	67.99%	788	18	327	636	1,167	2,936	32.01%	9,172
1994	4,126	526	35	303		339	1,220	6,551	67.65%	847	20	342	669	1,254	3,133	32.35%	9,684
1995	4,339	582	30	265		278	1,252	6,745	66.83%	982	22	301	717	1,326	3,348	33.17%	10,093
1996	4,337	674	24	231		248	1,351	6,866	66.33%	1,154	25	275	729	1,303	3,486	33.67%	10,351
1997	4,486	684	23	237		238	1,282	6,950	65.60%	1,237	28	280	761	1,338	3,644	34.40%	10,593
1998	4,615	711	21	228		230	1,371	7,176	64.78%	1,374	33	275	794	1,425	3,901	35.22%	11,076
1999	4,787	700	23	263		257	1,539	7,569	66.45%	1,329	38	290	765	1,400	3,822	33.55%	11,391
2000	5,052	606	23	301		278	1,551	7,812	67.33%	1,255	39	361	757	1,379	3,791	32.67%	11,602
2001	5,363	491	20	298		244	1,452	7,868	67.84%	1,219	39	358	761	1,353	3,729	32.16%	11,597
2002	5,598	437	21	334		290	1,461	8,142	67.00%	1,158	40	382	882	1,547	4,010	33.00%	12,151
2003	5,984	413	19	321		279	1,431	8,447	68.74%	1,180	38	360	827	1,435	3,841	31.26%	12,288
2004	6,138	518	18	335		292	1,349	8,650	67.89%	1,255	53	361	897	1,525	4,091	32.11%	12,740
2005	6,457	506	15	343		299	1,273	8,892	67.95%	1,254	59	357	919	1,605	4,195	32.05%	13,086
2006	6,131	525	14	349		289	1,261	8,569	65.74%	1,376	70	356	1,016	1,649	4,466	34.26%	13,036
2007	5,782	508	13	342		291	1,447	8,384	66.29%	1,257	81	352	970	1,603	4,264	33.71%	12,648
2008	5,445	479	13	352		275	1,414	7,977	65.31%	1,224	84	353	998	1,579	4,238	34.69%	12,215

資料來源：本研究整理推估。

## 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費量，見表 3-10 及表 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 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大眾捷運公司、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 4 個運輸系統的電力能耗量合計。

表 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換算成油當量單位，由於臺灣鐵路運輸只有臺鐵提供貨運服務，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 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 2008 年僅剩 19%；在整體臺灣鐵路運輸更是僅占 9%。

本年度報告整理出鐵路總耗油量之運算公式，見表 3-9。

表 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)]÷1,000,000+[(C)電力千度×(D)電力油當量]÷1,000		
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、臺北大眾捷運公司、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 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

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：臺北大眾捷運公司。

4. 高捷用電量：高雄捷運公司。

5. 高鐵用電量：高鐵公司。

表 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 當量換 算- 公秉/ 千度	鐵路(油當量-公秉)						臺鐵-行駛里程				鐵路-客貨運油當量							
		電力						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)	高鐵 (客運)	客運合計	貨運 合計 (臺鐵)	客運 比例	貨運 比例	
		合計																	
		合計 (能源平 衡表)	合計 (實際)	臺鐵	北捷	高捷	高鐵												柴油
1990	0.164	33,310	36,552	36,552	-	-	-	46,448	83,000	245,788	166,460	60%	40%	49,486	-	-	49,486	33,514	40%
1991	0.162	32,233	38,605	38,605	-	-	-	49,819	88,424	251,578	169,154	60%	40%	52,873	-	-	52,873	35,551	40%
1992	0.163	39,130	38,801	38,801	-	-	-	49,512	88,313	250,518	194,731	56%	44%	49,689	-	-	49,689	38,624	44%
1993	0.169	40,037	40,227	40,227	-	-	-	51,696	91,923	249,463	187,788	57%	43%	52,445	-	-	52,445	39,479	43%
1994	0.168	53,465	38,772	38,772	-	-	-	50,092	88,864	244,363	179,060	58%	42%	51,285	-	-	51,285	37,580	42%
1995	0.172	39,553	39,472	39,186	-	-	-	50,057	89,529	242,472	145,132	63%	37%	55,828	-	-	55,828	33,416	37%
1996	0.172	43,651	45,457	43,483	1,973	-	-	47,306	92,762	247,495	127,429	66%	34%	59,932	1,973	-	61,905	30,857	33%
1997	0.183	62,070	60,775	53,181	7,594	-	-	46,200	106,975	262,495	114,589	70%	30%	69,181	7,594	-	76,775	30,200	28%
1998	0.188	71,418	71,661	61,273	10,388	-	-	45,073	116,733	277,291	104,318	73%	27%	77,275	10,388	-	87,662	29,071	25%
1999	0.193	79,405	78,796	63,637	15,160	-	-	47,694	126,491	295,021	108,067	73%	27%	81,483	15,160	-	96,643	29,848	24%
2000	0.202	91,978	91,463	66,939	24,524	-	-	43,974	135,437	286,550	93,812	75%	25%	83,558	24,524	-	108,082	27,356	20%
2001	0.209	93,647	94,145	68,625	25,519	-	-	42,140	136,285	286,179	82,444	78%	22%	85,992	25,519	-	111,512	24,773	18%
2002	0.206	97,763	96,088	68,852	27,237	-	-	41,950	138,038	296,703	83,360	78%	22%	86,499	27,237	-	113,736	24,302	18%
2003	0.208	96,638	103,421	74,387	29,033	-	-	38,030	141,451	302,817	70,328	81%	19%	91,230	29,033	-	120,263	21,188	15%
2004	0.208	107,856	107,657	78,771	28,886	-	-	34,159	141,815	302,429	72,764	81%	19%	91,028	28,886	-	119,914	21,901	15%
2005	0.208	108,736	108,875	78,973	29,902	-	-	34,315	143,190	294,668	75,466	80%	20%	90,190	29,902	-	120,092	23,098	16%
2006	0.211	116,360	115,649	81,614	34,035	-	-	33,792	149,441	296,298	78,671	79%	21%	91,193	34,035	-	125,228	24,213	16%
2007	0.210	174,443	175,747	82,520	37,620	-	-	55,607	208,391	295,097	70,931	81%	19%	92,847	37,620	-	186,074	22,317	11%
2008	0.211	232,217	231,707	90,050	37,472	5,986	98,200	32,387	264,095	309,447	71,048	81%	19%	99,575	37,472	5,986	241,233	22,862	9%

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<sup>[3.1.11]</sup>。 3. 臺鐵用電量：臺灣鐵路局。

4. 北捷用電量：臺北大眾捷運公司。 5. 高捷用電量：高雄捷運公司。 6. 高鐵用電量：高鐵路公司。

### 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費量，見表 3-12。

表 3-12 中列出國內線航空及國際線航空之運量統計資料，包含客貨運兩種。國內航空中主要以客運為主，貨運較少；而國際航空之貨運量較多，因此將國內線航空能源消耗視為客運之能源消耗。

本年度報告整理出航空總耗油量之運算公式，見表 3-13。

表 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	-	-	-	-
2000	370,545	2,127,231	329,373	1,890,872	-	-	-	-
2001	339,549	2,080,372	301,821	1,849,220	4,891,936	7,166	43,191,665	6,606,029
2002	313,719	2,192,343	278,861	1,948,749	3,937,966	7,208	47,700,559	7,714,808
2003	260,778	2,161,629	231,803	1,921,448	3,649,813	7,249	44,953,835	7,319,456
2004	265,986	2,467,546	236,432	2,193,374	3,335,551	8,690	47,722,077	8,733,977
2005	246,001	2,555,619	218,668	2,271,661	3,083,657	8,077	43,527,445	9,489,420
2006	214,371	2,660,509	190,552	2,364,897	3,281,672	7,422	53,986,238	11,274,247
2007	163,057	2,628,488	144,940	2,336,434	3,020,943	7,023	57,772,630	11,391,722
2008	108,181	2,264,485	96,161	2,012,876	2,748,635	6,975	60,294,197	11,489,345

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<sup>[3.1.12]</sup>，國籍航空公司運輸概況。

表 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)÷1,000,000		
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 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 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 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

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，因此本年度更新歷年能源消耗量(千公秉油當量單位)。

本年度報告整理出水運總耗油量之運算公式，見表 3-15。

表 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)÷1,000,000		
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	1.燃料油：(1998 年前)=1.0222 油當量，(1999 年)=1.0667 油當量(公升) 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。

## 3.2 運輸部門溫室氣體排放推估結果

本節根據前述各運具能源消耗量進行運輸部門溫室氣體排放量的更新推估，結果分述如下：

### 1. 歷年能源消耗變化趨勢(不含國際運輸)

#### (1) 全國各部門能源變化趨勢

由 1990 至 2008 年歷年國內最終能源消費統計來看，如表 3-16 所示全國各部門能源消費量中(含電力)，工業部門佔的比例最高，其次是運輸部門，以 2008 年而言，佔全國消費的 12.8%。

相較於 2007 年的能源消耗，2008 年能源部門自用、運輸部門及非能源部門呈現下降的趨勢，其餘部門則增加。

表 3-16 全國歷年能源消費統計

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	4,989	9.6%	8,011	15.4%	24,432	47.1%	1,459	2.8%	6,010	11.6%	4,992	9.6%	2,020	3.9%	51,912
1991	5,147	9.3%	8,562	15.5%	25,703	46.5%	1,411	2.6%	6,604	12.0%	5,567	10.1%	2,237	4.1%	55,231
1992	5,074	8.7%	9,909	16.9%	27,177	46.4%	1,376	2.3%	6,938	11.8%	5,758	9.8%	2,358	4.0%	58,589
1993	5,604	9.2%	10,817	17.7%	27,337	44.8%	1,409	2.3%	7,321	12.0%	6,042	9.9%	2,475	4.1%	61,006
1994	6,513	9.9%	11,481	17.4%	29,485	44.7%	1,435	2.2%	7,742	11.7%	6,802	10.3%	2,521	3.8%	65,979
1995	6,881	10.0%	12,266	17.8%	30,380	44.0%	1,487	2.2%	8,285	12.0%	7,041	10.2%	2,637	3.8%	68,976
1996	7,268	10.0%	12,748	17.6%	31,415	43.4%	1,539	2.1%	8,883	12.3%	7,741	10.7%	2,761	3.8%	72,353
1997	7,768	10.2%	13,099	17.1%	33,972	44.4%	1,441	1.9%	9,150	12.0%	8,199	10.7%	2,828	3.7%	76,456
1998	8,347	10.3%	13,702	16.9%	34,913	43.1%	1,249	1.5%	10,617	13.1%	9,116	11.2%	3,132	3.9%	81,076
1999	8,521	10.0%	14,239	16.6%	37,424	43.7%	1,286	1.5%	10,981	12.8%	9,734	11.4%	3,415	4.0%	85,599
2000	9,018	9.7%	14,437	15.5%	42,515	45.6%	1,444	1.5%	11,634	12.5%	10,735	11.5%	3,409	3.7%	93,192
2001	9,759	9.9%	14,411	14.6%	47,622	48.2%	1,470	1.5%	11,909	12.1%	11,201	11.3%	2,371	2.4%	98,743
2002	9,384	9.2%	14,989	14.7%	49,663	48.8%	1,487	1.5%	12,098	11.9%	11,564	11.4%	2,617	2.6%	101,802
2003	9,681	9.2%	14,964	14.2%	50,976	48.3%	1,634	1.5%	12,477	11.8%	12,808	12.1%	2,945	2.8%	105,484
2004	9,975	9.1%	15,748	14.3%	54,775	49.8%	1,713	1.6%	12,629	11.5%	12,586	11.4%	2,603	2.4%	110,028
2005	10,380	9.2%	16,185	14.4%	54,920	48.8%	1,585	1.4%	13,436	11.9%	13,253	11.8%	2,856	2.5%	112,614
2006	10,697	9.3%	16,203	14.0%	57,091	49.5%	1,266	1.1%	13,468	11.7%	13,761	11.9%	2,913	2.5%	115,399
2007	10,534	8.7%	15,780	13.0%	63,003	52.0%	1,068	0.9%	13,603	11.2%	13,684	11.3%	3,541	2.9%	121,212
2008	9,537	8.1%	15,053	12.8%	61,878	52.6%	1,170	1.0%	13,569	11.5%	13,782	11.7%	2,697	2.3%	117,686

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，如表 3-17 所示(含各部門電力消費油當量，不含國際水運及國際航空)。其中公路佔最大比例為 95.1%，其次為水運與鐵路各約佔 2.1%。

表 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	國際
	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	比例	數量	水運	航空
1990	6,936	94.2%	83	1.1%	241	3.3%	103	1.4%	7,363	1,698	631
1991	7,395	94.4%	88	1.1%	239	3.1%	109	1.4%	7,832	1,606	715
1992	8,490	94.3%	88	1.0%	289	3.2%	135	1.5%	9,002	2,206	882
1993	9,172	93.8%	92	0.9%	319	3.3%	194	2.0%	9,777	2,106	1,020
1994	9,684	94.0%	89	0.9%	311	3.0%	219	2.1%	10,302	2,315	1,159
1995	10,093	93.4%	90	0.8%	310	2.9%	310	2.9%	10,803	2,643	1,439
1996	10,351	92.6%	93	0.8%	342	3.1%	388	3.5%	11,174	2,575	1,538
1997	10,593	92.5%	107	0.9%	364	3.2%	388	3.4%	11,452	3,056	1,592
1998	11,076	92.6%	117	1.0%	394	3.3%	371	3.1%	11,958	3,381	1,691
1999	11,391	92.5%	126	1.0%	425	3.5%	377	3.1%	12,320	4,394	1,869
2000	11,602	92.8%	135	1.1%	429	3.4%	329	2.6%	12,496	3,993	1,891
2001	11,597	92.7%	136	1.1%	477	3.8%	302	2.4%	12,512	2,885	1,849
2002	12,151	93.5%	138	1.1%	424	3.3%	279	2.1%	12,992	2,787	1,949
2003	12,288	94.5%	141	1.1%	341	2.6%	232	1.8%	13,003	3,426	1,921
2004	12,740	94.4%	142	1.1%	376	2.8%	236	1.8%	13,495	2,767	2,193
2005	13,086	94.5%	143	1.0%	394	2.8%	219	1.6%	13,843	2,793	2,272
2006	13,036	94.8%	149	1.1%	371	2.7%	191	1.4%	13,747	2,679	2,365
2007	12,648	94.8%	208	1.6%	335	2.5%	145	1.1%	13,336	2,396	2,336
2008	12,215	95.1%	264	2.1%	271	2.1%	96	0.7%	12,847	2,065	2,013

資料來源：1.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，交通部運輸研究所，97 年。

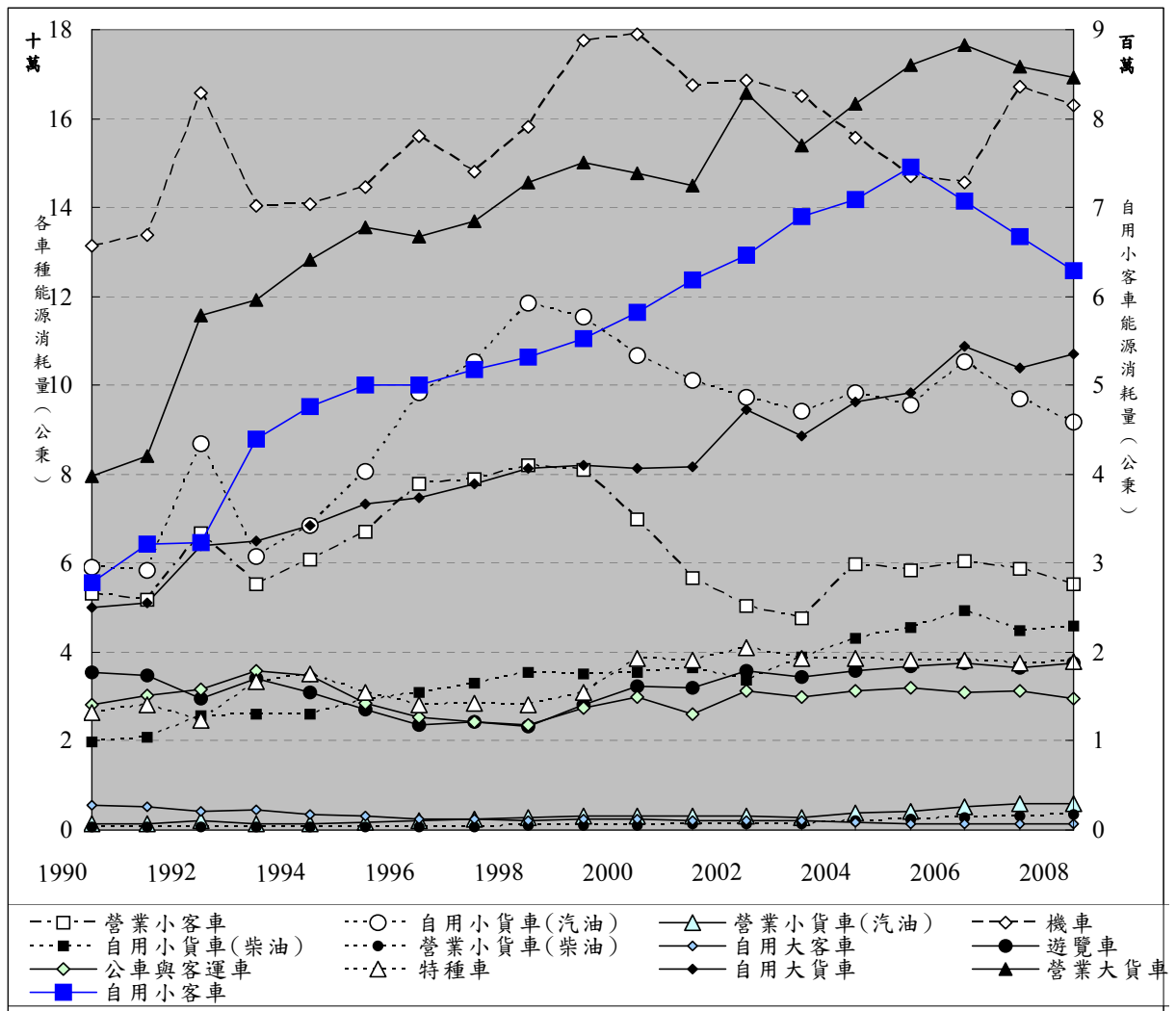
2.本研究整理。

3.\*水運及航空不含國際運輸。

## (3)公路部門各類運具能源變化趨勢

根據資料統計，2008 年我國公路部門能源消費佔所有運輸部門約 95.1%(表 3-17)。進一步與 3.1 節中表 3-7 各運具能源消耗量相較，將其變化趨勢如圖 3-1 所示。





資料來源：本研究繪製。

圖 3-1 公路部門各車種歷年能源消耗變化趨勢

以車種來看，如表 3-18 所示，1990 至 2008 年能源消耗量佔最大比例為自用小客車。自用小客車能源消耗量佔公路部門比例由 1990 年的 35%逐年提高，2008 年佔 45%，提高了 10%；其次為營業大貨車，從 1990 年到 2008 年間變動幅度不大，增加約 1.7%；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%，2005 年~2006 年更降低為 10%，但自 2007 年起至 2008 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 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%	0.78%	5.02%	3.95%	3.72%	10.17%	0.26%	7.05%	11.22%	100%
1991	37.57%	6.08%	15.67%	0.69%	4.57%	4.01%	3.73%	9.57%	0.25%	6.75%	11.12%	100%
1992	33.03%	6.82%	16.90%	0.50%	3.41%	3.64%	2.84%	11.85%	0.29%	7.38%	13.33%	100%
1993	41.60%	5.21%	13.28%	0.49%	3.63%	3.80%	3.56%	8.59%	0.20%	6.93%	12.72%	100%
1994	42.61%	5.44%	12.60%	0.37%	3.13%	3.51%	3.54%	8.75%	0.21%	6.91%	12.95%	100%
1995	42.99%	5.76%	12.40%	0.29%	2.63%	2.75%	2.98%	9.73%	0.22%	7.10%	13.14%	100%
1996	41.89%	6.51%	13.05%	0.23%	2.24%	2.40%	2.65%	11.15%	0.24%	7.04%	12.59%	100%
1997	42.35%	6.46%	12.10%	0.21%	2.24%	2.25%	2.64%	11.68%	0.26%	7.19%	12.63%	100%
1998	41.66%	6.42%	12.38%	0.19%	2.06%	2.07%	2.48%	12.41%	0.30%	7.17%	12.86%	100%
1999	42.02%	6.15%	13.51%	0.20%	2.31%	2.26%	2.55%	11.67%	0.33%	6.72%	12.29%	100%
2000	43.54%	5.22%	13.37%	0.20%	2.59%	2.40%	3.11%	10.82%	0.33%	6.53%	11.88%	100%
2001	46.25%	4.23%	12.52%	0.18%	2.57%	2.10%	3.09%	10.51%	0.34%	6.56%	11.66%	100%
2002	46.07%	3.60%	12.03%	0.17%	2.75%	2.39%	3.15%	9.53%	0.33%	7.26%	12.73%	100%
2003	48.70%	3.36%	11.65%	0.16%	2.61%	2.27%	2.93%	9.61%	0.31%	6.73%	11.68%	100%
2004	48.18%	4.06%	10.59%	0.14%	2.63%	2.29%	2.83%	9.85%	0.42%	7.04%	11.97%	100%
2005	49.34%	3.86%	9.73%	0.11%	2.62%	2.28%	2.73%	9.58%	0.45%	7.02%	12.27%	100%
2006	47.03%	4.03%	9.67%	0.11%	2.68%	2.22%	2.73%	10.55%	0.53%	7.80%	12.65%	100%
2007	45.71%	4.02%	11.44%	0.10%	2.70%	2.30%	2.78%	9.94%	0.64%	7.67%	12.68%	100%
2008	44.58%	3.92%	11.57%	0.10%	2.88%	2.25%	2.89%	10.02%	0.68%	8.17%	12.93%	100%

資料來源：本研究整理。

## 2.運輸部門溫室氣體排放量變化趨勢

1990 至 2008 年歷年全國運輸部門溫室氣體排放量(不含國際水運)變化如表 3-19 及圖 3-2 所示，與能源消費成長變化趨勢相近。公路所佔的比例最為顯著，約佔 92.3~94.8%之間，其次為水運約佔 2.2~4%，鐵路部門約佔 0.9~2.2%，航空約佔 0.7%~3.4%。

表 3-19 運輸部門歷年溫室氣體排放量推估統計(含電力)

單位：CO<sub>2</sub> 當量(千公噸)

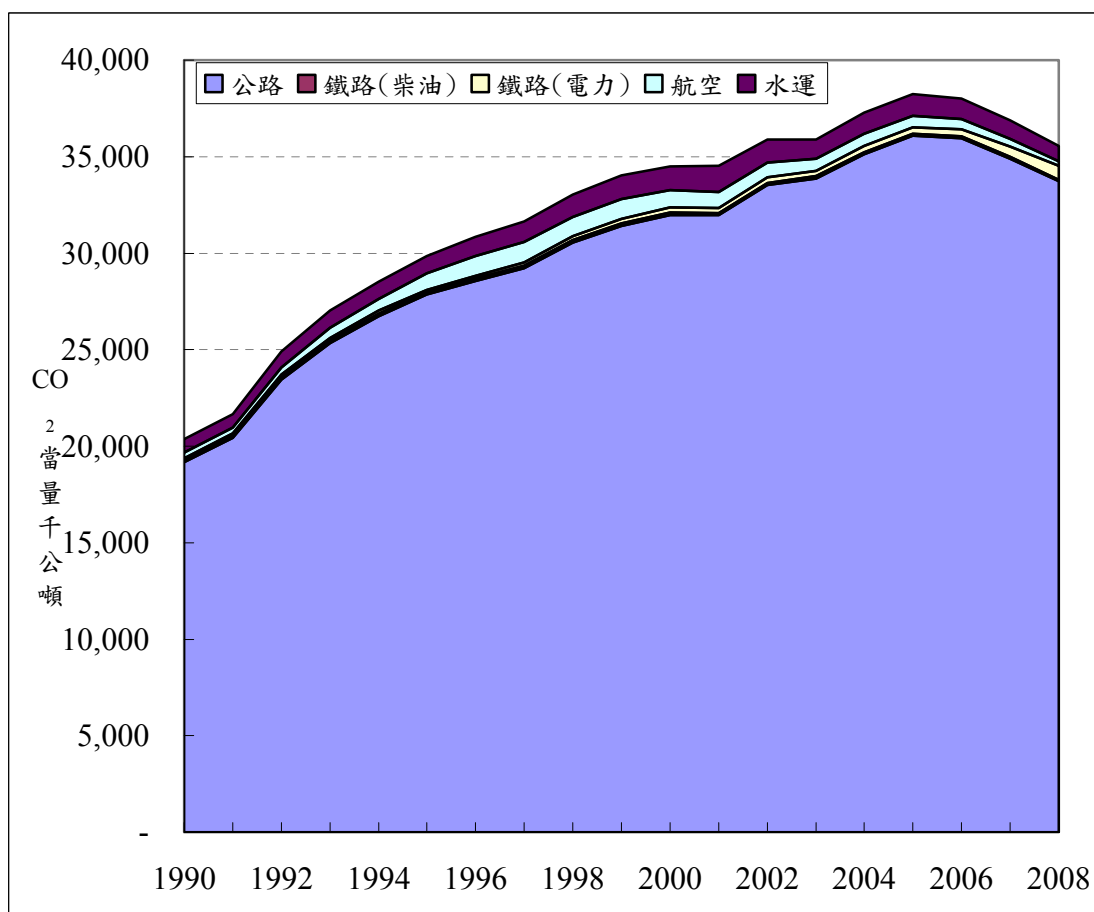
年份	公路		鐵路				航空*		水運*		運輸部門合計			國際航空	國際水運
	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	電力排放	依能源局公告 GHG -CO <sub>2</sub> 當量	佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	佔運輸部門百分比	排放量	電力排放	加總	排放量	排放量
1990	19,161	94.1%	132	90	0.445	1.1%	278	1.4%	696	3.4%	20,266	90	20,357	1,706	4,958,228
1991	20,421	94.3%	141	96	0.482	1.1%	295	1.4%	693	3.2%	21,550	96	21,646	1,993	4,690,847
1992	23,448	94.1%	141	118	0.491	1.0%	365	1.5%	839	3.4%	24,793	118	24,910	2,384	6,445,008
1993	25,331	93.7%	147	119	0.501	1.0%	525	1.9%	923	3.4%	26,926	119	27,045	2,757	6,147,279
1994	26,734	93.7%	142	159	0.501	1.1%	593	2.1%	900	3.2%	28,369	159	28,528	3,132	6,760,281
1995	27,848	93.3%	142	117	0.510	0.9%	838	2.8%	899	3.0%	29,728	117	29,845	3,891	7,721,560
1996	28,541	92.5%	134	132	0.519	0.9%	1,050	3.4%	989	3.2%	30,715	132	30,847	4,159	7,505,750
1997	29,210	92.4%	131	186	0.547	1.0%	1,048	3.3%	1,051	3.3%	31,441	186	31,627	4,303	8,921,569
1998	30,539	92.5%	128	218	0.575	1.0%	1,003	3.0%	1,135	3.4%	32,805	218	33,023	4,572	9,871,171
1999	31,397	92.3%	135	237	0.575	1.1%	1,020	3.0%	1,228	3.6%	33,781	237	34,017	5,051	12,831,862
2000	31,984	92.7%	125	270	0.593	1.1%	890	2.6%	1,237	3.6%	34,237	270	34,507	5,112	11,659,101
2001	31,964	92.5%	120	270	0.603	1.1%	816	2.4%	1,373	4.0%	34,273	270	34,543	4,999	8,410,202
2002	33,520	93.4%	119	286	0.603	1.1%	754	2.1%	1,222	3.4%	35,615	286	35,901	5,268	8,138,046
2003	33,872	94.4%	108	289	0.621	1.1%	627	1.7%	989	2.8%	35,596	289	35,885	5,194	10,007,560
2004	35,130	94.2%	97	322	0.621	1.1%	639	1.7%	1,091	2.9%	36,958	322	37,280	5,930	8,076,719
2005	36,088	94.4%	97	330	0.632	1.1%	591	1.5%	1,143	3.0%	37,920	330	38,250	6,141	8,146,319
2006	35,970	94.6%	96	352	0.638	1.2%	515	1.4%	1,077	2.8%	37,658	352	38,009	6,393	7,819,913
2007	34,897	94.6%	93	529	0.637	1.7%	392	1.1%	969	2.6%	36,351	529	36,880	6,316	6,992,738
2008	33,722	94.8%	92	700	0.636	2.2%	260	0.7%	785	2.2%	34,859	700	35,559	5,442	6,027,794

資料來源：1. 1990-2004 年 GHG-CO<sub>2</sub> 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(2/3)-建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制，交通部運輸研究所，97 年。

2. 2005-2008 年 GHG-CO<sub>2</sub> 當量參考自經濟部能源局網站，年度電力排放係數。

3. \*水運及航空不含國際運輸。

4. 本研究推估整理。



資料來源：本研究繪製。

註：不含國際航空及國際水運。

圖 3-2 運輸部門溫室氣體 CO<sub>2</sub> 排放量變化趨勢

由圖 3-2 可看出，公路所佔的 CO<sub>2</sub> 排放量最高，2006 年達到高峰，自 2006 年起有逐年下降的趨勢。所用的溫室氣體排放量公式如表 3-20 所示。

表 3-20 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。

### 3.3 運輸部門能源密集度推估

運輸系統之能源使用效率可以用運輸能源密集度來衡量，其定義為輸送每人公里(或貨之噸公里)時，運輸工具所需消費之能源數量，其單位為千公秉油當量(或熱值單位)/延人(噸)公里(黃運貴，2005)<sup>[3.1.13]</sup>。

能源密集度資料在應用上一般是做為實際能源使用效率之評估，能源密集度愈低表節能成效愈佳；另一方面的應用係可做為成長預估或減量成效預估之參考。在進行運輸措施節能及 CO<sub>2</sub> 減量推估時，一般應直接採用實際能耗及運量的統計數據，計算單位延人公里或延噸公里之能源密集度。但目前國內在公路運輸的資料蒐集上，會面臨缺乏準確的相關運量統計及未來成長預測量，因此公路的能源密集度將以耗油率與平均載客人數估算之。至於鐵路(軌道)、航空及水運等，國內仍缺乏單位行駛里程排放係數的研究或統計，本研究則以單位運量之能耗量計算。

經蒐集最新耗油率、運量實際調查統計數據及能源局更新之能源平衡表的能耗等資料，更新推估各運具之能源密集度結果。茲將推估公式、過程與資料來源分項說明於後：

#### 1. 公路能源密集度推估

各車種公路能源密集度計算方式：

(1) 客運方面：單位延人公里之耗油量，計算方式

$$= \text{耗油率} \times \text{油當量換算比率} \div \text{平均載客人數(人數/車)}$$

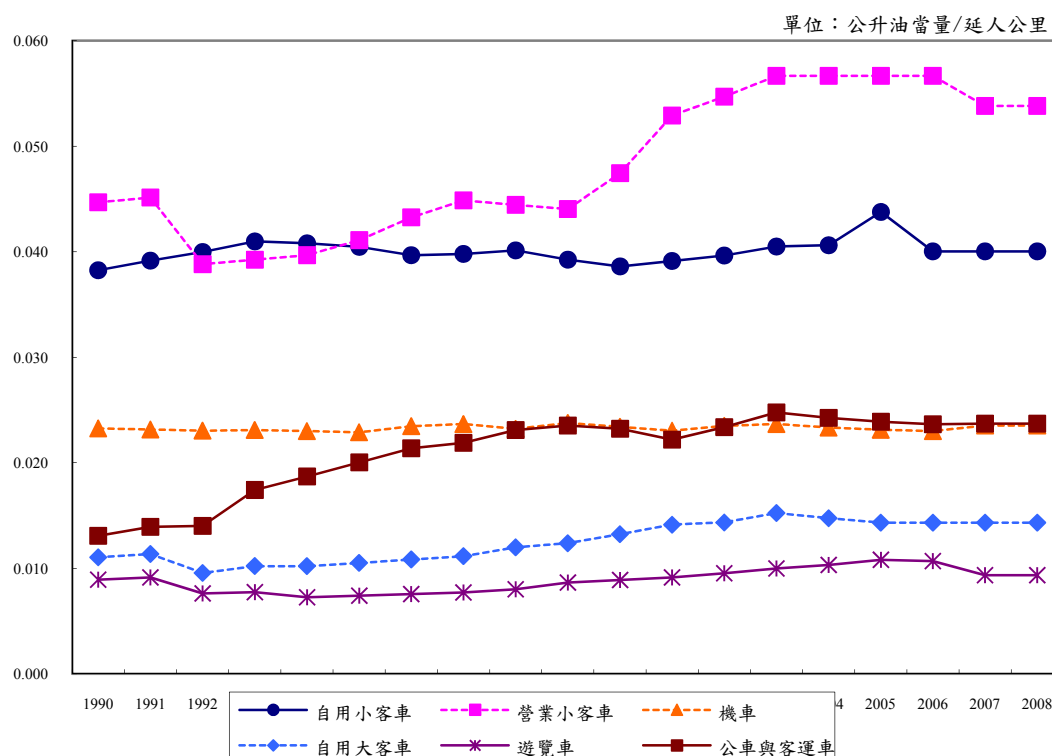
(2) 貨運方面：單位延噸公里之耗油量，計算方式

$$= \text{耗油率} \times \text{油當量換算比率} \div \text{平均載貨噸數(公噸/車)}$$

本年度因部分車種耗油率未有更新，故其數值沿用 2007 年數值，平均載客人數之機車與遊覽車部分，因前一版計算有誤，於此推估計算中作更正，2008 年因可取得更新數據的車種不多，故大部分沿用 2007 年數值作推估。

如上述公式，客運車的能源密集度主要由車輛耗油率除以平均載客人數計算而得，各車種耗油效率變化及平均載客人數見表 3-21，自用小客車耗油率於 2000 年之前有隨年份降低趨勢見圖 3-3，但之後則又有上升現象，此可能受大排氣量車輛使用比例增加之影響，但其他車種各年份耗油率的變化方面則無相關參考資料可茲佐證。表 3-21 所彙整數據係來自部分

年份不同文獻所調查的使用中車輛調查統計結果，由這些調查文獻彙整結果，各車種耗油率的年變化趨勢不一，另在平均載客人數方面，表 3-21 的資料來源亦是過去不同年度文獻調查結果彙整而得。另如表 3-21 所示各車種的平均載客人數歷年以來，均呈下降趨勢，尤其是公車與客運車及其他大客車，此受國內平均車輛持有率的持續成長影響大；各車種 2008 年相較於 1990 年平均載客人數降低的幅度在 2~50%之間，機車降低最少，公車與客運車降低最顯著。由於平均載客人數降低幅度大於耗油率的變化，因此，單位延人公里之耗油量換算結果，除機車歷年變化率較小之外，其餘車種長期呈上升趨勢。現況各車種的能源密集度以營業小客車最大，次為自用小客車，第三為機車，公車與客運車及自用大客車較接近，遊覽車為最小。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-3 公路客運各運具能源密集度變化趨勢圖

表 3-21 公路客運能源密集度推估

年份	平均載客人數						耗油率(l/km)						能源密集度(公升油當量/延人公里)					
	小客車			大客車			機車			小客車			機車			大客車		
	自用	營業	機車	自用	遊覽車	公車與客運車	自用	營業	機車	自用	遊覽車	公車與客運車	自用	營業	機車	自用	遊覽車	公車與客運車
1990	2.40	2.02	1.38	36	42	28	0.106	0.104	0.037	0.407	0.383	0.375	0.038	0.045	0.023	0.011	0.009	0.013
1991	2.38	2.00	1.38	35	41	27	0.108	0.104	0.037	0.407	0.383	0.385	0.039	0.045	0.023	0.011	0.009	0.014
1992	2.37	2.40	1.38	34	40	27	0.109	0.108	0.037	0.332	0.313	0.388	0.040	0.039	0.023	0.010	0.008	0.014
1993	2.35	2.40	1.37	33	41	22	0.111	0.109	0.037	0.345	0.325	0.392	0.041	0.039	0.023	0.010	0.008	0.017
1994	2.33	2.40	1.37	31	41	21	0.110	0.110	0.036	0.324	0.305	0.402	0.041	0.040	0.023	0.010	0.007	0.019
1995	2.32	2.37	1.37	30	40	19	0.108	0.112	0.036	0.323	0.303	0.389	0.040	0.041	0.023	0.011	0.007	0.020
1996	2.30	2.33	1.36	29	39	18	0.105	0.116	0.037	0.322	0.302	0.394	0.040	0.043	0.023	0.011	0.008	0.021
1997	2.28	2.30	1.36	28	38	18	0.105	0.119	0.037	0.319	0.300	0.403	0.040	0.045	0.024	0.011	0.008	0.022
1998	2.25	2.35	1.35	27	38	17	0.104	0.120	0.036	0.331	0.312	0.402	0.040	0.044	0.023	0.012	0.008	0.023
1999	2.23	2.40	1.34	26	35	16	0.101	0.122	0.037	0.345	0.325	0.403	0.039	0.044	0.024	0.012	0.009	0.024
2000	2.20	2.10	1.36	25	35	16	0.098	0.115	0.037	0.355	0.333	0.398	0.039	0.047	0.023	0.013	0.009	0.023
2001	2.20	1.80	1.38	24	35	16	0.099	0.110	0.037	0.364	0.342	0.380	0.039	0.053	0.023	0.014	0.009	0.022
2002	2.20	1.78	1.36	24	34	15	0.101	0.112	0.037	0.369	0.347	0.376	0.040	0.055	0.024	0.014	0.010	0.023
2003	2.18	1.76	1.34	23	33	14	0.102	0.115	0.037	0.376	0.353	0.372	0.040	0.057	0.024	0.015	0.010	0.025
2004	2.20	1.76	1.35	23	31	14	0.103	0.115	0.036	0.364	0.342	0.364	0.041	0.057	0.023	0.015	0.010	0.024
2005	2.20	1.76	1.35	23	29	14	0.111	0.115	0.036	0.353	0.336	0.358	0.044	0.057	0.023	0.014	0.011	0.024
2006	2.20	1.76	1.35	23	29	14	0.102	0.115	0.036	0.353	0.332	0.355	0.040	0.057	0.023	0.014	0.011	0.024
2007	2.20	1.76	1.33	23	33	14	0.102	0.109	0.036	0.353	0.331	0.356	0.040	0.054	0.024	0.014	0.009	0.024
2008	2.20	1.76	1.33	23	33	14	0.102	0.109	0.036	0.353	0.331	0.356	0.040	0.054	0.024	0.014	0.009	0.024

註：部分數據因交通部統計處兩年調查一次，故延用 2007 年。

資料來源：1.表中平均 2003 年及之前年份載客人數資料參考來源：黃運貴博士論文資料，其餘摘自交通部近年調查報告資料。

2.公車與客運車平均載客人數由交通部統計月報換算而得。

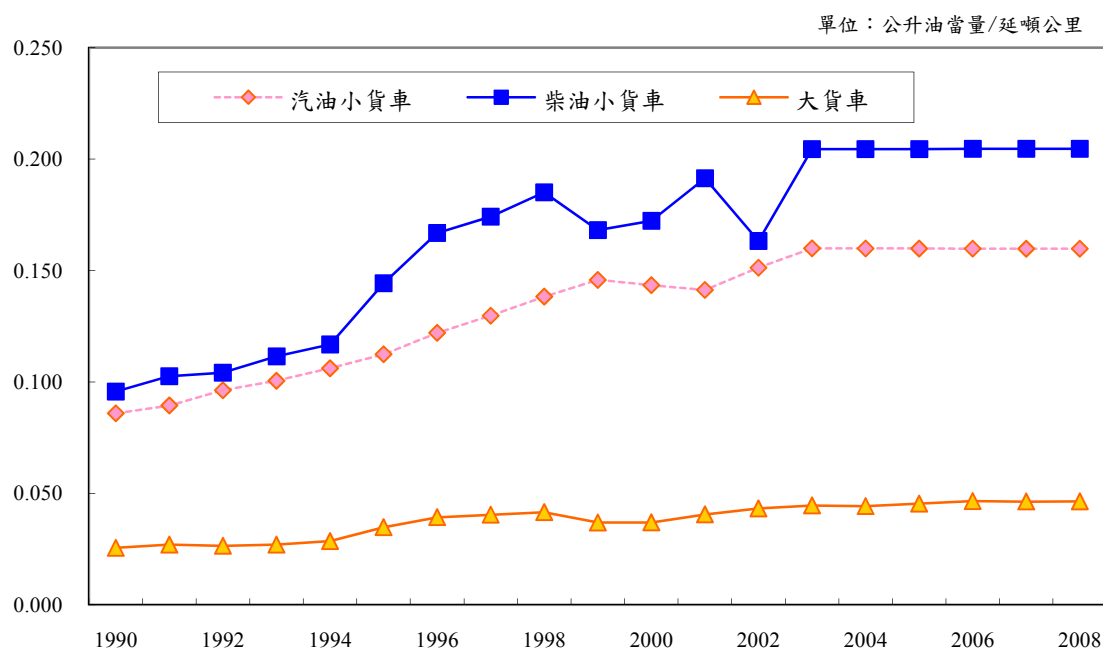
3.部分更新數據，參考來源：

(1)臺灣地區自用小客車使用狀況調查報告，交通部統計處，96 年。

(2)臺灣地區機車使用狀況調查報告，交通部統計處，96 年。

(3)臺灣地區遊覽車營運狀況調查報告，交通部統計處，95 年。

貨運方面車種主要為小貨車和大貨車，小貨車因燃油種類不同亦分為汽油小貨車和柴油小貨車兩種，如上述公式，其能源密集度可由車輛耗油率除以平均載貨噸數計算而得，各車種耗油率變化見表 3-22，平均載貨噸數亦見表 3-22。國內過去對於貨車方面耗油率與平均載貨噸數的調查文獻較少，此處引用的貨車耗油率資料，如表 3-22 所示。歷年營業大貨車主要引用交通統計要覽中公路汽車貨運業營運概況的統計值，該統計值資料顯示我國歷年貨車耗油率呈上升趨勢，2008 年較 1990 年增加 50%，自用大貨車與柴油小貨車因無歷年實際調查資料故假設均比照營業大貨車年變化率，而自用大貨車耗油率數值以文獻曾調查過與營業大貨車的比值，由營業大貨車換算之。汽油小貨車的部分，其歷年耗油率變化趨勢則假設比照同為使用汽油之營業小客車，其歷年耗油率亦呈上升，但上升幅度小於大貨車，約 12%，從 2003 年開始呈現上升趨勢，如圖 3-4 所示，貨車平均載重噸數方面，國內過去亦甚少文獻有調查，此直接引用黃君“運輸部門能源消費量及節能措施之研究”彙整推估數值，如表 3-22 所示，推估之年平均載貨噸數歷年趨勢呈現下降，2008 年相較於 1990 年小貨車減少約 40%，大貨車減少約 22%，如上述貨車耗油率係呈上升趨勢而平均載貨噸數呈下降趨勢，代入計算單位延噸公里耗油量的結果即呈上升趨勢。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-4 公路貨運各運具能源密集度變化趨勢圖



表 3-22 公路貨運能源密集度推估

年份	平均載貨噸數			耗油率(l/km)			能源密集度(公升油當量/延噸公里)		
	小貨車		大貨車	小貨車		大貨車	小貨車		大貨車
	汽油	柴油		汽油	柴油		汽油	柴油	
1990	1.035	1.035	10.130	0.103	0.101	0.265	0.086	0.0957	0.026
1991	1.005	1.005	9.991	0.104	0.105	0.276	0.089	0.1026	0.027
1992	0.964	0.964	9.936	0.107	0.103	0.269	0.096	0.1042	0.026
1993	0.933	0.933	9.765	0.108	0.106	0.269	0.101	0.1115	0.027
1994	0.893	0.893	9.587	0.109	0.107	0.280	0.106	0.1168	0.029
1995	0.863	0.863	9.373	0.112	0.127	0.334	0.112	0.1443	0.035
1996	0.822	0.822	9.134	0.116	0.140	0.367	0.122	0.1668	0.039
1997	0.792	0.792	8.928	0.119	0.141	0.369	0.130	0.1742	0.040
1998	0.752	0.752	8.747	0.120	0.142	0.372	0.138	0.1851	0.042
1999	0.722	0.722	8.595	0.121	0.130	0.340	0.146	0.1681	0.037
2000	0.692	0.692	8.439	0.114	0.128	0.334	0.143	0.1723	0.037
2001	0.671	0.671	8.266	0.109	0.138	0.359	0.141	0.1914	0.041
2002	0.641	0.641	8.119	0.112	0.112	0.376	0.151	0.1633	0.043
2003	0.621	0.621	7.973	0.115	0.136	0.381	0.160	0.2044	0.045
2004	0.621	0.621	7.973	0.115	0.136	0.378	0.160	0.2045	0.044
2005	0.621	0.621	7.970	0.115	0.136	0.388	0.160	0.2045	0.045
2006	0.622	0.622	7.960	0.115	0.136	0.397	0.160	0.2046	0.047
2007	0.622	0.622	7.941	0.115	0.136	0.394	0.160	0.2046	0.046
2008	0.622	0.622	7.924	0.115	0.136	0.394	0.160	0.2046	0.046

註：部分數據因交通部統計處兩年調查一次，故沿用 2007 年。

資料來源：表中平均 2003 年及之前年份平均載重資料參考來源：黃運貴博士論文資料，其餘摘自交通部近年調查報告資料。

## 2. 鐵路能源密集度推估

我國鐵路運輸包括臺鐵、北捷、高鐵及高捷，故能源密集度推估區分為 4 類，主要是利用其總耗油量除以運量(客運延人公里及貨運延噸公里)計算而得。各年度總耗油量與運量分別由各單位提供之鐵路用油量及用電量與延人公里及延噸公里。詳細計算公式如下：

### (1) 鐵路客運：

#### ① 單位：公升油當量/延人公里，計算方式

$$= \text{鐵路客運油當量} \div \text{客運延人公里(人公里)}$$

#### ② 單位：度/延人公里，計算方式

$$= \text{公升油當量} \div \text{電力油當量換算(公乘/千度)}$$

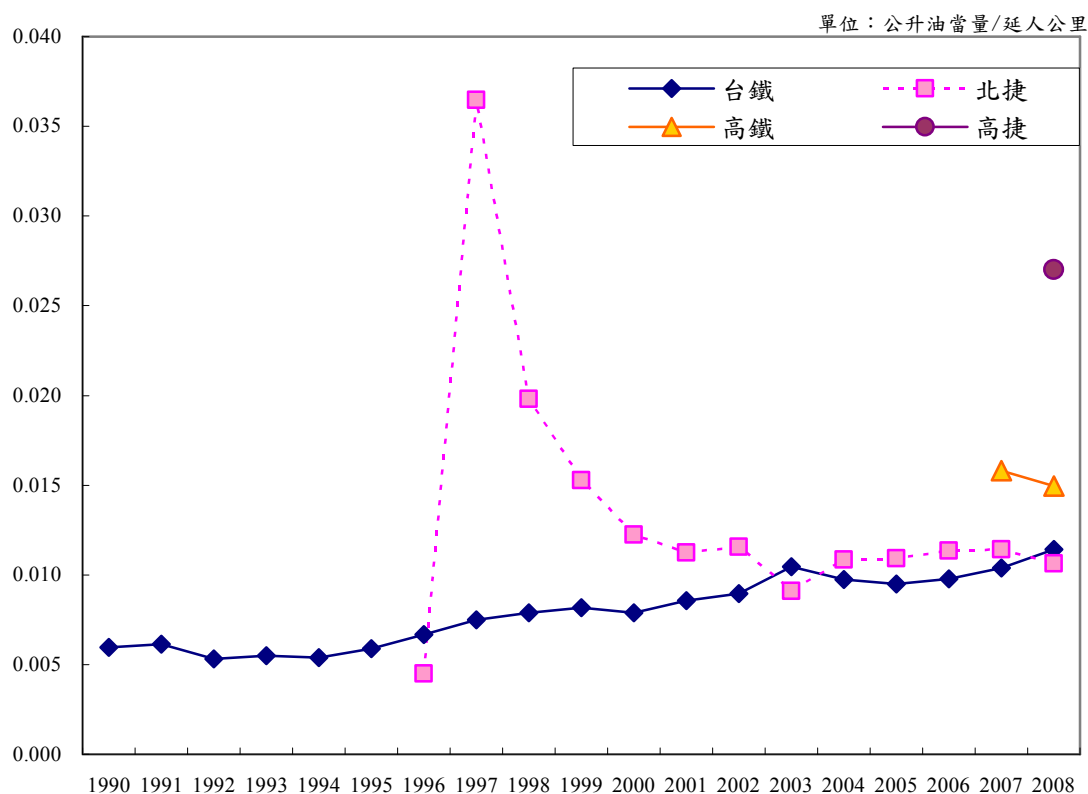
## (2)鐵路貨運：

單位：公升油當量/延噸公里，計算方式

$$= \text{鐵路貨運油當量} \div \text{貨運延噸公里(噸公里)}$$

本年度的更新以能源平衡表新表的總能耗統計量、臺鐵鐵路年報車輛行駛能耗量及臺北大眾捷運公司、臺灣高速鐵路公司、高雄捷運公司提供之年度車輛行駛用電量計算其能源密集度。

客運方面，如表 3-23 推估結果，鐵路客運方面近 5 年來平均臺鐵車輛行駛的能源密集度約為 0.010 公升油當量/延人公里，長期呈上升趨勢(圖 3-5)，2008 年較 1990 年高約 89%；北捷車輛行駛的能源密集度近年來大致維持在 0.011 公升/延人公里；高鐵能源密集度約為 0.015 公升/延人公里，較去年下降；高捷能源密集度為 0.027 公升/延人公里。另外將鐵路運輸之能耗量以用電量(度/延人公里)換算，趨勢變化如圖 3-6。



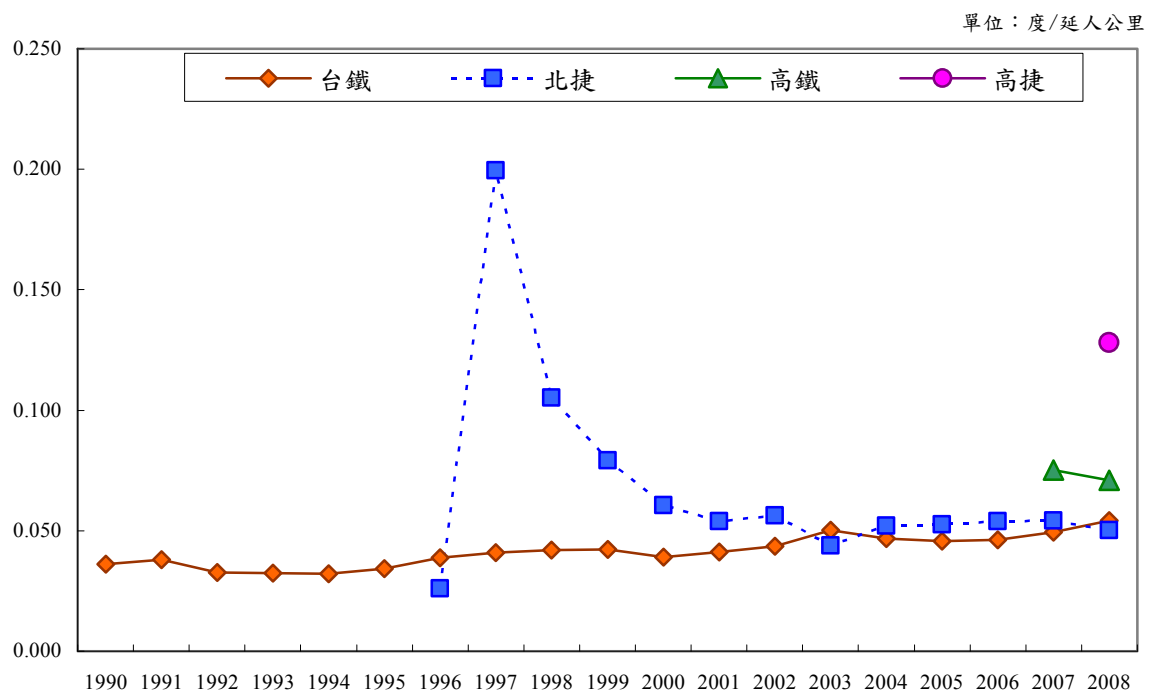
資料來源：本研究繪製。

圖 3-5 鐵路客運能源密集度變化趨勢圖(公升油當量/延人公里)

表 3-23 鐵路客貨運能源密集度推估(不含場站)

年份	單位：公升油當量/(延人公里或延噸公里)					單位：度/延人公里				平均單位 電量耗油 量(油當量 KL/千度)
	鐵路客運				鐵路貨運	鐵路客運				
	臺鐵	北捷	高鐵	高捷	臺鐵	臺鐵	北捷	高鐵	高捷	
1990	0.006	—	—	—	0.019	0.036	—	—	—	0.164
1991	0.006	—	—	—	0.019	0.038	—	—	—	0.162
1992	0.005	—	—	—	0.019	0.033	—	—	—	0.163
1993	0.005	—	—	—	0.020	0.033	—	—	—	0.169
1994	0.005	—	—	—	0.019	0.032	—	—	—	0.168
1995	0.006	—	—	—	0.018	0.034	—	—	—	0.172
1996	0.007	0.004	—	—	0.020	0.039	0.026	—	—	0.172
1997	0.007	0.036	—	—	0.021	0.041	0.199	—	—	0.183
1998	0.008	0.020	—	—	0.021	0.042	0.105	—	—	0.188
1999	0.008	0.015	—	—	0.023	0.042	0.079	—	—	0.193
2000	0.008	0.012	—	—	0.024	0.039	0.061	—	—	0.202
2001	0.009	0.011	—	—	0.025	0.041	0.054	—	—	0.209
2002	0.009	0.012	—	—	0.026	0.044	0.056	—	—	0.206
2003	0.010	0.009	—	—	0.025	0.050	0.044	—	—	0.208
2004	0.010	0.011	—	—	0.024	0.047	0.052	—	—	0.208
2005	0.009	0.011	—	—	0.024	0.046	0.052	—	—	0.208
2006	0.010	0.011	—	—	0.025	0.046	0.054	—	—	0.211
2007	0.010	0.011	0.016	—	0.025	0.049	0.054	0.075	—	0.210
2008	0.011	0.011	0.015	0.027	0.025	0.054	0.050	0.071	0.128	0.211

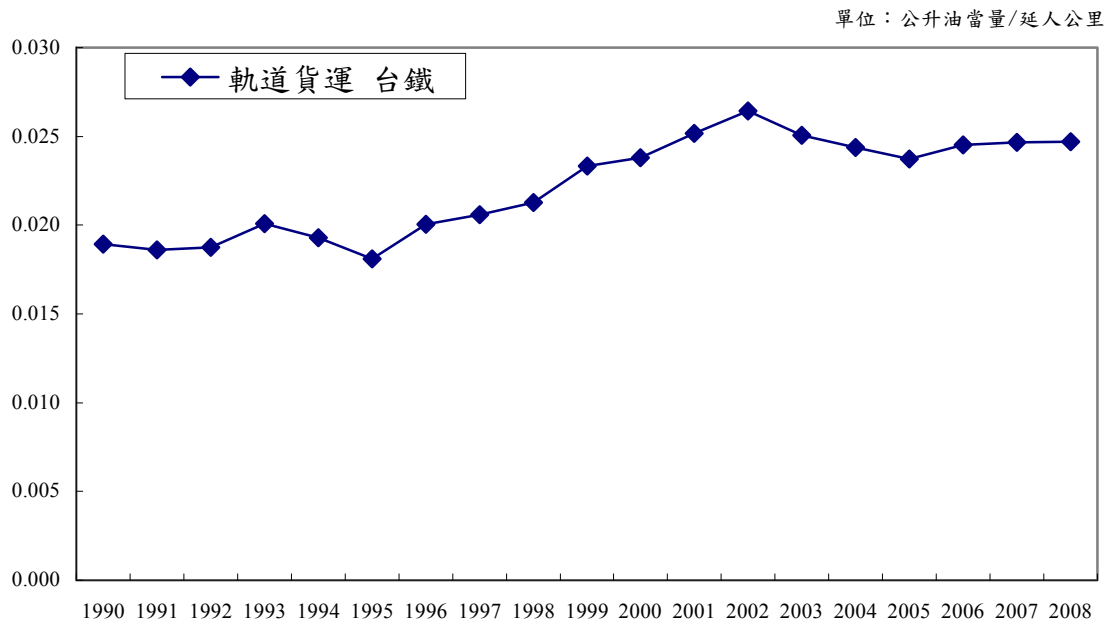
資料來源：本研究整理推估。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-6 鐵路客運能源密集度變化趨勢圖(度/延人公里)

鐵路貨運方面見表 3-23，主要依臺鐵之貨運服務統計推估結果，近年來臺鐵貨運車輛行駛的能源密集度約為 0.025 公升/延噸公里，長期亦呈上升趨勢見圖 3-7，2008 年較 1990 年高約 30%。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-7 鐵路貨運(行駛)能源密集度變化趨勢圖

### 3.航空能源密集度推估(國內線)

國內航空主要以客運為主，故將其能源消耗量視為客運能源之耗用量，能源密集度以總耗油量除以客運延人公里得之。詳細計算公式如下：

航空客運能源密集度：(公升油當量/延人公里)

$$= \text{航空燃油(公秉)} \times \text{油當量換算比率} \div \text{客運延人公里}$$

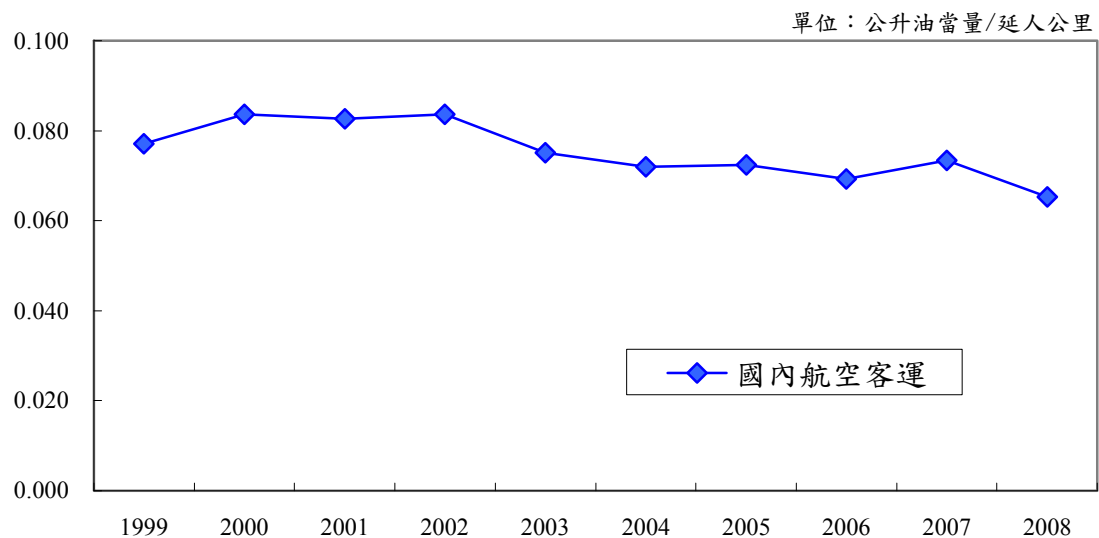
本年度不含場站係參考能源平衡表新表能耗量更新推估結果見表 3-24，航空不含場站之能源密集度在 2000 年以前呈上升趨勢，之後有下降，但於 2008 年又有上升現象，如圖 3-8 所示。2008 年約為 0.099 公升/延人公里，其數值較鐵路及公路客運能源密集度高。

表 3-24 航空客運能源密集度推估 (不含場站)

年度	航空-國內航線(客運)			能源密集度
	航空燃油	航空燃油-(油當量)	延人公里	公升油當量/延人公里
1990	115,597	102,753		
1991	122,784	109,141	-	-
1992	152,099	135,199	-	-
1993	218,478	194,203	-	-
1994	246,666	219,259	-	-
1995	348,885	310,120	-	-
1996	437,025	388,467	-	-
1997	436,253	387,780	-	-
1998	417,196	370,841	-	-
1999	424,648	377,465	4,891,936	0.077
2000	370,545	329,373	3,937,966	0.084
2001	339,549	301,821	3,649,813	0.083
2002	313,719	278,861	3,335,551	0.084
2003	260,778	231,803	3,083,657	0.075
2004	265,986	236,432	3,281,672	0.072
2005	246,001	218,668	3,020,943	0.072
2006	214,371	190,552	2,748,635	0.069
2007	163,057	144,940	1,972,843	0.073
2008	108,181	96,161	1,473,750	0.099

資料來源：1.經濟部能源局網站，臺灣能源平衡表。

2.交通統計月報，國籍航空運輸概況。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-8 航空客運能源密集度變化趨勢圖

#### 4. 水運能源密集度推估(國籍船)

國內水運主要以貨運為主，故將水運之能源消耗量視為使用於貨運之能源耗用量。其次，由於交通統計要覽所提供之延噸海里資料屬於國籍船，因此所推估之水運能源密集度屬於國籍船之能源密集度。以總耗油量除以水運之國籍船延噸海里可得到水運能源密集度，詳細計算公式如下：

水運貨運能源密集度：(公升油當量/延噸海里)

=國籍船用油當量(燃油與柴油總和)×油當量換算比率÷延噸海里

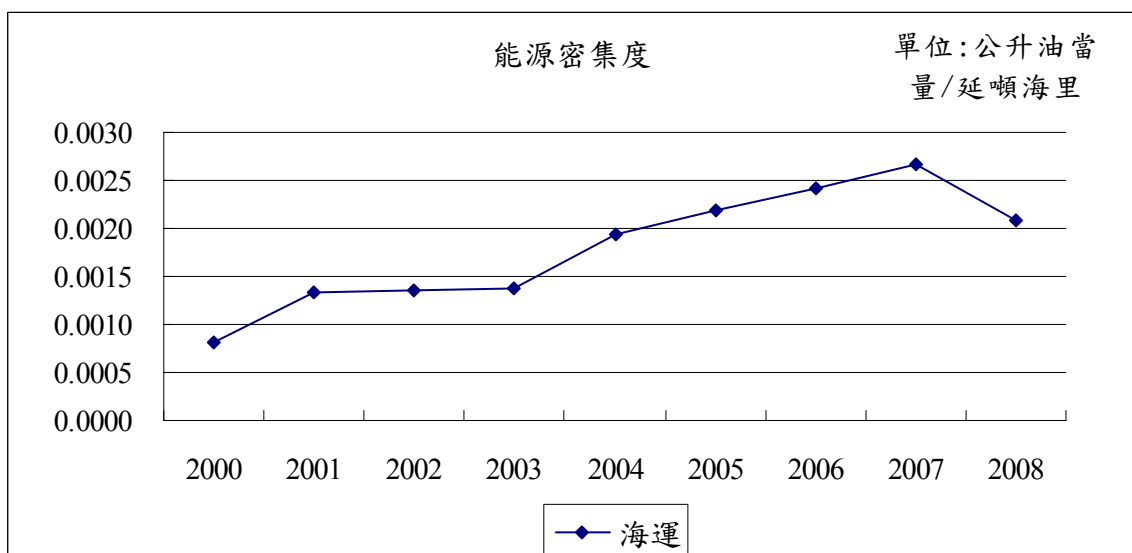
水運之總用油量參考能源平衡表，國籍船之延噸海里資料參考交通部統計處彙編之交通統計要覽，整理之結果如表 3-25，依據所計算之各年度能源密集度所繪製之趨勢圖如圖 3-9。整體看來，海運之能源密集度較空運、軌道運輸及公路運輸來的低，但就趨勢來看，2000 年至 2008 年間能源密集度有逐漸上升的趨勢，其中以 2007 年為最高，為 0.00266。而 2008 年能源密集度已經下降，已經降到 2005 年 0.00218 以下之水準，表示水運業者已經針對降低油耗方面加以改善。

表 3-25 水運能源密集度推估(國籍船)

年度	水運(國籍船)				能源密集度
	柴油 <sup>1</sup> (公秉油當量)	燃油 <sup>1</sup> (公秉油當量)	總油當量 <sup>1</sup> (公升油當量)	延噸海里 <sup>2</sup> (國籍船)	公升油當量/ 延噸海里
2000	370,545	235,708	428,649,000	527,891,000,000	0.00081
2001	339,549	231,451	476,647,000	359,295,000,000	0.00133
2002	313,719	224,909	423,611,000	312,823,000,000	0.00135
2003	260,778	236,928	341,219,000	247,560,000,000	0.00138
2004	265,986	260,237	376,370,000	195,066,000,000	0.00193
2005	246,001	269,994	394,480,000	180,710,000,000	0.00218
2006	214,371	258,875	371,257,000	154,245,000,000	0.00241
2007	163,057	216,070	334,710,000	125,847,000,000	0.00266
2008	163,839	171,241	271,185,000	129,950,000,000	0.00209

資料來源：1.經濟部能源局，能源平衡表。

2.交通部統計處。



資料來源：本研究繪製。

圖 3-9 海運貨運能源密集度變化趨勢圖





## 第四章 航空運輸溫室氣體排放推估

### 4.1 IPCC Tier3A 估算

#### 4.1.1 我國航空運輸活動資料

IPCC Tier3A 的資料需求主要在飛機的機型與航程，及航線的班次。我國航空運輸活動資料數據之來源為交通部民用航空局出版之統計與月報(圖 4-1)，採用內容為每月之國際性定期航班的飛行班次，各依其航點與航空公司做交叉之班次、所提供座位數與搭乘之旅客人數統計。唯美中不足之部分，民航局的統計資料並未提供每一班次所使用之機型。若單純使用民航局之統計資料，無法計算出實際之排放量，所以另行向桃園航空站(圖 4-2)與高雄航空站(圖 4-3)申請更詳細之航班資料，桃園航空站之資料仔細記載機型資料，以彌補前項資料之不足；而高雄航空站在民國 90 年前之電子檔部分並不完整，因此另行參考 OAG(Official Airline Guide)(圖 4-1)，OAG 提供每機場之飛行班表與機型之相關資料，最後使用此 3 種資料來統計各種機型之數量。

國內航線部分參照上述之資料，且使用民航局提供之松山機場、金門尚義機場、臺東機場與臺南機場飛行班次統計資料，補充國內航線機型之部分。



圖 4-1 民航統計年報與 OAG

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	am03_pre	bc02_own	am03_acn	am03_flt1	am03_flt	am03_etat	am03_etdt	am03_actype	am03_inb	am03_outl	am03_fror	am03_to
2	0971130	AMU	B-MAK	520D		2335	0	A319	PAX		VMMC	
3	0971130	CPA	B-HNE	462D		2355	0	B777-300	PAX		VHHH	
4	0971130	EVA	B16710	1711	10D	1715	2355	B777W	EXP	PAX	ZSPD	CYVR
5	0971130	CAL	B18211	005	008D	2020	2325	B747-400	PAX	PAX	KLAX	KLAX
6	0971130	CAL	B18205	101	061D	1930	2355	B747-400	PAX	PAX	RJAA	EDDF
7	0971201	JSA	9VJSB	521	522	1740	1825	A320	PAX	PAX	WSSS	WSSS
8	0971201	AAR	HL7248	711	712	1210	1310	B767-300	PAX	PAX	RKSI	RKSI
9	0971201	AMU	B-MAK		505	0	800	A319		PAX	VMMC	
10	0971201	PAL	RP8606	896	897	1000	1100	A320-214	PAX	PAX	RPLL	RPLL
11	0971201	CLX	LXNCV	790		2330	0	B747-400	CGO		UBBB	
12	0971201	HDA	B-HWI	480	481	1345	1440	A330	PAX	PAX	VHHH	VHHH
13	0971201	HDA	B-HWJ	482	483	1950	2050	A330	PAX	PAX	VHHH	VHHH

圖 4-2 桃園機場之電子檔資料

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	日期	所有人	TYPE	FROM	TO	機型	機號	重量	噪音值	降落日	ATA	ATD	停留DD	停留HH	停留SS	P
2	971201	AAP	1	1	1	A319	9VSBE	70000	84.2		1309	1405	0	0	56	
3	971201	AMU	1	1	2	A319	B-MAL	70000	86.6		2210		0	0	0	
4	971201	AMU	1	1	1	A319	B-MAO	70000	86.6		1840	1930	0	0	50	
5	971201	AMU	1	1	1	A321	B-MAP	89000	86.6	971130	2330	0825	1	8	55	
6	971201	CAL	1	1	1	B737-800	B-18601	72574	86.2	971130	2240	0630	1	7	50	
7	971201	CAL	1	1	1	B737-800	B-18609	72574	86.2		0820	1115	0	2	55	
8	971201	CAL	1	1	2	B737-800	B-18609	72574	86.2		2110		0	0	0	
9	971201	CAL	1	1	1	B737-800	B-18610	72574	86.2	971130	2330	0730	1	8	0	
10	971201	CAL	1	1	1	B737-800	B-18610	72574	86.2		1500	2030	0	5	30	
11	971201	CAL	1	1	1	B737-800	B-18612	72574	86.2	971130	0820	0910	1	0	50	
12	971201	CAL	1	1	2	B737-800	B-18612	72574	86.2		1300		0	0	0	
13	971201	CAL	1	1	2	B737-800	B-18615	72574	86.2		2255		0	0	0	
14	971201	CAL	1	1	1	ERJ190100	B16826	51800	86.2	971130	2330	0905	1	9	35	
15	971201	CAL	1	1	2	ERJ190100	B16826	51800	86.2		2230		0	0	0	

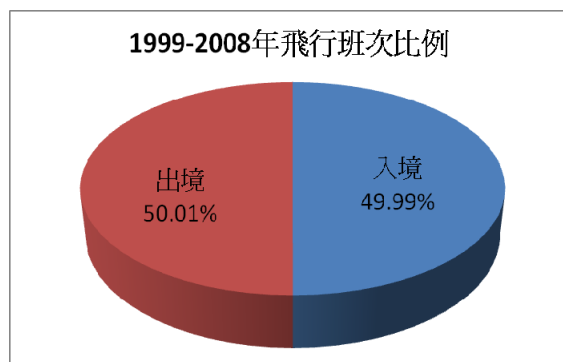
圖 4-3 高雄機場之電子檔資料

本研究為求精簡，先以出入境班機的各项資料做為數據之比較(表 4-1)，比較結果出入境之班機各項數據差距甚小，如圖 4-與圖 4-所示，出入境兩區塊都佔約 50%，因此以出境班次計算已可呈現運量情形。

表 4-1 歷年出入境班次統計

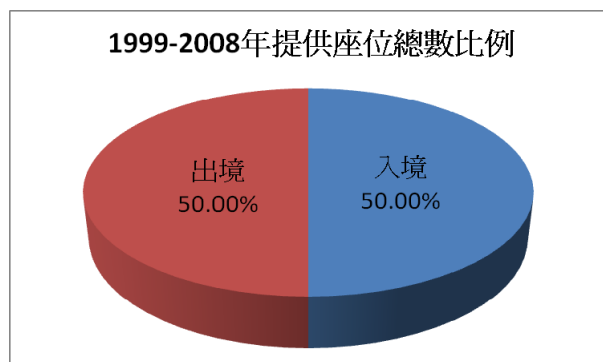
年度	入境				出境			
	班次 (次)	座位總數 (位)	載客人數 (人)	載客率 (%)	班次 (次)	座位總數 (位)	載客人數 (人)	載客率 (%)
1999	66198	-	8920057	-	66145	-	8888354	-
2000	66191	-	9066450	-	66156	-	9023596	-
2001	60070	16112331	11450252	71	60035	16102435	11519876	72
2002	63270	16748557	11995434	72	63263	16748355	12011500	72
2003	56083	14486998	9540679	66	56085	14487642	9548763	66
2004	65670	16740307	12096224	72	66036	16776362	12114887	72
2005	74734	19595148	14154985	72	74703	19585788	14138644	72
2006	60760	16782078	12297546	73	60814	16791521	12125970	72
2007	74734	19595148	14154985	72	74703	19585788	14138644	72
2008	67786	17847789	12903423	72	67703	17820800	12859367	72
*飛行班次出入境比例 49.99：50.01 座位總數出入境比例 50：50 載客人數出入境比例 50.04：49.96								

資料來源：民航局統計年報<sup>[4.1.1]</sup>。



資料來源：本研究繪製。

圖 4-4 歷年出入境班次比例



資料來源：本研究繪製。

圖 4-5 歷年出入境座位總數比例

## 4.1.2 Tier3A 計算

### 4.1.2.1 Tier3A 計算模式

本研究試算 Tier3 之方法，選擇 ICAO Carbon Emissions Calculator 2008<sup>[4.1.2]</sup>內的飛機機型分類(表 4-2 與表 4-3)再對照 EEA<sup>[4.1.3]</sup>(表 4-4)之各項溫室氣體排放量依其距離與機型計算各月之排放量。

表 4-2 ICAO 機型對照表-國際航線

機型對照	原機型			
<b>310</b>	A310			
<b>320</b>	A320	A321		
<b>330</b>	A330	A332	A333	
<b>340</b>	A343			
<b>734</b>	B738			
<b>744</b>	B744			
<b>747</b>	B742	B747SP		
<b>757</b>	B757	B752	B75W	
<b>767</b>	B762	B763		
<b>777</b>	B777	B77W		
<b>D10</b>	MD11			
<b>M80</b>	MD81	MD82	MD83	MD90
<b>100</b>	E90	F100		

資料來源：ICAO Carbon Emissions Calculator 2008<sup>[4.1.2]</sup>。

表 4-3 ICAO 機型對照表-國內航線

機型對照	原機型	
<b>320</b>	A320	
<b>146</b>	BAe146	
<b>734</b>	B738	
<b>757</b>	B757	
<b>D10</b>	MD11	
<b>100</b>	E90	F100
<b>M80</b>	MD81	
<b>SWM</b>	DO228	
<b>F50</b>	FK50	
<b>DH8</b>	DH8-200	DH8-300
<b>AT7</b>	ATR72	

資料來源：ICAO Carbon Emissions Calculator 2008<sup>[4.1.2]</sup>。

表 4-4 BEA 之各項溫室氣體排放量

Code	溫室氣體	125	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
310	Fuel (kg)	2810.6	3899.5	5990.4	8081.3	10172.2	14532.6	18981.6	23699.4	28675.3	33763.8	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	53.3	72.2	87.6	111.8	136.3	189.3	237.5	296.2	363.1	431.6	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	5834.3	6034.2	6307.1	6569.7	6832.3	7379.7	7921.8	8503.5	9128.7	9767.1	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	27426.7	28490.6	29687.8	30752.5	31817.2	34032.4	36185	38518	41045.3	43629.7	0	0	0	0	0	0
320	Fuel (kg)	1644.4	2497.3	3660.6	4705	6027.2	8332	10865.9	13441.3	0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	28	37.9	56	66.8	83.9	109.4	141.1	169.9	0	0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	2072.4	2190.7	2431.3	2607.4	2838.1	3234.3	3669.8	4112.7	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	18689.5	19334.9	20701.4	21164.5	22280.9	23759.5	25442.4	27125.5	0	0	0	0	0	0	0	0
330	Fuel (kg)	4093.7	5862.4	8615.5	11360	14121.5	19790.5	25634.2	31714.8	38043.5	44311.9	51005.7	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	88.2	129.5	141.4	173.5	205.9	274	346.5	424.8	509.5	587.6	677.8	0	0	0	0	0
	HC (g)	4118.7	6079.2	8755.3	11135.6	13932	19262.8	24755.5	30472.9	36422.1	42274.4	48567.4	0	0	0	0	0
	CO (g)	25554.2	29744.3	33729.7	37112.5	40516.4	47511.2	54705.4	62206.2	70004.2	77416.8	85664.4	0	0	0	0	0
340	Fuel (kg)	3832.9	5669.1	8482.4	11310.9	14201.2	20133.2	26279.8	32695.5	39114.8	45873.9	52895.2	60079.4	67669.7	75568.3	83692	0
	NOx (kg)	77.7	112.7	159.8	200.2	242.7	332.1	428.3	533.1	634.2	744	864	989.9	1128.8	1280.7	1441.5	0
	HC (g)	28206.8	38886	41190.2	42514.3	43940	46906.5	50046.6	53440.4	52551.8	55672.9	59108.8	62230.7	65875.7	70072.5	69882.3	0
	CO (g)	59764.2	71033.2	74751.6	76765.7	78857.2	83043.4	87448.3	92007.3	95131.6	99931.1	104914.1	109977	114946.9	120543.7	124964	0
734	Fuel (kg)	1603.1	2268	3612.8	4960.3	6302.6	9187.7	12167.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	17.7	23.6	36.9	48.7	60.2	86.3	114.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	817.6	912.9	995.8	1065.2	1118.1	1240.4	1374.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	14252.5	15836	17525.5	19060.6	20369.3	23298.2	26426.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
747	Fuel (kg)	6564.8	9419.8	14308	19196.3	24084.5	34170.5	44419	55255.2	66562.3	77909.2	90362.1	103265.9	116703.3	130411	0	0
	NOx (kg)	127.6	181.2	276.1	355.4	436.3	608.7	787.8	941.3	1151.3	1351	1589.3	1844.9	2124.8	2422	0	0
	HC (g)	41242.4	44639.3	46540.5	47455.8	48371.1	50248.9	52145.4	54004	56109.9	57813.3	60132.5	62525.2	64996.8	67405.6	0	0
	CO (g)	88557.6	97265.5	102616	105806.3	108996.5	115552.8	122189.2	128853.4	136203.7	142615.8	150710.9	159073.9	167733.2	176313.3	0	0
744	Fuel (kg)	6330.9	9058.3	13404.6	17750.9	22097.2	30921.6	40266.7	49480.2	59576.9	69888.3	80789.2	91986.5	103611.4	115553	128170.8	141254.2
	NOx (kg)	118.7	168	226.9	280.9	335.6	447.1	574	687.4	826.8	973.2	1137.3	1311.1	1492.3	1687	1899.7	2129.3
	HC (g)	5873.2	9346.5	11166.2	11834.8	12503.3	13898	15321.1	16119.7	17680.1	19263	20946.8	22649.3	24414.4	25900	27817.3	29807.6
	CO (g)	31566.9	41952.9	47670.9	50789.3	53907.6	60238.3	66939.4	71469	78705.3	86094.5	93927.3	101923.2	110223.6	117364.7	126348.2	135687
767	Fuel (kg)	3030.3	4305.2	6485.2	8665.1	10845.1	15408.6	20086.6	24804.4	29909.4	35239.1	40630.9	46313.7	52208	0	0	0
	NOx (kg)	52	74	103.5	129.4	155.6	213	273.1	320.3	388.1	462.1	535.7	617.8	706	0	0	0
	HC (g)	1123.9	1434.5	2550.4	3666.2	4782.1	7094.4	9474.4	12109	14718.8	17415.5	20197	23082.5	26076.5	0	0	0
	CO (g)	9710.3	12531.4	15362.5	17537.8	19713.1	24229.9	28869.2	33258.5	38345	43614.3	48997.1	54624.5	60462	0	0	0
757	Fuel (kg)	2422.9	3410.2	5070.4	6724.4	8390.7	11845.7	15407	19025.9	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4-4 EEA 之各項溫室氣體排放量(續)

Code	溫室氣體	125	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
757	Fuel (kg)	2422.9	3410.2	5070.4	6724.4	8390.7	11845.7	15407	19025.9		0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	53.2	74.5	84	105.2	125.5	170.7	218.1	256.5		0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	2460.6	3495.8	5101.1	6677.3	8222.5	11470.4	14809.2	18207.1		0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	14898.2	16860.2	19168.7	21349.8	23259.7	27516.3	31835.1	36256		0	0	0	0	0	0	0
777	Fuel (kg)	4819.6	7035.1	10130.4	13226.4	16363.8	22576.4	29225.7	36026.7	43143.2	50294.6	57904.3	65763.5	73655.1	82067.4	90693.2	0
	NOx (kg)	106.2	130.9	209.1	251	294	374.9	471.7	571.8	683.2	792.9	910	1044.5	1167.5	1315.8	1472.9	0
	HC (g)	24877.8	26130.4	50442.7	52025.4	53604	54921	58223.8	60775	64477.8	66080.9	69993.9	74049.6	75052.7	79307.6	81322.1	0
	CO (g)	69519.8	73335.7	91509.3	93744.8	95975	100015.9	104738.4	108847.8	113931.6	118526.8	123921.5	129490.8	133953.5	139909.9	144817.5	0
D10	Fuel (kg)	4727.7	6804.4	10487.5	14170.5	17853.6	25476.2	33218.6	41492.3	50361.3	59452.4	69037.9	79034.1	89398	0	0	0
	NOx (kg)	97.8	133.8	205.4	265.8	327.3	457.6	588.6	718.1	886.4	1058.5	1250.2	1457.9	1677.9	0	0	0
	HC (g)	34368.1	43406.9	46147.9	48105.2	50062.4	54078.8	54353.6	58275.1	62622.6	65748.1	70951	75846.9	78250.3	0	0	0
	CO (g)	71545	80256.7	84288.5	86883.5	89478.4	94847.8	99309.2	104973.1	110807.5	116865.9	123574.7	130232	137385.7	0	0	0
100	Fuel (kg)	1467.6	2078.7	3212.4	4285.7	5479.7	7796.3		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	15.1	20	27.9	33.5	40.5	53.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	1792.5	2068.9	2412.5	2741.3	3088.9	3786.3		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	15214.5	16416.9	17405.6	18307.4	19175.8	21028.6		0	0	0	0	0	0	0	0	0
M80	Fuel (kg)	2102.9	3111	4563.9	5913.1	7469.8	10523.3		0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	31.2	44.4	62	74.6	91.6	122.9	158.5		0	0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	2516.4	3082.5	3718.1	4296.1	4942.1	6209.9	7563.8		0	0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	8328.2	10011.8	11849.6	13501.7	15337	18936.5	22794.4		0	0	0	0	0	0	0	0
E90	Fuel (kg)	154.2	273.6	512.1	750.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NOx (kg)	0.898	1.585	2.957	4.327		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HC (g)	47.3	73.1	124.6	176.1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO (g)	779.8	1240.5	2161	3079.8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

資料來源：EMEP/CORINAIR-EEA Emission Inventory Guidebook<sup>[4.1.3]</sup>。

#### 4.1.2.2 繞道因子(Detour Factor)

民航局記載兩航站間的距離是大圓(Great Circle)航線距離，「大圓」是將地球分成兩個相等半球表面的線謂之。赤道和格林威治子午線(0 度經線)都將地球分為兩個相等的半球表面，即為大圓。大圓可以向任何水平方向延伸，如東西向、南北向、西北-東南向等等。

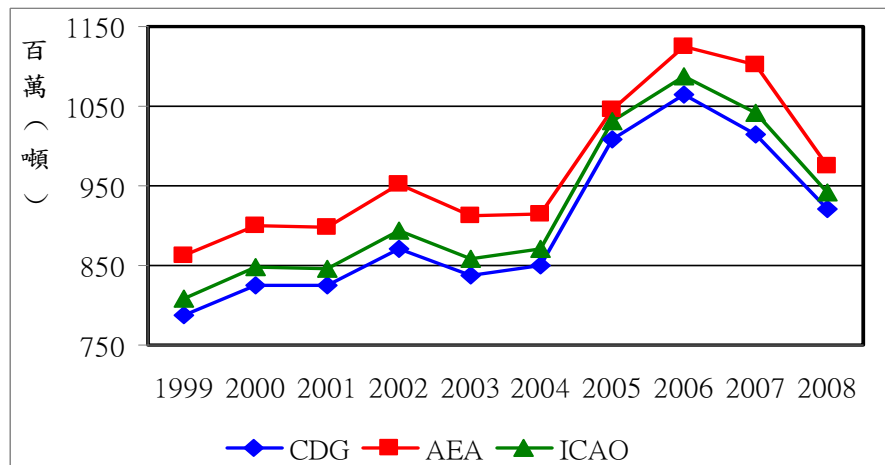
但實際上考量惡劣天候、航管措施(繞圈時間)，其距離會略長一點，一般稱為繞道因子(Detour Factor)，表 4-5 是各文獻的建議。Kettunen<sup>[4.1.4]</sup>估算歐洲約多 10%、美國約多 6-8%，此因為兩地區航管與風場的差異性；較近的如 AEA Energy & Environment<sup>[4.1.5]</sup>建議調整+9%。ICAO 則以距離長短區分 3 段加上增量。我國往美洲的航線，由西往東時，可借由噴射氣流(Jet Stream)，達到節油省時的效果，但由東往西則需躲開噴射氣流，飛行時間往往多花兩小時。

表 4-5 大圓航線調整幅度文獻回顧

	GCD 調整	
Kettunen (2005) <sup>[4.1.4]</sup>	歐洲	+10%
	美國	+6-8%
AEA (2009) <sup>[4.1.5]</sup>		+9%
ICAO(2008) <sup>[4.1.2]</sup>	GCD<550 Km	+ 50 Km
	550 Km<GCD<5500 Km	+ 100 Km
	GCD>5500 Km	+ 125 Km
IPCC(1999) <sup>[4.1.6]</sup>		+15%
Schmitt & Brunner (1997) <sup>[4.1.7]</sup>	GCD >700km	+10%
ANCAT/EC2 (1998) <sup>[4.1.8]</sup>		+10~11%

資料來源：本研究整理。

本研究分別以 AEA 與 ICAO 的方法調整大圓航線。首先以國籍航空國際線 10 年運輸活動為例作比較，可以發現 ICAO 的方法較 AEA 保守，如圖 4-4 所示。我國航空因為是受噴射氣流受惠最多的區域，因此以 AEA 的方法作為爾後計算的依據。



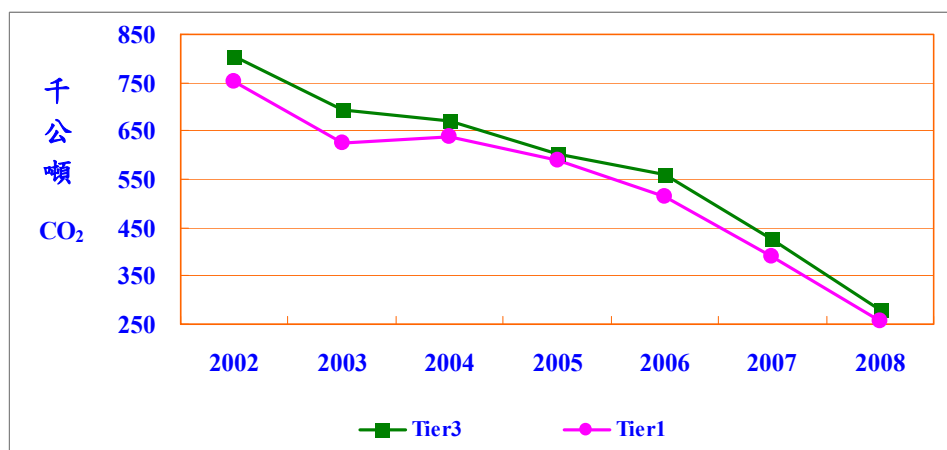
資料來源：本研究繪製。

圖 4-6 AEA 與 ICAO 調整大圓航線的比較

#### 4.1.2.3 Tier 3A 與 Tier 1 比較

##### 1. 航空國內線 7 年運輸活動比較

圖 4-顯示本研究 Tier 3A 的計算與 Tier 1 相當接近，由於國內線航空加油均在國內，因此足以反應國內線能源消耗情形。而 Tier 3A 的估算較 Tier 1 稍高的原因，可能是本研究引用的歐洲模式，其機場較我國機場擁擠，降落起飛(LTO)之油耗較多，造成估算的微小增量。



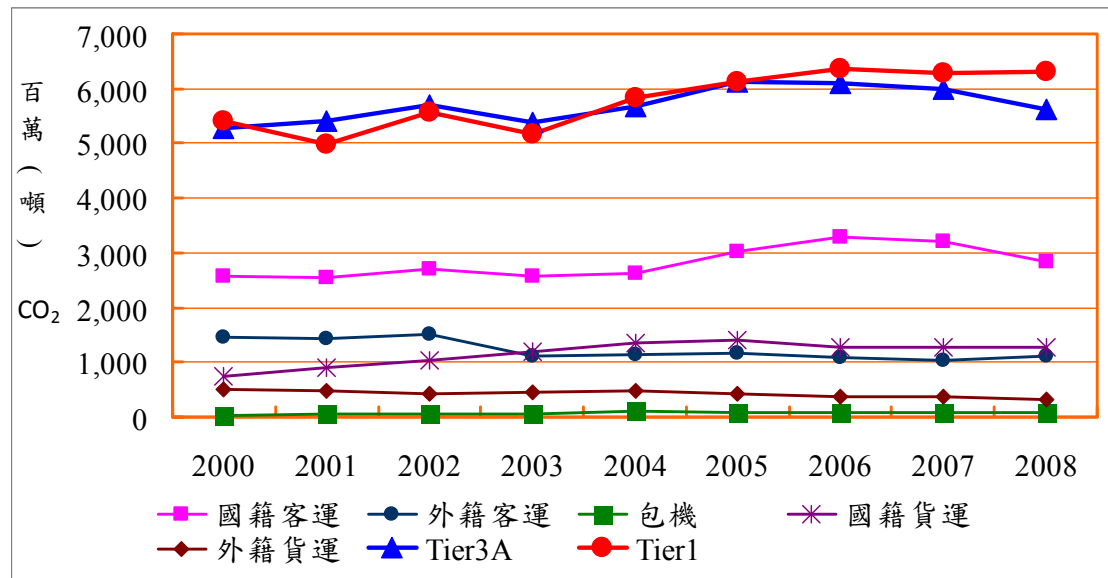
資料來源：本研究繪製。

圖 4-7 國內線航空年度 CO<sub>2</sub> 排放量 Tier 3A 與 Tier 1 比較



## 2. 航空國際線10年活動比較

本研究利用 Tier 3A 的模式，將我國籍航空之國際航線之能源使用消耗分別計算，並另行統計貨運；外國籍客貨運與包機，合計後與 Tier 1 之數據相距不遠，足以證明本模式之準確性，請參考圖 4-8。



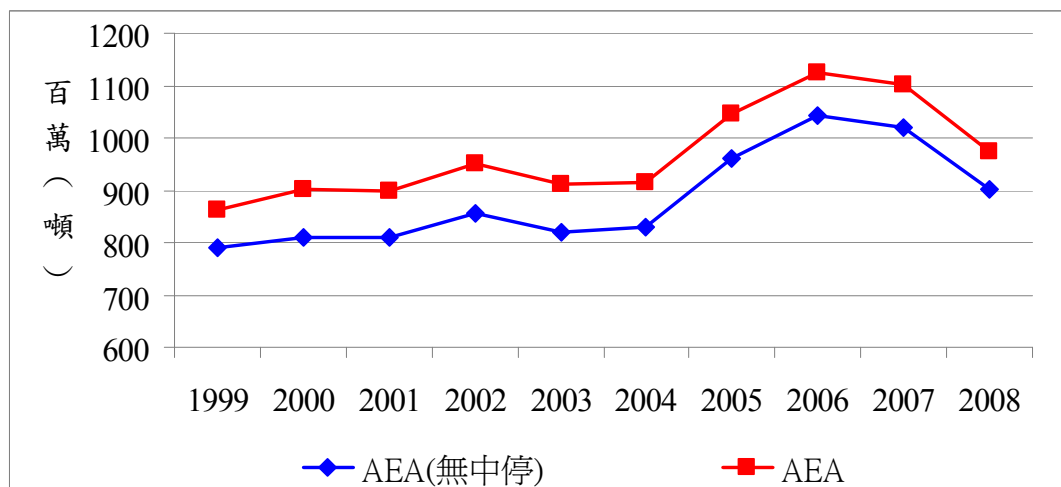
資料來源：本研究繪製。

圖 4-8 國際線航空年度 CO<sub>2</sub> 排放量 Tier 3A 與 Tier 1 比較

## 4.2 我國國籍航空實際能耗與排放

前節討論的均為國際航機在臺加油的能源統計，問題是為求飛機減重符合載重最大效益起見，單次加油只需滿足到下一航站的需求即可，換句話說，如果飛歐洲的班機在泰國中停，則在臺加油量只需應付臺北-曼谷的航程，後段泰國到歐洲的航次，桃園機場必無紀錄，能源局的平衡表更不可能反映這段的能源消耗。另一方面，民航局部分資料顯示臺北到歐洲的航次，但卻未交待中停或直飛(其實直飛佔少數)，如果直接以 Tier 3A 計算，就會漏計在泰國的一個起降(LTO)的油耗。

為求精確瞭解我國航空國際線的實際能源耗用情形，本研究以航班代碼就飛往紐約中停安克拉治、歐洲中停曼谷(阿不達比、杜拜)、夏威夷中停東京及經香港到新加坡、雅加達、曼谷等航班，作全盤篩檢。結果顯示如圖4-。



資料來源：本研究繪製。

圖 4-9 飛機中停的能源耗用比較

另外，本研究利用 ICAO 的公式計算出我國國籍航空之國際航線實際二氧化碳排放量，請參考表 4-6。

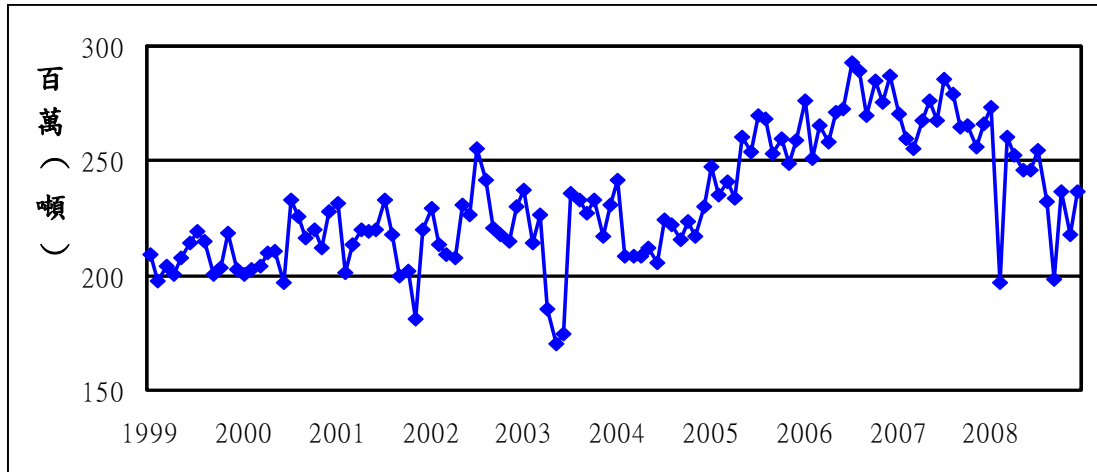
表 4-6 溫室氣體排放量計算-國際航線

年度 (季)	GDP(百萬)	油價	提供 座位數	乘載率	可售座位 公里數	延人公里數	燃油(噸)	CO <sub>2</sub> (噸)	CO <sub>2</sub> / Pkm	CO <sub>2</sub> / ASK
1999 I	2,394,852	11.37	1,708,160	0.71	5,871,593,019	4,357,024,123	193440508	610,691,684	0.14	0.10
1999 II	2,359,247	15.48	1,807,974	0.8	5,898,232,213	4,820,347,575	197203285	622,570,771	0.13	0.11
1999 III	2,425,534	20.64	1,767,328	0.81	6,004,431,343	4,830,039,311	201014428	634,602,549	0.13	0.11
1999 IV	2,461,260	23.98	1,761,133	0.65	6,154,127,692	3,819,067,567	198082783	625,347,346	0.16	0.10
2000 I	2,504,932	26.96	1,711,499	0.75	5,849,762,642	4,420,093,722	192453149	607,574,591	0.14	0.10
2000 II	2,418,688	27.01	1,799,675	0.83	6,195,589,448	5,092,550,405	195766239	618,034,017	0.12	0.10
2000 III	2,555,224	30.66	1,876,472	0.83	6,506,157,181	5,468,763,612	213984791	675,549,985	0.12	0.10
2000 IV	2,553,160	29.92	1,871,976	0.7	6,364,730,883	4,397,804,029	209015056	659,860,532	0.15	0.10
2001 I	2,539,182	25.82	1,907,246	0.74	6,267,286,373	4,884,191,628	204599311	645,920,025	0.13	0.10
2001 II	2,347,993	27.29	1,950,079	0.8	6,359,441,075	5,167,117,251	208759272	659,053,022	0.13	0.10
2001 III	2,450,204	25.3	2,010,709	0.75	6,454,176,274	5,134,210,160	206066288	650,551,271	0.13	0.10
2001 IV	2,524,804	19.4	1,865,739	0.69	5,698,999,990	3,804,066,467	190920645	602,736,476	0.16	0.11
2002 I	2,587,413	21.12	1,999,915	0.78	6,330,620,596	5,111,783,846	206633798	652,342,900	0.13	0.10
2002 II	2,454,504	25.11	2,040,477	0.78	6,556,344,138	5,370,687,729	210566596	664,758,744	0.12	0.10
2002 III	2,606,575	26.89	2,091,520	0.78	6,827,286,741	5,524,971,131	227252557	717,436,322	0.13	0.11
2002 IV	2,644,854	26.74	2,027,759	0.7	6,537,334,910	4,506,961,494	210027634	663,057,241	0.15	0.10
2003 I	2,633,488	31.5	2,040,014	0.72	6,697,001,837	5,110,792,455	214579492	677,427,456	0.13	0.10
2003 II	2,426,931	26.17	1,345,184	0.49	5,135,209,125	2,781,650,205	167802109	529,751,258	0.19	0.10
2003 III	2,679,163	28.43	2,080,890	0.8	6,989,662,538	5,825,648,007	220443988	695,941,670	0.12	0.10
2003 IV	2,779,992	29.41	2,062,100	0.72	6,877,429,017	5,068,350,138	215740455	681,092,616	0.13	0.10
2004 I	2,814,851	31.99	2,057,449	0.73	6,939,806,765	5,436,225,413	208681625	658,807,890	0.12	0.09
2004 II	2,618,769	35.41	2,117,181	0.78	7,216,955,724	5,883,628,129	198398979	626,345,577	0.11	0.09
2004 III	2,818,556	41.39	2,247,961	0.79	7,669,616,901	6,266,167,499	209804662	662,353,318	0.11	0.09
2004 IV	2,813,372	44.01	2,246,623	0.74	7,632,357,458	5,613,097,356	212406925	670,568,662	0.12	0.09
2005 I	2,863,315	47.87	2,242,424	0.75	7,722,817,765	6,073,842,256	229093645	723,248,637	0.12	0.09
2005 II	2,659,875	51.62	2,354,341	0.79	8,030,866,362	6,561,736,351	236966859	748,104,374	0.11	0.09
2005 III	2,916,368	61.57	2,374,100	0.81	8,502,209,793	7,194,275,511	250696642	791,449,299	0.11	0.09
2006 I	3,015,169	56.85	2,350,214	0.67	8,314,419,818	5,621,114,112	243057787	767,333,434	0.14	0.09
2006 II	2,966,303	61.79	2,512,426	0.72	8,410,311,157	6,371,521,022	251180075	792,975,497	0.12	0.09
2006 III	2,763,642	69.49	2,503,318	0.74	8,375,194,183	6,356,944,923	254098932	802,190,328	0.13	0.10
2006 IV	3,065,610	69.73	2,671,903	0.74	9,158,646,869	6,951,726,893	269724426	851,520,013	0.12	0.09
2007 I	3,122,042	59.55	2,575,648	0.71	8,955,450,998	6,416,892,801	268521105	847,721,128	0.13	0.09
2007 II	3,112,545	57.84	2,668,684	0.72	8,322,955,274	6,381,182,733	248813168	785,503,171	0.12	0.09
2007 III	2,930,995	68.59	2,719,987	0.76	8,591,036,907	6,886,056,123	257070148	811,570,457	0.12	0.09
2007 IV	3,283,815	74.75	2,756,067	0.75	8,845,847,925	7,108,282,912	262713140	829,385,383	0.12	0.09
2008 I	3,308,413	88.29	2,679,734	0.7	8,442,945,211	5,961,587,379	249525630	787,752,414	0.13	0.09
2008 II	3,232,134	96.86	2,758,753	0.72	8,620,370,440	6,710,961,622	231233994	730,005,719	0.11	0.08
2008 III	2,997,014	121.2	2,587,386	0.75	8,405,408,617	6,560,446,485	235792584	744,397,188	0.11	0.09
2008 IV	3,130,110	114.69	2,381,893	0.74	7,743,907,336	6,208,217,252	217068731	685,285,984	0.11	0.09
2008 V	2,981,665	55.03	2,385,639	0.68	7,729,166,921	5,470,059,472	218735854	690,549,091	0.13	0.09

資料來源：本研究計算。

### 4.3 我國國籍航空經濟與排放關聯分析

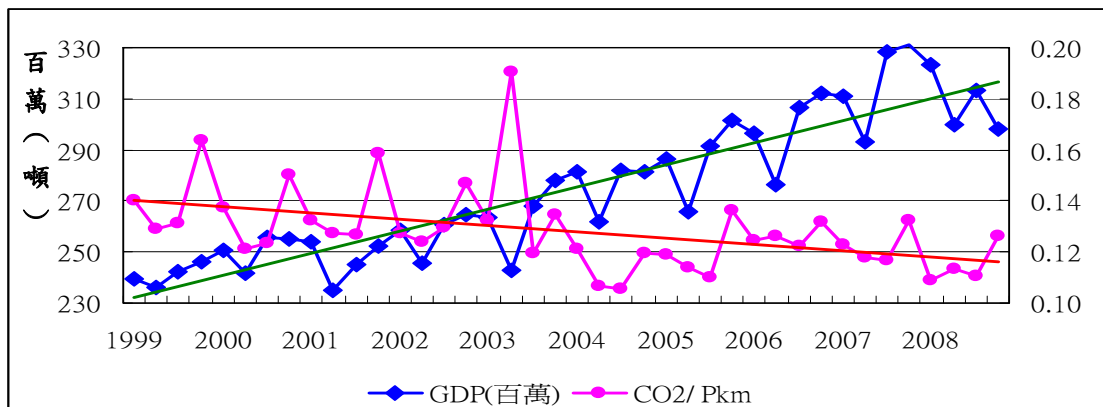
圖 4-為按月計算之 CO<sub>2</sub> 排放量，由圖可見，月份之排放量的振盪很大，較不容易分析，也不容易看出趨勢，且配合 GDP 為季公布，所以本研究採用季排放量做為分析之基礎。



資料來源：本研究繪製。

圖 4-10 按月計算之 CO<sub>2</sub> 排放量

本研究利用我國之 GDP 與 CO<sub>2</sub>/Pkm 做相關趨勢分析，結果顯示我國之 CO<sub>2</sub>/Pkm 會隨著 GDP 的上升而相對減少，表示經濟驅動力的成長比環境壓力還大，其中航空業者不斷更換新機與節能的作為，也是使 CO<sub>2</sub> 排放減少的原因之一(圖 4-)。



資料來源：本研究繪製。

圖 4-11 我國之 GDP 與 CO<sub>2</sub>/Pkm 之趨勢分析

## 4.4 世界航空溫室氣體排放預判

2009 年 6 月 8 日在吉隆坡舉行的第 65 屆國際航空運輸協會(IATA)年會和世界航空運輸論壇上，IATA 理事長 Giovanni Bisignani 指出，2009 年航空業的二氧化碳排放量將下降 7%，其中 5%是因為需求的減少，而另外的 2%是由於航空業聯合實施了 4 項旨在因應氣候變化的主軸策略(新技術投資、有效的航班營運、基礎設施改善、積極的經濟措施)。全球航空公司承諾在 2020 年實現「無碳」(Carbon-Neutral)增長，2050 年實現二氧化碳排放量減少 50%的目標。各國政府應按照《京都議定書》第 2 次締約國會議上的規定，支援技術、管理及基礎設計的改進，並實施積極的經濟措施，以全球化的眼光來因應航空運輸業的二氧化碳排放問題<sup>[4.4.1]</sup>。

當然 IATA 的聲明相當樂觀，從較早 IPCC(1999)<sup>[4.1.6]</sup>的研究就相當保守(如表 4-7)，若以 1990 為比較基礎，7 個情境(見表 4-7 註解)的燃油消耗在 2050 年會達到 2.7~9.4 倍。而 Macintosh & Wallace(2009)<sup>[4.4.2]</sup>的統計(如表 4-8)，顯示愈後期的研究，未來能源消耗更高。

表 4-7 全球航空能耗情境預估

情境代號	平均每年交通成長 (1990-2050) <sup>1</sup>	平均年度耗油率 (1990-2050) <sup>2</sup>	平均年度經濟成長率	平均年度人口成長率	交通量比 (2050/1990)	燃油消耗比 (2050/1990)	註解
FaI	3.1%	1.7%	2.9% 1990-2025 2.3% 1990-2100	1.4% 1990-2025 0.7% 1990-2100	6.4	2.7	由 ICAO 預測與支援小組 (FESG) 發展；IPCC(1992) 中程經濟成長；燃油效率與 NOx 降低之科技進步
FaIH	3.1%	2.0%	2.9% 1990-2025 2.3% 1990-2100	1.4% 1990-2025 0.7% 1990-2100	6.4	3.3	如 FaI 之場景，僅將一超音速機隊取代一些次音速機隊
Fa2	3.1%	1.7%	2.9% 1990-2025 2.3% 1990-2100	1.4% 1990-2025 0.7% 1990-2100	6.4	2.7	如 FaI 之場景，但著重於 NOx 的降低，燃油效率僅有些許進步
FcI	2.2%	0.8%	2.0% 1990-2025 1.2% 1990-2100	1.1% 1990-2025 0.2% 1990-2100	3.6	1.6	FESG 低成長情景，科技程度如 FaI 場
FcH	3.9%	2.5%	3.5% 1990-2025 3.0% 1990-2100	1.4% 1990-2025 0.7% 1990-2100	10.1	4.4	FESG 高成長情景，科技程度如 FaI 場
Eab	4.0%	3.2%	—	—	10.7	6.6	交通成長情景根據環境守護基金 (EDF) 發展的 IS92a 模式。假設具非常低 NOx 科技
Edh	4.7%	3.8%	—	—	15.5	9.4	高交通成長 EDF 情景。假設具非常低 NOx 科技

註 1：交通量由收益延人公里(RPK)表之。

註 2：包括所有航空部門(客機、貨機、軍機)。

表 4-8 未來航空能耗情境比較

文獻	內容	估算當年 (MtCO <sub>2</sub> )	2050 年預估 (MtCO <sub>2</sub> )
IPCC (1999) <sup>[4.1.6]</sup>	此 IPCC 航空特別報告包括非常詳盡的多個情境。這裡顯示的是中(FaI)與高(FaI)成長情境。	415 (1992 年)	1440~2302
Berghof et al. (2005) <sup>[4.4.3]</sup>	歐盟 CONSAVE 2050 計畫對全球航空排放的假設類似於 IPCC's A1, A2 與 B1 情境。這裡顯示的是 3 個成長情境。(ULS, RPP 與 FW)	470 (2000 年)	955~2442
Owen & Lee (2006) <sup>[4.4.4]</sup>	本文獻係以 FESG 至 2020 的成長資料與 IPCC A1 與 B2 情境 2020~2050 的成長資料，以 FAST 模式計算。其數據只包含定期班機。	482 (2005 年)	1996~2971

資料來源：本研究整理。

這些情境的模擬主要依據 4 個要素：人口、經濟、航空運量與耗油率的成長。後兩者屬航空運輸專業範疇，本研究分述於後。

2006 年航空部門約有 20 億旅客，佔世界總 GDP 8%(Thompson, 2006, page 34)。政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)指出<sup>[4.1.6]</sup>，自 1960 年全球空運旅客量每年成長 9%，遠超過同時間平均總 GDP 成長率。未來至 2015 年，預估航空部門仍將繼續維持 3~7%的成長率。

Airbus<sup>[4.4.5]</sup>依據 ICAO 的資料，2009 年以前航空運量每 15 年成長一倍，而 Airbus 的預估在下個 15 年也會維持同樣的成長率，全球年度成長率 4.7%。但是這是全球的統計，實際上有地域之分，例如美國國內運量 2028 年時將佔全球 12.2%，但未來年度成長率只有 2.0%；大陸則佔 8.7%、成長率 7.9%；印度雖只佔 2.2%，但成長率高達 10%。此說明各國的航空運量必有其特定性，需依國情、歷史資料來評估。

Airbus<sup>[4.4.5]</sup>認為空運需求主要是受票價與 GDP 的影響，當票價成長 1%，空運需求會減低 0.5~1%，其中大陸國內線影響較小、美國國內線影響較大；反之當 GDP 成長時，空運需求會增加 1~2.5%，其中大陸國內線反應較劇、美國國內線影響則較小。

一般而言，具備全球國際化特性的航空業，最容易受國際貿易、天災人禍的影響，但 ICAO<sup>[4.4.6]</sup>的研究顯示，定期班機的收益延人公里(Revenue passenger-km, RPK)在 2001 至 2005 年間，儘管 911 與 SARS 的不利因素，仍以 3.8%的平均率成長。

ICAO 報告指出，1983 至 1990 年間，每可用噸公里(Available Tonne Kilometres, ATK)之燃油消耗以每年 2.5%進步，之後的估算則略低。而從 IATA(2009)的評估報告得知，從 1994 至 2003 年間的燃油消耗為 2.2%，稍後的文獻更指出每收入噸公里(Revenue Tonne Kilometres, RTK)的油耗進步為 1.9%。此主要在於發動機的改良，以及次音速飛機的每延人公里燃油效率已比 40 年前進步 70%。而相對於現在的飛機，未來估計到 2015 有 20%、2050 年還有 40~50%的進步空間<sup>[4.4.1]</sup>。



若再能配合航管措施上的改良，將使減排效率以每年平均 1.7% 成長。但明顯無法抵銷航空運量的成長，至 2015 年航空排放仍有每年 3~4% 的成長率<sup>[4.4.1]</sup>。

另外承載率的提升及加速汰除舊飛機，也是減排的重要措施；美國航空業是典型的例子，其溫室氣體排放只佔全國的 3%<sup>[4.4.7]</sup>；而 1990~2007 年所有航空類別的 CO<sub>2</sub> 排放亦只成長 5.1% (約 900 億噸)，其中美國軍機減少 57% (約 1860 億噸) 是非常可喜的現象<sup>[4.4.8]</sup>。

Lee<sup>[4.4.9]</sup>解釋航空器性能在 1959-1995 年間有長足的進步，包括每收益延人哩 (Revenue passenger miles, RPM) 的燃油消耗減少 70%、實際燃油消耗 (SFC) 改善 40%、升阻比 (L/D) 改善 15%、承載率 (Load Factor) 增加了 15%。儘管已經改善發動機、機身技術和航空器操作，但航空燃油消耗和航空排放對氣候變遷造成的衝擊仍然持續增加。此意謂，以目前的技術和操作改善並不能完全抵銷持續增加的航空廢氣排放。IPCC<sup>[4.1.6]</sup>認為以上改善措施並無法抵銷航空運量的成長，至 2015 年航空排放仍有每年 3~4% 的成長率。

如果在技術上不能完全達成減排的目標，各國政府勢必考量更嚴厲的發動機排放規範與經濟措施，諸如環境徵稅、排放交易、撤消造成環境負面影響的補貼與激勵措施。

基於市場機制的環境費稅可以提供民航業經濟上的誘因，採用更具燃油效率的飛機，亦能使空中交通量的需求趨緩。例如蘇黎世機場依據發動機的認證資料將排放稅加在落地費內。其將發動機分為 5 個等級，課徵落地費 0~40% 的排放稅。其目的在誘導航空公司調派 NO<sub>x</sub> 較低的飛機到蘇黎世<sup>[4.4.1]</sup>。不過依據 1998 年美國運輸部民航作業成本資料 (USDOT Form 41)，落地費佔不到飛機直接作業成本 (DOC) 的 2%，以蘇黎世機場最大落地費 40% 計，課徵排放稅將不及 DOC 的 0.8%，對航空業的激勵性並不足夠<sup>[4.4.9]</sup>。

以歐洲為例，每公升 CO<sub>2</sub> 課徵 \$0.20，CO<sub>2</sub> 預期可降 30%，但油價也會因此提高 125%<sup>[4.4.10]</sup>，繼而使 DOC/RPM 亦增加 30~40%，必須提升飛機效率 25% 或燃油消耗率減少 20% 才能補回。



另外一個方法，是依據旅客里程的長短徵稅。票價的漲價可能使空中交通的成長減緩。但如此作法，航空業就比較少誘因去增進環境相關的系統效益。

環境稅的主要目的是希望飛機無論機體、發動機都能達成最佳化設計，例如當油價起漲變成直接營運成本(Direct Operation Cost, DOC)的主要部分時，航空業便應研發高旁通量(high bypass ratio turbofan)、低耗油(specific fuel consumption, SFC)的發動機與較大翼展與較輕、較低速的最適能飛機。

其他代替航空的運輸模式亦是經常被提起的減排方法。例如以軌道及客車取代航機執行高密度短程運輸。IPCC 特別報告便認為歐洲 10%的旅客可由航空轉到高速鐵路<sup>[4.1.6]</sup>。

京都議定書要求工業化國家到 2008 年至 2012 年之間必須使其全部溫室氣體排放量，與 1990 年相比，至少削減 5%。若航空運輸部門比照辦理的話，燃油消耗率需再降約 50%，CO<sub>2</sub> 每年排放保持在 4 億到 5 億噸左右。要達成此目標，最終會反應在票價的成長上<sup>[4.4.9]</sup>，如表 4-9 所示。

表 4-9 燃油效率要滿足京都議定書所需之經濟條件

各項指標	單位	1995	2008-12	增減%
總收益延人英哩RPM	十億英哩	1576	2972	89
機隊燃油效益	RPM/gal	36.1	69.0	91
燃油消耗率	gal/RPM	0.0277	0.0145	-48
總燃油消耗	十億加侖	43.7	43.1	-1.3
CO <sub>2</sub> 排放量	十億公斤	419	414	-1.3
DOC/RPM	分(美金)	4.41	2.37	-46
票價/每座	千(美金)	247	347	40

資料來源：Lee, et al. (2001)<sup>[4.4.9]</sup>。

實際上，航空部門並未納入京都議定書(Kyoto Protocol)的目標，所以排放壓力並不大。但許多證據顯示，若無政策干預，末年每年燃油效率增進約 1~2%，但航空運量卻以每年 5% 成長，換句話說，CO<sub>2</sub> 排放是以每年 3~4% 成長 IPCC<sup>[4.1.6]</sup>。因此歐盟(European Union, EU)是趨向將航空包含在歐洲環境政策架構之中<sup>[4.4.10]</sup>。2007 年 11 月 13 日歐洲議會投票通過從 2011 年開始，排放權交易制度(Emissions Trading Scheme, ETS)將納入航空業。主要因為歐盟溫室氣體排放量從 1990 年到 2003 年下降了 5.5%，但同期歐盟 25 國的國際航班排放的二氧化碳卻增加了 73%，依此趨勢至 2012 年歐盟航空業碳排放量將比 1990 年增加 1.5 倍。有鑒於此，歐洲議會在 2008 年 7 月 8 日提出將航空業納入溫室氣體排放交易的提案，並以 640 比 30 票通過該案。提案內容為 2012 年開始規範排放上限，超額則須向歐盟排放交易體系(European Union Emissions Trading Scheme, EU-ETS)購買碳排放權，且所有起飛與降落在歐盟領土的航班，將全部納入 EU-ETS 中。並明訂航空業至少要從碳交易拍賣市場購買 15% 的碳排放額度，而排放上限更從 2004 年至 2006 年間的 3% 上升到 2013 年的 5%。估計所支付的碳排放金額將用於抗暖化研究、發展低污染飛機、反森林砍伐，及協助開發中國家發展低碳交通工具等<sup>[4.4.13]</sup>。

## 4.5 小結

國內針對運輸業溫室氣體排放量的估算，大都採用能源局的能源平衡表，航空業部分的燃油耗用是由中油提供，以美金計價的即歸為國際線，無法區分本國籍或外國籍航機，而在國際線運量遠大於國內線的情況下，只適用國內航線的 IPCC Tier1 方法完全無法對我國航空業能源耗用與溫室氣體的排放作充分的瞭解。本團隊蒐整近 10 年民航局與各國際機場的國籍航機活動資料，以 EMEP/CORINAIR 燃油估算模式(Tier 3A 方法)配合繞道因子計算各年、各季國內、國際線客、貨、包機之溫室氣體排放量。

國內線的計算顯示與 Tier 1 相當接近。由於高鐵的影響，國內線能源耗油呈下滑趨勢，雖然除大陸、印度外，世界各國國內線都是小幅度成長，我國的負成長較為獨特，不過在減排角度看當然是正面的。

國際線的計算與 Tier 1 的比較，再度證明模式的可信度。本研究分解國籍、外國籍客、貨、包機的排放量，能夠首次瞭解我國航空業溫室氣體排放的情形。另外由於國際航線有許多中停的安排，只單算第 1 段的燃油消耗，亦無從反應全程的排放情況；因此本研究從嚴整理資料，補足第 2 段航程的排放計算，係國內第 1 次可以完整分析探討我國航空溫室氣體排放情境的報告。



## 第五章 水路運輸溫室氣體排放推估

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，輸入之排放係數為 IPCC<sup>[5.1.1]</sup> 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為各類能源消費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。

然而，本章雖命名為水路運輸，但內容皆以 IPCC 的分類為執行目標，大多屬於商船運輸之溫室氣體排放量之情況，不包含漁船以及 100 噸以下之商船，以下將本研究所蒐集之水運資料分述如下。

### 5.1 公部門資料

本研究為使水運部門之能源排放方面資料更齊全，已先拜訪水運相關之公部門，並蒐集水運方面能源消耗相關資料，拜訪之公部門分別為：交通部航政司、經濟部能源局、臺灣中油公司等 3 單位，以下將分節詳述之。

#### 5.1.1 交通部航政司

依據交通部航政司提供之資料，分別就歷年延噸海裡、歷年國籍船各船種之總噸位佔比，以及歷年國籍船各船種之載重噸佔比說明如後。

##### 5.1.1.1 延噸海裡

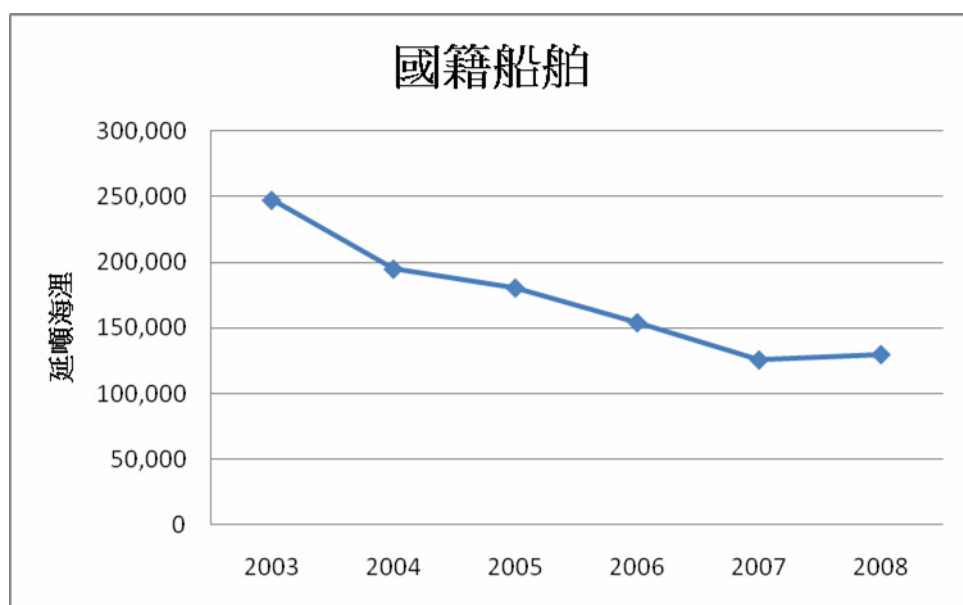
在歷年延噸海裡部分，交通部統計處是以書面問卷方式寄送臺灣登記有案之國籍船公司負責填寫，回收後所得之資料加以統計後整理成表。表 5-1 為 2003 年至 2008 年之國籍船延噸海裡資料，由數據顯示，從 2003 年

247,560 延噸海裡至 2008 年 129,950 延噸海裡有下降之趨勢，符合近幾年中國港口興起，影響臺灣港口船舶運輸之貨量，因大三通於 2008 年 11 月 15 日開始實施，因此海運之貨量勢必有所變動，目前尚無法得知 2009 年後對於臺灣航運之確實影響數據，但近年來臺灣貨量是呈現下降趨勢，延噸海裡也因此下降，如圖 5-1 所示。

表 5-1 國籍船歷年延噸海裡(單位：延噸海裡)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
國籍船舶	247,560	195,066	180,710	154,245	125,847	129,950

資料來源：交通部統計要覽<sup>[5.1.2]</sup>。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-1 歷年國籍船延噸海裡數

### 5.1.1.2 總噸位

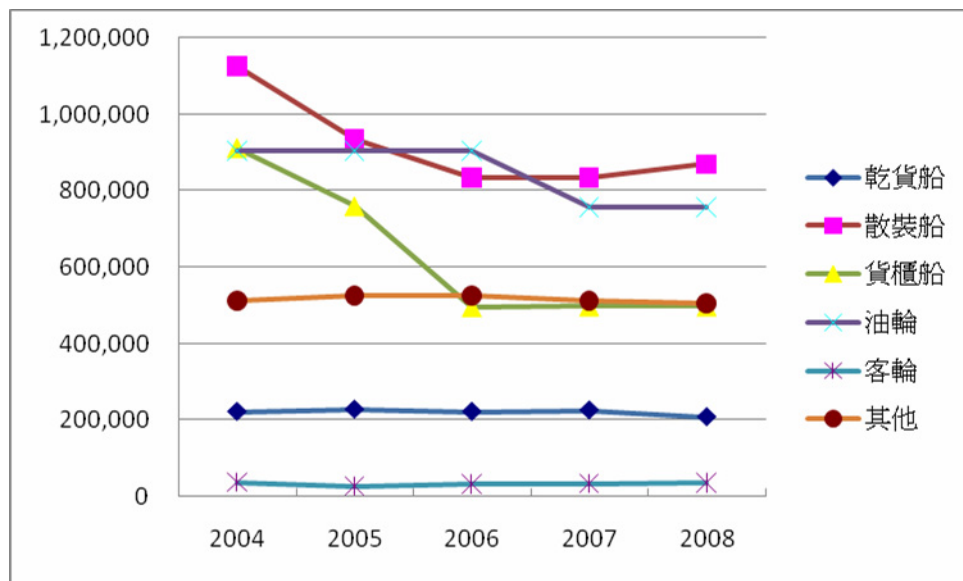
在歷年各國籍船各船種總噸位佔比方面，依據交通統計要覽之分類統計，如表 5-2、圖 5-2、圖 5-3。以 2004 年為例，散裝船佔 30.34%、貨櫃船佔 24.56%、油輪佔 24.36%，乾貨船佔 5.99%、客輪佔 1%、其他船種佔 13.75%。其他船種包括：專用船、運輸船舶、礦砂船、廢油廢水船、液化專用船等。2005 年、2006 年、2007 年散裝船佔比分別為 27.68%、27.66%、

29.15%。自 2005 年開始，只有散裝船與油輪佔比高於 20%，又 2006 年油輪佔 30.07%，高於散裝船之 27.66%。2008 年散裝船佔 30.26%、油輪佔 26.38%，其餘 4 種船型佔比皆低於 20%。由此可見臺灣船舶總噸位以散裝船與油輪最多。

表 5-2 國籍船各船種之總噸位(單位：噸)

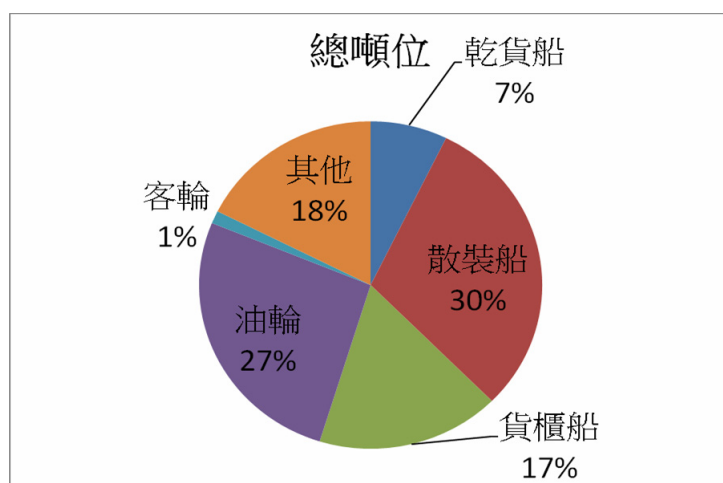
	乾貨船	散裝船	貨櫃船	油輪	客輪	其他
2004	222,568	1,126,658	911,795	904,335	37,053	510,598
2005	228,606	935,887	758,794	905,403	27,441	524,534
2006	222,584	832,934	494,555	905,403	32,351	522,972
2007	226,448	832,934	496,548	757,430	33,456	510,206
2008	208,259	868,808	496,548	757,430	35,925	504,247

資料來源：交通部航政司。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-2 歷年各船種總噸位數(單位：噸)



資料來源：本研究繪製。

圖 5-3 2008 年各船種之總噸位佔比

### 5.1.1.3 載重噸

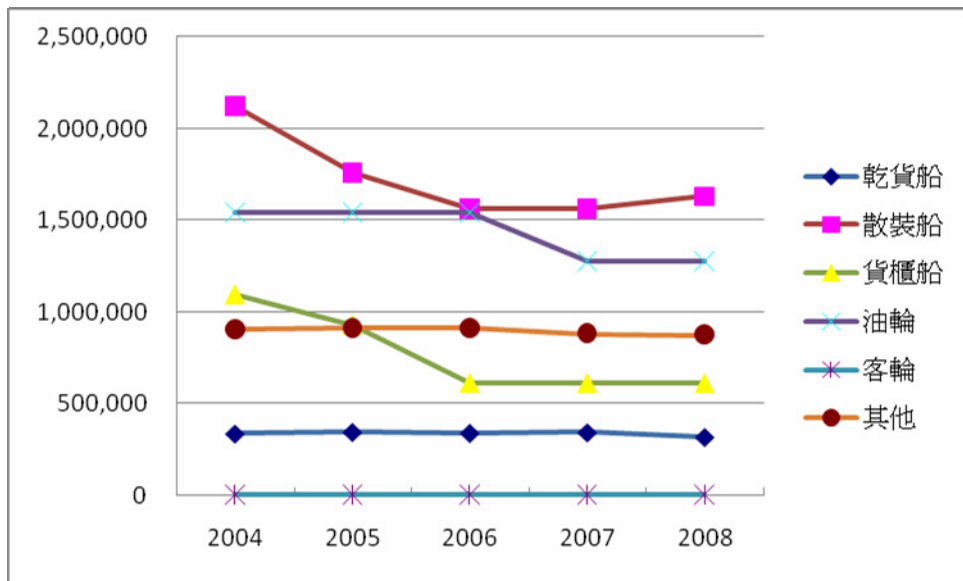
在歷年國籍船各船種載重噸佔比方面，如表 5-3、圖 5-4、圖 5-5，以 2004 年為例，散裝船佔 35.35%、貨櫃船佔 18.24%、油輪佔 25.67%，乾貨船佔 5.58%、客輪佔 0.13%、其他船種佔 15.04%。其餘 2005 年、2006 年、2007 年散裝船佔比分別為 32%、31.40%、33.36%。自 2005 年開始，只有散裝船與油輪佔比高於 20%，且散裝船皆高於油輪。2008 年散裝船佔 34.58%、油輪佔 27.11%，其餘 4 種船型佔比皆低於 20%。由此可見臺灣船舶載重噸以散裝船較高。

表 5-3 國籍船各船種之載重噸(單位：噸)

	乾貨船	散裝船	貨櫃船	油輪	客輪	其他
2004	335,446	2,123,635	1,095,656	1,542,229	7,855	903,330
2005	344,166	1,757,890	929,570	1,544,083	5,356	912,413
2006	338,793	1,560,882	611,738	1,544,083	6,012	909,416
2007	342,126	1,560,882	609,530	1,278,100	6,201	882,263
2008	316,102	1,630,192	609,530	1,278,100	6,501	874,129

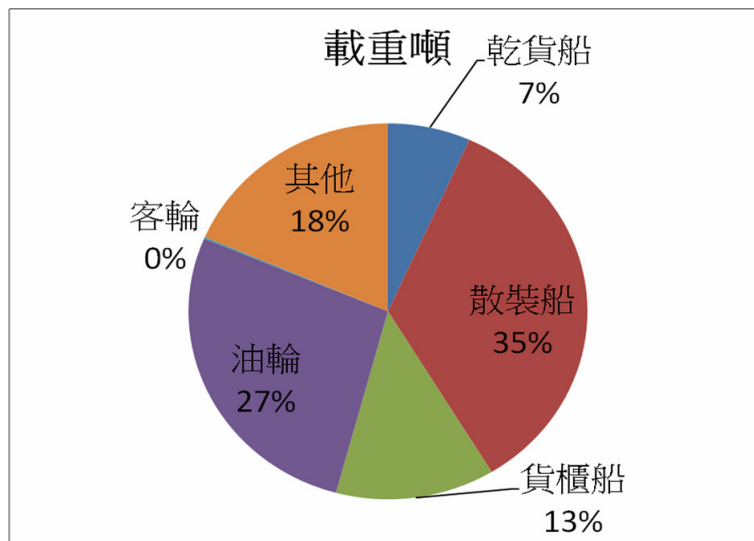
資料來源：交通部航政司。





資料來源：本研究繪製。

圖 5-4 歷年各船種載重噸位數(單位：噸)



資料來源：本研究繪製。

圖 5-5 2008 年各船種之載重噸佔比

## 5.1.2 經濟部能源局

經濟部能源局之能源統計資料中，能源平衡表中之水運資料只包含國際水運及國內水運之用油，並未分類國際船舶以及國籍船舶，而能源平衡表編製說明之定義國際海運及國內水運如下：

## 1.國際海運：

- (1)指在本國港口售予目的地為境外港口之船舶燃料，而不論其船籍為何國(本橫列數字自 83 年表增列)，其分類與舊格式無異。
- (2)國際航運(bunker)與出口(cargo)不同。又飛往境外機場之民航機在本國機場所添加之燃料，仍列入運輸部門而屬國內之最終消費，此為國際海運與國際航空在歸類邏輯之不同處。

## 2.國內水運：

- (1)能源平衡表中，運輸部門包括國際航空、國內航空、公路、鐵路、管線運輸及國內水運(不含國際海運)之能源消費量，其分類較舊格式為細。
- (2)基本上各種運輸之能源消費，係使用於運輸工具之能源，如鐵路運輸之電力消費量，僅為軌道用電，至航空、公路、鐵路及水運之場站用電，歸入服務業部門之運輸服務業。舊格式資料之歸類亦已配合調整。

因臺灣水運部門主要用油為臺灣中國石油以及台塑石油兩大公司所提供，為了解能源平衡表內有關水運之油料使用狀況，本案已拜訪經濟部能源局提供水運部門之國際用油及國內用油詳細數據如表 5-4、表 5-5。

表 5-4 能源平衡表中水運部分之國際用油(單位：公秉)

年份	柴油			燃料油		
	中油 <sup>a</sup>	台塑 <sup>a</sup>	總計	中油 <sup>b</sup>	台塑 <sup>b</sup>	總計
2003	200,744	3,284	204,028	2,642,463	390,823	3,033,286
2004	221,148	5,806	226,954	2,289,589	127,912	2,417,501
2005	304,190	8,187	312,377	2,221,776	123,151	2,344,927
2006	211,073	8,362	219,435	2,173,751	145,509	2,319,260
2007	204,401	10,073	214,474	1,953,115	105,323	2,058,438
2008	182,122	12,185	194,307	1,630,822	135,559	1,766,381

註：a.產銷月報「柴油」之「國際航運」b.產銷月報「燃料油」之「國際航運」

資料來源：經濟部能源局。

表 5-5 能源平衡表中水運部分之國內用油(單位：公秉)

年份	柴油		總計	燃料油		
	中油 <sup>a</sup>	台塑 <sup>b</sup>		中油 <sup>c</sup>	台塑 <sup>d</sup>	總計
2003	107,249	4,491	111,740	221,310	809	222,119
2004	120,860	3,568	124,428	196,822	47,151	243,973
2005	128,864	4,514	133,378	207,862	45,258	253,120
2006	116,780	3,629	120,409	209,120	33,575	242,695
2007	123,630	3,483	127,113	169,034	33,533	202,567
2008	104,881	2,200	107,081	140,440	20,097	160,537

註：a. 產銷月報「柴油」之「水運」

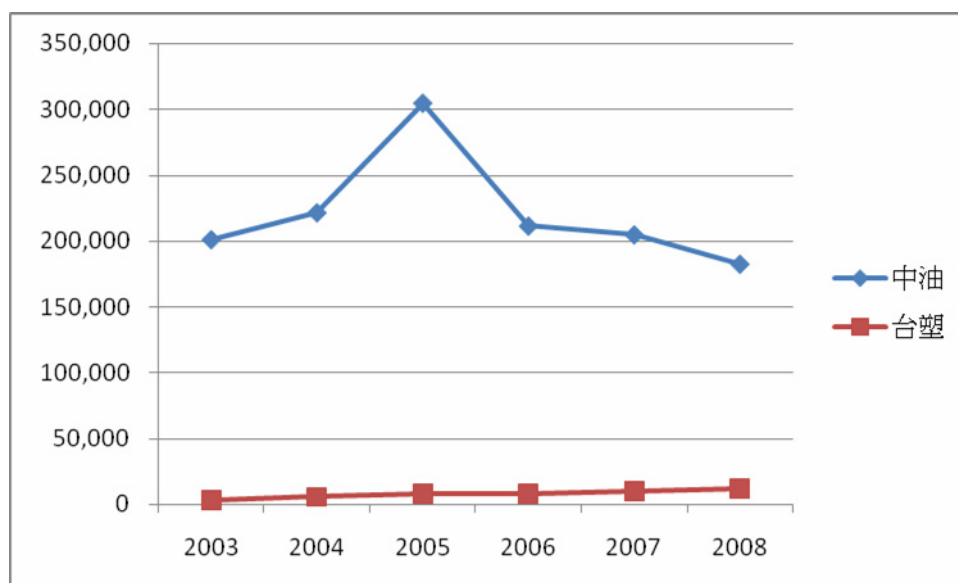
b. 產銷月報「柴油」之「水運」+「運輸服務業」

c. 產銷月報「燃料油」之「水運」

d. 產銷月報「燃料油」之「水運」+「運輸服務業」

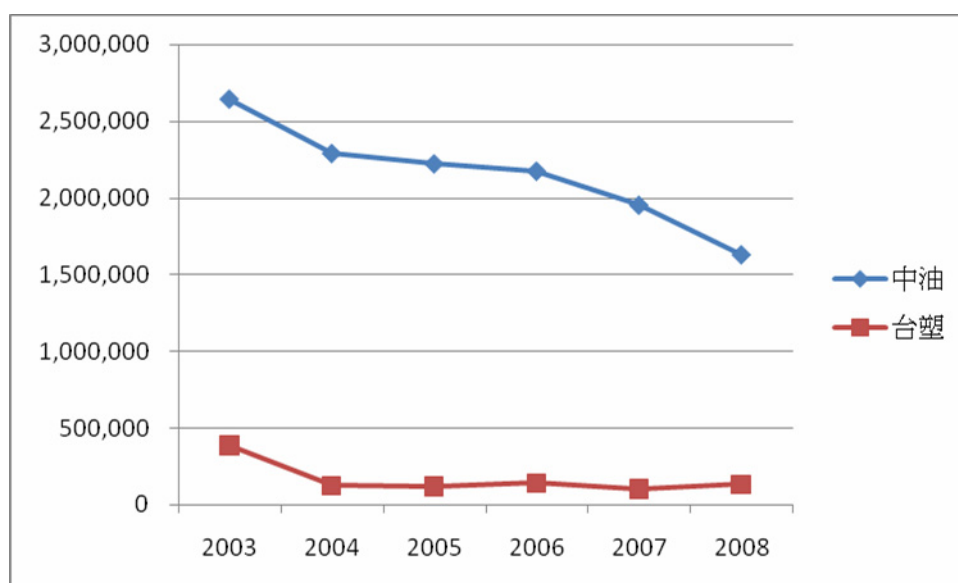
資料來源：經濟部能源局。

由表 5-4 得知，平衡表中國際用油大多為中油公司所供應，近年來，在國際用油部分無論是柴油或是燃料油，中油提供之油料數量逐漸減少，如圖 5-6 與圖 5-7 所示。



資料來源：本研究繪製。

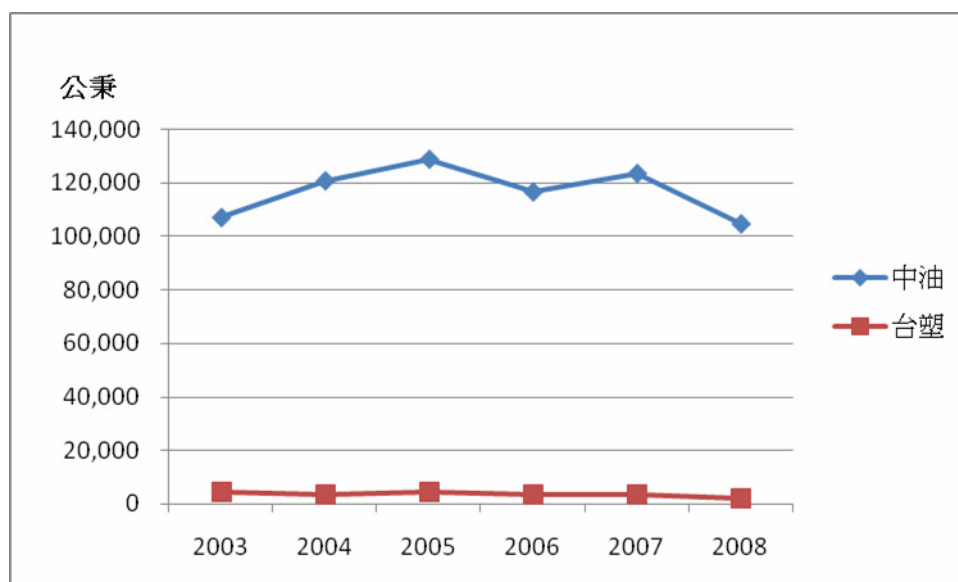
圖 5-6 國際用油之柴油耗油量(單位：公秉)



資料來源：本研究繪製。

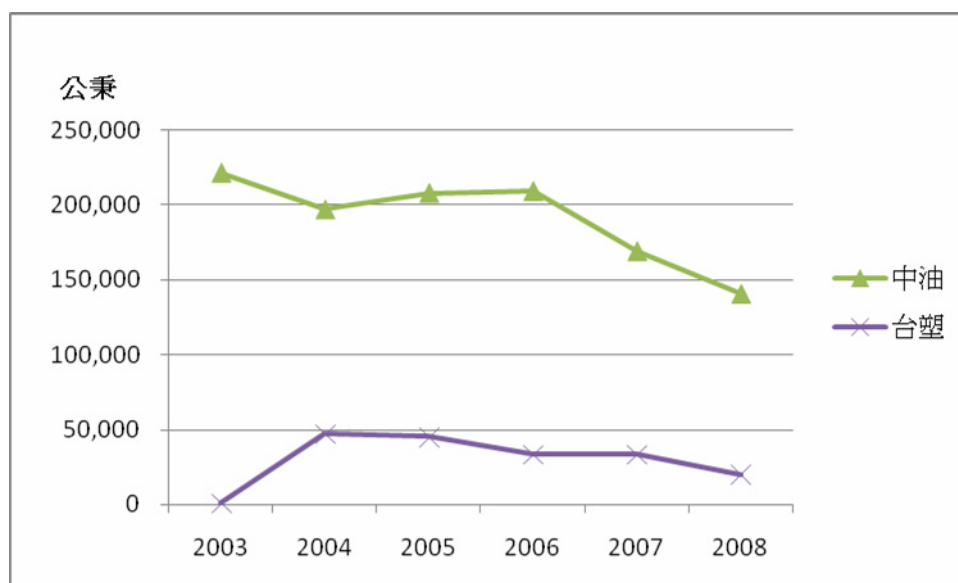
圖 5-7 國際用油之燃料油耗油量(單位：公秉)

由表 5-5 得知，國內航運用油資料是由中油公司以及台塑石油所提供，平衡表中國內用油也是中油公司提供量佔大多數，在國內用油部分，無論是柴油或是燃料油，中油提供之油料數量也呈現逐漸減少的趨勢，如圖 5-8 與圖 5-9 所示。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-8 國內用油之柴油耗油量圖



資料來源：本研究繪製。

圖 5-9 國內用油之燃料油耗油量

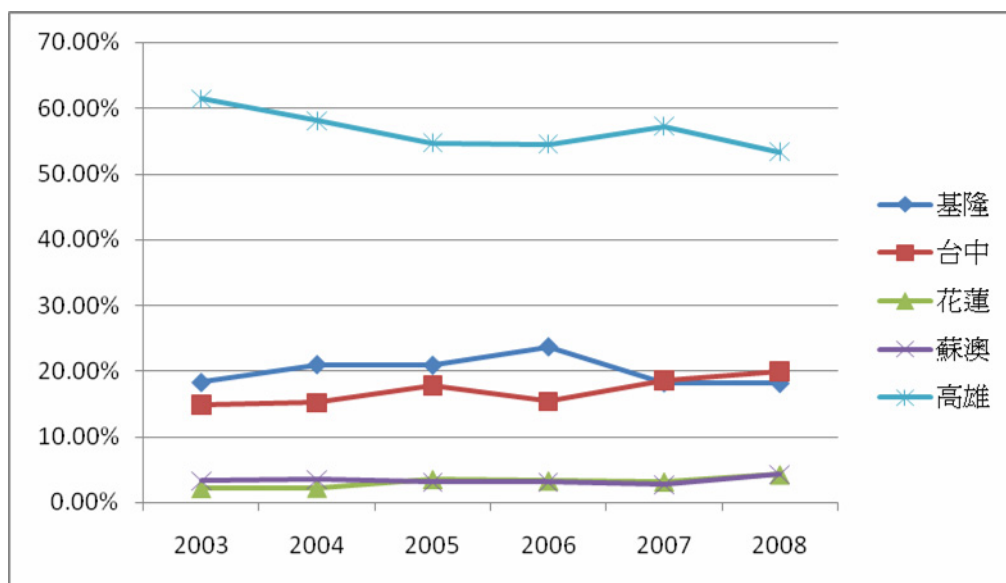
### 5.1.3 臺灣中油公司

能源平衡表僅得知水運之國際與國內用油，但無法得知各港口之用油比例，臺灣中油公司為臺灣水運目前最大供應油料之公司，因此本研究向中油公司取得各港口國內用油、國際用油，如圖 5-10 至 5-13 所示。

另外，臺灣中油公司對國內港口用油及國際港口用油的定義如下：

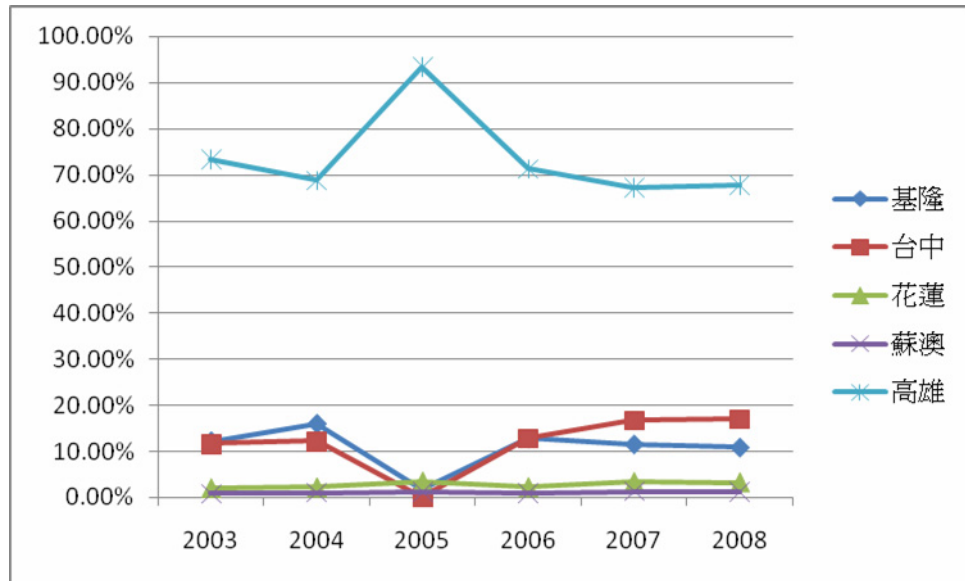
- 1.國內用油：航行臺灣海域之船隻用油。
- 2.國際用油：下一港口為臺灣海域以外港口之船舶用油。

以國際用油來說，各港口使用柴油皆以高雄港用油最多，大約佔 50%-65%之間，其次為基隆港與臺中港，大約佔 15%-25%之間。燃料油也是以高雄港用油最多，大約佔 68%-90%之間，其次為基隆港與臺中港，大約佔 0%-20%之間，如圖 5-10 與圖 5-11 所示。



資料來源：本研究繪製。

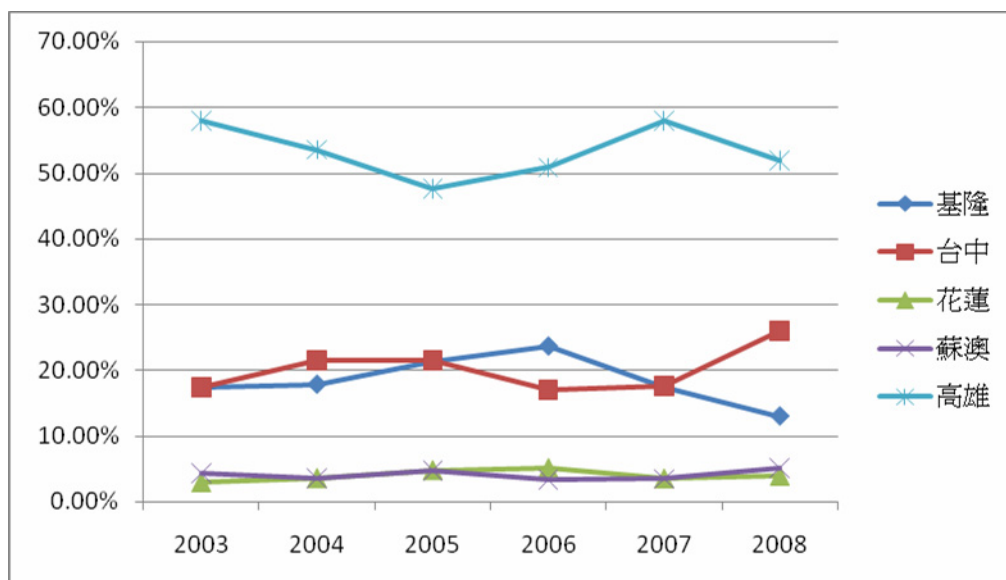
圖 5-10 每年各港口國際柴油用油佔比



資料來源：本研究繪製。

圖 5-11 每年各港口國際燃料油用油佔比

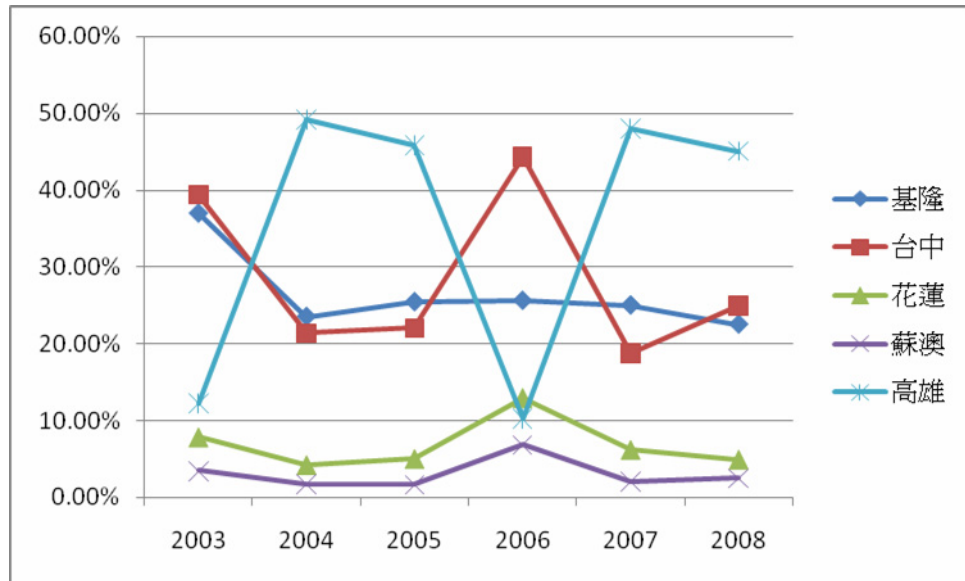
在國內用油部分，柴油與國際之柴油用量趨勢相同。燃料油部分則是高雄港、基隆港與臺中港用油變化幅度較大，花蓮港與蘇澳港則是各年度變化量較小，如圖 5-12 與圖 5-13 所示。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-12 每年各港口國內柴油用油佔比

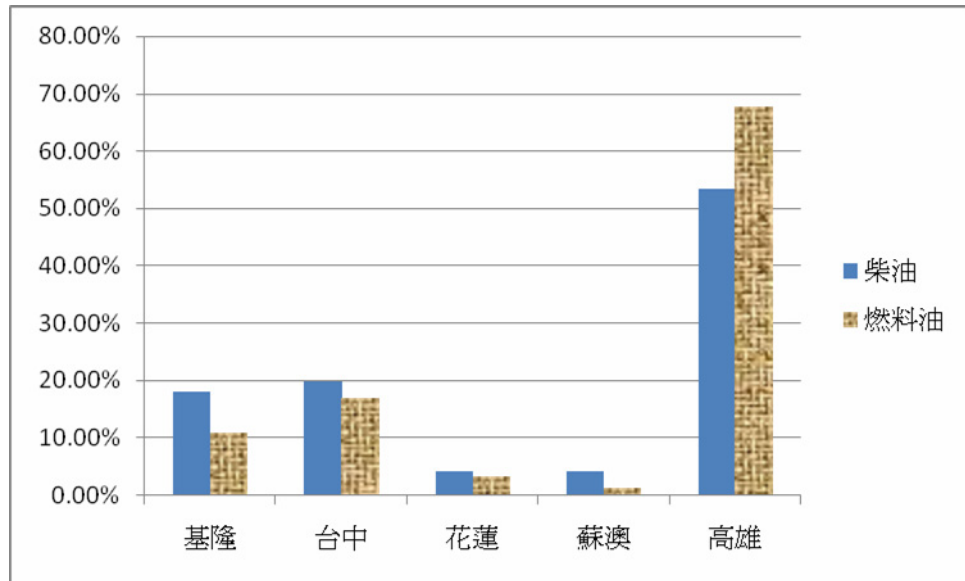




資料來源：本研究繪製。

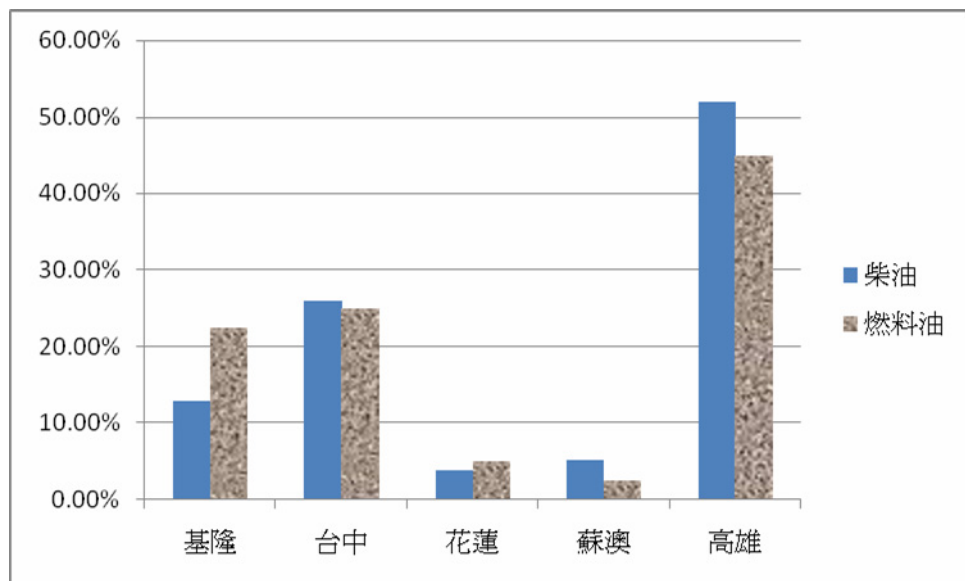
圖 5-13 每年各港口國內燃料油用油佔比

其次，若以各港口年度柴油與燃料油之比例來觀察，以 2008 年為例，如圖 5-14、圖 5-15 所示，各港口國際用油佔比，以高雄港佔比最多，柴油約 54%，燃料油約 68%，可見高雄港進出之船舶較其他港口多。而國內用油部分，則是以高雄港最多，臺中港次之，再次為基隆港。高雄港國內柴油約 51%，燃料油約 45%。臺中港國內柴油約 26%，燃料油約 25%。基隆港國內柴油約 12%，燃料油約 21%。由此可見，臺中港與高雄港之柴油多於燃料油，基隆港之燃料油多於柴油。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-14 2008 年國際用油占比



資料來源：本研究繪製。

圖 5-15 2008 年國內用油占比

## 5.2 個案分析

根據 IPCC 提供之船舶分類及相關排放係數，如表 5-6 所示，將船種分成 14 種等級，但此船種分類與交通部統計要覽之分類有所差異，因此本研究選擇以國內交通部統計要覽之分類為主，同時也是 IPCC 的船種分類的主要船種來作為調查對象，分別為：散裝船、貨櫃船、客輪等 3 類。

因國內每一船種都含有多家船公司，船型、引擎型式都不同，使用油品、能源消耗亦不同，不易做普查，因此本研究選擇拜訪 3 種船種之代表公司，即以代表性之散裝船公司、貨櫃船代表公司、客輪代表公司來分析國內 3 船種之油耗量，本研究對以下相關名詞之定義如下，以便於各船公司提供資料：

1. 國內用油：船舶航行中，目的港為臺灣任一港口所耗用之油量，即為國內用油。
2. 國際用油：除國內用油外為國際用油。
3. 國籍船：船舶之國籍掛於中華民國之船舶，航行之港口不一定為臺灣之任一港口，即國籍船。

表 5-6 IPCC 各種船之燃料消耗因子(全速)

船種	平均消耗(噸/天)	總噸位(GRT)之全速消耗函數(噸/天)
散貨船		
固體散貨船	33.8	$20.186+0.00049*\text{GRT}$
液體散貨船	41.8	$14.685+0.00079*\text{GRT}$
一般貨運船	21.3	$9.8197+0.00143*\text{GRT}$
貨櫃船	65.9	$8.0552+0.00235*\text{GRT}$
客運/滾裝/貨運船	32.3	$12.834+0.00156*\text{GRT}$
客運船	70.2	$16.904+0.00198*\text{GRT}$
高速渡船	80.4	$39.483+0.00972*\text{GRT}$
內路貨運船	21.3	$9.8197+0.00143*\text{GRT}$
航行船隻	3.4	$0.4268+0.00100*\text{GRT}$
拖船	14.4	$5.6511+0.01048*\text{GRT}$
捕撈船	5.5	$1.9387+0.00448*\text{GRT}$
其他船隻	26.4	$9.7126+0.00091*\text{GRT}$
所有船隻	32.8	$16.263+0.001*\text{GRT}$

資料來源：Techne(1997)、IPCC(2006)<sup>[5.1.1]</sup>。

## 5.2.1 散裝船

散裝船方面，本研究拜訪國內某大型散裝船公司為個案，獲得該公司數年之國籍散裝船艘數、載重噸與用油量。依據交通部航政司提供之數據顯示，以 2008 年為例，國內之國籍散裝船之總噸位為 868,808 噸，載重噸為 1,630,192 噸；而個案散裝船公司之國籍散裝船之總噸位 129,957 噸及載重噸 238,823 噸，如表 5-7 所示，此散裝船公司在 2008 年航政司統計之國籍船數據中約佔總散裝船之比重為 15%。

表 5-7 2008 年國籍散裝船總噸位及載重噸

	總噸位	載重噸
國籍散裝船總量(航政司)	868,808	1,630,192
個案散裝船公司	129,957	238,823
比重	14.96%	14.65%

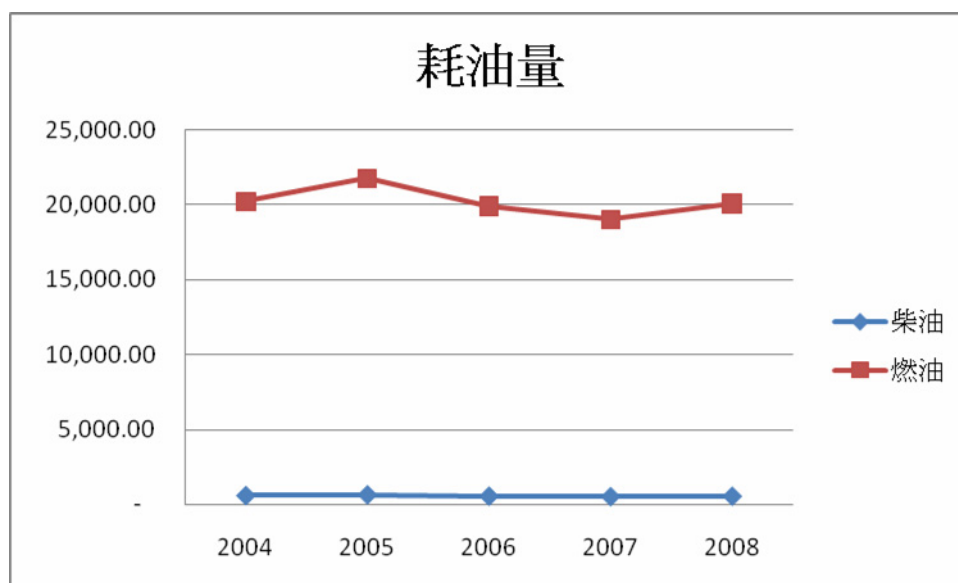
資料來源：本研究整理。

依據個案散裝船公司所提供之國籍船國內用油製成表 5-8，由數據可知此散裝船公司從 2004 至 2008 之船舶總噸位(船舶艘數)沒變化，而在油料使用上，柴油有逐漸減少之趨勢，燃料油則變化不大，如圖 5-16 所示。

表 5-8 個案散裝船公司耗油(單位：噸)

	總噸位	柴油	燃料油
2004	218,310	614.23	20,220.61
2005	218,310	668.49	21,769.93
2006	218,310	572.97	19,912.71
2007	218,310	541.14	19,019.33
2008	218,310	572.75	20,082.44

資料來源：個案散裝船公司提供。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-16 個案散裝船公司耗油量(單位：噸)

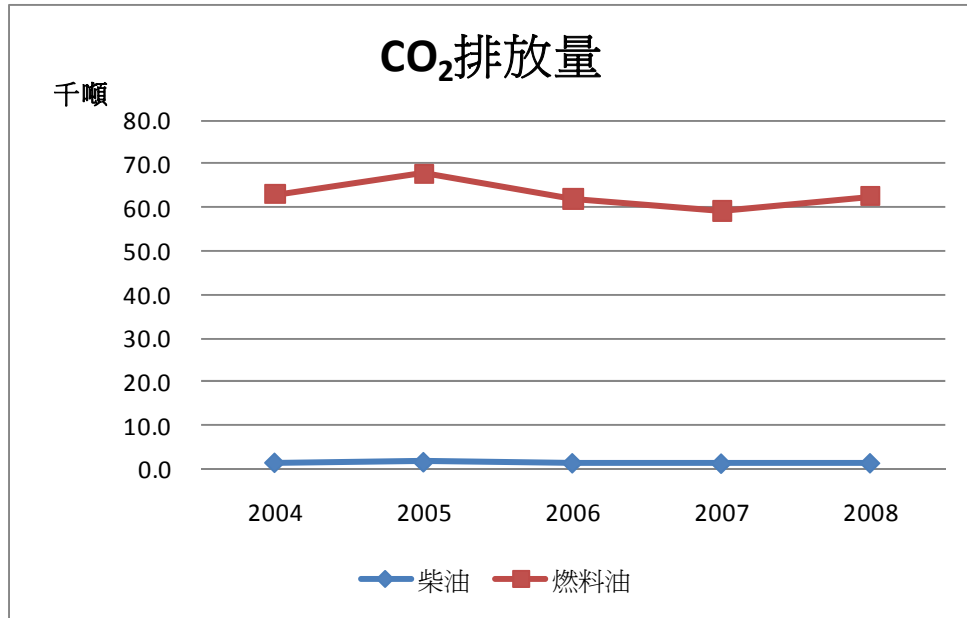
依據 IPCC Tier 1 的計算公式，將個案公司之油耗換算為所排放之溫室氣體量，個案散裝船公司各 GHG 排放量如表 5-9 所示。其中，CH<sub>4</sub> 與 N<sub>2</sub>O 排放量相對較低，無論是柴油或是燃料油皆相對不高，CH<sub>4</sub> 仍比 N<sub>2</sub>O 排放多些，CO<sub>2</sub> 為 GHG 排放之主體，而燃料油又比柴油排放量高。

表 5-9 某散裝船公司各 GHG 排放量(單位：噸)

年份	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		GHG	
	柴油	燃料油	柴油	燃料油	柴油	燃料油	柴油	燃料油
2004	1,600.68	62,906.31	0.151	5.682	0.043	1.618	1,617.26	63,512.93
2005	1,742.09	67,726.25	0.164	6.117	0.047	1.742	1,760.14	68,379.35
2006	1,493.15	61,948.45	0.141	5.595	0.040	1.593	1,508.62	62,545.83
2007	1,410.22	59,169.12	0.133	5.344	0.038	1.522	1,424.83	59,739.70
2008	1,492.59	62,476.47	0.141	5.643	0.040	1.607	1,508.06	63,078.95

資料來源：本研究整理。

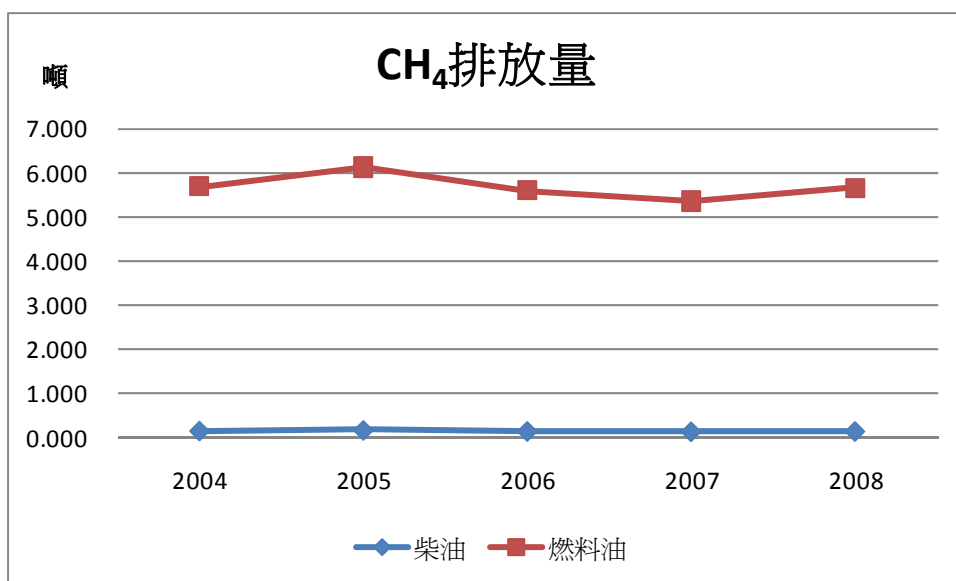
表 5-9 中之數據可分別繪製為圖 5-17 至圖 5-20，個案散裝船公司之 CO<sub>2</sub> 之排放，燃料油比柴油高，且與柴油之排放數量相差甚多，若欲減低 CO<sub>2</sub> 的排放量可以考量從降低燃料油的使用量著手。



資料來源：本研究繪製。

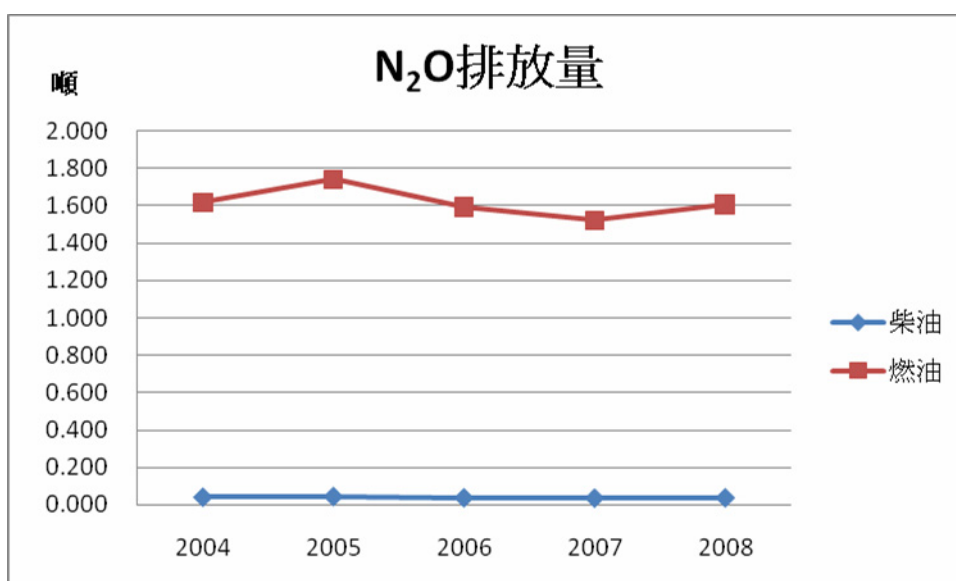
圖 5-17 某散裝船公司 CO<sub>2</sub> 排放量

圖 5-18 與圖 5-19 為 CH<sub>4</sub> 與 N<sub>2</sub>O 排放量，CH<sub>4</sub> 之燃料油排放量比柴油的多，N<sub>2</sub>O 之燃料油排放量亦比柴油的多，兩者皆為排放相對較少之 GHG。



資料來源：本研究繪製。

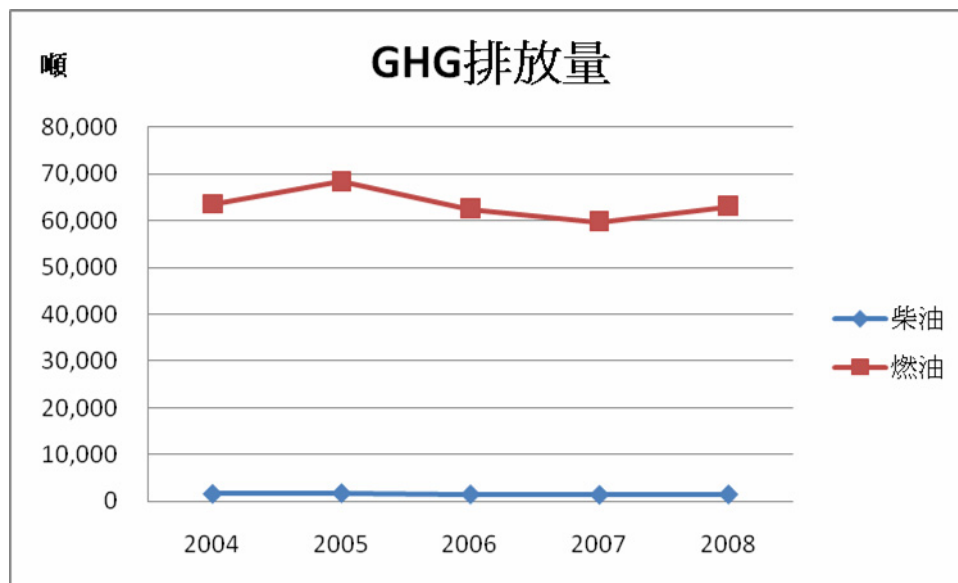
圖 5-18 某散裝船公司 CH<sub>4</sub> 排放量



資料來源：本研究繪製。

圖 5-19 某散裝船公司 N<sub>2</sub>O 排放量

圖 5-20 為個案散裝船公司之 GHG 排放量，燃料油較柴油排放多，與 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 相同。GHG 排放量大多是因為 CO<sub>2</sub> 排放較多，可見散裝船部分，因船舶使用燃料油較多，又燃料油排放較多 CO<sub>2</sub> 導致排放量增加。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-20 個案散裝船公司 GHG 排放量

由表 5-9 可知，無論是何種 GHG 排放量燃料油的排放量依舊是比柴油排放量高，CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 中，CO<sub>2</sub> 的排放量大於其他兩者。

## 5.2.2 貨櫃船

貨櫃船方面，本研究拜訪國內某大型貨櫃船公司為個案，獲得該公司數年之國籍貨櫃船艘數、載重噸與用油量。依據交通部航政司提供之數據顯示，針對個案貨櫃船公司之國籍船每航次之總噸位及載重噸做整理，如表 5-10 所示。此貨櫃船公司在 2008 年航政司統計之國籍船數據中佔總貨櫃船公司之 40%，比重算是很大。



表 5-10 2008 年個案貨櫃船公司總噸位及載重噸佔比

	總噸位	載重噸
國籍貨櫃船總數(航政司)	496,548	609,530
個案貨櫃船公司	202,707	248,452
佔比	40.82%	40.76%

資料來源：本研究整理。

個案貨櫃船公司提供國籍船之相關資訊以及此貨櫃船公司登記於交通部航政司之國籍船總噸位、載重噸、各種燃油消耗量如表 5-11 所示。

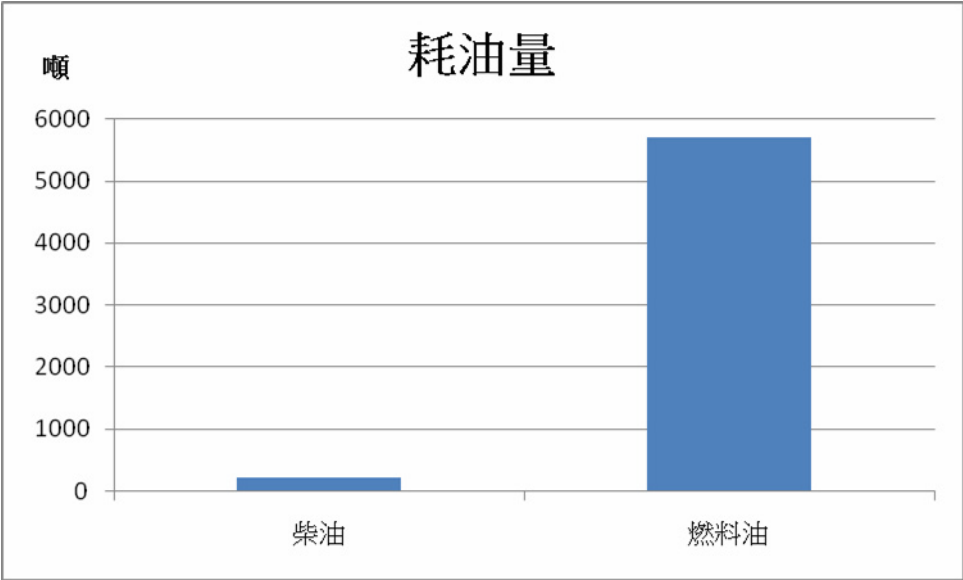
表 5-11 2008 年某貨櫃船公司之國籍船每一航次耗油資料

編號	總噸位(噸)	載重噸(噸)	建造年份	消耗油種(噸)	
				柴油	燃料油
1	37,023	43,401	1984	1.4	161.2
2	37,023	43,401	1984	27.4	401.7
3	37,023	43,401	1985	151.9	3,889.6
4	12,405	17,438.86	1991	5	58.9
5	12,405	17,438.86	1992	5.4	146.8
6	12,405	17,438.86	1992	7.4	196.1
7	12,405	17,438.86	1992	10	232
8	12,405	17,438.86	1993	4.5	135
9	14,807	15,511.46	1997	0.4	247.1
10	14,807	15,511.46	1998	0	226.7
合計	202,708	248,420.22		213.4	5,695.1

資料來源：個案貨櫃船公司提供。

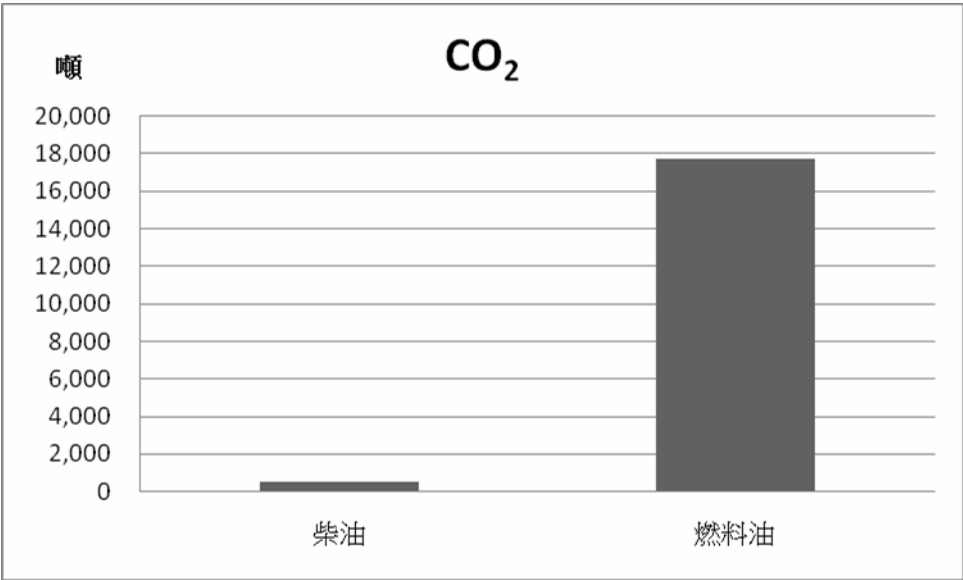
此貨櫃船公司僅提供國籍船舶每一航次之用油量，因此加總國籍船每一航次耗油量，以計算該公司之總耗油量如圖 5-21 所示，並依據國籍船每一航次用油量計算各航次排放量，再加總為該公司之總排放量，如圖 5-22 所示。編號 3 之國籍船舶為 10 艘國籍船舶中，消耗柴油(152 噸)及燃料油

(3,890 噸)最多，此貨櫃船公司消耗柴油 213 噸、燃料油近 5,700 噸，相較之下，燃料油之消耗量較多，因此燃料油之 GHG 排放量也相對較多。



資料來源：本研究繪製。

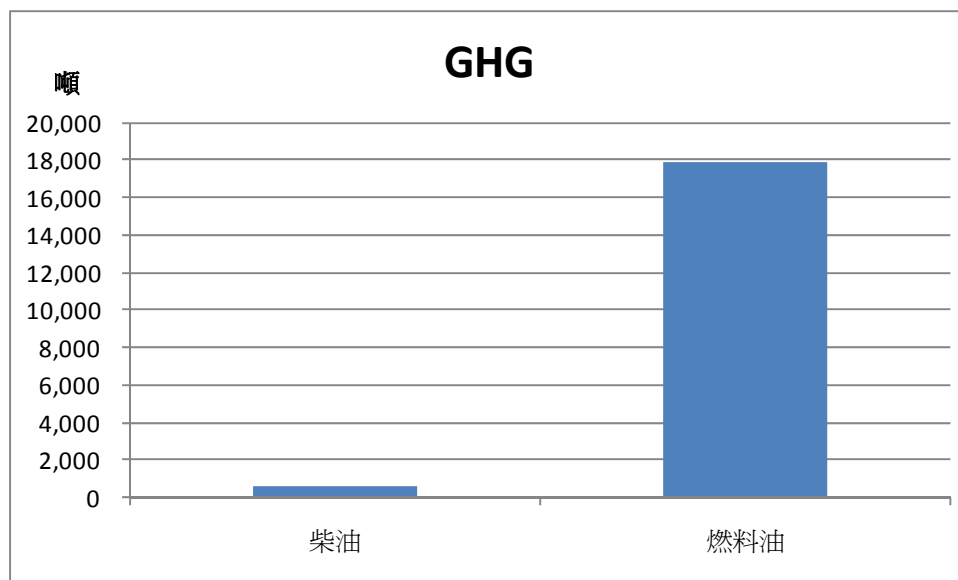
圖 5-21 個案貨櫃船公司耗油量



資料來源：本研究繪製。

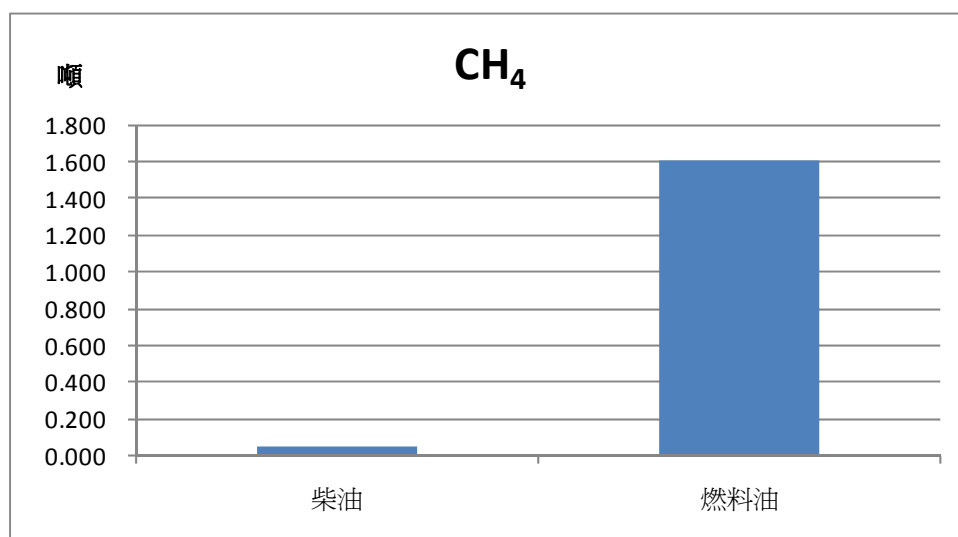
圖 5-22 某貨櫃船公司 CO<sub>2</sub> 排放量

依據本研究之推估此貨櫃船公司每一航次之 GHG 排放量，如圖 5-22 至圖 5-25，可見貨櫃船排放 CO<sub>2</sub> 較多。



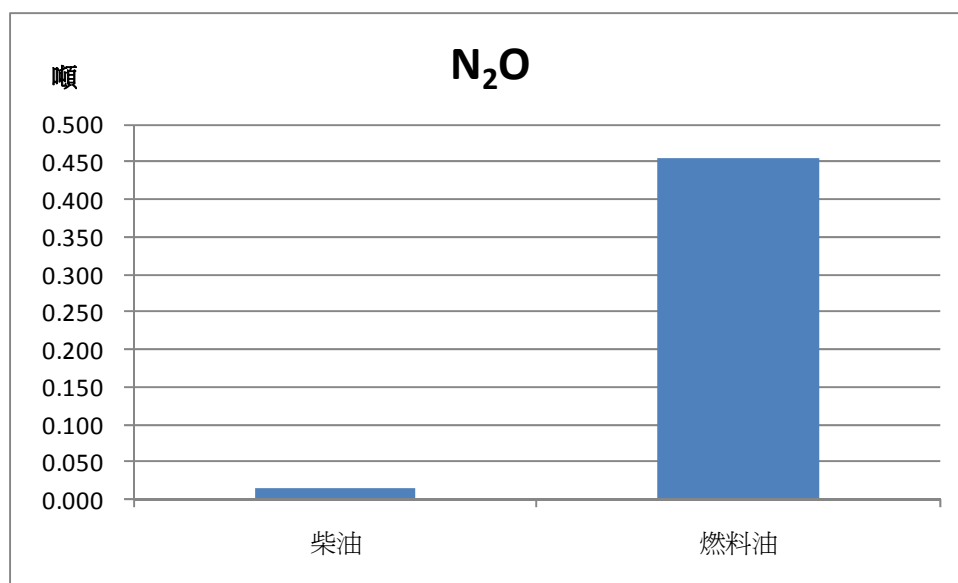
資料來源：本研究繪製。

圖 5-23 某貨櫃船公司 GHG 排放量



資料來源：本研究繪製。

圖 5-24 某貨櫃船公司 CH<sub>4</sub> 排放量



資料來源：本研究繪製。

圖 5-25 某貨櫃船公司 N<sub>2</sub>O 排放量

### 5.2.3 客輪

在客輪的部分，臺灣較大型的客輪為臺馬輪及臺華輪，臺馬輪由基隆開往馬祖，臺華輪則是由高雄開往馬公。此資料來源為基隆港務局根據前幾年政府提供客輪補貼油費時所登記之資料，此資料不盡完全代表現行臺灣兩大客輪之油耗狀況。兩大客輪知詳細資料如表 5-12 所示。

表 5-12 臺灣兩大客輪之相關資料

船名	總噸位	載重噸 (噸)	總載客數 (人)	建造年份	消耗油種(噸)/航次		航線
					柴油	燃料油	
臺馬輪	5,039	966	500	1985	1,087	7,292	基隆-馬祖
臺華輪	8,134	2,296	1,150	1989	257	8,039	高雄-馬公

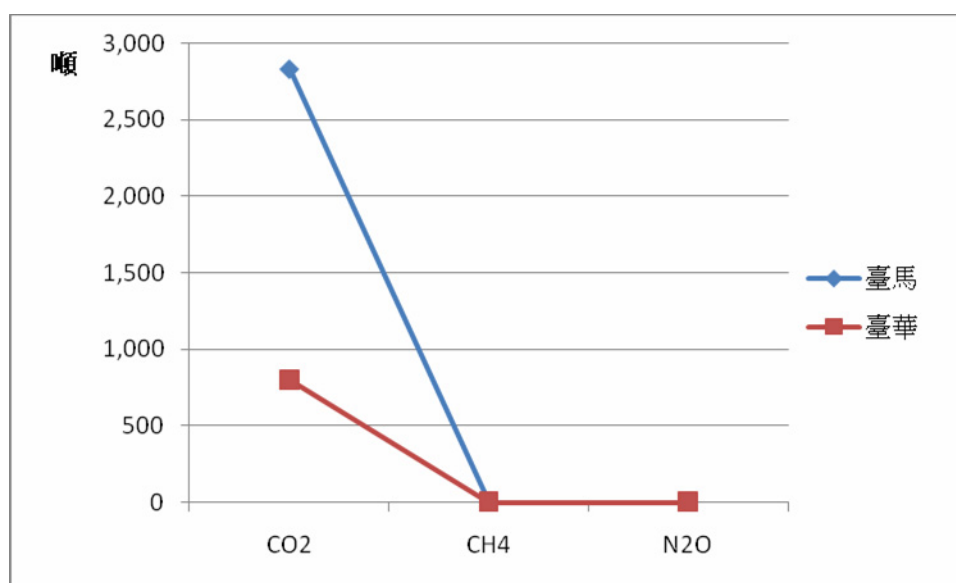
資料來源：交通部基隆港務局。

在耗油量部分，臺華輪每航次柴油消耗較少，燃料油消耗較多。依據表 5-12 提供之油耗數據，推估兩大客輪排放量，GHG 排放量如表 5-13 所示。

表 5-13 客輪排放量(單位：噸)

油種	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		GHG	
	柴油	燃料油	柴油	燃料油	柴油	燃料油	柴油	燃料油
臺馬輪	2,833	19,003	0.2674	1.7938	0.0761	0.5104	2,862	19,200
臺華輪	800	25,009	0.0722	2.2590	0.0206	0.6431	807	25,250

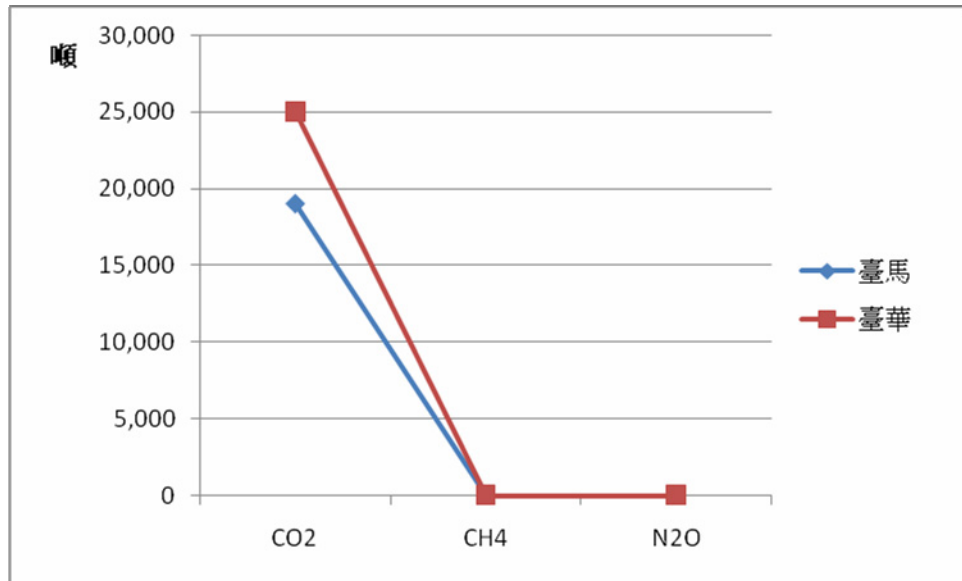
資料來源：本研究整理



資料來源：本研究繪製。

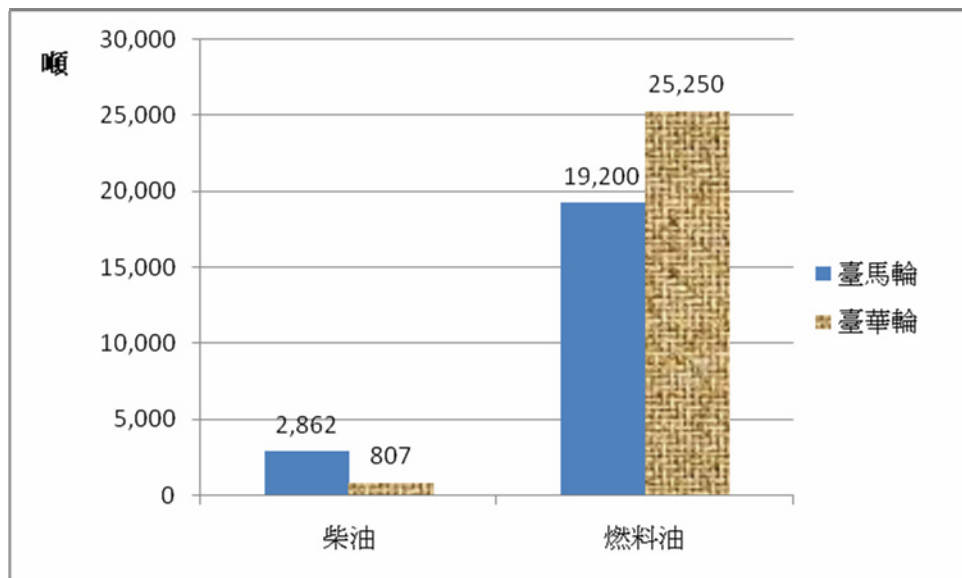
圖 5-26 客輪使用柴油之 GHG 排放量

如圖 5-26 與圖 5-27 所示，臺馬輪與臺華輪 CO<sub>2</sub> 排放較多，其中柴油的部分是以臺馬輪最高，燃料油部分以臺華輪最高。在 GHG 方面顯示，臺華輪消耗燃料油導致排放 GHG 最多，臺馬輪消耗柴油導致排放 GHG 最多，詳如圖 5-28 所示。



資料來源：本研究繪製。

圖 5-27 客輪使用燃料油之 GHG 排放量



資料來源：本研究繪製。

圖 5-28 客輪 GHG 排放量

## 5.3 各國之節能做法

### 5.3.1 中國大陸提出的節能政策與法規

中國大陸為了推動全社會節約能源，提高能源利用效率、保護和改善環境、促進經濟社會全面協調可持續發展的情況下，在 2006 年頒佈『中國節能技術大綱』<sup>[5.3.1]</sup>之白皮書，針對國內各種相關產業進行節能相關的建議與技術綱要，又於 2007 年 10 月 28 日修訂通過，現將修訂後的「中華人民共和國節約能源法」公佈，自 2008 年 4 月 1 日起開始施行，針對許多產業要求節能，其中針對交通運輸部分，期望國務院加強建設節能型綜合交通運輸體系，及加強交通運輸組織管理。另引導道路、水運、航空運輸企業提高運輸程度組織結構化和集中水準，提高能源效率之外，尚針對船舶運輸部分制定運輸燃料消耗量標準，不符合標準者，不得用於營運。國務院更是積極要求有關交通運輸主管部門應當加強對交通運輸營運車船燃料消耗檢測的監督管理，其中對於海運部分，2006 年中國節能所提倡的技術建議方式如下：

1. 開發和採用節能新船型，降低老舊船和落後機型比重和數量。
2. 調整海洋和內河船隊運輸結構。
3. 發展船舶運輸管理技術。
4. 推廣減速航行和經濟速度技術、主機與增壓器最佳化調整技術、機槳運轉最佳化、最佳行駛節能技術、船舶熱能綜合利用節能技術、船體防污、除污和船舶營運組織最佳化節能技術。
5. 擴大航道整治程度。
6. 發展海上運輸新技術，研究、推廣液化天然氣(LNG)和壓縮天然氣(CNG)海上運輸技術。

### 5.3.2 日本國土交通省排碳減量對策

日本國土交通省<sup>[5.3.2]</sup>同時發表海運排碳減量對策的目標達成計畫，提供具體的對策來要求日本國內航商達到節能減碳機制，說明如表 5-14。

表 5-14 日本海運綠色化綜合對策

	2008	2009	2010	2011	2012
排出消耗量(萬噸-CO <sub>2</sub> )	102	114	126	136	148
對策評價指標(海上運輸量)(汽車運輸貨物含雜貨量)(單位：億噸/公里)	303	307	312	316	320

資料來源：日本國土交通省(2009)。

### 5.3.3 MARINTEK2000 年減量措施

MARINTEK 於 2000<sup>[5.3.3]</sup> 年時，針對船舶各種技術性與運轉層面 CO<sub>2</sub> 減量措施進行調查，其中發現技術性部分以效率最佳化的措施所達到減碳的潛力較高，此外透過運轉層面部分來看，利用天氣航線與船隊計畫所達到的減碳量最大(詳如表 5-15 與表 5-16 所示)。



表 5-15 各種技術性 CO<sub>2</sub> 減量措施

措施(新船)	燃油/CO <sub>2</sub> 減量潛力	結合後 減量潛力	總計 減量潛力
船殼形狀最佳化	5–20%	5–30%	5–30%
推進器選擇	5–10%		
效率最佳化	10–12%;2–5%	14–17%; 6–10%	
燃油(HFO換MDO)	4–5%		
動力場觀念	4–6%	8–11%	
燃油(HFO換MDO)	4–5%		
機器監控	0.5–1%		
措施(現成船)	燃油/CO <sub>2</sub> 減量潛力	結合後 減量潛力	總計 減量潛力
船殼最佳維護	3–5%	4–8%	4–20%
推進器維護	1–3%		
燃油噴射	1–2%	5–7%	
燃油(HFO至MDO)	4–5%		
效率定額	3–5%	7–10%	
燃油(HFO至MDO)	4–5%		
效率定額+TC升級	5–7%	9–12%	
燃油(HFO至MDO)	4–5%		

資料來源：MARINTEK(2000)<sup>[5.3.3]</sup>、華健、吳怡萱(2007)<sup>[5.3.4]</sup>。

表 5-16 各種航運層面 CO<sub>2</sub> 減量措施

措施	燃油/CO <sub>2</sub> 減量潛力	結合後 減量潛力	總計減量潛 力
營運計畫/行速選擇		1–40%	1–40%
船隊計畫	5–40%		
及時抵達航線	1–5%		
天氣航線	2–4%		
其他措施			
恆定 RPM	0–2%		
最佳俯仰差	0–1%	0–5%	
最小壓載	0–1%		
推進器節距最佳化	0–2%		
舵最佳化	0–0.3%		
減少在港時間			
裝卸貨最佳化	1–5%	1–7%	
繫泊、錨泊、靠泊最佳化	1–2%		
燃油(HFO 至 MDO)	4–5%		

資料來源：MARINTEK(2000)<sup>[5.3.3]</sup>、華健、吳怡萱(2007)<sup>[5.3.4]</sup>。

### 5.3.4 世界航商節能技術

目前國際組織與環境保護團體相繼逐年提出對於海洋環境的解決辦法，全球航商也意識到海洋環境的維護與他們息息相關。此等航商對於自家船舶進行節能技術的更新，除了達到國際期望與要求之外，更是對環境責任盡一份實質的心力。本研究整理各國航商目前所進行節能之技術，如表 5-17 所示。

表 5-17 世界航商節能技術

航商	技術
長榮海運(Evergreen)	購買新型 S 型環保概念船。
陽明海運(Yan-Ming)	購買 U 型環保概念船，邀請挪威驗船協會擔任燃油節能諮詢顧問。
中國遠洋航運(COSCO)	為積極貫徹落實中華人民共和國節能法等相關法規，採取措施： 1.調整航線船舶，節約燃油消耗。 2.技術節能。 a.繼續積極推廣電子控制式氣缸注油器應用技術。 b.繼續加大應用燃油均質技術。 3.管理節能：成立環保節能部門。 4.建置即時平台監控系統。
中國南京油船	安裝船舶節能航速油耗即時監測系統，該系統可即時發現在船舶燃油消耗異常情況並自動報警，管理人員結合在船舶所在的航段、水流情況和船舶自身特點，定量分析油耗異常的原因。
日本郵船	搭載混合式電路引擎和太陽光發電裝置等，因此大約改善 50 %能源效率，節能汽車專用船(PCC：Pure Car Carrier)2010 年之前開發以及訂購。 透過洋流預測方式，證實船舶達到節能效果。
商船三井	掌握船舶的性能(耗油量、速度等)，透過分析資料改善船舶的航行，例如主機、備用機的維持管理、船底洗滌和入船塢當時的噴沙器。 按照情況實施減速航行與最適合路線的選定以及支援系統的引進，利用大型船舶以及節約用電的船舶等方式，帶來運輸效率的改善。
CKYH 聯盟 陽明海運(Yanming) 中國遠洋(COSCO) 川崎汽船(K-LINE) 韓進海運(HANJIN)	該海運聯盟認為環境保護對全球之重要性，未來將透過聯盟間航線合理化，減少航線靠港，降低船速，藉由船速的控制，減少 CKYH 聯盟所屬船舶二氧化碳的排放量。

資料來源：整理自長榮海運、陽明海運、日本郵船(NYK)、中國遠洋航運(COSCO)等公佈資料與官方網站。

其中，日本航商-商船三井集團自覺對於自己的事業活動帶來的環境負擔，因此積極地與世界組織以及日本政府配合來達到企業社會責任。商船三井認為，A 油(輕柴油)和 C 油(中柴油)的使用，正是讓大型船舶二氧化碳、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、煤煙等排出成為溫室效應的原因。所以針對本身船舶的主體及航線與節電技術進行許多研究，期望以世界貨流的成長為背景，從船舶每單位運輸排出的 CO<sub>2</sub> 量達到連續降低的目標，目前中期根據經營計畫「MOL STEP」將航行船隻量擴大，從 2005 年度船舶的 CO<sub>2</sub> 總排出量總和為 15,586 千噸與 2004 年相比增加了不少。不過，自商船三井採取了一連串節能策略的結果每單位運輸的 CO<sub>2</sub> 排出量比 2004 年度大約僅增加 0.1%，如圖 5-29 所示。



資料來源：商船三井(2005)<sup>[5.3.5]</sup>。

圖 5-29 商船三井 CO<sub>2</sub> 碳排放計算

### 5.3.5 國際海運有關削減溫室氣體之國際動向

國際海運組織(IMO)以 2009 年底為階段目標，期望能削減來自國際海運的 GHG 排放，作法上係檢討與尋找技術方法(能源效率的改善等)、航行方法(減速航行、最佳航線選擇等)、經濟方法(燃油課稅、排放量交易等)的可行之道。在 2008 年 10 月第 58 次海洋環境保護委員會大會(MEPC58)中，亦達成下列各事項的共識：

1. 以各國研究機構組成的國際團體，應就目前正在研究的國際海運 CO<sub>2</sub> 排放狀況以及將來相關預測等提出期中報告。

2. 新造船舶，設計時其環境性能指標(設計之能源效率指標)之計算暫定方法以及測試值須得認可。現有船舶，其航行環境性能指標(航行之能源效率指標)的自主性試行暫定方法必須作出評估與討論。

而 2009 年 3 月舉行的 MEPC 之 GHG 期中會議，建議在設計指標與航行指標之暫定方法的評估基礎下，落實能源管理計畫(Energy-Management Plan)以提升船舶能源效率。2009 年 7 月的第 59 次海洋環境保護委員會大會 (MEPC59)，將討論以經濟手法來達到削減 GHG 的細節。

而 IMO 削減排放 GHG 的 9 項基本原則<sup>[5.3.6]</sup>，包括：

1. 能貢獻削減全球 GHG 總排放量之效果者。
2. 為了防止不當作法且具拘束力，所有船籍國應制訂公平適用的辦法。
3. 所投入成本應具削減排放 GHG 效果者。
4. 須能防止市場扭曲(至少需有最小化的效果)者。
5. 不致阻礙世界的貿易與成長且能持續改善環境者。
6. 達成目標的途徑，無需刻意規定特定手法。
7. 應有助於海運產業全體技術創新與研究開發的促進與支援者。
8. 應為能源效率方面的先進技術者。
9. 應具實用性、透明性、按部就班且易於管理者。

## 5.4 小結

目前世界各國已經針對水運之污染源排放制定出許多節能法規，也對於水運產業也提出節能技術方法以及新的船舶燃油消耗的技術，這已經是運輸業的共同趨勢。針對現階段計畫進行之結果，本研究提出以下幾點結論：

1. 依據能源平衡表可知，國內水運能源消耗變化趨勢在 2001 年以前為正成長，之後呈現振盪起伏互見之趨勢，主要與全球的政治版圖以及經濟發展有關。近兩年隨著環保意識的提升，整體的排放量已有下降。
2. 國際水運能源消耗趨勢在 2000 年以前也為正成長，之後呈現下降之趨

勢，只有 2004 年全球散裝貨需求提升，使得整體的能源需求提升，之後整體的需求亦開始逐漸下降。

3. 燃料油之排放量是比柴油排放量高，由各船種資料可得知，CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 中，CO<sub>2</sub> 的排放量大於其他 2 者。有關 CO<sub>2</sub> 排放部分，燃油 CO<sub>2</sub> 排放量每年皆大於柴油 CO<sub>2</sub> 排放量，2004 年至 2007 年柴油排放量皆低於 20,000 噸，2004 年至 2007 年燃料油排放量有下降的趨勢。

本研究案期望能區分各船種國際用油與國內用油量，以計算國內與國際航運各船種之排放量，惟遇到資料無法對應的問題，因此後續仍有賴各級單位能夠提供相關資料，方能使海運之能源分析能更完整，建議如下：

1. 臺灣造船方面對於節能之規定，目前航政司與港務局均已重視，但法令上尚未具體規定。各造船公司主要還是以國際公約為主，主要都是依據驗船中心所採用之 MAPOLNX-6 為規範，或是依據 IMO 所訂定之引擎排放規範來造船。其中 IMO 對於硫的排放控制較為嚴格，以國內長榮海運之環保船為例，即依據 MAPOLNX-6 為規範而建造，並符合美國西岸加州港口所規定之排放含硫量 1.5ppm 以下之規定。訂定造船規定時，應配合排放減量，建議相關單位可以研擬適當之法令加以管制，或比照國際海運組織之排放限制規範來辦理。
2. 水運能耗方面，目前由能源平衡表僅能獲得能源使用總量而無法區分船種，無法套用 IPCC 按船種計算排放量之排放係數。若需要細分至各船種之排放量，有賴於交通部航政司與經濟部能源局之協調。
3. 若要計算能源效率，需得知海運各船種之國內與國際航運延噸海裡，客船則需要得知國內與國際航運之延人海裡，在配合各船種之用油量方能計算出能源效率。目前從交通統計要覽中，國籍船舶之延噸海裡未能分出各船種之延噸海裡，也無法詳細區分是國內航運或是國際航運所產出之延噸海裡，建議可以依據各船種於各年度來加以區分。
4. 交通統計要覽中主要將船舶以國籍船舶登記數按船種及船齡區分，而要探討能源使用量時目前只能從能源平衡表中來獲得資料，兩者分類方式不同，無法依據相同項目來對應計算各船種的溫室氣體排放量。
5. 為計算各船種溫室氣體排放量，即必須調查國內與國際航運各船種延噸海裡所對應之用油量，此數據建請由交通部協調經濟部能源局提供。



## 第六章 軌道運輸溫室氣體排放推估

### 6.1 軌道運輸系統簡介

我國軌道運輸中，包含臺灣鐵路、臺北捷運、臺灣高速鐵路及高雄捷運；捷運及高速鐵路使用之能源主要為電力，臺灣鐵路則包含柴油及電力，如表 6-1 所示。

表 6-1 臺灣軌道運輸使用能源類型

能源類型	臺灣鐵路	臺北捷運	臺灣高鐵	高雄捷運
柴油	○	—	—	—
電力	○	○	○	○

資料來源：本研究整理。

#### 6.1.1 臺灣鐵路系統

##### 1. 概況

臺鐵自 1891 年營運至今已近 120 年，根據臺灣鐵路統計年報(2008)<sup>[6.1.1]</sup>，全線營業里程計 1,090.6 公里，路線有 420.9 公里係為單線區間，另雙線區間則有 669.7 公里。電化區間(縱貫線、屏東縣、北迴線及宜蘭線)計長 687.4 公里，非電化區間(林口線、內灣線、集集線、南迴線、臺東線、平溪線及深澳線)403.2 公里，如圖 6-1 所示。車站共有 217 個。

軌道運輸中，僅臺鐵分為客運及貨運，根據臺鐵重要業務統計指標分析(2009)<sup>[6.1.2]</sup>，2008 年客運人數為 1 億 7,886 萬人次，每日平均約有 49 萬人次，主要客源為區間列車旅客；貨運噸數為 1,111 萬噸，每日平均約 3 萬噸，主要貨源為石灰石、水泥、砂石及煤炭。

## 2.路線

臺鐵現有路線劃分為環島鐵路主線與其他支線，主線包括縱貫線(基隆—高雄)404.6 公里、山線(竹南—彰化)85.5 公里、南迴線(枋寮—臺東)98.2 公里、屏東線(高雄—枋寮)61.3 公里、臺東線(臺東—花蓮港)161.5 公里、北迴線(蘇澳新—花蓮港)86.6 公里及宜蘭線(八堵—蘇澳)95.0 公里，支線分為客運支線林口線(桃園—林口)19.2 公里、內灣線(新竹—內灣)27.9 公里、集集線(二水—車埕)29.7 公里、平溪線(三貂嶺—菁桐)12.9 公里及成追線(成功—追分)2.2 公里與貨運支線臺中港線 6 公里、臨港線 13 公里及深澳線(瑞芳—深澳)6.0 公里。





### 3.車種

臺鐵營運車種以使用能源類型分為柴油機車與電力機車，表 6-2 為 2008 年兩種動力類型之能源特性，動力集中式車輛是軌道運輸中最傳統的列車牽引運行方式，主要是由一台動力機車牽引無動力車輛在軌道上行駛，機車大多是在列車的最前端牽引車輛，亦有自車尾逆推甚至機車置中牽引的情況；相對於動力集中式，動力分散式是指動力來源分散在列車各個車廂上的發動機，而非集中在機車上。2008 年臺鐵能源密集度是利用各車種能源消耗量(油當量)除以該車種的車輛噸公里計算而得。如表 6-2 推估結果，臺鐵各車種的車輛行駛能源密集度除柴油機車外，其餘車種約為 0.005 至 0.009 公升/車輛噸公里。柴油機車能源密集度較差原因為在運轉時大部分引擎所輸出的動能會損耗在液聯傳動油，即為將油加熱的過程。

表 6-2 2008 年臺鐵營運車種特性

能源類型	車種	動力方式	車輛噸公里	能耗量 (公升油當量/年)	能耗量/車 輛噸公里
柴油	柴電機車	集中式	2,975,012,649	15,649,656.53	0.0053
	柴油機車	集中式	17,782,057	355,373.57	0.0200
	柴油客車	分散式	1,266,977,247	9,405,358.75	0.0074
電力	推拉式機車	集中式	3,479,811,913	21,804,465.28	0.0063
	電力機車	集中式	3,654,778,088	17,074,999.66	0.0047
	電聯車	分散式	5,396,568,942	51,153,084.90	0.0095

資料來源：臺灣鐵路局機務處(2009)，本研究整理

#### (1)柴油機車

柴油機車指所有動力來源為柴油引擎，不同於電力機車需依賴其他的電力傳送設備，柴油機車可分為電力傳動與液力傳動，透過不同的傳動裝置以驅動車輪轉動；依照動力傳動方式的不同，可分成柴電機車與柴油機車。柴電機車是指以柴油引擎帶動主發電機發電，產生電力經動力控制設備之控制傳輸至牽引馬達產生牽引動力之機車，車型包括 R100、R150、R180、R190、R20 及 S200。表 6-3 為 R100 及 R150 型柴電機車資料，R100 與 R150 外型極為相似，R150 型的牽引力較 R100 型提升至 19,650kgw，為臺鐵牽引力最

強的柴電機車，也是速度最快的柴電機車。柴液機車指以柴油引擎產生之動力經液體變速機和逆轉機驅動車輪產生牽引動力之機車，如 DHL100 型。上述兩種機車均屬動力集中式車輛。柴油客車屬於柴油引擎驅動的動力分散式車輛，車型包括 DR1000、DR2700、DR2800、DR2900、DR3000 及 DR3100 型。

表 6-3 臺鐵柴電機車 R100 型與 R150 型比較

型 式	R100	R150
最高車速	100 公里/小時	110 公里/小時
定格牽引力	15,180kgw	19,650kgw
馬 力	1,650HP	1,650HP
機車總重	78 噸	88 噸
引擎形式	GM—645E-12	GM—645E-12
製造廠商	美國 GM-EMD	美國 GM-EMD
製造年份	1970 年	1993/1982 年
現有車數	39 輛	25 輛
車 號	R101~R139	R151~R175
用 途	客貨兩用	客貨兩用

資料來源：蘇昭旭(2009)<sup>[6.1.3]</sup>，本研究整理。

## (2)電力機車

電力機車是指從電車線輸入電力經機車上主變壓器傳輸至牽引馬達產生牽引動力之機車。電力機車亦分為動力集中式及動力分散式：動力集中式如電力機車 E200、E300 及 E400 型與推拉式電力機車 E1000 型，表 6-4 為電力機車 E200、E300 及 E400 型車型資料，皆屬美國 GE 生產，外觀上幾乎完全一樣，其中，E300 型因不能提供冷氣客車空調電源，故僅能牽引普通、平快或貨物列車。E200 與 E400 兩車型可牽引莒光號及復興號列車，後者雖牽引力較差但速度較快，可達 130 公里/小時；動力分散式如電聯車 EMU 系列列車與傾斜式電聯車 TEMU1000 型。通勤電聯車的車廂設計，也是強調

高載客量和快速上下車，所以車廂的設計上具備較多車門，較少座位和較多立位，以便容納較大的載客量，列車基本編成為 4 輛 1 組，視實際的運量可以連掛 2 至 3 組運行，唯 E700 型 2 組固定編成。表 6-5 為電聯車 EMU 系列車型資料。

表 6-4 臺鐵電力機車 E200.E300.E400 型

型 式	E200 型	E300 型	E400 型
最高車速	110 公里/小時	110 公里/小時	130 公里/小時
定格牽引力	20,100kgw	20,100kgw	16,800kgw
馬 力	3,758HP	3,758HP	3,758HP
機車總重	93.5-96 噸	96 噸	92 噸
製造廠商	美國 GE	美國 GE	美國 GE
製造年份	1978-1992 年	1978-1979 年	1980-1982 年
現有車數	39 輛	39 輛	18 輛
備 註	有馬達交流發電機組 M.A.SET	無	有馬達交流發電機組 M.A.SET
車 號	E201~E240 (E221 報廢)	E301~E339	E401~E418
用 途	客貨兩用	客貨兩用	客貨兩用

資料來源：蘇昭旭(2009)<sup>[6.1.3]</sup>，本研究整理。

表 6-5 臺鐵電聯車 EMU 系列車型

型 式	EMU400 型	EMU500 型	EMU600 型	EMU700 型
最高車速	110 公里/小時	110 公里/小時	110 公里/小時	110 公里/小時
編組輸出	1,920kW/2,574HP	2,000kW/2,681HP	2,000kW/2,681HP	3,740kW
製造廠商	南非 UCW	南韓 DAEWOO	南韓 ROTEM	日本/臺灣車輛
製造年份	1990 年	1995-1997 年	2001-2002 年	2006-2007 年
現有車數	12 組 48 輛	86 組 344 輛	14 組 56 輛	40 組 160 輛
列車編組	4 輛 1 組	4 輛 1 組	4 輛 1 組	4 輛 1 組

資料來源：蘇昭旭(2009)<sup>[6.1.3]</sup>，本研究整理。

#### 4.運量

臺鐵運量分為客運與貨運，根據 2008 年臺灣鐵路統計年報，客運人數為 1 億 7,866 萬人，較上年度 1 億 6,969 萬人增加了 897 萬人，延人公里為 87 億 1,788 萬人公里，較上年度 89 億 3,739 萬人公里減少了 2 億 1,959 萬人公里。其西部幹線中長程旅客因高速鐵路在營運後推出了票價優惠與車班增加而減少，但臺鐵在都會區域路段設置與高鐵間轉乘路線及通勤化車站，使短程旅客明顯成長，因此上車旅客人數增加。而貨運噸數為 1,111 萬噸，較上年度 1,143 萬噸減少 33 萬噸，延噸公里為 9 億 2,529 萬噸公里，較上年度 8 億 8,174 萬噸公里增加 4,355 萬噸公里。因配合政府的鐵路地下化及高架化政策，貨商無可使用的適宜貨場，致大宗貨源逐年減少。而目前因西部砂石需求龐大，東砂西運之運量較上年度大幅成長，因此運程增加。

### 6.1.2 臺北捷運系統

#### 1.概況

臺北捷運<sup>[6.1.4]</sup>於 1996 年通車，至今營運總長度為 90.5 公里，設有文湖線、淡水線、中和線、小南門線、新店線、南港線、板橋線及土城線等 8 條路線共 82 個車站，詳見圖 6-2。路網服務範圍涵蓋臺北市及臺北縣共 27 個行政區，平均每日搭乘人數超過 120 萬人次。

##### (1)路線

臺北捷運系統依路線建造型式，分為高架、地下及平面 3 種路段；文湖線包含高架及地下兩段，中和線、小南門線、新店線、南港線、板橋線及土城線為全程地下，淡水線則分為地下、地面及高架 3 段，如表 6-6 所示。



資料來源：臺北大眾捷運公司(2009)<sup>[6.1.4]</sup>。

圖 6-2 臺北捷運路線圖

表 6-6 臺北捷運建造型式

建造型式	通車路線
高架	文湖線(動物園站至中山國中站)、淡水線
地下	淡水線、中和線、小南門線、新店線、南港線、板橋線、土城線、文山內湖線(松山機場至南港展覽館站)
平面	淡水線

資料來源：臺北大眾捷運公司(2009)<sup>[6.1.4]</sup>，本研究整理。

## (2)動力機車

臺北捷運列車為動力分散式電聯車，營運系統分為高運量與中運量系統，高運量系統列車採用鋼輪鋼軌式(Rail-based)，中運量系統列車使用膠輪式(Rubber-based)，皆為 1,435 公厘標準軌距。

目前高運量列車共有 4 種型式：C301 型、C371 型由日本川崎重工製造，C321 型及 C341 型由德國西門子製造；每列車 2 組配對，每組 3 輛。中運量列車分為法國馬特拉 VAL256 型與加拿大龐巴迪列車；每列車為 2 輛 1 組，2 組共 4 輛為 1 列。表 6-7 為臺北捷運高運量車型資料，C301 及 C307 主要服務淡水線、新店線及中和線，C321 及 C341 則服務板橋線、南港線及土城線。

## 2.運量

根據臺北捷運 2008 年年報運量統計資料，2008 年旅運量持續成長，全年合計有 4 億 5,002 萬 4,415 人次，平均每日運量為 122 萬 9,575 人次，較前一年度 114 萬 355 人次，增加 8 萬 9,220 人次，成長 7.82%。高運量方面，年總運量共 4 億 1,467 萬餘人次，平均日運量 113 萬 2 千餘人次，較 2007 年平均日運量 104 萬 7 千餘人次，增加 8.12%。中運量方面，年總運量計 3,535 萬餘人次，平均日運量 9 萬 6 千餘人次，相較於 2007 年 9 萬 2 千餘人次，增加 4.35%。

表 6-7 臺北捷運高運量車型

	C301 型	C321 型	C341 型	C371 型
最高車速	90 公里/小時	90 公里/小時	90 公里/小時	90 公里/小時
馬達輸出	145kW/200HP	225kW/300HP	225kW/300HP	175kW/235HP
製造廠商	日本川崎	德國西門子	德國西門子	日本川崎
製造年份	1992-1994 年	1998-1999 年	2003 年	2005-2009 年
現有車數	132 輛	216 輛	36 輛	123 輛
列車編組	22 列 6 車組	36 列 6 車組	6 列 6 車組	41 列 3 車組
運行路線	淡水線、新店線、 中和線	南港線、板橋線、 土城線	南港線、板橋線、 土城線	淡水線、新店線、 中和線

資料來源：臺北大眾捷運公司(2009)<sup>[6.1.4]</sup>，本研究整理。

### 6.1.3 高速鐵路系統

#### 1.概況

臺灣高鐵<sup>[6.1.5]</sup>提供臺灣西部主要城市間的高速鐵路客運服務，於 2007 年全線正式通車營運，總長度為 345 公里，沿線經過 14 個縣市，77 個市鄉鎮，連結臺北、臺中及高雄 3 大都會區，目前共設臺北、板橋、桃園、新竹、臺中、嘉義、臺南及左營 8 個車站，如圖 6-3 所示，未來將加入苗栗站、雲林站、彰化站及南港站。

##### (1)路線

臺灣高鐵全線分為高架、平面及地下，臺北站、南港站、板橋站及桃園站屬於地下車站，左營站為平面車站，其餘皆為高架車站。其中臺北站、南港站與板橋站與臺鐵共構，左營站與高捷共構。

##### (2)動力機車

臺灣高鐵 700T 型列車(T 代表 Taiwan)，以新幹線 700 系列車作為設計基礎，是由日本 JR 東海及 JR 西日本共同研發，由川崎重工、日本車輛及日立生產製造。700T 的設計納入特殊考量，以適應臺灣旅客如地理環境、氣候、法令規範及加上未來營運發展需求之功能。表 6-8 為臺灣高鐵 700T 型



車型資料，列車全長 304 公尺，由 9 節動力車及 3 節拖車所編成，屬動力分散式列車，軌距為 1,435 公厘標準軌。

## 2.運量

高鐵 2008 年全年共開出 45,900 班列車，總載運旅客數達 30,581 千人次，較 2007 年增加 96.59%，合計輸運 6,566 百萬延人公里，較上年增加 86.53%。



資料來源：臺灣高鐵公司(2009)<sup>[6.1.5]</sup>。

圖 6-3 臺灣高鐵各站

表 6-8 臺灣高鐵 T700 型

型式	HSR700T
軌距	1,435mm
製造國	日本
製造年	2005 年
座位數	989
列車寬度	3.38m
列車總長	304m
編成	9M3T
最大功率	20,260kW
最高時速	300 公里/時
車輛數	30 組

資料來源：蘇昭旭(2009)<sup>[6.1.3]</sup>，本研究整理。

## 6.1.4 高雄捷運系統

### 1.概況

高雄捷運<sup>[6.1.6]</sup>為臺灣最新營運之捷運路線，是南臺灣第 1 條捷運路線與臺灣第 1 條機場捷運，於 2008 年 4 月通車，路線長度 42.7 公里，設有紅線與橘線兩路線，共 38 個車站，如圖 6-4 所示。

#### (1)路線

捷運路線依車站位置分為高架、平面及地下；紅線長約 28.3 公里，有 8.5 公里為高架路段，共 8 個車站，其餘皆為地下路段，共 15 個車站；橘線長約 14.4 公里，共 13 個車站，全線均為地下段。

#### (2)動力機車

高雄捷運電聯車由德國西門子公司奧地利廠組裝製造，列車編組為 1 組 3 節，軌距為 1,435 公厘標準軌；表 6-9 為高雄捷運車型資料，高雄捷運與臺北捷運有許多相同之處，皆為動力分散式電聯車，同為第 3 軌供電，使用鋼輪鋼軌；而高雄捷運列車使用 ATO，可無人自動駕駛。

## 2. 運量

高捷 2008 年 4 月至 12 月總運量為 29,799,356 人次，紅線計 26,574,688 人次，9 月份通車的橘線計 3,224,668 人次。平均日運量為 110,781 人次。



資料來源：高雄市政府捷運工程局(2009)<sup>[6.1.6]</sup>。

圖 6-4 高雄捷運路線圖

表 6-9 高雄捷運高運量 MRT 電聯車

型式	高雄捷運電聯車
軌距	1,435mm
製造國	德國西門子
製造年	2005-2006 年
編成	2M1T 單組(DM1+T+DM2)
控制方式	1GBT VVVF
營運最高速度	80km/h
使用電壓	DC 750V 第 3 軌供電
馬達控制	IGBT
行車控制	ATC ATO
煞車方式	再生剎車,碟式煞車
列車長度	2,1900mm/中間車長 2,1500,mm
列車寬度	3,150mm
列車高度	3,750mm

資料來源：蘇昭旭(2009)<sup>[6.1.3]</sup>，本研究整理。

## 6.2 軌道運輸溫室氣體排放推估方法

本章節將探討 IPCC<sup>[6.2.1]</sup> Tier 2 的溫室氣體排放推估方法，此種方法為由下而上(Bottom-up)的計算方式，需要較詳細的車輛能源消耗量與溫室氣體排放係數進行溫室氣體排放推估。

原 IPCC Tier 2 推估公式的能源消耗量及排放係數皆以機車頭類型作為分類，不同的機車頭會有不同的排放係數，但國內此方面資料較為缺乏，因此本研究在推估時僅能參考他國的軌道運輸溫室氣體計算方式。紐西蘭鐵路分類方式是依照美國的調查方式，將車輛依其行駛路線進行引擎排放測試，唯紐西蘭對於測試排放之氣體不屬於本研究所探討之 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 與 N<sub>2</sub>O，故推估時之計算係數參考加州氣候變遷註冊組織(California Climate Action Registry, CCAR)<sup>[6.2.2]</sup>。

### 6.2.1 Tier 2

原始 IPCC<sup>[6.2.1]</sup> Tier 2 溫室氣體排放推估公式如下：

$$\begin{aligned} & IPCC \text{ Tier2 溫室氣體排放量} \\ &= \sum_i (\text{能源消耗量}_i \times \text{排放係數}_i) \\ &i = \text{機車頭類型} \end{aligned}$$

IPCC Tier 2 推估公式係計算不同類型之機車頭溫室氣體排放，若需呈現國內軌道運輸溫室氣體排放情形，應將軌道運輸所使用車輛分類以進行推估，但國內軌道運輸除臺鐵及北捷有較複雜車種外，高鐵及高捷皆屬單一路線且單一車型，推估結果將無法與 Tier 1 區分，因此本研究將原 IPCC Tier 2 推估公式僅分為臺鐵溫室氣體排放推估與北捷溫室氣體排放推估公式，以不同路線及不同車種蒐集能源消耗量。單位能源排放係數則因使用能源為柴油或電力會有不同數據，其中柴油排放係數參考加州氣候變遷註冊組織(California Climate Action Registry, CCAR)<sup>[6.2.2]</sup>，電力係數為能源局公告值；修改後之公式如下：

臺鐵Tier2溫室氣體排放量

$$= \sum_i \sum_j \sum_k (\text{能源消耗量}_{ijk} \times \text{排放係數}_i)$$

$i$  = 能源種類，柴油/電力

$j$  = 車輛行駛路線，縱貫線/宜蘭線/南迴線/...

$k$  = 車輛種類，

柴電機車/柴油客車/柴液機車/電力機車/推拉式電力機車/電聯車/傾斜式電聯車

北捷Tier2溫室氣體排放量

$$= \sum_j \sum_k (\text{能源消耗量}_{jk} \times \text{電力排放係數})$$

$j$  = 段別，木柵段/淡新中段/板南土段

$k$  = 系統，中運量/高運量

## 6.2.2 Tier 3

原始 IPCC<sup>[6.2.1]</sup> Tier 3 溫室氣體排放推估公式如下：

IPCC Tier3 溫室氣體排放量

$$= \sum_i (\text{車輛數}_i \times \text{年運轉小時}_i \times \text{平均功率}_i \times \text{負荷因子}_i \times \text{平均排放係數}_i)$$

$i$  = 機車頭類型與旅行類型

IPCC Tier 3 推估公式係以不同機車頭類型及旅行類型進行溫室氣體排放推估，而國內軌道運輸僅臺鐵有客運及貨運類型，因此本研究 Tier 3 推估方法僅針對臺鐵推估溫室氣體排放，根據原 IPCC Tier 3 推估公式來看，需以車輛數、車隊運轉小時、車輛功率、運轉負荷因子及能源排放係數進行推估，根據臺鐵所提供資料，車隊運轉小時已包含車輛數，因此本研究公式不再乘上車輛數。修改後公式如下：

臺鐵Tier3溫室氣體排放量

$$= \sum_i \sum_j \sum_{k'} \sum_s \left( \text{運轉小時}_{ijk's} \times \text{功率}_{ik'} \times \text{列車編組}_{ik'} \times \text{排放係數}_{ij} \times \text{運轉負荷因子}_{ik'} \right)$$

$i$  = 能源種類，柴油/電力

$j$  = 車輛行駛路線，縱貫線/宜蘭線/南迴線/...

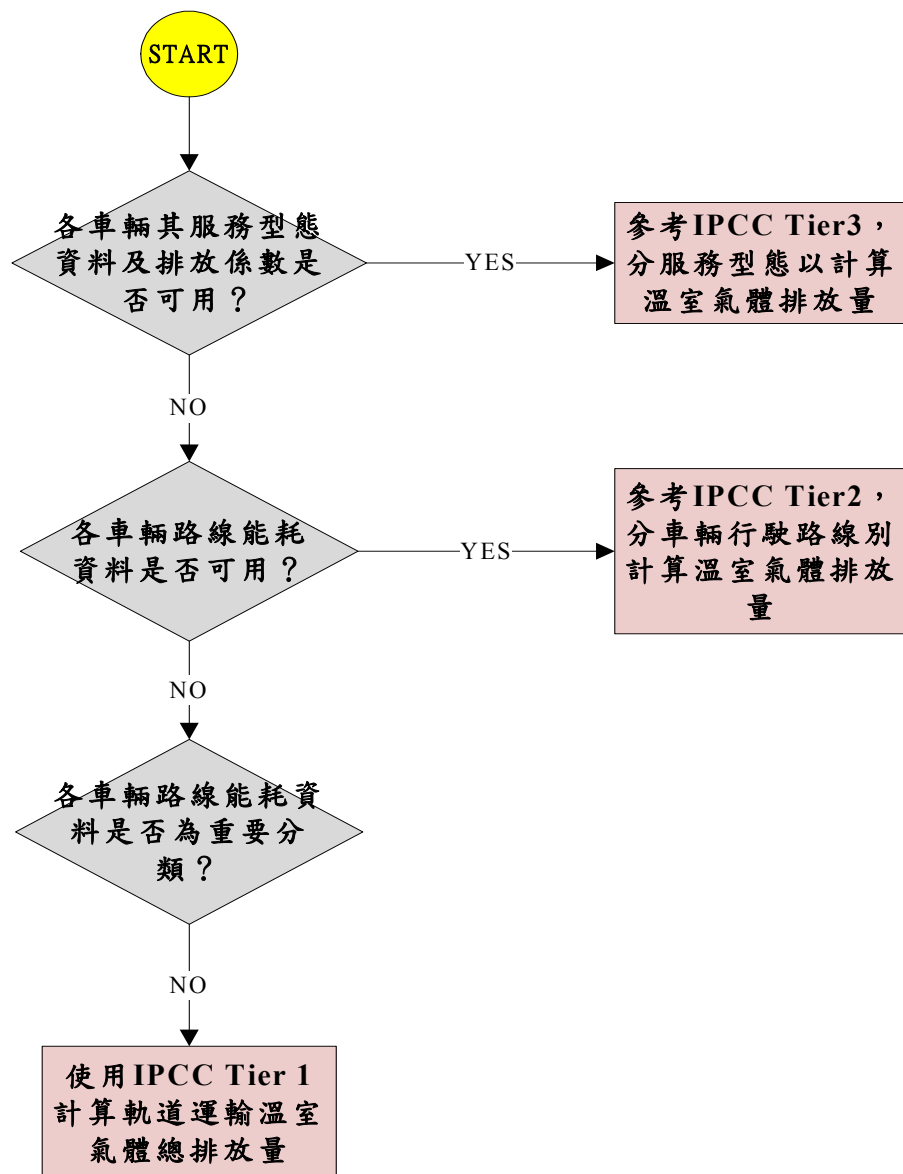
$k'$  = 車型，R100/R150/R180/...

$s$  = 服務類別，客運/貨運

## 6.3 軌道運輸溫室氣體排放推估

本研究推估溫室氣體排放量時需分別向各單位蒐集相關資料，並檢視資料可用度，推估流程如圖 6-5。

蒐集各類車輛之服務型態資料，主要是為了要區別各單位客運及貨運的服務狀況，藉由不同的排放係數計算溫室氣體排放量，蒐集過程中需要檢視蒐集資料的統計方式是否與排放係數定義相同，是否需要加以修正。若資料可用，即參考 IPCC Tier 3 公式，以計算溫室氣體排放量。車輛行駛路線不同亦會影響車輛能耗情況，針對不同路線蒐集資料可以取得較客觀的結果。參考 IPCC Tier 2 公式，針對不同路線別特性，代入不同係數值做計算，以產生不同路線之溫室氣體排放量。若各單位出現無法區分服務型態及路線別，即使用其總體能耗量，利用 IPCC Tier 1 公式計算溫室氣體排放量。



資料來源：本研究整理。

圖 6-5 本研究推估流程圖



### 6.3.1 軌道運輸能耗資料蒐集

我國能源平衡表中，運輸部門之軌道運輸耗能包括柴油及電力兩大類。其中，柴油消耗統計量主要屬於臺鐵之消耗統計量，表 6-10 中臺鐵用油量即參考自我國能源平衡表<sup>[3.1.1]</sup>運輸部門軌道用油量總計；表 6-10 中電力消耗量合計為能源平衡表中運輸部門軌道用電量總計，為區分不同運輸系統，需再個別進行資料蒐集。軌道運輸系統實際蒐集之電力消耗量合計數值與能源平衡表用電量總計不同，本研究估計為資料蒐集之時程不一所致。

#### 1. 臺鐵

計算臺鐵 Tier 2 時本研究依臺鐵提供之動力車線別行駛公里表分類方式，如圖 6-6~6-8，計算行駛於各線別車輛之能源消耗量，臺鐵車種依其能源消耗種類歸納為使用柴油之柴電機車、柴油客車及柴液機車；使用電力之推拉式電力機車、電力機車及電聯車。圖中各車種行駛於各線別之運轉時間、行駛公里與其他相關資料皆為 2008 年 12 月份的統計資料。合計項為機車噸公里、客車噸公里與貨車噸公里之總和，即為車輛噸公里。每公里列車重量為每單位行駛公里之車輛噸。機車每噸牽引噸數為每一機車噸公里所牽引之客車噸公里與貨車噸公里數。

為區分各路線能耗，需有各車種對應各行駛線別用電及用油消耗量。根據臺鐵所提供資料，並無上述能耗量，唯有各車種能源使用總消耗量，如表 6-11 與表 6-12，表中資料為 2008 年臺鐵柴油車輛與電力車輛能耗量，柴油車輛以柴電機車消耗量最多，電力車輛以電聯車最多，推拉式電聯車次之。

鑒於圖 6-6 至圖 6-8 有各車種行駛線別之車輛噸公里，此處以線別車輛噸公里為比例，將車種能耗量依比例分為車種對應線別能耗量，詳見表 6-13 與表 6-14。表 6-13 為各路線別柴油車輛能耗量，以臺東線能耗量最高，北迴線次之，其中，柴電機車主要行駛於北迴線，柴油客車主要行駛於臺東線，柴液機車為調車用，主要行駛於小運轉線，而臺中港線與深澳線僅行駛柴電機車，集集線、平溪線與內灣線僅行駛柴油客車。表 6-14 為各路線別電力車輛能耗量，以縱貫線能耗量最高，除傾斜式電聯車主要行駛宜蘭線，其他電力車種皆主要行駛於縱貫線，而成追線僅行駛電聯車。

表 6-10 臺灣軌道運輸歷年年總能源消耗量(不含場站)

年份	鐵路部門						
	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	229,805	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

資料來源：本研究整理。

資料提供：經濟部能源局，臺灣能源平衡表新表，2008 年。

交通部臺灣鐵路管理局。

臺北大眾捷運公司。

高雄捷運公司。

臺灣高速鐵路公司。

(L10) 動力車線別行駛公里表

程式編號: MA01LA

2008 年 12 月份

頁碼: 3

~ 1

類別	線別	運轉時間	行駛公里	機車噸公里	客車噸公里	貨車噸公里	合計	每公里列車重量	機車每噸牽引噸數
1 推拉式機車	縱貫線 A	9620:04	685,730.5	41,143,830.0	154,337,145.0	0.0	195,480,975.0	285.07	3.75
	宜蘭線 E	1346:32	83,292.1	4,997,526.0	18,561,731.0	0.0	23,559,257.0	282.85	3.71
	北迴線 I	653:48	59,325.0	3,559,500.0	13,393,212.0	0.0	16,952,712.0	285.76	3.76
	屏東線 P	439:50	24,160.4	1,449,624.0	5,546,024.0	0.0	6,995,648.0	289.55	3.83
	小運轉線 S	40:42	744.8	44,688.0	18,905.0	0.0	63,593.0	85.38	0.42
	山線 T	2118:48	176,116.2	10,566,972.0	40,472,379.0	0.0	51,039,351.0	289.80	3.83
	線別合計:		14219:44	61,762,140.0	232,329,396.0	0.0	294,091,536.0	1,518.41	19.30
2 電力機車	縱貫線 A	9024:18	461,646.1	43,401,350.0	121,225,748.0	12,649,421.4	177,276,519.4	384.01	3.08
	宜蘭線 E	3311:46	139,171.6	13,045,252.5	21,669,928.5	40,525,435.5	75,240,616.5	540.63	4.77
	臨港線 F	1:37	31.2	2,964.0	0.0	0.0	2,964.0	95.00	0.00
	北迴線 I	1770:03	82,399.8	7,693,087.5	16,098,541.5	14,443,722.7	38,235,351.7	464.02	3.97
	南迴線 J	1:49	98.2	8,838.0	39,771.0	0.0	48,609.0	495.00	4.50
	屏東線 P	241:53	11,638.3	1,087,495.5	2,410,447.5	0.0	3,497,943.0	300.55	2.22
	小運轉線 S	123:22	1,556.9	143,943.0	108,499.5	0.0	252,442.5	162.14	0.75
3 柴電機車	山線 T	1124:08	66,488.7	6,268,833.5	17,507,426.0	0.0	23,776,259.5	357.60	2.79
	線別合計:		763,030.8	71,651,764.0	179,060,362.0	67,618,579.6	318,330,705.6	2,798.95	22.08
	縱貫線 A	3258:15	101,507.3	8,192,130.0	625,155.4	38,785,998.6	47,603,284.0	468.96	4.81
	宜蘭線 E	905:59	31,695.4	2,685,277.5	0.0	11,923,748.7	14,609,026.2	460.92	4.44
	臨港線 F	186:24	6,058.6	435,773.0	26,624.0	307,226.4	769,623.4	127.03	0.77
	北迴線 I	3092:32	96,476.9	8,185,107.5	344,356.0	49,464,464.6	57,993,928.1	601.12	6.09
	南迴線 J	1367:28	67,376.9	5,390,152.0	16,787,592.3	2,160,665.6	24,338,409.9	361.23	3.52
	林口線 L	260:26	7,142.4	571,392.0	0.0	3,474,144.0	4,045,536.0	566.41	6.08
	台東線 M	3204:47	103,889.7	8,457,431.5	26,882,995.5	5,605,646.1	40,946,073.1	394.13	3.84
	屏東線 P	2699:26	99,687.1	7,974,968.0	30,570,514.5	3,287,913.7	41,833,396.2	419.65	4.25
	深澳線 R		1.1	88.0	0.0	0.0	88.0	80.00	0.00
	小運轉線 S	627:54	32,426.4	2,509,880.5	0.0	0.0	2,509,880.5	77.40	0.00
	山線 T	102:44	2,621.2	209,696.0	0.0	296,860.7	506,556.7	193.25	1.42
	台中港線 W	41:30	1,224.6	97,968.0	0.0	260,247.0	358,215.0	292.52	2.66

資料來源：臺鐵機務處，2009 年。

圖 6-6 臺鐵動力車線別行駛公里表-1

(L10) 動力車線別行駛公里表

程式編號: MA01LA 2008 年 12 月份

印表日期: 2009/06/09 08:44  
頁碼: 3 -- 2

類別	線別	運轉時間	行駛公里	機車噸公里	客車噸公里	貨車噸公里	合計	每公里列車重量	機車每噸牽引噸數
3 柴電機車	線別計:		550,107.6	44,709,864.0	75,237,237.7	115,566,915.4	235,514,017.1	4,042.62	37.88
	縱貫線	A	38713:26	80,467,531.7	269,807,521.7	866.4	350,275,919.8	186.11	3.35
	宜蘭線	E	4060:02	196,130.8	8,693,012.7	33,060.0	36,202,899.2	184.59	3.16
	臨港線	F	0:30	10.4	436.8	0.0	436.8	42.00	0.00
	成追線	H	45:52	1,262.7	56,821.5	0.0	227,286.0	180.00	3.00
	北迴線	I	758:18	47,820.0	2,122,747.5	0.0	8,543,679.0	178.66	3.02
	屏東線	P	1365:13	64,957.2	2,765,070.0	0.0	13,262,722.0	204.18	3.80
	小運轉線	S	109:10	1,772.7	80,170.5	0.0	161,481.0	91.09	1.01
5 柴油客車	山線	T	5478:00	297,865.7	12,533,459.9	36,302,076.0	48,835,535.9	163.95	2.90
	機廠線	X	10:25	144.0	6,494.4	0.0	27,032.4	187.73	3.16
	線別計:		50540:56	2,492,004.2	106,725,745.0	350,777,320.7	457,536,992.1	1,418.31	23.40
	縱貫線	A	5138:28	254,714.4	10,156,619.8	3,611,784.0	13,768,403.8	54.05	0.36
	集集線	C	1531:06	58,598.1	2,343,924.0	0.0	2,343,924.0	40.00	0.00
	宜蘭線	E	6511:02	391,533.7	15,525,477.2	6,765,401.0	22,290,878.2	56.93	0.44
	北迴線	I	3605:05	295,432.6	11,709,265.0	5,293,501.0	17,002,766.0	57.55	0.45
	南迴線	J	2357:09	164,506.4	6,582,136.8	2,829,733.0	9,411,869.8	57.21	0.43
	林口線	L	92:00	2,152.8	91,494.0	0.0	177,606.0	82.50	0.94
	台東線	M	9533:48	571,912.7	22,652,561.9	10,621,624.5	33,274,186.4	58.18	0.47
	平溪線	N	1212:03	30,134.4	1,205,376.0	0.0	1,205,376.0	40.00	0.00
	屏東線	P	1844:41	101,328.9	4,056,037.1	1,770,037.5	5,826,074.6	57.50	0.44
6 柴液機車	小運轉線	S	530:08	9,986.8	406,067.9	171,168.0	577,235.9	57.80	0.42
	山線	T	1315:55	64,056.6	2,564,723.4	358,704.0	2,923,427.4	45.64	0.14
	內灣線	V	470:15	14,170.2	566,808.0	0.0	566,808.0	40.00	0.00
	線別計:		34141:40	1,958,527.6	77,860,491.1	31,508,065.0	109,368,556.1	647.36	4.09
	縱貫線	A	27:20	5,506.1	330,366.0	0.0	330,366.0	60.00	0.00
	宜蘭線	E	2:48	145.0	8,700.0	0.0	8,700.0	60.00	0.00
	臨港線	F	0:31	10.4	624.0	0.0	624.0	60.00	0.00

資料來源：臺鐵機務處，2009 年。

圖 6-7 臺鐵動力車線別行駛公里表-2

# (L10) 動力車線別行駛公里表

印表日期: 2009/06/09 08:44

程式編號: MA01LA

2008 年 12 月份

頁碼: 3 ~ 3

類別	線別	運轉時間	行駛公里	機車噸公里	客車噸公里	貨車噸公里	合計	每公里列車重量	機車每噸牽引噸數
6 柴油機車	南迴線 J	5:08	98.2	5,892.0	0.0	0.0	5,892.0	60.00	0.00
	台東線 M	3:09	71.6	4,296.0	0.0	0.0	4,296.0	60.00	0.00
	屏東線 P	2:33	61.3	3,678.0	0.0	0.0	3,678.0	60.00	0.00
	小運轉線 S	406:38	15,096.5	905,790.0	0.0	0.0	905,790.0	60.00	0.00
	山線 T	6:35	266.3	15,978.0	0.0	0.0	15,978.0	60.00	0.00
	線別計:	454:42	21,255.4	1,275,324.0	0.0	0.0	1,275,324.0	480.00	0.00
7 傾斜式機車	縱貫線 A	865:05	56,536.9	2,261,476.0	9,466,241.0	0.0	11,727,717.0	207.43	4.19
	宜蘭線 E	1041:42	85,786.8	3,431,472.0	14,428,216.0	0.0	17,859,688.0	208.19	4.20
	北迴線 I	558:23	64,054.5	2,562,180.0	10,795,614.0	0.0	13,357,794.0	208.54	4.21
	小運轉線 S	66:01	959.5	38,380.0	50,863.0	0.0	89,243.0	93.01	1.33
	山線 T	180:34	18,560.6	742,424.0	3,062,499.0	0.0	3,804,923.0	205.00	4.13
	線別計:	2711:45	225,898.3	9,035,932.0	37,803,433.0	0.0	46,839,365.0	922.17	18.06
總計:		133415:08	7,040,192.9	373,021,260.1	906,715,814.4	183,219,421.4	1,462,956,495.9	11,827.82	124.81

資料來源：臺鐵機務處，2009 年。

圖 6-8 臺鐵動力車線別行駛公里表-3

表 6-11 2008 年柴油車輛能源消耗量

車種	能耗量(公升)
柴電機車	16,768,088
柴油客車	10,077,530
柴液機車	380,771

資料來源：臺灣鐵路局機務處，2009 年。

表 6-12 2008 年電力車輛能源消耗量

車種	能耗量(度)
推拉式機車	103,338,698
電力機車	80,924,169
電聯車	225,163,526
傾斜式電聯車	17,268,156

資料來源：臺灣鐵路局機務處，2009 年。

表 6-13 2008 年臺鐵柴油車輛路線行駛能耗量

行駛路線別	車種	能耗量(公升)	
縱貫線	柴電機車	3,387,154	4,755,543
	柴油客車	1,269,769	
	柴液機車	98,620	
宜蘭線	柴電機車	1,039,621	3,098,102
	柴油客車	2,055,816	
	柴液機車	2,665	
南迴線	柴電機車	1,810,954	2,679,526
	柴油客車	866,668	
	柴液機車	1,904	
臺東線	柴電機車	2,917,647	5,982,358
	柴油客車	3,063,569	
	柴液機車	1,142	
屏東線	柴電機車	2,984,720	3,519,971
	柴油客車	534,109	
	柴液機車	1,142	
小運轉線	柴電機車	184,449	505,184
	柴油客車	50,388	
	柴液機車	270,347	
山線	柴電機車	33,536	310,579
	柴油客車	272,093	
	柴液機車	4,950	
臨港線	柴電機車	50,304	50,456
	柴液機車	152	
林口線	柴電機車	285,058	305,213
	柴油客車	20,155	
北迴線	柴電機車	4,124,950	5,686,967
	柴油客車	1,562,017	
臺中港線	柴電機車	33,536	33,536
深澳線	柴電機車	7	7
集集線	柴油客車	211,628	211,628
平溪線	柴油客車	110,853	110,853
內灣線	柴油客車	50,388	50,388

資料來源：臺灣鐵路局機務處，2009 年，本研究整理。

表 6-14 2008 年臺鐵電力車輛路線行駛能耗量

行駛路線別	車種	能耗量(度)	
縱貫線	推拉式機車	68,720,234	290,587,297
	電力機車	45,074,762	
	電聯車	172,475,261	
	傾斜式電車	4,317,039	
宜蘭線	推拉式機車	8,267,096	51,732,286
	電力機車	19,098,104	
	電聯車	17,787,919	
	傾斜式電車	6,579,167	
小運轉線	推拉式機車	20,668	203,677
	電力機車	80,924	
	電聯車	67,549	
	傾斜式電車	34,536	
山線	推拉式機車	17,980,933	49,541,464
	電力機車	6,069,313	
	電聯車	24,092,497	
	傾斜式電車	1,398,721	
北迴線	推拉式機車	5,993,644	24,904,065
	電力機車	9,710,900	
	電聯車	4,278,107	
	傾斜式電車	4,921,424	
屏東線	推拉式機車	2,480,129	9,900,037
	電力機車	890,166	
	電聯車	6,529,742	
臨港線	電力機車	809	809
	電聯車	225	225
成追線	電聯車	112,582	112,582

資料來源：臺灣鐵路局機務處，2009 年，本研究整理。



## 2.北捷

計算北捷 Tier 2 時，本研究依北捷提供之中運量木柵段與高運量淡新中段及板南土段歷年列車行駛用電量，如表 6-15，以計算歷年各運量與各段別溫室氣體排放量。

依據北捷所提供軌道用電量整體來看，自 1999 年較完整的路網通車後，用電量呈平穩上升。中運量系統方面，木柵段用電量在 2008 年時減少許多，係因 2008 年 9 月以前的中運量系統列車上並無裝獨立電表，因此軌道用電量與車站用電量為一起記錄，之後再推估軌道用電，因此在 2008 年 9 月前的軌道用電有出現高估的情形。高運量系統方面，用電量為穩定成長。

表 6-15 北捷歷年各段別軌道用電量

年份	軌道用電量(度)			
	中運量	高運量		合計
	木柵段	淡新中段	板南土段	
1999	18,308,603	59,125,998	1,113,298	78,547,899
2000	19,782,725	80,536,895	21,087,395	121,407,014
2001	18,788,324	73,194,320	30,119,755	122,102,399
2002	19,111,020	80,327,662	32,779,534	132,218,216
2003	21,302,928	84,037,238	34,243,266	139,583,432
2004	21,302,928	82,243,806	35,326,728	138,873,462
2005	23,793,400	84,091,525	35,875,809	143,760,734
2006	24,828,190	86,903,478	49,572,059	161,303,727
2007	26,147,125	90,857,921	62,136,923	179,141,969
2008	20,690,520	90,820,063	66,080,559	177,591,143

資料來源：臺北大眾捷運股份有限公司，2009 年。

## 6.3.2 軌道運輸溫室氣體排放係數

在計算溫室氣體排放量時，溫室氣體排放係數將是個代表性的值，攸關於計算的氣體種類，計算產生不同的氣體，需代入不同的係數。

### 1. Tier 2

由於國內目前無適用 Tier 2 的柴油排放係數，故參考國外文獻使用之柴油排放係數，如表 6-16 所示。使用係數為 2671.313 g/L；使用電力能源者，去年度計畫<sup>[6.3.1]</sup>已蒐集國內相關研究結果推估我國歷年發電之 CO<sub>2</sub> 排放係數(工研院能環所，2007 年 4 月)，詳見表 6-17，能源局<sup>[6.3.2]</sup>自 2005 年已開始正式公告國內電力溫室氣體排放係數，但 2005 年以前尚無，故去年度計畫中即針對歷年之電力排放係數暫以 2005 年及 2006 年公告係數與工研院推估電力最終消費平均結果比較後之比例調整歷年係數，調整結果見表 6-17。2008 年最新臺灣電力二氧化碳排放係數值為 0.636kg CO<sub>2</sub>-kWh。

表 6-16 柴油動力車溫室氣體排放係數

排放係數			
CO <sub>2</sub> (g/L)	CH <sub>4</sub> (g/L)	N <sub>2</sub> O(g/L)	CO <sub>2</sub> 當量(g/L)
2654.986	0.370	0.026	2671.313

資料來源：CCAR, General REMUorting Protocol v2.2, March 2007<sup>[6.2.2]</sup>，本研究整理。

表 6-17 我國發電與用電最終需求排放密集度

單位：kg CO<sub>2</sub>-kWh

年份	燃煤 發電	燃油 發電	燃氣 發電	火力發電 廠平均	發電廠 平均	汽電 共生廠	電力最終 消費平均	能源局公告修正 (GHG-CO <sub>2</sub> 當量)
1990	0.92	0.72	0.60	0.81	0.42	0.99	0.48	0.445
1991	0.90	0.73	0.60	0.81	0.45	0.98	0.52	0.482
1992	0.91	0.71	0.59	0.82	0.46	0.88	0.53	0.491
1993	0.85	0.71	0.59	0.79	0.47	0.86	0.54	0.501
1994	0.85	0.70	0.58	0.78	0.47	0.85	0.54	0.501
1995	0.84	0.70	0.57	0.77	0.48	0.85	0.55	0.510
1996	0.85	0.69	0.57	0.78	0.48	0.85	0.56	0.519
1997	0.807	0.70	0.55	0.79	0.51	0.87	0.59	0.547
1998	0.91	0.69	0.52	0.80	0.53	0.84	0.62	0.575
1999	0.96	0.70	0.49	0.82	0.54	0.82	0.62	0.575
2000	0.97	0.70	0.50	0.83	0.55	0.81	0.64	0.593
2001	0.95	0.68	0.52	0.83	0.56	0.81	0.65	0.603
2002	0.95	0.69	0.48	0.82	0.56	0.79	0.65	0.603
2003	0.95	0.70	0.46	0.81	0.56	0.85	0.67	0.621
2004	0.95	0.72	0.44	0.80	0.55	0.87	0.67	0.621
2005	0.98	0.71	0.45	0.81	0.56	0.89	0.68	0.632
2006	0.98	0.70	0.45	0.81	0.57	0.91	0.69	0.638
2007	-	-	-	-	-	-	-	0.637
2008	-	-	-	-	-	-	-	0.636

資料來源：

1. 「依能源局公告修正」欄位除外，上表參數參考自工研院能環所，2007 年 4 月。
2. 「依能源局公告修正(GHG-CO<sub>2</sub> 當量)」：2005 至 2008 年為能源局公告 GHG 係數，2005 年之前年份則比照各年電力最終消費平均趨勢概估。

### 6.3.3 軌道運輸溫室氣體排放推估結果

依據前述各運具能耗量與相關能源單位排放係數，可推估得軌道運輸溫室氣體排放量。其結果敘述如下：

#### 1. Tier 1

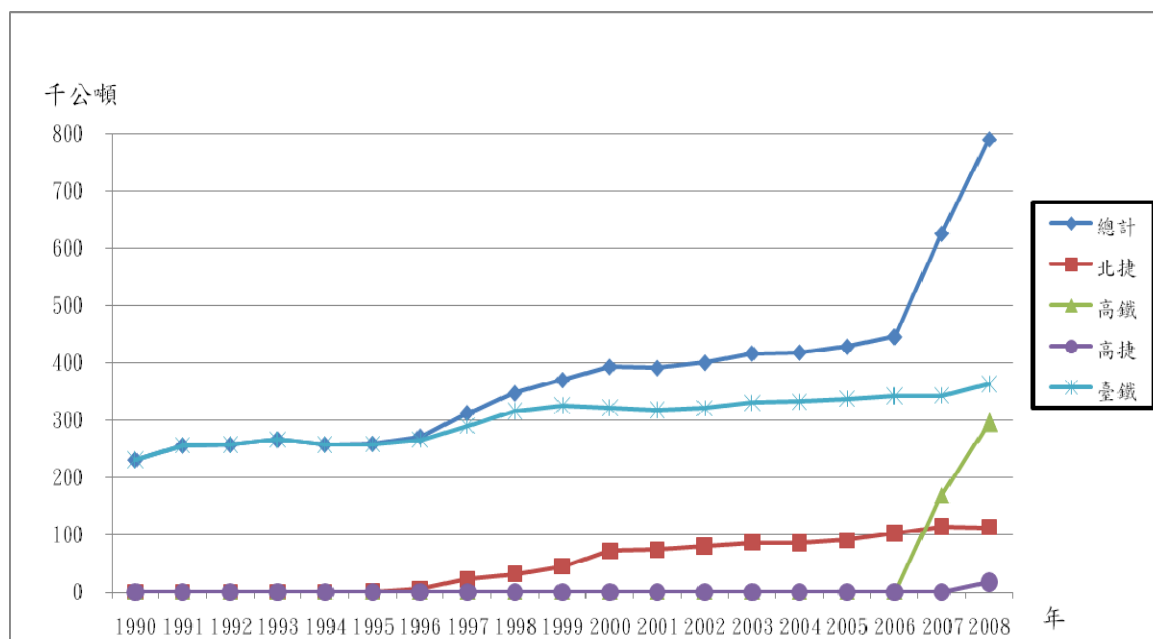
根據 Tier 1 公式計算而得之歷年軌道運輸溫室氣體排放量如表 6-18 與圖 6-9 所示，表中臺鐵柴油溫室氣體排放量由能源平衡表內軌道用油量計算而得，電力溫室氣體排放量分為能源平衡表合計項與實際合計項，前者合計項是由能源平衡表內軌道總用電量計算，後者則使用臺鐵、北捷、高鐵及高捷提供之用電量計算而得。臺鐵用電量因各年度 12 月結算日期不同，造成數據資料有與能源平衡表數據有所出入。

如表 6-18 與圖 6-9，柴油溫室氣體排放量因臺鐵實施電氣化與柴油車輛汰舊換新計畫而逐年下降約 30%；電力溫室氣體總體看來呈上升趨勢，臺鐵電力溫室氣體排放量呈穩定成長趨勢，自 1990 年至 2008 年約成長 174%。北捷自 1995 年開始營運至今各年溫室氣體排放量亦呈上升趨勢，約上升 112%。高鐵於 2007 年通車至 2008 年時，溫室氣體排放量由 169 千公噸上升至 296 千公噸，一年內成長 75%，成長幅度較其他運具為高。高捷為最晚營運之運具，於 2008 年 6 月開始營運，其 2008 年溫室氣體排放量已達 18 千公噸，較北捷 1996 年開始營運時排放量為 6 千公噸高出許多。

表 6-18 軌道運輸歷年溫室氣體排放量

年份	總計	電力(千公噸)						柴油 (千公噸)
		電力合計 (能源平衡表)	電力合計 (實際)	臺鐵	北捷	高鐵	高捷	臺鐵
1990	231	90	99	99	—	—	—	132
1991	256	96	115	115	—	—	—	141
1992	257	118	117	117	—	—	—	141
1993	266	119	119	119	—	—	—	147
1994	258	159	116	116	—	—	—	142
1995	259	117	117	116	—	—	—	142
1996	271	132	137	131	6	—	—	134
1997	313	186	182	159	23	—	—	131
1998	347	218	219	187	32	—	—	128
1999	370	237	235	190	45	—	—	135
2000	393	270	269	197	72	—	—	125
2001	391	270	272	198	74	—	—	120
2002	400	286	281	202	80	—	—	119
2003	417	289	309	222	87	—	—	108
2004	418	322	321	235	86	—	—	97
2005	428	330	331	240	91	—	—	97
2006	446	352	350	247	103	—	—	96
2007	626	529	533	250	114	169	—	93
2008	790	700	698	271	113	296	18	92

資料來源：本研究推估整理。



資料來源：本研究整理。

圖 6-9 臺灣軌道運輸歷年溫室氣體排放量趨勢圖

## 2.Tier 2

### (1)臺鐵

由 2008 年臺鐵各車種之路線別行駛溫室氣體排放量來看，詳見表 6-19 至表 6-35，表格內粗體字顯示該車種為該行駛路線別中溫室氣體排放量最多，以表 6-19 為例，行駛於臺鐵縱貫線之車種，溫室氣體排放量以電聯車為最多。至於 tier 1 公式推算之 GHG 排放量 363 千公噸與 tier 2 計算之 344 千公噸之差異係因公式中採用能耗係數差異所致。

表 6-19 Tier 2 臺鐵縱貫線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
縱貫線	柴油	柴電機車	9.05	12.70
		柴油客車	3.39	
		柴液機車	0.26	
	電力	推拉式機車	43.71	184.81
		電力機車	28.67	
		<b>電聯車</b>	<b>109.69</b>	
		傾斜式電車	2.75	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-20 Tier 2 臺鐵宜蘭線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
宜蘭線	柴油	柴電機車	2.78	8.28
		柴油客車	5.49	
		柴液機車	0.01	
	電力	推拉式機車	5.26	32.90
		<b>電力機車</b>	<b>12.15</b>	
		電聯車	11.31	
		傾斜式電車	4.18	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-21 Tier 2 臺鐵小運轉線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
小運轉線	柴油	柴電機車	0.49	1.35
		柴油客車	0.13	
		<b>柴液機車</b>	<b>0.72</b>	
	電力	推拉式機車	0.01	0.13
		電力機車	0.05	
		電聯車	0.04	
		傾斜式電車	0.02	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-22 Tier 2 臺鐵山線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
山線	柴油	柴電機車	0.09	0.83
		柴油客車	0.73	
		柴液機車	0.01	
	電力	推拉式機車	11.44	31.51
		電力機車	3.86	
		<b>電聯車</b>	<b>15.32</b>	
		傾斜式電車	0.89	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-23 Tier 2 臺鐵北迴線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
北迴線	柴油	柴電機車	<b>11.02</b>	15.19
		柴油客車	4.17	
	電力	推拉式機車	3.81	15.84
		電力機車	6.18	
		電聯車	2.72	
		傾斜式電車	3.13	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-24 Tier 2 臺鐵屏東線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
屏東線	柴油	柴電機車	<b>7.97</b>	9.40
		柴油客車	1.43	
		柴液機車	0.0031	
	電力	推拉式機車	1.58	6.23
		電力機車	0.57	
		電聯車	4.16	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-25 Tier 2 臺鐵臨港線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
臨港線	柴油	柴電機車	<b>0.134</b>	0.13
		柴液機車	0.0004	
	電力	電力機車	0.0005	0.0007
		電聯車	0.0001	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-26 Tier 2 臺鐵成追線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
成追線	電力	電聯車	0.07

資料來源：本研究推估整理。



表 6-27 Tier 2 臺鐵南迴線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
南迴線	柴油	柴電機車	<b>4.84</b>	7.16
		柴油客車	2.32	
		柴液機車	0.0051	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-28 Tier 2 臺鐵臺東線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
臺東線	柴油	柴電機車	7.80	15.98
		柴油客車	<b>8.18</b>	
		柴液機車	0.0031	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-29 Tier 2 臺鐵林口線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)	
林口線	柴油	柴電機車	<b>0.76</b>	0.82
		柴油客車	0.05	

資料來源：本研究推估整理。

表 6-30 Tier 2 臺鐵臺中港線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
臺中港線	柴油	柴電機車	0.09

資料來源：本研究推估整理。

表 6-31 Tier 2 臺鐵深澳線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
深澳線	柴油	柴電機車	0.00002

資料來源：本研究推估整理。

表 6-32 Tier 2 臺鐵集集線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
集集線	柴油	柴油客車	0.57

資料來源：本研究推估整理。

表 6-33 Tier 2 臺鐵平溪線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
平溪線	柴油	柴油客車	0.30

資料來源：本研究推估整理。

表 6-34 Tier 2 臺鐵內灣線 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	使用能源	車種	GHG 排放量(千公噸)
內灣線	柴油	柴油客車	0.13

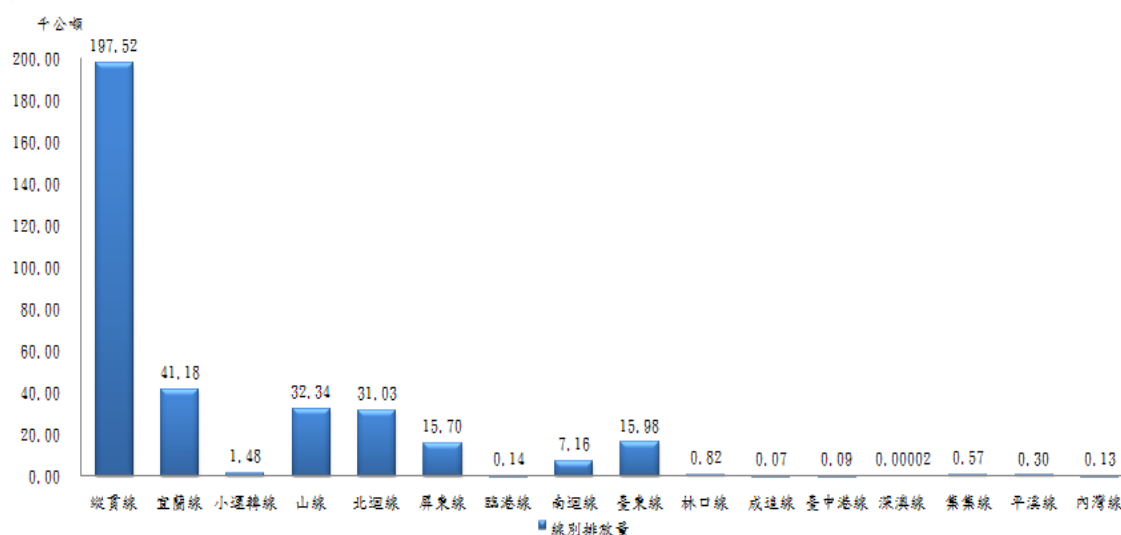
資料來源：本研究推估整理。

表 6-35 Tier 2 臺鐵各線別 2008 年溫室氣體(GHG)排放量

行駛路線別	GHG 排放量(千公噸)
縱貫線	197.52
宜蘭線	41.18
小運轉線	1.48
山線	32.34
北迴線	31.03
屏東線	15.70
臨港線	0.14
南迴線	7.16
臺東線	15.98
林口線	0.82
成追線	0.07
臺中港線	0.09
深澳線	0.00002
集集線	0.57
平溪線	0.30
內灣線	0.13
線別總計	344.49

資料來源：本研究推估整理。

由表 6-35 與圖 6-10 可知溫室氣體排放量以縱貫線最為顯著，該線別為全線電氣化，又為各車種主要行駛路線；而溫室氣體排放量僅有零點多千公噸之路線如臨港線、林口線、成追線、臺中港線、深澳線、集集線、平溪線與內灣線皆為較少車種行駛的支線。



資料來源：本研究推估整理。

圖 6-10 臺鐵 2008 年各路線行駛溫室氣體排放量

## (2)北捷

由北捷歷年段別行駛溫室氣體排放量來看，詳見表 6-36，整體的溫室氣體排放量呈平穩上升。中運量系統與高運量系統溫室氣體排放量皆呈升高趨勢。

表 6-36 Tier 2 北捷歷年段別行駛溫室氣體排放量

年份	溫室氣體排放量(千公噸)			溫室氣體排放量(千公噸)		
	中運量	高運量		中運量合計	高運量合計	合計
	木柵段	淡新中段	板南土段			
1999	11	34	1	11	35	45
2000	12	48	13	12	60	72
2001	11	44	18	11	62	74
2002	12	48	20	12	68	80
2003	13	52	21	13	73	87
2004	13	51	22	13	73	86
2005	15	53	23	15	76	91
2006	16	55	32	16	87	103
2007	17	58	40	17	97	114
2008	13	58	42	13	100	113

資料來源：本研究推估整理。

## 6.4 軌道系統相關資料調查

### 6.4.1 調查目的

在推估軌道運輸溫室氣體排放量的同時，應更努力的推動節能與溫室氣體的減量，而在進行相關策略與措施時，若能掌握各運具車隊之運輸服務量與其能源使用效率，將可建立較好的推動機制。

### 6.4.2 調查對象與範圍

軌道運輸分為臺鐵、北捷、高鐵與高捷，未來應加入桃園機場捷運、桃園捷運及臺中捷運，其調查內容除了直接由交通工具排放之溫室氣體外，應將公司場站內所有溫室氣體排放之相關排放源納入。其中，部分污染源活動排放目前可能並非歸類於國家清冊的運輸部門排放類別中，但因同屬於管轄場所下之污染源，調查時應一併考量。

### 6.4.3 調查範疇界定

溫室氣體的調查須以資訊使用目的為導向來設計調查程序，而與調查資訊使用目的最相關的就是調查範疇(邊界)，在設定軌道運輸調查範疇時應由營運邊界進行考量。在設定與營運有關的排放時，以直接排放與間接排放做為分類，所謂直接排放與間接排放是指：

#### 1. 直接排放

指排放係來自由公司所擁有或控制的排放源。

#### 2. 間接排放

指排放係公司作業活動結果，但排放源為另一家公司所擁有或控制。

於溫室氣體調查議定書中，針對營運邊界則以 3 種範疇(scope)加以分類，主要分為範疇 1、範疇 2 及範疇 3：

##### (1) 範疇 1：直接溫室氣體排放

直接的溫室氣體排放係源自於公司擁有或控制的排放源，以軌道運輸來說，來自於運具使用柴油能源時的排放，也包括運具冷媒逸散排放至大氣的溫室氣體。另非運具之空調設備使用時的 HFC 排放亦屬於該公司之直接溫室氣體排放。

## (2)範疇 2：間接溫室氣體排放

範疇 2 係指來自於公司自用之外購能源所產生的溫室氣體。外購能源係定義為買進或輸入至公司組織邊界內的能源，範疇 2 之排放實體上是發生在生產能源的設施上。以軌道運輸來說，主要在於使用電力驅動之運具的電力耗用，以及運輸場站的日常用電。

## (3)範疇 3：其他間接溫室氣體排放

範疇 3 是一個選擇性的報告類別，允許以此類別來處理所有其他的間接排放。範疇 3 排放是公司作業活動的結果，但產生自其他非公司所擁有或控制的排放源。屬於範疇 3 作業活動的例子有：外購燃料的運送、販售之產品或服務的使用等。表 6-37 即為軌道運輸各範疇主要對映之排放源類別。

表 6-37 軌道運輸直接與間接的溫室氣體排放

排放源	範疇 1	範疇 2	範疇 3
	指排放係來自公司所擁有或控制的排放源	應用於公司自有的或管控設備但排放源不在公司)	選擇性的報告類別
移動燃燒源	指移動燃燒源(例如柴電機車，柴液機車，電源車...)柴油燃燒產生之排放。	購買外來的電力或蒸汽以驅動交通工具，例如電力機車，電聯車...等。	使用的交通工具由別的公司擁有或管控，例如公務車，交通車...等。
固定燃燒源	指固定式設備燃料燃燒產生之排放，如緊急發電機。	購買外來的電力或蒸汽以驅動場站相關設備。	維持「單位場所」正常運作所需原物料或活動，但其製造、處理由別的公司擁有或管控。
逸散源	如空調設備或冷氣使用階段的 HFC 排放，化糞池之甲烷、滅火器之二氧化碳。	—	—

資料來源：運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與排查機制之建立(1/3)-探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響(2008)。

#### 6.4.4 調查程序

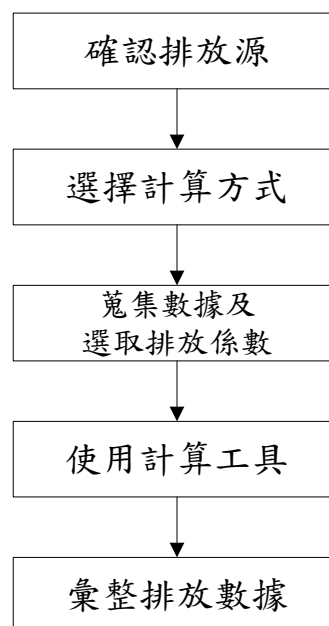
一旦建立好調查邊界，通常都會根據圖 6-11 的 5 個步驟計算溫室氣體排放。各步驟分別敘述如下：

##### 1. 確認排放源

可見表 6-37 之分類，確認各部門調查邊界內相關排放源。

##### 2. 選擇計算方法

藉由監測濃度和流量來直接量測溫室氣體的排放並不常見。比較常用的排放量計算方法，可以是質量平衡法，或針對特定設施或製程的化學計量理論。然而，最常用來計算溫室氣體排放量的方法是使用已建檔的排放係數。這些排放係數是依溫室氣體排放量與排放源作業活動有關的數據所計算得來的比值。跨政府間氣候變遷專家小組(IPCC)的指導準則中提供了一系列的計算方法與技術，其中包括排放係數法的應用及直接監測法。



資料來源：運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與排查機制之建立(1/3)-探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響(2008)。

圖 6-11 確認及計算溫室氣體排放之步驟

在很多狀況下，特別是無直接監測或是量測溫室氣體排放特別昂貴時，可直接從燃料的使用數據來計算正確的排放量。各部門應採用最精確可行且適合其報告內容的計算方法。一般交通工具計算 CO<sub>2</sub> 排放量的方法可依據燃料或距離為衡量基礎：

#### (1)依據燃料為衡量基礎

燃料消耗量乘上各種燃料的 CO<sub>2</sub> 排放係數。若無直接燃料耗用量資料，由車輛活動數據與燃油效率亦能用來計算燃料消耗量。

#### (2)依距離為衡量基礎

藉以距離為基礎導出的排放係數來估算。活動數據可以車輛行駛公里數、貨運噸-公里數、乘客-公里數等方式來表示。

因為燃料數據通常會較為可靠，所以在應用上應以燃料為衡量基礎的方法為優先，而依距離為衡量基礎的方法因為在計算 CO<sub>2</sub> 排放量的時候，會導入高不確定性，儘量少使用此方法。

### 3.蒐集活動數據並選擇排放係數

範疇 1 的排放主要根據商用燃料之購買量(如柴油)，並使用已公告的排放係數來計算。範疇 2 的排放量主要來自使用電力能源，以及供電者特定的、地方供電網路的或其他已公告的排放係數來計算。範疇 3 的排放量會根據如燃油使用或旅客里程之作業數據，以及已公告的或為第三單位所提出的排放係數來計算。在大部分的情況下，若排放源或設施特定的排放係數存在的話，應比一般通用的排放係數更優先使用。

#### (1)活動數據的蒐集

軌道運輸的活動數據蒐集若為採用燃料消耗數據，通常可由採購收據或其他採購紀錄中獲得。而在應用這些收據時，最好區分採購量與實際應用量，避免把實際未消耗的燃料數量納入排放量的計算中。若採用距離為衡量基礎的方法用來估算時，公司紀錄應有旅程距離的數據；而每單位里程的平均燃料耗用量資料，可由公司紀錄中獲知，包括原始的採購紀錄。

#### (2)排放係數的選擇

範疇 2 使用外購電力者其排放係數需依國內發電能源耗用狀況推估所得之係數，此係數主要是參考能源局公告之係數，可參考表 6-38。



表 6-38 設備冷媒逸散率排放因子

設備名稱	排放因子(%)	防治設備回收率(%)
家用冷凍、冷藏裝備	0.1-0.5	70
獨立商用冷凍、冷藏裝備	1-10	70-80
中、大型冷凍、冷藏裝備	10-30	80-90
交通用冷凍、冷藏裝備	15-50	70-80
工業冷凍、冷藏裝備，包括 食品加工及冷藏	7-25	80-90
冰水機	2-15	80-98
住宅及商業建築冷氣機	1-5	70-80
移動式空氣清淨機	10-30	0

資料來源：運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與排查機制之建立(1/3)-探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響(2008)。

#### 4.應用相關計算工具

有關移動源的溫室氣體排放量的計算工具，目前世界企業永續發展委員會(WBCSD)與世界資源協會(WRI)合作下有發展一套移動源的溫室氣體排放量的計算表格，可做為參考使用，唯其中相關係數因子需依據國內特性予以取代修正。

本研究為能將調查數據以原始 IPCC Tier 2 與 Tier 3 公式予以計算，相關設計表格可見 6.4.5 節。相關表格可作為各個軌道部門的例行性記錄範本，依據不同車種或車型的種類詳細記錄能耗、行駛路線、行駛里程或相關營運資料，之後便可統一彙整。其他非軌道能耗資料則歸類於其他設施，例如車站的冷氣、人員搭乘的公務車等等，可作為在結算時的依據。

##### (1)彙整溫室氣體數據

要瞭解整體的溫室氣體排放量，通常需要從眾多的設施，甚至可能是從不同國家及事業部門來彙整相關數據。為了讓報告的成本儘可能地降低，並減低彙整資料時產生誤差的風險，確保全部設施都是以核可且一致的基礎來蒐集數據，謹慎地規劃作業流程即相當重要。

## 6.4.5 調查表格

實際執行調查時所需相關表格規劃建議如表 6-39~表 6-42，包括公司基本資料、營運邊界、車隊基本資料、設施資料與車隊活動數據。表 6-39 需要的是各公司基本資料與聯絡人。表 6-40 是車隊的基本資料，包括車種、車型、營運服務類別、各車輛功率及車輛數，此表格的填寫可幫助瞭解各車種與車型的基本資料。表 6-41 為車站設施資料，包含設施使用的燃料及設施會排放的類型，此表格主要是記錄非軌道能耗的資料，可瞭解軌道其他周邊設施的能耗。表 6-42 為各車型的營運數據資料，包含燃料使用量、運轉小時、行駛里程、運量與車輛平均功率，此表格即為在計算溫室氣體排放量時所需要的基本資料。

表 6-39 公司基本資料表

公司基本資料	
調查年度(民國)	
公司統一編號	
公司名稱	
公司縣市名稱	
公司鄉鎮市區名稱	
公司郵遞區號	
公司地址	
業別分類代碼*	
業別分類名稱*	
聯絡人姓名	
聯絡人電話	
聯絡人傳真	
聯絡人電子信箱	
備註	

\*見業別分類表

業別分類表		
分類	名稱	代碼
鐵路運輸業	鐵路運輸	4910-00
大眾捷運運輸業	大眾捷運運輸系統	4920-00

表 6-40 各車種基本資料

	基本資料						能源別 <sup>d</sup>	範疇 (1,2,3)	可能產生溫室氣體種類						SF <sub>6</sub> (請勾選)		物種
	車種/ 系統 <sup>a</sup>	車型 <sup>b</sup>	營運服務 類別 <sup>c</sup>	車輛功 率(kW)	車 輛 數	出 廠 年 份 (民國)			CO <sub>2</sub> (請勾選)	CH <sub>4</sub> (請勾選)	N <sub>2</sub> O (請勾選)	HFCs (請勾選)	PFCs (請勾選)				
													物種	(請勾選)			
範例	柴電機車	R150	客運	1230	25	71	柴油	1	V	V	V						
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

a: 臺鐵(柴電機車、柴油客車、柴油機車、電力機車、電聯車...等)，北捷/高捷(中運量或高運量)，高鐵(新幹線系統)

b: 根據車種所使用的車型，例如：R150、R180、R190、EMU400、EMU500，C301、C307，700T...等

c: 客運或貨運

d: 柴油或電力

表 6-41 車站設施資料

	基本資料					能 耗 量 (公升/年) (度/年)	燃料/物料 名稱(請填 寫)	範 疇 別 (1,2,3) (請填寫)	排 放 源 型 式 (E: 固 定源,F: 逸散源)(請 填寫)
	所屬地點	活動/設施	設備編號	設置/購買 年份 (民國)					
範例	臺北車站	冷藏設備	12345	76		150,000	冷媒	1	F
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

表 6-42 各車型活動數據

	基本資料			營運資料				
	車型 <sup>a</sup>	營運服務類別 <sup>b</sup>	能源別 <sup>c</sup>	能耗量 (公升/年) (度/年)	運轉小時 (小時/年)	行駛里程 (公里/年)	運量 (延人(噸)公里/年)	車輛平均行駛功率 (kW)
範例	TEMU1000	客運	電力	500,000	6,000	200,000		250
	R150	貨運	柴油	1,700,000	30,000	600,000		250
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

a: 例如：R150、R180、R190、EMU400、EMU500、C301、C307、700T...等

b: 客運或貨運

c: 柴油或電力

## 6.5 小結

本研究運用 Tier 1 與 Tier 2 完成軌道部門溫室氣體排放推估，其主要結果分述如下：

### ① Tier 1

就軌道運輸整體看來，其溫室氣體排放量皆為逐年上升。而各部門溫室氣體排放量除臺鐵的柴油溫室氣體排放量下降約 30% 外，臺鐵的電力溫室氣體排放量自 1990 年至 2008 年約成長 174%。北捷自 1995 年開始營運至今各年溫室氣體排放量約上升 112%。高鐵於 2007 年通車至 2008 年時，溫室氣體排放量由 169 千公噸上升至 296 千公噸，一年內成長 75%。高捷為最晚營運之運具，於 2008 年 6 月開始營運，其 2008 年溫室氣體排放量為 18 千公噸。

### ② Tier 2

本研究 Tier 2 係由不同路線與車種做溫室氣體排放量推估，而高鐵與高捷之路線及車種較為單純，因此僅探討臺鐵及北捷。臺鐵 2008 年之溫室氣體排放量以縱貫線最為顯著，該線別為全線電氣化，又為各車種(柴電機車、柴油客車、電力機車、電聯車…等)主要行駛路線。而北捷歷年各段別(中、高運量)行駛溫室氣體排放量皆為上升趨勢，在高運量系統加入後更是明顯。

### ③ Tier 3

至於運用 IPCC Tier 3 推估方法時，因國內軌道系統尚無負荷因子之相關文獻資料，因此在推估溫室氣體排放量時無法計算。建議可針對此課題進行調查，從不同車輛載重去統計各車輛實際的使用功率，以估算軌道系統之負荷因子。

在推估軌道運輸溫室氣體排放量的同時，應更務實推動軌道運輸之節能與溫室氣體的減量，俟軌道運輸氣體排放資料逐漸明確建立後，可著手進行減量效益之評估與策略之檢討。

本研究建議可從系統性比較、軌道系統相關資料調查、策略運作方式等三大方向做為以後軌道運輸減量策略措施之參考基準，同時在推動相關策略

與措施時，若能掌握各運具的車隊之運輸服務量與其能源使用效率，將可建立較好的運作機制。



## 第七章 運輸部門溫室氣體排放量基線預測

運輸部門溫室氣體排放量基線(BAU)預測係以第三章的歷史能源消費量為基礎，構建能源消費量模型並據以預測能源消費量基線，再由排放係數轉換成溫室氣體排放量。前兩期的計畫成果主要係以簡單迴歸模型為預測方法，本期計畫則以多元迴歸模型為預測方法，並考量「單一方程式獨立校估模型」與「聯立方程式同時校估模型(Simultaneous-equation model)」。

### 7.1 運輸部門能源消費量資料蒐集

首先說明經濟部能源局定義運輸部門能源消費量的範圍，其中包括：「公路、鐵路、國內航空與國內水運」的能源消費量，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費量，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費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費量，再經由第三章計算方式得到各類能源消費量的歷史資料。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」細分其能源消費量。能源平衡表中「能源別」的總消費量分別有下列 10 種：

- 1.公路汽油
- 2.公路柴油
- 3.鐵路電力
- 4.鐵路柴油
- 5.國內航空燃油
- 6.國際航空燃油
- 7.國內水運燃油
- 8.國內水運柴油
- 9.國際水運燃油
- 10.國際水運柴油

公路運輸「運具別」能源消費量則分為下列 12 種：

- 1.汽油自用小客車
- 2.汽油營業小客車
- 3.汽油自用小貨車
- 4.汽油營業小貨車
- 5.汽油機車
- 6.柴油自用小貨車
- 7.柴油營業小貨車
- 8.柴油自用大客車
- 9.柴油遊覽車
- 10.柴油公車與客運車
- 11.柴油自用大貨車
- 12.柴油營業大貨車

依上述分類方式本計畫蒐集經濟部能源局新版能源平衡表之能源消費量時間序列(從 1990 年至 2008 年)作為本章分析的資料來源，在後續模型中，其能源變數的單位皆為原始單位：公秉，但在不同能源消費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費量原始單位(公秉)與排放係數進行計算。相關公路運輸各項運具的能源消費量計算公式請參考第三章內容。

## 7.2 經濟計量模型

本計畫溫室氣體排放量基線係以歷史資料構建經濟計量模型，並據以進行預測，其中就能源消費量的分類方式有：「能源別總計消費量模型」與「運具別能源消費量模型(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，但可再依方程式數量而區分為：「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，有別於前期計畫成果的是：「單一方程式獨立校估模型」同時考慮多個自變數以及政策變數，「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。

### 7.2.1 變數選取

因變數有兩類，「能源別總計消費量模型」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、國際水運柴油等 10 個能源消費量因變數；「運具別能源消費量模型(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、柴油公車與客運車、柴油自用大貨車、柴油營業大貨車等 12 個能源消費量因變數。

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，本計畫選取具有代表經濟活動強度的自變數包括：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」亦是影響能源消費量的重要因素，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」3 項。GDP、人均所得、戶數、人口數歷史資料來源為行政院主計處<sup>[7.2.1]</sup>，車輛登記數歷史資料來源則為交通部統計要覽<sup>[3.1.9]</sup>，能源價格資料來源為經濟部能源局<sup>[3.1.1]</sup>及中油公司<sup>[7.2.2]</sup>，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)<sup>[7.2.3]</sup>調整，相關模型變數彙整請參考表 7-1。

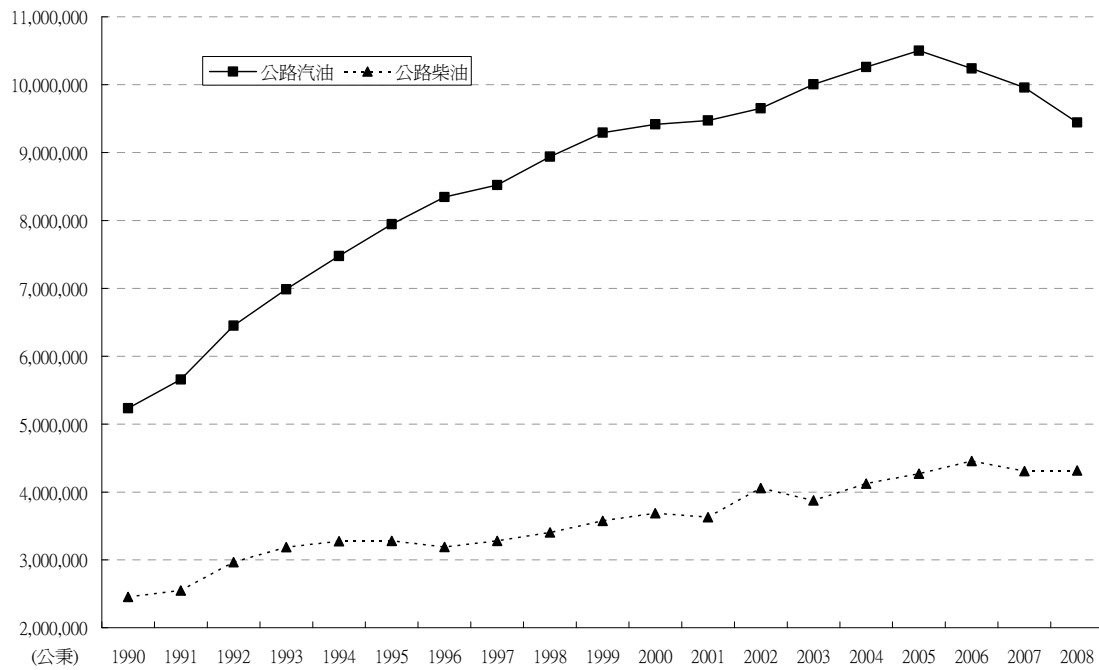
表 7-1 模型變數彙整表

	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	公秉	汽油自用小客車	公秉
	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		國內生產毛額(GDP)	
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				
高速公路電子收費政策變數				

資料來源：本研究整理。

## 7.2.2 能源消費量歷史趨勢分析

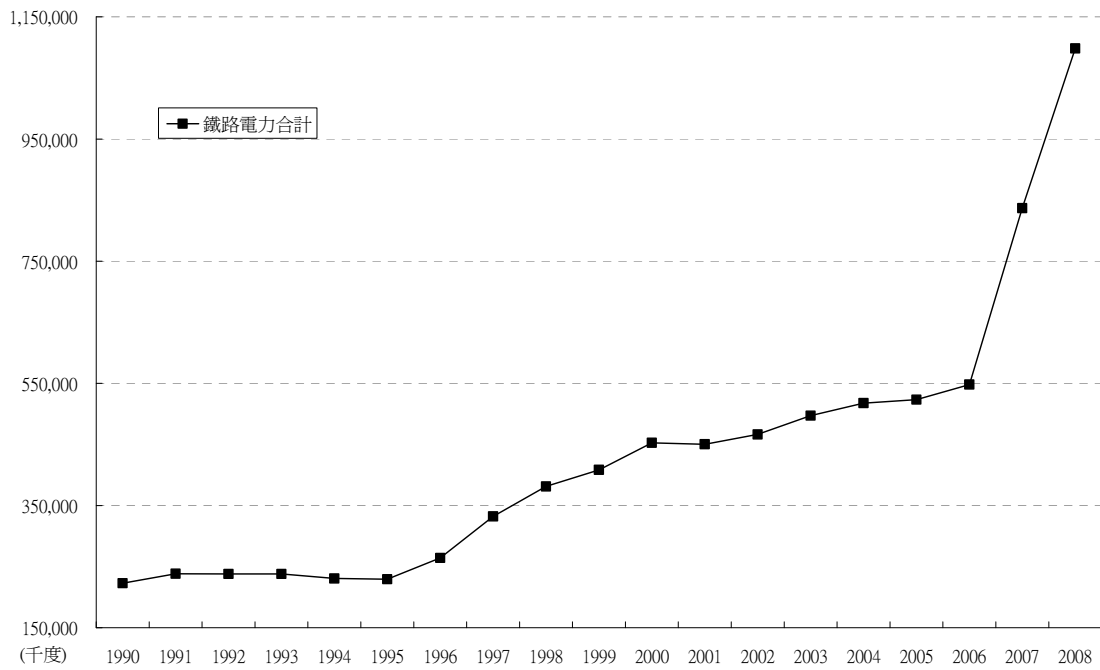
在「能源別總計消費量模型」各項能源總計消費量中，除鐵路電力能源消費量之外，其餘在近年皆呈現遞減之趨勢。首先，公路汽油與公路柴油則是於 2006 年開始遞減，其中公路汽油消費量是所有運輸部門中的最大量，請參考圖 7-1。



資料來源：本研究繪製。

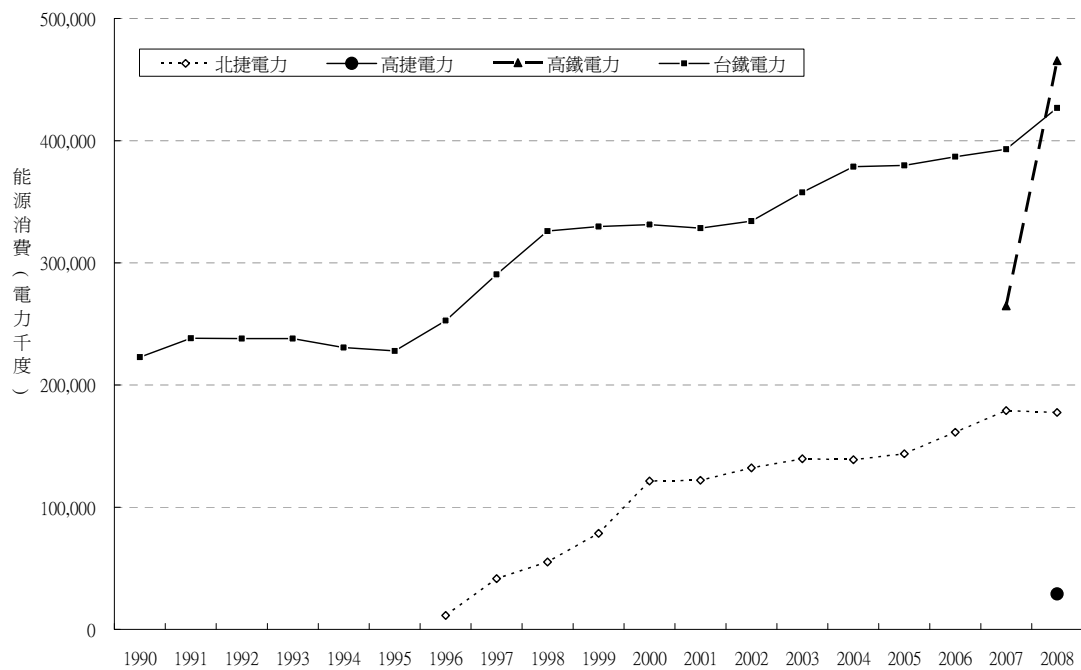
圖 7-1 能源別公路汽油、柴油歷史消費量趨勢

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，使鐵路電力消費量急劇上升，高鐵 2008 年電力消費量更超越臺鐵，請參考圖 7-2~7-3。鐵路柴油能源消費量(臺鐵)則是呈現逐年遞減趨勢，此可能與臺鐵逐年推動鐵路電氣化有關，請參考圖 7-4。



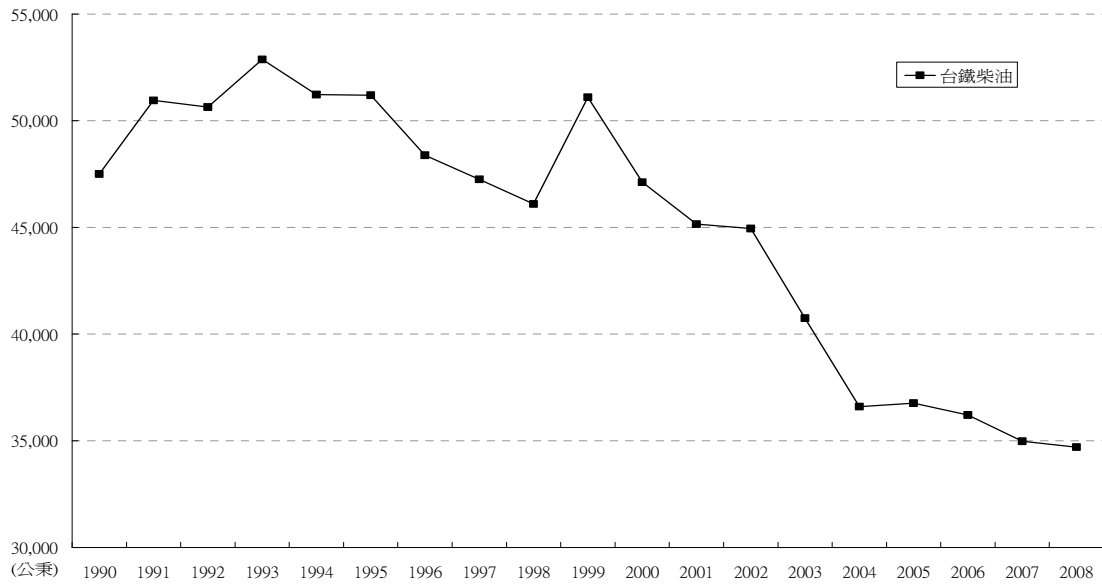
資料來源：本研究繪製。

圖 7-2 能源別鐵路電力合計歷史消費量趨勢



資料來源：本研究繪製。

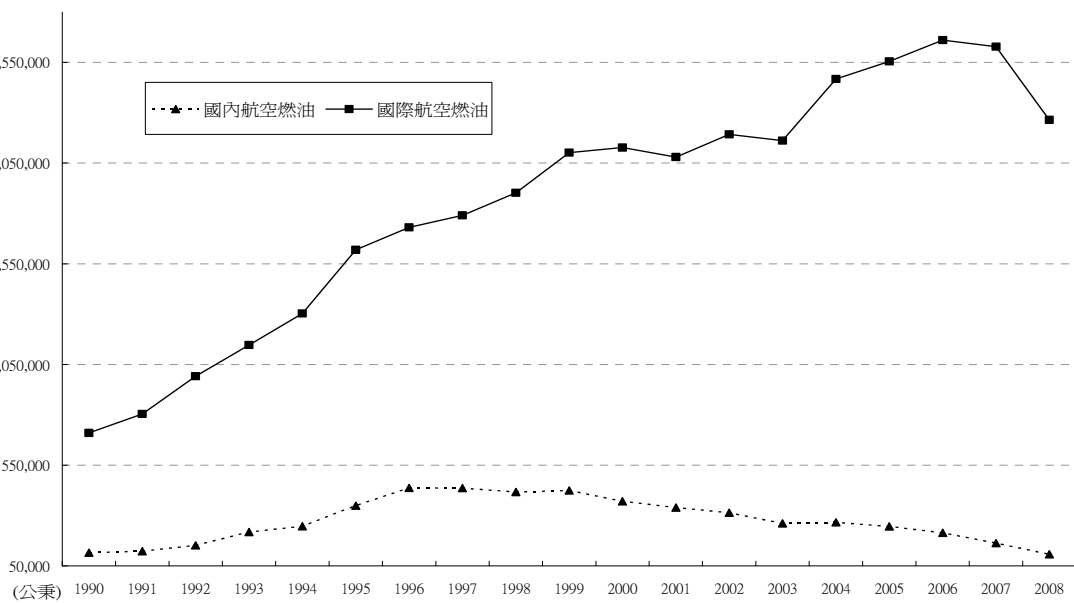
圖 7-3 能源別北捷、高捷、高鐵、臺鐵電力歷史消費量趨勢



資料來源：本研究繪製。

圖 7-4 能源別鐵路柴油歷史消費量趨勢

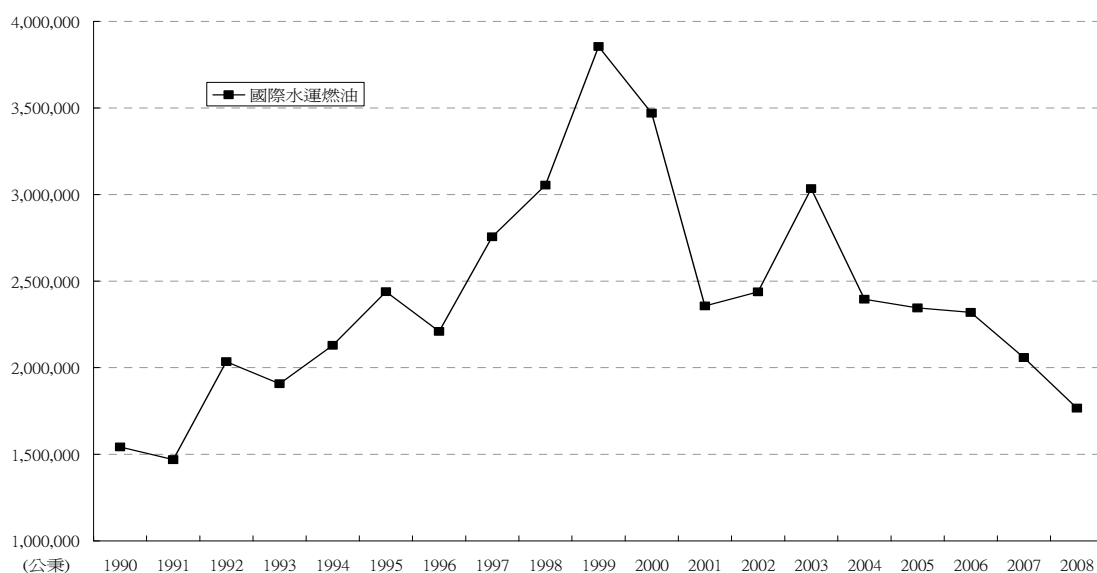
國內航空能源消費自 1996 年開始呈現逐年遞減，國際航空則於 2007 年開始明顯遞減，且為航空運輸之消費量大宗，請參考圖 7-5。



資料來源：本研究繪製。

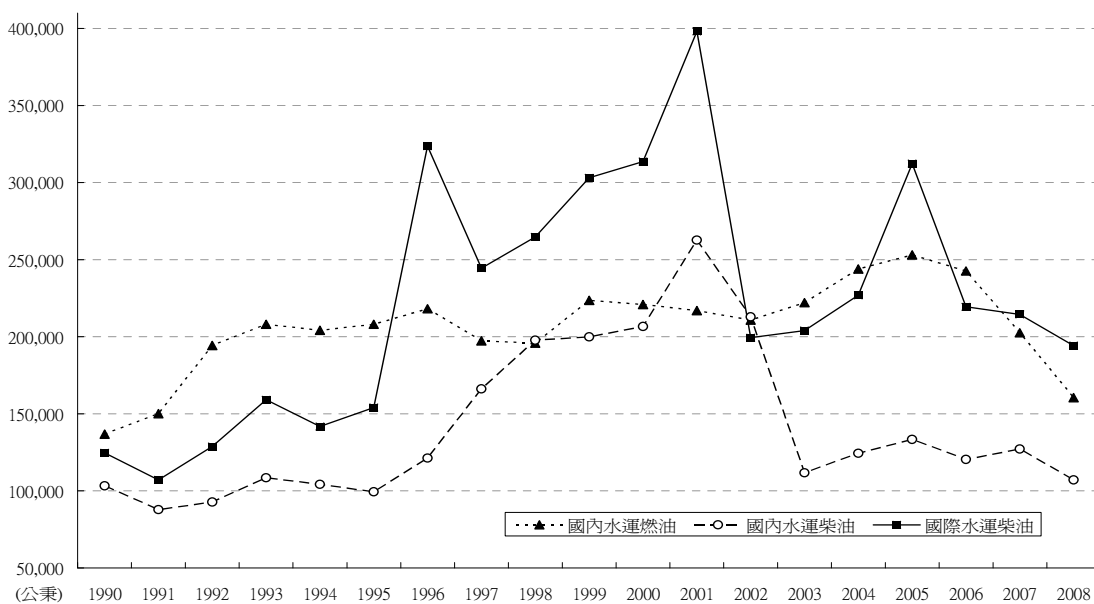
圖 7-5 能源別航空燃油歷史消費量趨勢

水運能源消費量可分「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 7-6~圖 7-7 發現，這 4 項水運能源消費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 7-6 能源別國際水運燃油歷史消費量趨勢

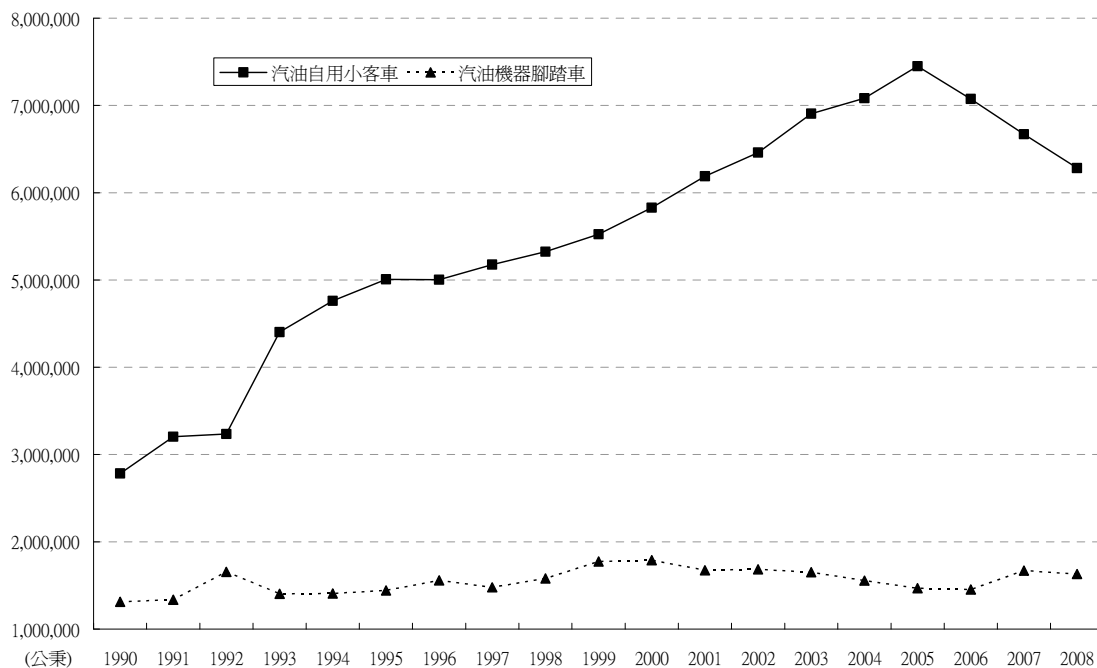


資料來源：本研究繪製。

圖 7-7 能源別水運(不含國際水運燃油)歷史消費量趨勢



「運具別能源消費量模型」則針對公路運輸中之各項運具細分為 12 項能源消費量，其中以汽油自用小客車、機車(汽油)與營業大貨車(柴油)為 3 大主要能源消費項，汽油自用小客車自 2005 年開始有明顯下降趨勢，機車消費量長期呈現相對穩定，惟在 2008 年是下降的，請參考圖 7-8。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-8 運具別汽油自用小客車、汽油機車歷史消費量趨勢

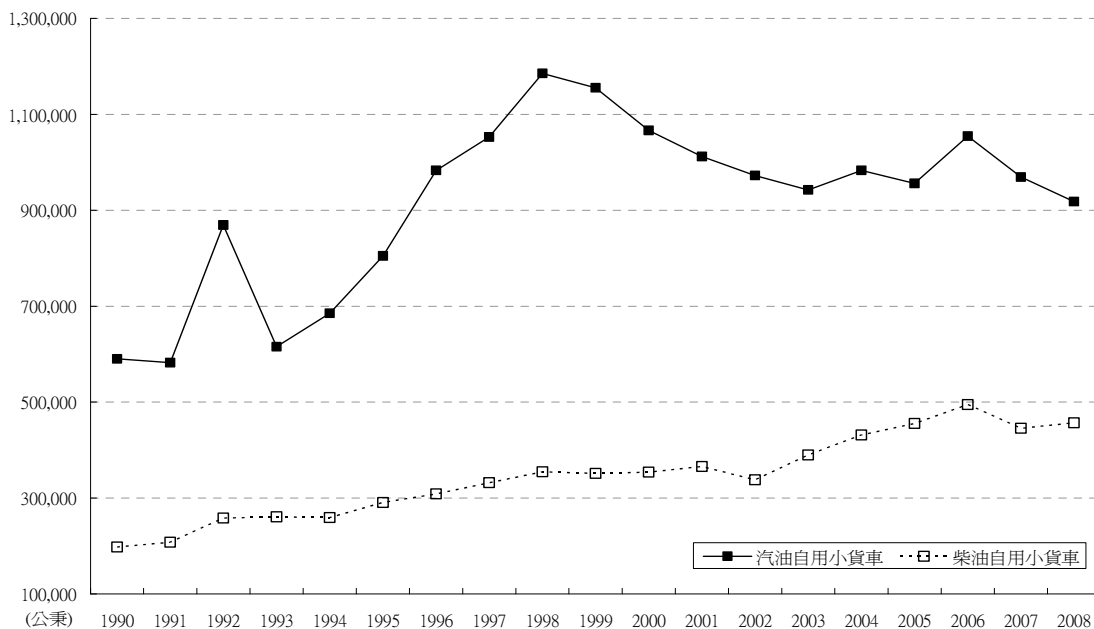
汽油營業小客車能源消費量的歷史趨勢均呈現波動現象，近年(2006 年開始)呈現遞減趨勢，請參考圖 7-9。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-9 運具別汽油營業小客車歷史消費量趨勢

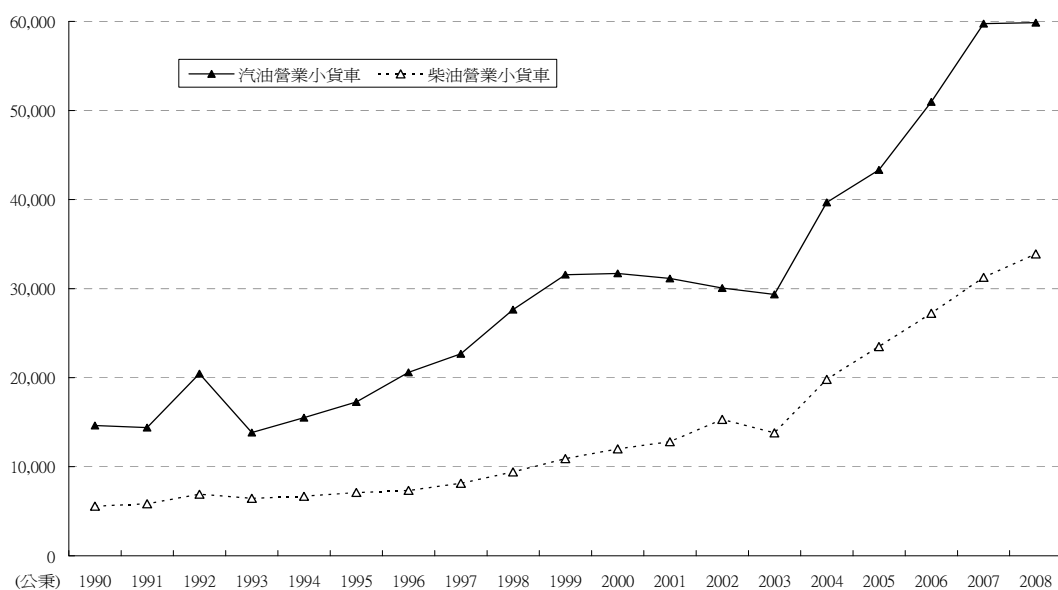
柴油自用小貨車皆呈現長期成長趨勢，惟汽油自用小貨車近年(2006 年開始)呈現遞減趨勢，請參考圖 7-10。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-10 運具別自用小貨車歷史消費量趨勢

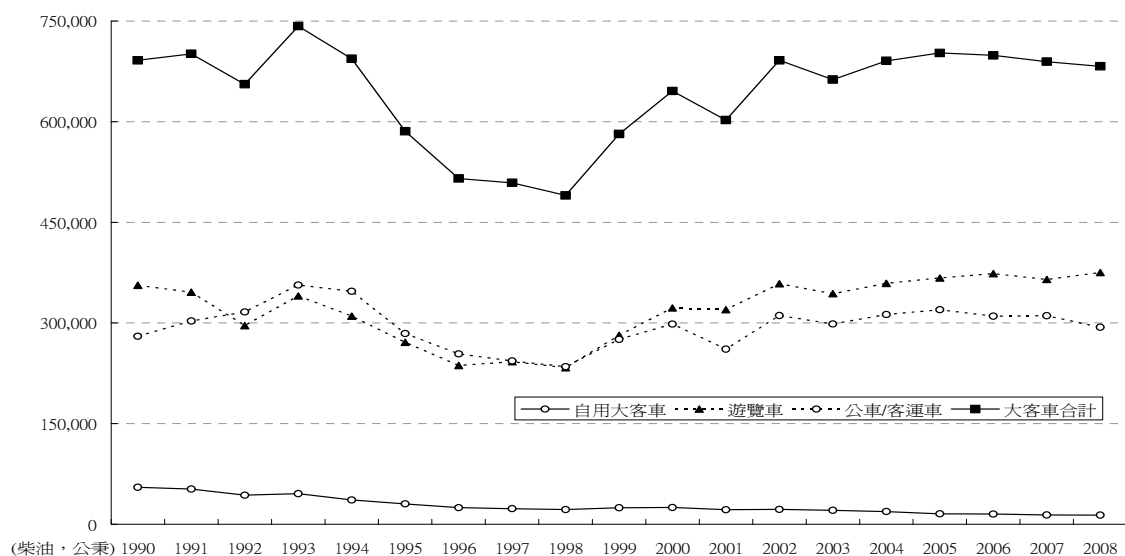
營業小貨車呈現長期穩定成長趨勢，請參考圖 7-11。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-11 運具別營業小貨車歷史消費量趨勢

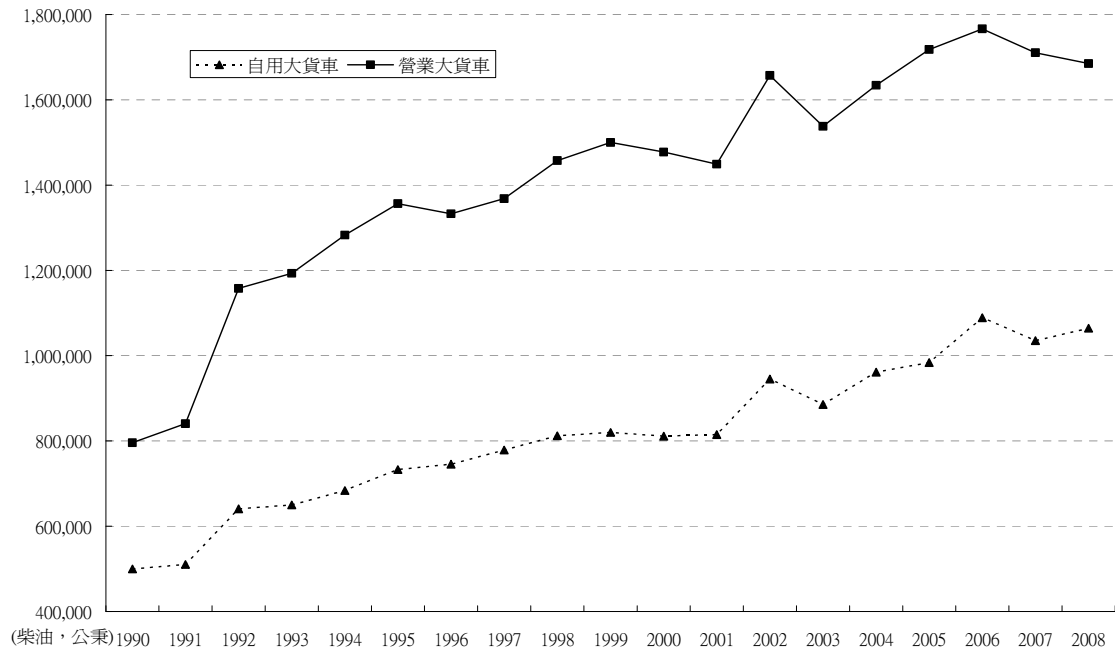
大客車(柴油)在 1998 年以前呈現遞減，1998 年以後則呈現遞增，其中以遊覽車較為明顯，公車與客運車消費量的波動現象較小，自用大客車則為緩慢遞減，請參考圖 7-12。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-12 運具別大客車(柴油)歷史消費量趨勢

大貨車能源消費量(柴油)皆呈現長期遞增現象，其中以營業大貨車為大量，惟其在近年(2006 年開始)呈現遞減趨勢，請參考圖 7-13。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-13 運具別大貨車(柴油)歷史消費量趨勢

### 7.2.3 模型建構

基於能源消費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費量的歷史趨勢，本計畫係以 Cobb-Douglas<sup>[7.2.4]</sup>函數為基礎，同時將政策變數機制放入該函數中，而為本計畫之單一方程式獨立校估模型，其一般式可表示如方程式(1)：

$$E_t = \alpha_0 \prod_{i=1}^n x_{it}^{\beta_i} \prod_{j=1}^m \alpha_j^{z_{jt}} \quad (1)$$

其中， $E_t$ ：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( $j=1,2,\dots,m$ )

$\alpha_0$ 、 $\beta_i$ 、 $\alpha_j$ ：為模型參數

此外，由於 Cobb-Douglas 函數的特性， $\beta_i$ 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  $\beta_i$  即為能源  $E$  的價格彈性； $\alpha_j$  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(1)作適當轉換以便於進行參數校估，本計畫將其轉換為方程式(2)再進行參數校估。

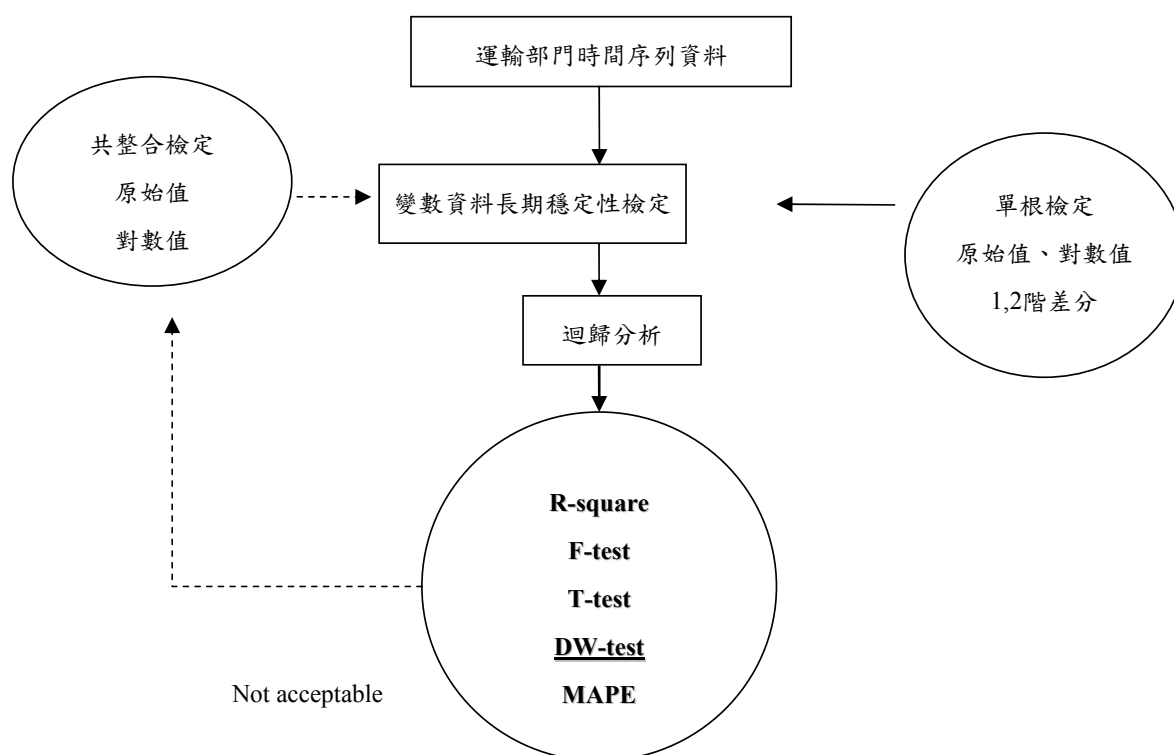
$$\ln E_t = \ln \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln x_{it} + \sum_{j=1}^m z_{jt} \ln \alpha_j \quad (2)$$

在「單一方程式獨立校估模型」的部分，則直接對方程式(2)進行參數校估。

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)」<sup>[7.2.5]</sup>。

### 7.3 模型參數校估

本計畫係以 E-Views<sup>[7.3.1]</sup>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 7-14。



資料來源：本研究繪製。

圖 7-14 參數校估流程

「單一方程式獨立校估模型」參數校估結果請參考表 7-2~7-3，其中表 7-2 為「能源別」總計消費量模型參數校估結果，對所有能源消費模型而言，GDP 都具顯著性，且其影響均為正向，意即當 GDP 增加，代表經濟活動強度增加，進而帶動運輸能源消費量增加，政策變數只有高鐵在公路汽油、鐵路電力及國內航空燃油的模型中呈現顯著。

此外，在公路汽油消費模型中，汽油價格變數為顯著，且其價格彈性為-0.462，表示當汽油價格上升 1%則汽油消費量將減少 0.426%，高鐵政策參數值為-0.105，表示高鐵政策對公路汽油消費會產生乘數效果約為 0.90，意即高鐵政策將影響公路汽油消費量約減少 10%。公路柴油模型中則有價格彈性為-0.214，表示當柴油價格上升 1%則柴油消費量將減少 0.214%。

鐵路電力消費模型中，對汽油價格的交叉彈性為 0.698，表示當汽油價格上升 1%則鐵路電力消費量將增加 0.698%，高鐵政策參數值為 0.385，表示高鐵政策對鐵路電力消費會產生乘數效果約為 1.47，意即高鐵政策將影響鐵路電力消費量約增加 47%。鐵路柴油消費模型則顯示其價格彈性為-0.971。

國內航空燃油消費模型則有兩個模型都呈現顯著，第 1 個模型顯示高鐵政策參數值為-1.034，表示對國內航空燃油消費產生乘數效果約為 0.36，意即高鐵政策將影響國內航空燃油消費量約減少 64%。第 2 個模型顯示其能源價格彈性為-1.118。惟此兩個變數若在同一模型中則不顯著，由於本研究取  $R^2$  較高之係數，因此在後續 BAU 基線預測本計畫採第 2 個模型。

此外，在水運能源消費模型中分別可得到國內水運燃油、國內水運柴油、國際水運燃油與國際水運柴油的能源價格彈性分別為-0.451、-1.484、-0.958 與-1.355。

表 7-2 能源別「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		P-value	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson Stat	MAPE
公路汽油	截距		-2.152		0.040	0.988	1.230	0.12%
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	1.214		0.000			
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.462		0.000			
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )		0.90	-0.105	0.001			
公路柴油	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.975		0.000	0.923	1.848	0.31%
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.214		0.048			
	AR(1)		0.723		0.001			
鐵路電力合計	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.675		0.000	0.966	1.050	0.75%
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	0.698		0.014			
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )		1.47	0.385	0.003			
	AR(1)		0.644		0.010			
鐵路柴油 (臺鐵)	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.824		0.000	0.641	0.688	0.66%
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.971		0.000			
國內航空燃油 (1994-2008)	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.783		0.000	0.454	0.511	2.33%
	高鐵政策變數(X <sub>2</sub> )		0.36	-1.034	0.001			
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.949		0.000	0.750	0.789	1.31%
	Ln 國內航空燃油 油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-1.118		0.000			
國際航空燃油	截距		-7.979		0.000	0.924	0.357	0.58%
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	1.396		0.000			
國內水運燃油	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.815		0.000	0.743	1.296	0.54%
	Ln 燃料油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.451		0.001			
	AR(1)		0.685		0.003			
國內水運柴油	截距		-20.104		0.016	0.539	1.006	1.44%
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	2.231		0.001			
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-1.484		0.002			
國際水運燃油	截距		-17.636		0.001	0.778	2.019	0.65%
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	2.120		0.000			
	Ln 燃料油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.958		0.000			
國際水運柴油	截距		-23.531		0.006	0.648	1.845	1.34%
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	2.452		0.000			
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-1.355		0.004			

資料來源：本研究整理。



表 7-3 則為公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」之參數校估結果，對所有能源消費模型而言，GDP 都具有顯著性，且其影響均為正向，意即當 GDP 增加，代表經濟活動強度增加，進而帶動運輸能源消費量增加，政策變數高鐵及捷運在自用小客車及公車與客運車的模式中呈現顯著。

在汽油運具部分，自用小客車消費模型可得價格彈性值為-0.331，表示當價格上升1%則自用小客車汽油消費量將減少0.331%，對自小客人均車輛持有之彈性為0.617，表示當自小客人均車輛持有上升1%則汽油消費量將增加0.617%，高鐵政策參數值為-0.168，表示高鐵政策對自用小客車汽油消費會產生乘數效果約為0.84，意即高鐵政策將影響自用小客車汽油消費量約減少16%，捷運政策參數值為-0.156，表示捷運政策對自用小客車汽油消費會產生乘數效果約為0.86，意即捷運政策將影響自用小客車汽油消費量約減少14%。營業小客車消費模型則可得其價格彈性值為-0.816，自用小貨車消費模型的價格彈性值為-1.044，而機器腳踏車消費模型的價格彈性值則為-0.417。

另外在柴油運具部分，比較特別的是公車與客運車模型的高鐵政策參數值為-0.142，表示高鐵政策對公車與客運車柴油消費會產生乘數效果約為0.87，意即高鐵政策將影響公車與客運車柴油消費量約減少13%，捷運政策參數值為-0.469，表示捷運政策對公車與客運車柴油消費會產生乘數效果約為0.63，意即捷運政策將影響公車與客運車柴油消費量約減少37%。此外，自用大客車模型的柴油價格彈性值為-1.111，而營業大貨車模型的柴油價格彈性值則為-0.165。

表 7-3 公路運輸運具別「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		P-value	R^2	Durbin-Watson Stat	MAPE				
公路	汽油	小客車	自用	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	1.097		0.000	0.979	2.502	0.22%				
				Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.331		0.011							
				Ln 人均持有自小客車輛數(X <sub>3</sub> )	輛/平均每人	0.617		0.000							
				高鐵政策變數(X <sub>4</sub> )		0.85	-0.168	0.005							
				捷運政策變數(X <sub>5</sub> )		0.86	-0.156	0.005							
		營業	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.979		0.000	0.502	1.693	0.91%					
			Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.816		0.035								
			AR(1)		0.675		0.006								
		小貨車	自用	截距		-8.844		0.062	0.717	1.661	0.66%				
				LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	1.596		0.000							
				Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-1.044		0.005							
			營業	截距		-15.820		0.000	0.897	1.015	1.21%				
				LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	1.626		0.000							
		機器腳踏車	截距		5.899		0.030	0.495	1.489	0.36%					
			LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.597		0.005								
			Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.417		0.033								
	柴油	小貨車	自用	截距		-2.272		0.010	0.956	1.780	0.35%				
				LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.936		0.000							
			營業	截距		-41.270		0.006	0.975	2.161	0.99%				
				LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	3.147		0.001							
				AR(1)		0.782		0.000							
			大客車	自用	截距		12.986		0.000	0.827	0.412	1.42%			
					Ln 柴油油價(X <sub>1</sub> )	新臺幣元/公升	-1.111		0.000						
				遊覽車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.783		0.000	0.720	1.842	0.68%			
					AR(1)		0.752		0.000						
				公車與客運車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.807		0.000	0.525	2.408	0.43%			
		捷運政策變數(X <sub>2</sub> )			0.63	-0.469	0.000								
		高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )			0.87	-0.142	0.037								
		大貨車	自用	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.849		0.000	0.952	1.672	0.31%				
				營業	LnGDP(X <sub>1</sub> )	新臺幣:百萬元	0.910					0.000	0.897	1.082	0.38%
					Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	新臺幣元/公升	-0.165					0.008			

資料來源：本研究整理。

「聯立方程式同時校估模型」參數校估結果請參考表 7-4~表 7-5，表 7-4 能源別「聯立方程式同時校估模型」校估結果中，除了國際航空燃油之校估結果無改變外，其餘參數的係數值皆略為改變且 p-value 值比「單一方程式獨立校估模型」之 p-value 值更為顯著。再者，表 7-5 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」校估結果的 p-value 值均較「單一方程式獨立校估模型」之 p-value 值更加顯著。

表 7-4 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		P-value	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson Stat
公路汽油	截距	C(1)		-2.452		0.000	0.987	1.218
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(2)	新臺幣:百萬元	1.237		0.000		
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(3)	新臺幣元/公升	-0.486		0.000		
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )	C(4)		0.91	-0.098	0.000		
公路柴油	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(5)	新臺幣:百萬元	0.985		0.000	0.885	0.593
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	C(6)	新臺幣元/公升	-0.270		0.000		
鐵路電力合計	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(7)	新臺幣:百萬元	0.683		0.000	0.943	0.654
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(8)	新臺幣元/公升	0.655		0.000		
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )	C(9)		1.45	0.373	0.000		
鐵路柴油(臺鐵)	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(10)	新臺幣:百萬元	0.824		0.000	0.641	0.689
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	C(11)	新臺幣元/公升	-0.972		0.000		
國際水運燃油	截距	C(1)		-18.402		0.000	0.777	2.047
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(2)	新臺幣:百萬元	2.171		0.000		
	Ln 燃料油油價(X <sub>2</sub> )	C(3)	新臺幣元/公升	-0.986		0.000		
國際水運柴油	截距	C(4)		-21.997		0.002	0.647	1.827
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(5)	新臺幣:百萬元	2.341		0.000		
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	C(6)	新臺幣元/公升	-1.262		0.001		
國際航空燃油	截距	C(7)		-7.979		0.000	0.924	0.357
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(8)	新臺幣:百萬元	1.396		0.000		

資料來源：本研究整理。

表 7-5 公路運輸運具別「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		P-value	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson Stat
自用小客車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(1)	新臺幣:百萬元	1.109		0.000	0.978	2.371
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(2)	新臺幣元/公升	-0.375		0.000		
	Ln 人均持有自小客車輛數(X <sub>3</sub> )	C(3)	輛/平均每人	0.651		0.000		
	高鐵政策變數(X <sub>4</sub> )	C(4)		0.87	-0.142	0.000		
	捷運政策變數(X <sub>5</sub> )	C(5)		0.85	-0.162	0.000		
機器腳踏車	截距	C(6)		5.992		0.004	0.495	1.488
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(7)	新臺幣:百萬元	0.589		0.000		
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(8)	新臺幣元/公升	-0.406		0.008		
公車與客運車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(9)	新臺幣:百萬元	0.808		0.000	0.522	2.467
	捷運政策變數(X <sub>2</sub> )	C(10)		0.62	-0.477	0.000		
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )	C(11)		0.86	-0.155	0.007		
鐵路電力合計	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(12)	新臺幣:百萬元	0.670		0.000	0.942	0.677
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(13)	新臺幣元/公升	0.735		0.000		
	高鐵政策變數(X <sub>3</sub> )	C(14)		1.35	0.298	0.003		
汽油自用小貨車	截距	C(1)		-7.906		0.000	0.715	1.620
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(2)	新臺幣:百萬元	1.520		0.000		
	Ln 汽油油價(X <sub>2</sub> )	C(3)	新臺幣元/公升	-0.947		0.000		
汽油營業小貨車	截距	C(4)		-15.918		0.000	0.897	1.015
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(5)	新臺幣:百萬元	1.632		0.000		
柴油自用小貨車	截距	C(6)		-2.600		0.000	0.955	1.766
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(7)	新臺幣:百萬元	0.957		0.000		
柴油營業小貨車	截距	C(8)		-23.480		0.000	0.884	0.284
	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(9)	新臺幣:百萬元	2.051		0.000		
柴油自用大貨車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(10)	新臺幣:百萬元	0.849		0.000	0.952	1.672
柴油營業大貨車	LnGDP(X <sub>1</sub> )	C(11)	新臺幣:百萬元	0.898		0.000	0.887	0.996
	Ln 柴油油價(X <sub>2</sub> )	C(12)	新臺幣元/公升	-0.093		0.003		

資料來源：本研究整理。

## 7.4 能源消費與 CO<sub>2</sub> 排放量基線預測

在進行能源消費與 CO<sub>2</sub> 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 7.3 節之模型選定變數中，因無相關單位可提供預測值，本計畫仍必須自行進行預測，計有 GDP、自用小客車人均持有與能源價格，GDP 之預測值本計畫係以可計算一般均衡模型(computable general equilibrium, CGE)進行推估，至於自用小客車人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。

表 7-6 為能源別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量的預測結果與第 2 年期計畫<sup>[3.1.2]</sup>預測結果之比較，本年度計畫在 2025 年公路運輸合計消費量為基年(2005 年)的 1.43 倍(成長 43%)，第 2 年期預測結果則為 1.39 倍(成長 39%)。此外，本計畫在 2025 年運輸部門合計消費量為基年的 1.41 倍(成長 41%)，第 2 年期預測結果則為 1.37 倍(成長 37%)，本計畫運輸部門合計值與前期計畫均係不包含「國際水運與國際航空」能源消費量(依據經濟部能源局及 IPCC2006)。

表 7-6 能源別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數		2025 年預測值與成長倍數	
		第二期 <sup>1</sup>	第三期	第二期 <sup>1</sup>	第三期
公路	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	1.14	10,248	1.31	12,697
			1.13		1.39
	柴油車 (3,985 千公秉油當量)	1.30	4,850	1.55	5,965
			1.22		1.50
	公路合計 (13,086 千公秉油當量)	1.19	15,097	1.39	18,662
			1.15		1.43
國內水運 (394 千公秉油當量)		1.05	350	1.21	353
			0.89		0.90
鐵路 (143 千公秉油當量)		1.14	296	1.14	439
			2.07		3.07
航空-國內航空 (219 千公秉油當量)		0.66	134	0.66	122
			0.61		0.56
運輸部門合計 (13,843 千公秉油當量)		1.18	15,878	1.37	19,577
			1.15		1.41
水運-國際水運 (2,793 千公秉油當量)		-	3,068	-	3,315
			1.10		1.19
航空-國際航空 (2,272 千公秉油當量)		1.41	3,547	1.77	5,422
			1.56		2.39

註<sup>1</sup>：第二期數值為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，交通部運輸研究所，97 年。

資料來源：本研究整理。

表 7-7 為公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量的預測結果與第 2 年期計畫預測結果之比較，本計畫在 2025 年公路汽油車合計消費量為基年的 1.53 倍(成長 53%)，第 2 年期預測結果則為 1.31 倍(成長 31%)。2025 年公路柴油車合計消費量為基年的 1.60 倍(成長 60%)，第 2 年期預測結果則為 1.55 倍(成長 55%)。2025 年公路運輸合計消費量為基年的 1.55 倍(成長 55%)，較能源別模型推估值高 14%，亦較第 2 年期預測結果高 16%。

表 7-7 公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」能源消費量結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數		2025 年預測值與成長倍數	
		第二期 <sup>1,2</sup>	第三期	第二期 <sup>1,2</sup>	第三期
公路	小客車 (6,962 千公秉油當量)	1.13	7,974	1.28	11,145
			1.15		1.60
	汽油小貨車 (866 千公秉油當量)	1.07	1,093	1.18	1,282
			1.26		1.48
	機器腳踏車 (1,273 千公秉油當量)	1.23	1,466	1.43	1,528
			1.15		1.20
	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	1.14	10,533	1.31	13,955
			1.16		1.53
	柴油小貨車 (447 千公秉油當量)	1.40	601	1.69	869
			1.34		1.94
	大客車(不含特種車) (656 千公秉油當量)	1.19 <sup>a</sup>	758	1.31 <sup>a</sup>	958
			1.16		1.46
	大貨車 (2,522 千公秉油當量)	1.33	3,168	1.62	3,978
			1.26		1.58
	柴油車 (3,624 千公秉油當量)	1.30	4,527	1.55	5,805
			1.25		1.60
	公路合計 (12,726 千公秉油當量)	1.19	15,059	1.39	19,761
			1.18		1.55

註：1 第二期數值為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，交通部運輸研究所，97 年。

2 第二期大客車數值含特種車之值。

資料來源：本研究整理。

表 7-8 為能源別「單一方程式獨立校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果，其中相關化石燃料的排放係數係參考表 3-1。本計畫在 2025 年公路運輸合計排放量為基年(2005 年)的 1.43 倍(成長 43%)。此外，本計畫在 2025 年運輸部門合計排放量為基年的 1.42 倍(成長 42%)。

表 7-8 能源別「單一方程式獨立校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數	2025 年預測值與成長倍數
		第三期	第三期
公路	汽油 (23,766 千公噸排放量)	26,759	33,153
		1.13	1.39
	柴油 (11,126 千公噸排放量)	13,541	16,656
		1.22	1.50
	公路合計 (34,892 千公噸排放量)	40,299	49,810
		1.15	1.43
	國內水運 (1,135 千公噸排放量)	1,004	1,012
		0.88	0.89
	鐵路 (425 千公噸排放量)	883	1,313
		2.08	3.09
	航空-國內航空 (589 千公噸排放量)	362	329
		0.62	0.56
	運輸部門合計 (37,041 千公噸排放量)	42,549	52,463
		1.15	1.42
	水運-國際水運 (8,109 千公噸排放量)	9,218	10,313
		1.14	1.27
	航空-國際航空 (6,121 千公噸排放量)	9,557	14,610
		1.56	2.39

資料來源：本研究整理。

表 7-9 為公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果，本計畫在 2025 年公路汽油車合計排放量為基年的 1.53 倍(成長 53%)。2025 年公路柴油車合計排放量為基年的 1.60 倍(成長 60%)。2025 年公路運輸合計排放量為基年的 1.55 倍(成長 55%)，較能源別模型推估值高 13%。



表 7-9 公路運輸運具別「單一方程式獨立校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數	2025 年預測值與成長倍數
		第三期	第三期
公路	小客車 (18,179 千公噸排放量)	20,821	29,102
		1.15	1.60
	汽油小貨車 (2,261 千公噸排放量)	2,854	3,347
		1.26	1.48
	機器腳踏車 (3,325 千公噸排放量)	3,829	3,991
		1.15	1.20
	汽油車 (23,766 千公噸排放量)	27,503	36,440
		1.16	1.53
	柴油小貨車 (1,248 千公噸排放量)	1,677	2,426
		1.34	1.94
	大客車(不含特種車) (1,830 千公噸排放量)	2,116	2,676
		1.16	1.46
	大貨車 (7,041 千公噸排放量)	8,846	11,108
		1.26	1.58
	柴油車 (10,119 千公噸排放量)	12,639	16,210
		1.25	1.60
	公路合計 (33,885 千公噸排放量)	40,142	52,649
		1.18	1.55

資料來源：本研究整理。

表 7-10 為能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量的預測結果與第 2 年期計畫預測結果之比較，本計畫在 2025 年公路運輸合計消費量為基年(2005 年)的 1.41 倍(成長 41%)，第 2 年期預測結果則為 1.39 倍(成長 39%)。此外，本計畫在 2025 年運輸部門合計消費量為基年的 1.20 倍(成長 20%)，第 2 年期預測結果則為 1.37 倍(成長 37%)。

表 7-10 能源別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數		2025 年預測值與成長倍數	
		第二期 <sup>1</sup>	第三期	第二期 <sup>1</sup>	第三期
公路	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	1.14	10,285	1.31	12,729
			1.13		1.40
	柴油車 (3,985 千公秉油當量)	1.30	4,705	1.55	5,670
			1.18		1.42
	公路合計 (13,086 千公秉油當量)	1.19	14,990	1.39	18,399
			1.15		1.41
國內水運 (394 千公秉油當量)		1.05	350	1.21	353
			0.89		0.90
鐵路 (143 千公秉油當量)		1.14	290	1.14	425
			2.03		2.97
航空-國內航空 (219 千公秉油當量)		0.66	134	0.66	122
			0.61		0.56
運輸部門合計 (16,114 千公秉油當量)		1.18	15,765	1.37	19,298
			0.98		1.20
水運-國際水運 (2,793 千公秉油當量)		-	3,062	-	3,307
			1.10		1.18
航空-國際航空 (2,272 千公秉油當量)		1.41	3,547	1.77	5,422
			1.56		2.39

註：1 第二期數值為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，交通部運輸研究所，97 年。

資料來源：本研究整理。

表 7-11 為公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量的預測結果與第 2 年期計畫預測結果之比較，本計畫在 2025 年公路汽油車合計消費量為基年的 1.55 倍(成長 55%)，第 2 年期預測結果則為 1.31 倍(成長 31%)。2025 年公路柴油車合計消費量為基年的 1.64 倍(成長 64%)，第 2 年期預測結果則為 1.55 倍(成長 55%)。2025 年公路運輸合計消費量為基年的 1.57 倍(成長 57%)，較能源別模型推估值高 16%，亦較第 2 年期預測結果高 18%。

表 7-11 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」能源消費量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數		2025 年預測值與成長倍數	
		第二期 <sup>1,2</sup>	第三期	第二期 <sup>1,2</sup>	第三期
公路	小客車 (6,962 千公秉油當量)	1.13	8,078 1.16	1.28	11,255 1.62
	汽油小貨車 (866 千公秉油當量)	1.07	1,111 1.28	1.18	1,314 1.52
	機器腳踏車 (1,273 千公秉油當量)	1.23	1,470 1.15	1.43	1,535 1.21
	汽油車 (9,102 千公秉油當量)	1.14	10,659 1.17	1.31	14,103 1.55
	柴油小貨車 (447 千公秉油當量)	1.40	589 1.32	1.69	807 1.81
	大客車(不含特種車) (656 千公秉油當量)	1.19 <sup>a</sup>	753 1.15	1.31 <sup>a</sup>	952 1.45
	大貨車 (2,522 千公秉油當量)	1.33	3,274 1.30	1.62	4,175 1.66
	柴油車 (3,624 千公秉油當量)	1.30	4,616 1.27	1.55	5,935 1.64
	公路合計 (12,726 千公秉油當量)	1.19	15,274 1.20	1.39	20,038 1.57

註：1 第二期數值為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，交通部運輸研究所，97 年。

2 第二期大客車數值含特種車之值。

資料來源：本研究整理。

表 7-12 為能源別「聯立方程式同時校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果，本計畫在 2025 年公路運輸合計排放量為基年(2005 年)的 1.41 倍(成長 41%)。此外，本計畫在 2025 年運輸部門合計排放量為基年的 1.40 倍(成長 40%)。

表 7-12 能源別「聯立方程式同時校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數	2025 年預測值與成長倍數
		第三期	第三期
公路	汽油 (23,766 千公噸排放量)	26,857	33,237
		1.13	1.40
	柴油 (11,126 千公噸排放量)	13,136	15,831
		1.18	1.42
	公路合計 (34,892 千公噸排放量)	39,993	49,068
		1.15	1.41
國內水運 (1,135 千公噸排放量)		1,004	1,012
		0.88	0.89
鐵路 (425 千公噸排放量)		864	1,269
		2.03	2.98
航空-國內航空 (589 千公噸排放量)		362	329
		0.62	0.56
運輸部門合計 (37,041 千公噸排放量)		42,223	51,678
		1.14	1.40
水運-國際水運 (8,109 千公噸排放量)		8,898	9,606
		1.10	1.18
航空-國際航空 (6,121 千公噸排放量)		9,557	14,610
		1.56	2.39

資料來源：本研究整理。

表 7-13 為公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量預測結果，本計畫在 2025 年公路汽油車合計排放量為基年的 1.55 倍(成長 55%)。2025 年公路柴油車合計排放量為基年的 1.64 倍(成長 64%)。2025 年公路運輸合計排放量為基年的 1.58 倍(成長 58%)，較能源別模型推估值高 17%。

表 7-13 公路運輸運具別「聯立方程式同時校估模型」CO<sub>2</sub> 排放量校估結果

部門	以 2005 年為基準	2015 年預測值與成長倍數	2025 年預測值與成長倍數
		第三期	第三期
公路	小客車 (18,179 千公噸排放量)	21,093	29,388
		1.16	1.62
	汽油小貨車 (2,261 千公噸排放量)	2,900	3,430
		1.28	1.52
	機器腳踏車 (3,325 千公噸排放量)	3,839	4,008
		1.15	1.21
	汽油車 (23,766 千公噸排放量)	27,832	36,826
		1.17	1.55
	柴油小貨車 (1,248 千公噸排放量)	1,644	2,253
		1.32	1.81
	大客車(不含特種車) (1,830 千公噸排放量)	2,102	2,659
		1.15	1.45
	大貨車 (7,041 千公噸排放量)	9,142	11,658
		1.30	1.66
	柴油車 (10,119 千公噸排放量)	12,887	16,570
		1.27	1.64
	公路合計 (33,885 千公噸排放量)	40,719	53,396
		1.20	1.58

資料來源：本研究整理。

## 7.5 小結

本章聯立方程式同時校估模型之校估結果相較於單一方程式獨立校估模型佳(詳如表 7-14)，本計畫基線推估結果：2025 年運輸部門能源消費量為 19,298 千公秉油當量，其中公路運輸佔 95.3%；2015 年則為 15,765 千公秉油當量，其中公路運輸佔 95.1%。2025 年運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放量為 51,678 千公噸，其中公路運輸佔 95.0%；2015 年則為 42,223 千公噸，其中公路運輸佔 94.7%。

由於以能源別及運具別推估結果存在差異，故運輸部門合計的結果會隨之影響，其中總計的量採用能源別的數值為主，惟若從微觀的角度來

看，則以運具別之值較為適用。

表 7-14 單一方程式與聯立方程式模型校估結果比較

類別		以 2005 年為基準	單一方程式獨立校估模型		聯立方程式同時校估模型	
			2015 年預測值	2025 年預測值	2015 年預測值	2025 年預測值
能源消費量預測	能源別	汽油車(千公秉油當量)	10,248	12,697	10,285	12,729
		柴油車(千公秉油當量)	4,850	5,965	4,705	5,670
		公路合計 (千公秉油當量)	15,097(95.1%)	18,662(95.3%)	14,990(95.1%)	18,399(95.3%)
		運輸部門合計 (千公秉油當量)	15,878	19,577	15,765	19,298
	運具別	汽油車 (千公秉油當量)	10,533	13,955	10,659	14,103
		柴油車(不含特種車) (千公秉油當量)	4,527	5,805	4,616	5,935
		公路合計 (千公秉油當量)	15,059	19,761	15,274	20,038
CO <sub>2</sub> 排放量預測	能源別	汽油車(千公噸排放量)	26,759	33,153	26,857	33,237
		柴油車(千公噸排放量)	13,541	16,656	13,136	15,831
		公路合計 (千公噸排放量)	40,299(94.7%)	49,810(94.9%)	39,993(94.7%)	49,068(94.9%)
		運輸部門合計 (千公噸排放量)	42,549	52,463	42,223	51,678
	運具別	汽油車(千公噸排放量)	27,503	36,440	27,832	36,826
		柴油車(不含特種車) (千公噸排放量)	12,639	16,210	12,887	16,570
		公路合計 (千公噸排放量)	40,142	52,649	40,719	53,396

資料來源：本研究整理。

# 第八章 運輸部門能源效率指標建立

## 8.1 能源效率的重要性

2002 年在南非約翰尼斯堡舉行之「永續發展世界高峰會(World Summit on Sustainable Development)」中，能源是 5 大主題之一，會中明確揭櫫提升能源效率對於促進永續發展的重要性。聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)與京都議定書(Kyoto Protocol)也確立經由改善能源效率以減少溫室氣體排放的必要性。許多政府和產業組織(包括半導體、面板、家電、汽車、石化、煉鋼、水泥等)更為提高能源效率而致力於產業轉型。

政府一向鼓勵使用高效率的能源及降低能源需求的技術來抑制 CO<sub>2</sub> 的排放，因此，提高能源效率是我國 6 項能源政策方針之一；「中華民國永續發展策略綱領」及「行政院永續發展推動計畫」均主張推動全面節約能源及提升能源效率。2008 年的「永續能源政策綱領」表明：『永續能源政策的基本原則將建構「高效率」、「高價值」、「低排放」及「低依賴」的「二高二低」能源消費型態與能源供應系統』，其中「高效率」即指「提高能源使用與生產效率」。

我國「溫室氣體減量法草案」亦明訂：「溫室氣體排放源及排放實體排放之溫室氣體排放量應符合溫室氣體效能標準」，以及「目的事業主管機關應檢討及調整國家能源、產業及運具結構政策，依政策調整結果訂定高耗能產業比例、高碳類燃料比例及高耗能運具比例與預定達成期程，經評估無法達成指標時，得限制或禁止高耗能產業之設置及操作、限制高碳類燃料之輸入及使用、限制高耗能運具之輸入、製造及販賣。」由此可知，提升能源效率與限制高耗能運具是運輸部門推動節能減碳政策所不可或缺的重要策略。

事實上，許多國家都就能源生產力或能源密集度訂定具體目標。例如丹麥的 Energy 21 計畫訂定 1994 年至 2005 年以及 1994 年至 2012 年能源密集度必須降低 25% 以及 34%；盧森堡在 1998 年的永續發展國家計畫(National Plan for Sustainable Development)要求能源密集度在 1993 年至 2010 年要降低 20%；2002 年奧地利永續發展策略(Austrian Strategy for Sustainable

Development)預定能源密集度每年降低 1.6%。

就我國而言，1998 年全國能源會議的結論指出，2010 年以前整體經濟的能源效率平均每年需改善 1.2%，2010 年至 2020 年平均每年改善 1%；若以能源生產力計算，在此兩期間分別應提升 8%至 24%。「永續能源政策綱領」則進一步強化能源效率與能源密集度的目標：未來 8 年每年提高能源效率 2%以上，使能源密集度在 2015 年較 2005 年下降 20%以上；並藉由技術突破及配套措施，在 2025 年下降 50%以上。

以上說明已經表明提升能源效率的重要性。然而，國內各界與其他多數國家一樣，大都以「能源密集度(energy intensity)」或「能源生產力(energy productivity)」做為衡量國家整體層級的能源效率指標<sup>1</sup>。「能源密集度」雖為「能源生產力」之倒數，惟二者與「能源效率」原屬不同概念，並非衡量能源效率的適當指標。

問題是，「能源效率」應該如何衡量呢？UNFCCC 在 2008 年的 COP14 會議中首度呼籲各國關注此一課題，這使能源效率的衡量問題重新引起各界重視。因此，本章將提出適當的衡量指標，並進行實證分析，以真實反映運輸部門各運具使用能源的效率水準。

根據本所(2006)「永續運輸綜合評估指標系統之研究」，運輸部門之化石能源消費總量、車輛能源密集度(可分為大眾旅客運輸、私人旅客、以及貨物運輸)，及乘載率(分旅客運輸與貨物運輸)等，均為永續運輸綜合評估指標系統中的重要指標。不過，這些指標亦無法準確反映運輸部門的能源使用效率。

本年度的計畫以運輸能源效率指標建置為主，惟歷年來相關文獻對於運輸部門的「能源效率」衡量指標，大都以運具(特別是客運與貨運)為主，並以每公升燃料之「延人公里」或「延噸公里」為指標。事實上，這些指標只能反映「能源平均生產力」，無法詳實反映「能源效率」。此外，這些指標也不適合用以比較運輸服務業者(如華航、長榮海運、臺鐵、臺灣高鐵等)、或運輸部門整體的能源效率。

本章第 2 節概述當前常用之能源效率指標，其中特別說明「能源生產

---

<sup>1</sup>台灣亦復如此。此二指標之所以常被使用是因為概念簡單易懂，資料的取得與計算都相當容易，大都來自官方統計。



力」與「能源效率」的區別。第 3 節分析以「能源生產力」做為能源效率指標的潛在問題；第 4 節則解析足以反映運輸部門與各運具之綜合效率指標的意義，包括技術效率(technical efficiency, TE)、配置效率(allocative efficiency, AE)、成本效率(cost efficiency)以及「能源需求效率」，並說明推估各項效率的模式設定與推估方法。第 5 節則以陸運各運具、國籍航空客運，及臺鐵為對象，進行實證分析。

## 8.2 能源效率指標

一般而言，能源效率的衡量可從國家層級、產業部門層級、個別廠商層級、個別運具、或設備層級而分別訂定適當的指標。常用的指標歸納如表 8-1 所示，茲分別說明於後。

### 8.2.1 能效技術標準與績效標準

為能有效降低運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放，國際間大多以強制性法規要求車輛製造廠逐步提升車輛燃油使用效率(例如 MPG)，並隨時間而加嚴。

表 8-1 運輸部門的能源效率指標

均化指標	綜合性指標
1.能效技術標準 燃料效能標準：MPG 2.績效標準 車輛年均能耗：總能耗量/車輛數 車輛年均運量：總運量/車輛數 3.能源密集度 (1)單位 GDP 之能耗量：ENG/GDP (2)單位運量之能耗量：ENG/運量 4.能源平均生產力 (1)單位能耗的 GDP：GDP/ENG (2)單位能耗的運量：運量/ENG	1.能源邊際產值( $VMP_E = P \cdot MPP_E$ ) 2.能源邊際產值與其價格之差距： $ VMP_E - w $ 3.脫鉤指標 (1)脫鉤係數、脫鉤比 (2)脫鉤彈性 4.環境 EKC 5.技術效率、配置效率、成本效率 6.能源需求效率

資料來源：本研究整理。

為落實 2007 年通過的能源效率改善法案，美國運輸部於 2009 年 3 月 27 日公佈 2011 年出廠新車的油耗標準，以進一步提升節能效果並降低溫室

氣體排放：

1. 汽車業者將平均油耗提升到每加侖跑 27.3 英里(約每公升 11.55 公里)。
2. 此一標準比 2010 年的新車每加侖多了 2 英里預期可省下 8.87 億加侖的燃料，減少 830 萬公噸的二氧化碳排放。

運輸部長 Ray LaHood 表示，該部已經在擬定 2011 年以後每年度新車的油耗標準。

我國早在 1988 年即將小客車、機車耗能納入「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」進行管制，2004 年起亦將小貨車耗能管制納入該辦法執行，為逐步提升耗能標準，該辦法已歷經 7 次修正。為落實 2009 年全國能源會議「能源管理與效率提升」核心議題「提升汽、機車新車耗能標準，至 2015 年提高 15%~30%」之結論，經濟部採分階段方式提高汽、機車新車耗能標準，並已於 2009 年 8 月 4 日與交通部會銜發布修正「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」部分條文，將油耗標準提高約 10%。

本次修法重點主要係提高汽(柴)油車、機車容許耗用能源標準數值。如以排氣量等級超過 1200~1800cc 之汽(柴)油引擎之小客車(轎式、旅行式)為例，以美國 FTP75 測試方法進行測試之耗能標準，其每公升汽油行駛距離由 11.6 公里提高為 13.0 公里；以歐盟 1999/100/EC 指令之測試方法進行測試之耗能標準，其每公升汽油行駛距離由 10.1 公里提高為 11.3 公里(詳見表 8-2)。

表 8-2 我國車輛容許耗用能源標準

單位：公里/公升

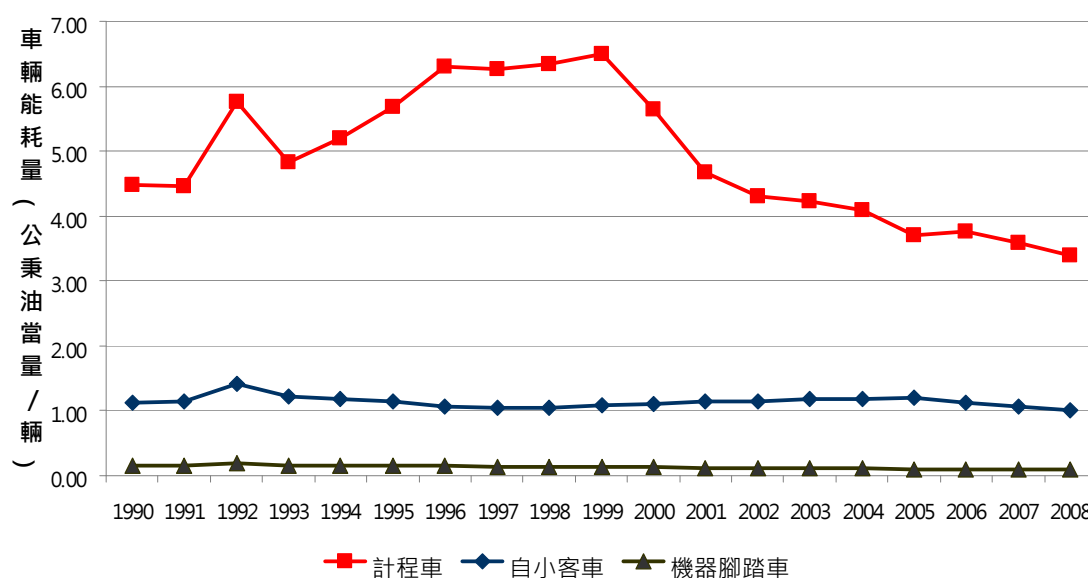
車種	使用 燃料	測試 方法	排氣量等級			
			1200 以下	1200~ 1800	1800~ 2400	超過 2400
小客車 (轎式、旅行式)	汽油	美國 <sup>(a)</sup>	16.5	16.5	13.7	12.2
		歐盟 <sup>(b)</sup>	14.3	14.3	11.9	10.6
小客車 (轎式、旅行式)	柴油	美國	21.5	21.5	17.7	15.8
		歐盟	18.7	18.7	15.4	13.7
小貨車 <sup>(c)</sup> 、小客貨兩用車及 小客車(非轎式、非旅行式)	汽油	美國	14.1	14.1	12.0	10.7
		歐盟	12.3	12.3	10.4	9.3
小貨車 <sup>(c)</sup> 、小客貨兩用車及 小客車(非轎式、非旅行式)	柴油	美國	16.6	16.6	13.7	11.6
		歐盟	14.4	14.4	11.9	10.1

資料來源：「車輛節能標章能源效率基準與標示方法」(2009.1.1)。

註：(a)美國 FTP75。(b)歐盟 1999/100/EC 及其後續修正指令。(c)小貨車(總重量在 2 千 5 百公斤以下)。

為減少本次修法對國內車輛業者之衝擊，於上述辦法修正前已獲得經濟部核發車型耗能證明或車輛耗能證明之車輛，給予銷售緩衝期至 2011 年 12 月 31 日止。

績效標準則非管制標的，而是用以反映現有車輛的平均耗能量或運量水準。圖 8-1 顯示國內自用車輛之平均耗能量歷年來有降低趨勢，其原因除可歸因於能效標準管制外，亦與車主使用車輛的頻率及效率有關。



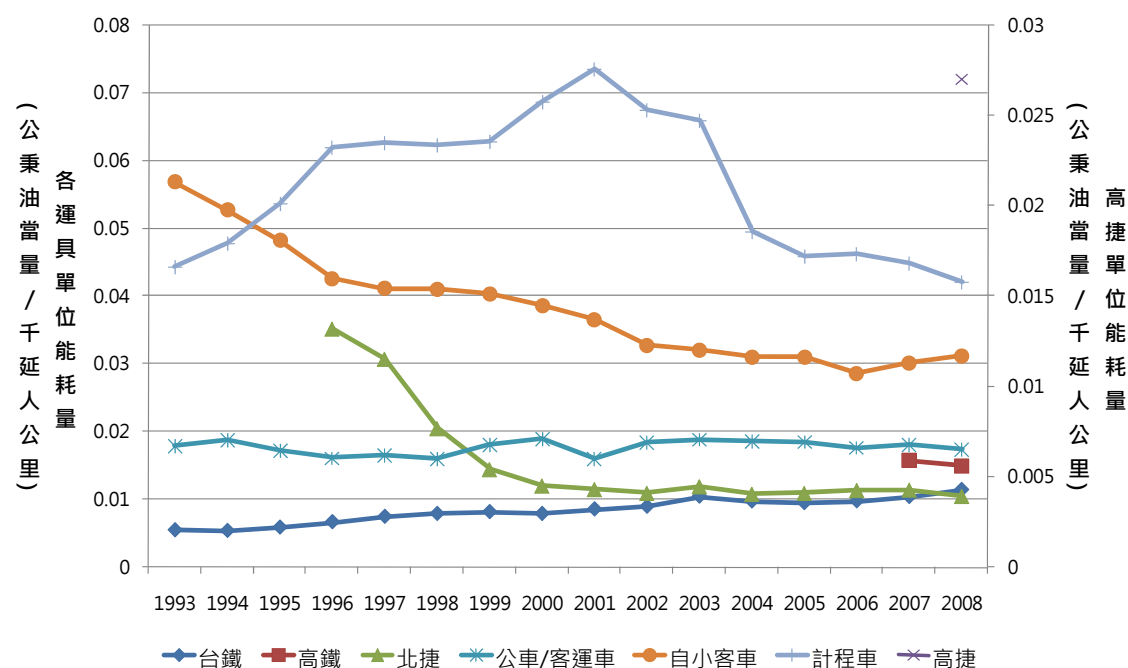
資料來源：本研究繪製。

圖 8-1 國內自用車輛之平均能耗

## 8.2.2 能源密集度與能源生產力

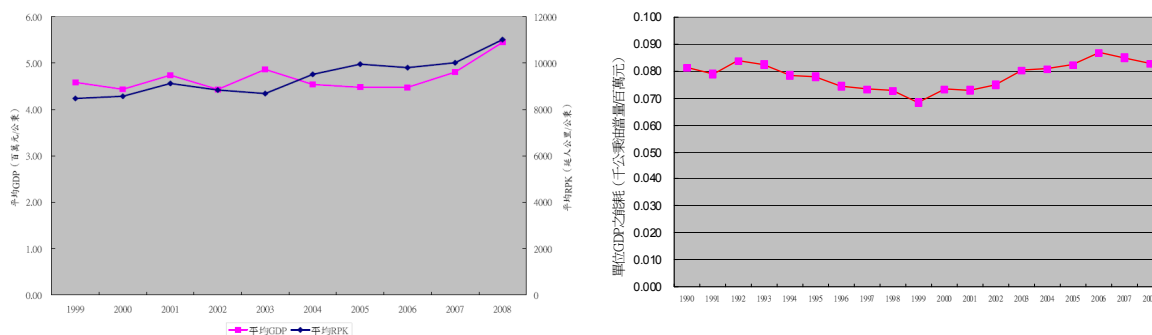
能源密集度(即單位 GDP 或單位運量的能耗量)與能源平均生產力(例如每公升燃料之 GDP 或延人公里)實為一體之兩面，互為倒數，是目前國內外最常用來反映各運具之能源效率的指標。圖 8-2 顯示國內各主要客運運具之能源密集度(每千延人公里所耗用之油當量)也大都有隨時間而下降的趨勢。

圖 8-3(a)為我國運輸部門單位能源之運量及 GDP，由此可見，計算能源生產力時所選擇指標不同時(如單位能源使用所產生之延人公里或 GDP)，可能產生不一致結果。圖 8-3(b)則為單位 GDP 之能耗量，由此可見最近 6 年(2003-08)之單位 GDP 之能耗比 1994 至 2002 年間還高。



資料來源：本研究繪製。

圖 8-2 國內各運具單位運量之平均能耗



(a)單位能耗之運量及 GDP

(b)單位 GDP 之能耗量

資料來源：本研究繪製。

圖 8-3 我國運輸部門能源生產力及能源密集度

然而，能源密集度或能源平均生產力均非衡量能源使用效率的良好指標，從要素需求面(即要素的邊際產值)來檢視實際用量與理論上有效率使用量之間的差異，或許更加精確。

### 8.2.3 能源的邊際產值(或需求函數)

從要素需求理論而言，其使用量是否符合理性原則，可根據業者所耗用之能源的邊際產值(value of marginal product,  $VMP$ )<sup>2</sup>與能源價格( $w$ )的差異來判斷：如果  $VMP$  等於  $w$ ，代表用量合乎理性原則<sup>3</sup>，二者的差距越大，代表越缺乏效率。例如圖 8-4 的  $VMP_N$  曲線代表業者的能源的邊際產值曲線(即其能源需求曲線)，當能源價格為  $w_0$  時，理性的能耗量應為  $N_A$ 。因此，就 A、B、C 等 3 家廠商的能耗量而言，B 與 C 的能耗量均高於 A，因此可以推測 A 的能源效率最高，其次分別為 B 與 C。

除了根據能耗量的多寡來判斷能源效率之外，亦可根據業者的經濟剩餘(economic surplus)來比較。例如，本研究由圖 8-4 知，A 廠商之利潤最高，其較 B 與 C 的利潤差距分別如  $\Delta ABE$  和  $\Delta ACF$  所示，由於  $\Delta ABE < \Delta ACF$ ，因此亦可判定 C 的能源效率為 3 者之最差者。

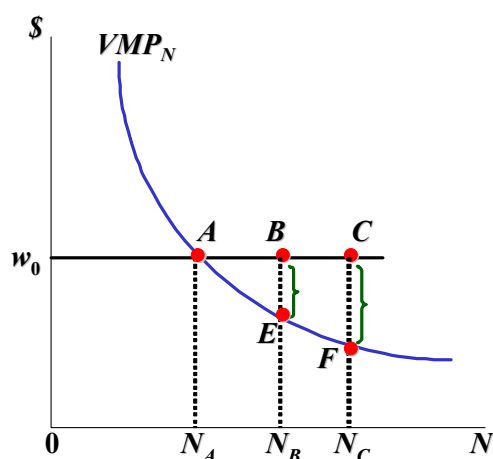


圖 8-4 不理性的能耗量與經濟損失

2要素的邊際產值係指該要素之邊際實物產量(marginal physical product,  $MPP$ )與業者所生產之產品或勞務之市場價格( $P$ )的乘積，亦即： $VMP = P \times MPP$ 。廠商所面對的能源邊際產值函數，實即反映該廠商對於能源的需求函數。

3根據要素需求理論，廠商在利潤最大化的決策目標下，要素的使用量應滿足利潤最大化之一階必要條件： $VMP_N = w$ 。

## 8.2.4 脫鉤指標

如何促成環境負荷(如污染物或 CO<sub>2</sub> 排放量、或能耗量)及其經濟驅動力(如 GDP)的脫鉤(decoupling)是千禧年後國際間關於永續發展的重大議題之一，OECD 環境部長早在 2001 年即將「脫鉤」列為 OECD 21 世紀的第 1 個「10 年環境政策」的主要目標之一。因此，脫鉤指標的建置有如雨後春筍班地蓬勃發展。以下說明幾種用以反映脫鉤的方式。

### 1. 脫鉤比(decoupling ratio)

為便於各會員國在某一特定期間(例如 1980 至 1998)脫鉤的比較，OECD (2002)定義「脫鉤比」如下：

$$\text{脫鉤比} = \frac{(EP/DF)_{\text{期末}}}{(EP/DF)_{\text{期初}}}$$

其中 EP=環境負荷指標的指標值；DF=驅動力指標的指標值。如果脫鉤比小於一，表示在既定期間內已經發生脫鉤現象(但無法反映絕對脫鉤或是相對脫鉤)。

### 2. 脫鉤因子(decoupling factor)

為使各國間的比較更為清楚，OECD (2002)也同時提出「脫鉤因子」做為圖示的基礎，其定義如下：

$$\text{脫鉤因子} = 1 - \text{脫鉤比}$$

因此，當脫鉤因子為負值或等於零時，即代表無脫鉤現象；若脫鉤因子為正值時，即表示有脫鉤現象。在進行跨國比較時，脫鉤因子常被使用。

### 3. 脫鉤彈性(decoupling elasticity)

Taipio (2005)<sup>[8.2.1]</sup>使用歐盟及芬蘭運輸部門在 1970 至 2001 年間的運輸量、CO<sub>2</sub> 排放量，及 GDP 成長之關聯，建立以彈性值為基礎的脫鉤指標，其定義如下：

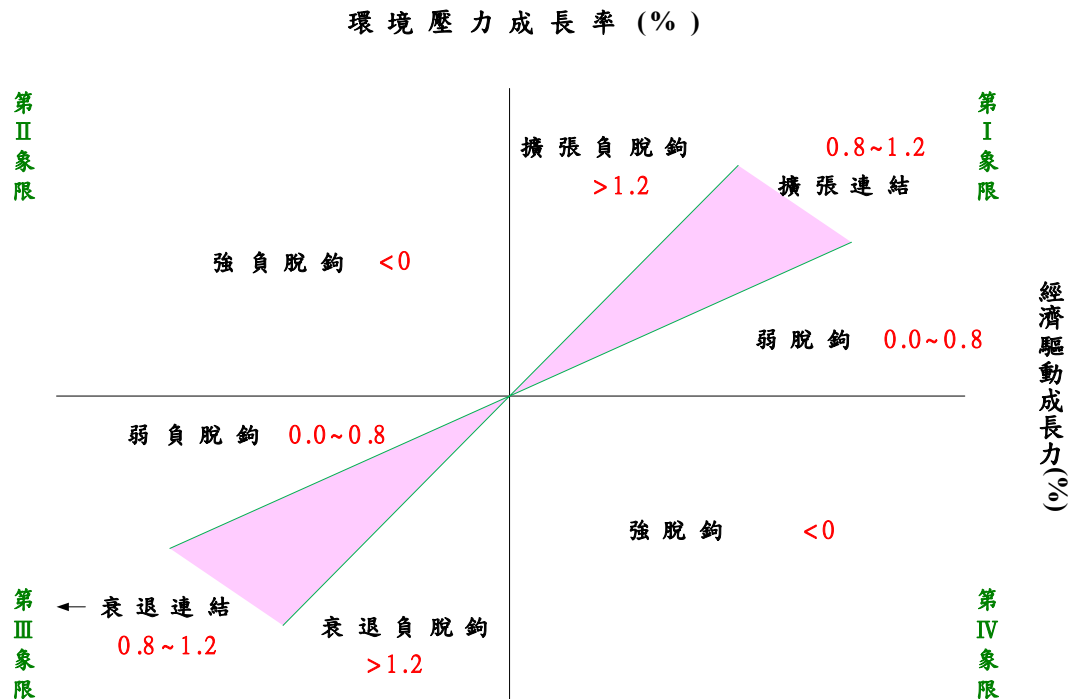
$$\text{運輸量之 GDP 彈性} = \% \Delta \text{VOL} / \% \Delta \text{GDP} \quad (8-1)$$

---

4關於「期初」的界定，通常係以某一時點做為基期。但亦可以「前一期」做為計算脫鉤比的基礎。前者所計算的脫鉤比較能展現長期變動趨勢的意義，後者則具有較大的波動，只適合反映短期的現象。因此，本計畫建議採用「以某一時點做為基期」的計算方式。

$$\text{CO}_2 \text{ 排放之運輸彈性} = \% \Delta \text{CO}_2 / \% \Delta \text{VOL} \quad (8-2)$$

Taipo 按運輸量成長率與 GDP 成長率之聯結與脫鉤程度，區分為 8 種合理可能的型態(見圖 8-5)。



資料來源：本研究繪製。

圖 8-5 Tapio(2006)<sup>[8.2.1]</sup>的脫鉤型態及其指標值

#### 4. 脫鉤趨勢(decoupling trend)

在特定期間內，環境負荷與經濟驅動力的長期變化關係可分為「相對脫鉤」(relative decoupling)及「絕對脫鉤」(absolute decoupling)等兩種情況<sup>5</sup>，其方式是將二者之成長指數(例如以 1980 年為基期，並令其指數為 100)的趨勢圖在同一平面同時繪出，如此即可看出二者是呈現絕對脫鉤、或相對脫鉤、抑或無脫鉤，同時亦可看出驅動力是逐漸成長，還是漸趨萎縮。

圖 8-6 是我國 6 大部門能耗量與 GDP 之間的脫鉤比與脫鉤因子的變動趨勢，由此可見，只有運輸業呈現微弱的脫鉤趨勢，其他部門非但沒有脫

<sup>5</sup>在特定期間內，當環境相關變數之成長率(如 CO<sub>2</sub> 排放量)為正值，但小於經濟變數(如 GDP)成長率，稱為「相對脫鉤」；若環境相關變數呈現穩定或遞減狀態，而經濟驅動率(如 GDP)為成長趨勢，稱為「絕對脫鉤」。

鉤趨勢，反而有惡化情形(如能源業、工業等)。

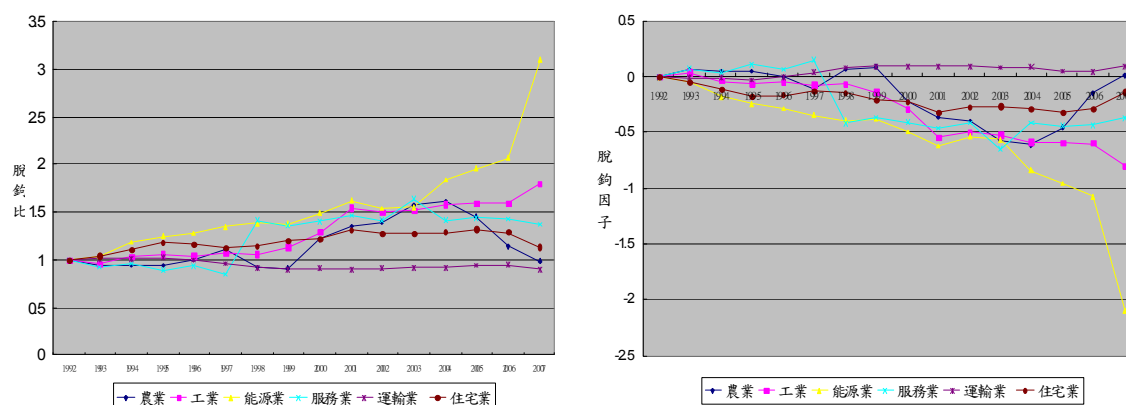
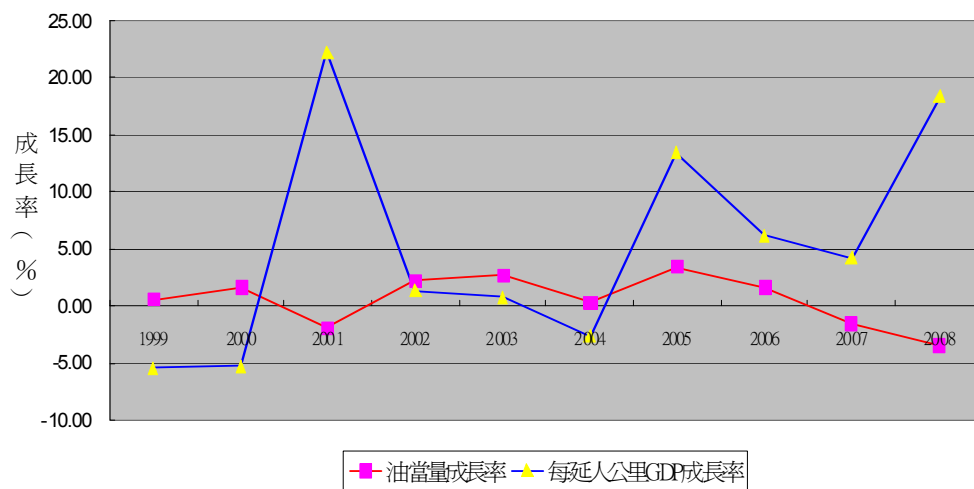


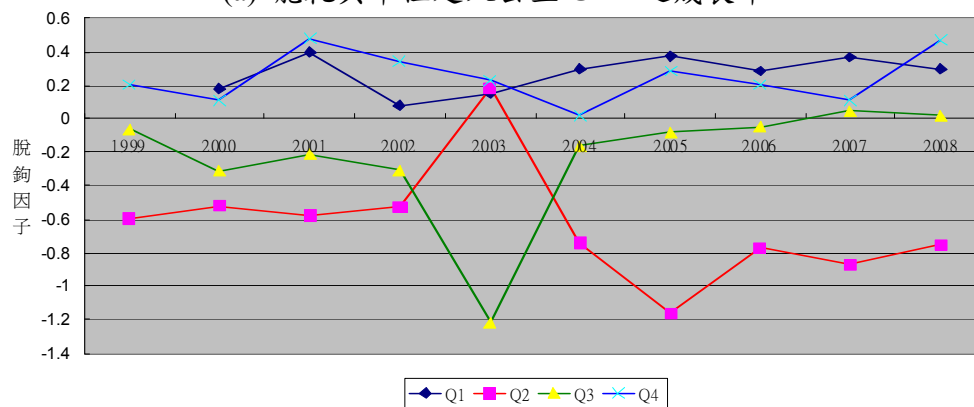
圖 8-6 我國各部門之能耗與 GDP 的脫鉤比與脫鉤因子

除以部門別來觀察各項脫鉤指標外，本研究亦可針對各類運具估算脫鉤指標。例如圖 8-7 是我國國籍航空客運之能耗成長率與該部門 GDP 成長率的變化趨勢，由圖 8-7(a)可以看出，晚近幾年略呈現脫鉤態勢，圖 8-7(b)則顯示脫鉤態勢因季節而有顯著差異，第一、四季有明顯脫鉤，第二、三季則反是(尤其是第二季)；其中第四季有較多頻率出現強脫鉤的現象(見圖 8-7(c))，2008 年則因發生全球金融風暴，導致第四季呈現「負弱脫鉤」的情況。

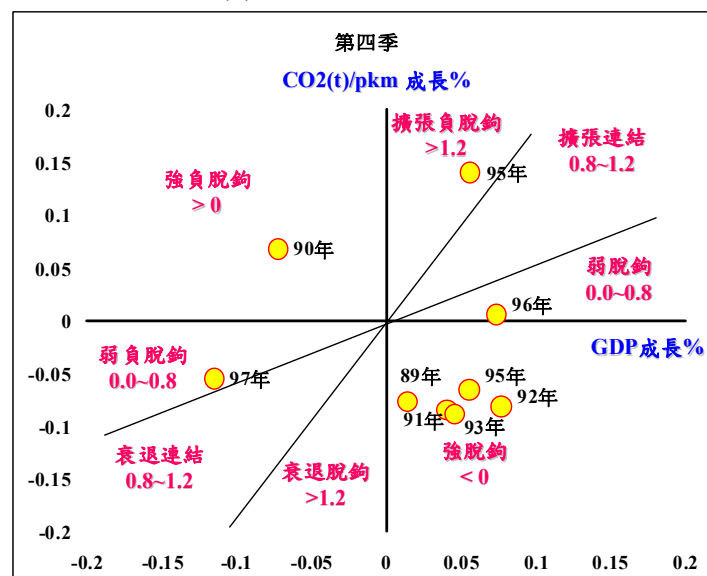




(a) 能耗與單位延人公里 GDP 之成長率



(b) 脫鉤因子：季資料



(c) Tapio 脫鉤彈性：第四季(2000-2008)

資料來源：本研究繪製。

圖 8-7 我國國籍航空客運能耗與 GDP 的脫鉤指標

### 8.3 使用能源生產力衡量效率的問題

能源生產力雖然是常被用以反映能源效率，本質上卻非理想的指標，主要原因有以下數端：

#### 1. 能源生產力與使用效率的本質不同

如果把運輸服務(如延人公里或「延噸公里)視為一種產出(output)，而將能源、勞動、資本、相關設備的特徵等視為生產投入(input)，而產出與投入之間可用生產函數(production function)來表示如下<sup>6</sup>：

$$Y = f(N; \alpha) \quad (8-3)$$

其中  $Y$  與  $N$  分別代表產量與能源投入量， $\alpha$  則是用以反映技術水平的參數。對應式(8-3)的能源生產曲線乃如圖 8-8 之  $f(N; \alpha)$  所示。

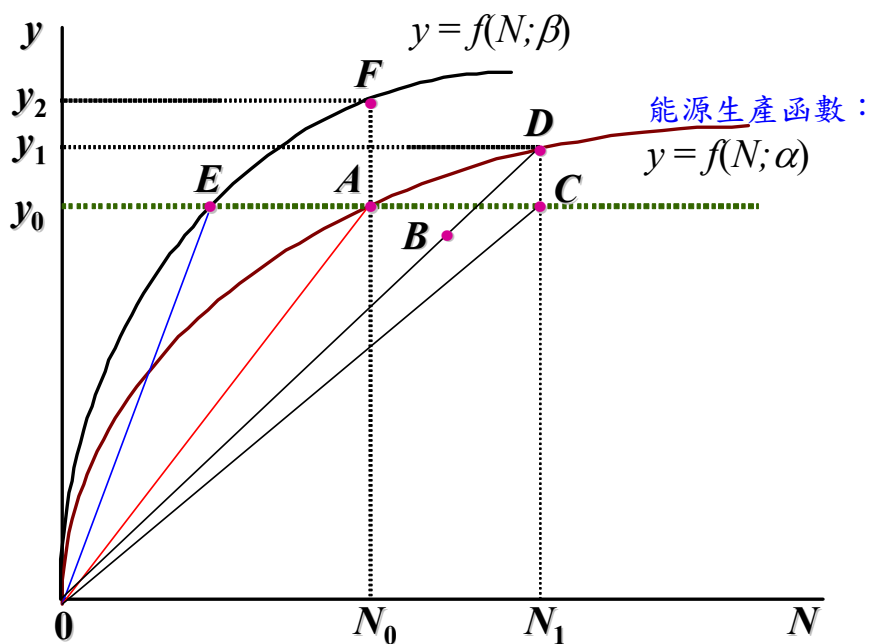


圖 8-8 生產力及生產效率提升之示意圖

<sup>6</sup>生產函數係用以表示「一個廠商採用某一特定水平之生產技術時，其最大可能產出水準與投入使用量之間的函數關係」。因此，每一生產函數，即代表一種生產技術。在生產沒有不確定性(uncertainty)的情況下，通常可以  $y = f(x)$  表示，其中  $y$  與  $x$  分別代表產量與投入量，此一生產函數可以圖 8-8 的產量曲線表示之；只要廠商的產量與投入量組合落在該曲線上(如 A 點)，都可視為該廠商的要素使用具有「技術效率」。

在特定的生產技術下，只要產出與能源投入量的組合座落在產量曲線上，其能源使用量皆可視為具有技術效率；反之，座落在產量曲線下方者均可視為缺乏技術效率。舉例而言，假想圖 8-8 中的 A、B、C、D 係代表使用相同生產技術之 4 家廠商的實際產出與投入組合，則產量曲線上的 A 與 D 可視為具有技術效率，而 B 與 C 則不然，這是因為 C 點的產量與具有技術效率之 A 點相同(均等於  $y_0$ )，但能耗量卻較多( $N_1 > N_0$ )；再者，相較於另一具有效率的 D 點而言，C 點與 D 點的能耗相同，但產量卻較低( $y_0 < y_1$ )。因此，本研究所謂的「提升能源效率」，係指產量曲線下方之組合點(B 或 C)向曲線移動的現象；而提升效率的主要驅動力則在於人為經營管理能力的改善。

至於提升能源生產力，則反映在整條產量曲線的向上移動(例如由  $f(N; \alpha)$  上移至  $f(N; \beta)$ ，其中  $\beta > \alpha$ )，而造成產量曲線上移的驅動力，主要在於技術轉換或技術創新等作為，因此，在相同的能耗量之下，產量可以提高(如由 A 點移動到 F 點)。但是，從生產技術的觀點來說，A 點與 F 點都具有技術效率。

## 2. 能源生產力提升未必隱含能源效率提升，反之亦然

如圖 8-8 所示，如果廠商由 B 點移動到 D 點，代表能源效率的提升，但二者之能源平均產量(即直線  $D_0$  的斜率)卻相同。同樣的，如果廠商由 A 點移動到 F 點，其能源生產力雖然因此而提升，但二者都落在產量曲線上(只是各曲線所代表的技術水平不同)，故無法否定其均具技術效率的事實。

## 3. 平均生產力不同未必反映技術效率有別

在圖 8-9 中，假設 A~E 等 5 個組合點係分別代表採用相同生產技術之 5 家業者的產出與能源投入的組合點，其中 A、B、C 等 3 家的組合點均落在產量曲線上(即其能源使用均具有技術效率)，惟其能耗量有別( $N_B < N_A < N_C$ )，但平均產量的高低卻相反(亦即  $APP_N^B > APP_N^A > APP_N^C$ )。此外，C 與 D 的平均產量相同，但前者的技術效率顯然優於後者。

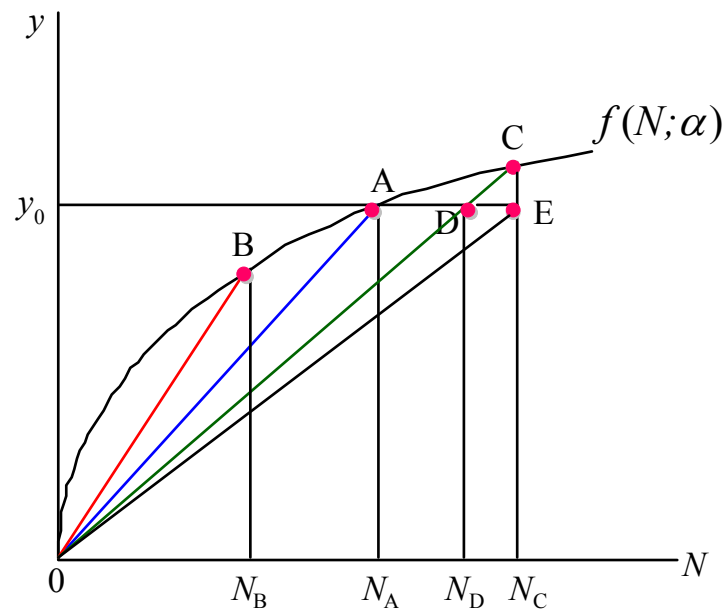


圖 8-9 平均生產力的差異並不反映效率的差異

#### 4. 高生產力不同於高經濟效率

以上說明都只從生產技術的角度來分析能源生產力與技術效率的差異，並未考慮廠商的能耗決策。事實上，能源生產力也無法反映廠商使用能源之經濟效率的高低，茲以圖 8-10 說明如下。

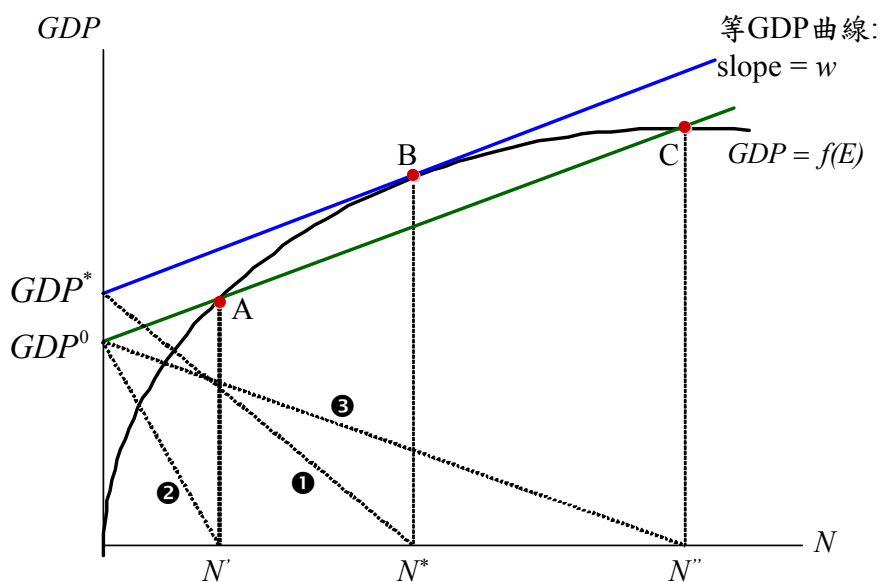
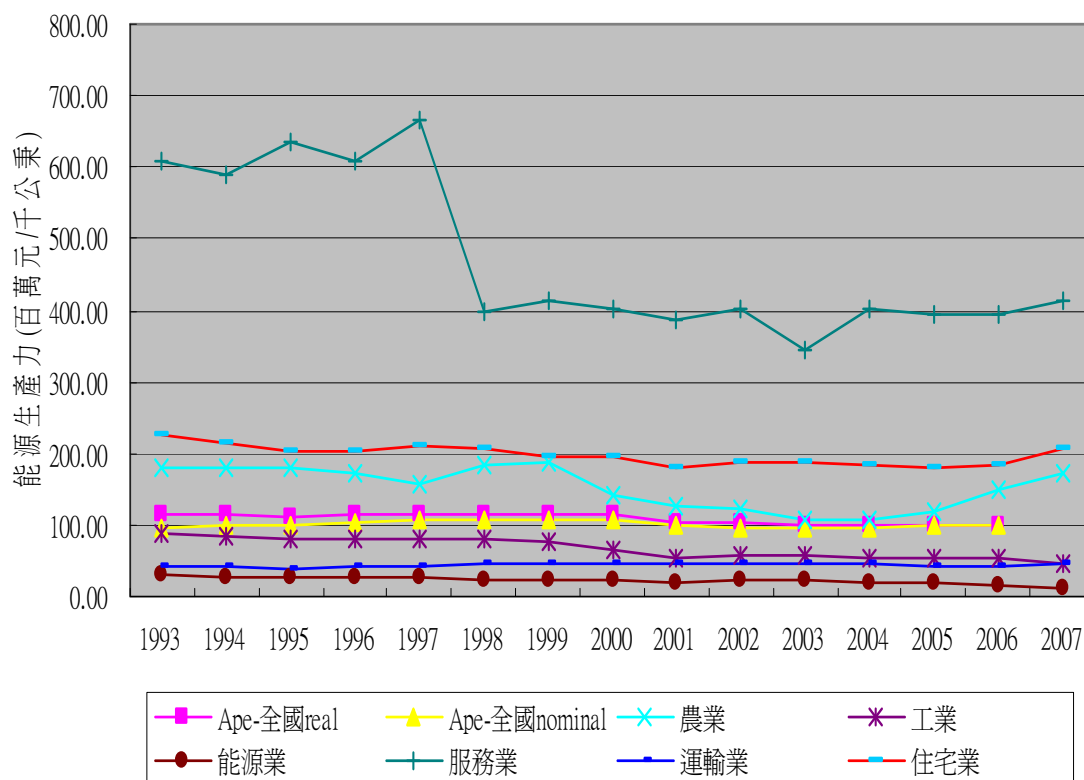


圖 8-10 價效率與能源效率提升之示意圖

圖 8-10 之 ABC 曲線代表 GDP 的生產曲線(令其為能源使用量的函數， $GDP = f(N)$ )，在既定的能源價格  $w$  之下，GDP 最大化之最適能源使用量為  $N^*$ ，此時之能源生產力為直線①之斜率絕對值所代表。考慮 A 與 C 兩個產出水準，其能源使用量分別為  $N'$  與  $N''$ ，而對映之 GDP 均為  $GDP_0$ ，故能源生產力分別為直線②和直線③之斜率絕對值所代表。由此可知，A 點的能源生產力不但高於 C 點，也同時高於 B 點；前者為真，後者卻是難以接受，這是因為能源生產力指標並未真正反映要素使用的效率。

#### 5. 能源生產力未能反映運輸部門的能源效率實況

比較國內主要部門之能源生產力的結果顯示：(1)運輸部門的能源生產力遠低於全國的平均水準，甚至低於農業部門，這顯然不合理。(2)運輸部門的能源生產力並未見隨時間經過而有明顯改善，這也與事實不太吻合。(如圖 8-11 所示)



資料來源：本研究繪製。

圖 8-11 臺灣各部門的能源平均生產力

由以上說明可知，能源生產力終究只適合衡量整體經濟社會或個別產業部門為達一個特定水準之 GDP 的能源成本有效性，並不適合用以衡量能源本身的使用效率。因此，本計畫將採用 Farrell (1957)<sup>[2.5.7]</sup>所提出的技術效率、配置效率及成本效率，做為衡量運輸部門之能源效率的基礎，同時也提出能源需求效率的概念，並比較成本效率與需求效率的差異。

## 8.4 技術效率、成本效率與需求效率的衡量

### 8.4.1 技術效率、配置效率、成本效率與需求效率

#### 1. 技術效率、配置效率、成本效率的意義

Farrell (1957)<sup>[2.5.7]</sup>所提出的「技術效率(technical efficiency, TE)」、「配置效率(allocative efficiency, AE)」和「經濟效率(economic efficiency)」，旨為衡量廠商在生產過程中使用資源的整體效率，50 年來，經過各界的研發，曾廣泛被用以衡量各種產業(包括金融、公用事業、自來水公司等)的效率，惟其於能源部門及運輸部門的應用，在國內尚屬少見<sup>7</sup>。

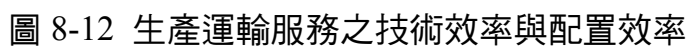
根據 Farrell (1957)，「技術效率」可從產出面及投入面兩個角度來觀察。就產出面而言，在技術水準不變的情況下，如欲增加任一種產品的產量，則須以減少他種產品的產量為代價，此時生產即達到技術效率。就投入面而言，在技術水準不變的情況下，如欲減少任一種投入的使用量，必須以增加他種投入的使用量為代價，此時亦達到技術效率。

配置效率(亦稱「價格效率(price efficiency, PE)」)係指：在一定的產量下，如果任二投入之邊際產出量的比例等於投入價格的比例時，即可稱之為達到配置效率；此時為達一定產出量所需成本最低。

本研究可以圖 8-12 說明衡量 TE 與 AE 的方式如下。假設運輸業者使用能源產品(N)及相關設備(其特徵量以 Z 表示之)來生產運輸服務(如延人公里或延噸公里)，而生產函數以  $TS = f(N; Z)$  表示之，其「等運輸服務產量曲線」如圖 8-12 之  $TS|_B$  所示。因此，在該曲線上任何一組要素投入(例如 B 點)均可生產出相當於  $TS|_B$  的運輸服務量，此時的投入組合均可視為「具有技術效

---

7游明敏(2001)曾以 Battese and Coelli (1992)所提出的方法，推估隨機邊界生產函數，藉以評估台灣國內民航機場之技術效率及其影響因素。



事實！ 本研究亦可改用格林伯格的子數 (post function) 來衡量此術式

$$C(N, Z, \alpha, B) = \min_{\alpha} \{ \alpha N + B/Z \}$$

9因此，家庭生產電力服務的「經濟效率」或「成本效率」為 $EE_A = C_0/A_0 < 1$ 。

則使用 A 組合點之業者的技術效率與配置效率可衡量如下：

$$TE = C_A / C_B > 1$$

$$AE = C_B / C_C > 1$$

其中  $C_\Omega$  代表業者使用投入組合為  $\Omega$  時的最小成本支出。

$TE$  與  $AE$  之乘積則稱為「經濟效率」(economic efficiency, EE)或「成本效率」(cost efficiency, CE)，亦即： $EE = TE \times AE$ 。

## 2. 能源需求效率的意義

$TE$  與  $AE$  這兩個效率指標均以要素組合的產出或成本做為衡量的基礎，並未直接反映個別能源產品的使用效率。就理論而言，本研究可以用能源之邊際產值  $VMP_N$  與能源價格( $w$ )之差距的絕對值(亦即  $|VMP_N - w|$ )來衡量能源效率。此一概念可以業者的能源需求曲線(亦即  $VMP_N$  曲線)說明如下。

圖 8-13 之  $N(w, P_z)$  曲線代表業者的能源需求曲線，當能源價格為  $w_1$  時，具有需求效率的用電量為  $N_1$ (對應 A 點)，但實際觀察到的用電量可能是  $N_3$ (對應 C 點)，邊際產值相當於  $w_2$ ，因此，二者間的差距( $|VMP_N^C - w| = |w_2 - w_1| = DC$ ，代表業者相對於有效率狀況下之能耗的邊際效益損失)乃可用以衡量需求效率。

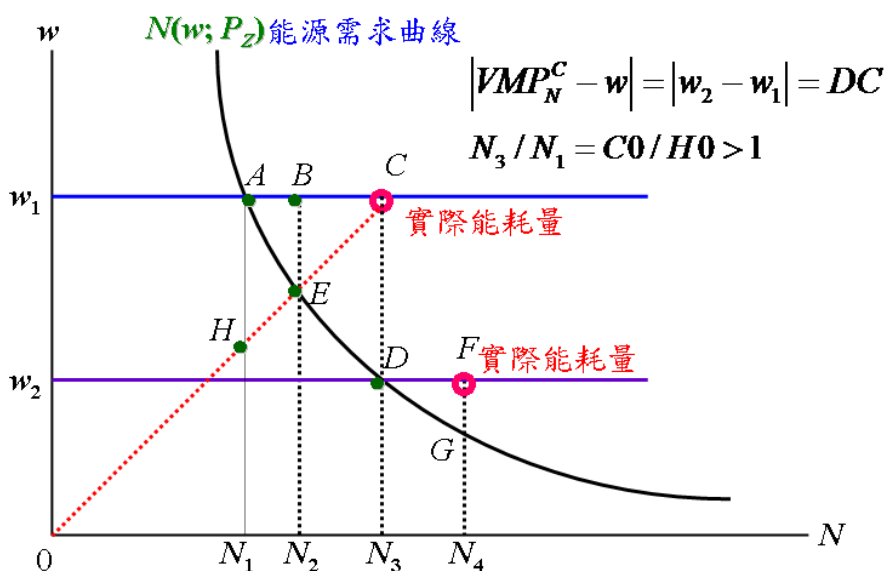


圖 8-13 生產運輸服務之能源需求曲線與用電需求效率的衡量

以  $|VMP_N - w|$  來衡量用電力效率時，最大的障礙在於運輸服務的價格取



得不易。因此，本研究建議改用「實際能耗量與有效率之能耗量的比值」(亦即  $N_3/N_1 = C0/H0 > 1$ ) 衡量之(見圖 8-13)，此即「需求效率」。

陸怡蕙(2008)<sup>[8.4.1]</sup>根據一個簡易的動態模型，提到「效率改善代表生產單位能在相同的資本存量水準之下，經由生產效率的提升而達到更高的邊際利潤率。」這代表整條資本的邊際產量( $MP_K$ )曲線會上移，換言之，能源效率似可以  $MP_K$  的高低衡量之。但反過來說， $MP_K$  越高的生產單位，其能源效率卻未必越高，因其可能肇因於他種有助於提升  $MP_K$  之因素的貢獻(這和利用能源生產力來衡量能源效率的問題如出一轍)。

文獻上率先採用上述實物量指標(如  $N_B - N_A$ )者，首推 Feijoo et al. (2002)<sup>[2.5.12]</sup>，不過，他在實證分析中，是採用能源支出為衡量單位，並非以實際能耗量為基礎。Huang, et al. (2009)<sup>[8.4.2]</sup>則建議採用上述經濟量指標(如  $\Delta ABE$ )者，其結果應屬一致。此二指標的最大優勢，在於效率的對照基礎是最佳可能的水準(如  $N_A$ )，故具有絕對效率的本質。然而，運輸部門過去關於能源需求函數的實證研究甚少，這是日後應予強化的重點議題之一。

## 8.4.2 隨機邊界與效率的推估

### 1. 隨機邊界的設定方式

衡量 TE 與 AE 的方法，不僅可以從隨機生產邊界(stochastic production frontier)的設定著手，亦可藉由隨機成本邊界(stochastic cost frontier)加以衡量，無論何者，基本的理念大致相同。

一般而言，隨機生產邊界與隨機成本邊界的設定分別如式(8-4)和式(8-5)所示：

$$Y_{it} = f(x_{it}\alpha)\exp(v_{it} - u_{it}) \quad (8-4)$$

$$C_{it} = C(z_{it}\beta)\exp(v_{it} + u_{it}) \quad (8-5)$$

其中：

$Y_{it}, C_{it}$ ：分別代表  $i$  廠商於時點  $t$  的產出及成本；

$x_{it}$ ： $i$  廠商於時點  $t$  之要素投入量及其他解釋變數；

$z_{it}$ ： $i$  廠商於時點  $t$  之產量及其他要素價格等解釋變數；

$\alpha, \beta$ ：待估計之係數向量；

$v_{it}$ ：為一誤差項，假設其為平均值 0，標準差  $\sigma_v^2$  之獨立且相同(iid)的常態分配。

$u_{it}$ ： $i$  廠商於時點  $t$  之生產技術無效率項，為一非負之不可觀察的隨機變數，代表廠商之生產無法達到效率邊界的部分。

有許多邊界法的實證研究不僅探討技術效率，也試圖了解影響個別廠商效率的影響因素，其中最早進行這方面隨機邊界研究的是 Pitt and Lee (1981)<sup>[8.4.3]</sup>對印尼紡織產業技術效率的實證分析，其以最大概似法估計隨機邊界生產函數，並據以獲得個別廠商之技術效率值，其次再以影響個別廠商技術效率可能影響因素進行迴歸分析，以了解各影響因素對廠商技術效率之影響程度；後續有許多研究也是以相同之二階段方法進行影響技術效率來源之實證探討。由於二階段法在第 1 階段時假設技術效率為一服從獨立且相同分配之隨機變數，然而，於第 2 階段時卻以技術效率為應變數，影響因子為自變數進行迴歸分析，此一做法隱含技術效率變數間不具相同分配，而只是相互獨立之隨機變數而已。由於二階段法在估計上的不一致問題，Kumbhakar, Ghosh and McGuckin (1991)<sup>[8.4.4]</sup>、Reifschneider and Stevenson (1991)<sup>[8.4.5]</sup>、Huang and Liu (1994)<sup>[8.4.6]</sup>及 Battese and Coelli (1992)<sup>[8.4.7]</sup>則提出解決二階段方法在估計上不一致性問題的方法，將影響技術效率因子引入隨機邊界生產函數以同時進行生產函數及技術效率影響因子係數的推估。

至於能源的隨機需求邊界，其設定方式與推估方法，皆與隨機成本邊界相同。

## 2. 技術效率的估計方法

可用於推估技術效率時常見的幾種方法為：隨機成本(或生產)邊界法(stochastic cost/production frontier)、隨機距離函數法(stochastic distance function)、資料包絡分析法等(data enveloped analysis)。在評估技術效率時，必須考慮資料性質而設定適當的隨機成本邊界之實證模型，並選用適當的推定方法。例如：利用不同的資料型態(包括橫斷面資料、時間序列資料、或 panel data)來估計技術效率時，不僅所求得之效率值的意義不同，推定時所面對的計量問題也大異其趣，故本研究在評估技術效率時，必須因資料性質不同而設定不同的模式，並採用適當的推定方法。

推估隨機成本邊界的方法有多種，大致可分類為參數法、準參數法(semi-parametric estimation)與無參數法(nonparametric estimation)等3種。此處將以 Panel data 為對象，介紹文獻上幾個較重要且為本文所援用的隨機成本邊界模型，同時仿照 Huang and Fu (1999) <sup>[8.4.8]</sup>而提出一個適用於 Panel data 之下的「平均導數估計法(average derivative method)」，並比較分析各種不同實證模型下的技術效率與有效成本。

### (1)BC92 模型

Battese and Coelli (1992，以下簡稱「BC92 模型」) <sup>[8.4.7]</sup>考慮技術隨時間而進步的可能而將隨機成本邊界設定如下：

$$C_{it} = X_{it}\beta + (v_{it} + u_{it}), \quad i=1, \dots, N, \quad t=1, \dots, T$$

其中  $C_{it}$  代表第  $i$  家廠商在第  $t$  期的成本； $X_{it}$  代表  $K \times 1$  的變數向量，代表決定第  $i$  家廠商在第  $t$  期之確定性成本的解釋變數向量； $\beta$  代表  $K \times 1$  的未知參數向量； $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ ； $u_{it} = \eta_{it} u_i = (u_i \cdot e^{-\eta(t-T)})$ ， $\eta$  為未知參數， $u_i \sim |N(\mu, \sigma_u^2)|$ 。

在此一  $u_{it}$  的設定下，若  $\eta > 0$ ，匱效率項有隨時間而下降的趨勢；若  $\eta = 0$ ，匱效率項在每一期間皆為相同(此時本模型下的效率值將不隨時間而變動(time-invariant))；若  $\eta < 0$ ，則無效率項有隨時間而上升的趨勢<sup>10</sup>。

BC92 模型可以最大概似法來推定之，其中數值分析的遞迴程序則採用 DFP 法 (Davidon-Fletcher-Powell Quasi Newton Method)。估計的3個步驟如下：

- ①先做普通最小平方法估計出  $\beta$  的估計值，但  $\beta_0$  和  $\sigma^2$  使用修正最小平方法估計值(corrected ordinary least square)。
- ②用 two-phase grid search 找到  $\gamma$  的估計值，其他的參數( $\mu, \eta$ )則假設為 0，根據  $\gamma$  的定義及其估計值則可求出  $\sigma_u^2$  的估計式<sup>11</sup>。

<sup>10</sup>在本模型下，因為  $\eta_{it}$  將隨時間經過而呈遞增、遞減、或不變，如此的設定顯然相當僵化，很可能導致大幅度的估計偏誤。改善之道或可將  $\eta_{it}$  設定為二次式(例如 Cornwell 等人(1990))，以增加彈性，例如： $\eta_{it} = 1 + \eta_1(t-T) + \eta_2(t-T)^2$ 。在此一設定下，當  $\eta_1 = \eta_2 = 0$  時，本模型下的效率值亦將不隨時間而變動。此外，文獻上對  $\eta_{it}$  之設定方式上有其他形式，例如 Kumbhakar (1990)將  $\eta_{it}$  設為  $[1 + \exp(bt + ct^2)]^{-1}$ 。

<sup>11</sup>一般均定義  $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$  及  $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$ ，故參數  $\gamma$  的值會介於 0 和 1 之間；本研究可對虛無假設  $H_0: \gamma = 0$  進行假設檢定，當接受虛無假設時，代表  $\sigma_u^2 = 0$ ，換言之，成

③根據第2步所求得之值作為遞迴程序的起始值，以求得最後各參數的最大概似估計值。

根據各參數之推定值，本研究可根據式(8-7)求算技術效率如下：

$$TE_{it} = \frac{1 - \Phi[-\eta_{it}\sigma_i^* - \mu_i^*/\sigma_i^*]}{\Phi(\mu_i^*/\sigma_i^*)} \exp[\eta_{it}\mu_i^* + \eta_{it}^2\sigma_i^{*2}/2] \quad (8-6)$$

其中  $\mu_i^* = (\mu\sigma_v^2 + \eta_i\varepsilon_i\sigma_u^2)/(\sigma_v^2 + \eta_i\eta_i'\sigma_u^2)$ ； $\sigma_i^{*2} = (\sigma_u^2\sigma_v^2)/(\sigma_v^2 + \eta_i\eta_i'\sigma_u^2)$ 。

## (2)BC95 模型

為改善 BC92 模型的潛在限制，並合理解釋影響技術效率的因素，Battese and Coelli (1995，以下簡稱「BC95 模型」)<sup>[8.4.9]</sup>乃將  $u_{it}$  另行設定，亦即： $u_{it}$  服從截斷常態分配，其分配形式為  $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ ，其中  $m_{it} = z_{it}\delta$ ，而  $z_{it}$  代表影響廠商匱效率之因素向量(為  $p \times 1$  的變數向量)， $\delta$  則為  $p \times 1$  之待估參數向量。

BC95 模型與 BC92 模型之不同處在於二者對人為匱效率項之設定方式不同，經濟含意也不盡相同，但估計的程序則相同。

Coelli(1996)<sup>[8.4.10]</sup>針對上述兩個模型寫出了一套名為「Frontier」的套裝軟體，以供實證分析之用。此一軟體允許研究者就隨機生產邊界或隨機成本邊界擇一推估之，並直接求出效率值，而且可適用於橫斷面資料或 panel data。此外，模型亦可彈性選擇，使技術效率值亦可隨時間而變動或不變。此一軟體較大的缺點有二：(a)其對技術效率項的設定太過僵化，只能處理匱效率項服從半常態分配或截斷常態分配的情況；在其他分配型式下(例如 Gamma 分配、指數分配或其他分配)便無法處理，在實證時，必須注意對效率項的設定為何。(b)在此一軟體中，確定性之成本函數型式內定為線性，因此，如欲使用 Cobb-Douglas 函數，必須先行轉換函數。

無論是生產邊界(式(8-4))或成本邊界(式(8-5))，第  $i$  家廠商的技術效率可按 Jondrow 等人(1982)<sup>[8.4.11]</sup>所提出的公式衡量之<sup>12</sup>，亦即：

$$TE_i = \exp[E(u_i | \varepsilon_i)] \quad (8-7)$$

---

本的變動將純粹肇因於隨機因素，而與人為的匱效率無關。

<sup>12</sup>一般而言， $u_i$  則有多種不同的分配型態，除了常用的截斷常態分配(truncated normal)之外，可能的分配還包括半常態分配(half normal)、迦瑪分配、指數分配等，其技術效率估計公式將詳細彙整如附錄一所示。

在 panel data 之下，若不考慮時間因素，即相當於視之為橫斷面資料，如此形同假設效率值並不會隨著時間的經過而有所變化，這種假設顯然不符合實際狀況。在成本極小化的前提下，廠商會不斷地改進效率，降低成本，因此本研究在模型設定上，理應考慮時間對效率的影響。反之，若不考慮橫斷面的特性，則形同視之為時間序列資料，如此所估得之效率值，實即相當於某一代表性廠商在各時點上的效率值。除非該產業中各廠商的經營模式、成本函數等皆相近似，否則此一作法亦屬不當。因此，如欲準確評估效率，本研究所設定之隨機成本邊界應同時兼顧橫斷面與時間序列的特性。

## 8.5 實證分析結果與政策意涵

### 8.5.1 市區公車與公路客運

為推估市區公車與公路客運部門(簡稱「公車與客運車」)之能源需求效率，本文所設定之公車與客運車的能源需求邊界如式(8-8)與式(8-9)所示，實證模型則因考慮之解釋變數不同而分為 3 種(亦即 Bus-1、Bus-2、及 Bus-3)，其最大概似推定值歸納如表 8-3 所示。

$$\ln(ENG\_Bus)_t = X_0 + f(X_{1t}, \dots, X_{8t}) + v_t + u_t \quad (8-8)$$

$$u_t = Z_0 + g(Z_{1t}, \dots, Z_{6t}) + \mu_t \quad (8-9)$$

其中  $f(X_1, \dots, X_8) + v$  代表能源需求之隨機邊界， $v$  與  $\mu$  分別服從  $N(0, \sigma_v^2)$  與  $N(0, \sigma_\mu^2)$ ， $u$  代表匱效率項，服從  $N(g(Z_1, \dots, Z_6), \sigma_u^2)$ 。

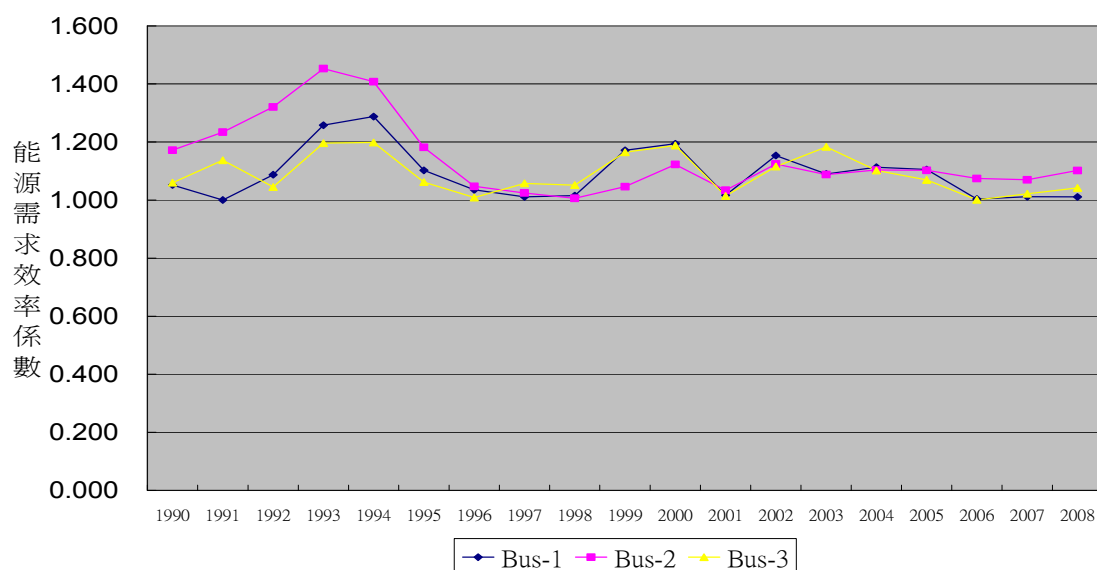
表 8-3 公車與客運車之能源消費隨機邊界推估結果

各模式之係數估計值				係數推定值(t 值)		
解釋變數	代號	係數代號	單位	Bus-1	Bus-2	Bus-3
常數項		$\beta_0$		12.5657 (12.5837)	-2.8639 (-3.0657)	-6091.4465 (-6155.84)
運量	ln(PK_Bus)	$\beta_1$	單位延人 公里	0.3300 (1.9939)	0.2916 (7.9134)	-118.6361 (-885.58)
時間趨勢	ln(t)	$\beta_2$		0.0144 (2.6423)	—	-0.0020 (-0.3732)
人均 GDP	lnAGDP	$\beta_3$	元/人	-0.6551 (-2.8462)	—	—
公車與客運車 GDP	lnRoadGDP	$\beta_4$	百萬元	-0.6343 (-4.1516)	0.1153 (7.9508)	—
運輸部門 GDP	ln(TRAN)	$\beta_5$	百萬元		—	2814.2360 (2976.11)
柴油價格	ln(P_Diesel)	$\beta_6$	元/公升	0.1967 (1.7681)	—	0.1692 (2.0411)
柴油價格指標	ln(P_Diesel)* ln(t)	$\beta_7$		—	0.0251 (3.0091)	—
特殊事件	= 1 for 2001, 03, and 08	$\beta_8$		—	-0.0606 (-2.2144)	—
常數項		$\delta_0$		0.0155 (0.0157)	0.1374 (0.1431)	0.0272 (0.0273)
公車客運車能 源生產力	AP-Bus	$\delta_1$	元/公秉油 當量	-0.4410 (-2.6968)	-0.7431 (-5.0158)	0.0424 (0.3975)
公車與客運車 承載率	Load-Bus	$\delta_2$		0.5505 (2.7891)	0.9303 (5.0813)	—
柴油與電力價 格	ln(P_Diesel)*ln(P_ Elect)	$\delta_3$		-0.1299 (-2.1413)	0.0693 (1.1051)	-0.0303 (-0.2996)
其他陸運與鐵 道運量	lnCOMP-Road*ln TotalRailPK	$\delta_4$		0.0007 (2.9507)		—
捷運運量	ln(MTR)	$\delta_5$			-0.0027 (-0.7552)	-0.0016 (-0.2463)
車輛耗能	ln(ENG_Bus/REG _Bus)	$\delta_6$	公秉油當 量/輛	—	—	0.1711 (0.4056)
時間趨勢	ln(t)	$\delta_7$		—	0.0218 (0.4927)	—
$\sigma^2$		$\delta_8$		0.0071 (2.9548)	0.0013 (1.3701)	0.0044 (0.9818)
$\gamma$				1.0000 (559.65)	0.6550 (10.292)	1.0000 (44.410)
log likelihood				32.9396	38.4195	30.8071
能源需求效率 係數	1990-2008			1.090	1.143	1.090
	1990-2000			1.110	1.183	1.106
	2001-2005			1.096	1.090	1.097
	2006-2008			1.008	1.082	1.021

資料來源：本研究整理。

根據表 8-3，本研究可由隨機邊界的部分歸納出以下結論：

1. 根據最大概似值及係數的合理性，以下結論係依據 Bus-1 的推定值加以論斷。
2. 公車與客運車的能源消費量的運量彈性約為 0.33，換言之，運量每增加 1%，能耗量將增加 0.33%。
3. 公車與客運車的能源消費量隨時間經過而呈現增加的趨勢，顯見除了運量之外，尚有其他因素(例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等)造成公車與客運車的能源消費量的持續增長。
4. 公車與客運車運量與人均 GDP 呈負向關聯，主要是因為所得增加後，民眾將改用其他替代性運具(如高鐵、捷運、自小客車等)，因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。
5. 公車與客運車的能源消費具有規模經濟，因其能源消費量隨運輸部門 GDP 的增加而降低。因此，在其他條件不變的情況下，公車與客運車的 GDP 未來若能持續成長，將有助於節能。
6. 公車與客運車的能源消費量與柴油價格指數並無顯著關聯，可能原因如下：(1)公車與客運車班有其僵固性，因應油價而機動調減班次的空間有限。(2)油價水準不夠高。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於公車與客運車之能源消費量的抑制效果甚為有限。
7. 關於公車與客運車之能源需求效率變動趨勢則如圖 8-14 所示。由此可見，公車與客運之能源需求效率確有長期改善趨勢。



資料來源：本研究繪製。

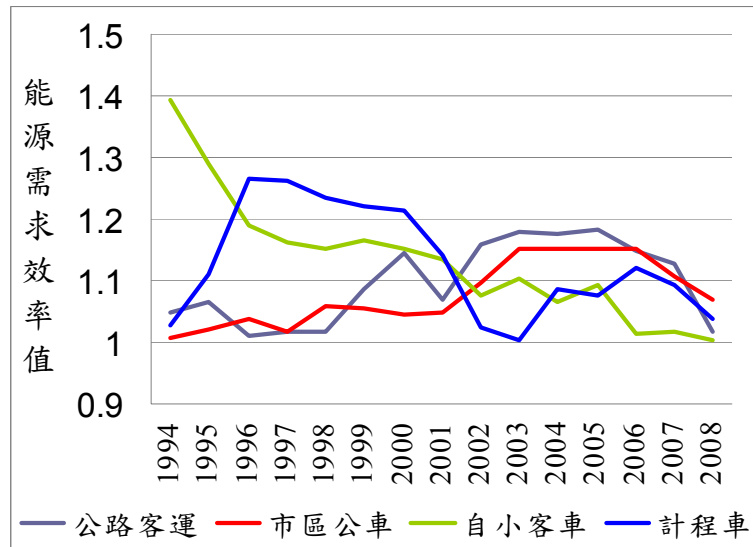
圖 8-14 公車與客運車之能源需求效率變動趨勢

表 8-4 公車與客運車與自用車輛之能源需求效率

年	公路客運	市區公車	自小客車	計程車
1994	1.0489	1.0075	1.3934	1.0274
1995	1.0656	1.0203	1.2913	1.1126
1996	1.0102	1.0386	1.1886	1.2675
1997	1.0199	1.0187	1.1617	1.2612
1998	1.0180	1.0612	1.1537	1.2367
1999	1.0858	1.0550	1.1655	1.2213
2000	1.1468	1.0457	1.1527	1.2148
2001	1.0702	1.0462	1.1364	1.1413
2002	1.1585	1.0975	1.0757	1.0237
2003	1.1802	1.1506	1.1036	1.0026
2004	1.1776	1.1528	1.0649	1.0861
2005	1.1815	1.1519	1.0939	1.0758
2006	1.1471	1.1513	1.0138	1.1200
2007	1.1285	1.1060	1.0177	1.0934
2008	1.0192	1.0714	1.0043	1.0389
平均	1.0972	1.0783	1.1345	1.1282
總平均	1.1096			

資料來源：本研究整理。





資料來源：本研究繪製。

圖 8-15 公車與客運車之能源需求效率變動趨勢

此外，本研究亦可由匱效率的部分歸納出以下結論：

1. 提升公車與客運車之能源效率的主要關鍵因素包括：(1)公車與客運車能源生產力，(2)柴油與電力價格。因此，提升公車與客運車能源生產力及促進柴油與電力價格合理化，將有助於公車與客運車之能源效率的改善。
2. 就能源需求效率而言，自用車輛(含自小客車及計程車)的平均值都低於公車與客運車(因此，推動大眾運輸系統亦有助於能源效率的提升)，但自 2001 年以後，自用車輛(尤其是自小客車)的能源需求效率有較大顯著的改善，近幾年甚至超越公路客運與市區公車(見表 8-4 及圖 8-15)。
3. 未來發展電動車及油電混合車，對於減少能耗固然有其一定作用，但未必意味能源效率得以進一步提升。

## 8.5.2 空運：國籍航空客運

本文所設定之國內國籍航空客運的能源需求邊界如式(8-10)與式(8-11)所示，實證模型則因考慮之解釋變數不同而分為 3 種(亦即 AirInter-1、AirInter-2、及 AirInter-3)，其最大概似推定值歸納如表 8-5 所示。

$$\ln(ENG\_Air) = X_0 + f(X_1, \dots, X_7) + v + u \quad (8-10)$$

$$u = Z_0 + g(Z_1, \dots, Z_6) + \mu \quad (8-11)$$

其中  $f(X_1, \dots, X_7) + v$  代表能源需求之隨機邊界， $v$  與  $\mu$  分別服從  $N(0, \sigma_v^2)$  與  $N(0, \sigma_\mu^2)$ ， $u$  代表匱效率項，服從  $N(g(Z_1, \dots, Z_6), \sigma_u^2)$ 。

根據表 8-5，本研究可歸納出以下結論：

1. 在本研究所推估之 3 種模式中，AirInter-3 的最大概似值最高，因此將做為評估各項減量措施之減量效果的依據。
2. 國籍航空客運之能源消費的運量彈性( $=\varepsilon_{ENG, KP} = \partial \ln ENG\_Air / \partial \ln X_2$ )為 0.5433，換言之，運量(以延人公里表示之)每增加 1%，將使能源消費量增加 0.5433%，故可視為缺乏彈性。
3. 單位延人公里之 GDP( $X_3$ )可用以反映運量的單位價格，其與能源消費量顯著正相關，符合要素需求理論的預期。結果顯示，運量的單位價格每增加 1%，將使能源消費量增加 0.1387%，亦可視為缺乏彈性。
4. 能源消費量與燃料油價格及原油國際價格均無顯著關聯，換言之，國籍航空客運之能源消費的能源價格彈性幾近於 0，這與航線航班的僵固性有關。因此，不管是原油國際價格上漲，抑或國內油價調漲，對於國籍航空客運之能源消費量的抑制效果均極其有限。
5. 在樣本期間年(1999Q1~2008Q4)曾先後發生 911 恐怖攻擊(2001Q3/Q4)、SARS(2003Q2/Q3)、及次級房貸風暴(2003Q3/Q4)等事件，雖對國籍航空客運的能源消費造成減量效果，但統計上並不顯著。
6. 國籍航空客運在能源消費上具有不可忽視的匱效率( $\sigma^2$  及  $\gamma$  均極為顯著)，惟能源價格對於需求效率並無顯著的影響，每年第 4 季的能源需求效率有低於其他 3 季的傾向，惟其間差距猶不顯著。
7. 能源需求效率之推定結果如表 8-5 及圖 8-16 所示，由此可見，在 2007 年以前，能源需求效率在每年的第四季大都低於其他各季(係數較大)，但 2008 年的全球金融危機卻扭轉變了此一現象。此外，在 2005 至 2007 年間的能源需求效率有惡化現象(平均效率係數達 1.163，高於 1999 至 2004 年間的 1.077)，但在 2008 年則出現明顯的改善(平均效率係數降至 1.065)，進一步的節能空間目前不超過 7%。

8. 能源需求效率的變動，主要是受以下三項效果的影響，因此，擴大規模及提升國籍航空競爭力與其能源生產力，實乃提升能源需求效率的關鍵性策略：

(1)規模效果：有效擴大國內國籍航空客運的規模(以航空業的 GDP 表示之)。

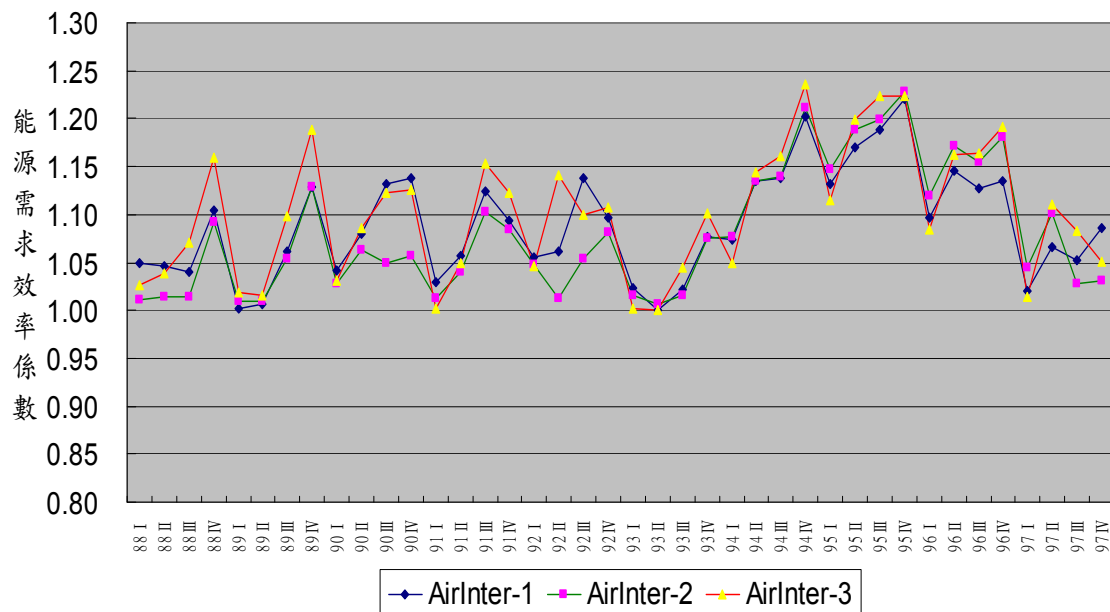
(2)競爭效果：外國航空之運量相對於國籍航空之比例( $Z_3$ )越大時，將有助於能源需求效率提升。

(3)生產力效果：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

表 8-5 國籍航空客運的能源需求隨機邊界推估結果

各模式之係數估計值				係數推定值(t 值)		
解釋變數	代號	係數代號	單位	AirInter-1	AirInter-2	AirInter-3
常數項	$X_0$	$\beta_0$		10.9937 (11.7088)	11.5470 (6.8865)	6.5782 (3.8143)
季節虛擬-III	$X_1$	$\beta_1$	= 1 for Q3, 其他=0	0.0195 (0.3268)	0.0165 (0.0930)	-0.0086 (-0.4575)
單位延人公里	$\ln X_2$	$\beta_2$	延人公里	0.3504 (8.1592)	0.3190 (6.8182)	0.5433 (7.0129)
單位延人公里之 GDP	$\ln X_3$	$\beta_3$	百萬元/延人公里	0.0737 (0.3990)	0.0790 (0.2200)	0.1397 (4.5123)
特殊事件虛擬	$X_4$	$\beta_4$	= 1 for Q3 & Q4, 2001; Q2 & Q3, 2003; Q3 & Q4, 2008	—	-0.0531 (-0.7357)	-0.0022 (-0.0891)
能源價格指標	$\ln X_5$	$\beta_5$	國內燃料油價格指數× $\ln X_6$	—	0.0094 (0.4423)	0.0022 (0.5843)
原油國際價格	$\ln X_6$	$\beta_6$	美元/桶	-0.0002 (-0.0049)	—	—
時間趨勢	$X_7$	$\beta_7$		0.0011 (1.7061)	—	—
常數項	$Z_0$	$\delta_0$		0.8749 (2.1450)	1.7584 (0.3888)	3.0433 (4.1514)
航空業 GDP	$\ln Z_1$	$\delta_1$	百萬元	-0.1027 (-3.2081)	-0.1410 (-0.3847)	-0.2617 (-4.2537)
相對於外國之能源 AP	$Z_2$	$\delta_2$	本國國籍航空之單位能源 延人公里/外國國際航空之 單位能源延人公里	-0.1785 (-1.2365)	-0.1927 (-0.8380)	-0.3782 (-4.3378)
國內外空運客運延人公里比例	$Z_3$	$\delta_3$	外國國際航空之延人公里/ 本國國籍航空之延人公里	0.3039 (0.6854)	-0.2348 (-1.1765)	-0.2735 (-2.3606)
能源價格指標	$\ln Z_4$	$\delta_4$	國內燃料油價格指數× $\ln X_6$	—	-0.0012 (-0.0531)	0.0021 (0.3933)
時間趨勢	$Z_5$	$\delta_5$		0.0083 (3.3809)	—	—
季節虛擬-IV	$Z_6$	$\delta_6$	Q4 = 1 , 其他=0	—	—	0.0224 (0.9847)
$\sigma^2$				0.0044 (2.5406)	0.0035 (2.5299)	0.0023 (4.9735)
$\gamma$				0.9746 (4.0216)	1.0000 (1475.95)	1.0000 (403.75)
log likelihood				70.9564	73.2253	80.9730
能源需求效率係數	1999-2008			1.081	1.090	1.102
	1999-2004			1.045	1.067	1.077
	2005-2007			1.163	1.147	1.163
	2008			1.051	1.056	1.065

資料來源：本研究整理。



資料來源：本研究繪製。

圖 8-16 國籍航空客運之能源需求效率變動趨勢

### 8.5.3 軌道運輸：臺鐵

軌道運輸包含臺鐵、臺灣高鐵及捷運，由於高鐵及捷運的營運期間尚短，所累積資料猶不足以進行有效的統計推估。故此處僅以臺鐵為對象，就其能源需求效率進行推估，結果彙整如圖 8-17 所示。據此可獲知以下結論：

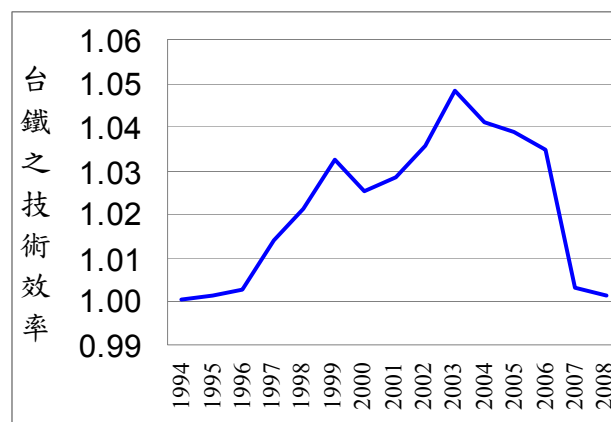


圖 8-17 臺鐵之能源需求效率變動趨勢

1. 能源需求效率長期呈現惡化趨勢，直至 2003 年以後始見好轉，但其間差距並不顯著。
2. 油料費、捷運、高鐵及公路營運對臺鐵之能源需求效率有明顯的激勵效果(匱效率項之各運量的係數均為負值)。
3. 雖然效率值顯示目前進一步改善的空間甚為有限，但這僅為一種相對概念，因此，未來猶應針對軌道運輸的能源效率，從技術創新面尋找可以進一步突破之道。

## 8.6 小結

國內各界與其他多數國家一樣，大都以「能源密集度」(energy intensity)或「能源生產力」(energy productivity)做為衡量國家整體層級的能源效率指標<sup>13</sup>。「能源密集度」雖為「能源生產力」之倒數，惟二者與「能源效率」原屬不同概念，並非衡量能源效率的適當指標。

根據能源效率之實證結果，本研究發現以下主要結果：

1. 公車與客運車之能源效率部分：
  - (1) 公車與客運車的能源消費量的運量彈性約為 0.33，換言之，運量每增加 1%，能耗量將增加 0.33%。
  - (2) 公車與客運車的能源消費量隨時間經過而呈現增加的趨勢，顯見除了運量之外，尚有其他因素(例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等)造成公車與客運車的能源消費量的持續增長。
  - (3) 公車與客運車運量與人均 GDP 呈負向關聯，主要是因為所得增加後，民眾將改用其他替代性運具(如高鐵、捷運、自小客車等)，因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。
  - (4) 公車與客運車的能源消費具有規模經濟，因其能源消費量隨運輸部門 GDP 的增加而降低。因此，在其他條件不變的情況下，公車與客運車的 GDP 未來若能持續成長，將有助於節能。

---

<sup>13</sup>台灣亦復如此。此二指標之所以常被使用是因為概念簡單易懂，資料的取得與計算都相當容易，大都來自官方統計。

(5) 公車與客運車的能源消費量與柴油價格指數並無顯著關聯，可能原因如下：①公車與客運車班次有其僵固性，因應油價而機動調減班次的空間有限。②油價水準不夠高。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於公車與客運車之能源消費量的抑制效果甚為有限。

(6) 公車與客運車之能源需求效率確有長期改善趨勢。

## 2. 國籍航空客運之能源效率部分：

(1) 國籍航空客運之能源消費的運量彈性為 0.5433，換言之，運量(以延人公里表示之)每增加 1%，將使能源消費量增加 0.5433%，故可視為缺乏彈性。

(2) 單位延人公里之  $GDP(X_3)$  可用以反映運量的單位價格，其與能源消費量顯著正相關：運量的單位價格每增加 1%，將使能源消費量增加 0.1387%，亦可視為缺乏彈性。

(3) 能源消費量與燃料油價格及原油國際價格均無顯著關聯，換言之，國籍航空客運之能源消費的能源價格彈性幾近於 0，這與航線航班的僵固性、及國內油價管制不無關聯。不過，當國際能源價格上漲到特定水準後，難保此一現象仍可持續維持。

(4) 在樣本期間年(1999Q1 ~ 2008Q4)曾先後發生 911 恐怖攻擊(2001Q3/Q4、SARS(2003Q2/Q3)、及次級房貸風暴(2003Q3/Q4)等事件，雖對國籍航空客運的能源消費造成減量效果，但統計上並不顯著。

(5) 國籍航空客運在能源消費上具有不可忽視的匱效率，惟能源價格對於需求效率並無顯著的影響，每年第 4 季的能源需求效率有低於其他 3 季的傾向，惟其間差距猶不顯著。

(6) 在 2007 年以前，能源需求效率在每年的第四季大都低於其他各季，但 2008 年的全球金融危機卻扭轉變了此一現象。此外，在 2005 至 2007 年間的能源需求效率有惡化現象(平均效率係數達 1.163，高於 1999 至 2004 年間的 1.077)，但在 2008 年則出現明顯的改善(平均效率係數降至 1.065)，進一步的節能空間目前不超過 7%，除非將來的節能技術有不同凡響的創新。

(7) 就國籍航空客運而言，能源需求效率的變動主要是受以下 3 項效果的

影響，因此，擴大規模及提升國籍航空競爭力與其能源生產力，實乃提升能源需求效率的關鍵性策略：

- ① 規模效果：有效擴大國內國籍航空客運的規模(以航空業的 GDP 表示之)。
- ② 競爭效果：外國航空之運量相對於國籍航空之比例( $Z_3$ )越大時，將有助於能源需求效率提升。
- ③ 生產力效果：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

### 3. 臺鐵之能源效率部分：

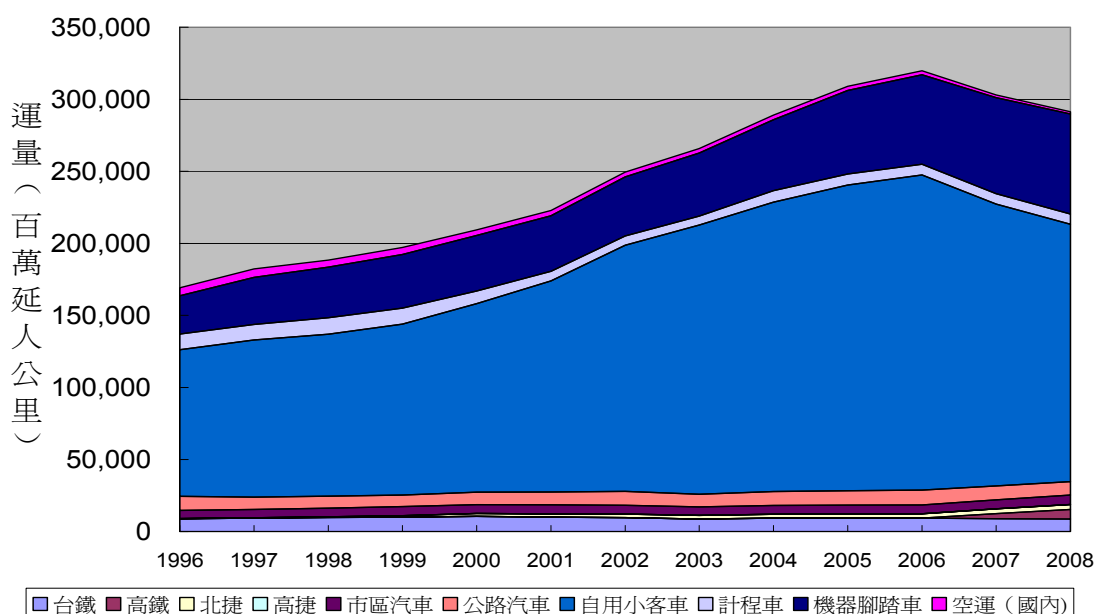
- (1) 臺鐵之能源需求效率一直呈現惡化趨勢，直至 2003 年以後始見好轉，但其間差距並不顯著。
- (2) 油料費、捷運、高鐵及公路營運對臺鐵之能源需求效率有明顯的激勵效果。
- (3) 雖然效率值顯示目前進一步改善的空間甚為有限，但這僅為一種相對概念，因此，未來猶應針對軌道運輸的能源效率，從技術創新面尋找可以進一步突破之道。



## 第九章 節能減碳的策略與潛能推估

### 9.1 前言

我國運輸部門的總運量長期持續成長，直至 2006 年首度減少(見圖 9-1)，此與國際經濟萎靡、經濟成長遲滯、產業競爭力衰退等因素有密切關聯。經濟成長因為金融風暴的影響，在 2007 年之後持續衰退(見圖 9-2)，衰退原因主要為進、出口貿易萎縮，投資也隨之下降，而決定內需之民間與政府消費則在 2006 年之後出現停滯狀態(見圖 9-3)。另一方面，隨著產業外移、兩岸分工的產業鏈形成，1999 年之後各運具 GDP 成長皆有趨緩，甚至呈負成長現象(圖 9-4)。



資料來源：本研究繪製。鐵路、公路與國內空運之原始統計資料來自交通統計月報；自用小客車、計程車與機器腳踏車運量為運研所推估值。

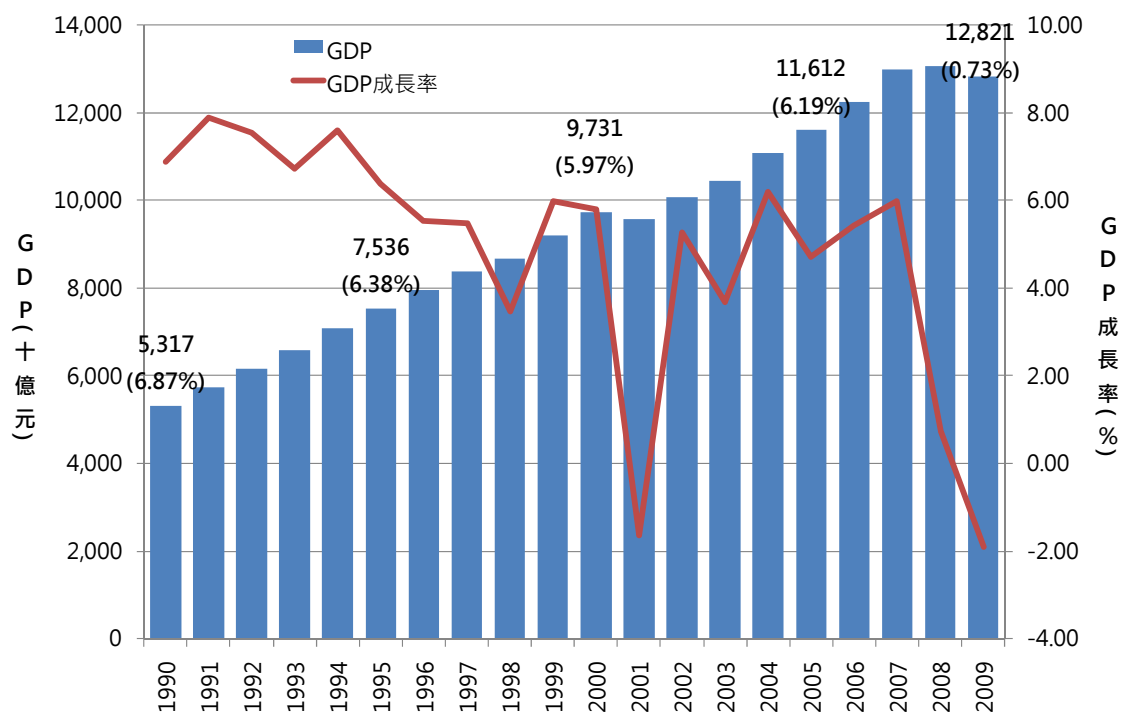
圖 9-1 國內各運具之運量成長趨勢

由圖 9-1 可見，自用小客車的運量在國內客運總運量中的佔比最高，其次為機車。就個別運具之運量而言，高鐵、北捷及機車均有增長，臺鐵、市區公車及公路客運則相對穩定，國內空運及自小客車則出現減少趨勢。

就國內各運具之運量成長率而言，也是消長互見(見圖 9-5)，其中自小客

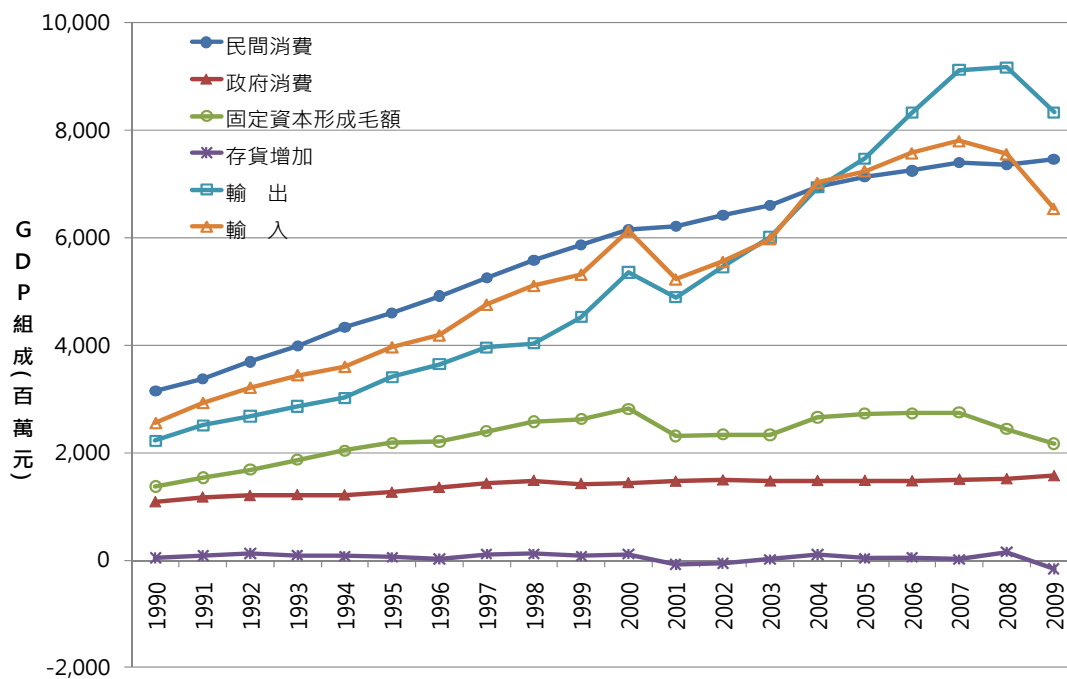
車及臺鐵的運量成長率有顯著的衰退(近幾年已出現負成長態勢)，只有北捷和市區公車有逆勢成長的情況。

就自用車輛的登記數而言，自小客車與計程車之車輛數及成長率在近幾年已逐漸趨於持穩狀態，機車的數量雖持續增長，其成長率在近幾年也逐漸趨於持穩狀態，但仍高過計程車及自小客車(見圖 9-6)。



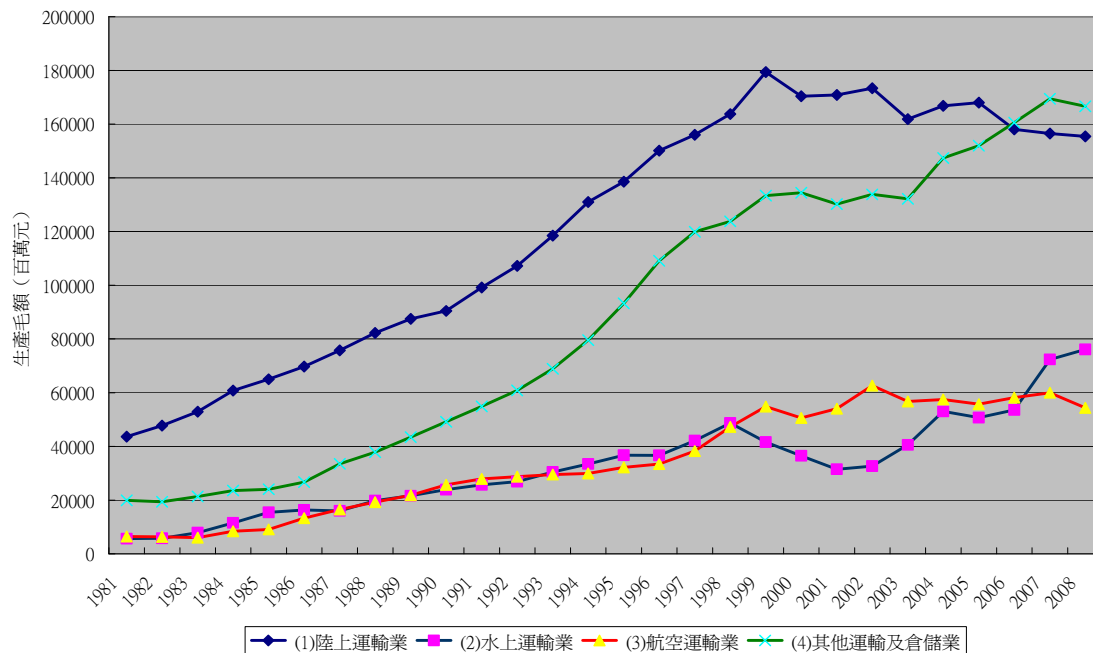
資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 9-2 GDP 成長趨勢



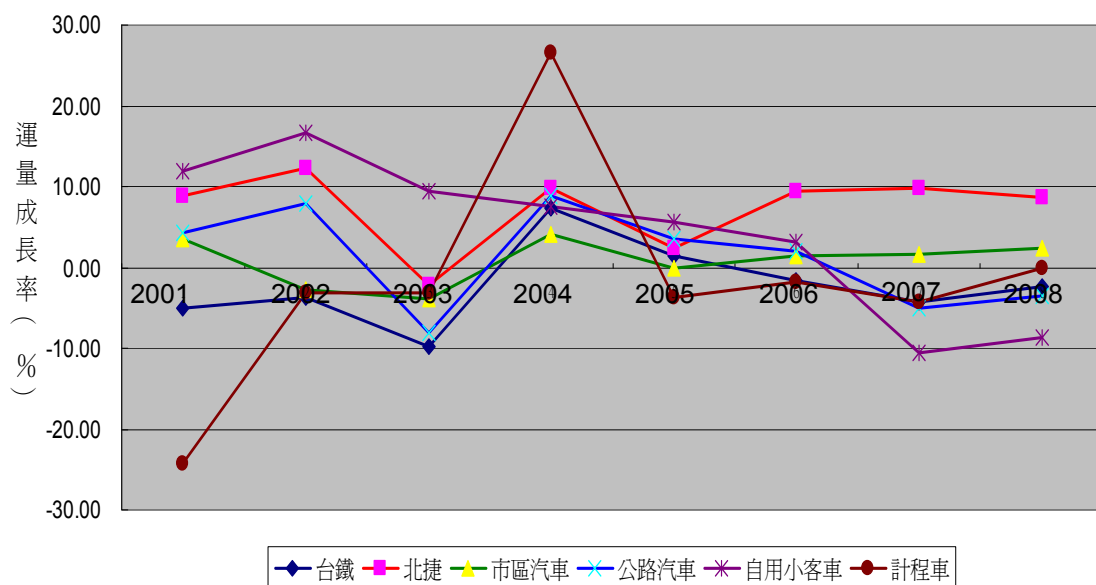
資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 9-3 GDP 組成因子成長趨勢



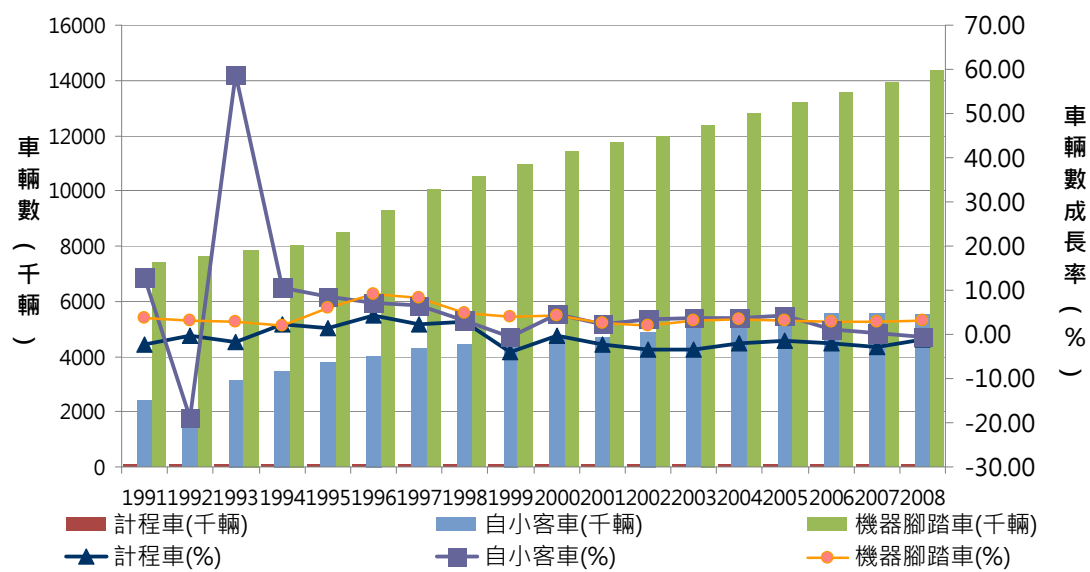
資料來源：行政院主計處及本研究繪製。

圖 9-4 國內運輸各部門之 GDP 成長趨勢



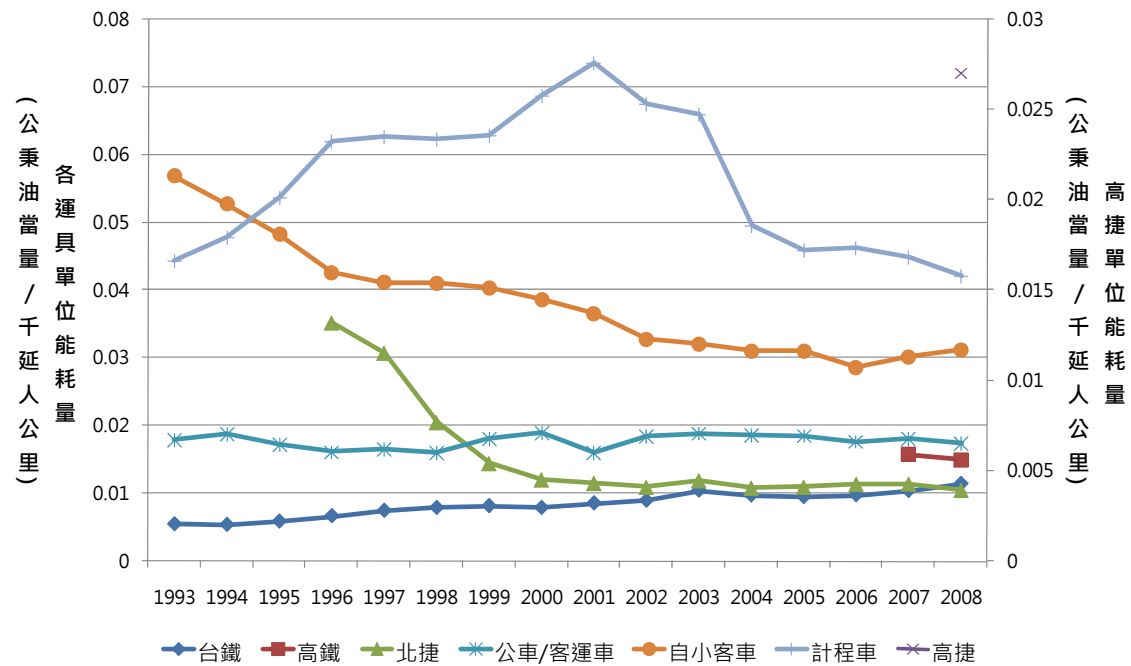
資料來源：同圖 9-1。

圖 9-5 國內各運具的運量成長率



資料來源：交通部統計要覽與本研究繪製。

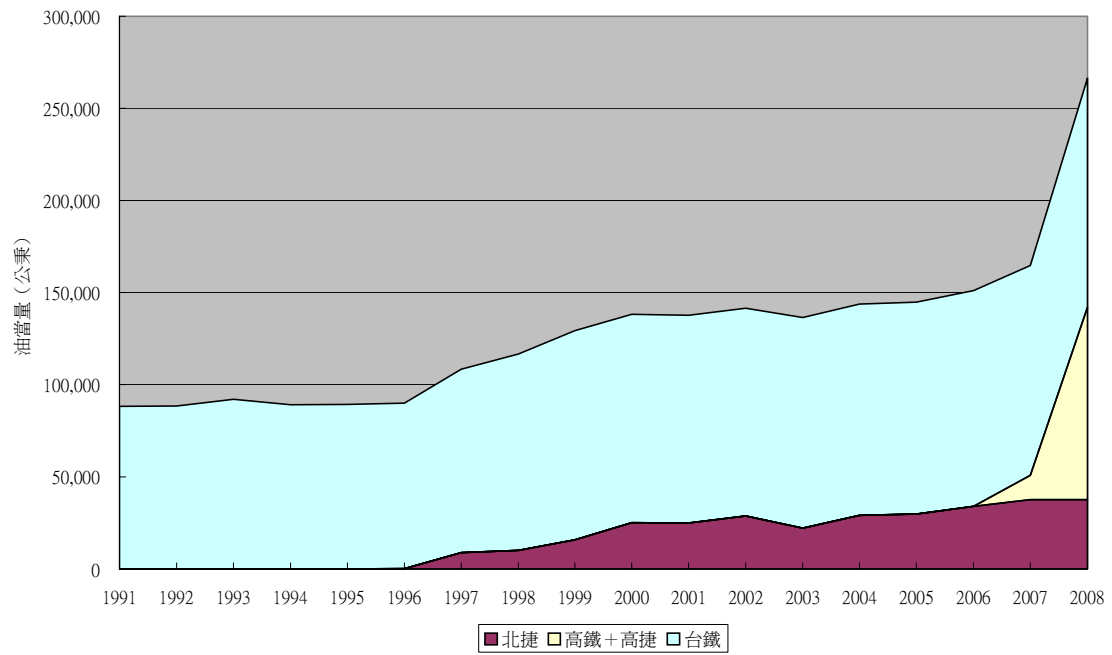
圖 9-6 國內自用運具的登記車輛數及其成長率



資料來源：本研究整理推估。

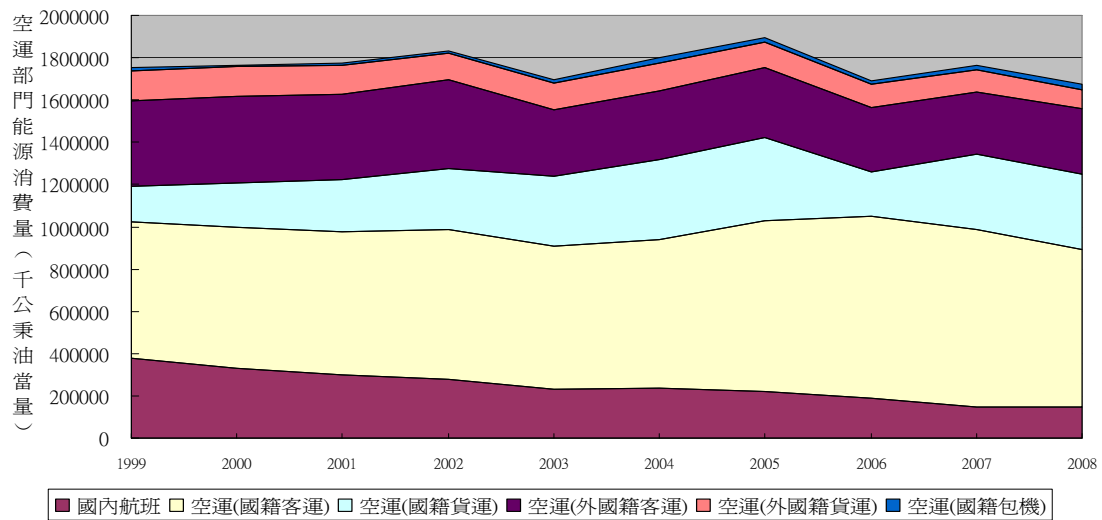
圖 9-7 國內各類運具之單位運量的能耗量

除了臺鐵之外，各運具之單位運量的能耗多呈現改善趨勢(見圖 9-7)，然而在各運具之運量互有消長情況下，整體運輸部門的能耗量並未見顯著減緩，其中軌道運輸的能耗量更在 2006 年高鐵營運後迅速增加(見圖 9-8)，而空運部門的能耗雖有減少，仍屬有限(見圖 9-9)。至於運輸部門的 CO<sub>2</sub> 排放量更是有增無減(見圖 9-10)。依據能源平衡表，近年我國運輸部門之能源使用量佔比約 11~12%(不含國際航空)，在 2008 年的 CO<sub>2</sub> 排放量為 0.35 億噸(含電力消費排放)，佔全體排放量的 14%，相較於 1990 年的排放量增加了 91.2%，增加率僅次於發電部門，其中小客車的排放是所有車種中最大者(2008 年佔 41%)，其次為大貨車(2008 年佔 21%)，再其次為機車(2008 年佔 11%)。



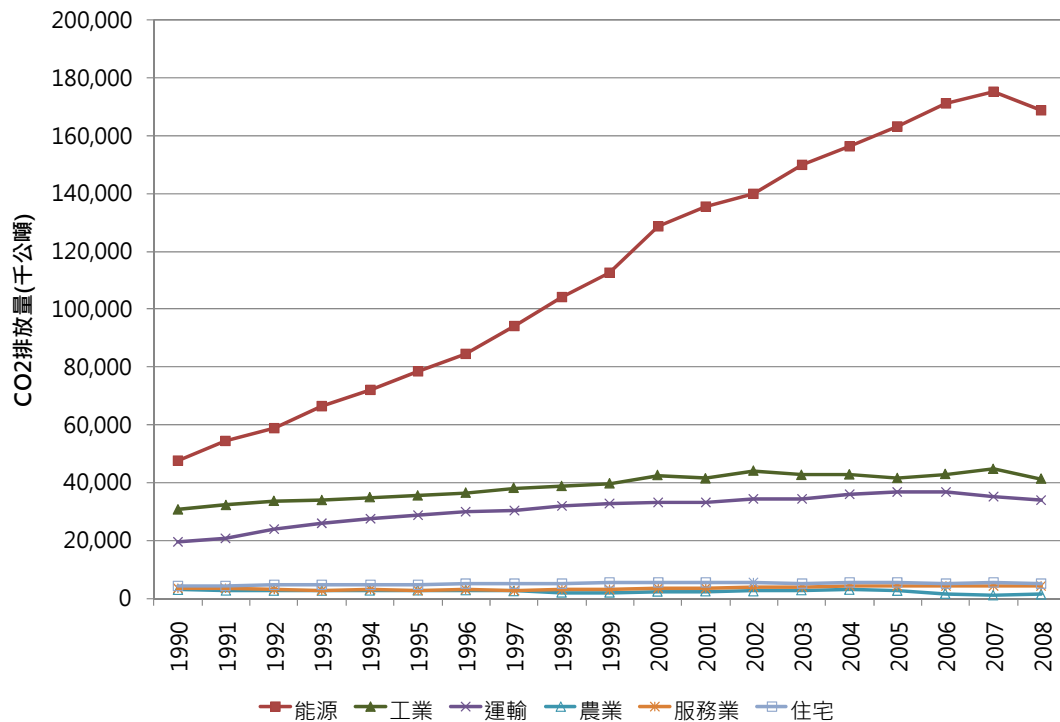
資料來源：本研究繪製。

圖 9-8 我國軌道運輸能耗量(電力及柴油)



資料來源：本研究繪製。

圖 9-9 我國空運部門能耗量



資料來源：經濟部能源局(2009)，我國燃料燃燒 CO<sub>2</sub> 排放統計與分析(各部門不包括電力消費排放)。

圖 9-10 我國各產業部門之 CO<sub>2</sub> 排放量

面對節能減碳的挑戰，運輸部門必須詳實掌握能源、經濟及環境(3E)的關聯性和互動機制，尤其是 3E 與各項節能減碳之政策工具之間的質化與量化關係。

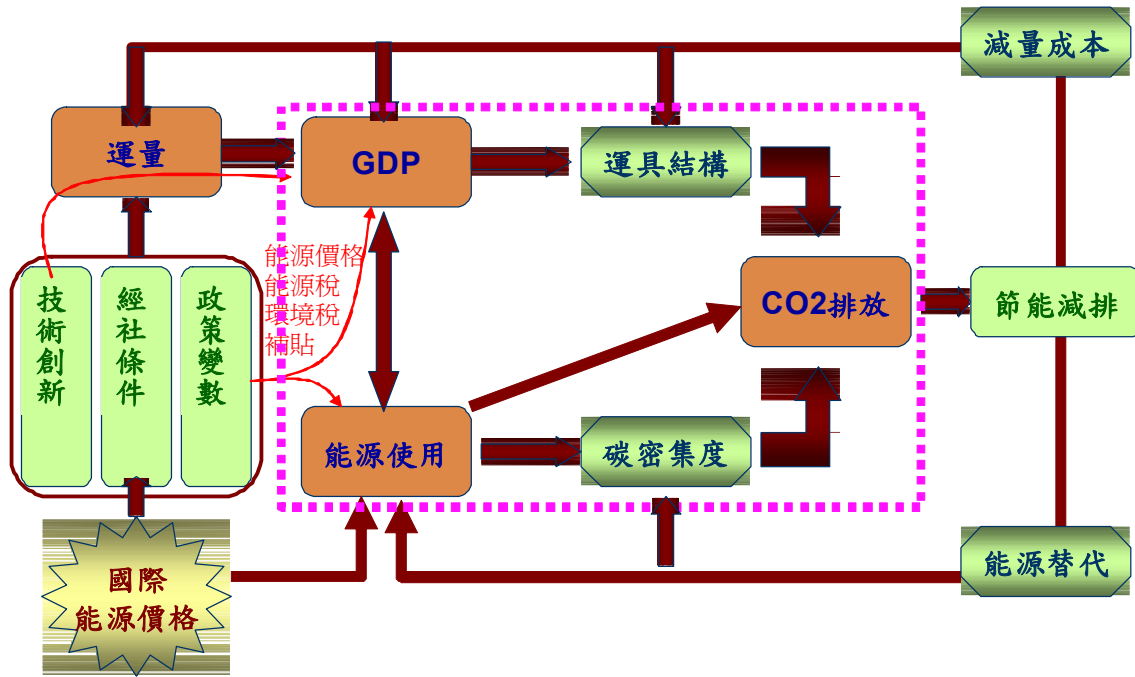
本章旨為建置此一關聯，並選定適當的實證模型，採用適當的推估方法，期能針對各項節能減碳措施，推估可行的減量效果。此外，本章亦檢討前期關於節能減碳行動方案中的減量推估結果，並同時採用「由上而下」(top-down)及「由下而上」(bottom-up)的方法重新加以推估。

## 9.2 各運具之 3E 聯立函數的推估

就理論來說，各運具的 3E 關聯並不複雜，但實際的運作機制則未必單純。為能建構實證上可行，而且具有政策意涵的 3E 關聯體系，本節首先建構一個較全面的 3E 系統關聯架構(見圖 9-11)，據以作為設定各類運具之 3E 聯立函數的基礎。其次，運用本報告第三章各項統計及估算數據，逐項推估各運具之 3E 聯立函數。

## 9.2.1 公車與客運(市區公車＋公路客運)

為評估市區公車與客運車部門之各項減碳策略的減碳效果，本節根據圖 9-11 的理念，建構一個包含 CO<sub>2</sub> 排放量、能源消費量，以及部門運量等 3 條聯立函數的模型如式(9-1)～(9-3)所示，應用兩階段最小平方法(2SLS)的推定結果彙整如表 9-1 所示。



資料來源：本研究繪製。

圖 9-11 運輸部門的 3E 關聯體系

$$\ln(\text{CO}_2\_Bus) = c_1 + c_2 \ln(\text{ENG\_Bus}) + \varepsilon_1 \quad (9-1)$$

$$\begin{aligned} \ln(\text{ENG\_Bus}) = & c_3 \ln(\text{GDP\_TRAN}) + c_4 \ln(\text{PK\_Bus}) + c_5 \ln(\text{Trend}) \\ & + c_6 \ln(\text{PI\_Diesel}) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-2)$$

$$\ln(\text{PK\_Bus}) = c_7 + c_8 \ln(\text{VEH\_Bus}) + c_9 \ln(\text{GDP\_PC}) + c_{10} \ln(\text{PK\_Rail}) + \varepsilon_3 \quad (9-3)$$

其中：

$\text{CO}_2\_Bus$  = 市區公車與公路客運之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)；

$\text{ENG\_Bus}$  = 市區公車與公路客運之能源消費量(千公秉油當量)；

$\text{PK\_Bus}$  = 市區公車與公路客運之運量(延人公里)；

$\text{PK\_Rail}$  = 軌道運量(臺鐵+高鐵+北捷+高捷)(延人公里)；



$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$Trend$  = 時間趨勢(有效樣本期間自 1990 年至 2008 年)；

$PI\_Diesel$  = 國內柴油價格指數(%)；

$VEH\_Bus$  = 市區公車與公路客運登記車輛數(輛)；

表 9-1 公車與客運之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 $\ln(CO_2\_Bus)$	常數項	千公噸	$c_1$	1.0298	0
	$\ln(ENG\_Bus)$	千公秉油當量	$c_2$	0.9994	0
能源消費函數 $\ln(ENG\_Bus)$	$\ln(GDP\_TRAN)$	百萬元	$c_3$	-0.8969	0.001
	$\ln(PK\_Bus)$	延人公里	$c_4$	0.7004	0
	$\ln(Trend)$		$c_5$	0.4634	0.0015
	$\ln(PI\_Diesel)$	%	$c_6$	-0.0004	0.9973
運量函數 $\ln(PK\_Bus)$	常數項	延人公里	$c_7$	12.7958	0
	$\ln(VEH\_Bus)$	輛	$c_8$	1.9232	0
	$\ln(GDP\_PC)$	元	$c_9$	-0.9942	0
	$\ln(PK\_Rail)$	延人公里	$c_{10}$	0.2398	0.0295

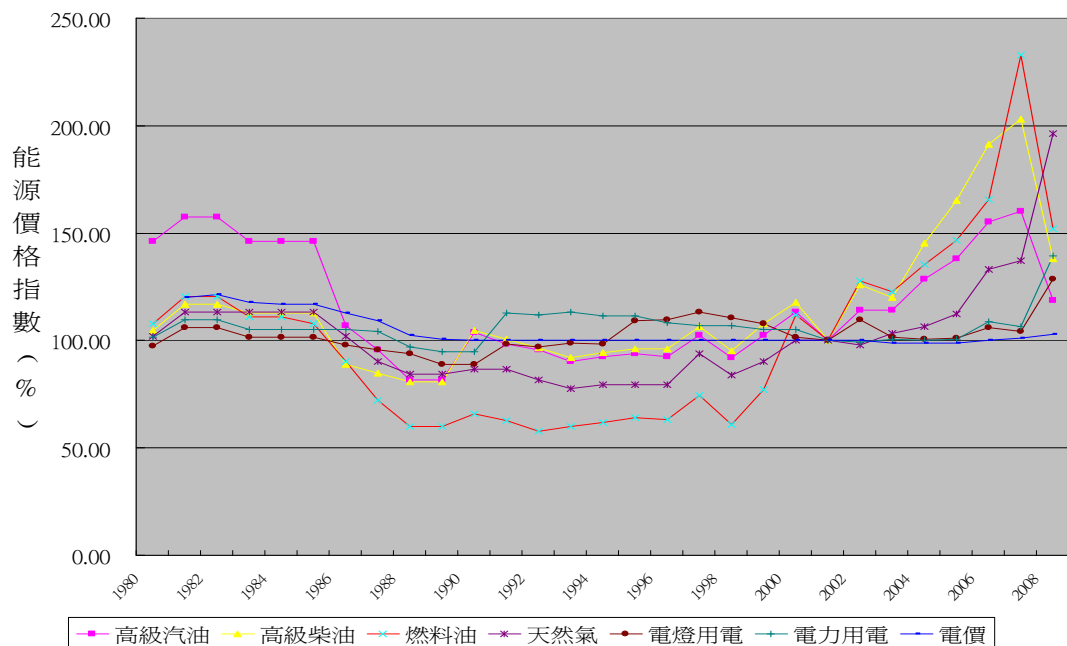
資料來源：本研究整理。

根據表 9-1，本研究可歸納出以下結論：

1. CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性( $=\partial \ln(CO_2\_Bus)/\partial \ln(ENG\_Bus)$ )接近 1，換言之，能源消費量(以千公秉油當量表示之)每增加 1%，將使 CO<sub>2</sub> 排放量增加 1%。由此可見，過去 19 年來的能源碳密集度並無明顯的改善。
2. 公車與客運車部門的能源消費具有規模經濟，因其能源消費量隨運輸部門 GDP 的增加而降低。因此，在其他條件不變的情況下，公車與客運車部門的 GDP 未來若能持續成長，將有助於節能。
3. 公車與客運車部門的能源消費量與其運量( $PK\_Bus$ )密切相關，能源消費量的運量彈性( $=\partial \ln(ENG\_Bus)/\partial \ln(PK\_Bus)$ )約為 0.7，換言之，運量每增加 1%，將使能源消費量增加 0.7%。估計結果與第八章有所出入，乃

推估方法不同所致。

4. 公車與客運車部門的能源消費量隨時間經過而呈現增加的趨勢，顯見除了運量之外，尚有其他因素(例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等)造成公車與客運車部門的能源消費量的持續增長。
5. 公車與客運車部門的能源消費量與柴油價格指數並無顯著關聯<sup>1</sup>，能源消費的燃料價格彈性幾近於 0，可能原因如下：(1)公客運車班有其僵固性，因應油價而機動調減班次的空間有限。(2)油價水準不夠高，而且相對穩定(2002 年以後雖見較大幅度的上揚，但在 2008 年又急遽下降，見圖 9-12)。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於公客運之能源消費量的抑制效果甚為有限。



資料來源：本研究繪製。

圖 9-12 國內各項能源產品之價格指數

6. 在樣本期間年(1990～2008)，公車與客運車部門運量的車輛數彈性( $= \partial \ln(PK\_Bus) / \partial \ln(VEH\_Bus)$ )高達 1.92，因此，增加公車與客運車輛數對於提升大眾運輸運量有其功效。

<sup>1</sup> 解釋變數之所以採用「能源價格指數」，而非價格水準，純是為提高模型配適度(goodness of fit)之故。採用能源價格水準作為解釋變數時，仍不改價格彈性幾近於 0 的論點。

7. 公車與客運車部門運量與人均 GDP( $GDP\_PC$ )呈負向關聯，主要是因為所得增加後，民眾將改用其他替代性運具(如高鐵、捷運、自小客車等)，因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。
8. 公車與客運車部門運量與軌道運量(含臺鐵、高鐵、北捷及高捷的總運量)呈現顯著的正向關聯，這與預期似乎不盡相符，主要是肇因於帶動二者同時同向變動的因素(例如時間趨勢)；由圖 9-1 可見，公車與客運車部門運量的配比有逐年減少趨勢，臺鐵運量亦然，雖有高鐵及捷運挹注，但軌道運量的整體配比迄未能顯著提升。此外，表 9-1 顯示，彈性值只有 0.24，亦即軌道運量每增長 1%，公客運運量將增加 0.24%。因此，未來軌道運量的增長將相對地高於公車與客運車部門。

## 9.2.2 自小客車

為評估自小客車之各項減碳策略的減碳效果，本節參仿公客運的 3E 函數架構，建構一個包含 CO<sub>2</sub> 排放量、能源消費量，以及部門運量等 3 條聯立函數的模型如式(9-4)~(9-6)所示，應用兩階段最小平方法(2SLS)的推定結果彙整如表 9-2 所示。

$$\ln(CO_2\_Car) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_Car) + \varepsilon_1 \quad (9-4)$$

$$\begin{aligned} \ln(ENG\_Car) = & c_3 + c_4 \ln(GDP\_TRAN) + c_5 \ln(PK\_Car) \\ & + c_6 \ln(PI\_Gasoline) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-5)$$

$$\ln(PK\_Car) = c_7 \ln(VEH\_Car) + c_8 \ln(GDP\_PC) + c_9 \ln(PK\_Rail) + \varepsilon_3 \quad (9-6)$$

其中：

$CO_2\_Car$  = 自小客車之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)；

$ENG\_Car$  = 自小客車之能源消費量(千公秉油當量)；

$PK\_Car$  = 自小客車之運量(延人公里)；

$PK\_Rail$  = 軌道運量(臺鐵+高鐵+北捷+高捷)(延人公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$PI\_Gasoline$  = 國內汽油價格指數(%)；

$VEH\_Car$  = 自小客車登記車輛數(輛)；

表 9-2 自小客車之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 $\ln(CO_2\_Car)$	常數項	千公噸	$c_1$	1.108317	0
	$\ln(ENG\_Car)$	千公秉油當量	$c_2$	0.981774	0
能源消費函數 $\ln(ENG\_Car)$	常數項	千公秉油當量	$c_3$	-2.552466	0.005
	$\ln(GDP\_TRAN)$	百萬元	$c_4$	-0.076898	0.5611
	$\ln(PK\_Car)$	延人公里	$c_5$	0.464863	0
	$\ln(PI\_Gasoline)$	%	$c_6$	0.041911	0.6417
運量函數 $\ln(PK\_Car)$	$\ln(VEH\_Car)$	輛	$c_7$	1.522105	0.0005
	$\ln(GDP\_PC)$	元	$c_8$	0.901324	0.0485
	$\ln(PK\_Rail)$	延人公里	$c_9$	-0.406708	0.0017

資料來源：本研究整理。

根據表 9-2，本研究可歸納出以下結論：

1. 自小客車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性(= 0.98)略低於公客運，表示自小客車能源消費量(以千公秉油當量表示之)每增加 1%，將使 CO<sub>2</sub> 排放量增加 0.98%。適足以反映自小客車與公客運使用燃料的碳密集度差異。
2. 不同於公客運之處，在於自小客車的能源消費不具有規模經濟，其能源消費量並未顯著的隨運輸部門 GDP 的增加而降低。
3. 自小客車的能源消費量與其運量(PK-Car)密切相關，能源消費量的運量彈性約為 0.46，低於公客運的 0.7，表示公客運的邊際能耗量高於自小客車，運量每增加 1%，公客運能源消費量增加 0.7%，而自小客車則增加 0.46%，自小客車燃油效率遠高於公客運。
4. 自小客車的能源消費量與汽油價格指數並無顯著關聯，能源消費的燃料價格彈性幾近於 0，這與公客運的情況相似。造成此現象可能原因有二：(1)過去國內油價在管制下，價格變化非常有限，導致能源消費量無法反映價格影響，且使推估結果不顯著；(2)車輛燃料消費相對僵固，使能源消費對價格之反映存在門檻值，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於自小客車之能源消費量的抑制效果亦屬有限。
5. 在樣本期間年(1990~2008)，自小客車運量的車輛數彈性也不低(=

1.52)，雖然略低於公客運的 1.92，因此，對自小客車進行總量管制不僅能有效抑制運量，且能發揮明顯的節能減碳效果。

6. 自小客車運量則與人均 GDP( $GDP\_PC$ )呈正向關聯，這與公客運的情況相反。由此可見，自小客車的運量需求將隨人均 GDP 的增加而成長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。晚近幾年的自小客車輛數遲滯成長的現象，可歸因於人均實質 GDP 不增反減，未來經濟情勢若能好轉，自小客車的運量與能源需求，或將繼續成長。因此，在能源需求的價格偏低，而道路容量又有限的情況下，發展大眾運輸系統(尤其是軌道運輸)及總量管制，恐怕是不得不的選擇。
7. 自小客車運量與軌道運量(含臺鐵、高鐵、北捷及高捷的總運量)呈現顯著的負向關聯(彈性值為-0.41)，此一結果隱含：以軌道運輸替代自小客車，可望創造節能減碳的雙贏局面。

### 9.2.3 計程車

一如自小客車，計程車的輛數及成長率在近幾年也逐漸趨於持穩狀態(見圖 9-6)，其主要原因與自小客車雷同。因此，本研究參照自小客車的經驗所建立的 3E 函數如式(9-7)~(9-9)所示，應用兩階段最小平方法(2SLS)的推定結果彙整如表 9-3 所示。

$$\ln(CO_2\_Taxi) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_Taxi) + \varepsilon_1 \quad (9-7)$$

$$\begin{aligned} \ln(ENG\_Taxi) = & c_3 + c_4 \ln(GDP\_TRAN) + c_5 \ln(PK\_Taxi) \\ & + c_6 \ln(Trend) + c_7 \ln(PI\_Gasoline) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-8)$$

$$\begin{aligned} \ln(PK\_Taxi) = & c_8 + c_9 \ln(VEH\_Taxi) + c_{10} \ln(Trend) + c_{11} \ln(GDP\_PC) \\ & + c_{12} \ln(PK\_Rail) + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (9-9)$$

其中：

$CO_2\_Taxi$  = 計程車之  $CO_2$  排放量(千公噸)；

$ENG\_Taxi$  = 計程車之能源消費量(千公秉油當量)；

$PK\_Taxi$  = 計程車之運量(延人公里)；

$PK\_Rail$  = 軌道運量(臺鐵+高鐵+北捷+高捷)(延人公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$PI\_Gasoline$  = 國內汽油價格指數(%);

$VEH\_Taxi$  = 計程車登記車輛數(輛);

表 9-3 計程車之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 $\ln(CO_2\_Taxi)$	常數項	千公噸	$c_1$	0.9598	0.000
	$\ln(ENG\_Taxi)$	千公秉油當量	$c_2$	1.0000	0.000
能源消費函數 $\ln(ENG\_Taxi)$	常數項	千公秉油當量	$c_3$	-41.8963	0.000
	$\ln(GDP\_TRAN)$	百萬元	$c_4$	3.2369	0.001
	$\ln(PK\_Taxi)$	延人公里	$c_5$	0.5172	0.038
	$\ln(Trend)$		$c_6$	-1.4823	0.004
	$\ln(PI\_Gasoline)$	%	$c_7$	-0.6934	0.025
運量函數 $\ln(PK\_Taxi)$	常數項	延人公里	$c_8$	-53.7252	0.003
	$\ln(VEH\_Taxi)$	輛	$c_9$	1.9861	0.000
	$\ln(Trend)$		$c_{10}$	-2.0262	0.000
	$\ln(GDP\_PC)$	元	$c_{11}$	5.1519	0.000
	$\ln(PK\_Rail)$	延人公里	$c_{12}$	-0.3656	0.148

資料來源：本研究整理。

根據表 9-3，本研究可歸納出以下結論：

1. 一如公客運與自小客車，計程車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性(= 1.00)也不低。因此，未來欲使陸運的碳排放與能耗脫鉤，只有從清潔能源著手，例如提高生質燃料的配比、鼓勵使用油電混合車輛、發展電動車等，都是必走的路。
2. 計程車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與公客運及自小客車均不相同)，因此，每當運輸部門景氣好的時候(例如需求或價格增加)，將誘發更多的計程車投入服務，從而消費更多的能源。
3. 計程車之能源消費的運量彈性約為 0.52，略高於自小客車的 0.46，但低於公客運的 0.7，此一情況亦可歸因於計程車之邊際能耗量不同於自小客車與公客運之故。

4. 在樣本期間年(1990~2008)，計程車運量的車輛數彈性(= 1.99)均較公客運及自小客車為高，因此，對計程車進行數量成長管理可以達到具體的節能減碳效果。
5. 計程車之能源消費量的汽油價格彈性為-0.69，因此，國內油價調漲對於計程車的節能效果，明顯地優於公客運及自小客車。
6. 在樣本期間年(1990~2008)，計程車運量的車輛數彈性(= 1.99)均較公客運及自小客車為高，因此，對計程車進行數量成長管理可以達到具體的節能減碳效果。
7. 計程車運量與人均 GDP( $GDP\_PC$ )呈正向關聯，這與自小客車相似，惟其彈性(= 5.15)明顯大於自小客車的 0.90。由此可見，計程車的運量需求將隨人均 GDP 的增加而快速增長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。晚近幾年計程車輛數遲滯成長的現象，亦可歸因於人均實質 GDP 不增反減，未來經濟情勢若能好轉，計程車的運量與能源需求，或將繼續成長。
8. 至於軌道運輸發展對計程車的替代，雖有一定的替代效果，但在統計上並不格外顯著(見表 9-3)。因此，就計程車的節能減碳而言，能源價格合理化、數量成長管理、提高計程車的能效標準，應該是較有效的政策工具。

#### 9.2.4 機車

本研究參照自小客車及計程車模式所建立的 3E 函數如式(9-10)~(9-12)所示，應用兩階段最小平方法(2SLS)的推定結果彙整如表 9-4 所示。

$$\ln(CO_2\_Moto) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_Moto) + c_3 \ln(Trend) + \varepsilon_1 \quad (9-10)$$

$$\begin{aligned} \ln(ENG\_Moto) = & c_4 + c_5 \ln(GDP\_TRAN) + c_6 \ln(PK\_Moto) \\ & + c_7 \ln(PI\_Gasoline) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-11)$$

$$\begin{aligned} \ln(PK\_Moto) = & c_8 + c_9 \ln(VEH\_Moto) + c_{10} \ln(Trend) + c_{11} \ln(GDP\_PC) \\ & + c_{12} \ln(PK\_Rail) + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (9-12)$$

其中：

$CO_2\_Moto$  = 機車之  $CO_2$  排放量(千公噸)；

$ENG\_Moto$  = 機車之能源消費量(千公秉油當量)；

$PK\_Moto$  = 機車之運量(延人公里)；

$PK\_Rail$  = 軌道運量(臺鐵+高鐵+北捷+高捷)(延人公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均門 GDP(元)；

$PI\_Gasoline$  = 國內汽油價格指數(%)；

$VEH\_Moto$  = 機車登記車輛數(輛)；

表 9-4 機車之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 $\ln(CO_2\_Moto)$	常數項	千公噸	$c_1$	0.959754	0.000
	$\ln(ENG\_Moto)$	千公秉油當量	$c_2$	1	0.000
	$\ln(Trend)$		$c_3$	-4.53E-14	0.038
能源消費函數 $\ln(ENG\_Moto)$	常數項	千公秉油當量	$c_4$	-5.8444	0.456
	$\ln(GDP\_TRAN)$	百萬元	$c_5$	0.9360	0.022
	$\ln(PK\_Moto)$	延人公里	$c_6$	0.1027	0.015
	$\ln(PI\_Gasoline)$	%	$c_7$	-0.2232	0.195
運量函數 $\ln(PK\_Moto)$	常數項	延人公里	$c_8$	-22.2572	0.006
	$\ln(VEH\_Moto)$	輛	$c_9$	1.1921	0.033
	$\ln(Trend)$		$c_{10}$	-0.5290	0.020
	$\ln(GDP\_PC)$	元	$c_{11}$	2.3718	0.000
	$\ln(PK\_Rail)$	延人公里	$c_{12}$	-0.0989	0.315

資料來源：本研究整理。

根據表 9-4，本研究可歸納出以下結論：

1. 機車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性也近乎 1，但隨時間經過而有遞減趨勢，顯見機車燃料的碳密集度比其他運具有較為顯著的改善。未來欲使機車的碳排放與能耗脫鉤，只有進一步提升機車的能效，並轉換能源(例如發展電動車，雖然兼具市場障礙與技術障礙，但這條艱辛的路仍有必要走，而且要儘速達到目的地)。
2. 機車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與計程車相似，但與公客運及自小客車相左)，惟其彈性遠低計程車，因此，運輸部門景氣



所誘發的邊際能耗不如計程車之多，但因機車數量甚多，運輸部門 GDP 增長所增加的能耗總量委實不容輕忽。

3. 機車之能源消費的運量彈性約為 0.1，遠低於其他陸運運具，這可反映機車在運量上的能源成本有效性(cost effectiveness)，也是機車增長的主要原因之一。
4. 機車之能源消費量的汽油價格彈性不顯著地異於 0，因此，國內油價調漲對於機車的節能效果亦屬有限。
5. 在樣本期間(1990~2008)，機車運量的車輛數彈性雖然都低於計程車(= 1.98)、公客運(= 1.92)及自小客車(= 1.52)，但仍高達 1.19，因此，對機車進行數量成長管理還是具有明顯的節能減碳效果。
6. 機車運量與人均 GDP( $GDP\_PC$ )呈正向關聯，惟其彈性(= 2.37)低於計程車(= 5.15)，但仍大於自小客車的 0.90。由此可見，機車的運量需求未來仍可能隨人均 GDP 的增加而快速增加，所需的能源消費量自然也將隨之增加。
7. 軌道運輸發展對機車雖有一定的替代效果，但在統計上並不格外顯著(見表 9-4)。因此，就機車的節能減碳而言，數量成長管理、提高機車的能效標準、發展電動機車，應該是較有效的政策工具。

## 9.2.5 公路貨運：大貨車與小貨車

本節分別推估大貨車與小貨車的 3E 函數，大貨車函數式如(9-13)至(9-15)式所示，小貨車函數型態與大貨車相同，故不另列。

$$\ln(CO_2\_TruckB) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_TruckB) + c_3 \ln(Trend) + \varepsilon_1 \quad (9-13)$$

$$\begin{aligned} \ln(ENG\_TruckB) = c_4 + c_5 \ln(GDP\_TRAN) + c_6 \ln(TK\_TruckB) \\ + c_7 \ln(PI\_Diesel) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-14)$$

$$\begin{aligned} \ln(TK\_TruckB) = c_8 + c_9 \ln(VEH\_TruckB) + c_{10} \ln(GDP\_PC) \\ + c_{11} \ln(TK\_TWR) + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (9-15)$$

其中：

$CO_2\_TruckB$  = 大貨車之  $CO_2$  排放量(千公噸)；

$ENG\_TruckB$  = 大貨車之能源消費量(千公秉油當量)；

$TK\_TruckB$  = 大貨車之運量(延人公里)；

$TK\_TWR$  = 臺鐵貨運運量(延噸公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$PI\_Diesel$  = 國內柴油價格指數(%)；

$VEH\_TruckB$  = 大貨車登記車輛數(輛)；

估計結果如表 9-5 及表 9-6 所示。由兩表可歸納出以下結論：

1. 大貨車之  $CO_2$  排放量的能源彈性亦接近 1，且隨時間經過有遞增趨勢，相較於大貨車，小貨車雖然趨勢與之相同，但彈性相對較低，且隨時間遞增幅度較大。
2. 大貨車與小貨車的油耗量與  $CO_2$  排放量皆隨時間而有增加的趨勢(見表 3-8)，如何強化節能績效或轉換清潔燃料，實乃當務之急。
3. 由於臺鐵貨運量逐年遞減，而大貨車與小貨車貨運量呈現相反趨勢，過去臺鐵的貨運功能已部分由大、小貨車所取代，因此二者與臺鐵之替代彈性分別高達-0.86 和-1.09。
4. 小貨車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正相關，彈性亦相當高，相反地大貨車之能耗與運輸部門 GDP 並未存在明顯關聯。

表 9-5 大貨車之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 ln(CO <sub>2</sub> _TruckB)	常數項	千公噸	c <sub>1</sub>	1.0304	0
	ln(ENG_TruckB)	千公秉油當量	c <sub>2</sub>	0.9995	0
	ln(Trend)		c <sub>3</sub>	0.0002	0.003
能源消費函數 ln(ENG_TruckB)	常數項	千公秉油當量	c <sub>4</sub>	14.6139	0.000
	ln(GDP_TRAN)	百萬元	c <sub>5</sub>	-0.4474	0.237
	ln(TK_TruckB)	延噸公里	c <sub>6</sub>	-0.1162	0.399
	ln(PI_Diesel)	%	c <sub>7</sub>	0.1136	0.228
運量函數 ln(TK_TruckB)	常數項	延噸公里	c <sub>8</sub>	35.9889	0.000
	ln(VEH_TruckB)	輛	c <sub>9</sub>	0.1341	0.871
	ln(GDP_PC)	元	c <sub>10</sub>	0.1879	0.763
	ln(TK_TWR)	延噸公里	c <sub>11</sub>	-0.8588	0.009

資料來源：本研究整理。

註：CO<sub>2</sub>\_TruckB = 大貨車之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)；ENG\_TruckB = 大貨車之能源消費量(千公秉油當量)；TK\_TruckB = 大貨車之運量(延噸公里)；TK\_TWR = 臺鐵貨運運量(延噸公里)；GDP\_TRAN = 運輸部門 GDP(百萬元)；GDP\_PC = 全國人均門 GDP(元)；PI\_Diesel = 國內柴油價格指數(%)；VEH\_TruckB = 大貨車登記車輛數(輛)。

表 9-6 小貨車之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 ln(CO <sub>2</sub> _TruckL)	常數項	千公噸	c <sub>1</sub>	1.0685	0
	ln(ENG_TruckL)	千公秉油當量	c <sub>2</sub>	0.9860	0
	ln(Trend)		c <sub>3</sub>	0.0046	0.0011
能源消費函數 ln(ENG_TruckL)	ln(GDP_TRAN)	百萬元	c <sub>4</sub>	0.8349	0
	ln(TK_TruckL)	延噸公里	c <sub>5</sub>	-0.1756	0.0335
	ln(PI_Diesel)	%	c <sub>6</sub>	0.0340	0.8448
運量函數 ln(TK_TruckL)	常數項	延噸公里	c <sub>7</sub>	38.7890	0.001
	ln(VEH_TruckL)	輛	c <sub>8</sub>	0.8695	0.4715
	ln(GDP_PC)	元	c <sub>9</sub>	-0.3176	0.7207
	ln(TK_TWR)	延噸公里	c <sub>10</sub>	-1.0902	0.0001

資料來源：本研究整理。

註：CO<sub>2</sub>\_TruckL = 小貨車之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)；ENG-TruckL = 小貨車之能源消費量(千公秉油當量)；TK\_TruckL = 小貨車之運量(延噸公里)；TK\_TWR = 臺鐵貨運運量(延噸公里)；GDP\_TRAN = 運輸部門 GDP(百萬元)；GDP\_PC = 全國人

均門 GDP(元)；  $PI\_Diesel$  = 國內汽油價格指數(%)；  $VEH\_TruckL$  = 小貨車登記車輛數(輛)。

## 9.2.6 軌道運輸：臺鐵客運與貨運

就軌道運輸而言，只有臺鐵有較長期的觀察資料，其餘如捷運和高鐵，均因觀察期間不夠長，因此本節僅推估臺鐵客運與貨運的 3E 函數。臺鐵客運之 3E 函數為：

$$\ln(CO_2\_TWRP) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_TWRP) + \varepsilon_1 \quad (9-16)$$

$$\ln(ENG\_TWRP) = c_3 \ln(GDP\_TRAN) + c_4 \ln(PK\_TWRP) + c_5 \ln(Trend) + c_6 \ln(PI\_Diesel) + c_7 \ln(PI\_Elect) + \varepsilon_2 \quad (9-17)$$

$$\ln(PK\_TWRP) = c_8 + c_9 \ln(VEH\_TWR) + c_{10} \ln(Trend) + c_{11} \ln(GDP\_PC) + c_{12} \ln(PK\_Road) + \varepsilon_3 \quad (9-18)$$

其中：

$CO_2\_TWRP$  = 臺鐵客運之  $CO_2$  排放量(千公噸)；

$ENG\_TWRP$  = 臺鐵客運之能源消費量(千公秉油當量)；

$PK\_TWRP$  = 臺鐵客運之運量(延人公里)；

$PK\_Road$  = 陸空客運量(自小客+公路客運+國內空運)(延人公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$PI\_Elect$  = 國內電價價格指數(%)；

$VEH\_TWR$  = 臺鐵車輛數(輛)；

臺鐵客運推估結果如表 9-7 所示。歸納推估結果可得以下結論：

1. 整體而言，臺鐵客運運量雖然隨時間經過而有遞增，但隨著人均 GDP 逐年持續成長，臺鐵客運運量卻在 2000 年到達高峰後反轉下滑，在運量萎縮的同時，卻不見能耗減少，致使能源消耗量與運量呈現反向關係。
2. 臺鐵客運之  $CO_2$  排放量的能源彈性大於 1，在能耗量與運量反向推升的情況下，排放量的增加將更為驚人。
3. 臺鐵客運之能耗量與運輸部門 GDP 呈現顯著的正向關係，彈性甚至高於小貨車，因此未來若 GDP 持續成長，臺鐵客運之排放量勢必成為運輸部

門重要的減量對象。

4. 臺鐵客運之能耗量，對於能源價格之反應並不顯著，歸究其原因仍在於能源價格變化無法反映至臺鐵客運服務票價，使用成本相對其他運具更低。
5. 臺鐵客運運量與人均 GDP 存在顯著的負向關係，顯示隨著所得增加，民眾對於臺鐵客運之需求將下降。

表 9-7 臺鐵客運之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 ln(CO <sub>2</sub> _TWRP)	常數項	千公噸	c <sub>1</sub>	9.9185	0.000
	ln(ENG_TWRP)	千公秉油當量	c <sub>2</sub>	1.3279	0.000
能源消費函數 ln(ENG_TWRP)	ln(GDP_TRAN)	百萬元	c <sub>3</sub>	1.6871	0.000
	ln(PK_TWRP)	延人公里	c <sub>4</sub>	-0.7877	0.000
	ln(Trend)		c <sub>5</sub>	-0.3748	0.001
	ln(PI_Diesel)	%	c <sub>6</sub>	0.0011	0.989
	ln(PI_Elect)	%	c <sub>7</sub>	0.1956	0.297
運量函數 ln(PK_TWRP)	常數項	延人公里	c <sub>8</sub>	29.7415	0.000
	ln(VEH_TWR)	輛	c <sub>9</sub>	0.1318	0.366
	ln(Trend)		c <sub>10</sub>	0.1606	0.031
	ln(GDP_PC)	元	c <sub>11</sub>	-0.6387	0.012
	ln(PK_Road)	延人公里	c <sub>12</sub>	0.0104	0.823

資料來源：本研究整理。

註：CO<sub>2</sub>-TWRP = 臺鐵客運之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)； ENG-TWRP = 臺鐵客運之能源消費量(千公秉油當量)； PK-TWRP = 臺鐵客運之運量(延人公里)； PK-Road = 陸空客運量(自小客+公路客運+國內空運)(延人公里)； GDP-TRAN = 運輸部門 GDP(百萬元)； GDP-PC = 全國人均 GDP(元)； PI-Elect = 國內電價價格指數(%)； VEH-TWR = 臺鐵登記車輛數(輛)。

臺鐵貨運之 3E 函數為：

$$\ln(CO_2\_TWRC) = c_1 + c_2 \ln(ENG\_TWRC) + c_3 \ln(Trend) + \varepsilon_1 \quad (9-19)$$

$$\begin{aligned} \ln(ENG\_TWRC) = c_4 + c_5 \ln(GDP\_TRAN) + c_6 \ln(TK\_TWRC) \\ + c_7 \ln(PI\_Diesel) + c_8 \ln(PI\_Elect) + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (9-20)$$

$$\begin{aligned} \ln(TK\_TWRC) = c_9 + c_{10} \ln(VEH\_TWR) + c_{11} \ln(GDP\_PC) \\ + c_{12} \ln(PK\_Truck) + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (9-21)$$

其中：

$CO_2\_TWRC$  = 臺鐵貨運之  $CO_2$  排放量(千公噸)；

$ENG\_TWRC$  = 臺鐵貨運之能源消費量(千公秉油當量)；

$TK\_TWRC$  = 臺鐵貨運之運量(延噸公里)；

$TK\_Truck$  = 公路貨運運量(小貨車+大貨車)(延噸公里)；

$GDP\_TRAN$  = 運輸部門 GDP(百萬元)；

$GDP\_PC$  = 全國人均 GDP(元)；

$PI\_Elect$  = 國內電價價格指數(%)；

$VEH\_TWR$  = 臺鐵車輛數(輛)；

臺鐵貨運推估結果如表 9-8 所示，並可由該結果歸納以下結論：

1. 如 9.2.5 節所述，過去 10 多年來，臺鐵貨運運量已部分由公路貨運所取代，使臺鐵貨運運量與公路貨運呈現反向變化。
2. 而臺鐵貨運運量與人均 GDP 之間並未呈現顯著關聯，同樣的能源消耗與整個運輸部門的 GDP 亦未存在顯著相關。
3. 能源消耗與柴油價格及電價均未呈現顯著影響。

表 9-8 臺鐵貨運之 3E 函數聯立推估結果

函數	解釋變數	單位	係數代號	係數推定值	P-value
CO <sub>2</sub> 排放函數 ln(CO <sub>2</sub> _TWRC)	常數項	千公噸	c <sub>1</sub>	8.0534	0.000
	ln(ENG_TWRC)	千公秉油當量	c <sub>2</sub>	-0.8923	0.000
	ln(Trend)		c <sub>3</sub>	0.1505	0.001
能源消費函數 ln(ENG_TWRC)	常數項	千公秉油當量	c <sub>4</sub>	-10.5777	0.000
	ln(GDP_TRAN)	百萬元	c <sub>5</sub>	0.0466	0.539
	ln(TK_TWRC)	延噸公里	c <sub>6</sub>	0.6428	0.000
	ln(PI_Diesel)	%	c <sub>7</sub>	-0.0403	0.495
	ln(PI_Elect)	%	c <sub>8</sub>	0.0038	0.976
運量函數 ln(TK_TWRC)	常數項	延噸公里	c <sub>9</sub>	34.6069	0.000
	ln(VEH_TWR)	輛	c <sub>10</sub>	-0.6049	0.012
	ln(GDP_PC)	元	c <sub>11</sub>	0.0934	0.734
	ln(PK_Truck)	延噸公里	c <sub>12</sub>	-0.4576	0.000

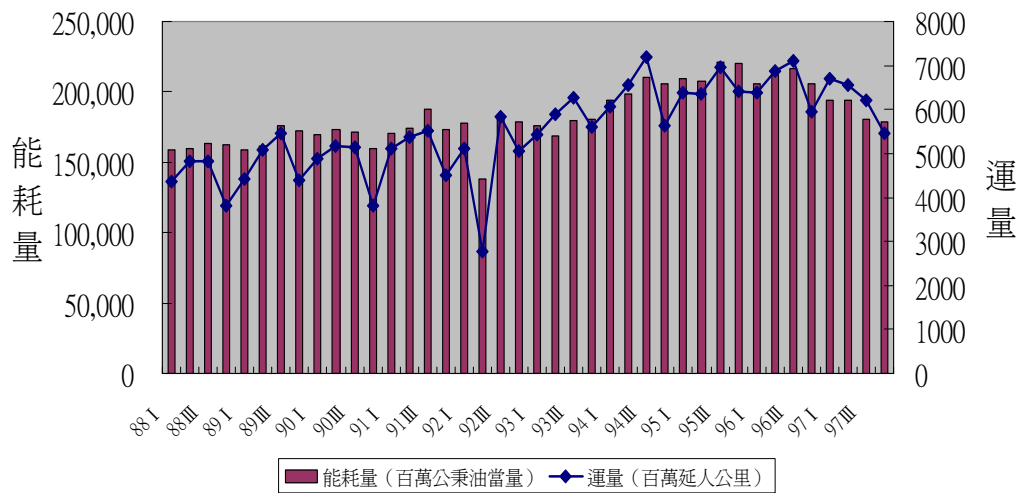
資料來源：本研究整理。

註：CO<sub>2</sub>\_TWRC = 臺鐵貨運之 CO<sub>2</sub> 排放量(千公噸)； ENG\_TWRC = 臺鐵貨運之能源消費量(千公秉油當量)；TK\_TWRC = 臺鐵貨運之運量(延噸公里)；TK\_Truck = 公路貨運運量(小貨車+大貨車)(延噸公里)； GDP\_TRAN = 運輸部門 GDP(百萬元)； GDP\_PC = 全國人均門 GDP(元)； PI-Elect = 國內電價價格指數(%)； VEH\_TWR = 臺鐵登記車輛數(輛)。

## 9.2.7 空運：國籍航空客運

我國國際國籍航空(簡稱「國籍航空」)的能耗需求與運量之關聯，可參見表 8-6 之推估結果，由歷史資料觀察，國籍航空客運量維持長期成長的趨勢，但仍難免有短期波動：

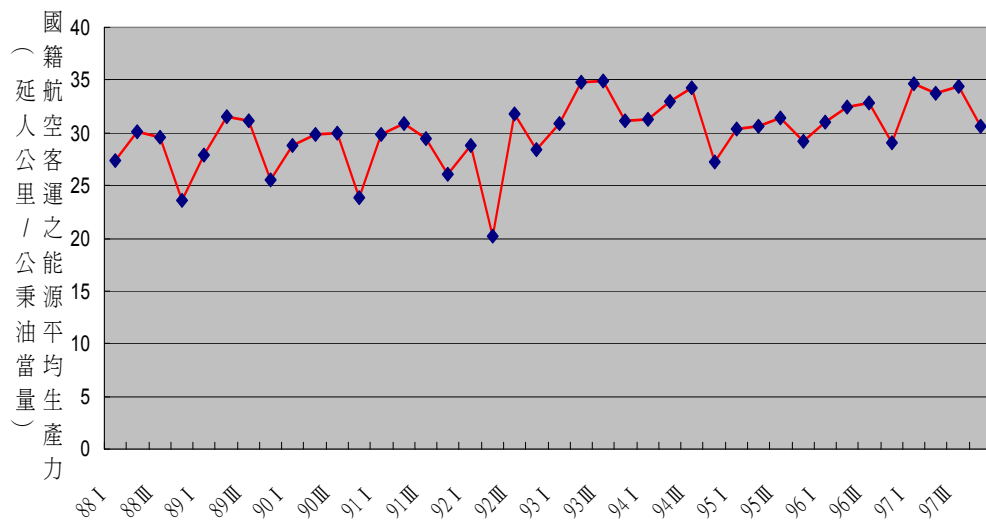
1. 明顯的季節變動，通常每年的第四季的運量都呈現衰退現象。
2. 偶發重大事件影響，尤其是 911 恐怖攻擊事件(2001Q3)、SARS(2003Q2)、以及美國次級房貸所導致的全球金融危機(2008Q3/Q4)均造成運量萎縮，其中 911 事件及金融危機均深化了當年第四季的運量衰減，而 SARS 更造成當季(Q2)運量的巨幅減少(見圖 9-13)。



資料來源：本研究繪製。

圖 9-13 國籍航空客運之能耗與運量的增長趨勢

3. 約在 2004 年以前，單位能耗之運量大多低於 2004 年之後的水平，顯見能源生產力確實有所改善(見圖 9-14)。



資料來源：本研究繪製。

圖 9-14 國籍航空客運之能源生產力



## 9.3 運輸部門減量策略

近 10 幾年來全球氣候暖化已逐漸惡化，使得世界各國為因應氣候變遷紛紛制定能源與環境的相關政策，而我國為因應全球環境改變的趨勢及能源結構的演變，行政院於 2008 年 6 月 5 日推出「永續能源政策綱領」，其政策目標為永續能源發展應兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，以滿足未來世代發展的需要，且永續能源政策應將有限資源作有「效率」的使用，開發對環境友善的「潔淨」能源，與確保持續「穩定」的能源供應，以創造跨世代能源、環保與經濟三贏願景。永續能源政策綱領也訂定了明確的 3 項能源政策，在能源效率方面：未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；在潔淨能源方面：全國 CO<sub>2</sub> 排放量，於 2020 年回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量；在能源供應方面：建立滿足未來 4 年經濟成長 6% 及 2015 年每人年均所得達 3 萬美元經濟發展目標的能源安全供應系統。

為達上述目標，也為各部門擬定因應策略。就運輸部門而言，主要的策略在於「建便捷運網，人本交通環境」，具體內容如下：

- (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」，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%。

此外，運輸部門 2009 年度的計畫重點則如下所示：

1. 建置高快速公路整體路網交通管理系統。
2. 推廣電動機車應用及規劃電動機車可抽換電池運作系統，補助購置電動機車。
3. 研擬自行車環境實施計畫，建立綠色交通網。
4. 推動油電混合動力汽車獎勵推廣措施與實施油氣(LPG)雙燃料車推廣計畫。
5. 加強車輛節能創新技術研發計畫，朝向低碳節能技術研究、都會區節能輕型電動車關鍵技術開發。

6. 分期提高汽機車能源效率標準，98 年公告提升汽、機車能源效率標準 10%。

表 9-9 係「永續能源政策行動方案」交通部主辦項目的具體內容，由此可知，未來節能減碳的主要策略包括：

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. 檢討修正道路照明標準降至合理範圍並符合照明效率。
5. 增加能源相關研究經費(4 年內由每年 50 億元倍增至 100 億元)，提升科技研發能量。

表 9-9 永續能源政策行動方案

行動綱領	行動計畫 (計畫、措施、作法、工作項目)		目標：實質減量 A 【或能力建構 B】
一、建構便捷大眾運輸網，舒緩汽機車使用與成長。	完成高速鐵路後續工程建設計畫。	完成高速鐵路後續工程建設計畫。	A 2010 年運量達 59.6 億延人公里。 2011 年運量達 62.5 億延人公里。 2012 年運量達 68.8 億延人公里。 2010 年：28.67 萬公噸。 4 年目標：119.18 萬公噸。
	持續推動臺鐵捷運化計畫。	持續推動後續計畫。	A 2010 年：0。 4 年目標：0。 2016 年預估運量達 89 百萬延人公里。 註：臺鐵捷運化後續計畫增設之捷運化車站，須至 2013 年起，才會啟用產生運量及 CO <sub>2</sub> 減量值，故 2010 年及 2012 年均無 CO <sub>2</sub> 減量值。
	推動其他臺鐵改善計畫。	持續辦理新竹內灣支線、臺南沙崙支線工程施作。	A 2010 年：0。(註：內灣及沙崙支線二計畫，2010 年尚在施工中，無實質減量目標值。) 4 年目標：2012 年內灣支線運量達 117 百萬延人公里，2012 年沙崙支線運量達 89 百萬延人公里。合計 CO <sub>2</sub> 減量 0.63 萬公噸。
	推動臺北都會區大眾捷運系統。	臺北捷運內湖線。	A 內湖線 2009 年通車營運。 2010 年：0.37 萬公噸。 4 年目標：1.29 萬公噸。
		臺北捷運南港線東延段。	A 南港線東延段 2010 年通車營運。 2010 年：0.04 萬公噸。 4 年目標：0.18 萬公噸。
		臺北捷運新莊線、蘆洲支線。	A 新莊線、蘆洲線 2013 年通車營運。 2010 年：0(未通車，無法填列減量目標)。 4 年目標：0(未通車，無法填列減量目標)。
		臺北捷運信義線。	A 信義線 2012 年通車營運。 2010 年：0(未通車，無法填列減量目標)。 4 年目標：0(未通車，無法填列減量目標)。
		臺北捷運松山線。	A 松山線 2013 年通車營運。 2010 年：0(未通車，無法填列減量目標)。 4 年目標：0(未通車，無法填列減量目標)。
		臺北捷運環狀線第 1 階段。	A 環狀線第 1 階段 2015 年通車營運。 2010 年：0(未通車，無法填列減量目標)。 4 年目標：0(未通車，無法填列減量目標)。
		土城線延伸頂埔段。	A 土城線延伸頂埔段 2013 年通車營運。 2010 年：0(未通車，無法填列減量目標)。 4 年目標：0(未通車，無法填列減量目標)。

表 9-9 永續能源政策行動方案(續)

行動綱領	行動計畫 (計畫、措施、作法、工作項目)		目標：實質減量 A 【或能力建構 B】
	推動高雄都會區大眾捷運系統。	高雄捷運 R11 永久站建置。	A 2010 年：年運量 35,259 萬延人公里，造成 CO <sub>2</sub> 增量達 1.33 萬公噸。 4 年目標：年運量達 41,902 萬延人公里，造成 CO <sub>2</sub> 增量達 1.59 萬公噸。
	持續推動公車動態資訊系統建置計畫。	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。	B 2010 目標：補助 5 個縣市擴建智慧型站牌及擴充公車後端監控中心功能。 4 年目標：補助 15 個有縣市轄公車建置公車動態資訊系統及、行車監控中心及擴建智慧型站牌。
	市區及公路汽車客運業老舊客車汰舊換新與偏遠及服務路線營運虧損補貼計畫。	市區及公路汽車客運業老舊客車汰舊換新計畫。	A 2010 年：預計汰換新車或較新車輛共計約 700 輛，CO <sub>2</sub> 減量達 0.66 萬公噸。 4 年目標：預計汰換新車或較新車輛共計約 1000 輛，CO <sub>2</sub> 減量達 0.94 萬公噸。
		服務路線營運虧損補貼計畫。	B 2010 年：2010 年度虧損補貼，預算初估約 9 億，因業者尚未申請受審，無法推估受補貼業者家數、路線數，且該補貼款並非補助業者汰換車輛。 4 年目標：同上。
	高鐵車站聯外接駁系統規劃及開放營運。	賡續定期彙報高鐵車站聯外接駁系統運量統計。	B 2010 年：賡續定期彙報。 4 年目標：賡續定期彙報。
	縣市政府構建大眾運輸轉運中心。	協助各縣市政府辦理大眾運輸轉運中心之規劃或構建。	B 2010 年：補助 1 個縣市建構客運轉運中心，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。 4 年目標：預計補助累計達 5 個建置案，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。
	推動大眾運輸 IC 票證整合。	提昇公共運輸票證服務效能。	B 2010 年：補助 2 個縣市建置公共運輸票證服務，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。 4 年目標：預計補助累計達 6 個縣市建置公共運輸票證服務，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。
	規劃推動公車專用道或公車捷運系統。	規劃推動公車專用道或公車捷運系統。	B 2010 年：預計推動 1 個縣市辦理規劃 BRT 計畫，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。 4 年目標：預計推動累計達 2 個縣市辦理規劃或興建 BRT 計畫，惟仍需視縣市政府需求提報情形及審查結果。

表 9-9 永續能源政策行動方案(續 1)

行動綱領	行動計畫 (計畫、措施、作法、工作項目)	目標：實質減量 A 【或能力建構 B】
	強化離島地區交通規劃。	辦理離島交通建設規劃-澎湖國內商港建設計畫。 B 2010 年： 1.辦理龍門尖山碼頭區西外廓防波堤延建 240 公尺 2.辦理龍門尖山碼頭區航道、迴船池及泊地浚深工程 3.辦理龍門尖山碼頭區信號台興建 4.辦理龍門尖山碼頭區導航疊標及進出港燈號佈設 5.辦理龍門尖山碼頭區第 9、10 號碼頭整修及週邊設施改善工程 6.辦理龍門尖山碼頭區辦公廳舍新建工程 7.辦理馬公港旅客服務中心整建工程 2011 年： 1.續辦理龍門尖山碼頭區西外廓防波堤延建 240 公尺 2.續辦理龍門尖山碼頭區航道、迴船池及泊地浚深工程
	辦理離島交通建設規劃-金門地區港埠建設計畫。	B 2010 年： 1. 水頭港區小三通專用浮動碼頭增建工程：路堤土地使用分區編定完成，路堤完工，浮動碼頭、風雨走廊施工。 2. 水頭港區小三通專用碼頭貨運通道工程：碼頭通道施工。 3. 水頭港區大小金門客運浮動碼頭增建工程：浮動碼頭及引橋施工。 4. 料羅港區碼頭整建工程：二號碼頭整建完工驗收及三號碼頭、淺水碼頭整建施工。 2011 年： 1. 水頭港區小三通專用浮動碼頭增建工程：浮動碼頭、風雨走廊、浚挖完工驗收。 2. 水頭港區小三通專用碼頭貨運通道工程：輸送帶及機電等設施施工，完工驗收。 3. 水頭港區
	辦理離島交通建設規劃-馬祖地區海運港埠建設計畫。	B2010 年：完成購建新臺馬輪計畫之細部設計及福澳浮動碼頭完工啟用。4 年目標：除福澳浮動碼頭於 2010 年底前完工啟用外，購建新臺馬輪計畫於 2012 完工，2013 年開始營運。
	辦理離島交通建設規劃-金門尚義機場空側短期及航站區第一期擴建工程。	B 2010 年：可提昇航廈年旅客運量至 230 萬人次。 4 年目標：改善跑道，提昇飛航安全
	辦理離島交通建設規劃-馬公機場跑道、滑行道道面整建工程。	B 2010 年：99 年 8 月發包施工 4 年目標：99 年 9 月至 102 年 12 月完成跑道設施及助航設施整建以及空側設施符合國際規範

表 9-9 永續能源政策行動方案(續 2)

行動綱領	行動計畫 (計畫、措施、作法、工作項目)		目標：實質減量 A 【或能力建構 B】
二、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。	建置高快速公路整體路網交通管理系統。	賡續辦理整體路網交通管理系統工程。	B 2010 年：完成系統建置。 4 年目標：2010 年即已完成系統建置，無 4 年期目標。
	推動高速公路電子收費系統。	賡續推動高速公路電子收費系統。	B 2010 年：電子收費利用率達成 45% 之目標。完成計程電子收費測試系統之建置。 4 年目標：2012 年底前實施里程計費。
	持續推動智慧交控系統建置計畫。	交通管理與資訊服務系統建置與推廣計畫-智慧交控。	B 2010 目標：補助新增 2 個縣市建置智慧交控中心，完成 500 路口號誌時制重整 4 年目標：補助累計 22 個縣市建置智慧交控中心，累計完成 2000 路口號誌時制重整。
	擴充與推廣用路人資訊建置與應用計畫。	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。	B 2010 年：上網查詢使用「交通服務 e 網通」195 萬人次。 4 年目標：本案所屬計畫僅至 2011 年，該年目標為 200 萬人次。
三、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。	推動自行車環境實施計畫。	推動東部自行車路網示範計畫。	B 配合節能減碳東部自行車路網示範計畫。 2010 年： 1.進行台 2 線龍門橋至北宜縣界路段海側實體分隔自行車道工程之用地取得作業，及完成台 8 線路側自行車道新建工程。 2.完成臺鐵車廂改造計畫，便利民眾搭配鐵路運送自行車服務。 3.辦理東部自行車路網示範計畫經典路線建設。 4 年目標：結合東部地區豐富天然遊憩資源，優先發展為自行車路網示範地區，藉由自行車與鐵路、公路客運系統之搭配，創造出新興的產業發展及人文的旅遊型態，進一步運用觀光旅遊行銷推廣，將此多元的自行車遊憩模式推向國際。
		持續辦理現行交通法規檢討修訂。	B 2010 年：完成自行車交通法規之檢討修訂。 4 年目標：發展自行車之休閒觀光功能，打造臺灣成為「自行車的樂園」、「自行車遊憩島」。
		彙整各縣市政府相關自行車管理機制，包括自行車停放、保管、租借及充電設施等，強化與公共運輸場站之轉乘接駁等系統性措施	B 經評估本項計畫因涉及各縣市主辦之業務，各縣市政府會因地制宜，其所採取措施依其地區之特性與時機會有所不同，中央單位無法即時掌握各縣市之具體內容，不易定期管考，建議解除列管。 2010 年： 4 年目標：

表 9-9 永續能源政策行動方案(續 3)

行動綱領	行動計畫 (計畫、措施、作法、工作項目)		目標：實質減量 A 【或能力建構 B】
		彙整各縣市政府有關建構「車輛共乘資訊平台」，推動自小客車及計程車共乘制度及資訊化派車系統等措施	B 經評估本項計畫因涉及各縣市主辦之業務，各縣市政府會因地制宜，其所採取措施依其地區之特性與時機會有所不同，中央單位無法即時掌握各縣市之具體內容，不易定期管考，建議解除列管。 2010 年： 4 年目標：
四、檢討修正道路照明標準降至合理範圍並符合照明效率。	蒐集公路照明標準相關資料，研擬設計規範草案(2009~2012)。	公路照明標準規劃之修訂及頒布作業	B 2010 年：辦理草案修訂程序。 4 年目標：完成修訂後頒佈。
五、能源相關研究經費 4 年內由每年 50 億元倍增至 100 億元，提升科技研發能量。	運輸節能減碳科技研發。	綠色運輸系統研發： 1.車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究。 2.都會區節能減碳運輸管理策略評估系統。 3.建構運輸部門能源使用與溫室氣體排放整合資料庫。 4.運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型架構之建立。 5.先進大眾運輸服務(APTS)研發與推廣。 6.商車營運服務(CVOS)研發與推廣。 7.交通電子票證系統共通技術規範研究與推動票證整合。	B 2010 年：完成 8 項綠色運輸系統研究計畫： 1.先進大眾運輸服務(APTS)研發與推廣。 2.商車營運服務(CVOS)研發與推廣。 3.交通電子票證系統共通技術規範研究與推動票證整合。 4.動態交通資訊服務。 5.車載機之整合應用服務及建立交通資訊通信加值鏈。 6.都市先進交通管理服務(ATMS)研發。 7.發展交通安全基礎模式及實驗平台。 8.路網數值圖永續資料庫建置。 4 年目標：持續推動綠色運輸系統相關研究計畫。
		8.動態交通資訊之技術開發與應用研究。 9.弱勢用路人支援輔助系統研究。 10.車路整合應用服務研究。 11.都市先進交通管理服務(ATMS)研發。	

## 9.4 運輸部門節能減碳績效

本所 96 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(1/3)－探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響』計畫及 97 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(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制』計畫先後兩年就各項減排措施進行減量潛力評估。在 2008 年考量各類措施會產生節能減量的特性將其調整分為以下 3 類：1.交通運輸管理；2.提昇運輸系統能源使用效率(藉由運輸系統的管理改善使得運具能源使用效率提昇)；3.提昇運具能源使用效率(藉由運具本身技術的改善或使用替代燃料使得運具能源使用效率提昇)。

「強化減量」因應策略的研擬即參考此分類進行檢討並採用情境比較方式，進行各措施不同可行情境目標量的設定與減量估算比較。表 9-10 表明各情境及減量績效。



表 9-10 強化策略各情境措施減量推估結果

情境	策略措施			節能量(萬公秉油當量/年)				CO <sub>2</sub> 減量(萬公噸/年)				
				2010	2015	2020	2025	2010	2015	2020	2025	
情境一	提昇運具能源使用效率	加嚴車輛能耗標準	汽油車	0	5	33	69	0	12	85	176	
			機車	0	0	2	4	0	1	5	10	
			柴油車	0	3	9	19	1	7	24	52	
		車輛汰舊換新			1	1	2	1	2	3	6	2
		安裝導風板			2	4	4	4	5	13	13	13
		替代燃料車輛			0	1	3	4	2	8	11	14
		小計			3	15	53	100	9	45	145	268
	交通運輸管理	減少私人運具轉移至大眾運輸系統	1	17	57	104	2	37	133	244		
	運輸系統能源提昇	高速公路電子收費及都市交通號誌	0.3	0.6	1.1	1.2	0.7	1.7	2.8	3.0		
合計			4	32	111	206	13	84	280	515		
情境二	提昇運具能源使用效率	加嚴車輛能耗標準	汽油車	13	57	128	217	33	147	329	560	
			機車	0	1	5	10	0	2	13	25	
			柴油車	0	3	11	24	1	9	30	66	
		車輛汰舊換新			1	2	4	2	2	6	11	4
		安裝導風板			2	4	4	4	5	13	13	13
		替代燃料車輛			0	3	6	8	4	22	29	35
		小計			16	71	158	265	45	200	426	703
	交通運輸管理	減少私人運具轉移至大眾運輸系統	1	27	88	162	2	58	197	367		
	運輸系統能源提昇	高速公路電子收費及都市交通號誌	1	1.5	2.5	2.7	1.5	3.8	6.3	6.9		
合計			18	100	249	429	49	261	630	1077		
情境三	提昇運具能源使用效率	加嚴車輛能耗標準	汽油車	28	115	234	361	71	297	603	929	
			機車	0	1	7	13	0	3	17	33	
			柴油車	1	7	21	41	2	19	57	111	
		車輛汰舊換新			1	5	9	3	2	12	23	8
		安裝導風板			2	4	4	4	5	13	13	13
		替代燃料車輛			1	5	11	14	8	31	45	87
		小計			32	138	286	437	88	375	757	1181
	交通運輸管理	減少私人運具轉移至大眾運輸系統	1	38	119	219	2	78	260	487		
	運輸系統能源提昇	高速公路電子收費及都市交通號誌	0.8	2.1	3.4	3.8	2.1	5.3	8.9	9.7		
合計			33	178	408	659	93	458	1026	1678		
行動計畫方案已規畫目標下減量合計(以2005年為基準)				65	102	141	160	154	244	342	389	
情境一+行動計畫方案減量合計				69	134	252	365	167	328	622	904	
情境二+行動計畫方案減量合計				82	202	390	589	203	505	972	1466	
情境三+行動計畫方案減量合計				98	280	549	819	247	702	1368	2067	
溫室氣體減量法(草案)減量目標(達2005年水準)下所需減量				-	-	-	681	-	-	-	1818	

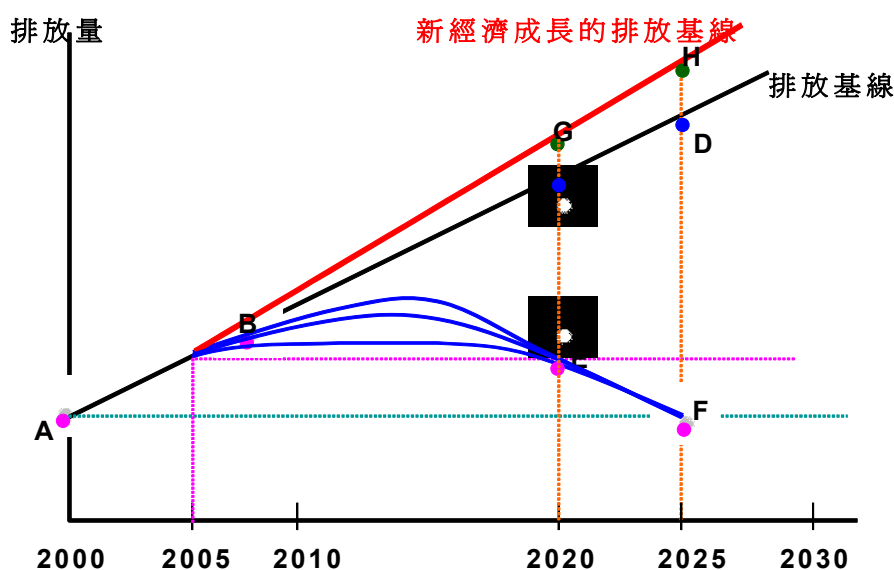
資料來源：交通部運輸研究所(2008)。

本計畫立基於本所 97 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(2/3)－建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」計畫及本章第 2 節的推估結果，重新檢討前一期

各項減量措施的評估方式及所使用之參數，並在必要的情況下進行資料更新，或改變減量估計方法。

目前國家減量目標為「在 2020 年回到 2005 年排放水準，並於 2025 年回到 2000 年排放水準」，在此目標下國家排放路徑可能出現多種情況。圖 9-15 說明國家排放基線與減量目標下之排放路徑，由於排放基線隨經濟發展狀態、既定政策方向，以及既有技術發展路徑而改變，因此在做為減量之比較基礎時，基線的定位必須先確認。基於此本研究根據未來經濟發展可能狀態，設定經濟高度發展、中度發展與低度發展 3 種情勢之排放基線。

基線確立後，根據國家減量目標，2020 年排放量應由 G 或 C 點減排至 E 點，2025 年排放量則應由 H 點或 D 點減排至 F 點，則 BEF 線段之走勢，亦即國家在減量目標下之排放路徑則有無限多種可能，故本研究後續將假設一組國家排放路徑(見圖 9-19)以做為計算運輸部門排放減量之基礎。



資料來源：本研究繪製。

圖 9-15 國家減量目標下之排放路徑示意圖

整體評估流程如圖 9-16 所示，首先在檢視前期研究後，本研

究認為前期研究以由下而上之方法，對運具與運輸策略之計算已十分詳盡，在計算公式上亦無不合理之處。惟前期研究以個別計畫或策略計算減量效果，在假設策略間相互獨立的前提下，無法考慮策略間彼此影響的交互作用，而可能高估減量效果。

其次，前期研究估算公式所用參數大都有實務根據，但仍有少部分參數之設定方式的合理性無法考證，對於各項減量策略之關鍵變數的減量效果，亦欠缺系統性的計量模式推估。因此本研究於 9.2 節利用聯立模型針對 GDP 與能源價格對於各運具運量與能耗間之關聯進行推估，以期驗證其合理性並提供本研究下一步進行減量評估之參考依據。

再者，前期研究忽略未來經濟成長所造成的排放增量，對於運輸部門達成減量目標的潛力可能過於樂觀，因此本研究一方面重新檢討除了重新推估排放基線之外，就經濟未來發展狀態，分別考慮高度發展、中度發展與低度發展 3 種可能情況，對於運具需求、能耗及排放量之影響。

由於前期並未考慮運輸部門多元化的減量目標，運輸部門在國家整體減量目標：「在 2020 年回到 2005 年排放水準，並於 2025 年回到 2000 年排放水準」下，應承擔多少減量責任，在不同計算基礎與經濟發展狀態下應有不同結果，因此運輸部門減量目標設立的基礎與原則有必要加以探討，故本研究以「等比例減量」及「成本有效性減量」兩種方法，計算運輸部門在 3 種經濟發展狀態下所應設立之減量目標。

在確立減量目標同時，本研究將運輸部門整體減量策略區分為總體政策與部門政策兩部分，總體政策為考量非運輸部門所能決定之外力因素，包括能源價格的波動以及能源稅的課徵，對於運輸部門之減量效果，此乃採取由上而下方法計算之結果；部門策略則考慮提高生質燃料配比、推廣大眾運輸、進行車輛管制、提高車輛能效標準等措施。

接著運用 9.2 節聯立模型所推估而得之經濟成長與各運具運量之關係、能源價格對各運具運量之影響、運具彼此間之替代關係，以及各運具運量與能耗間之關係，計算部門策略之減量效果。

最後綜合總體政策與部門政策之減量效果，其與減量目標之間的差額，即為運輸部門尚須藉由其他手段或措施以進行減量的努力空間。

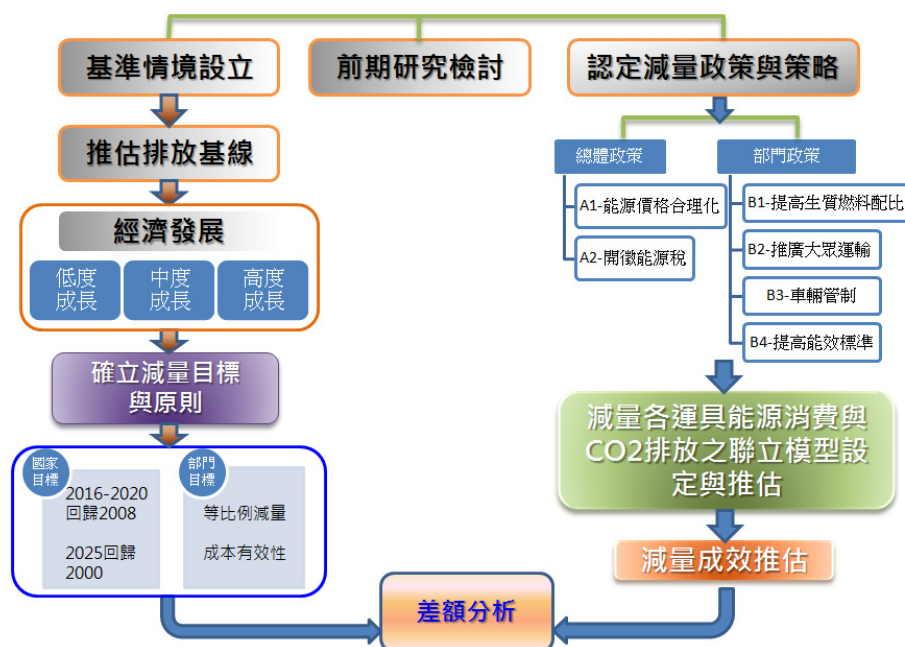


圖 9-16 節能減量績效評估方法與流程

### (1) 經濟成長狀態

首先考慮到未來經濟發展可能趨勢，本研究利用 TaiSEND 模型<sup>2</sup>推估而得之經濟高度成長、中度成長與低度成長狀態，計得未來年之人均 GDP。

TaiSEND 模型推估之高、中、低經濟成長率如圖 9-17 所示，其中低案經濟成長率以基準情境設定之，並納入再生能源與天然氣發展目標(天然氣使用量至 2020 年達 1,400 萬公噸、2025 年達 1,600 萬公噸；再生能源裝置容量於 2015 年達 4,972MW、2025 年達 8,450MW)，中案則考慮國內數項重要投資計畫所帶動之經濟成長(包括石化業投資 10,684 億元、鋼鐵業投資 1,887 億元、新

<sup>2</sup> TaiSEND 模型為經濟部能源局委託開南大學所研發之能源經濟模型，該模型為單國動態一般均衡模型，過去多用於協助能源局評估能源政策之經濟影響與減量效果，或評估在不同經建發展狀態下之能源政策效果。此處所使用之高、中、低案經濟成長率即為能源局(2009)，「研析能源永續發展對總體經濟之影響」之推估結果。

世紀第三期國家建設計畫 4 年 5000 億元等)，高案則進一步考慮愛臺 12 項建設所帶動的服務業未來高度發展與生產力提升的狀態。預估高中低案長期(2006 年至 2025 年)GDP 平均成長率將分別達到 4.21%、3.53%、2.68%。

運用上述經濟成長，及經建會預估之人口成長趨勢<sup>3</sup>，計算而得未來人均 GDP 成長趨勢如圖 9-18 所示，至 2020 年為止，高中低案人均 GDP 分別為每人 102 萬 5 千元、91 萬 5 千元、與 78 萬 6 千元，相對於 2008 年約成長 83%、63%、40%；至 2025 年為止，高中低案人均 GDP 分別為每人 124 萬 1 千元、108 萬 8 千元、92 萬 4 千元，相對 2008 年約成長 90%、73%、65%。

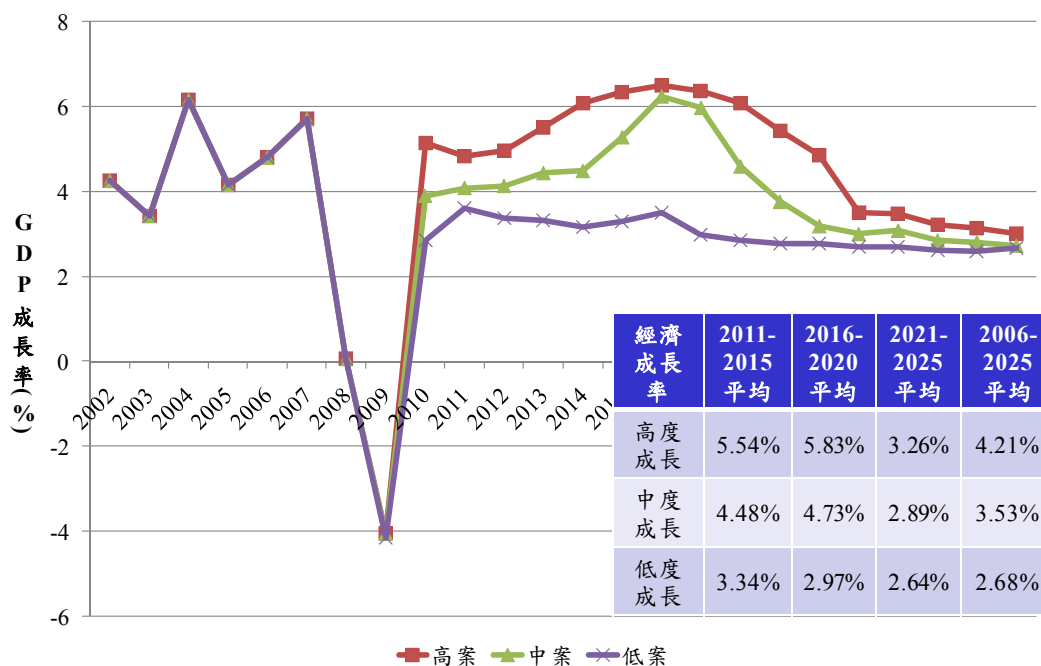


圖 9-17 高、中、低案經濟成長率

<sup>3</sup> 經建會(2008)，「中華民國臺灣 97 年至 145 年人口推計」。

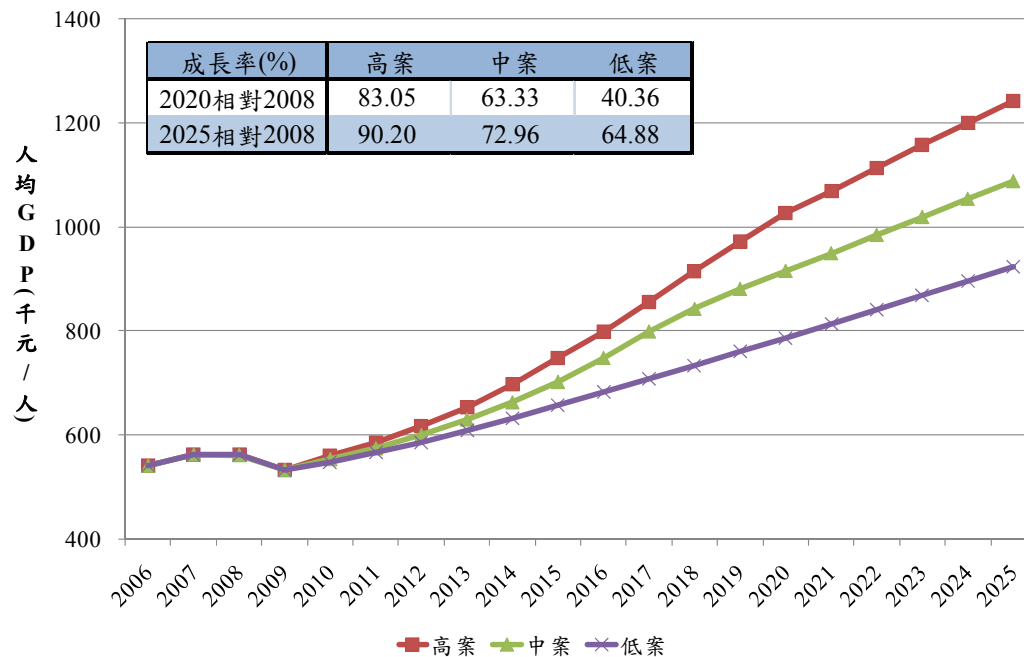


圖 9-18 高、中、低案人均 GDP

## (2)運輸部門減量目標

在高、中、低 3 種經濟發展狀態下，國家整體 CO<sub>2</sub> 排放量<sup>4</sup>將如圖 9-19 所示，此乃在未考慮任何其他非運輸部門減量措施的情況下所產生之排放量情境。假設在減量目標下，國家之排放路徑如圖 9-19 所示，自 2010 年起便著手進行減量，並維持在 2005 年排放水準上下，直至 2021 年起擴大減量幅度以便於 2025 年達成減量目標，則至 2020 年為止國家整體排放量在高中低經濟成長下分別為 426 百萬公噸、411 百萬公噸、387 百萬公噸，距離 2005 年目標 252 百萬公噸仍有 174 百萬公噸、159 百萬公噸、135 百萬公噸之減量空間；至 2025 年為止國家整體排放量將達到 512 百萬公噸、487 百萬公噸、464 百萬公噸，距離 2000 年目標 215 百萬公噸，仍有 296 百萬公噸、271 百萬公噸、249 百萬公噸之減量空間。

在上述國家減量目標下，運輸部門減量目標將分別依等比例減量與成本有效減量兩種方式計算。在等比例減量部分，首先由 TaiSEND 模型取得高中低 3 種經濟條件下之運輸部門排放量，再

<sup>4</sup> 該排放量為 TaiSEND 模型計算結果。

以運輸部門排放量與國家排放量計算運輸部門排放量所佔比重。由於各年國家排放與運輸部門排放量各有變化，故運輸部門排放量佔比不會固定於單一數值，計算結果如圖 9-20 所示。由於中案經濟成長來自於國內幾項重要投資計畫，工業擴張的結果使運輸部門排放量佔比相對於低案出現縮減現象，高案經濟成長則由服務業所帶動，因此將較中案提高運輸部門之排放佔比，尤其到 2017 年之後其佔比甚至超越低案佔比。

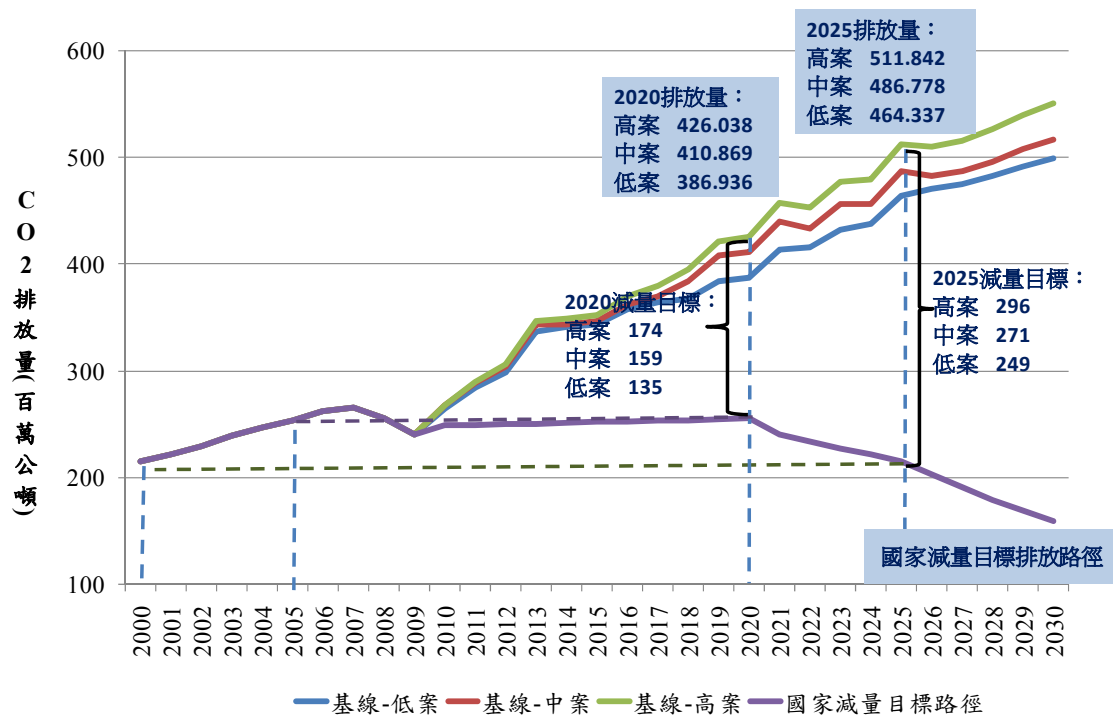


圖 9-19 國家排放量與減量目標



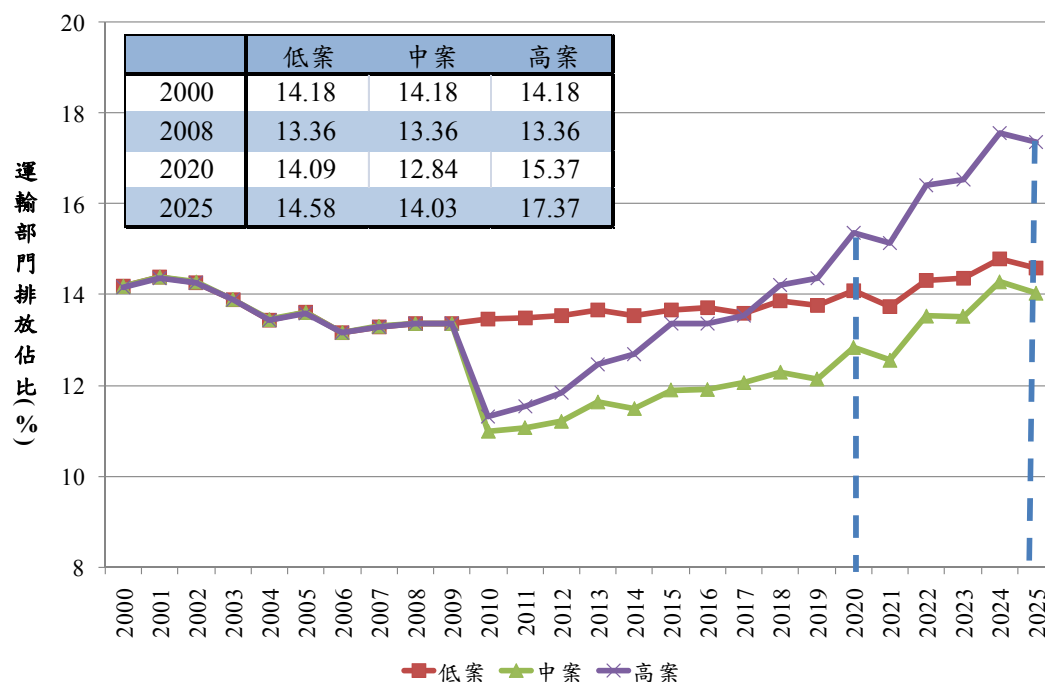
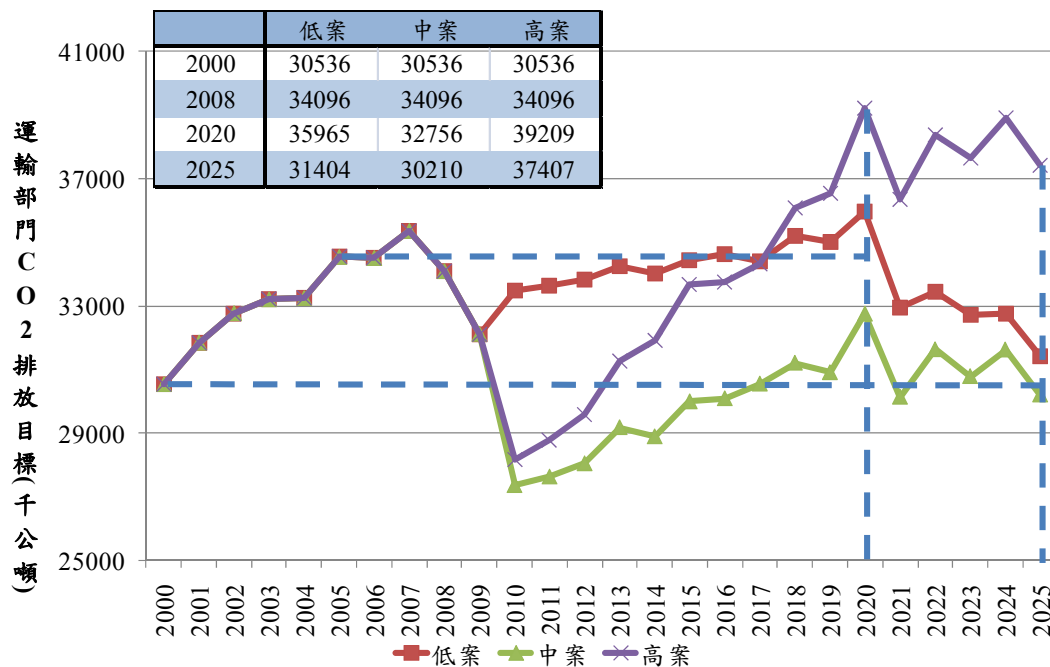
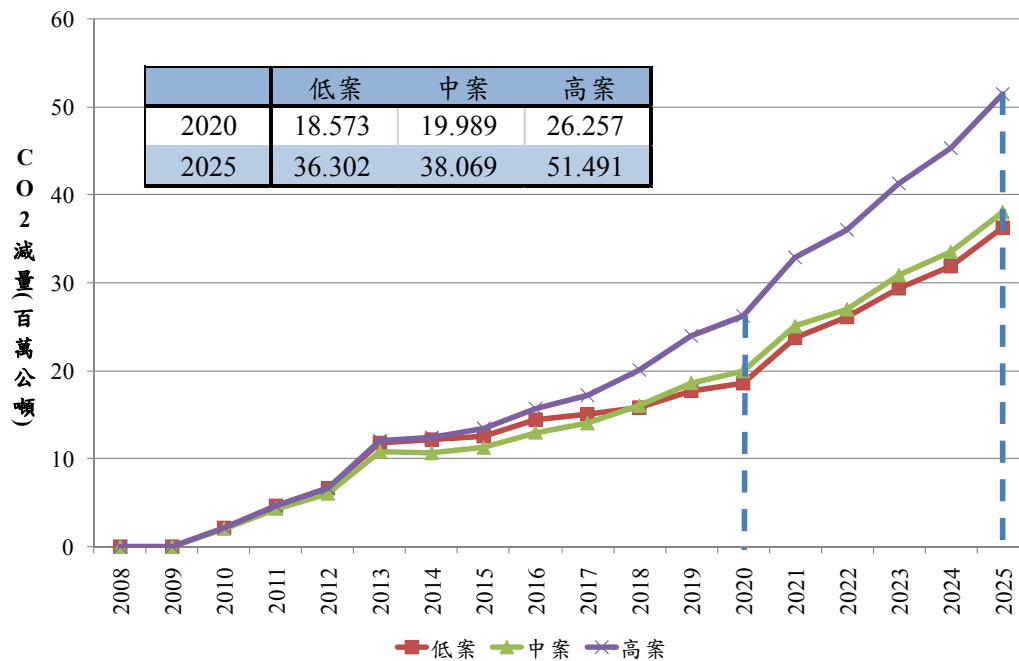


圖 9-20 運輸部門排放量佔比

以國家應減排放量目標乘上運輸部門排放佔比，可求得運輸部門減量責任如圖 9-21 所示，由於運輸部門在高案中排放佔比明顯高於中、低案，故運輸部門在高案時所應承擔之減量幅度將到達 2020 年 26 百萬公噸、2025 年 51 百萬公噸。因此將運輸部門在高、中、低案中之基線排放量扣除等比例減量下之減量潛力，可計得運輸部門在等比例減量下之排放路徑，如圖 9-22 所示，其中中案運輸部門目標排放量 2020 年已低於 2005 年水準，2025 年亦低於 2000 年水準，低案與高案則無法低於該目標。此外，在等比例減量下，2020 年以前除低案對運輸部門排放稍有抑制效果，中案與高案則仍呈現排放成長的趨勢，至 2020 年之後亦僅有低案可促使運輸部門排放縮減，中案與高案並未出現下降趨勢。





計算成本有效性減量時，係在圖 9-19 國家排放目標下，讓所有產業部門在成本最小的情況下進行減量，故透過 TaiSEND 模型之模擬結果，可整理得運輸部門在成本有效下之最適減量如圖 9-23 所示。運輸部門因在高案中邊際減量成本較低<sup>5</sup>，故最適減量幅度會高於中案與低案，且隨著服務業的擴張，高案中的運輸部門減量潛力將隨時間而加速成長。至 2025 年為止高、中、低案運輸部門應減量 68 百萬公噸、50 百萬公噸與 46 百萬公噸。

利用高、中、低案運輸部門排放量扣除上述運輸部門減量潛力，即可求得運輸部門在國家減量目標下，以成本有效性原則進行減量時高、中、低案之排放路徑如圖 9-24 所示。以圖 9-24 與圖 9-22 比較，便可明顯看出以成本有效原則進行減量，可較有效地抑制運輸部門排放，特別是中案與高案，自 2010 年起便使運輸部門排放量一路縮減，2015 年至 2020 年下降幅度雖稍見和緩，但 2021 年之後便又急遽下降。

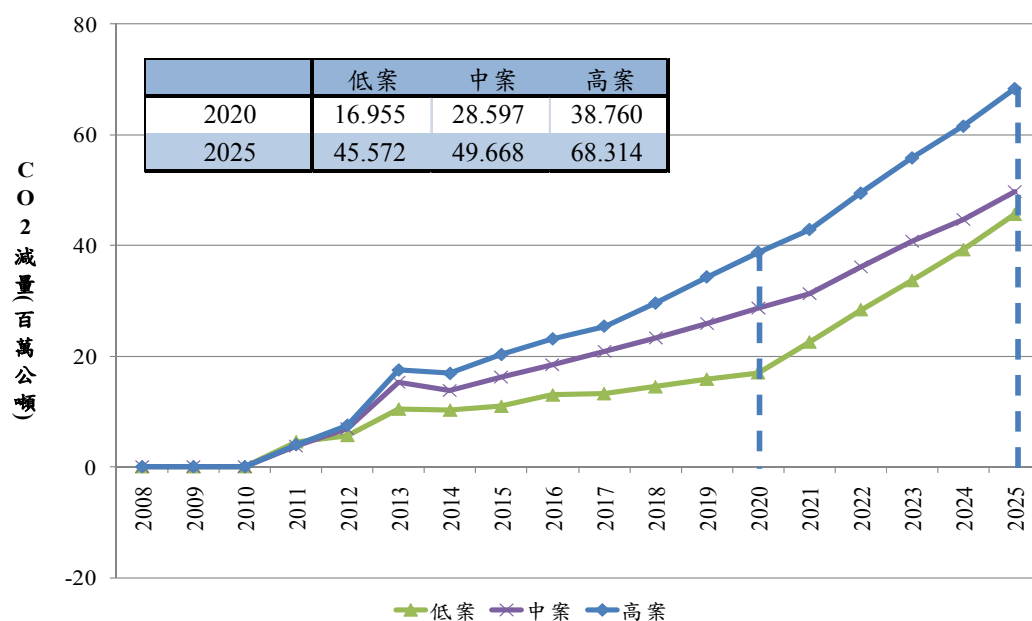


圖 9-23 成本有效減量下運輸部門減量潛力

<sup>5</sup> 邊際減量成本指 CO2 排放量每多減 1%，運輸部門 GDP 損失之變動百分比。在高案情境，假設運輸部門因為建設投資而提高生產力，因此減量之 GDP 邊際損失將較生產力未改善之中案與低案來的小。

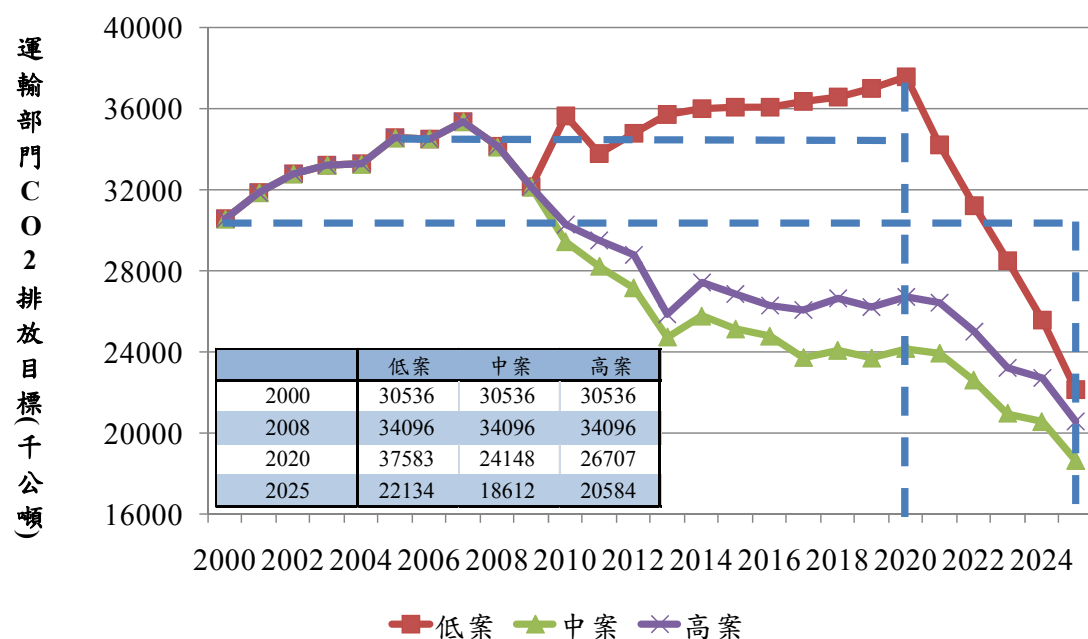
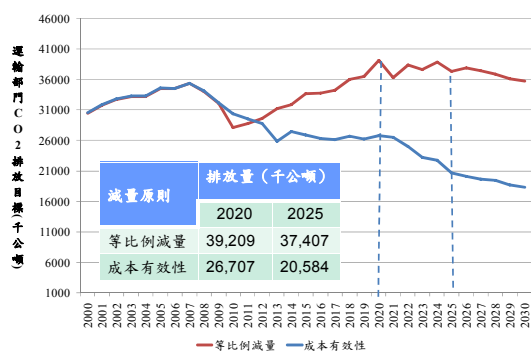
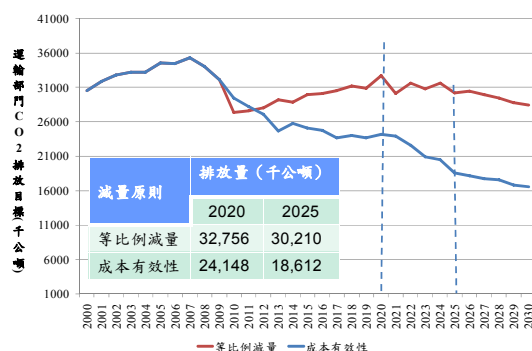


圖 9-24 成本有效減量下運輸部門排放路徑

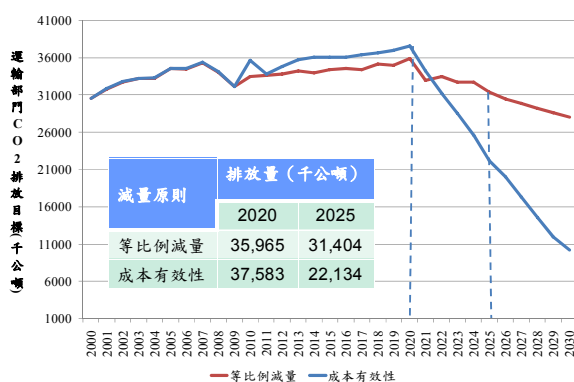
因此若將等比例減量與成本有效減量下運輸部門之排放路徑繪製如圖 9-25 相比較，便可看到隨著經濟成長且產業結構朝向服務業發展(以圖 9-25(a)與圖 9-25(b)比較)，以成本有效原則進行減量，運輸部門之排放路徑將越低，與等比例減量之排放路徑差距也越大。若經濟發展呈現遲緩，或者服務業未見明顯產業提升利基(如圖 9-25(c))，以成本有效原則進行減量非但未必能有效抑制運輸部門排放量，反而可能出現 2020 年以前目標排放量高於等比例減量之情形。



(a) 高經濟成長



(b) 中經濟成長



(c) 低經濟成長

圖 9-25 等比例減量與成本有效減量下之運輸部門排放路徑

## 9.5 小結

面對節能減碳的挑戰，運輸部門必須詳實掌握能源、經濟及環境(3E)的關聯性和互動機制，尤其是 3E 與各項節能減碳之政策工具之間的質化與量化關係。就理論來說，各運具的 3E 關聯並不複雜，但實際的運作機制則未必單純。

為能建構實證上可行，而且具有政策意涵的 3E 關聯體系，本章首先建構一個較全面的 3E 系統關聯架構，據以作為設定各類運具之 3E 聯立函數的基礎。此外，本章亦檢討前期關於節能減碳行動方案中的減量推估結果，並同時採用「由上而下」(top-down)及「由下而上」(bottom-up)的方法重新加以推估。

### 1. 關於自小客車節能減排的潛力

- (1) 自小客車之  $\text{CO}_2$  排放量的能源彈性(= 0.98)略低於公客運，適足以反映這兩類運具所用燃料的碳密集度的差異。
- (2) 不同於公客運之處，在於自小客車的能源消費不具有規模經濟，但與其運量密切相關，能源消費量的運量彈性約為 0.46，低於公客運的 0.7，這是因為：
  - ①公客運的邊際能耗量高於自小客車；
  - ②自小客車的運量配比與能耗都大於公客運。
- (3) 自小客車的能源消費量與汽油價格指數並無顯著關聯，能源消費的燃料價格彈性幾近於 0，這與公客運的情況相似。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於自小客車之能源消費量的抑制效果亦屬有限。
- (4) 在樣本期間年(1990~2008)，自小客車運量的車輛數彈性也不低(= 1.52)，雖然略低於公客運的 1.92，因此，若採行適當措施抑制自小客車之數量成長不僅能有效抑制運量，且能發揮明顯的節能減碳效果。
- (5) 自小客車運量則與人均 GDP 呈正向關聯，這與公客運的情況相反。由此可見，自小客車的運量需求將隨人均 GDP 的增加而成長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。晚近

幾年的自小客車輛數遲滯成長的現象，可歸因於人均實質 GDP 不增反減，未來經濟情勢若能好轉，自小客車的運量與能源需求，或將繼續成長。因此，在能源需求的價格偏低，而道路容量又有限的情況下，發展大眾運輸系統(尤其是軌道運輸)及總量管制，恐怕是不得不的選擇。

- (6) 自小客車運量與軌道運量(含臺鐵、高鐵、北捷及高捷的總運量)呈現顯著的負向關聯(彈性值為-0.41)，此一結果隱含：以軌道運輸替代自小客車，可望創造節能減碳的雙贏局面。

## 2. 關於計程車節能減排的潛力

- (1) 一如公客運與自小客車，計程車之  $\text{CO}_2$  排放量的能源彈性也幾近於 1。因此，未來欲使陸運的碳排放與能耗脫鉤，只有從清節能源著手，例如提高生質燃料的配比、鼓勵使用油電混合車輛、發展電動車等，都是必走的路。
- (2) 計程車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與公客運及自小客車均不相同)，因此，每當運輸部門景氣好的時候(例如需求或價格增加)，將誘發更多的計程車投入服務，從而消費更多的能源。這也是多數政府管制計程車總量的原因之一。
- (3) 計程車之能源消費的運量彈性約為 0.52，略高於自小客車的 0.46%，但低於公客運的 0.7，此一情況亦可歸因於計程車之邊際能耗量不同於自小客車與公客運之故。
- (4) 計程車的能源消費量隨時間經過而呈現減少的趨勢，不僅凸顯出自小客車在節能或能源轉換技術上的進展，同時也顯示計程車的節能績效似乎優於公客運及自小客車。
- (5) 計程車之能源消費量的汽油價格彈性為-0.69，因此，國內油價調漲對於自小客車的節能效果，明顯地優於公客運及自小客車。
- (6) 在樣本期間年(1990~2008)，計程車運量的車輛數彈性(=1.99)均較公客運及自小客車為高，因此，對計程車進行數

量成長管理可以達到具體的節能減碳效果。

- (7) 計程車運量與人均 GDP 呈正向關聯，這與自小客車相似，惟其彈性(= 5.15)明顯大於自小客車的 0.90。由此可見，未來經濟情勢若能好轉，計程車的運量與能源需求，或將繼續成長。
- (8) 軌道運輸發展對計程車雖有一定的替代效果，但在統計上並不格外顯著。因此，就計程車的節能減碳而言，能源價格合理化、總量管制、提高計程車的能效標準，應該是較有效的政策工具。

### 3.關於機車節能減排的潛力

- (1) 機車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性也近乎 1，但隨時間經過而有遞減趨勢，顯見機車燃料的碳密集度比其他運具有較為顯著的改善。未來欲使機車的碳排放與能耗脫鉤，只有進一步提升機車的能效，並轉換能源(例如發展電動車，雖然兼具市場障礙與技術障礙，但這條艱辛的路仍有必要走，而且要儘速達到目的地)。
- (2) 機車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與計程車相似，但與公客運及自小客車相左)，惟其彈性遠低計程車，因此，運輸部門景氣所誘發的邊際能耗不如計程之多，但因機車數量甚多，因運輸部門 GDP 增長所增加的能耗總量委實不容輕忽。
- (3) 機車之能源消費的運量彈性約為 0.1，遠低於其他陸運運具，這可反映機車在運量上的能源成本有效性(cost effectiveness)，也是機車增長的主要原因之一。
- (4) 機車之能源消費量的汽油價格彈性不顯著地異於 0，因此，國內油價調漲對於機車的節能效果亦屬有限。
- (5) 在樣本期間(1990~2008)，機車運量的車輛數彈性雖然都低於計程車(= 1.98)、公客運(= 1.92)、及自小客車(= 1.52)，但仍高達 1.19，因此，對機車進行總量管制還是具有明顯的節能減碳效果。

- (6) 機車運量與人均 GDP( $GDP\_PC$ )呈正向關聯，惟其彈性(= 2.37)低於計程車(= 5.15)，但仍大於自小客車的 0.90。由此可見，機車的運量需求未來仍可能隨人均 GDP 的增加而增長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。
- (7) 軌道運輸發展對機車雖有一定的替代效果，但在統計上並不格外顯著。因此，就機車的節能減碳而言，總量管制、提高機車的能效標準、發展電動機車，應該是較有效的政策工具。

#### 4. 關於公路貨運節能減排的潛力

- (1) 大貨車之  $CO_2$  排放量的能源彈性亦接近 1，且隨時間經過有遞增趨勢，相較於大貨車，小貨車雖然趨勢與之相同，但彈性相對較低，且隨時間遞增幅度較大。
- (2) 大貨車與小貨車的油耗量與  $CO_2$  排放量皆隨時間而有增加的趨勢(見表 3-8)，如何強化節能績效或轉換清潔燃料，實乃當務之急。
- (3) 由於臺鐵貨運量逐年遞減，而大貨車與小貨車貨運量呈現相反趨勢，過去臺鐵的貨運功能已部分由大、小貨運所取代，因此二者與臺鐵之替代彈性分別高達-0.86 和-1.09。
- (4) 小貨車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正相關，彈性亦相當高，相反地大貨車之能耗與運輸部門 GDP 並未存在明顯關聯。

#### 5. 關於軌道節能減排的潛力

##### (1) 臺鐵客運部分

- A. 整體而言，臺鐵客運運量雖然隨時間經過而有遞增，但隨著人均 GDP 逐年持續成長，臺鐵客運運量卻在 2000 年到達高峰後反轉下滑，在運量萎縮的同時，卻不見能耗減少，致使能源消耗量與運量呈現反向關係。
- B. 臺鐵客運之  $CO_2$  排放量的能源彈性大於 1，在能耗量與運量反向推升的情況下，排放量的增加將更為驚人。
- C. 臺鐵客運之能耗量與運輸部門 GDP 呈現顯著的正向關係，彈性甚至高於小貨車，因此未來若 GDP 持續成長，



臺鐵客運之排放量勢必成為運輸部門重要的減量對象。

D. 臺鐵客運之能耗量，對於能源價格之反應並不顯著，歸究其原因仍在於能源價格變化無法反映至臺鐵客運服務票價，使用成本相對其他運具更低。

E. 臺鐵客運運量與人均 GDP 存在顯著的負向關係，顯示隨著所得增加，民眾對於臺鐵客運之需求將下降。

## (2) 臺鐵貨運部分

A. 如 9.2.5 節所述，過去 10 多年來，臺鐵貨運運量已部分由公路貨運所取代，使臺鐵貨運運量與公路貨運呈現反向變化。

B. 而臺鐵貨運運量與人均 GDP 之間並未呈現顯著關聯，同樣的能源消耗與整個運輸部門的 GDP 亦未存在顯著相關。

C. 能源消耗與柴油價格及電價均未呈現顯著影響。

## 6. 關於國際國籍航空節能減排的潛力

(1) 明顯的季節變動，通常每年的第四季的運量都呈現衰退現象。

(2) 偶發重大事件影響，尤其是 911 恐怖攻擊事件(2001Q3)、SARS(2003Q2)、以及美國次級房貸所導致的全球金融危機(2008Q3/Q4)均造成運量萎縮，其中 911 事件及金融危機均深化了當年第四季的運量衰減，而 SARS 更造成當季(Q2)運量的巨幅減少(見圖 9-13)。

(3) 約在 2004 年以前，單位能耗之運量大多低於 2004 年之後的水平，顯見能源生產力確實有所改善(見圖 9-14)。

## 7. 關於減量策略

(1) 運輸部門應有的減量額度取決於減量原則，在等比例減量原則下，前期(2020 年之前)的減幅大於成本有效性原則下的減幅；後期(2025 年)則反之。

(2) 經濟成長大幅增加運輸部門的減量壓力，如果忽略經濟成長所增加的排放量，將高估運輸部門達成減量目標的潛力。因

此，實施其他策略（如提升系統效率、推動彈性機制、改變運具等）勢不可免。

- (3) 如欲達成既定的減量目標，不僅可行性低，經濟衝擊委實不小，未來應視實際情勢重新檢討國家目標的合理性。

# 第十章 運輸與能源模型整合架構分析

## 10.1 節能減碳評估模式

### 10.1.1 研發目的與功能

IPCC 在第 2 版及第 3 版的評估報告中，曾針對各種節能減碳影響之評估架構及方法，以及所需考量的因素與假設，做過相當詳盡的探討。大體而言，節能減碳的影響評估需要在一個有系統的分析架構下，才能夠有效的評估出合理的成本及效益。目前國際上所採用的評估模型多是建置在以貨幣價值衡量成本效益及一些相關指標的架構之下，而事實上，如果可以納入衡量實體(如用電量、就業量、人體健康...等)影響的機制，或許較為理想。此外，建置適當評估模型的另一挑戰是如何去發展出一個具有一致性且又涵蓋面完整的架構，以適切的評估各種可能的直接、間接影響。至於在評估時所牽涉到的方法邏輯及假設方面，則主要包括基線(baseline)的定義、政策衍生成本及效益的定義、所能考量及處理各種方案的彈性(flexibility)、是否允許納入無悔策略、折現率的設定、自發性技術變動率的設定，以及各種稅收是否有回饋的假設等。

對一個完整而又合宜的節能減碳影響評估模型而言，需要考量的面向很多：(1)除了要能評估對經濟發展的影響以外，也要能夠衡量對公平性(equity)及永續性(sustainability)等面向的影響。(2)影響程度的評估，通常亦需相對於一個基準，此即所謂的「基線」，同時要能夠合理地反映各種正面及負面的效應。(3)要具有足夠的彈性，以納入各種可能的方案；當然，基於分析模型都會有必要設定的假設條件，這些假設也需要合理並盡量符合節能減碳的實際情況。

現有的評估模型中，通常是以自發性能源效率提升(autonomous energy efficiency improvement, AEEI)來描述技術變動的狀況，而 AEEI 反映的是在能源價格不變下，能源密集度的變化情況。AEEI 的設定不同通常會顯著的影響基線的估計結果，當然也就會因此影響到減量成本的估計。很顯然，減量成本與 AEEI 是呈反比的關係，意即在能源及各種相對價格不變下，AEEI 愈高，減量成本將會愈低。

至於其他應予考量的因素，尚包括政府資金(public fund)的邊際成本、

一般性的資本成本，及各種衍生的副作用。此外，一些減量措施所產生的稅收(如碳稅或能源稅)是否有回饋或循環利用，將會顯著影響減量成本的估計。基本上，如果有回饋及循環再利用的話，將可以降低減量成本。以能源稅為例，其結果應該還是取決於稅制系統，不同的系統設計將會有不同的影響效果。除了上述問題之外，減量目標及其達成時程的設定也會是一個關鍵因素，一次到位或是分階段減量，通常也會衍生不同的減量成本，而評估模型的建置是否容許此一情況的考量，亦將會影響到評估的結果。

傳統的成本效益分析，通常不會考量外部成本(external cost)及外部效益(external benefit)，更少考量公平性及永續性的問題，當然，更遑論其間的複雜互動關係了。如前所述，對節能減碳的影響評估而言，這些互動關係的考量有其必要性，因為，經濟體系中之減緩(mitigation)與調適(adaptation)二者之間互動頻繁也關係密切。

任何一項節能減碳的影響評估，通常都需要先確立所想評估的界線(或層級)，到底是針對一種運具、一項計畫(如經建計畫)、一個產業部門，或是一整個經濟體系進行評估，在建置評估模型前時有必要先加以確立，以方便掌握建置時所應投入的資源，也可以有效掌握每種評估情況的特性以及適合用於分析的模型。對計畫而言，傳統的成本效益分析有時候就足以應付，有時候則需要用到生命週期分析(life cycle analysis, LCA)。部門的情況則適用部分均衡模型(partial equilibrium models)，或是特定的「部門模型」(sectoral model)。至於對整個經濟體系的分析，大部分是仰賴一般均衡模型(general equilibrium models)，或是整合評估模型(integrated assessment models)。

在確立了分析的層級之後，接著要仔細考量基線推估的相關假設或封閉準則(closure)的設定問題，換言之，必須針對議題的性質與評估目的，而選定適當的內生與外生變數。此外，未來的技術變動應該做何種設定、是否納入多種溫室氣體、應不應該考量其他可以減少溫室氣體排放的措施(如碳捕捉與封存(carbon capture and sequestration, CCS)、整體煤氣化複循環(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)發電系統等)，以及是否考量不確定性等，都是在模型建置時就需要先審慎思考的工作，因為這些條件的設定在多數情況下，將會顯著影響到評估的結果。就以未來的技術變動為例，大多數模型相關的設定都是與 AEEI 有關，然而 AEEI 到底會如何演變，應該如何設定其變化的路徑，以及是否應該設定成與能源技術之學習效果

(learning effect)產生直接的連結關係等，都是值得深入探討的問題。

節能減碳可以是廠商的責任、負擔與機會，也可以是整個產業部門的生存、發展與競爭力的問題，更可以是一個國家或經濟體發展、公平、永續與競爭力的重要議題。因此，在建置相關的分析架構時，必須要考量到個體面的因素，也要考量到總體面的重要元素，更要考量到個體面應該如何與總體面連結在一起。

對總體面的分析來說，除了之前提到的經濟發展、公平性與永續性的互動以外，更具體一點的是要探討到所得分配、就業、物價及資源(資金)配置的問題。除此之外，各種可能的外溢效果(spillover effect)也要儘量納入考量。通常，比較會考量到的外溢效果來源不外乎國際貿易與技術移轉，而外溢效果通常也會影響到一國之產業競爭力與資源的配置。

節能減碳影響評估模型最核心的部分在於明確的理論基礎，而且可以產出量化(quantitative)結果。由於評估的內容中牽涉到經濟發展及其他的經濟與技術問題，因此，此一核心模型有相當大的部分是經濟模型。

## 10.1.2 國內、外能源模型類別與特性

### 1. 國外能源模型

在國外文獻中，整合能源、經濟與環境之 3E 體系與技術間之交互作用關係的模型，大致分為「由上而下」(top-down)與「由下而上」(bottom-up)兩類<sup>[10.1.1]</sup>，其中「由下而上」模型大都能夠詳細描繪能源使用技術，其中的技術通常是取自生命週期成本(life cycle costs)與熱力效率等工程資料，並設定各種線型活動(linear activity)，以做為刻劃模型的重點。因此，此等模型可用以評估給定某一溫室氣體排放限制下，滿足最終能源需求時的最小成本技術組合，應用上比較適合規劃性問題的求解。然而，此類模型通常將經濟成長、產業結構、人口成長及價格等重要變數視為外生，因此不但無法評估因某一技術被廣泛使用後的價格效果(price effect)，也容易受到外生變數之設定內容的影響。反之，「由上而下」模型係使用平滑連續之總合生產函數(aggregate production function)來刻劃技術(例如電力生產可視為使用資本、勞動、燃料投入的單一生產部門)，隱含投入間之替代為連續性，這類方法較能反映市場與經濟體系全面性(economy-wide)的回饋與交互作用，卻難以刻劃「由下而上」模型中的許多技術細節。

以國際頗負盛名的「能源模型建構論壇」(Energy Modeling Forum, EMF)為例，長期以來一直針對節能減碳的議題，協調國際間重要模型進行整合性的評估研究和比較工作<sup>1</sup>。EMF 成立迄今，已針對氣候及能源研究領域中 24 個重點主題進行深入探討(見表 10-1)，參與研究之成員包括政府部門官員、產業代表、具國際公信力之氣候能源模型研究團隊、學有專精之經濟、工程、能源學者等。

EMF19 之重點研究主題為「技術與全球氣候變遷政策」，其目的在說明如何於氣候政策分析模型中，刻劃現有及未來可能發展的能源技術與技術改變。「能源經濟」(Energy Economics)第 26 期第 4 卷彙整了頗具國際公信力的 13 個 EMF 成員模型，針對相同的議題與模擬情境分析，並比較模型結果之異同。這 13 個模型包括澳洲農業與資源經濟局(ABARE)的全球貿易環境模型(Global Trade and Environmental Model, GTEM)、亞洲整合模型(Asia Integrated Model, AIM)、產業成長評估模型(All Modular Industry Growth Assessment, AMIGA)、氣候綱要之不確定性、協商與分配模型(Climate Framework for Uncertainty, Negotiation, and Distribution, FUND)、地區能源模型(TARGETS-IMAGE Energy Regional model, TIMER)、環境保護之全球關聯評估模型(Global Relationship Assessment to Protect the Environment, GRAPE)、多地區資源與產業配置方法模型(Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation, MARIA-8)、歐洲市場配置模型(MARKet Allocation Model, MARKAL-Europea)、節能減碳政策之地區與全球效果評估模型(Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reductions Policies, MERGE 4.2)、能源供給之替代策略及環境影響模型(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General Environmental Impact, MESSAGE)、迷你氣候評估模型(Mini-Climate Assessment Model, MiniCAM)、麻省理工學院的污染預測與政策分析模型(MIT - Emissions Projection and Policy Analysis Model, EPPA)、第 2 代模型(Second Generation Model, SGM)。

---

<sup>1</sup> 美國史丹佛大學能源模型建構論壇設立之主要目的有三，包括：(1)彙整廣大範疇之模型分析與結果，提供政府政策制定之參考依據；(2)了解現有模型與方法之長處、短處與差別，並對不同模型模擬結果之異同提出解釋；(3)確認未來研究發展之重點領域。

表 10-1 EMF 研究領域與主題

EMF 領域	研究主題	EMF 領域	研究主題
EMF 0	核能與替代能源之研究	EMF 12	碳排放減量
EMF 1	能源與經濟體系	EMF 13	能源效率
EMF 2	過渡時期之煤炭	EMF 14	氣候變遷之整合評估
EMF 3	電力負載預測	EMF 15	電力市場
EMF 4	能源需求彈性	EMF 16	後京都時期氣候變遷之整合評估
EMF 5	美國原油與煤氣供給	EMF 17	改組之電力市場的價格與污染排放
EMF 6	世界原油	EMF 18	氣候政策之貿易議題
EMF 7	能源危機之總體經濟衝擊	EMF 19	技術與全球氣候變遷政策
EMF 8	產業能源需求	EMF 20	天然氣、燃料多樣性與北美能源市場
EMF 9	北美天然氣	EMF 21	多種氣體減量與氣候控制
EMF 10	電力市場與規劃	EMF 22	長期變遷下的氣候政策情境
EMF 11	國際原油	EMF 23	世界天然氣市場與貿易

資料來源：本研究整理。

在氣候政策分析模型中，控制未來溫室氣體排放的關鍵在於改用低碳或無碳技術的技術進步速度，因此，能源技術的刻劃在最近的模型研發中頗受重視。上述模型中所包含的技術種類涵蓋：(1)能源供給技術，包括太陽能、風力、核能、氫能、生質能等；(2)能源需求技術；(3)碳捕捉與固定技術；(4)應用生物學之碳捕捉與封存(carbon capture and sequestration, CCS)技術。

模型中之生產函數之設定大致可以分為兩類，第 1 類為「巢狀」(nested)生產函數，此種設定使用平滑連續之總合生產函數，其特色在於允許價格改變時之要素替代行為，如 GTEM、SGM 與 EPPA 等均屬之。相對的，第 2 類「製程分析」(process analysis)方法則刻劃不連續之技術，模型中包含多種實際或預期可供使用之生產技術，每種技術均有固定的投入組合，並可用一個生產函數表示，當價格改變時，具成本有效性(cost effectiveness)之生產技術會被選取做為生產用途，MARKAL-Europe 即為典型代表。此外，有些模型(如 MERGE、GRAPE)綜合上述兩種設定之特點，在能源部門使用「製程分析」方法，其他部門則使用「巢狀」生產函數。

就參與 EMF 所組成之工作群的眾多模型而言，依模型結構與政策分析範圍的不同可分為 4 種類型，即：總合型經濟模型(aggregated economic models)、分項型總體經濟模型(disaggregated macroeconomic models)、分項型經濟模型(disaggregated economic models)，和整合評估模型(integrated assessment models)等 4 大類，茲概述如下：

### (1) 總合型經濟模型

包含一個詳細建構的能源部門和描述一部分經濟體系所組成的總體模型。該模型比較重視產生能源的可用技術，並依此來分析使用不同能源技術所產生之工程結果；GDP 則設定為資本、勞動和能源等多種初級要素的生產函數。因此，總合經濟模型比較適合評估特定能源技術創新所造成的效果，其主要限制則在於忽視經濟體系其他部門之間的交互作用。在 EMF 中屬於此一類模型有：CETA<sup>[10.1.2]</sup>、MERGE<sup>[10.1.3]</sup>、MiniCAM<sup>[10.1.4],[10.1.5]</sup>、DICE/RICE<sup>[10.1.6],[10.1.7],[10.1.8]</sup>、GRAPE<sup>[10.1.9]</sup>、以及 FUND<sup>[10.1.10]</sup>等。

### (2) 分項型總體經濟模型

此一類型模型對於總體經濟各部門之間的連結有詳盡的說明，主要特色在於不假設經濟體系處於充分就業和均衡狀態，並允許調整成本 (adjustment cost) 的存在；但在這種限制之下，卻只適合進行短期或中期的分析<sup>[10.1.11]</sup>。在 EMF 中，Oxford model<sup>[10.1.12]</sup>即屬此類模型。

### (3) 分項型經濟模型

此類模型以建構完整經濟體系之 CGE 模型為主幹，把焦點置放在經濟個體之間的交互作用，允許生產和消費之間的互動、產業之間的交互作用，以及國際貿易和投資的探討，因此可就能源政策、貿易政策、產業政策、節能減碳政策對全球或不同地區間之產業經濟影響，進行詳細的評估。在 EMF 中屬於此類模型者有 AIM<sup>[10.1.13],[10.1.14],[10.1.15],[10.1.16]</sup>、GTEM<sup>[10.1.17]</sup>、MIT-EPPA<sup>[10.1.18]</sup>、WorldScan<sup>[10.1.19]</sup>、MS-MRT<sup>[10.1.20]</sup>、G-Cubed<sup>[10.1.21]</sup>等。

此類模型通常兼顧了能源模型和總體經濟模型的整合，但是較少著重於金融與財務層面的問題，故為當前亟待突破的研發重點之一。上述的 G-Cubed 合併總體經濟的相關體系，具有金融市場的特徵、國際資本流量、和以跨期最佳化(intertemporal optimization)假設下所決定的儲蓄和投資，還附加上名目僵固性假設等特色；AIM、MS-MRT 和 GTEM 則包含了詳細的能源部門描述，其中 GTEM 之總體經濟特徵係以國際資本流量和已確定的



儲蓄為代表。

#### (4) 整合評估模型

這類模型企圖整合多種學科的相關資訊，就所關心的領域詳盡刻劃，但對其他領域則予以簡化，主要目的係為分析氣候變遷對大氣與海洋的影響、溫室氣體排放對社經層面的衝擊、氣候變遷對人類活動和生態系統的影響，以及潛在性的政策反應(如能源政策)等課題。自 1990 年以來，這領域的研究成長快速，因其有助於不同學科領域(特別是在社會經濟學和生物物理學方面)之間的瞭解、連結和回饋(feedback)。目前已有一些模型具有整合評價模型的雛形，但一個完整之整合評估模型的建構極為困難，是未來仍待努力研發的方向。

適合用於節能減碳議題之經濟模型，大致上有投入產出分析(input-output analysis)模型、可計算一般均衡(computable general equilibrium, CGE)模型、能源動態最適化(dynamic energy optimization)模型、整合能源系統模擬(integrated energy system simulation)模型、部分均衡預測(partial equilibrium forecasting)模型等(詳如圖 10-1 所示)。其中投入產出及 CGE 模型亦可歸類為「由上而下」模型，而其他幾個模型則可歸類為「由下而上」模型。根據 IPCC 所出版的報告顯示，CGE 模型實為各國用以評估節能減碳政策的最重要工具之一。

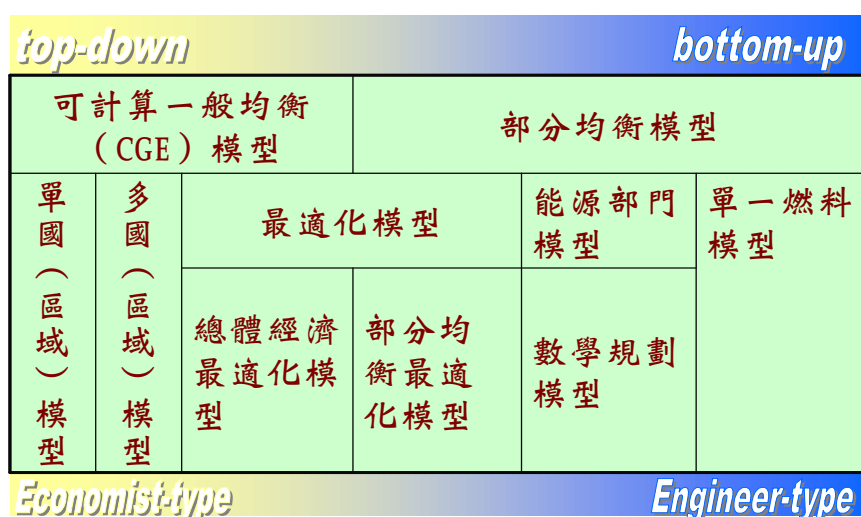


圖 10-1 能源模型的分類體系

上述兩類模型各具特色，其間的差異主要在各種技術(包含能源技術)的設定及呈現方式。至於到底應該採用哪一種類的模型進行相關的評估，國際間並沒有定論，不過，由許多國家逐漸傾向整合二者，如此不但兼具二類模型的優點，更可全面地考量各種可能的互動及影響，這將是掌握準確成本及效益估計的主流思考。

## 2. 國內能源模型

目前國內立即可用的與溫室氣體減量策略之評估模型不外乎是：中研院梁啟源教授的 DGEMT 模型、中華經濟研究院的 EnFORE 模型、工研院綠能所與核能研究所皆有發展的 MARKAL-Macro、清華大學永續發展研究室的 TAIGEM-D、TAIGEM-III、GTEM-Taiwan、TaiSEND 等模型、以及若干涵蓋我國在內的外國模型，例如 GTAP-E、AIM 等。此外，亦可考慮建構傳統的投入產出模型、系統動態模型(或系統動力學模型)、經濟計量模型等。茲將當前國內模型比較彙整如表 10-2 所示。

## 10.2 整合評估模式

### 10.2.1 整合評估模式研發目的與定義

整合評估(integrated assessment)在協助決策者進行決策的過程中，並不具有明確的、單一的目的，但原則上都希望能夠分析研擬控制氣候變遷的政策、要在同一個架構中由多種層面切入氣候變遷議題、並且要將氣候變遷造成人類必須面對的環境問題量化呈現。

以政策評估動機而言，整合評估模型可區分為政策評價模型(policy evaluation models)與政策最適化模型(policy optimization models)，政策評價模型以分析某特定氣候政策所產生的衝擊或影響為主要目的，政策最適化模型則在特定目標下，尋求眾多政策選項中可達成目標之最佳方案，而所謂政策目標可能是物理性，如 CO<sub>2</sub> 排放量或大氣 CO<sub>2</sub> 濃度等，也可能是經濟性，如在某環境目標下尋找成本最小之決策，通常在成本有效的架構下亦可界定最適當的目標訂定方式。

因此 IPCC 將整合評估定義為「為了尋求政策改革與決策方向，而囊括多種學科領域的分析方法<sup>[10.2.1]</sup>」。由於以政策評估與建議為導向，氣候變遷議題的整合評估大多以量化模型為發展重點，再輔以專家小組機制以導正數

量模型與實務面之差距，並形成跨組連結協調機制以促進模組間之充分溝通與一致性評估。

表 10-2 TaiSEND 與 MARKAL、EnFORE、及 TAIGEM-III 的比較

比較項目	MARKAL	EnFORE	TAIGEM-III	TaiSEND
方法論	屬於 Bottom-up 的數學規劃模型。	以時間序列預測為主，同時以包裹方式外掛其他類型模型，但彼此關聯性及一致性薄弱。	屬於 Top-down 的 CGE 模型，同時融入具有 Bottom-up 特色的技術配套(technology bundle)。	與 TAIGEM 相似，但對能源技術的刻劃更為細緻。
主要功能	適合做為「能源供給成本最小化」之能源規劃，對於新能源及再生能源的技術的掌握較為周延。	適合用來預測能源需求的變動，對於再生能源的預測能力則不足。	可以執行歷史模擬、結構模擬、政策模擬、以及預測，但目前尚未納入再生能源。	與 TAIGEM 相似，但對於再生能源及新能源的處理能力較強。
永續性評估能力	可藉 MARKAL-Macro 進行能源政策經濟影響評估，但經濟模型結構簡單，無法充分掌握經濟體系全貌，評估的項目也有限。	包含一組與預測模型無關的計量模型，可進行簡單的經濟評估，但模型陳舊，可評估之變數相當有限，也無法進行各部門影響評估和部門間相互比較。	考慮 160 個部門和 170 種產品(包括 10 種能源產品)，同時可視需要彈性調整部門數，或進行部門的合併和歸類。	評估的項目與 TAIGEM 相似，但部門數較少，不過，TaiSEND 以能源部門的產品及能源服務為模型建構核心，對於能源部門的評估精準度較強。
動態機制	缺乏經濟體系成長的動態機制，各種變數的動態過程及預測，必須仰賴外生設定(例如 GDP、人口、能源價格的成長率)。	計量模型以自我回歸(autoregression)為基礎，沒有考慮經濟體系自發成長的動態機制。時間序列模型也欠缺相同的機制。	具有資本累積的動態機制，但技術創新、要素生產力、以及各種替代彈性等參數的資料需求龐大。	與 TAIGEM 相似，但對各種能源技術資本累積機制，有較為周延的設計，同時兼顧資本實物折舊、部門間投資、以及部門內投資決策。
對於失業問題的分析能力	無此功能	無此功能	無此功能，但可分析就業量的變動	同時可以分析失業與就業的變動
能源價格及 GDP 成長率的分析能力	無此功能	可利用時間序列模型預測 GDP 及能源價格。	可以外生設定，亦可內生求解。	與 TAIGEM 相同。
新能源及再生能源	有詳細的技術刻劃，惟其成本與投資都外生設定。	欠缺新能源及再生能源的預測和分析能力。	現階段尚未納入模型中。	詳細的技術刻劃，對於技術的淘汰創新及選擇，都具有學理基礎，且與新古典經濟理論相結合。

資料來源：本研究整理。

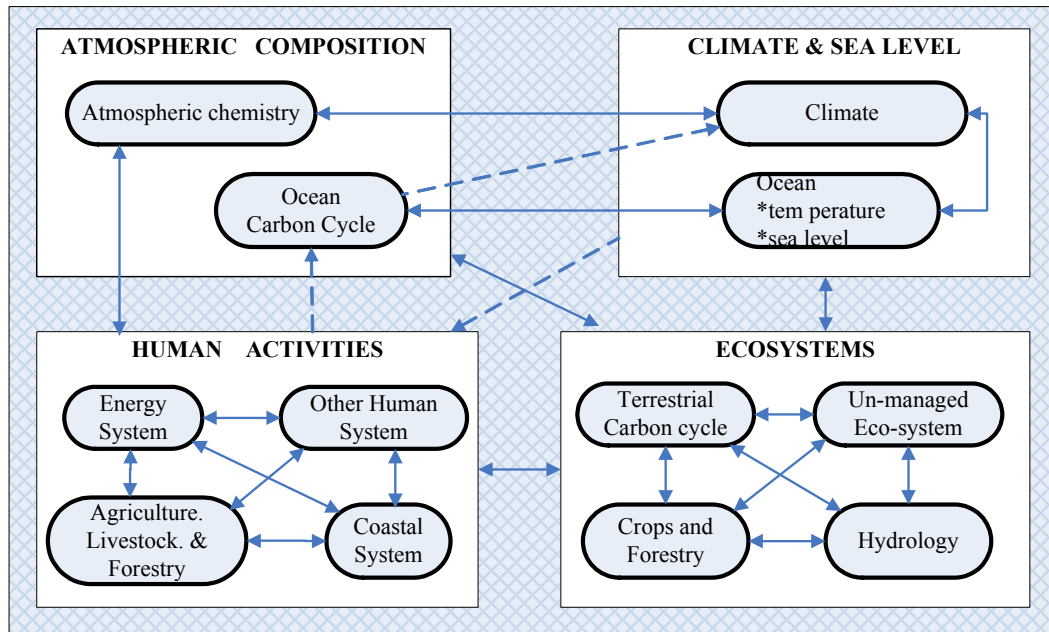
整合評估架構所應含納之領域範圍始終沒有一致的看法，此與整合評估目的、評估層級，以及支援評估計畫之資源多寡有關。IPCC 建議只要納入氣候-經濟議題中兩類以上之方法、學科、或領域便可稱為整合評估模型。Kolstad 則將範圍縮小至量化模型，認為應同時考量人類活動與大氣變化[10.2.1]。Yohannes et al.則分別解釋整合(integration)、評估(assessment)、與模型(modeling)之定義，認為所謂「整合」應釐清人類活動至大氣變化間之因果關聯，所以範圍可能包含人口發展、文化特性、社會經濟因素、生物地球化學、大氣化學等影響溫室氣體排放之因素，以及排放對全球與地區性環境、人類健康、與福利之衝擊；「評估」則定義為將不同領域研究成果之知識與資訊以數據方式提供給決策者參考，以瞭解可能的行動或策略所產生的衝擊；「模型」則定義為組織評估資訊所使用之分析架構或工具[10.2.2]。

一般而言，國際間多數的整合評估模型屬跨國或國家層級的研究計畫，其研究目的與範圍十分廣泛，此類大規模的整合評估模型所投入的研發時間與資源較為龐大，Schneider and Lane 將 IPCC 概念下的整合評估模式繪製如圖 10-2，氣候變遷議題所關心的完整架構，大致可分為大氣組成與化學成分、氣候變化與海洋條件、生態系統，以及人類活動等層面，有些系統彼此間相互影響，有些系統則為單向效果。

對運輸部門而言，關心的議題大多聚焦於國內氣候變遷政策對運輸部門之影響、國內經濟活動對運輸服務需求之影響、在特定的排放目標下運輸部門可採行或成本有效的策略、在給定排放目標與經濟條件下運輸部門本身可進行的減量或調適策略等層面，因此建構運輸部門的整合評估模型，勢必須針對上述目的仔細考慮整合模組涵蓋之領域與範圍。

## 10.2.2 整合評估模式類別與特性

目前國際上主要的整合評估模型，包括有日本研發之 AIM 模型、DICE 模型、IIASA 模型、IMAGE 模型、MERGE 模型、MiniCAM 模型、LEAP 模型，以及澳洲 ABARE 最近發展的 GIAM 模型等，茲將各模型政策分析類別、建構目的、探討重點、涵蓋子模組內容，以及研發單位彙整於表 10-3。



資料來源：Schneider and Lane <sup>[10.2.3]</sup>。

圖 10-2 氣候變遷整合評估模型之一般性架構

這些跨國的大型模型大多以全球與大氣變化角度建構模式，因此在子模組所橫跨之領域範圍較寬廣，各子模組所需投入資源亦較龐大，但各子模組個別發展則因結合領域內專家而顯得十分成熟且完整。在此彙整這些整合模型的目的，係希望藉由這些模型的整合經驗，瞭解欲將不同領域或層面的分析架構進行整合時，所應思考的方向以及可能產生的問題，因此 10.2.3 節將以其中幾個整合評估模型為例，說明其運作方式。

表 10-3 國際主要整合評估模型

模型	類型	探討重點	特色	研發單位/文獻
AIM (Asia-Pacific Integrated Model)	大規模的政策評估模型	以亞太地區為分析對象，以評估減緩氣候變遷政策選項之衝擊主要任務。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 囊括中國、印度、韓國、印尼、泰國、馬來西亞、越南、日本等國。</li> <li>➢ 對技術有非常詳細的描述。</li> <li>➢ 使用詳盡的地理資訊系統以呈現地區性及全球性的衝擊效果。</li> <li>➢ 具有全球模型以分析國際經貿關係與與氣候衝擊之關係。</li> <li>➢ 具有多個模型整合架構，例如經濟/環境模組、top-down/bottom-up 模組、中/長期大氣模組、國家/地區模組等。</li> <li>➢ 近來已發展出其他環境議題分析工具，如空氣污染控制、水資源管理、土地使用管理、鼓勵環境友善產業發展。</li> </ul>	National Institute for Environmental Studies, Japan [10.1.1.13],[10.1.1.14],[10.1.15],[10.1.16]
DICE (Dynamic Integrated Climate Economy Model)	政策最適化模型	關注經濟成長、CO <sub>2</sub> 排放、碳循環、氣候變遷、氣候災害、與氣候政策。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 模型整合經濟、生態、與地球科學領域之研究。在經濟面採用經濟成長理論，認為投資、教育與技術進步等因素為推動經濟成長的重要因素，為了將氣候系統納入，將大氣與環境條件視為一種自然資本，減量雖然造成今日的消費下降，卻可能透過資本累積帶來未來的消費成長。</li> <li>➢ 高度加總的全球模型 DICE，與細分地區的 RICE(Regional Integrated Model of Climate and the Economy)模型</li> </ul>	Nordhaus [10.1.7], [10.1.8]
IIASA (International Institute for Applied System Analysis)	大規模政策評估模型	長期致力於發展 3E 模型，並擬具多種分析情境。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 由於 IIASA 發展的模型體系相當龐大，多年來在情境設定(Scenario Generator, SG)、能源供給決策(Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact, MESSAGE)、總體經濟(Macroeconomic model, MACRO)、大氣衝擊(Climate impact model, MAGICC)、能源研發策略(Energy Research and Investment Strategy model, ERIC)、能源技術資料(energy technology database, CO<sub>2</sub>DB)、減量政策評估(A Model for Evaluating the Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies, MERGE)、與能源技術研發整合評估系統(Integrating System for Priority Assessment, ISPA)等層面模型都有前瞻而完整的發展。</li> </ul>	International Institute for Applied System Analysis

表 10-3 國際主要整合評估模型(續)

模型	類型	探討重點	特色	研發單位/文獻
IMAGE2.4 (Integrated to Model Assess the Greenhouse Effect)	大規模政策評估模型	在生態-環境架構上模擬人類活動下之環境狀態。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 囊括社會、生物圈、與大氣系統間之交互影響，子系統包括能源供給系統 (TIMER)、碳、氮循環系統、大氣海洋系統等。</li> <li>➢ 分析區域共計 24 地區，利用 1765-2000 年資料估算碳循環與大氣系統，其中 1970-2000 資料用以校準能源系統 (TIMER model) 與農業系統，校準後的 IMAGE 便可用以模擬 1970-2050 年之氣候情境。</li> <li>➢ TIMER 模型為能源供給子模型，由於此子模型對於能源技術、發電技術、再生能源技術之掌握相當詳實，因此只要給定 GDP、家計消費、產業附加價值等資訊便可計算初、次級能源之部門與區域消費，以及排放量。</li> <li>➢ 模式中並不包含經濟子模型，故總體經濟資訊直接採用其他研究結果，人口預測在 2.4 版中已可自行推估，並可模擬人口變化的影響。</li> </ul>	Netherlands Environmental Assessment Agency
MERGE (Model for Evaluating Regional & Global Effects of GHG Reduction Policies)	政策最適化模型	著重於推估區域與全球溫室氣體減量之影響。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 考慮議題包括國內與國際經濟活動、能源相關之溫室氣體排放、非能源相關之溫室氣體排放、全球氣候變遷導致之經濟與非經濟面之災害。</li> <li>➢ 在每一個單國經濟子模型中，採用 Ramsey-Solow 經濟成長模型，以評量長期選擇問題。</li> <li>➢ 由價格驅動的 top-down 生產函數可以求導出對資本、勞動與能源之需求變化。但能源相關之排放量則由 bottom-up 模型產出，可藉重其詳細的能源使用技術資料與設定，推估在最適當的技術配置下之能源需求與排放量，最終依據全球排放量轉換推算全球溫室氣體濃度，以評估對大氣溫度之衝擊。</li> </ul>	Manne <sup>[10.1.3]</sup>
MiniCAM (Mini Global Change Assessment Model)	大規模政策評估模型	著重人類活動、能源、農業、生態體系與氣候之關聯。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 小型可快速求解的長期部分均衡模型。</li> <li>➢ 涵蓋大氣組成分析系統 (SCENGEN)、氣候與海洋系統 (MAGICC)、人類行為系統 (能源子模型 ERB 與農業土地利用模型 AgLU)、生態系統等子模型。</li> <li>➢ 分析範圍涵蓋 14 個國家地區，屬部分均衡模型。</li> </ul>	Joint Global Change Research Institute, Pacific Northwest Laboratory <sup>[10.1.4],[10.1.5]</sup>

表 10-3 國際主要整合評估模型(續)

模型	類型	探討重點	特色	研發單位/文獻
LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System)	策略性 政策評 估模型	主要探討經濟 體系中各部門 之能源消費、生 產與資源耗竭 狀態。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 模型運用較為彈性，在方法上可處理 bottom-up 模型，也可形成 top-down 總體經濟模型。另外目前已發展運輸規劃模式與發電系統規劃模式。</li> <li>➤ 具有方便有效的視窗化操作介面。</li> </ul>	Stockholm Environment Institute <sup>[10.2.4]</sup>
GIAM (Global Integrated Assessment Model)	政策評 估模型	主要探討氣候 變遷政策之成 本與效益。	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 屬初步發展階段。</li> <li>➤ 目前僅整合經濟模組 GTEM 與大氣模組 MK3L。GTEM 為 ABARE 所研發之長期全球貿易與環境模型，屬多區域多部門之一般均衡模型，目前處理 28 類商品、4 類原始要素、6 種溫室氣體。將 GTEM 計算而得之排放量投入 5-box 模型用以計算大氣中溫室濃度，再根據此濃度，以 MK3L 推估各區域長期溫度變化。</li> </ul>	ABARE/CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) <sup>[10.2.5]</sup>

資料來源：本研究整理。



## 10.2.3 整合評估模式研究方法

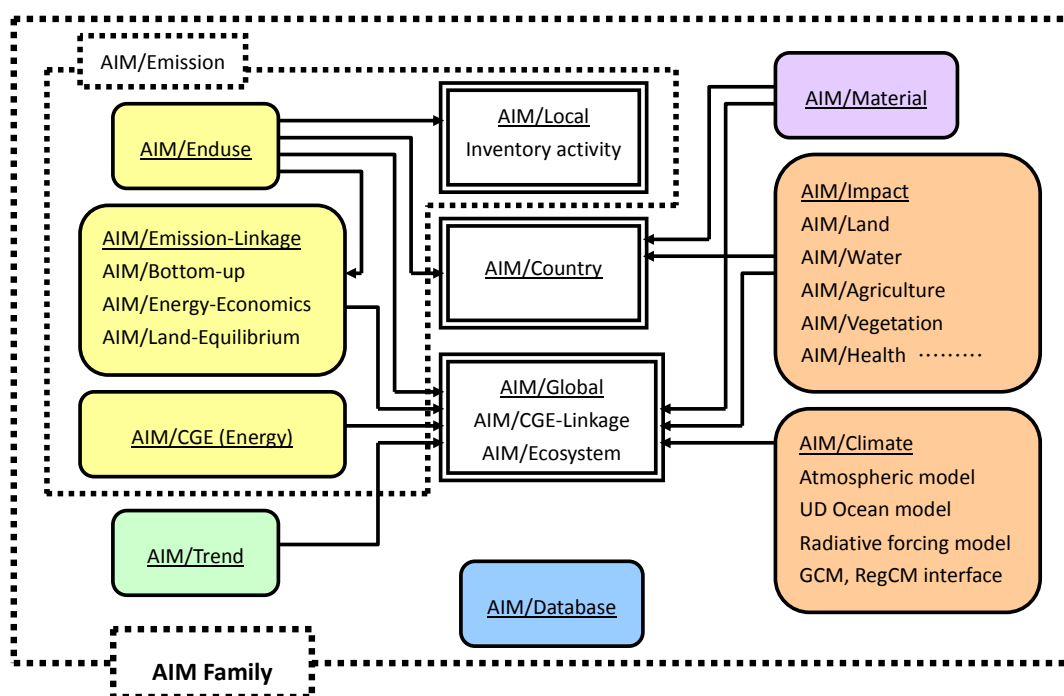
### 1. AIM 模型

日本的亞太整合模型(Asia-Pacific Integrated Model, AIM)由日本國家環境研究所學者 Morita 等人於 1992 年建立，目前是最常被用來評估溫室氣體排放與溫室效應衝擊，以及模擬全球警示系統對亞太地區影響的模型。除了溫室氣體排放議題外，其他氣候變遷與環境議題，如空氣污染、廢棄物管理、水資源等問題亦被納入模型中加以分析。

AIM 模型發展這麼多年來，已含納中國、印度、泰國、馬來西亞、越南、日本等多個國家的子模組。在各國家別模型中，詳細刻劃了技術發展狀態，以瞭解各國在技術選擇上採取不同策略所產生的影響。在國家別模型之上，AIM 建構了一個全球模型，由全球觀點觀察不同政策選擇下的全球經濟運作與氣候衝擊變化，再利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)計算並呈現氣候變遷在區域性與全球性之衝擊。

整個 AIM 家族之架構可概分為兩大部分，一為全球層面的模組，包含暖化現象模型(AIM/Climate)與暖化衝擊模型(AIM/Impact)模型，另一部分則為區域或國家層面的模組，包含溫室氣體排放模型(AIM/Emission)、經濟連結模型(AIM/Material)、趨勢預測模型(AIM/Trend)等(圖 10-3)。

AIM/Emission 模型包含 3 種由上而下子模型(top-down model)與一種由下而上子模型(bottom-up model)。由上而下模型包括為能源經濟模型(AIM/Energy-Economics)，為部分均衡模型，用以分析長期能源供需狀況，主要用以預測 GHG 排放；能源一般均衡模型(AIM/CGE(Energy))，為針對能源部門設計之一般均衡模型，用以分析排放與國際貿易間之關係，特別像排放交易與清潔發展機制等議題；土地一般均衡模型(AIM/Land-Equilibrium)，亦為一般均衡模型，但重點放在農、林部門，分析其土地使用變化與國際農產品市場變化之關係，並進一步計算因土地利用變化所造成之 GHG 排放量。由下而上模型則稱為能源終端使用模型(AIM/Enduse)，同時著重於能源消費面之終端使用技術與能源供給技術，在預測未來各部門對於能源服務之需求後，即可在給定能源價格與成本最小的目標下，決定最適當的技術組合，最後在此最適技術組合下，預測未來能源消費與 GHG 排放情形。



資料來源：Kainuma<sup>[10.1.13]</sup>。

圖 10-3 AIM 家族關聯圖

AIM/Climate 模型主要在計算全球平均表面溫度之變化，在此模型之下包含 Atmospheric model、UD Ocean model、Radiative forcing model、GCM RegCM interface 等模型。

AIM/Impact 模型主要針對水資源供給、植被變化、初級產業如農業與林業、人類健康與疾病擴散等層面進行分析，也可評估區域經濟的衝擊。在上述衝擊評估中，區域的環境與經社資料被整合在地理資訊系統中。

AIM/Material 模型主要目的在評估國內政策之總體經濟衝擊、CO<sub>2</sub> 減量效果、與其他環境議題，如廢棄物管理、水與空氣污染之探討，除了環境保護政策外，環保相關產業與環保投資係為同時實現經濟發展與環境保護之重要關鍵，在本模型中亦可加以討論。AIM/Material 模型為單國的 top-down 總體經濟模型，係透過建立每一個國家的 CGE 模型而完成。此 CGE 模型為逐年遞歸模型，同時滿足經濟平衡與實物平衡的一致性，基於此項特色，衍生性固態廢棄物議題便可加以處理。

AIM/Trend 模型為一個簡單的計量模型，以預測未來的經濟、能源、

與環境條件。在設定基本的人口、GDP、每人 GDP、GDP 份額下，可進一步模擬能源供給、能源需求、GHG 排放、廢棄物、水資源供給與需求等。目前該模型已產生到 2032 年之各項環境趨勢。

由於 AIM 模型係由上述多個獨立子模型所組成，模組間的整合工作便顯得相當吃重但又不可或缺，AIM 在模組整合的工作上，採取 4 種整合方式：

#### (1)經濟模組與環境模組整合

整合經濟與環境模組之目的，在於分析亞洲地區快速的經濟發展與環境保護之間的抵換關係，以評估亞洲地區的永續發展政策；

#### (2)由上而下模型與由下而上模型整合

為了對不同政策選擇進行評估，包括由上而下的總體經濟政策與由下而上的技術選擇，連結兩種模型是必要的。在國家別經濟模型中，技術進步參數一般為外生給定，而技術進步參數之合理範圍為何，則可透過 AIM/Enduse 模型所產生之未來最適能源供給與使用技術組合，取得技術進步參數之外生變動依據；

#### (3)短/中期模型與長期模型整合

連結短期模組與長期模組的目的，在整合探討目前亞洲地區對於污染與自然破壞所施行之政策，與長期氣候變遷減量政策間之關係；

#### (4)國家模組與世界模組整合

連結國家模組與世界模組之目的，在於針對亞洲區域合作設計有效的政策，包括技術移轉、環境投資協助等。國家模型(AIM/Country)中各子模型所產生的結果，必須納入由全球模型(AIM/Global)達成連結互動之目的。

除了各模組間針對評估所需，選擇性採取模組間的整合方式之外，AIM 為了常態性或需要長期觀察的評估項目，更另外建立了一組連結模型，即 AIM/Emission-Linkage 模型，將 AIM/Bottom-up、AIM/Energy-Economics、AIM/Land-Equilibrium 等 3 個模型串連，則數種重要的 GHG 排放與空氣污染物，如 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 便可在相同條件基礎下進行評估。

當 AIM/Emission-Linkage 模型計算出各種 GHG 與相關氣體排放量

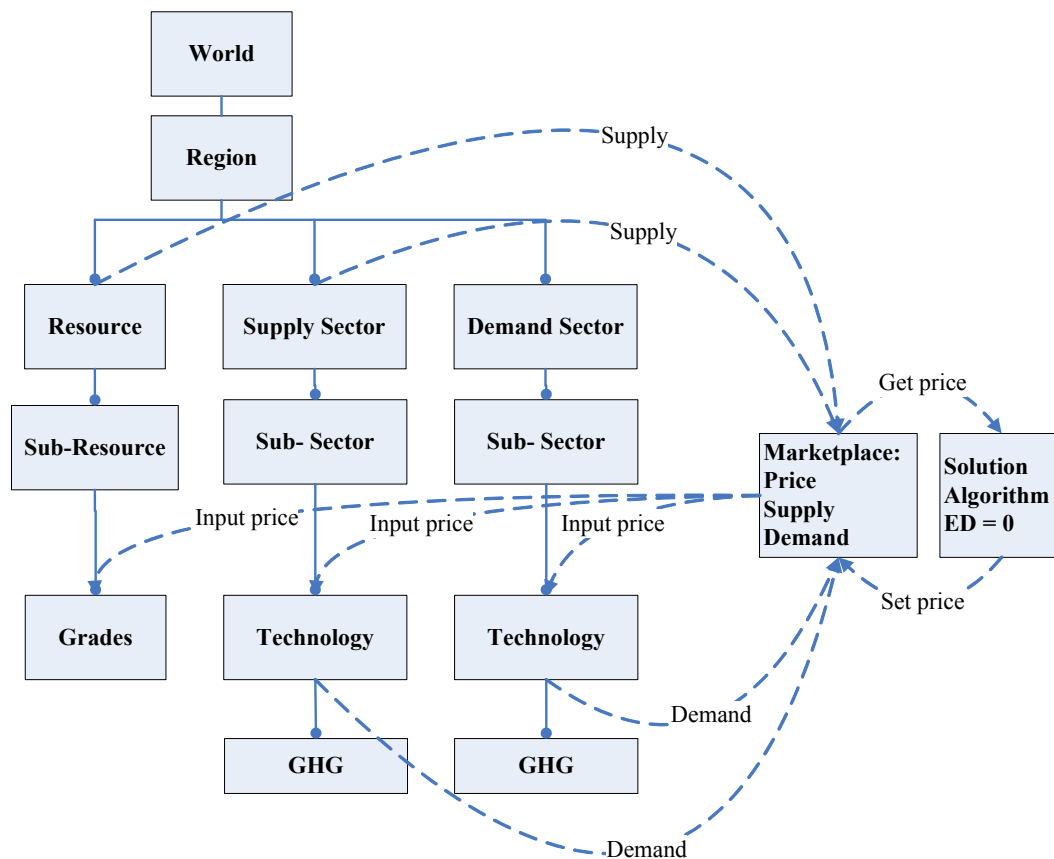
後，其結果會被納入 AIM/Climate 模型中，除了 CO<sub>2</sub> 之外，被排放到大氣中的各種 GHGs 會經由化學作用轉換，此轉換的過程會在 AIM/Climate 模型中加以計算。AIM/Climate 模型計算結果則可交由 AIM/Impact 進一步預測未來自然資源與人類健康等層面所受到的衝擊。

## 2. MiniCAM/ObjECTS 模型

由 Pacific Northwest National Laboratory 所研發的 MiniCAM 模型，為一涵蓋大氣組成分析系統(SCENGEN)、氣候與海洋系統(MAGICC)、人類行為系統(能源子模組 ERB 與農業土地利用模組 AgLU)、生態系統等子模組之整合評估模型。雖然涵跨領域相當廣泛，但對於人類行為系統中關於經濟活動與能源技術選擇之考量並不深入，若欲利用此一模型探討減量策略則顯得有些捉襟見肘，因此有必要適度納入技術模組以補足此項缺失。

ObjECTS 為聯合全球變遷研究所(Joint Global Energy Climate Research Institute, JGCRI)所發展的目標導向能源氣候與技術系統(Object-oriented Energy Climate and Technology Systems)，主要發展方向為統合能源-技術-經濟模型，希望將由下而上模型對於技術的細節掌握，融入由上而下的經濟架構當中。由於運輸部門在能源使用與溫室氣體排放中所佔比重越來越高，因此在由下而上模型中，ObjECTS 特別針對運輸部門的技術做了詳細刻劃。

因此 ObjECTS 利用 MiniCAM 所提供之市場資訊，初步建立起一個整合由下而上與由上而下模型之架構。在 MiniCAM 的經濟模組中，藉由商品或能源的供需均衡以形成市場，由圖 10-4 可以看到在 ObjECTS 模型中技術被細分的部門，可以是 MiniCAM 市場中的需求者，也可以是供給者，至於其他未被 ObjECTS 分析的部門，則由 MiniCAM 執行。由於單一部門的價格或供需變化有可能影響其他部門，而其他部門的變動又將回饋影響該部門，因此這種整合方式通常需要多次的交互運作，才能取得收斂的結果。但無論如何，透過市場做為連結媒介，兩模型便可在能源消費量與能源使用成本兩項變數上取得一致。



資料來源：Kim et al. [10.2.6]。

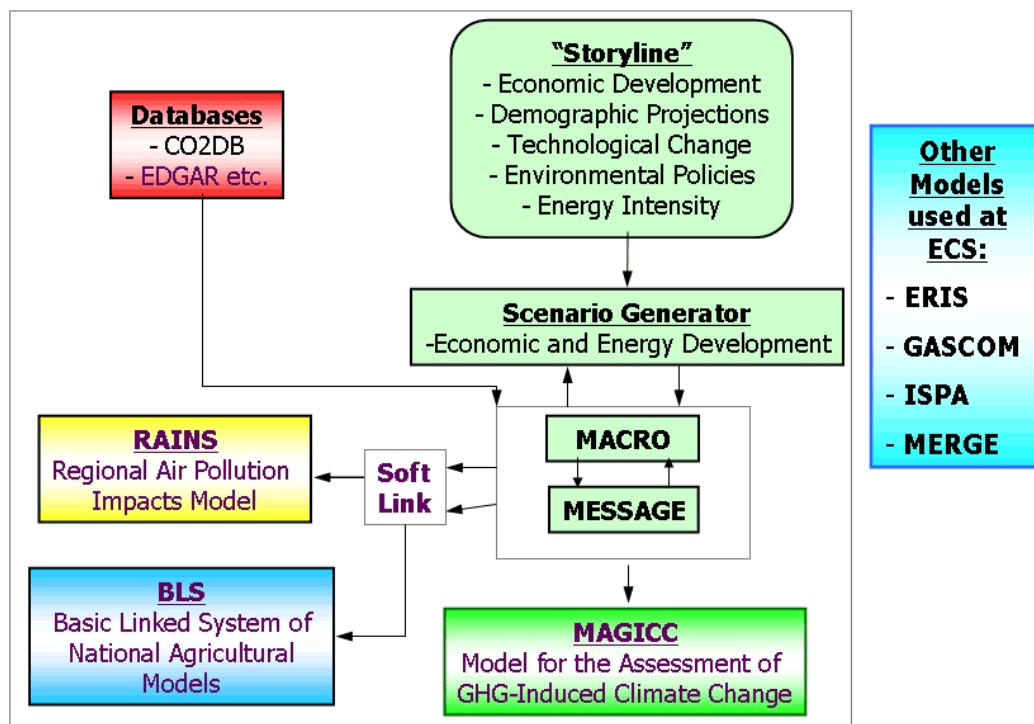
圖 10-4 ObjECTS 與 MiniCAM 整合架構

### 3.IIASA-ECS 模型

應用系統分析國際研究所(International Institute for Applied System Analysis, IIASA)進行跨領域研究已相當多年，且一直處於模式建構的領先地位。IIASA-ECS 模型為結合 IIASA 多年來模式建構之成果，所形成的大規模整合評估模式，其下所包含之子模組有 8 項，Scenario Generator(SG), Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact(MESSAGE), the top-down macroeconomic model (MACRO), the climate impact model(MAGICC), Energy Research and Investment Strategy Model(ERIS), energy technology database(CO2DB), A Model for Evaluating the Regional and Global Effects(MERGE), Integrating System for Priority Assessment(ISPA)等，各子模組間之關聯如圖 10-5 所示。

## (1) SG

其中 SG 為 ECS 架構中的核心，它必須產生可供 MESSAGE、ERIS、與 MACRO 使用的一致的能源需求資訊，它的主要任務是迅速的將主要模擬情境假設撰寫成符合各子模組所需的說明文件，並依據說明文件內容，將各子模組所需投入資訊彙整傳遞給各子模組，但必須確保各子模組接收之數據資訊為一致。而所謂子模組投入資訊包括經濟面歷史數據、能源消費時間序列資料、一組可以描繪經濟活動與能源使用關聯性的迴歸方程式，以做為設定情境之參考。SG 所需之投入資訊主要為人口預測及其他決定人均 GDP 成長之關鍵參數，此數據必須與其他子模組一致，SG 根據此兩項參數以及能源密集度計算能源消費預測值。



資料來源：<http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/models.html>。

圖 10-5 IIASA-ECS 模型建構體系

## (2) MESSAGE

MESSAGE 屬於系統工程最適化模型，主要運用於中長期能源系統規劃、能源政策分析與情境規劃。此模型對能源系統內從初級能源探勘、進、出口、能源轉換、運輸與分配，及至終端能源服務需求如照明、

設備條件、產業生產流程等都有詳細的描繪與探討。由於 MESSAGE 是在能源系統限制下追求系統成本極小的最佳解，而此最佳解即為系統內部結構的調整，因此在給定情境下，MESSAGE 產出的資訊包括各項技術應設置的產能或容量、能源投入與產出量、在能源系統中各階段所需要的能源投入、技術成本、排放量等。

能源系統所描繪的技術細緻程度，是影響評估功能與結果的關鍵，MESSAGE 所能囊括的技術通常十分彈性，可依據地域特性、涵蓋時間尺度而進行調整。

### (3) MACRO 與 MESSAGE/MACRO

MACRO 模型延伸自 Manne and Richels 的 MERGE 模型，屬於由上而下的總體經濟模型，為了與 MESSAGE 適度整合，ECS 的 MACRO 模型已有部分修改與擴充。MACRO 中主要方程式為跨期的效用函數與生產函數，生產過程主要投入為資本、勞動與能源，其中能源需求曲線再進一步區分為電力與非電力能源需求，MACRO 將同時產出能源需求與 GDP 預測值。

MESSAGE 與 MACRO 的連結，主要為了在前者模型中納入政策對能源成本、GDP 與能源需求的影響，因此連結的過程，先由 MESSAGE 產生能源供給總成本與邊際成本，提供給 MACRO 做為能源需求函數之參考依據，再將 MACRO 因為政策變動所產生的變動後能源使用成本、GDP 及能源需求回饋給 MESSAGE 重新求解，如此反覆求解直到 MACRO 與 MESSAGE 的能源需求差異在可接受範圍內，才達到收斂。ECS 目前仍在研發一套新的總體經濟模型，在能源需求與效用函數部分將採用更精細的設定，未來將與 ERIS 進行連結。

### (4) MAGICC

MAGICC 為 ECS 為了估算 E3 情境對氣候的衝擊所發展之模組，模組中包括一組碳循環模型，碳循環模型在說明大氣中的排放來源、排放量，及至大氣中物理與化學吸附過程，並計算大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度、大氣溫度與海洋條件。模組中使用之溫室氣體包括 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O，這些氣體排放量數據由 ERIS 或 MESSAGE 模組提供。

## (5) ERIIS

ERIS 原來是為了探討電力部門發電技術變動之影響而發展之能源最佳化模型，多年來 ERIS 已擴展至整個能源系統，特別是運輸系統的詳細技術，並因此可協助評估更細緻的減量策略選項與技術選擇。ERIS 的優勢在其相當彈性的設定方式，可協助各種不同模型提供所需資訊，也因此而可評估多種類型的政策工具。

第 3 版 ERIS 更納入學習曲線，並將 R&D 支出內生化以呈現第 2 層學習效果之來源，考慮 R&D 投資後便可評估與氣候政策之間的互動。

## (6) CO2DB

CO2DB 則為一組囊括約 3,000 類減量技術之資料庫，並可進行初步分析，資料內涵包括技術細部特徵、技術創新狀態、技術商業化程度、技術擴散或市場滲透程度、經濟與環境特徵等。

## (7) MERGE

MERGE 為一全球最適化模型，主要描繪總體經濟、能源供需系統、排放量與氣候變化之互動。MERGE 包括 3 項地區性子模組，子模組包含，總體經濟模型、能源供給模型、氣候模型 3 部分，因此 MERGE 本身即整合了由上而下的經濟模型與能源需求，以及由下而上的能源部門供給。總體經濟模組定義生產者與消費者之跨期效用函數極大目標，決定資本存量、勞動、能源投入之需求，生產者最適的生產量決定於相對價格，在決定生產量後，相對簡化的能源模型便可在滿足能源需求前提下，求解可行之技術組合選擇，最終由氣候模型計算溫室氣體濃度與全球平均溫度。MERGE 除了可獨立完成整合評估外，亦可配合 IIASA 研究在不同的情境與排放交易假設下，執行京都議定書規範所必須付出的代價。模型囊括京都議定書之主要成員，並分析各種排放交易機制。

## (8) ISPA

ISPA 為多目標隨機最適化模型，模型研發目標在於探討在給定 R&D 總經費與一組能源技術下，如何分配研發經費至各項技術。目前 ISPA 包含 5 個與經濟或環境，或者能源供給安全有關的目標，決策者可選擇其中一項做為主要目標，其他目標則成為存在或然率的限制式，意即達到期望目標水準之最小機率，這種設計讓 ISPA 特別適用於風險分



析，評估各項目標間的抵換關係。

## 10.3 運輸、能源與經濟整合模式

### 10.3.1 國際重要的運輸、能源與經濟整合模式

目前針對運輸部門減量策略進行評估之整合模型，以 EPPA/MARKAL<sup>[10.3.1],[10.3.2],[10.3.3],[10.3.4]</sup>模型為主，其他研究如 ECLIPSE<sup>[10.3.5]</sup>則整合 IIASA 之 ERIS 由下而上模型與總體能源需求模型，以評估氣候政策並進行情境分析。

EPPA/MARKAL 與 ECLIPSE 皆以能源技術或運輸技術之組合選擇做為評估依據，無論是工程類子模型或經濟類子模型，都無法提出運輸部門在管理策略上所能努力的空間，以運輸部門長期以來所發展的管理面評估工具，如運輸規劃模型，若能納入整合評估架構中，應能充分展現運輸部門特性。

#### 1. EPPA/MARKAL

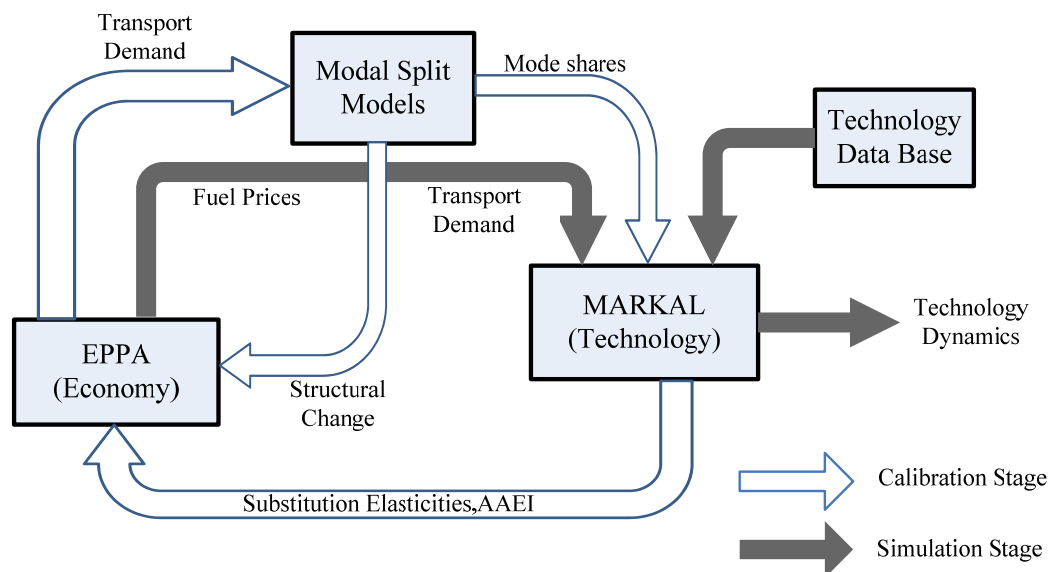
由於在美國運輸部門能源使用佔比與 CO<sub>2</sub> 排放量的明顯成長，為了因應溫室氣體減量規範，汽車產業早以率先進行多項節能技術的研發工作，且已有相當的商業化市場行銷經驗，這樣的經驗也逐漸擴及軌道運輸部分。有時候運具能源效率的研發與商業化目標已非單純由銷售利潤考量，而是期望今日的研發支出，可以很快的帶來長期經濟市場佔有率。對決策者而言，思考如何採行適當誘因機制引導更具能源效率的系統進入市場是非常重要的工作。

因此運用模型進行上述分析時，市場內互動形態與細部技術刻劃同時成為分析重點，這對傳統的能源經濟分析或環境議題無疑是相當大的挑戰。一般以由上而下形態為主的經濟模型能夠為 3E 的交互作用提供一組一致的總體經濟分析架構，尤其像可計算一般均衡模型(computable general equilibrium, CGE)這種可以呈現部門間互動與國家間貿易的分析架構。然而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工程製程分析模型來補足這部分的缺憾。對工程模型而言，因為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

此一來便忽略經濟體系內部門間的相互回饋效果。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 模型也是在這種前提下開始與由上而下模型進行整合，最常見的整合方式為發展一組簡單的總體經濟模型，如 MESSAGE-MACRO 與 MARKAL-MACRO，但因為在總體經濟模型中過於加總簡化，欲分析部門(如運輸部門)減量議題時，難免捉襟見肘，無法說明運輸部門與經濟體系其他部門的互動，也無法評估不同類型的部門減量策略。因此 EPPA/MARKAL 便結合建基於 CGE 架構的 EPPA 模型與 MARKAL，針對運輸部門議題進行評估。

兩模型整合架構可表示如圖 10-6。整合模式需要 3 個子模型，即 EPPA、MARKAL，以及 Modal Split 模型，EPPA 模型在給定參數，如運具間替代彈性、運具成本、能源效率、技術進步率等，便可求解出整體經濟成長、產業成長、能源需求、能源價格，以及排放量等，而上述參數則需要由 MARKAL 詳細的技術資料提供。MARKAL 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。Modal Split 在此主要功能為將 EPPA 中分類較粗簡化加總的運輸部門需求，連結至 MARKAL 中細部區分的運輸技術。



資料來源：Schäfer and Jacoby<sup>[10.3.1],[10.3.2],[10.3.3]</sup>, McFarland et al.<sup>[10.3.4]</sup>。

圖 10-6 EPPA/MARKAL 模型體系

模式整合必須透過子模型之間校準過程來達成，通常假設 MARKAL 可以充分掌握各項運輸技術的發展，瞭解技術進入市場可能時點及可能滲透率，因此會以 MARKAL 細部技術的加總結果來修正 EPPA 的參數設定，以使 EPPA 的運輸部門發展與 MARKAL 吻合。在此情形下 EPPA 所產生的經濟成長、產業成長、能源需求與價格求解結果代回 MARKAL 重新求解，如此反覆求解直到所有子模型的運輸部門能源使用量非常接近為止。因此整個模式整合流程可以圖 10-7 表示。

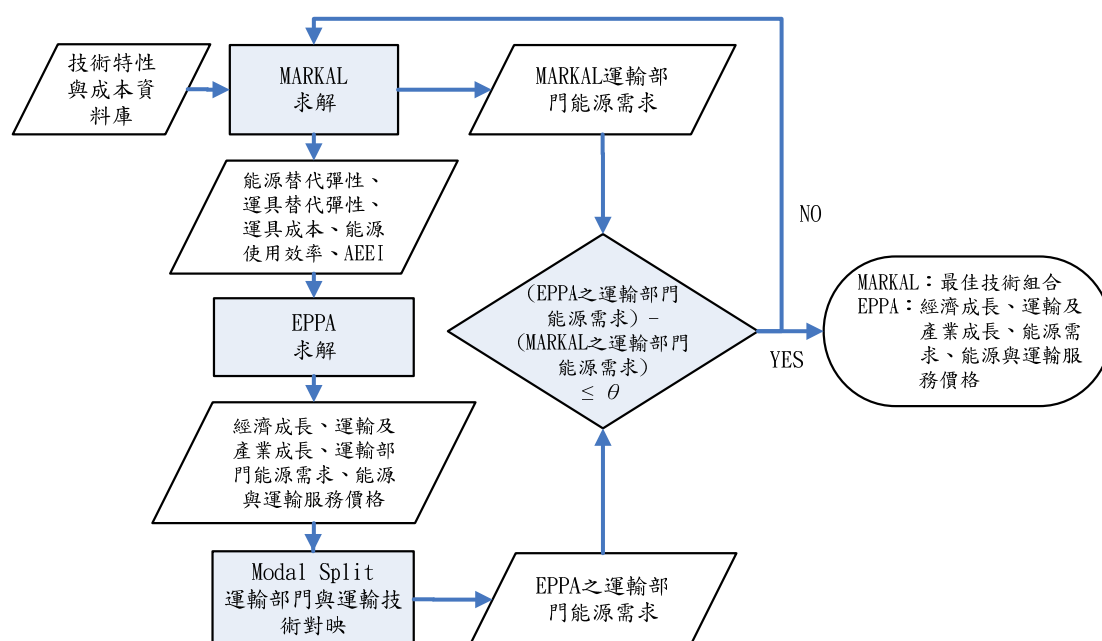


圖 10-7 EPPA/MARKAL 整合流程

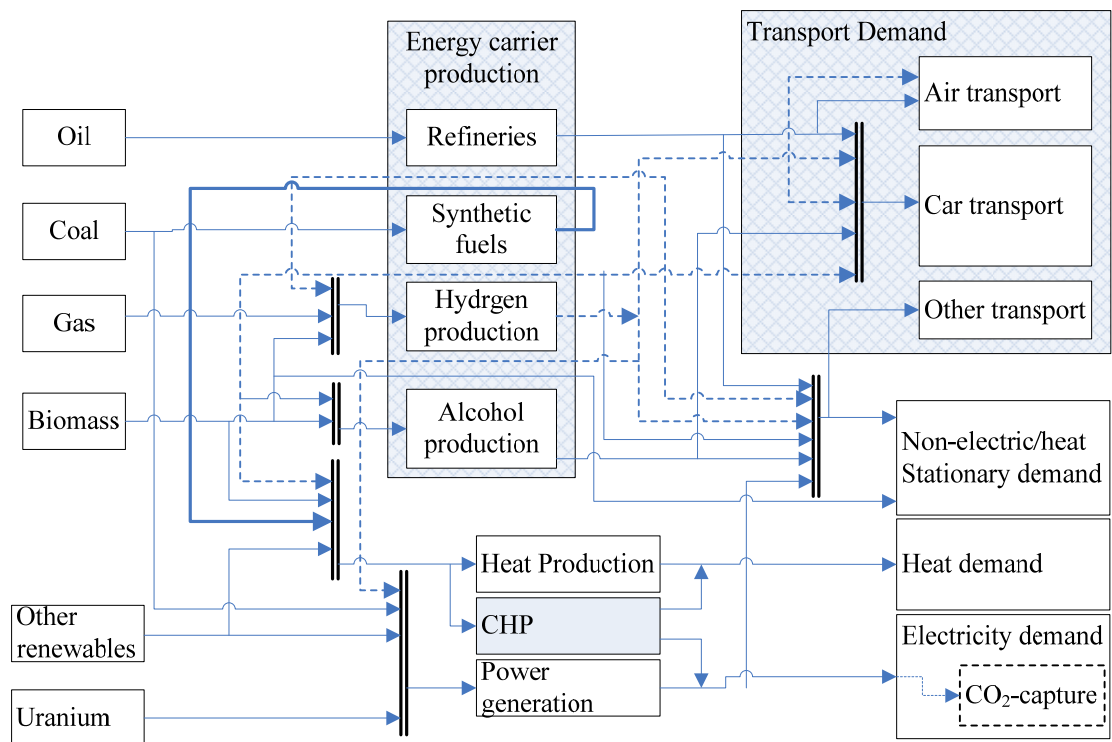
## 2. ECLIPSE

能源與氣候政策及情境評價模型(Energy and Climate Policy and Scenario Evaluation, ECLIPSE)為建基於 ERIS 能源系統模型而延伸擴充的模型，研發主要目的在呈現長期下能源-運輸-經濟體系之間的互動關係。與 ERIS 相同，ECLIPSE 共包含全球 11 個地區。

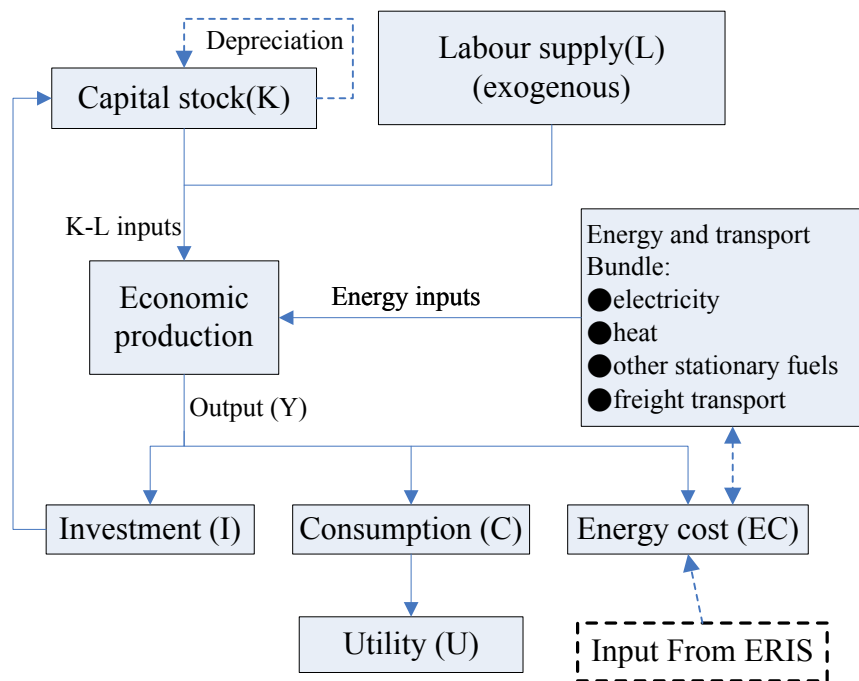
由於原來的 ERIS 模型屬由下而上模型，為了彌補由下而上模型無法說明影響能源需求變動的經濟趨動因素與能源需求變化間之關聯，才將 ERIS 與一個由縮減式所組成的由上而下經濟模型連結，並形成 ECLIPSE。

由於 ERIS 為能源系統最適化模型，詳細的技術分析基礎再加上內生化之技術學習，使得技術選擇與發展為該模型最大特色，特別是 ECLIPSE 在將運輸服務技術擴充後，運具的選擇代表著燃料與能源需求及排放量的變化，擴充後的能源系統如圖 10-8(a)所示。

ECLIPSE 的經濟模組與 MERGE 及 MESSAGE-MACRO 十分類似，將能源系統與經濟其他個體之生產行為分開考慮，並利用投入產出分析架構，將各部門對能源與運輸服務之需求以生產函數描繪之，圖 10-8(b)說明了整個經濟模組架構。



(a) ERIS 能源系統



(b) 總體經濟模型

資料來源：Turton<sup>[10.3.5]</sup>。

圖 10-8 ECLIPSE 模型體系

由於運輸服務在 ECLIPSE 經濟模組中，僅將貨運服務視為產業生產過程中必須投入之成本，並未考慮客運服務，因此客運服務所產生的能源需求，將由 ERIS 處理。處理方式為將客運需求視為消費者所得、消費者的時間限制、各運輸模式的價格與速度等因素之函數。

在模組連結上，必須在 ERIS、經濟模組與運輸模組之間反覆進行求解，直到 3 模型之能源需求與能源價格收斂至一致結果為止，整合流程如圖 10-9 所示。求解步驟為：

#### (1) 總體經濟模型校準

總體經濟模型利用 SG 模組所產生的基準情境 GDP 成長率、REEI(reference energy efficiency improvement)參數、能源佔比等資訊，校準模型其他參數，並將初步求解結果(包括對未來之能源需求推估、運輸部門能源需求推估等)傳遞給 ERIS 進行下一步求解。經由校準後之其他參數，如基準情境之能源價格，在後續的反覆求解過程將固定。

#### (2) 運輸模組求解

運輸模組同時運用 SG 之基準情境人均 GDP 與人口數，進行初步求解，產生客運服務需求。由於初步求解之基準情境設定與總體經濟模組同樣來自 SG，因此兩模組第 1 次求解之 GDP 基礎為相同，待總體經濟模組在反覆求解過程中修正其人均 GDP 推估值，該結果將再回擲至運輸模組重新計算客運服務需求。

#### (3) ERIS 模組求解

總體經濟模組產生對未來之能源需求與運輸服務需求推估投入至 ERIS 進行求解，ERIS 據以產生能源系統成本(即能源與運輸服務價格)，再分別回擲至運輸模組與經濟模組進行反覆求解。

### 10.3.2 國內需要的運輸、能源與經濟整合模式

在探討氣候變遷議題時，討論對象、層級、政策工具等皆會決定模式的發展方向。綜合前節內容，由上而下模型大多適用於整體性政策分析與擬定，探討對象大多較為廣泛且類別較粗簡，由下而上模型則強調微觀世界中技術選擇與策略設計，因此探討對象大多較集中且分類較細緻。

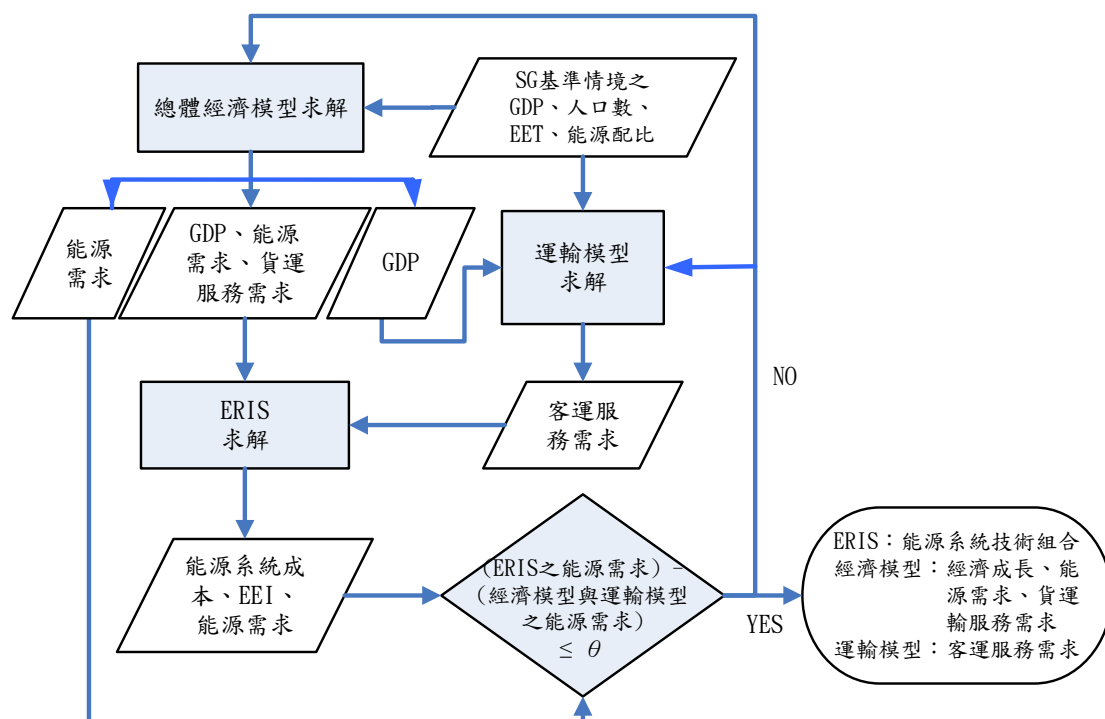


圖 10-9 ECLIPSE 模型整合流程

無論 EPPA/MARKAL 或 ECLIPSE，皆以整合總體 CGE 模型與 MARKAL 技術模型為主要方式，目的在考慮經濟體系交互運作的情況下，強化技術模型中總體經濟外生條件的合理性，同時在考慮未來技術發展的可行性下，修正總體經濟模型外生技術參數設定的合理性。當此類整合架構運用於運輸部門時，通常產生的是成本極小或利潤極大等最適情況下的運具與燃料分配，對於運輸需求管理策略的處理，仍舊僅能利用參數修正調整的方式，盡量掌握管理策略的可能影響。然而管理策略與經濟狀態及技術發展方向皆存在交互影響的可能性，以外生方式處理任何一部分皆有可能產生偏誤。

國內能源經濟模型的發展，如 10.1.2 節所述，大致以 CGE 模型、MARKAL 模型、或經濟計量模型為主軸，過去這些能源模型也曾經由不同程度的溝通連結，達成模式整合的目的，例如能源局的 TaiSEND(CGE 模型)與 MARKAL 模型在相同的假設條件(包括再生能源與天然氣發展目標、核能商轉與除役、發電機組裝置容量等)下，由 TaiSEND 求解產生 GDP、產業結構、能源密集產業成長等資訊，再交由 MARKAL 計算能源

服務需求，並進一步規劃技術發展與結構，另一方面則根據該 GDP 與產業結構，修正電力負載預測並據以進行電源開發規劃。由於上述實例中的個別模型皆已發展一段時間，模型本身的龐雜程度，以及模型與模型間無論在分類、定義與操作上的歧異，皆增加既有模型整合的困難度，雖然此類單向傳遞的模型整合方式，無法充分考慮模式間的反饋效果，但對於整合工作而言是相當重要的開始。

目前國內能源模型對於運輸部門的著墨仍十分有限，欲發展運輸部門整合模式，若僅考慮 CGE 或 MARKAL，則難免與 EPPA/MARKAL 或 ECLIPSE 相同，落入無法呈現並推估運輸需求管理策略影響的困境，因此納入運輸規劃模式成為必要的工作。另一方面，運輸部門整合模式除了運輸規劃模式外，究竟應納入哪些模型或研究方法，則會因研究方向、研究重點、模式建構時間與經費而異。

模式發展與整合工作需要長期的溝通、協調、建置與修正，因此在時間有限的情況下，通常只能採取直接整合既有模型的方式，但由於既有模型大多已發展至一定規模，因此在經費上如何支撐既有模型，以及在參變數的定義上既有模型如何溝通與修正等都是整合既有模型將面臨的挑戰。若是研究方向與重點較為聚焦，例如較關心未來經濟發展與運輸需求狀態，及在此狀態下運輸管理策略的運用，則可先就關心重點建置適當模型，待模式發展良好再納入其他模型，因此本研究擬由經濟模組與運輸規劃模組整合的方向切入，說明運輸部門整合模式之構想。

### 10.3.3 臺灣運輸部門 3E 整合模型架構規劃

本研究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。基於此研究方向，本研究構想之臺灣運輸部門 3E 整合模型應納入一組 CGE 模型、一組運輸規劃模型，以及一組經濟計量與時間序列模型，整合模型架構如圖 10-10 所示。



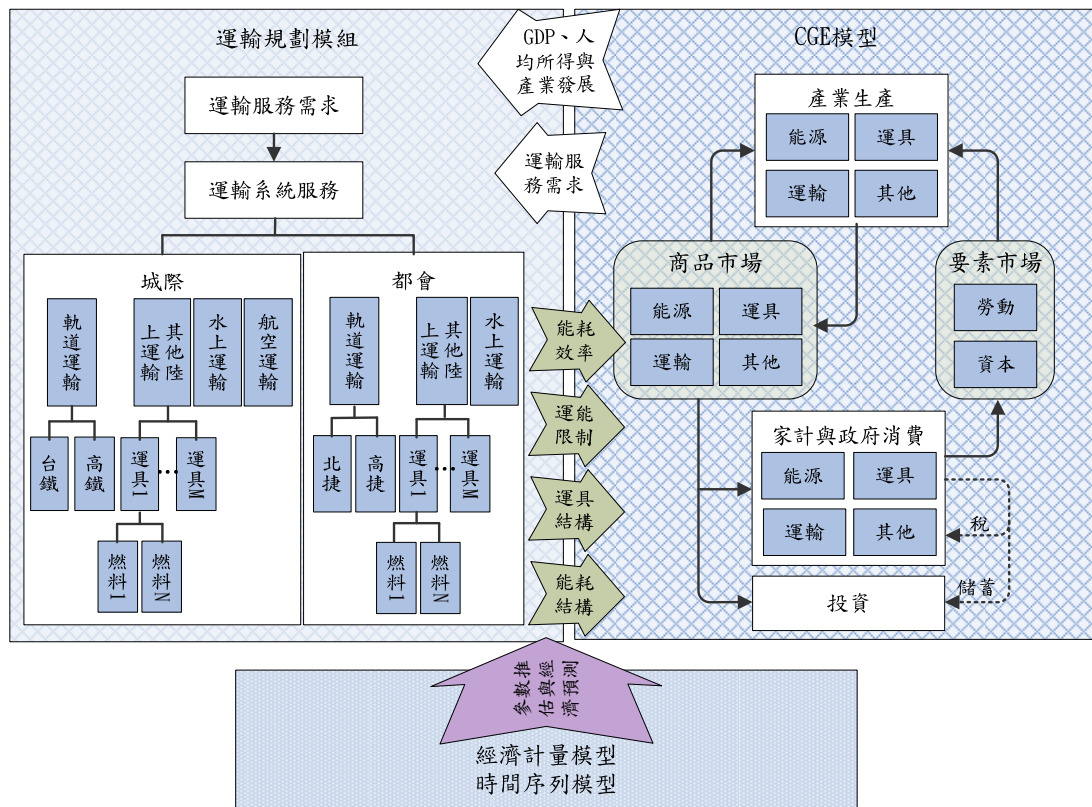


圖 10-10 運輸部門 3E 整合模型架構

建置運輸 CGE 模型的目的，在取其可呈現經濟發展與產業互動、可產生全面性考量下之運輸與能源需求、適用於政策影響評估之優點，希望由由上而下的角度切入運輸部門節能減碳策略思考。建置運輸規劃模型的目的，在呈現運輸需求管理策略的影響，並提供因為空間、時間、排程、運能等因素所產生的運具發展限制，由於 CGE 模型係在成本有效的最適化狀態下求得經濟發展與運輸需求等資訊，並未考慮管理策略與運能限制，因此需要運輸規劃模型補足，而運輸規劃模型則採由下而上角度，可充分掌握運具與運輸型態結構，卻無法推估未來經濟與產業發展在各項政策(如能源稅、總量管制、油價波動等)下的變化，因此需要 CGE 模型提供。

另一方面，CGE 模型在求解基線時，通常以校準方式修正模型中部分參數設定，而有些參數，如運具間的替代彈性，則無法經由校準求得，此時便需要經由計量方法，事先加以推估，因此在整合架構中，亦同時納入一組計量模型，此計量模型一方面經由時間序列與經濟計量方法求得各項彈性值，一方面也可針對重要參數與變數(如 GDP、運量、能耗、排放量等)進行預測，預測結果可提供給 CGE 模型與運輸規劃模型相互參考運

用。由於計量方法係採用歷史資料推估各項參數並進行預測，因此無法考慮未來政策施行後的影響，因此推估結果性質較接近基線。

整合模式建構流程將如圖 10-11 所示，首先分別建構運輸規劃模型、運輸能源 CGE 模型與計量模型，在建構模型的同時，確認使用資料之一致性以及部門與運具分類之一致性；初步求解建置完成之模型，提出求解結果，3 模型比較結果差異，溝通模型修改方向與結果呈現及計算方式，各模型再回頭重新修正設定，直至 3 模型之產出與投入資訊可相互運用為止；接著針對前項溝通內容，建置共享資料庫，此資料庫係做為 3 模型之橋樑，除了扮演 EPPA/MARKAL 中 Modal Split 部門對應的功能外，本研究更期望該共享資料庫能發揮資料共享功能，無論是經濟數據、運量與能耗、運具技術發展、3 模型投入與產出之數據等，皆能在資料庫中得到良好呈現，以便於 3 模型在修正與比對結果時，更能掌握歷史實際數據及其他模組求解狀態。

至共享資料庫建立完成，基本上模式整合工作大致告一段落。接著欲運用模型進行政策與情境評估工作時，首先要釐清政策內涵，判斷政策如何在 3 模型中反映，再針對政策設計模擬情境，情境確立後代入運輸規劃模型與運輸能源 CGE 模型中分別求解，求解結果傳回共享資料庫，由共享資料庫對應兩模型結果並進行比較，判斷兩模型結果是否一致(判斷準則可參考 EPPA/MARKAL 或 ECLIPSE 方式，選擇共同變數，如運量，兩模型之該變數求解結果差距必須在可接受範圍)，若一致則可進行結果說明與分析，若不一致則根據彼此傳回共享資料庫之資訊重新修正參數設定，反覆求解直至一致為止。

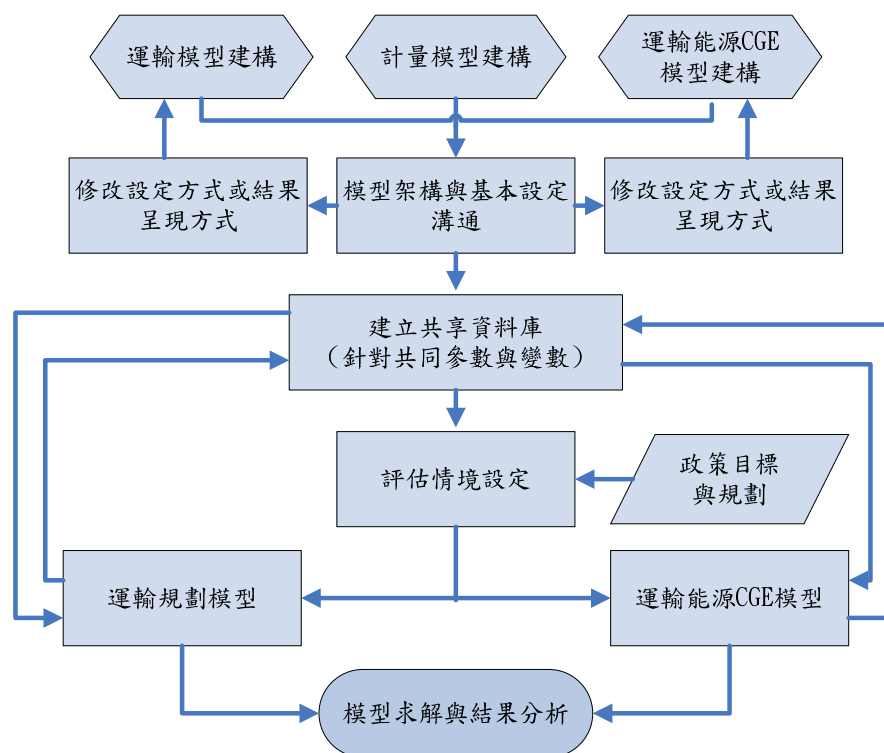


圖 10-11 運輸部門 3E 整合模型整合流程

## 10.4 運輸部門 CGE 模型架構規劃

### 10.4.1 運輸部門可計算一般均衡模型之發展

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 10-4。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，因此多以多國或區域 CGE 模型架構之。至於探討溫室氣體減量議題的運輸 CGE 模型，則以 Schäfer and Jacoby(2005)<sup>[10.3.1]</sup>、Berg(2007)<sup>[10.4.1]</sup>、Abrell(2007)<sup>[10.4.2]</sup> 3 文較為完整，故以下將分別說明此 3 文之模型架構。

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 CES 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。

表 10-4 運輸部門 CGE 模型相關文獻

文獻	主題	模型	結論
Kim et al.(2004) <sup>[10.4.3]</sup>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 結合運輸模型(transport model)與多區域 CGE 模型(multiregional CGE model)。</li> <li>- 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。</li> <li>- 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。</li> </ul>	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。
Kim and Hewings(2003) <sup>[10.4.10]</sup>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 結合運輸網絡模型(transport network model)與多區域 CGE 模型(multiregional CGE model)</li> <li>- 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。</li> <li>- 多區域 CGE 模型則估計高速公路發展對 5 區域之經濟衝擊。</li> </ul>	<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>

表 10-4 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續)

文獻	主題	模型	結論
Bröcker(2002)[10.4.4]	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。	- 進一步運用 Dixit-Stiglitz 方法考慮獨占性競爭情況。	細分商務與私人旅運。
Mayeres and Proost(2004) <sup>[10.4.6]</sup>	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(私人旅運與商務運輸)、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) <sup>[10.4.7]</sup>	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。	

表 10-4 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續)

文獻	主題	模型	結論
Schäfer and Jacoby(2005) <sup>[10.3.1]</sup>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 遞歸動態多國 CGE 模型(EPPA)，含單一運輸部門、5 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。</li> <li>- 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。</li> <li>- 由 CGE 提供運輸需求預測予 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。</li> </ul>	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 <sub>2</sub> 排放量會下降 21%，其中由非自有汽車運輸貢獻 16%。在 21% 的
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 單國靜態 CGE 模型。</li> <li>- 依所得高低將家計部門區分為 4 類。</li> </ul>	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。
Steininger et al.(2007) <sup>[10.4.8]</sup>	利用 CGE 模型分析澳洲公路收費制度對自有車輛使用之影響。		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(2004) <sup>[10.4.5]</sup>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 靜態模型。</li> <li>- 發展完整而龐大的模型，擁有完整的資料庫。</li> <li>- 部門分類與區域分隔可彈性加總。</li> </ul>	

表 10-4 運輸部門 CGE 模型相關文獻(續)

文獻	主題	模型	結論
Berg(2007) <sup>[10.4.1]</sup>	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，並運用修正後模型評估在碳排放目標限制下，碳稅稅收運用於抵減雇用勞工所支付的社會福利費用及抵減家計直接稅兩項不同政策下對福利的影響。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 單國靜態模型。</li> <li>- 能源部門細分(5 類)。</li> <li>- 家計部門依所得高低、人口密度細分(9 類)，而家計部門旅遊目的的決定勞動供給，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，還包括各運輸型態花費的時間。因此效用函數除了要納入商品消費所帶來的效用，還要考慮休閒目的旅遊所產生的效用。以及工作目的旅遊所產生的效用。</li> </ul>	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(2009) <sup>[10.4.9]</sup>	利用多國 CGE 模型 (GTAP-E)，擴增各國境內運輸差距(運輸、批發、零售)，以探討在碳稅下 CO <sub>2</sub> 排放與運輸差距的變化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 多國靜態模型。</li> <li>- 能源細分。</li> <li>- 境內運輸差距細分。</li> </ul>	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(2007) <sup>[10.4.2]</sup>	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 靜態多區域 CGE 模型。</li> <li>- 5 類能源、4 類非能源、3 類運輸服務。</li> </ul>	評估結果發現，若能將路運納入排放交易體系中，可為歐洲創造較高的福利，納入航空則福利效果較小，考慮到水運時，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 10-12 之 EPPA 模型<sup>[10.3.1]</sup>的家計巢式架構為例，家計部門對各種商品之消費分為 4 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)。

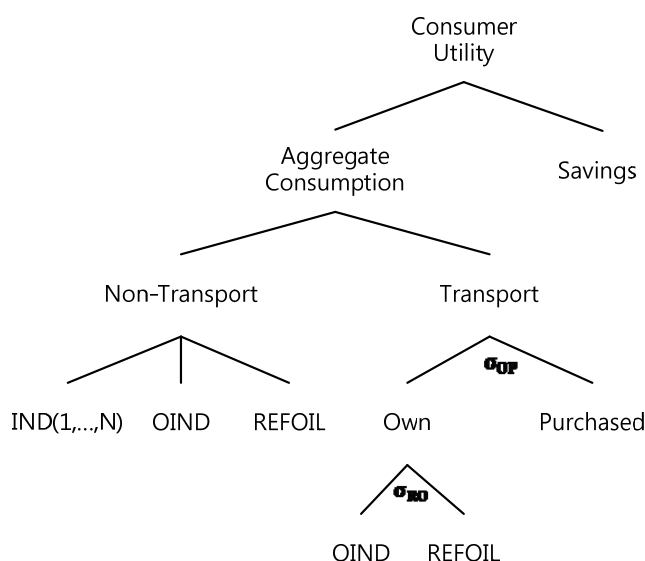


圖 10-12 EPPA 家計部門巢式架構圖

Berg(2007)<sup>[10.4.1]</sup>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 10-13 所示，為 6 層巢式結構。首先第 1 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 2 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 3 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；休閒旅運支出則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。

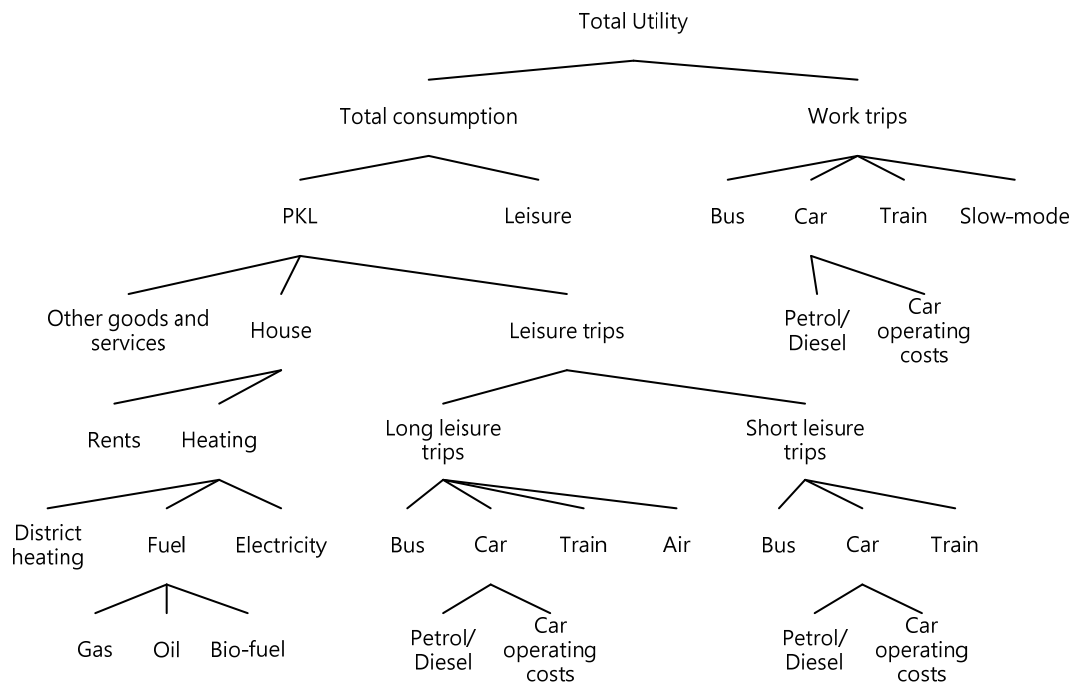


圖 10-13 Berg(2007)家計部門消費巢式架構

Abrell(2007)<sup>[10.4.2]</sup>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、能源別皆很少，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 10-14(a)至圖 10-14(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。

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 10-14(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，最直接需要投入的包括資本、勞力、運輸工具及能源消耗，因此圖 10-14(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 10-14(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。

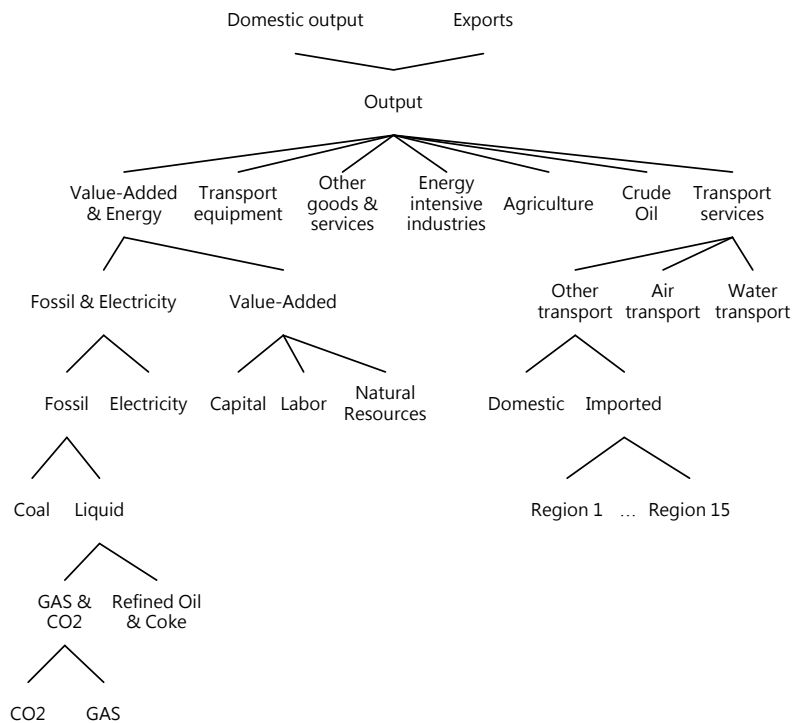


圖 10-14(a)Abrell(2007)一般生產部門生產巢式架構

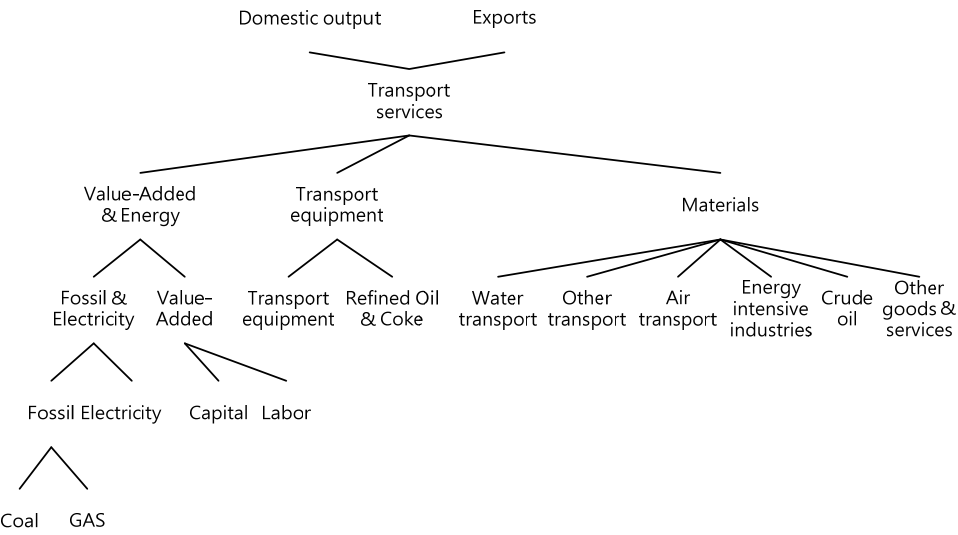


圖 10-14(b)Abrell(2007)運輸服務部門生產巢式架構

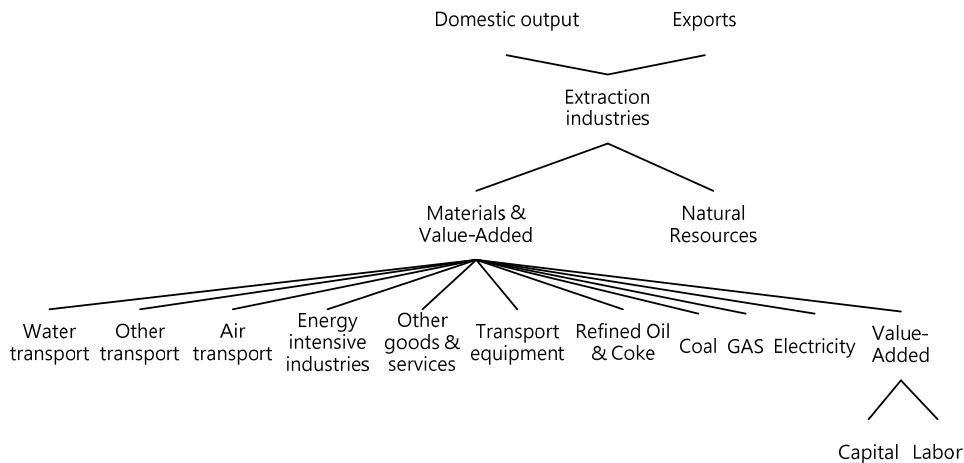


圖 10-14(c) Abrell(2007) 能源部門生產巢式架構

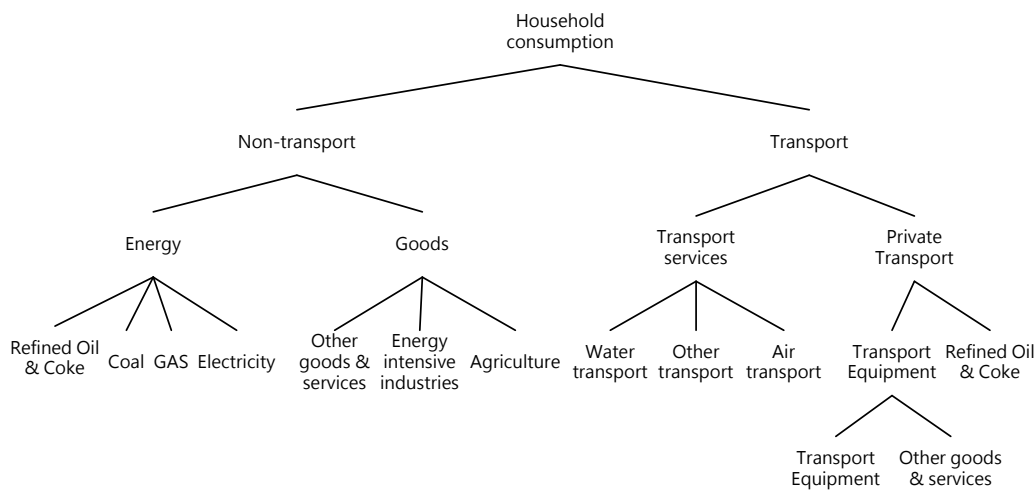


圖 10-14(d) Abrell(2007) 家計部門消費巢式架構

綜合 Schäfer and Jacoby(2005)、Berg(2007)、Abrell(2007)3 文的架構，可以發現幾個 CGE 在建構運輸部門時必須注意的細節：

1. 家計部門的運輸相關支出，必須區分私人運具與運輸服務；
2. 運輸服務必須依旅程距離加以區分；
3. 運具必須儘可能細分；
4. 運具與燃料的關係必須呈現；
5. 家計部門工作與休閒所產生之運輸需求，在資料可及情況下應儘可能區分。

## 10.4.2 模型建構流程

運輸部門 CGE 模型的建構流程可表示如圖 10-15，如同 10.3.3 節所述，在設立模型之前，首先必須先確定研究重點，與其他模組溝通部門分類與定義，待這些工作完成，便可進行運輸 CGE 模型的建置工作。

由於 CGE 模型仰賴龐大的經濟數據方能成立，因此在與其他模組溝通而達成部門分類的同時，必須考慮對映部門的成本與銷售資料能否一併取得，而建置模型時，必須先瞭解可得資料之內涵，以避免模型設立與實際社會出現歧異，10.4.3 節將先彙整目前 CGE 模型使用的基本資料來源，並說明該資料中運輸部門的定義、成本與市場結構。

在資料可及性及可用性確立後，便可著手架構模型雛形，說明部門與部門間之關聯，呈現商品與貨幣流動方向，以做為設立數學模型之基礎，10.4.4 節將說明本研究初步規劃的巢式架構。模型雛形確立後，便可將此概念轉換為數學模型，數學模型大多會在(1)家計部門在所得限制下追求效用極大；(2)產業部門在技術限制下追求利潤極大或成本極小；(3)市場均衡，即供需相符；(4)零利潤等原則下，推導最適的商品需求與供給。

配合模型之架構設計，必須確立模型使用之資料庫結構，一般考量完整的 CGE 模型大多使用社會會計矩陣(social accounting matrix, SAM)為基礎資料。SAM 表說明每一產業生產商品過程中所需各項生產投入之來源與占總生產成本之比重，而生產出來的商品亦必須呈現其銷售去處，因此當模型逐步將運輸部門擴充，SAM 表必須同時擴充並且應確保 SAM 表之平衡(總成本應等於總收益)。SAM 表結構確立後便可進行資料編製工作，同時蒐集其他無法由 SAM 表呈現的參數資料，如彈性、排放係數、國際能源價格預測、人口預測、技術進步率等。

當數學模型與資料皆已備齊，便可進程式撰寫，將數學模型轉化至應用軟體中，以便於進行求解。程式撰寫完成後便可將 SAM 表代入，進行反求解，以測試模型設定與資料正確性。接著便可進行校準工作，利用求解結果與歷史資料比對方式，逐步修正模型參數設定。參數確立後便可進行基線推估與政策評估工作，政策評估前須先釐清政策內涵，確定政策於模型中之對應變數，最後進行模擬求解。

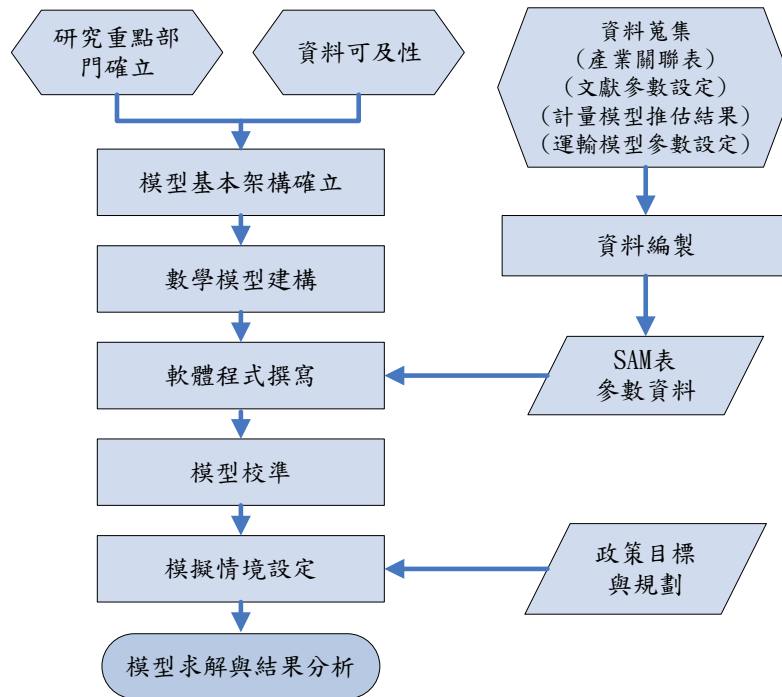


圖 10-15 運輸部門 CGE 模型建構流程圖

### 10.4.3 主要資料來源與部門定義

CGE 模型的基本資料結構為 SAM 表，編製 SAM 的主要資料來源為主計處產業關聯表，因此當運輸 CGE 模型與其他模組溝通並確立部門分類與定義後，便需要釐清產業關聯表之部門分類與定義，以便在共享資料庫中能與其他模組結果對映。

主計處產業關聯表之部門分類依加總程度之高低而區分為 2 碼之大分類、3 碼之中分類、與 5 碼之細分類。又主計處每 5 年進行一次工商普查，產業關聯表根據普查資料進行編製，因此每 5 年會公布一次依普查資料編製而得之帳表，此發布帳表具有 5 碼細分類部門，較為詳細，另為因應經濟快速變化，每 5 年之中間年度，則會編製一延長表，延長表之產業結構通常不會與前一版 5 年表差距過大，僅會依抽查資料進行微幅修正，故而延長表僅編製 3 碼中分類部門。

表 10-5 為 2004 年產業關聯表中與運輸相關之部門名稱，包括 3 碼中分類與 5 碼細分類之部門，運輸工具方面包括有船舶、汽車、機車、自行車及其他運輸工具，運輸服務指由運輸業者提供之客貨運服務，包括軌道車輛運輸、其他陸上運輸、水上運輸與空中運輸。

表 10-5 主計處產業關聯表運輸相關部門(93 年)

運輸工具			運輸服務		
部門代號	部門名稱	細分類部門	部門代號	部門名稱	細分類部門
105	船舶	10510 商船 10520 遊艇 10590 其他船舶 10591 零組配件 10592 修配	126	軌道車輛運輸	12610 鐵路客運 12620 大眾捷運系統客運 12630 鐵路貨運 12640 鐵路運輸輔助
106	汽車	10610 汽車 (包括中小客貨車、大客貨車、電動汽車、小型客車、大型客車、轎車、旅行車、大型貨車、小型貨車、特種用途車、軍用車輛、曳行車、客貨兩用車、垃圾車、救護車、消防車、貨櫃車) 10620 汽車車身 10630 汽車底盤 10691 零組配件 10695 修配	127	其他陸上運輸	12710 客運 12720 貨運 12730 自營貨運 12740 陸運輔助
107	機車	10710 機車 10791 零組配件 10792 修配	128	水上運輸	12810 客運 12820 國際貨運 12830 國內貨運 12840 水運輔助
108	自行車	10810 自行車 10891 零組配件 10895 修配	129	空中運輸	12910 客運 12920 貨運 12930 其他空運服務 12940 空運輔助
109	其他運輸工具	10910 飛機 10920 軌道車輛 10990 其他運輸工具			

資料來源：本研究整理。

表 10-6 為自 2004 年產業關聯表中彙整計算運輸相關部門之附加價值與生產總值，以及運輸部門附加價值與生產總值占全國之比重。整個運輸工具產業占全國附加價值比重約 2.64%，運輸服務產業則為 2.96%，其中又以汽車及其他陸上運輸比重較高。以個別產業附加價值占生產總值比重觀察，則其他運輸工具、軌道車輛運輸、與其它陸上運輸 3 部門附加價值

比重偏高(40.58%、36.14%、53.67%)，顯示此 3 部門之生產成本有將近半數來自資本設備、工資支出、土地租金等項目，固定成本比重偏高。

表 10-6 產業關聯表運輸部門附加價值與生產總值(93 年)

部門名稱	2004 年 附加價值	2004 年 生產總值	附加價值/ 生產總值	附加價值/ 全國附加價值	生產總值/ 全國生產總值
(105)船舶	7714	34912	22.10%	0.07%	0.14%
(106)汽車	101446	404505	25.08%	0.97%	1.63%
(107)機車	18671	88446	21.11%	0.18%	0.36%
(108)自行車	9268	68919	13.45%	0.09%	0.28%
(109)其他運輸工具	22873	56371	40.58%	0.22%	0.23%
(126)軌道車輛運輸	8826	24419	36.14%	0.08%	0.10%
(127)其他陸上運輸	158052	294466	53.67%	1.51%	1.19%
(128)水上運輸	50064	192632	25.99%	0.48%	0.78%
(129)空中運輸	65717	219400	29.95%	0.63%	0.89%

資料來源：本研究整理。

若觀察主計處雙面平減表中陸上運輸、航空運輸與水上運輸服務生產毛額占全國比重，即圖 10-16，可以發現陸運生產毛額所占比重逐年下降，由 1981 年 2.91%降至 2007 年 1.51%，相對航空與水運則無明顯變化。

#### 10.4.4 模型巢式架構

參酌文獻之設定，以及運輸 CGE 模型在整合模式中之定位，本研究初步規劃之運輸部門 CGE 模型中，產業部門生產巢式架構如圖 10-17(a)至圖 10-17(c)所示，家計部門消費巢式架構則如圖 10-18 所示。此處呈現之生產巢式架構圖為一般化的概念呈現，將所有產業在生產過程中所有可能的投入都羅列於各層結構中，並非指所有產業皆須投入這麼多種類的商品與勞務。



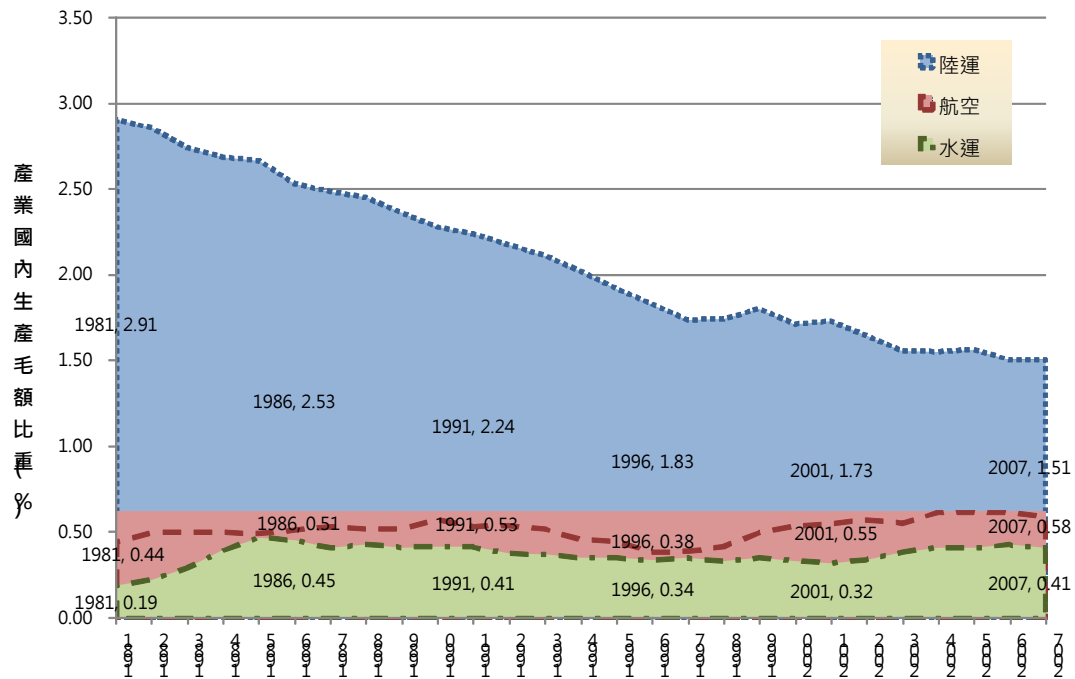


圖 10-16 主計處雙面平減表-運輸部門國內生產毛額占全國比重

圖 10-17(a)中將能源進行細分，包括生質能源有生質柴油與生質酒精，石油煉製品有汽油、柴油、燃料油、航空用油、以及其他油品，燃氣包括天然氣與燃氣輸配等，細分能源目的為便於與運具燃料選擇相對映。運輸部門則分為運輸工具與運輸服務；運輸工具之下則再分別依運輸工具型態細分為汽車、機車、自行車、船舶、飛機、軌道車輛、與其它運輸工具；汽車部分依車體噸位與用途細分為大客車、小客車、大貨車、與小貨車；大客車之下再依燃料細分為柴油大客車、天然氣公車、與生質柴油車；小客車則再分為汽油車、油電混合車、酒精汽油車、燃料電池車；大貨車細分為柴油大貨車與生質柴油大貨車；軌道車輛部分則區分為臺鐵、高鐵與捷運，其中臺鐵部分又依燃料細分為柴油機車、柴電機車、電力機車、推拉式機車、電聯車等。整個運輸工具巢式架構繪製於圖 10-17(b)。

運輸服務部分之巢式架構如圖 10-17(c)所示，首先依運輸用途區分為客運服務、貨運服務以及運輸輔助；客運服務依旅程型態區分為國際、城際、與都會運輸，3 者項下再依運具與運輸服務性質差異予以細分；主計處所定義之運輸輔助包括陸運輔助、水運輔助、空運輔助等，陸運輔助包括陸上道路、橋樑與隧道之管理及汽車拖吊，水運輔助包括港務管理之裝

卸、海關押費、浮筒租用、引水、驗疫、船抄、帶纜解纜、水上救助、消防打撈等，空運輔助則為機場管理、領航與裝卸等。

最後圖 10-18 說明家計單位之巢式架構，在運輸需求部分，首先區分通勤運輸與非通勤運輸需求，在兩者項下再細分為運具需求與運輸服務需求，運具需求即指私人運具部分，運輸工具與運輸服務之下再進一步依圖 10-17(b)與圖 10-17(c)之架構進行細分。

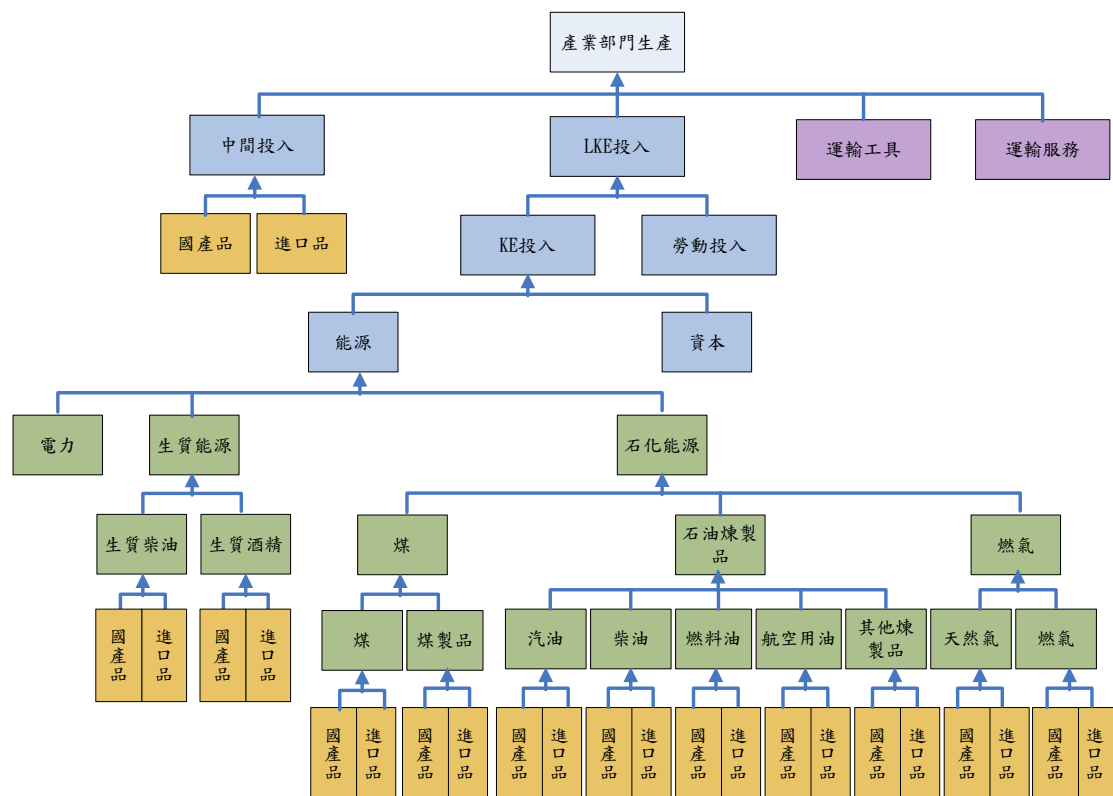


圖 10-17(a)本研究產業部門生產巢式架構圖

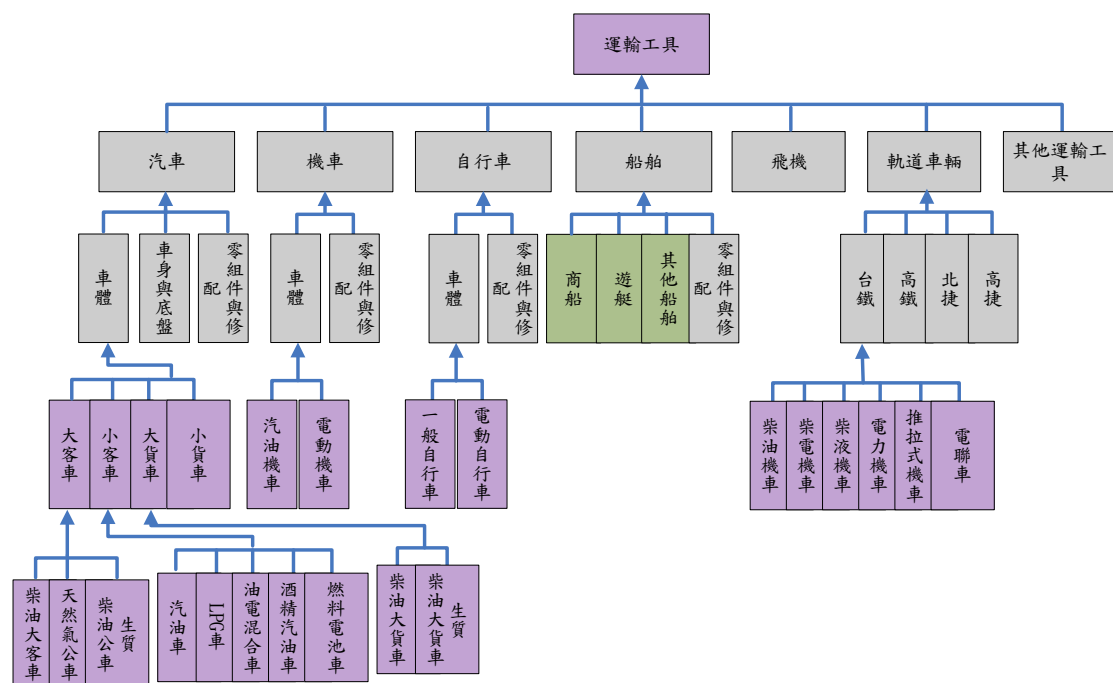
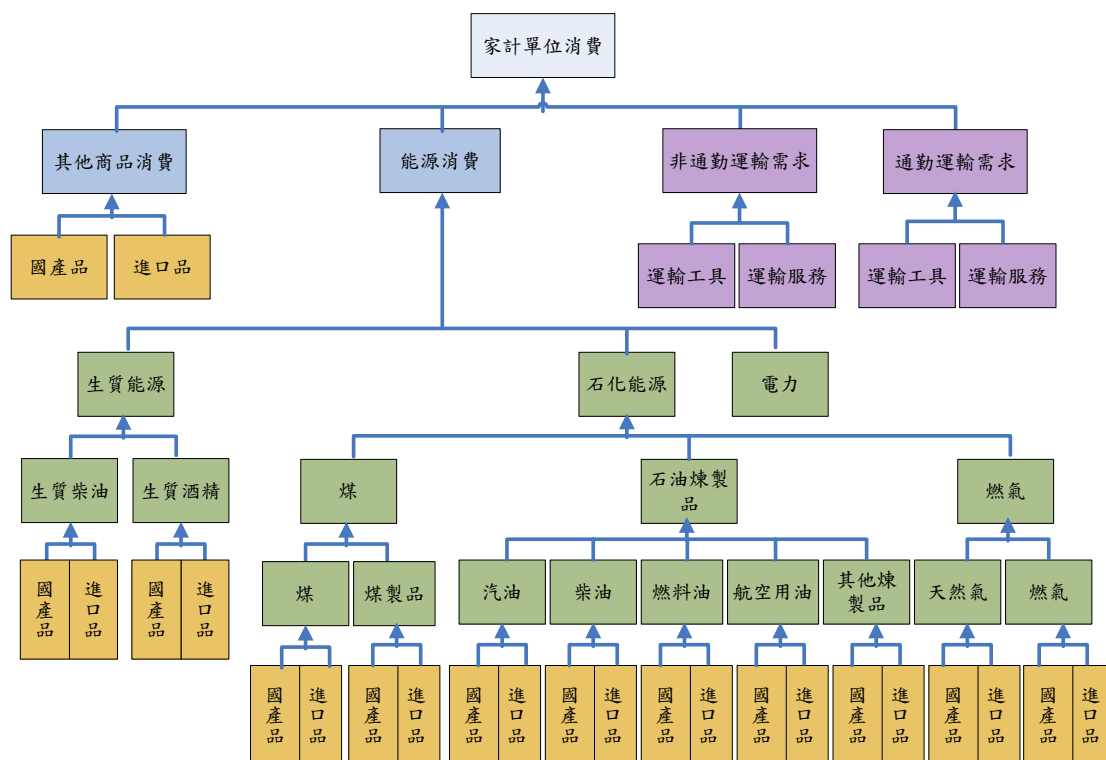
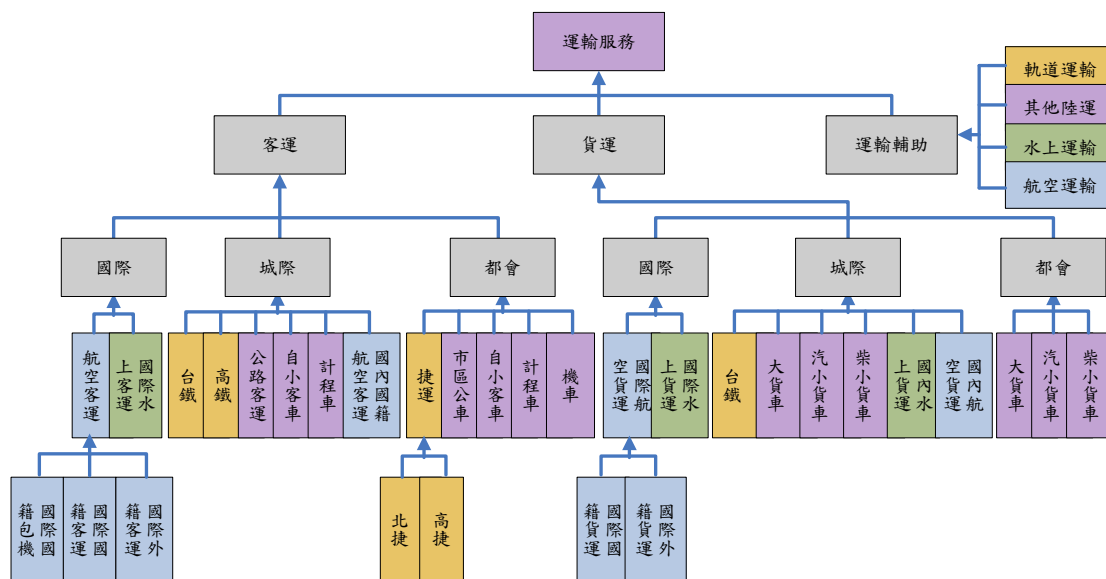


圖 10-17(b)運輸工具巢式架構圖



## 10.4.5 臺灣運輸部門 3E 整合模型操作介面規劃

### 1. 臺灣運輸部門 3E 整合模型操作介面

為使臺灣運輸部門 3E 整合模型更便於操作，並提供與「運輸部門能源與溫室氣體資訊網」及其他資料庫相連結之功能，本研究規劃設置一組臺灣運輸部門 3E 整合模型操作介面 IOTGAMS。

IOTGAMS 介面以 Visual Basic 撰寫，CGE 模型本身則由 GAMS 程式撰寫，因此介面在設計上將以連結至 GAMS 執行指令進行操作，因此使用者必須具備 GAMS 軟體方可執行。當介面程式安裝完成(程式安裝步驟說明於第 2 點)，將在「開始/程式集」中出現 IOTGAMS 程式，點選後會出現下列啟動畫面：

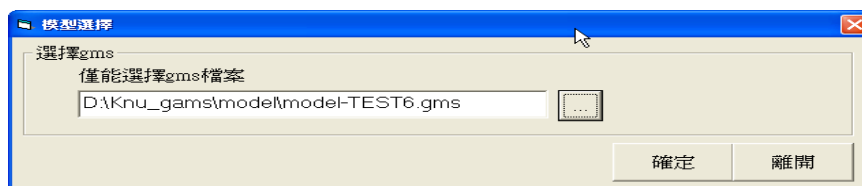


由於 CGE 模型在進行政策評估時，必須具備基準情境設定、基線校準、模擬情境設定、政策模擬評估、結果分析比較等步驟，因此操作介面亦跟隨上述步驟加以設計，故畫面中共區分 6 大區執行項目，包括檔案、歷史資料呈現、產生基線、政策模擬、結果比較、說明，茲將各項目功能與操作方式說明於下。

#### (1) 檔案

「檔案」選單下包括「模型選擇」與「離開」兩選項。「模型選擇」主要提供

使用者透過模型(GAMS 程式)所在路徑的選擇來指定欲操作之模型，當使用者建構多個模型或模型版本眾多時，此選項的指定動作便非常重要。點選「模型選擇」選項後，會出現下列畫面：



點選畫面中「…」按鈕便可指定模型所在路徑及模型主要程式檔，回到上述畫面點選「確定」便完成模型選擇工作。

「離開」則結束執行介面與程式的運作，並關畢畫面回到 Window 系統。

## (2)歷史資料呈現

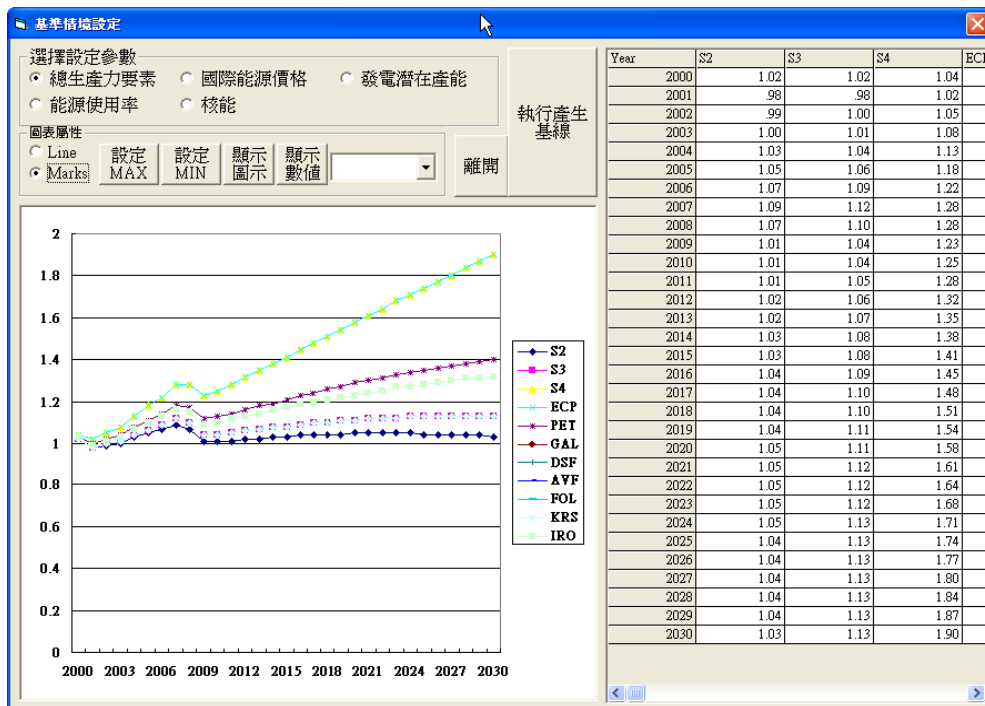
此選單主要功能在提供相關歷史數據資料之查詢與繪圖功能，以便於掌握重要數據之歷史趨勢與範圍，並做為後續模型評估之參考依據。目前規劃呈現之數據包括重要之總體經濟資料，如 GDP 及其成長率、產業結構、CO<sub>2</sub> 排放量、能源價格等，另欲納入運輸部門相關資料，如運輸部門運量、運具運量、車輛數、耗油率、乘載率、能耗、排放係數以及 CO<sub>2</sub> 排放量等，由於運輸部門相關資料在「運輸部門能源與溫室氣體資訊網」中已有詳盡的彙整，故亦可直接連結至該資訊網進行查詢。

## (3)產生基線

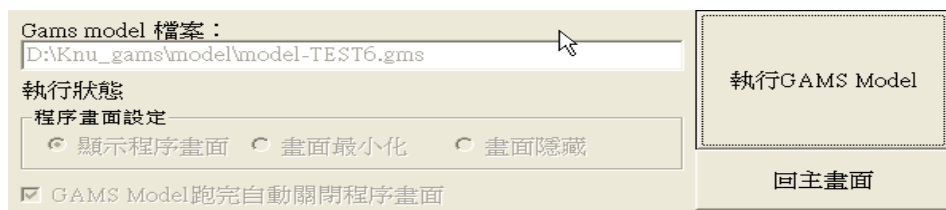
在此選單下，共有基準情境設定、執行產生基線、顯示執行結果、儲存執行結果等選項。在 CGE 模型校估基線時，首先會期望模型中所使用外生於模型的參數或外生變數，能使模型求解而得之內生變數，符合歷史現象，方能據以推估未來基線，因此「基準情境設定」即在給定該外生於模型之參數或變數。另一方面部分參數或外生變數需要納入整合模型中計量模組與運輸規劃模組所產生之資訊加以修正或設定，因此未來在「基準情境設定」中將加入兩種選項，以呼叫兩模組所產生之結果。

點選「基準情境設定」後將出現下列畫面，在此例中基準情境共設定有總要素生產力、國際能源價格、發電潛在產能、能源使用效率、核能等參數，點選任一參數，在視窗右方便出現目前該參數歷年設定值，同時在視窗左下方顯示依該參數設定值所繪製之圖形，使用者可更改視窗右

方設定值。



情境設定完成後，可點選「執行產生基線」，則會出現下列視窗：

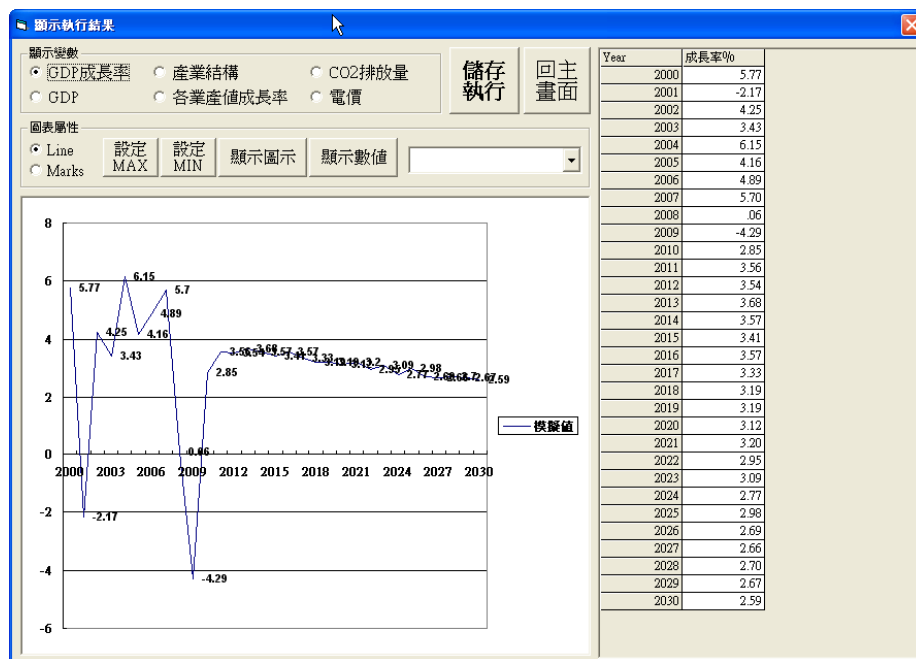


視窗中會顯示在「模型選擇」中所選定之模型，此時可點選「執行 GAMS Model」呼叫 GAMS 求解所選模型，或者點選「回主畫面」取消基線求解動作。當選擇執行 GAMS Model 時，會出現 GAMS 求解程序視窗，並於求解完成後出現下列訊息：



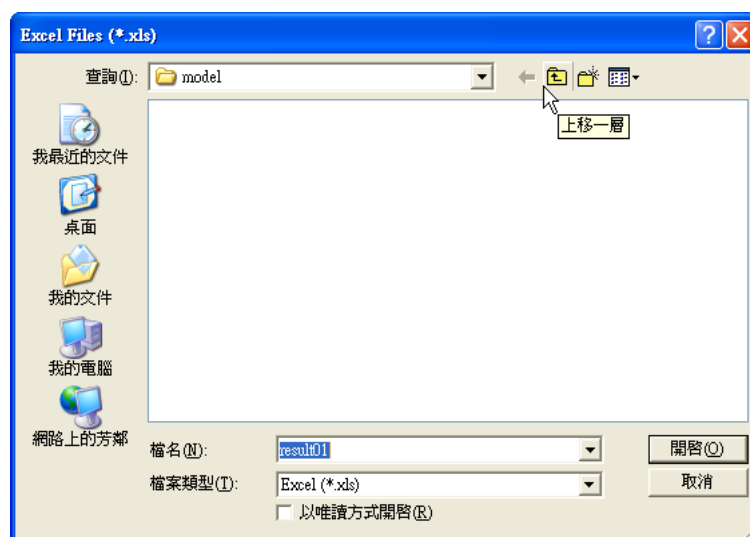
點選「確定」後，便會出現求解結果：





上述畫面即為基線求解結果，目前規劃呈現幾個重要變數，如 GDP 成長率、產業結構、CO<sub>2</sub> 排放量、GDP、各業產值成長率、電價等，未來結果呈現可視需要酌予增刪，當點選欲檢視之變數，便會於視窗右方出現求解結果之數據資訊，同時將該數據繪製於視窗左下方，以方便檢視。目前介面所設計之圖形呈現包含折線圖與直條圖。

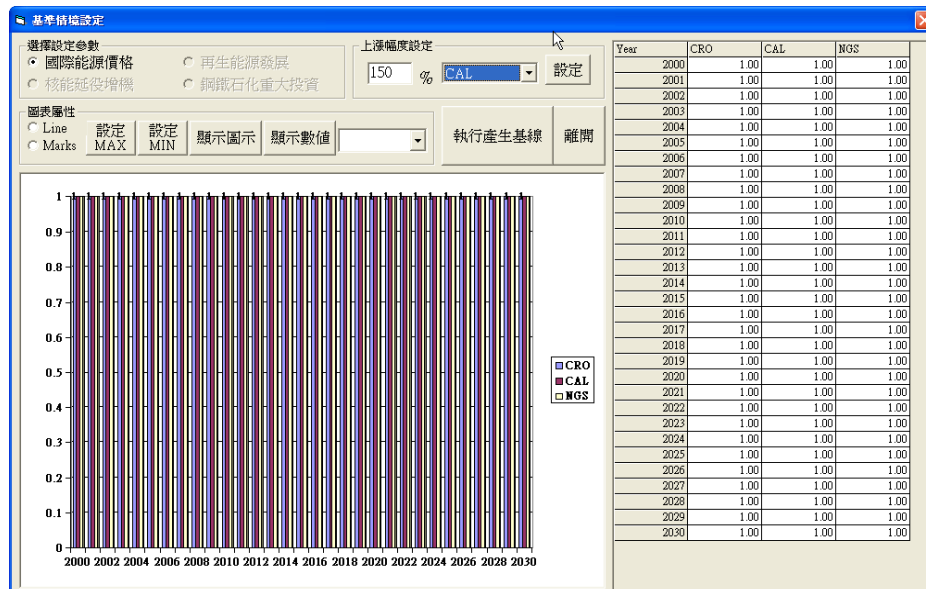
在視窗中間尚有「儲存執行」與「回主畫面」兩選項，點選「儲存執行」可將目前求解結果另存至其他資料夾，以免重新執行時結果被覆蓋，點選後會出現下列視窗，使用者可選定儲存結果之資料夾與存檔名稱，被儲存下來的檔案，可在「結果比較」時，再次呼叫並與其他結果進行比較。點選「回主畫面」即可回到啟動畫面。





#### (4)政策模擬

回到啟動畫面後，進行下一步驟，即「政策模擬」，點選後出現下列畫面：



在此畫面中，將針對當前重要議題設計不同模擬情境，例如畫面中的「國際能源價格」，在產生基線時，已對國際能源價格逐年設定一組價格，故在此處係欲模擬國際能源價格較基線上漲 25%、50%、75% 等 3 種不同情境下，對國內經濟、能源、與運輸之影響，因此可在視窗中間下拉選單處，點選預設之 125%、150%、175%，點選價格上漲之能源，並按點「設定」，即可看到視窗右方數列所有年度皆變更為 1.25、1.5、1.75，表示在所有年度中選定能源之價格相對基線將上漲之倍數。若僅欲變更若干年度，則可直接在視窗右方數列進行更改。

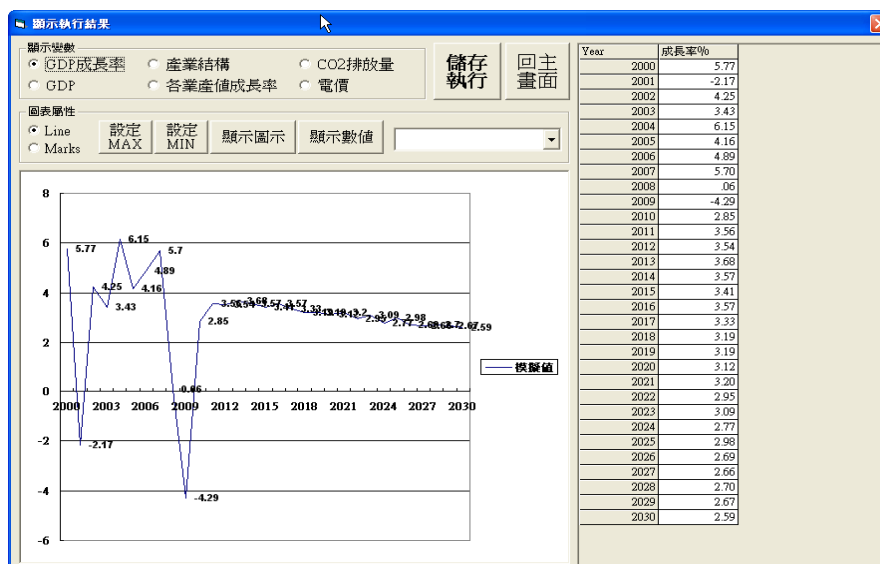
設定完成後，點選視窗中之「執行政策模擬」，便會出現下列視窗，其中呈現主程式所在路徑及檔名，可再次確認選擇模型無誤，點選「執行 GAMS Model」，便會呼叫 GAMS 執行政策模擬之求解動作。



求解完成後，同樣出現整檔完成訊息：



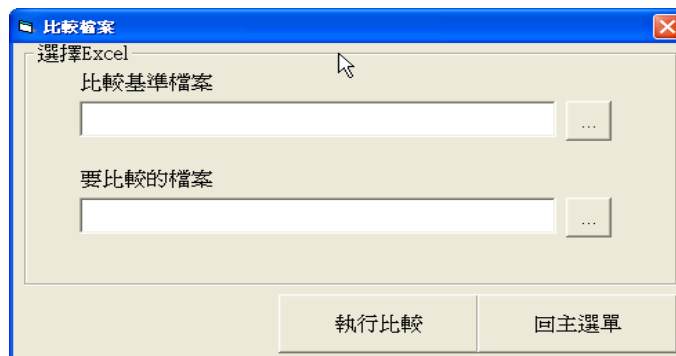
點選「確定」後，便會出現下列結果視窗：



與基線求解結果相同，政策模擬所求解之結果，亦會出現 GDP 成長率、產業結構、CO<sub>2</sub> 排放量、GDP、各業產值成長率、電價等變數，點選其一，便可在視窗右方出現求解結果數據資料，並依據該資料繪製圖形於視窗左下方，點選「儲存執行」可將此次模擬結果另存新檔，避免下次進行求解時覆蓋本次求解結果。存檔完成，點選「回主畫面」返回啟動畫面。

#### (5)結果比較

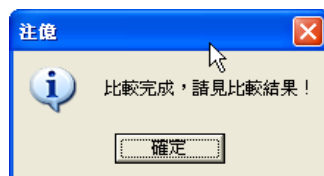
在啟動畫面中，點選「結果比較」，將出現下列視窗：



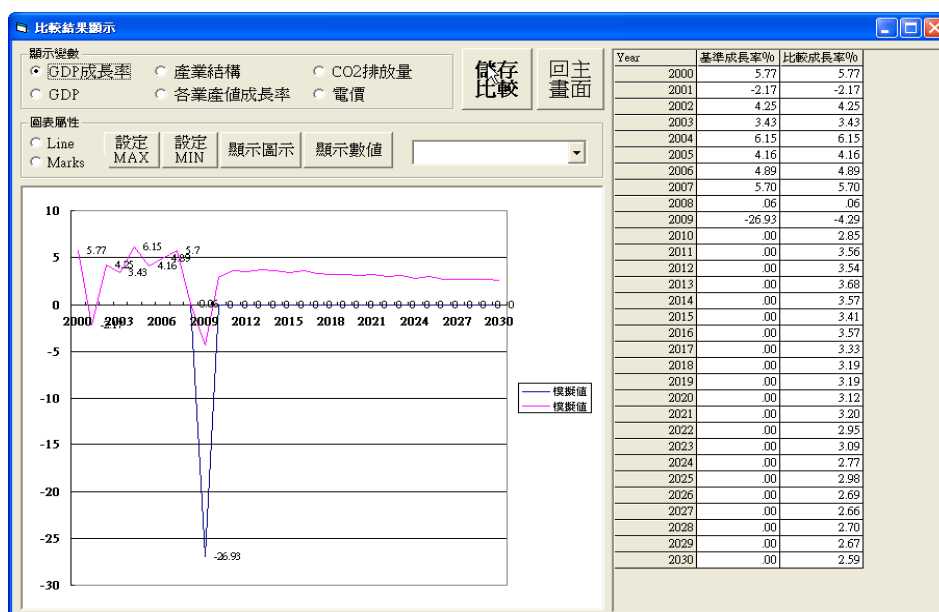
按點「…」可選擇在「產生基線」與「政策模擬」程序中所儲存的結果檔，目前畫面中設定為可選擇一組基線結果檔與一組政策模擬結果檔進

行比較，未來擬將此功能擴展至 3 組至 5 組檔案，以便比較多組政策模擬結果。

選定檔案後，點選「執行比較」，介面會呼叫所選檔案，並將同一變數之不同結果進行編排，編排完成後會出現「比較完成」訊息：



按點「確定」後，便會出現比較結果視窗：



視窗中對於結果的呈現方式與「產生基線」及「政策模擬」結果視窗完全一致，惟此處點選每一變數，皆會於視窗右方同時呈現兩組結果，並於視窗左下方呈現兩組數據之圖形，透過圖形便可清楚的比較政策或模擬情境對於各項變數之影響。點選「儲存比較」便可將上述比較結果另存新檔，而整個政策評估工作至此完成。點選「回主畫面」便可回到啟動畫面，進行其他模擬工作。

由 CGE 模型所產生在不同政策選項下的數據結果，亦可提供給運輸規劃模型做為外生參數修正之用，故未來在介面中亦應納入運輸規劃模組，並將結果加以連結，以增加整合模型反饋運算之方便性。

#### (6)說明

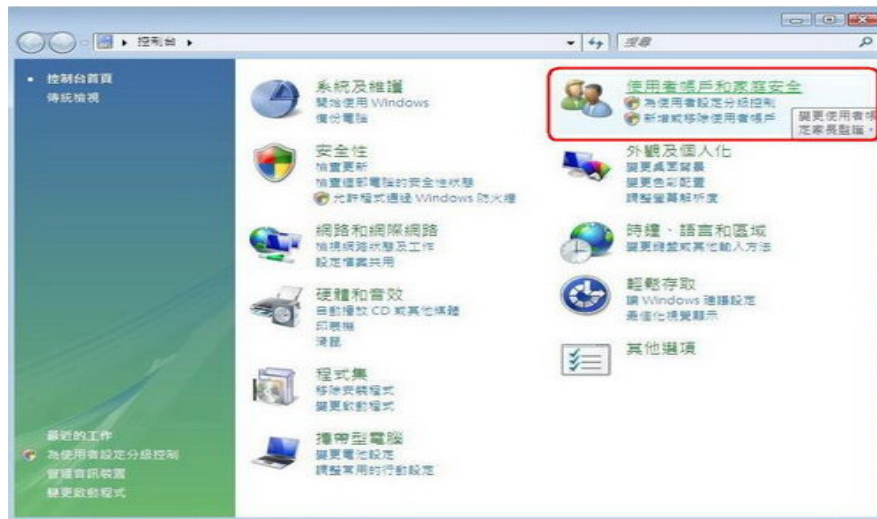
「說明」選單主要說明臺灣運輸部門 3E 整合模型研發之緣由、歷程、版本及特色等模型背景資料，另將連結至相關網站之資訊建置於此項，

例如連結至本計畫所建置之運輸部門能源與溫室氣體資訊網(網站建置與功能請參見本報告第十一章)。

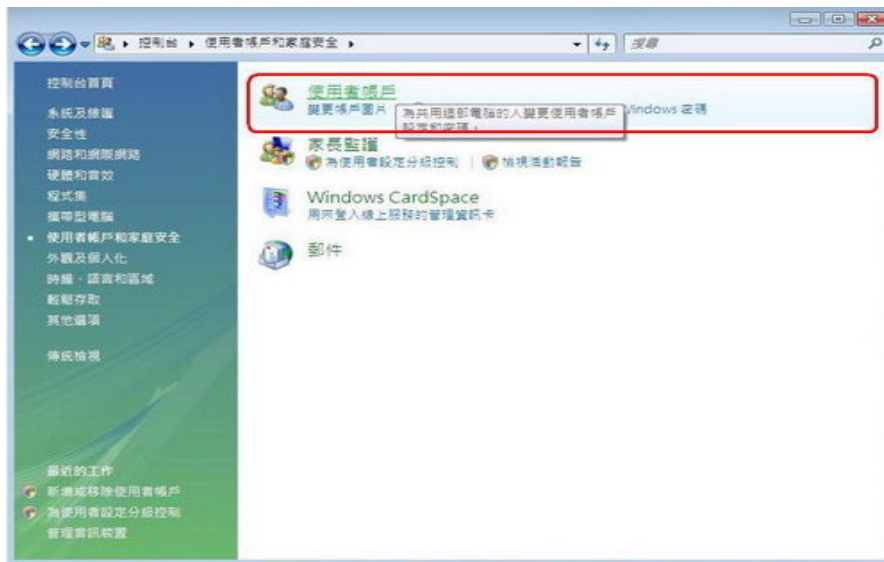
## 2. IOTGAMS 程式安裝步驟

### (1)關閉 UAC

安裝 IOTGAMS，若作業系統為 Window Vista，首先須關畢 UAC。到「控制台」點選「使用者帳戶和家庭安全」：



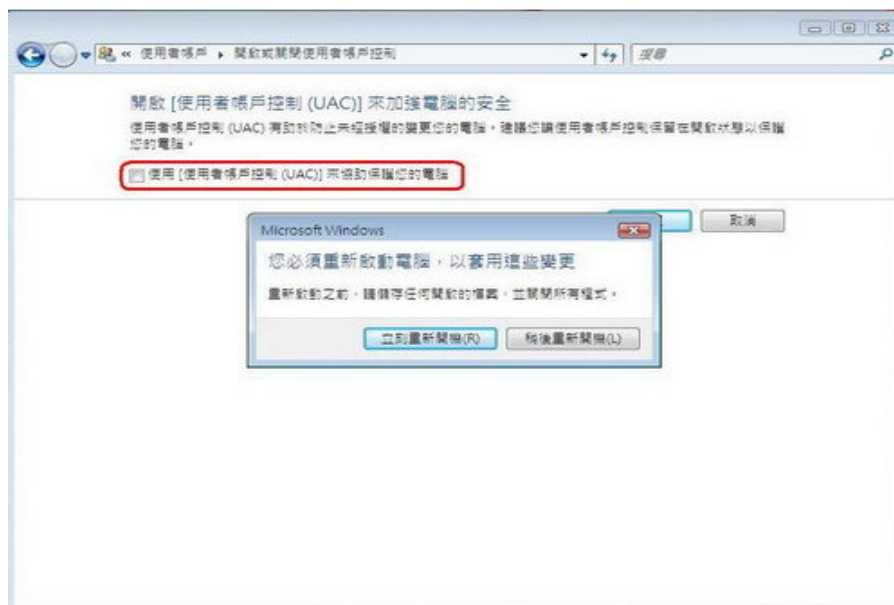
再選「使用者帳戶」：



點選最下面的「開啟或關閉使用者帳戶」：



將使用者帳戶控制的核選方塊取消，並且重新開機就完成了：

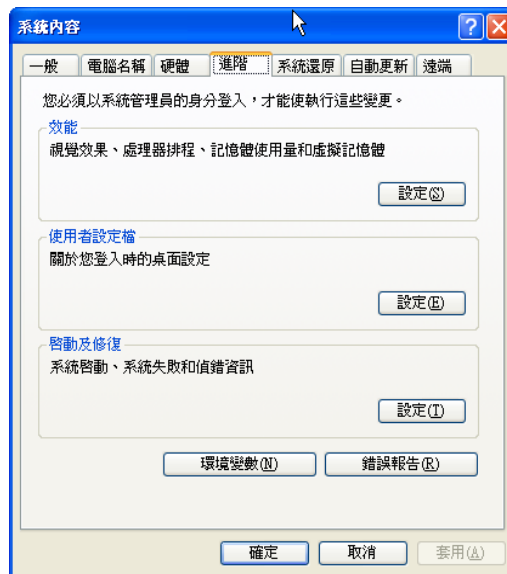


## (2)GAMS 路徑設定

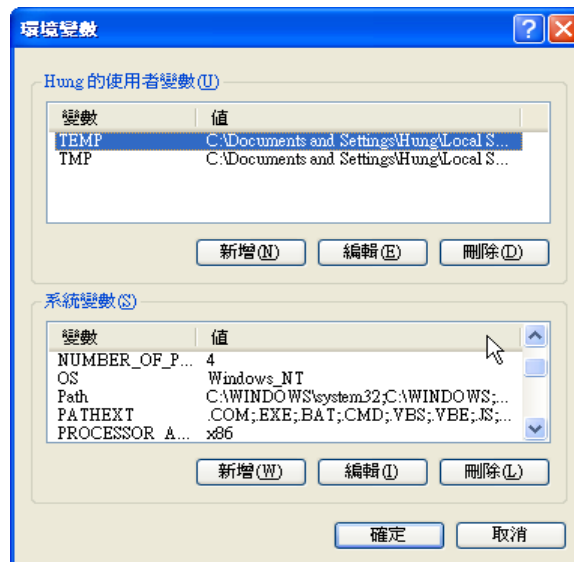
選擇「開始」/我的電腦，按右鍵選擇「內容」：



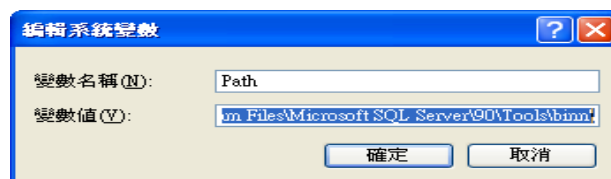
選擇「進階」/「環境變數」：



選擇「系統變數」編輯「Path」：

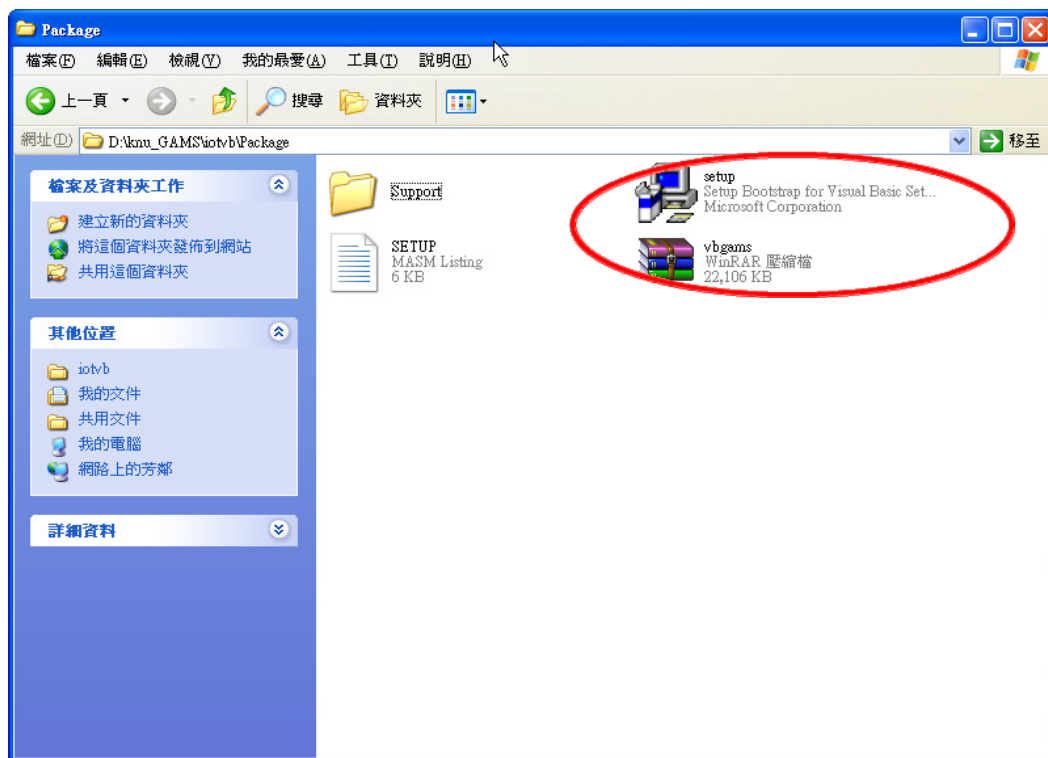


在「變數值」添加「;c:\Program files\GAMS21.5」後重新開機：

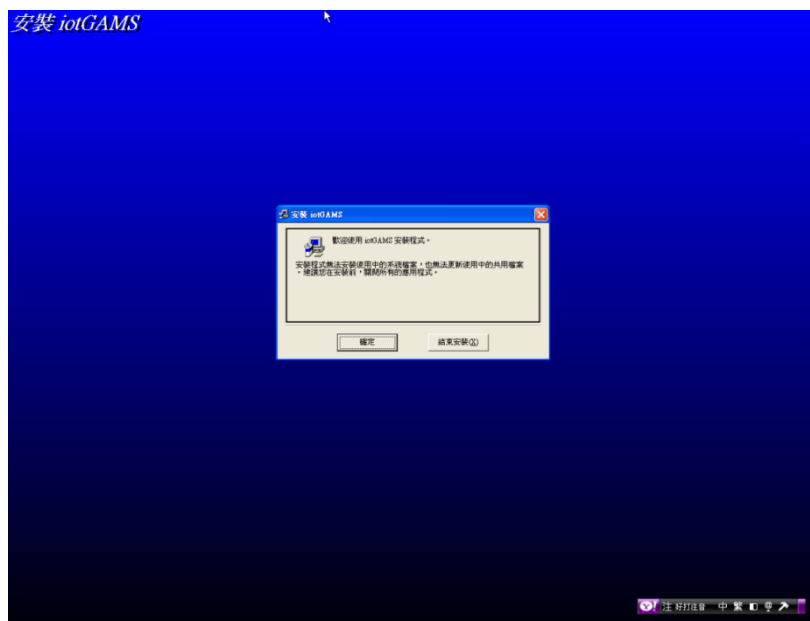


### (3)安裝程式

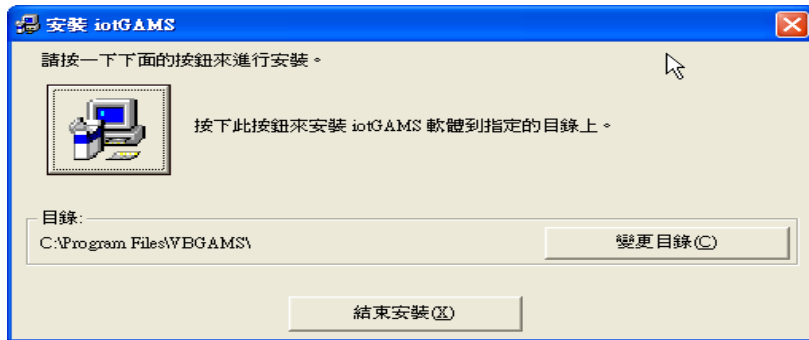
點擊 Setup.exe 進行安裝：



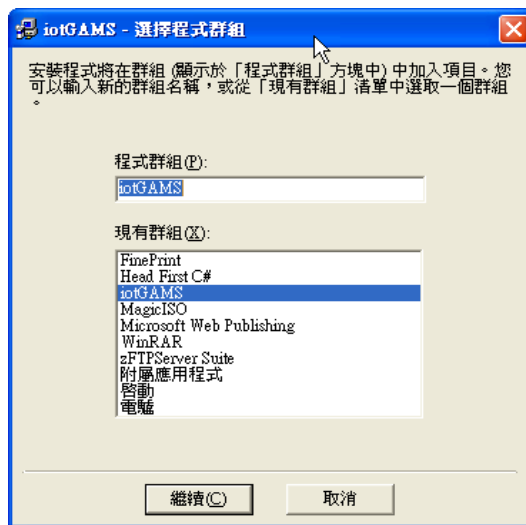
詢問是否要安裝 IOTGAMS：



變更程式安裝路徑：



變更程式在「開始」程式名稱：



點選「繼續」後便開始進行安裝：



若安裝過程當中顯示目前安裝程式版本較舊，電腦詢問是否要安裝？  
請選擇保留舊檔案，避免程式無法運行。安裝完成後出現：



在開始/程式集選擇 iotGAMS 程式，即可開啟 IOTGAMS。





## 10.5 小結

本章針對運輸與能源整合模式由彙整國際重要能源整合模型開始，探討模式整合目的、整合方式、適用範圍等，藉以提出臺灣發展運輸部門 3E 整合模式之適當方法，最後規劃出臺灣運輸部門 3E 整合模式之初步架構。彙整的結果，發現要兼顧運輸、能源、經濟、環境等議題，多數整合模型會納入一組總體經濟模型(大多為 CGE 模型)、一組運輸與能源規劃模型與一組運輸規劃模式，惟各研究所發展的整合模式會因為研究重點差異、主導研究單位專長、經費限制、時間限制等因素，而簡化模式中部分模型，以強調分析重點並節省子模型串連時間。

整體而言，整合模式會因為探討議題、研究層級、建置時間長短、經費支持等因素而決定整合模式之廣度與深度。就國內目前能源模型發展狀態，在短期內可以達到模式整合目的之最快方法，乃是結合既有模型經由反覆溝通與求解，達到整合目的，惟如此做法常受限於個別模型特色與溝通上的困難，導致無法得出適當而通盤考量下的解，畢竟既有模型開發之初始目的未必是針對運輸部門而設立，模型本身在定義與原理上便存在著根本的差異。因此長期而言，發展一套為運輸部門量身訂做的 3E 整合模式有其必要性，本研究亦提出一組臺灣運輸部門 3E 整合模型，整合運輸部門 CGE 模型、運輸規劃模型與經濟計量模型，以做為將來能源政策、氣候政策與運輸政策之評估基礎。



# 第十一章 結論與建議

隨著全球運輸部門溫室氣體排放量節節高昇，運輸部門減量問題成為哥本哈根COP15會議的焦點，而我國運輸部門近27年來CO<sub>2</sub>排放穩定成長的趨勢，使得運輸部門如何有效節能減碳，並與經濟成長脫鉤(decoupling)，成為運輸部門的重要挑戰。

因此，本所依據「2005年全國能源會議」規劃，辦理運輸部門節能減碳行動方案3年期系列研究—「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立」，本(98)年度進行第3項子計畫「建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式」，進一步落實相關運輸能源基本資料庫的建立與擴充，以補足以往未充分掌握之能源消耗、污染排放等參變數資料，俾求評估體系之完整性。

本年度計畫以運輸部門能源消耗與溫室氣體排放為主要研究議題範圍，研究對象則包含陸上運輸(含公路與軌道系統)、水路運輸與航空運輸等運輸活動排放源，主要研究內容包括更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫、運輸部門溫室氣體排放推估、運輸部門溫室氣體排放量基線推估、建立新的運輸能源效率指標、運輸部門行動方案執行成果檢討及因應策略研擬、提出經濟、能源與運輸整合模型架構、建置運輸部門能源與溫室氣體排放量查詢網頁、國內外運輸部門節能與溫室氣體減量推動現況之參訪與資料蒐集等。茲將本計畫研究結果之重要結論彙整於11.1節，並於11.2節提出具體建議。

## 11.1 結論

### 1.航空運輸：

- (1) 國內運輸業針對溫室氣體排放量的估算，大都採用能源局的能源平衡表，航空業部分的燃油耗用是由中油提供，以美金計價的即歸為國際線，無法區分本國籍或外國籍航機，而在國際線運量遠大於國內線的情況下，只適用國內航線的IPCC Tier1方法完全無法對我國航空業能源耗用與溫室氣體的排放作充分的瞭解。本研究蒐整近10年民航局與各國機場的國籍航機活動資料，以EMEP/CORINAIR燃油估算模式

(Tier 3A方法)配合繞道因子計算各年、各季國內、國際線客、貨、包機之溫室氣體排放量，可以較精準的瞭解我國航空業能源耗用情形。

- (2) 國內線的計算顯示與Tier 1相當接近。由於高鐵的影響，國內線能源耗油呈下滑趨勢，雖然除大陸、印度外，世界各國國內線都是小幅度成長，我國的負成長較為獨特，不過在減排角度看當然是正面的。
- (3) 國際線的計算與Tier 1的比較，再度證明模式的可信度。本研究分解國籍、外國籍客、貨、包機的排放量，能夠首次瞭解我國航空業溫室氣體排放的情形。另外由於國際航線有許多中停的安排，只單算第1段的燃油消耗，亦無從反應全程的排放情況；因此本研究從嚴整理資料，補足第2段航程的排放計算，係國內第1次可以完整分析探討我國航空溫室氣體排放情境的報告。
- (4) 本計畫繼而以我國之GDP與CO<sub>2</sub>/Pkm做相關趨勢分析，結果顯示我國之CO<sub>2</sub>/Pkm會隨著GDP的上升而相對減少，表示經濟驅動力的成長比環境壓力還大，其中航空業者不斷更換新機與節能的作為，也是使CO<sub>2</sub>排放減少的原因之一。

## 2.水運運輸：

- (1) 目前世界各國已經針對水運之污染源排放制定出許多節能法規，也對於水運產業提出節能技術方法以及新的船舶燃油消耗技術，這已經是運輸業的共同趨勢。
- (2) 國內水運能源消耗變化趨勢在2001年以前為正成長，之後呈現震盪起伏互見之趨勢，主要與全球的政治版圖以及經濟發展有關。近2年隨著環保意識的提升，整體的排放量已有下降。
- (3) 國際水運能源消耗趨勢在2000年以前也為正成長，之後呈現下降之趨勢，只有2004年全球散裝貨需求提升，使得整體的能源需求提升，之後整體的需求亦開始逐漸下降。
- (4) 燃料油之排放量是比柴油排放量高，由各船種資料可得知，CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O中，CO<sub>2</sub>的排放量大於其他二者。有關CO<sub>2</sub>排放部分，燃油CO<sub>2</sub>排放量每年皆大於柴油CO<sub>2</sub>排放量，2004年至2007年柴油排放量皆低於20,000噸，2004年至2007年燃料油排放量有下降的趨勢。

### 3.軌道運輸：

本研究運用 Tier 1 與 Tier 2 完成軌道部門溫室氣體排放推估，其主要結果分述如下：

#### (1) Tier 1

就軌道運輸整體看來，其溫室氣體排放量皆為逐年上升。而各部門溫室氣體排放量除臺鐵的柴油溫室氣體排放量下降約 30% 外，臺鐵的電力溫室氣體排放量自 1990 年至 2008 年約成長 174%。北捷自 1995 年開始營運至今各年溫室氣體排放量約上升 112%。高鐵於 2007 年通車至 2008 年時，溫室氣體排放量由 169 千公噸上升至 296 千公噸，一年內成長 75%。高捷為最晚營運之運具，於 2008 年 6 月開始營運，其 2008 年溫室氣體排放量為 18 千公噸。

#### (2) Tier 2

本研究 Tier 2 係由不同路線與車種做溫室氣體排放量推估，而高鐵與高捷之路線及車種較為單純，因此僅探討臺鐵及北捷。臺鐵 2008 年之溫室氣體排放量以縱貫線最為顯著，該線別為全線電氣化，又為各車種(柴電機車、柴油客車、電力機車、電聯車...等)主要行駛路線。而北捷歷年各段別(中、高運量)行駛溫室氣體排放量皆為上升趨勢，在高運量系統加入後更是明顯。

#### (3) Tier 3

至於運用 IPCC Tier 3 推估方法時，因國內軌道系統尚無負荷因子之相關文獻資料，因此在推估溫室氣體排放量時無法計算。建議可針對此課題進行調查，從不同車輛載重去統計各車輛實際的使用功率，以估算軌道系統之負荷因子。

### 4.公路運輸：

2008 年公路運輸能源消費量減至 12,215 千公秉油當量，惟其佔整體運輸部門之比率卻升高至 95.1%。其中，自用小客車、營業用小客車、公車與客運車均較 2007 年下降，而能耗量上升的運具則有機車、遊覽車、自用小貨車、特種車、營業小貨車、自用大貨車與營業大貨車。溫室氣體排放量亦

延續 2006、2007 年之下降趨勢，2008 年公路運輸下降至 33,722 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量，惟其佔整體運輸部門之比率微升至 94.8%(2006、2007 年皆為 94.6%)。

#### 5. 整體運輸部門：

2006~2008 年能源消費量由 16,203 千公秉油當量下降為 15,053 千公秉油當量，佔全國整體部門之比率亦由 14.0%下降至 12.8%。運輸部門溫室氣體排放量亦延續 2006、2007 年之下降趨勢，2006~2008 年由 38,009 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量下降為 35,559 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量。

#### 6. 運輸部門溫室氣體排放量基線預測

本計畫基線預測係假設「高鐵、臺北捷運」已存在；GDP、車輛持有(自用小客車)與能源價格維持歷史變化趨勢，進行運輸部門能源消費量與溫室氣體排放量之基線預測。基線推估結果：2015 與 2025 年運輸部門能源消費量分別為 15,765 千公秉油當量與 19,298 千公秉油當量；運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放量則分別為 42,223 千公噸與 51,678 千公噸。

#### 7. 能源效率指標

國內各界與其他多數國家一樣，大都以「能源密集度」(energy intensity)或「能源生產力」(energy productivity)做為衡量國家整體層級的能源效率指標<sup>1</sup>。「能源密集度」雖為「能源生產力」之倒數，惟二者與「能源效率」原屬不同概念，並非衡量能源效率的適當指標。

根據能源效率之實證結果，本研究發現以下主要結果：

##### (1) 公車客運車之能源效率部分：

- A. 公車與客運車的能源消費量的運量彈性約為 0.33，換言之，運量每增加 1%，能耗量將增加 0.33%。
- B. 公車與客運車的能源消費量隨時間經過而呈現增加的趨勢，顯見除了運量之外，尚有其他因素(例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等)造成公車客運車的能源消費量的持續增長。
- C. 公車與客運車運量與人均 GDP 呈負向關聯，主要是因為所得增加後，民眾將改用其他替代性運具(如高鐵、捷運、自小客車等)，

---

<sup>1</sup>臺灣亦復如此。此二指標之所以常被使用是因為概念簡單易懂，資料的取得與計算都相當容易，大都來自官方統計。



因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。

- E. 公車與客運車的能源消費具有規模經濟，因其能源消費量隨運輸部門 GDP 的增加而降低。因此，在其他條件不變的情況下，公車客運車的 GDP 未來若能持續成長，將有助於節能。
- F. 公車與客運車的能源消費量與柴油價格指數並無顯著關聯，可能原因如下：a. 公車客運車班有其僵固性，因應油價而機動調減班次的空間有限。b. 油價水準不夠高。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於公車客運車之能源消費量的抑制效果甚為有限。
- G. 公車與客運車之能源需求效率確有長期改善趨勢。

(2) 國籍航空客運之能源效率部分：

- A. 國籍航空客運之能源消費的運量彈性為 0.5433，換言之，運量(以延人公里表示之)每增加 1%，將使能源消費量增加 0.5433%，故可視為缺乏彈性。
- B. 單位延人公里之 GDP 可用以反映運量的單位價格，其與能源消費量顯著正相關：運量的單位價格每增加 1%，將使能源消費量增加 0.1387%，亦可視為缺乏彈性。
- C. 能源消費量與燃料油價格及原油國際價格均無顯著關聯，換言之，國籍航空客運之能源消費的能源價格彈性幾近於 0，這與航線航班的僵固性及國內油價管制不無關聯。不過，當國際能源價格上漲到特定水準後，難保此一現象仍可持續維持。
- D. 在樣本期間年(1999Q1～2008Q4)曾先後發生 911 恐怖攻擊(2001Q3/Q4、SARS(2003Q2/Q3)、及次級房貸風暴(2007Q3/Q4)等事件，雖對國籍航空客運的能源消費造成減量效果，但統計上並不顯著。
- E. 國籍航空客運在能源消費上具有不可忽視的匱效率，惟能源價格對於需求效率並無顯著的影響，每年第 4 季的能源需求效率有低於其他 3 季的傾向，惟其間差距猶不顯著。
- F. 在 2007 年以前，能源需求效率在每年的第 4 季大都低於其他各季，但 2008 年的全球金融危機卻扭轉變了此一現象。此外，在

2005 至 2007 年間的能源需求效率有惡化現象(平均效率係數達 1.163，高於 1999 至 2004 年間的 1.077)，但在 2008 年則出現明顯的改善(平均效率係數降至 1.065)，進一步的節能空間目前不超過 7%，除非將來的節能技術有不同凡響的創新。

G. 就國籍航空客運而言，能源需求效率的變動主要是受以下 3 項效果的影響，因此，擴大規模及提升國籍航空競爭力與其能源生產力，實乃提升能源需求效率的關鍵性策略：

a. 規模效果：有效擴大國內國籍航空客運的規模(以航空業的 GDP 表示之)。

b. 競爭效果：外國航空之運量相對於國籍航空之比例(Z3)越大時，將有助於能源需求效率提升。

c. 生產力效果：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

(3) 臺鐵之能源效率部分：

A. 臺鐵之能源需求效率一直呈現惡化趨勢，直至 2003 年以後始見好轉，但其間差距並不顯著。

B. 油料費、捷運、高鐵及公路營運對臺鐵之能源需求效率有明顯的激勵效果。

C. 雖然效率值顯示目前進一步改善的空間甚為有限，但這僅為一種相對概念，因此，未來猶應針對軌道運輸的能源效率，從技術創新面尋找可以進一步突破之道。

## 8.減量策略

(1) 運輸部門應有的減量額度取決於減量原則，在等比例減量原則下，前期(2020 年之前)的減幅大於成本有效性原則下的減幅；後期(2025 年)則反之。

(2) 經濟成長大幅增加運輸部門的減量壓力，如果忽略經濟成長所增加的排放量，將高估運輸部門達成減量目標的潛力。因此，實施其他策略(如提升系統效率、推動彈性機制、改變運具等)勢不可免。



## 9.整合模型架構

長期而言，發展一套為運輸部門量身訂做的 3E 整合模式有其必要性，本計畫已初步研擬一組臺灣運輸部門 3E 整合模型架構，整合運輸部門 CGE 模型、運輸規劃模型與經濟計量模型之長處，以做為將來能源政策、氣候政策與運輸政策之評估基礎。未來人才培育、資料庫建置、子模組特性與模組間溝通，將是模式建立前必要且非常重要的前置性工作。

## 11.2 建議

### 1.航空運輸：

本計畫是國內首度就全國之機場航機活動調查，惟限於時間，對於蒐整各航空公司之節能減碳措施、時間點與其成效，無法在計畫中呈現與說明，因此未來若能得到航空公司與相關機構之協助，將可補強我國空運業對於節能減碳工作之成果與效能。

### 2.水運運輸：

- (1) 本研究期望能區分各船種國際用油與國內用油量，以計算國內與國際航運各船種之排放量，惟遇到資料無法對應的問題，因此後續仍有賴各級單位能夠提供相關資料，方能使海運之能源分析能更完整。例如若要建立能源效率，需得知海運各船種之國內與國際航運延噸海裡，目前從交通統計要覽中，國籍船舶之延噸海裡未能分出各船種之延噸海裡，也無法詳細區分是國內航運或是國際航運，而能源使用量目前只能從能源平衡表中來獲得資料，兩者分類不同，無法對應來計算各船種的溫室氣體排放量。
- (2) 臺灣造船方面對於節能之規定，目前航政司與港務局均已重視，但法令上尚未具體規定。各造船公司主要還是以國際公約為主，主要都是依據驗船中心所採用之MAPOLNX-6為規範，或是依據IMO所訂定之引擎排放規範來造船。其中IMO對於硫的排放控制較為嚴格，以國內長榮海運之環保船為例，即依據MAPOLNX-6為規範而建造，並符合美國西岸加州港口所規定之排放含硫量1.5ppm以下之規定。訂定造船規定時，應配合排放減量，建議相關單位可以研擬適當之法令加以管制，或比照國際海運組織之排放限制規範來辦理。
- (3) 水運能耗方面，目前由能源平衡表僅能獲得能源使用總量而無法區分

船種，無法套用IPCC按船種計算排放量之排放係數。若需要細分至各船種之排放量，有賴於交通部航政司與經濟部能源局之協調。

- (4) 若要計算能源效率，需得知海運各船種之國內與國際航運延噸海裡，客船則需要得知國內與國際航運之延人海裡，再配合各船種之用油量方能計算出能源效率。目前從交通統計要覽中，國籍船舶之延噸海裡未能分出各船種之延噸海裡，也無法詳細區分是國內航運或是國際航運所產出之延噸海裡，建議可以依據各船種於各年度來加以區分。
- (5) 交通統計要覽中主要將船舶以國籍船舶登記數按船種及船齡區分，而要探討能源使用量時目前只能從能源平衡表中來獲得資料，兩者分類方式不同，無法依據相同項目來對應計算各船種的溫室氣體排放量。
- (6) 為計算各船種溫室氣體排放量，必須調查國內與國際航運各船種延噸海裡所對應之用油量，此數據建請由交通部協調經濟部能源局提供。

### 3.軌道運輸：

- (1) 在推估軌道運輸溫室氣體排放量的同時，應更努力的推動節能與溫室氣體的減量，軌道運輸氣體排放資料逐漸明確建立後，可著手進行減量策略的建立與執行。
- (2) 本研究建議可從系統性比較、軌道系統相關資料調查、策略運作方式等三大方向做為以後軌道運輸減量策略措施之參考基準，同時在推動相關策略與措施時，若能掌握各運具的車隊之運輸服務量與其能源使用效率，將可建立較好的運作機制。

### 4.運輸部門溫室氣體排放量基線預測：

本項基線預測工作必須針對各項解釋變數假設其未來變化趨勢，進而進行預測，建議後續宜就重要且常用之經濟社會變數建立一致性的預測資料庫(例如：GDP、車輛持有、能源價格、人口數等)，以整合各計畫間相關預測工作能有一致性的比較基準。

### 5.能源效率指標

- (1) 運輸部門的節能減排與能源效率問題逐漸受UNFCCC的重視，故應正確掌握各運具的能源效率及其趨勢，以作為未來運輸系統規劃的參考。
- (2) 根據實證結果顯示，影響能源效率的主要驅動力為：生產力效果、競

爭效果，及規模效果。此為提升運輸部門能源效率應予強化的重點。

(3) 宜長期建置能源需求效率指標，並與其他指標相互輝映比較，以掌握正確趨勢，並反映施政與管理績效。

(4) 以能源平均生產力衡量能源效率時，存在固有問題：

➤ 不符效率本質，無法真實反映能源效率

➤ 永遠低於全國平均水準

➤ 難見能源效率改善的成果

(5) 軌道運輸與公路運輸有明顯的替代關係，前者的運量規模對於公路運輸的能源需求效率具有正面助益，應可視為發展大眾運輸系統的重點。

## 6.減量策略

能源價格合理化及開徵能源稅等總體政策對於運輸部門的減量效果高過於部門的減量策略。是目前較具有有效性的策略故可考慮儘早實施，惟其經濟影響亟待有效評估。

## 7.整合模型架構

鑑於國際減量規範、能源危機、及國內相關法案緊迫，而運輸部門的排放與減量潛力受國內經濟成長的影響至為明顯，因此，我國應參照國外作法，及早建構運輸部門的 $3E+C+S^2$ 的影響評估及決策支援模型。為因應未來節能減碳的施政目標， $3E+C+S$ 的影響評估及決策支援模型宜適度整合經濟計量模型、能源模型、運輸規劃模式，以及CGE模型。模式發展與整合工作需要長期的溝通與協調，並需有適當規模的研究人力和團隊，故應充實科研經費，儘早強化人才培訓及能力建置等前置性工作。

---

<sup>2</sup>  $3E+C+S$  代表由能源(Energy)、經濟(Economy)、環境(Environment)、競爭力(Competitiveness)與安全(Security)等面向，進行整合評估。



## 參考文獻

- 1.1.1 經濟部能源局(2009)。我國燃料燃燒 CO<sub>2</sub> 排放統計與分析。  
台北市：經濟部能源局。
- 2.1.1 FAA(2004). Aviation emissions: a primer. Federal Aviation Administration, USA, 2004.
- 2.1.2 Kim, B., Fleming, G., Balasubramanian, S., Malwitz, A., Lee, J., Ruggiero, J., Waitz, I., Klima, K., Stouffer, V., Long, D., Kostiuk, P., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillett, W., (2005a). “SAGE: The system for assessing aviation’s global emissions”. FAA-EE-2005-01.
- 2.1.3 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 2.1.4 Federal Aviation Administration (FAA): SAGE – System for assessing Aviation’s Global Emissions, Detailed System Architecture and Design Specification Document (DSADS), June 2003.
- 2.1.5 Eysers, C.J., Norman, P., Plohr, M., Michot, S., Atkinson, K., and Christou, R.A., (2004). ‘AERO2k Global aviation emissions inventories for 2002 and 2025.’ QINEYIQ/04/01113 UK, December 2004.
- 2.1.6 EMEP/CORINAIR-EEA Emission Inventory Guidebook (2001), The National Environmental Research Institute.
- 2.1.7 ICAO Carbon Emissions Calculator, (2008)
- 2.1.8 Gerhard Huttig, Adir Kende, Holger Pabst, (2006). “Methodologies for Aviation Emission Calculation – A comparison of alternative approaches towards 4D global inventories.” Berlin University of Technology Institute of Aeronautics and Astronautics.
- 2.1.9 Sutkus D. J. Jr. / Baughcum S. L. / DuBois D. P.: Scheduled Civil Aircraft Emission Inventories for 1999: Database Development and Analysis, (2001)

- 2.2.1 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, IPCC 2006。
- 2.2.2 歐洲環保局，<http://air-climate.eionet.eu.int/>
- 2.2.3 國際海運組織 (International Maritime Organization)  
<http://www.imo.org/>
- 2.2.4 MARINTEK (2000), Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships. Final report to the IMO 2000.
- 2.3.1 IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 2.3.2 Locomotive power units engine design operation and emissions
- 2.4.1 交通部運輸研究所(2002)。運輸部門能源需求預測之研究。台北：交通部運輸研究所。
- 2.4.2 黃運貴(2005)。運輸部門能源消費量及節能措施之研究。國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，台北市。
- 2.4.3 蔡期源(2006)。課徵碳稅對城際間運具需求影響之分析。國立高雄第一科技大學運籌管理研究所碩士論文，高雄市。
- 2.4.4 呂孝竹(2007)。我國小客車數量預測模式之研究。逢甲大學交通工程管理研究所碩士論文，台中市。
- 2.4.5 邢治宇(2008)。基於回歸方法與灰色模式的能源消費預測比較之研究。石油季刊，44(2)，83-94 頁。
- 2.4.6 Sözen, A., Gülseven Z. and Arcaklioglu, E., (2007), Forecasting based on sectoral energy consumption of GHGs in Turkey and mitigation policies, Energy Policy 35(12): 6491-6505.
- 2.4.7 林珮筠(2007)。能源相關稅制對溫室氣體減量之成效探討 - 歐洲十五國之實證研究。國立政治大學財政研究所碩士論文，台北市。
- 2.4.8 林世強(2007)。以二氧化碳排放量探討島嶼之永續發展策略。地理學報，(47)，39-57 頁。
- 2.4.9 張翊峰、余元傑、吳嘉榮、張家鳳、李沛鈴(2007)。台灣地

區電力事業效能提升及燃料替代對產業關聯之影響分析。嘉南學報，33，225-236 頁。

- 2.4.10 Huang, W. M., Lee, G. W. M. and Wu C. C., (2008), GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis, *Energy Policy* 36(1): 239-247.
- 2.4.11 廖慧嵐(2006)。台灣地區公路運輸部門能源消費與 CO<sub>2</sub> 排放變動分析。國立成功大學環境工程學研究所碩士論文，台南市。
- 2.4.12 吳懿哲(2007)。公路運輸部門能源需求預測模式與二氧化碳減量策略評估之研究。國立台灣海洋大學河海工程學研究所碩士論文，基隆市。
- 2.4.13 李正豐、林勻淅(2008)。我國公路運輸溫室氣體排放變動因素分解分析。運輸計劃季刊，37(4)，363-380 頁。
- 2.5.1 Patterson, M.G. (1996), What Is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues, *Energy Policy*, 24(5): 377-390.
- 2.5.2 蕭再安、鄭瓊雯(1990)。運輸能源效率指標之研究。中華民國運輸學會第 15 屆學術研討會會議論文，215-224 頁。
- 2.5.3 Jenne, C.A. and R.K. Cattell (1983), Structural Change and Energy Efficiency in Industry, *Energy Economics*, 5(2): 114-23.
- 2.5.4 Liu, X.Q., B.W. Ang, and H.L. Ong (1992), The Application of the Divisia Index to the Decomposition of Changes in Industrial Energy Consumption, *Energy Journal*, 13(4): 161-177.
- 2.5.5 Turvey, R. and A.R. Norbay (1965), On Measuring Energy Consumption, *Economic Journal*, 75(300):787-793.
- 2.5.6 Berndt, (1978), Aggregate Energy, Efficiency and Productivity Measurement, *Annual Review of Energy*, 3: 18-31.
- 2.5.7 Farrell, M. J. (1957), The Measurement of Productive

- Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3): 253-290.
- 2.5.8 Coelli, T. J., D. S. P. Rao and G. E. Battese (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers: USA.
- 2.5.9 Afriat, S. N. (1972), Efficiency Estimation of Production Function, *International Economic Review*, 13(3): 568-598.
- 2.5.10 Richmond, J. (1974), Estimating the Efficiency of Production, *International Economic Review*, 15(2): 515-521.
- 2.5.11 Aigner, et al., (1977), Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, 6(1): 21-37.
- 2.5.12 Feijoo, M. L., J. F. Franco, and J. M. Hernández (2002), Global Warming and The Energy Efficiency of Spanish Industry, *Energy Economics* 24, 405-423.
- 2.5.13 鄭秀玲、劉錦添、陳欽奇(1997)。台灣中小企業銀行的效率分析(1986-1994年)。經濟論文，25:1，頁69-95。
- 2.5.14 鄭秀玲、周群新(1998)。調整風險後之銀行效率分析：台灣銀行業的實證研究。經濟論文叢刊，26:3，頁337-366。
- 2.5.15 黃志典、黃智遠(2004)。台灣地區銀行產業成本效率之實證研究—隨機邊界法之應用。企銀季刊，27:3，頁1-28。
- 2.5.16 Schmidt, P. and R.C. Sickles (1984), Production Frontiers and Panel Data, *Journal of Business and Economic Statistics*, 2(4): 367-74.
- 2.5.17 Cornwell, C., P. Schmidt and R.c. Sickles (1990), Production Frontiers with Cross-Sectional and Time-Series Variation in Efficiency Levels, *Journal of Econometrics*, 43: 185-200.
- 2.5.18 傅祖壇(1994)。要素固定性、對偶成本邊界函數及生產效率之衡量—台灣毛豬農場之實證。農業經濟叢刊，22:4，頁451-475。
- 2.5.19 林啟淵(2000)。臺灣農業生產效率及技術進步之衡量。政策



月刊，54，140-145 頁。

- 2.5.20 林卓民、陳慧珠與馬維揚(2001)。新竹科學園區 IC 產業技術效率之分析-非中立隨機邊界模型之應用。華岡經濟論叢，1:1，97-125 頁。
- 2.5.21 張睿詒、侯穎蕙(2001)。省立醫院最佳經營典範探討-技術效率、分配效率與整體效率之評估。管理評論，20:4，1-27 頁。
- 2.5.22 張保隆、黃旭男與沈佩華(1997)。臺灣地區社會福利慈善事業基金會之績效評估。管理與系統，4:1，145-160 頁。
- 2.5.23 刑台平與曾國雄(2002)。警察機關刑事偵防績效衡量--DEA 與 AHP 法之應用。Journal of Information, Technology and Society，33-56 頁。
- 2.5.24 黃台心(1999)。由利潤函數衡量我國銀行廠商之經濟效率-參數計量法的應用。經濟論文，27:2，283-309 頁。
- 2.5.25 王美惠(2001)。台灣銀行業經濟效率與規模經濟分析-參數法與無參數法之比較。淡江大學管理科學學系博士論文，台北市。
- 2.5.26 黃崇興與黃蘭貴(2000)。應用數據包絡法於航空公司航線經營績效之分析。管理學報，17:1，149-181 頁。
- 2.5.27 蕭志同、張國賓與涂宜君(1999)。臺灣連鎖便利商店經營效率之研究。臺北銀行月刊，29:5=343，144-154 頁。
- 2.5.28 董鈺琪、鍾國彪與張睿詒(2000)。綜合教學醫院推行品質管理與營運績效之關係研究。中華公共衛生雜誌，19:3，221-230 頁。
- 2.5.29 陳榮方(1998)。以資料包絡法評量我國大學校院之教育品質。高雄科學技術學院學報，28，27-238 頁。
- 2.5.30 Price, C. W. and T. Weyman-Jones (1996), Malmquist Indices of Productivity Change in the UK Gas Industry Before and After Privatization, Applied Economics, 28: 29-39.
- 2.5.31 黃芸珊(2001)。使用資料包絡分析法探討臺灣地區加油站之經營效率。國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，新竹

市。

- 2.5.32 呂理瑒(1999)。台灣地區民營加油站之相對經營績效評估。國立中央大學企業管理研究所碩士論文，中壢市。
- 2.5.33 林唐裕(2004)。臺灣地區加油站設置與經營管理績效分析。臺灣銀行季刊，55:1，103-134 頁。
- 2.5.34 Hollas, D. R., Macleod, K. R. and Stansell, S. R. (2002), A data envelopment analysis of gas utilities efficiency, Journal of Economics and Finance, Vol. 26 No. 2, pp. 123-137.
- 2.6.1 Price, L. (2005), Voluntary Agreements for Energy Efficiency or GHG Emissions Reduction in Industry: An Assessment of Programs Around the World, Environmental Energy Technologies Division, LBNL-58138, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
- 2.6.2 Cabugueira, M. F. M.(2001), Voluntary Agreement as an Environmental Policy Instrument-Evaluation Criteria.
- 3.1.1 台灣能源平衡表，經濟部能源局網站，  
[http://www.moeaec.gov.tw/opengovinfo/Plan/all/energy\\_balance/main/ch/default.htm](http://www.moeaec.gov.tw/opengovinfo/Plan/all/energy_balance/main/ch/default.htm)。
- 3.1.2 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。
- 3.1.3 交通部統計處(2007)。台灣地區汽車延車公里統計。
- 3.1.4 交通部統計處(2007)。台灣地區遊覽車營運狀況調查報告。
- 3.1.5 交通部統計處(2008)。臺灣地區市區汽車客運營運概況。
- 3.1.6 交通部統計處(2008)。臺灣地區公路汽車客運業營運概況。
- 3.1.7 交通部統計處(2007)。台灣地區自用小客車使用狀況調查報告。
- 3.1.8 交通部統計處(2007)。台灣地區計程車營運狀況調查報告。
- 3.1.9 交通部統計處(2008)。機動車輛登記數。
- 3.1.10 交通部統計處(2007)。台灣地區機車使用狀況調查報告。
- 3.1.11 交通部台鐵管理局(2008)。台灣鐵路統計年報。

- 3.1.12 交通統計處(2008)。交通統計月報。
- 3.1.13 黃運貴(2005)。運輸部門能源消費量及節能措施之研究，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，台北市。
- 4.1.1 民航局統計年報 88-97 年。
- 4.1.2 ICAO (2008), Carbon Emissions Calculator.
- 4.1.3 EMEP/CORINAIR-EEA (2001), Emission Inventory Guidebook.
- 4.1.4 Kettunen, et al. (2005), Flight Efficiency Studies in Europe and the United States, 6th USA / Europe Seminar on ATM Research and Development Baltimore, Maryland, USA, 27 - 30 June, 2005.
- 4.1.5 AEA(2009), Energy & Environment, UK Government Quality Assurance Scheme for Carbon Offsetting, Approval requirements and procedures for offset providers.
- 4.1.6 IPCC (1999), Aviation and the Global Atmosphere Special Report of the IPCC Working Groups I and III Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- 4.1.7 Schmitt A. and B. Brunner (1997), Emissions from aviation and their development over time. In: Schumann U. et al. (ed) Pollutants from air traffic – results from atmospheric research 1992–1997, DLR-Mitteilungen, 97–04, DLR-Ko... In, Germany, pp 37–52.
- 4.1.8 ANCAT/EC2 (1998), Global Aircraft Emissions Inventories for 1991/92 and 2015, Report by the ECAC/ANCAT and EC working group. EUR No: 18179.
- 4.4.1 IATA (2009), Carbon-Neutral Growth by 2020, Press Releases.
- 4.4.2 Macintosh A and L. Wallace (2009), International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand?, Energy Policy, 37, 264–273.
- 4.4.3 Berghof, R., A. Schmitt, C. Eysers, K. Haag, J. Middel, M.

- Hepting, A. Grübler, and R. Hancox (2005), CONSAVE 2050 Constrained Scenarios on Aviation and Emissions.
- 4.4.4 Owen, B. and D. S. Lee (2006), Allocation of international aviation emissions from scheduled air traffic-Future cases, 2005 to 2050 (Report 3 of 3).
- 4.4.5 Airbus (2009), Airbus Global Market Forecast 2009-2028, Available at: <http://www.airbus.com/en/corporate/gmf2009>.
- 4.4.6 ICAO (2006), Form A - ICAO Reporting form for Air Carrier Traffic.
- 4.4.7 EPA (2008), Environmental Protection Agency, Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2006 (April 15, 2008).
- 4.4.8 EPA (2009), Inventory Of U.S. Greenhouse Gas Emissions And Sinks: 1990-2007 (April 2009)
- 4.4.9 Lee, J. J., Lukachko, S. P., Waitz, I. A., and Schöfer, A. (2001), Historical and future trends in aircraft performance, cost, and emissions, *Annu. Rev. Energ Env.*, 26, 167–200.
- 4.4.10 EU (2005), Reducing the climate change impact of aviation {SEC(2005) 1184}, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; Commission of the European Communities, Brussels, 27.9.2005 COM(2005) 459 final, [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005\\_0459en01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2005/com2005_0459en01.pdf)
- 5.1.1 IPCC(2006)。國家溫室氣體清單指南。
- 5.1.2 交通部統計處(2008)。交通部統計要覽。
- 5.3.1 中國節能技術政策大綱(2006)。中國節能技術政策大綱，中華人民共和國，中國大陸，國家發展和改革委員會科學技術部。
- 5.3.2 日本國土交通省(2009)。日本國土交通省網站 <http://www.mlit.go.jp/>。

- 5.3.3 MARINTEK (2000), Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships. Final report to the IMO 2000.
- 5.3.4 華健、吳怡萱(2007)。暖化下的海運能源(下)，船舶與海運通訊，47，20-31 頁。
- 5.3.5 商船三井(2005)。 <http://www.mol.co.jp/menu-j.html>。
- 5.3.6 江國地譯(2009)。平成 20 年度船舶環境契約法基本方針研討會議事資料。
- 6.1.1 臺灣鐵路管理局(2009)。臺鐵重要業務統計指標分析。
- 6.1.2 臺灣鐵路管理局(2008)，臺灣鐵路統計年報，台北：五南。
- 6.1.3 蘇昭旭(2009)。臺灣鐵路火車百科—台鐵、高鐵、捷運完整版(一版)，台北：人人。
- 6.1.4 臺北大眾捷運股份有限公司(2009)，官方網站，2009 年 7 月 10 日，取自：[www.trtc.com.tw](http://www.trtc.com.tw)
- 6.1.5 台灣高速鐵路股份有限公司(2009)，官方網站，2009 年 7 月 10 日，取自：[www.thsrc.com.tw](http://www.thsrc.com.tw)
- 6.1.6 高雄捷運股份有限公司(2009)，官方網站，2009 年 7 月 10 日，取自：[www.krtco.com.tw](http://www.krtco.com.tw)
- 6.2.1 IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006), Ch3 Mobile Combustion.
- 6.2.2 California Climate Action Registry, CCAR (2007), General REMUorting Protocol v2.2
- 6.3.1 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)-探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響，國科會專案計畫執行成果報告。
- 6.3.2 經濟部能源局(2008)，臺灣能源平衡表。
- 6.3.3 經濟部能源局(2009)，emission\_factors，2009 年 7 月 9 日，取自：<http://210.69.152.10/Default.aspx?group=2>
- 7.2.1 行政院主計處，<http://www.dgbas.gov.tw>。
- 7.2.2 台灣中油股份有限公司，<http://www.cpc.com.tw>。
- 7.2.3 中央銀行全球資訊網，<http://www.cbc.gov.tw>。

- 7.2.4 Silberberg E. (1990) The structure of economics: a mathematical analysis, 2nd edition, McGraw-Hill, New York.
- 7.2.5 Robert, S. P. and Daniel L. R. (1998) Econometric models and economic forecasts, 4th edition, McGraw-Hill, Boston.
- 7.3.1 EViews6 User Guide (2008), Quantitative Micro Software.
- 8.2.1 Taipio, P. (2005), Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001, *Journal of Transport Policy*, 12(2): 137-151.
- 8.4.1 陸怡蕙(2008)。效率改善與能源需求：動態生產模型之定性分析。農業經濟叢刊，13:2，81-98 頁。
- 8.4.2 Huang, C.H., P.L. Shan and C.W. Yang (2009), Measurement of Energy Efficiency in Taiwan and Its Relevance to CO<sub>2</sub> Decoupling, presented at the Workshop on Innovations in Energy Efficiency, Stanford University, California.
- 8.4.3 Pitt, M. M. and L. F. Lee (1981), The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry, *Journal of Development Economics*, 9: 43-64.
- 8.4.4 Kumbhakar S.C., S. Ghosh, and J. T. McGuckin (1991), A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in US Dairy 37 Farms, *Journal of Business and Economic Statistics*, 9(3): 279-286, July.
- 8.4.5 Reifschneider D. and Stevenson R., (1991), Systematic Departures from the Frontier: A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency, *International Economic Review*, 32(3): 715-723, August.
- 8.4.6 Huang, C. J. and J. T. Liu, (1994), Estimation of a Non-Neutral Stochastic Frontier Production Functions, *Journal of Productivity Analysis*, 5(2): 171-180.
- 8.4.7 Battese, G. E. and T. J. Coelli (1992), Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With

- Application to Paddy Farmers in India, *The Journal of Productivity Analysis*, 3: 153-169.
- 8.4.8 Huang, C. J. and T. T. Fu (1999), An Average Derivative Estimation of Stochastic Frontiers, *Journal of Productivity Analysis*, 12: 45-53.
- 8.4.9 Battese G. E. and T. J. Coelli (1995), A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, *Empirical Economics*, 22: 325-332.
- 8.4.10 Coelli T. (1996), A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation, CEPA Working Paper, No. 7.
- 8.4.11 Jondrow, J., C. A. K. Lovell, I. S. Materov and P. Schmidt (1982), On The Estimation of Technical Inefficiency in The Stochastic Frontier Production Function Model, *Journal of Economics*, 19(2-3): 233-238.
- 10.1.1 van der Zwaan, B. C. C., Gerlagh, R., Klaassen, G., and Schrattenholzer, L. (2002). Endogenous technological change in climate change modeling, *Energy Economics* 24:1-19.
- 10.1.2 Peck, S.C. and Teisberg, T.J. (1992). CETA: a model for carbon emissions trajectory assessment, *The Energy Journal*, 13(1): 55-77.
- 10.1.3 Manne, A., Richels R., 2004: MERGE: A Model for Evaluating the Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies, from the World Wide Web: <http://www.stanford.edu/group/MERGE/>.
- 10.1.4 Edmonds, J., Wise, M., Pitcher, H., Richels, R., Wigley, T., and MacCracken, C. (1996). An Integrated Assessment of Climate Change and the Accelerated Introduction of Advanced Energy Technologies: An Application of MiniCAM1.0, *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change*, 1(4): 311-339.
- 10.1.5 Clarke, L., Lurz, J., Wise, M., Edmonds, J., Kim, S., Pitcher,

- H., and Smith, S. (2007). Model Documentation for the MiniCAM Climate Change Science Program Stabilization Scenarios: CCSP Product 2.1a, PNNL-16735, document prepared for the U.S. Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory.
- 10.1.6 Nordhaus, W. D. (1994). Managing the Global Commons: The Economics of the Greenhouse Effect. MIT Press, Cambridge, MA.
- 10.1.7 Nordhaus, W. D. (2007). Accompanying Notes and Documentation on Development of DICE-2007 Model: Notes on DICE-2007.delta.v8 as of September 21, 2007, from the World Wide Web:  
[http://nordhaus.econ.yale.edu/Accom\\_Notes\\_100507.pdf](http://nordhaus.econ.yale.edu/Accom_Notes_100507.pdf).
- 10.1.8 Nordhaus, W. D. (2008). A Question of Balance: Economic Modeling of Global Warming, Yale University Press (prepublication version), from the World Wide Web:  
<http://nordhaus.econ.yale.edu/DICE2007.htm>.
- 10.1.9 Kurosawa, A. et al. (1999). Analysis of Carbon Emission Stabilization Targets and Adaptation by Integrated Assessment Model, Energy Journal, Kyoto Special Issue: 157-175.
- 10.1.10 Anthoff, D. and Tol, R.S.J. (2008), The Impact of Climate-Change on the Balanced Growth Equivalent, Working Paper 228, Economic and Social Research Institute, from the World Wide Web:  
<http://www.mi.uni-hamburg.de/FUND.5679.0.html>.
- 10.1.11 Fisher, J. C. D. and Grubb, M, (1997). The Use of Economic Models in Climate Change Policy Analysis. Royal Institute of International Affairs, Energy and Environmental Programme Climate Change Briefing No 5. October 1997.
- 10.1.12 Oxford Economic Forecasting. (2006). The Economic Contribution of the Aviation Industry in the UK, from the



World

Wide

Web:

<http://www.oef.com/Free/pdfs/Aviation2006Final.pdf>.

- 10.1.13 Kainuma, M., Matsuoka Y. and Morita, T. (2002). Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling. M. Kainuma, Y. Matsuoka, Morita, T. (eds), Climate Policy Assessment, Tokyo: Springer-Verlag.
- 10.1.14 Kainuma, M., Matsuoka Y. and Morita, T. (2002). AIM Modeling: Overview and Major Finding. M. Kainuma, Y. Matsuoka, Morita, T. (eds), Climate Policy Assessment, Tokyo: Springer-Verlag.
- 10.1.15 Matsuoka, Y. (2000). Extrapolation of Carbon Dioxide Emission Scenarios to Meet Long-term Atmospheric Stabilization Targets, Environmental Economics and Policy Studies 3: 255-265.
- 10.1.16 Matsuoka, Y., Kainuma, M., Morita, T. (1995). Scenario Analysis of Global Warming Using the Asian Pacific Integrated Model (AIM), Energy Policy 23(4/5): 357-371.
- 10.1.17 Brown, S., Kennedy, D., Polidano, C., Woffenden, K., Jakeman, G., Graham, B., Jotzo, F. and Fisher, B. S. (1999). Economic Impacts of the Kyoto Protocol: accounting for the three major greenhouse gases, ABARE Research Report 99.6, Canberra.
- 10.1.18 Jacoby, H., Eckaus, R., Ellermann, A. D., Prinn, R., Reiner, D., and Yang, Z. (1997). CO<sub>2</sub> Emissions Limits: Economic Adjustments and the Distribution of Burdens, The Energy Journal, 18: 31-58.
- 10.1.19 Geurts, B., Gielen, A., Nahuis R., Tang, P., Timmer, H. (1997). Scanning WorldScan; final report on the presentation and evaluation of WorldScan, a model of the WORLD economy for Scenario Analysis, Report No. 410200008, Netherlands Environmental Assessment Agency.
- 10.1.20 Bernstein, P. M., Montgomery, W. D. and Rutherford, T. F.

- (1999). Global impacts of Kyoto agreement: results from the MS-MRT model, *Resource and Energy Economics*, 21(3): 375-413.
- 10.1.21 McKibbin, W. J. and Wilcoxon, P. J. (1999). The Theoretical and Empirical Structure of the G-Cubed Model, *Economic Modelling*, 16(1): 123-148.
- 10.2.1 Kolstad, C. D. (1998), Integrated Assessment Modeling of Climate Change, in Nordhaus, W. D. (eds), *Economics and Policy Issues in Climate Change*: 263-306.
- 10.2.2 Yohannes, M., David, L., and Mike, B. (1998), Integrated Assessment Modeling in Canada: The Case of Acid Rain. MPRA Paper No. 665, from the World Wide Web: <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/665/>.
- 10.2.3 Schneider, S. and Lane, J. (2005). Integrated Assessment Modeling of Global Climate Change: Much Has Been Learned – Still a Long and Bumpy Road Ahead, *The Integrated Assessment Journal*, 5(1): 41-75.
- 10.2.4 Heaps, C. (2008). LEAP – Long Range Energy Alternatives Planning System: An Introduction to LEAP. Community for Energy, Environment and Development, Stockholm Environment Institute, from the World Wide Web: [www.energycommunity.org](http://www.energycommunity.org).
- 10.2.5 ABARE and CSIRO (2008). Global Integrated Assessment Model, *Australian Commodities*, March Quarter 15(1): 195-216.
- 10.2.6 Kim, S. H., Edmonds, J., Lurz, J., Smith, S. J., Wise, M. (2006). The ObJECTS Framework for Integrated Assessment: Hybrid Modeling of Transportation, *The Energy Journal*, 2006: 63-91.
- 10.3.1 Schäfer, A. and Jacoby, H. D. (2005). Technology Detail in A Multisector CGE Model: Transport under Climate Policy, *Energy Economics* 27: 1-24.
- 10.3.2 Schäfer, A. and Jacoby, H. D. (2006a). Vehicle Technology

- under CO<sub>2</sub> Constraint: A General Equilibrium Analysis, *Energy Policy*, 34: 975-985.
- 10.3.3 Schäfer, A. and Jacoby, H. D. (2006b). Experiments with A Hybrid CGE-MARKAL Model, *The Energy Journal*, 2006: 171-177.
  - 10.3.4 McFarland, J. R., Reilly, J. M., and Herzog, H. J. (2004). Representing Energy Technologies in Top-down Economic Models Using Bottom-up Information, *Energy Economics* 26: 685-707.
  - 10.3.5 Turton, H. (2008). ECLIPSE: An Integrated Energy-Economy Model for Climate Policy And Scenario Analysis, *Energy* 33: 1754-1769.
  - 10.4.1 Berg, C. (2007). Household Transport Demand in a CGE-framework, *Environmental & Resource Economics* 37: 573-597.
  - 10.4.2 Abrell J. (2007). Transportation and Emission Trading : A CGE Analysis for the EU 15, SSRN working paper series, WP-EGW-01, Economics of Global Warming, <http://ssrn.com/abstract=1157389>.
  - 10.4.3 Kim, E., Hewings, G. J. D., Hong, C. (2004). An Application of an Integrated Transport Network-Multiregional CGE Model: a Framework for the Economic Analysis of Highway Projects, *Economic Systems Research*, 16(3).
  - 10.4.4 Bröcker, J. (2002). Passenger Flows in CGE Models for Transport Project Evaluation, paper to be presented to the ERSA Congress , August 2002, Dortmund.
  - 10.4.5 Madsen, B. and Butler, C. J. (2004). Theoretical and Operational Issues in Sub-regional Economic Modelling, Illustrated through the Development and Application of the LINE Model, *Economic Modelling* 21: 471-508.
  - 10.4.6 Mayeres, I., Proost, S., van Dender, K. (2004). The Impacts of

- Marginal Social Cost Pricing, *Research in Transportation Economics* 14: 211-243.
- 10.4.7 Conrad K. (1997). Traffic, Transportation, Infrastructure and Externalities: A Theoretical Framework for a CGE Analysis, *The Annals of Regional Science* 31: 369-389.
- 10.4.8 Steininger, K. W., Friedl, B., Gebetsroither, B. (2007). Sustainability Impacts of Car Road Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis for Austria, *Ecological Economics* 63: 59-69.
- 10.4.9 Peterson, E. and Lee, H. L. (2009). Implications of Incorporating Domestic Margins into Analysis of Energy Taxation and Climate Change Policies, *Economic Modelling* 26: 370-378.
- 10.4.10 Kim, E. and Hewings, G. J. D. (2003). An Application of Integrated Transport Network-Multiregional CGE Model II: Calibration of Network Effects of Highway, Discussion paper REAL 03-T-24.
- 12.1 Advanced Software Engineering Limited (2008), *ChartDirector Programmer's Manual (Version 5.0)*.

# 附錄 1

## 計畫摘要



## 附錄1

# 計畫摘要

## 一、研究源起與目的

我國運輸部門近 27 年(1980-2006)來 CO<sub>2</sub> 排放則呈現穩定成長趨勢，平均年成長率為 5.8%，高於整體年平均長率(5.4%)，排放量僅次於工業部門。審議中的「溫室氣體減量法(草案)」的第 5 條明定運輸部門應研訂「運輸管理、大眾運輸系統發展及其他運輸部門節能減碳」等工作，以及第 12 條明定排放源之溫室氣體排放量需符合溫室氣體效能標準。此外，「能源稅條例草案」業已就緒，開徵之後運輸部門首當其衝，將面臨全面性的衝擊，運輸部門如何有效節能減碳，並與經濟成長脫鉤(decoupling)，已蔚為運輸部門的重要挑戰，如何及早因應，未雨綢繆，誠乃當務之急。

本計畫係交通部運輸研究所(以下簡稱本所)依據「2005 年全國能源會議」規劃所辦理之運輸部門節能減碳行動方案 3 年期系列研究—「運輸部門能源與溫室氣體資料之構建與盤查機制之建立」。96 年度完成第 1 項子計畫「探討運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響」，其主要內容為「蒐集及研析各主要國家對於運輸部門溫室氣體之減量發展近況」、「運輸部門之溫室氣體排放量調查及推估」、「現行運輸部門政策對溫室氣體排放量之影響」、「規劃我國未來運輸部門之節能減碳具體行動方案」與「運輸部門溫室氣體清冊建置與盤查程序」；97 年度完成第 2 項子計畫「建立溫室氣體排放盤查、登錄、查驗標準與機制」，該子計畫之重點為「進行車隊溫室氣體盤查」、「持續更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫」、「運輸部門行動方案執行成果檢討及因應策略研擬」。本(98)年度則進行第 3 項子計畫「建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式」，進一步落實相關運輸能源基本資料庫的建立與擴充，以補足以往未充分掌握之能源消耗、污染排放等參變數資料，俾求評估體系之完整性。

## 二、研究範圍與內容

本年度計畫以運輸部門能源消耗與溫室氣體排放為主要研究範圍，研究對象則包含陸上運輸(含公路與軌道系統)、水路運輸與航空運輸等運輸活動

排放源。

主要研究內容分述如次：

- 1.更新運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫(IPCC 2006 TIER 1)：本項係以經濟部能源平衡表之能源消費總量為基準，推估各運輸系統能源消耗與溫室氣體排放量。
- 2.運輸部門溫室氣體排放推估(IPCC 2006 TIER X)：本項工作針對「航空運輸」、「軌道運輸」與「水路運輸」部門，應用 IPCC 2006 TIER 1 以上之方法進行溫室氣體排放量推估。
- 3.運輸部門溫室氣體排放量基線推估：本計畫以經濟計量模型(含政策效應變數)進行溫室氣體排放量基線推估，並就能源別與運具別(公路運輸系統)分別建立模型，同時考量單一方程式獨立校估與聯立方程式同時校估。
- 4.建立新的運輸能源效率指標：從學理上檢討文獻上常見用於衡量能源效率之指標(如能源生產力)的問題，進而提出具有創新性的「能源需求效率」指標，並就各項運具建構評估此一效率的實證模型，根據實證分析結果可以觀察比較各運具之能源效率的歷年變動情形，亦可清楚掌握影響能源效率之驅動力，為提升能源效率提供有效的政策方向。
- 5.建置運輸部門能源與溫室氣體排放量查詢網頁：本項工作包含資料分析、資料庫架構規劃、資料分析、展示、查詢等功能升級之規劃。
- 6.運輸部門行動方案執行成果檢討及因應策略研擬：賡續蒐集行動方案執行成效資料，研擬因應達成減量目標之策略，並就各項策略推估 CO<sub>2</sub> 的減量的潛力。
- 7.提出經濟、能源與運輸整合模型架構：回顧既有經濟、能源與運輸整合模型文獻為重點，除探討其整合的可行性，並據以提出未來整合模型的架構建議。
- 8.國內外運輸部門節能與溫室氣體減量推動現況之參訪與資料蒐集：出席 COP15 會議，蒐集國際最新發展資料；辦理兩次國內專家學者座談會，針對研究相關課題徵詢意見並凝聚共識。



### 三、研究成果

#### 1.運輸部門能源消耗與溫室氣體排放推估

##### (1)航空：

本研究是國內首次可以精準瞭解國籍航空業能源耗用情形，依據我國航空活動的詳細資料，可以區分本國籍、外國籍航機或客、貨機、包機作個別研析。尤其能源局能源平衡表的資料只能表現航線起站與第一站的能耗情形，我國航機在中停站到目的地的活動則無法計入。本研究特就此部分加入考量，完成 10 年國籍航空業能源耗用統計。

##### (2)水運：

主要完成工作項目如下：

- ①本研究案於執行期間，已拜訪交通部航政司、經濟部能源局與臺灣中油公司等部門，蒐集水運方面能源消耗相關資料，得到各船種之載重噸、各年度之延噸-海浬，以及國內與國際航運各年度之用油量。分析國內各船種歷年的載重噸趨勢，各年度延噸海浬之變化趨勢，以及國內各主要商港的用油與排放量趨勢。
- ②其次，由於無法得知各船種於各年度所對應之用油量，本案也拜訪了國內散裝船、貨櫃船與客船佔有率較高之數家代表性公司，取得該公司於該船種之用油量，藉以了解該船種歷年之用油趨勢與排放量趨勢。

##### (3)軌道：

在軌道部門溫室氣體排放推估方面，其結果分述如下：

##### ①Tier 1

就軌道運輸整體看來，其溫室氣體排放量皆為逐年上升。而各部門溫室氣體排放量除臺鐵的柴油溫室氣體排放量下降約 30%外，臺鐵的電力溫室氣體排放量自 1990 年至 2008 年約成長 174%。北捷自 1995 年開始營運至今各年溫室氣體排放量約上升 112%。高鐵於 2007 年通車至 2008 年時，溫室氣體排放量由 169 千公噸上升至 296 千公噸，一年內成長 75%。高捷為最晚營運之運具，於 2008 年 6 月開始營運，其 2008 年溫室氣體排放量為 18 千公噸。

## ②Tier 2

本研究 Tier 2 係由不同路線與車種做溫室氣體排放量推估，而高鐵與高捷之路線及車種較為單純，因此僅探討臺鐵及北捷。臺鐵 2008 年之溫室氣體排放量以縱貫線最為顯著，該線別為全線電氣化，又為各車種(柴電機車、柴油客車、電力機車、電聯車...等)主要行駛路線。而北捷歷年各段別(中、高運量)行駛溫室氣體排放量皆為上升趨勢，在高運量系統加入後更是明顯。

## ③Tier 3

運用 IPCC Tier 3 推估方法時，因國內軌道系統尚無負荷因子之相關文獻資料，因此在推估溫室氣體排放量時無法計算。建議可針對此課題進行調查，從不同車輛載重去統計各車輛實際的使用功率，以估算軌道系統之負荷因子。。

### (4)公路：

2008 年公路運輸能源消費量減至 12,215 千公秉油當量，惟其佔整體運輸部門之比率卻升高至 95.1%。其中，自用小客車、營業用小客車、公車與客運車均較 2007 年下降，而能耗量上升的運具則有機車、遊覽車、自用小貨車、特種車、營業小貨車、自用大貨車與營業大貨車。

溫室氣體排放量亦延續 2006、2007 年之下降趨勢，2008 年公路運輸下降至 33,722 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量，惟其佔整體運輸部門之比率微升至 94.8%(2006、2007 年皆為 94.6%)。

### (5)整體運輸部門：

2008 年能源消費量為 15,053 千公秉油當量，延續 2006(16,203)、2007(15,780)年之下降趨勢，佔全國整體部門之比率亦下降至 12.8%(2006、2007 年分別為 14.0%與 13.0%)。

而 2008 年運輸部門溫室氣體排放量為 35,559 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量，延續 2006、2007 年之下降趨勢(2006、2007 年之排放量分別為 38,009 與 36,880)。

## 2.運輸部門溫室氣體排放量基線預測

本計畫以 Cobb-Douglas<sup>[7.2.4]</sup>函數為基礎，建立運輸部門能源消費模型，同時將政策變數機制放入該模型中，經由 1990 年至 2008 年之時間序列資料

校估模型參數。因考量不同能源消費模型間殘差項可能產生相關性，本計畫除校估「單一方程式獨立校估模型」外，並同時校估「聯立方程式同時校估模型」。模型的因變數係以各運輸系統的能源消費量為主，另外在公路運輸系統中則細至各運具之能源消費量，自變數包括 GDP、車輛持有、能源價格及相關政策變數。

模型參數校估結果顯示：GDP 為共同的解釋變數，顯示 GDP 表示經濟活動強度，進而影響運輸活動及能源消費，再自用小客車能源消費模型中車輛持有亦為同時顯著之解釋變數，本計畫同時校估得到多項自用運具的能源消費價格彈性。此外，本計畫校估係高鐵的推動對整體公路汽油消費產生之乘數效果為 0.91，意即高鐵推動後減少整體公路汽油消費量約為 9%；對國內航空燃油消費產生之乘數效果為 0.36，意即高鐵推動後減少內航空燃油消費量約為 67%。在公路運輸細分各項運具能源消費量的模型中，高鐵的推動對整體自用小客車汽油消費產生之乘數效果為 0.87，意即高鐵推動後減少整體自用小客車汽油消費量約為 13%；對公車與客運車柴油消費產生之乘數效果為 0.86，意即高鐵推動後減少公車與客運車柴油消費量約為 14%。而臺北捷運推動亦對整體自用小客車汽油消費產生之乘數效果為 0.85，意即臺北捷運推動後減少整體自用小客車汽油消費量約為 15%；對公車與客運車柴油消費產生之乘數效果為 0.62，意即高鐵推動後減少公車與客運車柴油消費量約為 38%。

本計畫係以「高鐵、臺北捷運」已存在下之情境，以及 GDP、車輛持有(自用小客車)與能源價格維持歷史變化趨勢之假設，進行運輸部門能源消費量與溫室氣體排放量之基線預測。基線推估結果：2025 年運輸部門能源消費量為 19,298 千公秉油當量，其中公路運輸佔 95.3%；2015 年則為 15,765 千公秉油當量，其中公路運輸佔 95.1%。2025 年運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放量為 51,678 千公噸，其中公路運輸佔 95.0%；2015 年則為 42,223 千公噸，其中公路運輸佔 94.7%。

### 3. 能源效率指標

「能源生產力」(GDP/能耗量)或「能源密集度」雖是常用的指標，但最大的問題是：在能源之邊際報酬遞減原則下，能源用量越大者，其平均產出就越低。這是能耗多的運輸部門，在採用「能源生產力」指標時所顯現的「能源效率」往往不如理想。因此，設計更實際、合理、可行的能源效率指標，

實屬當務之急，即因此故，聯合國秘書長在 COP 14 乃呼籲各國重視其能源效率的衡量。

本計畫首先概述當前常用之能源效率指標，其中特別說明「能源生產力」與「能源效率」的區別、並分析以「能源生產力」做為能源效率指標的潛在問題，進而提出具創新性的「能源需求效率」的觀念及衡量方法。此外，本計畫亦說明推估各項效率的模式設定與推估方法，最後則以陸運各運具、國籍航空客運、及臺鐵為對象，進行實證分析。

根據能源效率之實證結果，本研究發現以下主要結果：

1.公車與客運車之能源效率部分：

- (1)公車與客運車的能源消費量的運量彈性約為 0.33，換言之，運量每增加 1%，能耗量將增加 0.33%。
- (2)公車與客運車的能源消費量隨時間經過而呈現增加的趨勢，顯見除了運量之外，尚有其他因素(例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等)造成公車與客運車的能源消費量的持續增長。
- (3)公車與客運車運量與人均 GDP 呈負向關聯，主要是因為所得增加後，民眾將改用其他替代性運具(如高鐵、捷運、自小客車等)，因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。
- (4)公車與客運車的能源消費具有規模經濟，因其能源消費量隨運輸部門 GDP 的增加而降低。因此，在其他條件不變的情況下，公車與客運車的 GDP 未來若能持續成長，將有助於節能。
- (5)公車與客運車的能源消費量與柴油價格指數並無顯著關聯，可能原因如下：①公車與客運車車班有其僵固性，因應油價而機動調減班次的空間有限。②油價水準不夠高。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於公車與客運車之能源消費量的抑制效果甚為有限。
- (6)公車與客運之能源需求效率確有長期改善趨勢。

2.國籍航空客運之能源效率部分：

- (1)國籍航空客運之能源消費的運量彈性為 0.5433，換言之，運量(以延人公里表示之)每增加 1%，將使能源消費量增加 0.5433%，故可視為缺乏彈性。
- (2)單位延人公里之 GDP( $X_3$ )可用以反映運量的單位價格，其與能源消費量顯著正相關：運量的單位價格每增加 1%，將使能源消費量增加

0.1387%，亦可視為缺乏彈性。

- (3)能源消費量與燃料油價格及原油國際價格均無顯著關聯，換言之，國籍航空客運之能源消費的能源價格彈性幾近於 0，這與航線航班的僵固性、及國內油價管制不無關聯。不過，當國際能源價格上漲到特定水準後，難保此一現象仍可持續維持。
- (4)在樣本期間年(1999Q1~2008Q4)曾先後發生 911 恐怖攻擊(2001Q3/Q4、SARS(2003Q2/Q3)、及次級房貸風暴(2007Q3/Q4)等事件，雖對國籍航空客運的能源消費造成減量效果，但統計上並不顯著。
- (5)國籍航空客運在能源消費上具有不可忽視的匱效率，惟能源價格對於需求效率並無顯著的影響，每年第 4 季的能源需求效率有低於其他 3 季的傾向，惟其間差距猶不顯著。
- (6)在 2007 年以前，能源需求效率在每年的第 4 季大都低於其他各季，但 2008 年的全球金融危機卻扭轉變了此一現象。此外，在 2005 至 2007 年間的能源需求效率有惡化現象(平均效率係數達 1.163，高於 1999 至 2004 年間的 1.077)，但在 2008 年則出現明顯的改善(平均效率係數降至 1.065)，進一步的節能空間目前不超過 7%，除非將來的節能技術有不同凡響的創新。
- (7)就國籍航空客運而言，能源需求效率的變動主要是受以下三項效果的影響，因此，擴大規模及提升國籍航空競爭力與其能源生產力，實乃提升能源需求效率的關鍵性策略：
  - ①規模效果：有效擴大國內國籍航空客運的規模(以航空業的 GDP 表示之)。
  - ②競爭效果：外國航空之運量相對於國籍航空之比例( $Z_3$ )越大時，將有助於能源需求效率提升。
  - ③生產力效果：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

### 3.臺鐵之能源效率部分：

- (1)臺鐵之能源需求效率一直呈現惡化趨勢，直至 2003 年以後始見好轉，但其間差距並不顯著。
- (2)油料費、捷運、高鐵及公路營運對臺鐵之能源需求效率有明顯的激勵效果。

(3)雖然效率值顯示目前進一步改善的空間甚為有限，但這僅為一種相對概念，因此，未來猶應針對軌道運輸的能源效率，從技術創新面尋找可以進一步突破之道。

#### 4.減量策略與減量潛力

面對節能減碳的挑戰，運輸部門必須翔實掌握能源、經濟及環境(3E)的關聯性和互動機制，尤其是 3E 與各項節能減碳之政策工具之間的質化與量化關係。本計畫為建置此一關聯，並選定適當的實證模型，採用適當的推估方法，期能針對各項節能減碳措施，推估可行的減量效果。此外，本章亦檢討前期關於節能減碳行動方案中的減量推估結果，並同時採用「由上而下」(top-down)及「由下而上」(bottom-up)的方法重新加以推估。

關於影響各運具能耗量與運量之驅動力，根據實證分析結果可歸納出以下結論：

- (1)自小客車的能源消費量與汽油價格指數並無顯著關聯，能源消費的燃料價格彈性幾近於 0，這與公車與客運車的情況相似。因此，除非油價足夠高，否則國內油價調漲對於自小客車之能源消費量的抑制效果亦屬有限。
- (2)在樣本期間年(1990～2008)，自小客車運量的車輛數彈性也不低(= 1.52)，雖然略低於公車與客運車的 1.92，因此，對自小客車進行總量管制不僅能有效抑制運量，且能發揮明顯的節能減碳效果。
- (3)自小客車運量則與人均 GDP 呈正向關聯，這與公車與客運車的情況相反。由此可見，自小客車的運量需求將隨人均 GDP 的增加而成長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。晚近幾年的自小客車輛數遲滯成長的現象，可歸因於人均實質 GDP 不增反減，未來經濟情勢若能好轉，自小客車的運量與能源需求，或將繼續成長。因此，在能源需求的價格偏低，而道路容量又有限的情況下，發展大眾運輸系統(尤其是軌道運輸)及總量管制，恐怕是不得不的選擇。
- (4)自小客車運量與軌道運量(含臺鐵、高鐵、北捷及高捷的總運量)呈現顯著的負向關聯(彈性值為-0.41)，此一結果隱含：以軌道運輸替代自小客車，可望創造節能減碳的雙營局面。
- (5)計程車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性(= 1.00)也不低。因此，未來欲使陸運的碳排放與能耗脫鉤，只有從清節能源著手，例如提高生質燃料的配比、

鼓勵使用油電混合車輛、發展電動車等，都是必走的路。

- (6)計程車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與公車與客運車及自小客車均不相同)，因此，每當運輸部門景氣好的時候(例如需求或價格增加)，將誘發更多的計程車投入服務，從而消費更多的能源。這也是多數政府管制計程車總量的原因之一。
- (7)在樣本期間年，計程車運量的車輛數彈性(= 1.99)均較公車與客運車及自小客車為高，因此，對計程車進行總量管制不僅能有效抑制運量，且能發揮明顯的節能減碳效果。
- (8)計程車運量與人均 GDP 呈正向關聯，這與自小客車相似，惟其彈性(= 5.15)明顯大於自小客車的 0.90。由此可見，計程車的運量需求將隨人均 GDP 的增加而快速增長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。晚近幾年的計程車輛數遲滯成長的現象，亦可歸因於人均實質 GDP 不增反減，未來經濟情勢若能好轉，計程車的運量與能源需求，或將繼續成長。
- (9)至於軌道運輸發展對計程車的替代，雖有一定的替代效果，但在統計上並不格外顯著。因此，就計程車的節能減碳而言，能源價格合理化、總量管制、提高計程車的能效標準，應該是較有效的政策工具。
- (10)機車之 CO<sub>2</sub> 排放量的能源彈性也近乎 1，但隨時間經過而有遞減趨勢，顯見機車燃料的碳密集度比其他運具有較為顯著的改善。未來欲使機車的碳排放與能耗脫鉤，只有進一步提升機車的能效，並轉換能源(例如發展電動車，雖然兼具市場障礙與技術障礙，但這條艱辛的路仍有必要走，而且要儘速達到目的地)。
- (11)機車之能耗與運輸部門 GDP 具有顯著的正向關聯(此與計程車相似，但與公車與客運車及自小客車相左)，惟其彈性遠低計程車，因此，運輸部門景氣所誘發的邊際能耗不如計程之多，但因機車數量甚多，因運輸部門 GDP 增長所增加的能耗總量委實不容輕忽。
- (12)機車之能源消費的運量彈性約為 0.1%，遠低於其他陸運運具，這可反映機車在運量上的能源成本有效性(cost effectiveness)，也是機車增長的主要原因之一。
- (13)機車之能源消費量的汽油價格彈性不顯著地異於 0，因此，國內油價調漲對於機車的節能效果亦屬有限。
- (14)在樣本期間(1990~2008)，機車運量的車輛數彈性雖然都低於計程車(=

1.98)、公車與客運車(= 1.92)、及自小客車(= 1.52)，但仍高達 1.19，因此，對機車進行總量管制還是具有明顯的節能減碳效果。

(15)機車運量與人均 GDP 呈正向關聯，惟其彈性(= 2.37)低於計程車(= 5.15)，但仍大於自小客車的 0.90。由此可見，機車的運量需求未來仍可能隨人均 GDP 的增加而快速增長，所需的能源消費量自然也將隨之增加。

(16)就國籍航空客運而言，能源需求效率的變動主要是受以下三項效果的影響，因此，擴大規模及提升國籍航空競爭力與其能源生產力，實乃提升能源需求效率的關鍵性策略：

- ①規模效果：有效擴大國內國籍航空客運的規模(以航空業的 GDP 表示之)。
- ②競爭效果：外國航空之運量相對於國籍航空之比例( $Z_3$ )越大時，將有助於能源需求效率提升。
- ③生產力效果：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

關於減量策略與減量潛力，前期研究已提出諸多建議，並就各項減量措施推估減量績效。檢討前期研究成果可歸納出以下觀察：

- (1)各項減量策略之減量效果的估算公式大都詳盡且合理，係屬「由下而上」(bottom-up)的評估方法。因其假設各策略之間相互獨立，無法兼顧各減量策略之效果間的交互作用，故可能高估減量效果。
- (2)估算公式所用參數大都有實務根據，但仍有少部分參數之設定方式的合理性無法考證，需要進一步推估。
- (3)基線的預測方法過於簡單，如能多考慮其他驅動力、函數型態及推估方法，應可改善預測結果。
- (4)未考慮運輸部門多元化的減量目標(如等比例減量、成本有效性減量等)，且忽略未來經濟成長所造成的排放增量，因此對於運輸部門達成減量目標的潛力可能過於樂觀。
- (5)對於各項減量策略之關鍵變數的減量效果，欠缺系統性的計量模式推估。

## 5.整合模型架構

本計畫針對運輸與能源整合模式由彙整國際重要能源整合模型開始，探討進行評估模式整合之目的、整合方式、以及適用範圍等，藉以提出臺灣發



展運輸部門 3E 整合模式之適當方法，最後規劃出臺灣運輸部門 3E 整合模式之初步架構。

結果發現要兼顧運輸、能源、經濟、環境等議題，多數整合模型會納入一組總體經濟模型（大多為 CGE 模型）、一組運輸與能源規劃模型、與一組運輸規劃模式，惟各研究所發展的整合模式會因為研究重點差異、經費限制、時間限制等因素，而簡化模式中部分模型，以強調分析重點並節省子模型串連時間。就國內目前能源模型發展狀態，短期內以結合既有模型，並經由反覆溝通與求解為最易於達到整合目的之方式，惟如此做法常受限於個別模型特色與溝通上的困難，導致無法得出適當而通盤考量下的解，畢竟既有模型開發之初始目的未必是針對運輸部門而設立，模型本身在定義與原理上便存在著根本的差異。

因此長期而言，發展一套為運輸部門量身訂做的 3E 整合模式有其必要性，本計畫亦初步提出一組臺灣運輸部門 3E 整合模型架構，整合運輸部門 CGE 模型、運輸規劃模型、與經濟計量模型，以做為將來能源政策、氣候政策、與運輸政策之評估基礎。架構整合模式的同時，本計畫亦設計一套模式操作介面，一方面提供未來模式操作者親和的模式運用環境，一方面期待該介面能達成資訊交流、資料庫建構與查詢、運輸政策溝通平台的長期使命。

## 四、結論

### 1. 航空運輸：

國內運輸業針對溫室氣體排放量的估算，大都採用能源局的能源平衡表，航空業部分的燃油耗用是由中油提供，以美金計價的即歸為國際線，無法區分本國籍或外國籍航機，而在國際線運量遠大於國內線的情況下，只適用國內航線的IPCC Tier1方法完全無法對我國航空業能源耗用與溫室氣體的排放作充分的瞭解。本研究蒐整近十年民航局與各國際機場的國籍航機活動資料，可以較精準的瞭解我國航空業能源耗用情形。本計畫繼而以我國之GDP與CO<sub>2</sub>/Pkm做相關趨勢分析，結果顯示我國之CO<sub>2</sub>/Pkm會隨著GDP的上升而相對減少，表示經濟驅動力的成長比環境壓力還大，其中航空業者不斷更換新機與節能的作為，也是使CO<sub>2</sub>排放減少的原因之一。

## 2.水運運輸：

目前世界各國已經針對水運之污染源排放制定出許多節能法規，也對於水運產業也提出節能技術方法以及新的船舶燃油消耗的技術，這已經是運輸業的共同趨勢。國內水運能源消耗變化趨勢在2001年以前為正成長，之後呈現震盪起伏互見之趨勢，主要與全球的政治版圖以及經濟發展有關。近2年隨著環保意識的提升，整體的排放量已有下降。國際水運能源消耗趨勢在2000年以前也為正成長，之後呈現下降之趨勢，只有2004年全球散裝貨需求提升，使得整體的能源需求提升，之後整體的需求亦開始逐漸下降。

## 3.軌道運輸：

在推估軌道運輸溫室氣體排放量的同時，應更務實推動軌道運輸之節能與溫室氣體的減量，俟軌道運輸氣體排放資料逐漸明確建立後，可著手進行減量效益之評估與策略之檢討。

## 4.公路運輸：

2006~2008 年公路運輸能源消費量遞減為 12,215 千公秉油當量，惟其佔整體運輸部門之比率卻升高至 95.1%。其中，小客車、公車與客運車、機車、小貨車、營業大貨車均較 2007 年下降，而能耗輛上升的運具則有遊覽車、營業小貨車、特種車與自用大貨車。溫室氣體排放量亦延續 2006、2007 年之下降趨勢，2008 年公路運輸下降至 33,722 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量，惟其佔整體運輸部門之比率微升至 94.8%(2006、2007 年皆為 94.6%)。

## 5.整體運輸部門：

2006~2008 年能源消費量由 16,203 下降為 15,053 千公秉油當量，佔全國整體部門之比率亦由 14.0%下降至 12.8%。運輸部門溫室氣體排放量亦延續 2006、2007 年之下降趨勢，2006~2008 年由 38,009 下降為 35,559 千公噸 CO<sub>2</sub> 當量。

## 6.運輸部門溫室氣體排放量基線預測

本計畫基線預測係假設「高鐵、臺北捷運」已存在；GDP、車輛持有(自用小客車)與能源價格維持歷史變化趨勢，進行運輸部門能源消費量與溫室氣體排放量之基線預測。基線推估結果：2015 與 2025 年運輸部門能源消費量分別為 15,765 與 19,298 千公秉油當量；運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放量則分別為 42,223 與 51,678 千公噸。

## 7.能源效率指標

- (1)本計畫評估有長期建置能源需求效率指標之必要，並與其他指標相互輝映比較，以掌握正確趨勢，並反映施政與管理績效。
- (2)本計畫指出以能源平均生產力衡量能源效率時，所存在之固有問題，包括：
  - 不符效率本質，無法真實反映能源效率；
  - 運輸部門衡量結果永遠低於全國平均水準；
  - 難見能源效率改善的成果。

## 8.減量策略

- (1) 運輸部門應有的減量額度取決於減量原則，在等比例減量原則下，前期(2020 年之前)的減幅大於成本有效性原則下的減幅；後期(2025 年)則反之。
- (2) 經濟成長大幅增加運輸部門的減量壓力，如果忽略經濟成長所增加的排放量，將高估運輸部門達成減量目標的潛力。因此，實施其他策略(如提升系統效率、推動彈性機制、改變運具等)勢不可免。

## 9.整合模型架構

長期而言，發展一套為運輸部門量身訂做的 3E 整合模式有其必要性，本計畫已初步研擬一組臺灣運輸部門 3E 整合模型架構，整合運輸部門 CGE 模型、運輸規劃模型、與經濟計量模型之長處，以做為將來能源政策、氣候政策、與運輸政策之評估基礎。未來人才培育、資料庫建置、子模組特性與模組間溝通，將是模式建立前必要且非常重要的前置性工作。

# 五、建議

### 1.航空運輸：

本計畫是國內首度就全國之機場航機活動調查，惟限於時間，對於蒐整各航空公司之節能減碳措施、時間點與其成效，無法在計畫中呈現與說明，因此未來若能得到航空公司與相關機構之協助，將可補強我國空運業對於節能減碳工作之成果與效能。

### 2.水運運輸：

若要建立能源效率，需得知海運各船種之國內與國際航運延噸海裡，目

前從交通統計要覽中，國籍船舶之延噸海裡未能分出各船種之延噸海裡，也無法詳細區分是國內航運或是國際航運，而能源使用量目前只能從能源平衡表中來獲得資料，兩者分類不同，無法對應來計算各船種的溫室氣體排放量，此部分有賴各相關單位後續能加以協調，提供更完整的資料後再加以計算溫室氣體排放量。

### 3.軌道運輸：

本研究建議可從系統性比較、軌道系統相關資料調查、策略運作方式等三大方向做為以後軌道運輸減量策略措施之參考基準，同時進行相關策略與措施時，若能掌握各運具的車隊之運輸服務量與其能源使用效率，將可建立較好的推動機制。

### 4.運輸部門溫室氣體排放量基線預測：

本項基線預測工作必須針對各項解釋變數假設其未來變化趨勢，進而進行預測，建議後續宜就重要且常用之經濟社會變數建立一致性的預測資料庫(例如：GDP、車輛持有、能源價格、人口數等)，以整合各計畫間相關預測工作能有一致性的比較基準。

### 5.能源效率指標

- (1)運輸部門的節能減排與能源效率問題逐漸受 UNFCCC 的重視，故應正確掌握各運具的能源效率及其趨勢，做為未來運輸系統規劃的參考。
- (2)根據實證結果顯示，影響能源效率的主要驅動力為：生產力效果、競爭效果、及規模效果。此為提升運輸部門能源效率應予強化的重點。
- (3)軌道運輸與公路運輸有明顯的替代關係，前者的運量規模對於公路運輸的能源需求效率具有正面助益，應可視為發展大眾運輸系統的重點。

### 6.減量策略

能源價格合理化及開徵能源稅等總體政策對於運輸部門的減量效果高過於部門的減量策略。是目前較具有有效性的策略故可考慮儘早實施，惟其經濟影響亟待有效評估。

### 7.整合模型架構

鑑於國際減量規範、能源危機、及國內相關法案緊迫，而運輸部門的排放與減量潛力受國內經濟成長的影響至為明顯，因此，我國應參照國外作法，及早建構運輸部門的3E+C+S的影響評估及決策支援模型。為因應未

來節能減碳的施政目標，3E+C+S的影響評估及決策支援模型宜適度整合經濟計量模型、能源模型、運輸規劃模式、以及CGE模型。模式發展與整合工作需要長期的溝通與協調，並需有適當規模的研究人力和團隊，故應充實科研經費，儘早強化人才培訓及能力建置等前置性工作。



## 附錄 2

### 期中報告審查意見與回應





## 附錄 2

交通部運輸研究所 ☒ 合作研究計畫第 2 類 ☐ 委託研究計畫

☒ 期中 ☐ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：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

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	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>伍、發言摘要：</b>		
<b>一、交通部運輸研究所林國顯組長：</b>		
1.簡報第 5 頁中，有關公路運輸能耗推估計算公式部分，國內目前在運輸規劃與能耗分析裡面臨相同的困擾，亦即各車種在運輸規劃裡是以活動量來估算，而登記量與使用量中間有落差，其落差應當如何處理？若使用率是以統計值估算，則其資料來源請進一步說明。	1.本報告第 3 章關於能耗與排放推估內容，基於前兩年期計畫的延續性考量，係以前兩年期計畫的方法(Tier 1 approach, IPCC 2006)進行推估。 2.基於以上之原則，登記量與使用量之落差仍延續前兩年期計畫以運具的「使用率」作為登記量與使用量的轉換，惟目前僅有機車使用率之調查值(96 年機車使用狀況調查報告－交通部統計要覽)，其餘各運具使用率均假設為一。	同意執行單位辦理說明。
2.贊成將能源效率分成生產力與技術效率；另高鐵的技術效率是否比航空和公路好，在報告中尚未看見相關數值；另請團隊區分軌道系統之運具使用與場站之能耗。	2.推估技術效率與生產力時，需有足夠長的時間序列資料，因此，高鐵部分將無法進行推估，僅就方法加以說明，以為後續採行之用。公路部分屆近完成，可望在第二次專家座談中提出。 場站能耗部分，運研所已另有專案計畫執行中，非分本計畫工作項目，故本年度計畫將不深入分析；未來則可與其他計畫成果進行整合，以呈現更完整的能耗全貌。	同意執行單位辦理說明。
3.迴歸和時間序列兩個模式，皆無	3.委員意見所言極是。後續工	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
法預測在現在系統裡沒有的行為和運輸工具的能耗量及需求量，所以建議只預測短期，不宜長期推估(如：新技術的出現與技術效率的提升)。此外，情境分析困難，現階段很難預測未來的情境，長期目標應以目標管理的方式擬定，就政策面與技術面要如何提升才能達到目標進行探討。	作將以計量模式推估短期運量與能耗，長期部分則改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。此外，為因長期預測之需，本計畫亦針對運輸部門規劃較為精緻的「運輸部門 3E 動態整合模型」的架構，希望在未來能繼續研發，俾能針對運輸相關之各項公共政策進行基線預測與 3E 影響評估。	
4.簡報第 14 頁，提及 GDP 與能耗已經脫鉤，惟有關各種運輸系統的成長趨勢僅有總量，若須換成技術效率或生產力指標，Tier1 的部分須與能源效率指標的部分結合，資料數據須標準化。	4.在分析 GDP 與能耗脫鉤的議題上，可視所用脫鉤指標而選用不同的變數，前者可採用人均 GDP 或 GDP 或其成長率，後者則可採用總能耗、或單位運量能耗或成長率。至於技術效率或生產力指標，主要是為觀察各運具之間的相對差異及隨時間經過而改善的情況，文獻上尚未做為脫鉤指標之用。	同意執行單位辦理說明。
5.GDP 與運量是否高度相關？目前只談到 GDP 與能源效率脫鉤，運量是否也與其脫鉤？請進一步說明；此外並請納入與貨物的趨勢，將貨物量與 GDP 成長量放入。	5.這是一個很好的建議！關於運量與 GDP 脫鉤的分析，將視資料的特性，於後續工作進行分析。	同意執行單位辦理說明。
6.Tier3A 國籍與國際航空的部分很關鍵，簡報中之圖表易造成誤導，建議釐清。	6.遵照辦理	同意執行單位辦理說明。
7.簡報第 35 頁，鐵路支線路網 CO2 當量幾千克裡只差二十幾克，百分比只有 1%，而且現在支線在國內所佔比率低，若比例若無差別很大，應不用區分主支線。	7.感謝委員建議，由於目前國內無法取得詳細的數據參數，雖推估出的數據主支線差異不大，但若取得相關數據，必能表現出其差異性。	同意執行單位辦理說明。
8.結論部分建議與運輸作結合，技術效率的部分是交通政策應該	8.委員所言極是。本計畫將就各運具效率之評估結果，釐	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
要來處理，也就是說如何讓能源效率較好的系統進來的越多，服務一樣的量而降低更大的能源消耗，是運輸政策之職掌。	清影響效率之驅動因子，並據以建議提升能源效率的運具系統發展方向。	
<b>二、臺灣海洋大學蕭再安教授：</b>		
1.有關計畫範疇的界定，場站的部分根據國際上提及的運輸部門是不納入，此計畫可排除，以軌道運輸台鐵而言，在場站會有車輛調度和備用列車的耗能，其統計方法是否歸在場站的耗能？水運的部分，是否納入藍色公路？請進一步考量。	1.就軌道運輸台鐵而言，車輛調度以及備用列車的耗能皆非歸屬於場站耗能。已於8月13日求證於臺鐵機務處相關人員確認。水運部分牽涉部分很廣，已曾與運研所溝通本案暫不考量納入藍色公路。	同意執行單位辦理說明。
2.計畫的成果與本身想要達成目標和研究目的有關，但目的到底只是了解排放多少CO <sub>2</sub> 、消耗多少能源，還是有更積極的目的？請進一步釐清。此外，預測方式不管是迴歸、時間序列或情境分析，長期的預測都是預測不準，而是以目標管理來看。	2.遵照委員意見，後續僅以計量模式推估短期運量與能耗，長期部分則改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。	同意執行單位辦理說明。
3.針對公路部門之推估和預測，過去是從能源平衡表供應端的發油量來當作公路部門的能源消費量，過去存在的問題包括地下油行、漁船用油轉到陸上來使用的問題，簡言之，需求端的耗能量會比供應端多，所以基礎為供應端當作是不變再反推需求端的參數時，會造成在預測時的不準度。有關公路部門的預測耗能，從過去歷史資料可得知，但在去年高油價的情況，私人運具就會自動減少，但過去歷史資料是不容易反映出來，按照GDP為自變數會造成無法理解的狀況，在簡報第56頁，期中報告第7-10和7-11頁，公路汽油在2005年到達高峰，之後就開始往下掉，不知是否是ARIMA的關係之後就往下掉，其結果說明為	3.能源為負之結果，僅為凸顯計量模式在長期預測不準之特性，並非最終之推估結果；後續研究，在長期部分將改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。 如果變數發生新且顯著之變動時(例如國際油價上漲及金融海嘯)，ARIMA模型確實可能無法準確預測因此所造成的結構性變動。因此，改採其他較適當的模型(例如CGE)，可望提供更有前瞻性或長期性的基線預測，並有利於管制政策的影響評估。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
負的能源使用，請說明。		
4.車輛登記數與車輛使用數本來就會不一致，機車的問題更是嚴重，可參考換車牌時之資料，有助於車輛的實際使用數。	4.同一之1的「意見處理情形」	同意執行單位辦理說明。
5.a. 軌道運輸的部分，資料很齊全。客貨運的部分拆解是以行駛里程，但客貨運列車之載重不同，到底使用行駛里程的比例是否合理？ b. 軌道運輸捷運而言，遇到新的路線出現(如內湖捷運)，在營運前須做長時間的營運測試，此測試在統計時是否會分出來。	5.a.軌道運輸以車輛噸公里做為拆解客貨比例參考，已考慮列車載重並加註於期中報告中。 b. 若能取得相關營運測試資料，本研究將會嘗試推估。	同意執行單位辦理說明。
6.有關能源效率指標的部分，其指標意涵是否可按照事前評估型與事後評估型展現，事後評估型是過去狀況已發生來了解整個運輸部門、子部門或運具別的能源效率，第二種在政策上也想了解，在國外研究提出，軌道運輸反而還比公路運輸耗能，此在政策走向該何去何從，會與運輸能源效率指標有關。運輸能源效率指標會因定義不同其答案也會有所不同，例如：只談生命週期或基礎設施皆納入，土建和機電耗能都要納入，指標呈現的意義一定要明確。	6.感謝提供指正，由於目前所蒐集之相關資料僅能以機電耗能推估數據，若未來取得更多相關資料，可參酌委員之建議，此將納入修正。	同意執行單位辦理說明。
7.自願減量的課題是否在期中報告完之後也持續當作後續研究課題？請進一步考量。	7.期末報告中，已將自願性減量協議之相關內容納入，並就我國運輸部門推動自願性減量協議的可行性進行分析。	同意執行單位辦理說明。
<b>三、行政院環境保護署簡副處長慧貞(王俊勝環境技術師代)：</b>		
1.依溫減法(草案)第七條規定，環保署已著手規劃擬訂「國家溫室氣體減量推動方案」。國家推動方案研擬須各單位評估可執行之執行能力，因此建請研究團隊配	1.依據合約內容並配合運研所指示辦理	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
合委辦單位進行研商，提供運輸部門的減量情境與成本分析，俾利銜接溫減法通過後執行目標之推動。		
2.建請研究團隊協助委辦單位參與環保署正已推動編撰我國第二版國家通訊製作。目前，國家通訊架構已確定，需再彙整交通部門過去執行成果及政策檢討，請提供詳細說明。	2.依據合約內容並配合運研所指示辦理	同意執行單位辦理說明。
3.建議研究團隊蒐集有關已註冊成功運輸 CDM 計畫(如：哥倫比亞改善巴士快捷運輸、印度低 GHG 排放捷運系統)案分析，以供委辦單位推動運輸部門自願減量計畫，建立盤查、認題及查驗制度，確立後續執行管理依據。	3.感謝委員提供意見，本團隊將於後續計畫時程內蒐集委員指示之相關 CDM 計畫進行分析	同意執行單位辦理說明。
4.建議研究團隊研提後京都協議運輸部門減量(sector approach)可能選定對運輸業之排放效能標準(EPS)管制提案。同時，擬定交通部門公告排放強度(benchmark)，規劃先期減量額度及抵換專案審議機制，持續關注國際相關規範的推動。	4.依據合約內容並配合運研所指示辦理	同意執行單位辦理說明。
5.建議研究團隊規劃在我國分階段實施總量管制後，協助運輸部門訂定所轄排放源(如捷運、高鐵、臺鐵及其它車隊等)之能許排放額度，及要求排放源執行減量，並定期檢討其執行成果。	5.依據合約內容並配合運研所指示辦理	同意執行單位辦理說明。
6.建議團隊協助委辦單位部門彙整有關交通部內節能減碳成效，以供政府代表團參與丹麥哥本哈根 COP15 跟各國談參之用。	6.依據合約內容並配合運研所指示辦理	同意執行單位辦理說明。
<b>四、交通部運輸研究所黃運貴組長：</b>		
1.有關各運輸系統 2008 年的能源消耗，是否為推估值還是引用能源局能源平衡表的資料？請進	1.第 3 章 Tier 1 的推估值係以能源局能源平衡表之能耗總量為控制點，惟各運具之	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一步釐清。	能耗則為推估值	
2.由於 Tier1 只顯示總量的數值，較無法呈現政策意涵，請研究團隊提出富有政策意涵的能源效率指標。	2.相關研究與分析內容已納入期末報告第 8 章中說明。	同意執行單位辦理說明。
3.研究過程中資料分析結果的合理性很重要，以避免造成不必要之誤導。	3.已依建議於修訂報告中調整修正。	同意執行單位辦理說明。
4.針對能源局能源平衡表統計資料的資料來源應進一步探討。	4.已於第 3 章中說明。	同意執行單位辦理說明。
<b>五、交通部科技顧問室陳賓權研究員：</b>		
1.有關報告格式部分，第一章裡 1-4 頁屬於計畫書用語，請修正。	1.遵照辦理	同意執行單位辦理說明。
2.有關排放成長基線部分，不管是簡單迴歸或時間序列皆各有利弊，不建議列入有爭議的圖，建議做短期預測，長期方面加入其它方式的修正會比較符合計畫的需要。	2.遵照委員意見，雖然圖 7.1.2-1 中能源為負之結果，僅為凸顯計量模式在長期預測不準之特性，為避免不必要之爭議，本研究刪除此圖。長期預測方面改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。	同意執行單位辦理說明。
3.有關效率指標部分，贊同研究團隊所提出之能源效率指標，過去常用能源密集度來看能源效率，係以每延人或延噸公里所需要消耗的能源，其前提假設有包含承載率，所以更重要的是能否看出未來的政策往哪邊走，希望可提出計畫當初的具體需求。	3. 相關研究與分析內容已納入期末報告第 8 章中說明。	同意執行單位辦理說明。
4.瑞典發展之 LEAP 分析模型於統計圖表之設計，可供研究團隊參考。	4.關於計畫報告中製圖效果未臻美觀之處，修正版將予以改善。LEAP 確實有較佳的製圖功能，對於運輸部門的能源規劃也有可資參考之處。本團隊過去曾使用過此一工具軟體，惟本年度計畫限於預算，目前尚無採購計畫，未來年度可視需要採購應用，並辦理講習。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>六、交通部民用航空局黃建元技正：</b>		
1.簡報第 17-19 頁 Tier3A 與簡報第 14 頁 Tier1 的趨勢不一致，宜進一步說明。	1.簡報 14 頁 Tier 1 航空部門只含國內航空；17-19 頁的 Tier 1 則為國際航空	同意執行單位辦理說明。
2.簡報第 47 頁，以航空的簡單迴歸式為何分成兩列，有何不同？請進一步說明。	2.用以區分國內與國際兩部分。	同意執行單位辦理說明。
3.簡報第 48 頁，在航空 2015 年第三期與 2025 年第三期能源消耗衰退的原因為何？請進一步說明。	3.為計量模式長期推估不準確之原因。	同意執行單位辦理說明。
4.簡報第 54 頁，航空之簡單迴歸與時間序列之誤差值都很大，建議就預測方式做進一步之探討。	4.後續將不採用計量模式進行長期預測，改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。	同意執行單位辦理說明。
5.期中報告第 2-4 頁，針對層次 1 Tier1 之說明(第一至三行)文字內容似屬 Tier2 之內容，建議予以修正。	5.遵照辦理	同意執行單位辦理說明。
6.期中報告第 3-25 頁，表 3.1-13 航空油當量國內分為兩欄，在數字有所區別，在文字上也並無說明，請說明其差別。	6.所指內容係誤植所致，該兩欄係分別為「國內」與「國際」	同意執行單位辦理說明。
7.期中報告第 3-31 頁，缺圖 3.2-3，請補充。	7.已在期中報告修正版中第 3-21 頁做修正	同意執行單位辦理說明。
8.期中報告第 3-32 頁，表 3.2-2 之單位未註明，且能源消耗統計量方法其資料來源亦未註明，請補充。	8.單位已在期中報告修正版中第 3-21 頁做修正。能耗推估之計算方式與資料來源已詳列於表 3.1-2、表 3.1-9、表 3.1-12 與表 3.1-14。	同意執行單位辦理說明。
9.期中報告第 3-36 頁，推估方式與引用之數據請進一步說明。	9.能耗推估之計算方式與資料來源已詳列於表 3.1-2、表 3.1-9、表 3.1-12 與表 3.1-14。	同意執行單位辦理說明。
10.期中報告第 3-36 頁與 3-39 頁數字之差異請進一步說明。	10.表 3.2-4 只呈現以 GWP 為權重之總溫室氣體排放值；表 3.2-6 則分別呈現各溫室氣體排放值(CO <sub>2</sub> 、	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	N <sub>2</sub> O、CH <sub>4</sub> )，已統整於表 3.2-4。	
<b>七、交通部公路總局：</b>		
1.公路運輸有些數據有區分自用與營業用車，建議將公共運輸的部分加以獨立，並區分公路客運汽車與市區客運汽車，以利於運輸部門主管機關參考。	1.本計畫基於時間與成本有限，實無法再進行更詳細之資料調查，若公路總局有立即可用之原始資料，則本團隊可以納入後續計畫進行分析。後續公路總局無提出進一步數據。	同意執行單位辦理說明。
2.有關簡報第5頁中登記車輛數資料部分，登記車輛數與實際使用數是有落差，例如：配備車與替補車；另外，使用率是指車輛的使用率還是座位的使用率？請進一步說明。	2.同一之1的「意見處理情形」	同意執行單位辦理說明。
<b>八、交通部高速鐵路工程局：</b>		
1.高鐵為何是能耗量高之原因能否進一步說明。	1.經確認相關數據之後，所推估之資料無誤。若能取得更詳細且與本研究所需相關資料，期能得到更準確的結論。	同意執行單位辦理說明。
2.高鐵的運量與能源密集度有較細部之資料，會後可進一步接洽。	2.已洽高鐵局取得相關資料，並納入期末報告中。	同意執行單位辦理說明。
<b>九、交通部台灣鐵路管理局：</b>		
1.簡報第32頁，主支線的分類與台鐵分類的有所差異，台中港線在分類上算支線，南迴線和台東線在台鐵營運分類上是幹線，是否要依據台鐵的標準區分，請予以考量。	1.本研究主支線分類部分，為依循各路線之營運績效所區分。會後求證於臺灣鐵路局亦為相同區分方式，故此處分類維持不變。	同意執行單位辦理說明。
2.簡報第36頁，台鐵場站耗能的部分請在計畫範疇時定義清楚。軌道運輸整體溫室氣體與耗能情形，在研究範圍與研究內容部分，是否納入基礎建設在整體評估裡，若不計算則須在研究限制裡列清楚；此外在能源類別方	2.場站耗能之研究細節可洽運輸所另一項研究計畫，本案並未納入研究範圍。	同意執行單位辦理說明。



參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
面，又會分為柴油與電力系統，而各國在談整體能源消耗也會包括基礎建設、壽齡和維修耗能的部分也納入，因此須界定清楚所提及之溫室氣體為何。		
3.簡報第 43 頁，功率和負荷因子無法取得，故以假設之，在模組上變得較簡單但與實務操作有出入，建議再精緻化。	3.謝謝委員的建議，若能取得各軌道運輸系統較詳細資料，必能使模組較為精緻化。	同意執行單位辦理說明。
4.簡報第 39 頁，車隊編組對整體能源消耗與溫室氣體排放與實務上之關聯性為何？可否對列車編組作說明？	4.已依建議於修訂報告中調整修正與說明，詳細說明見第 6.3.1 節。	同意執行單位辦理說明。
5.期中報告第 1.3 節研究內容與項目第 8 點，用語請修正。	5.遵照辦理。	同意執行單位辦理說明。
<b>一〇、交通部高雄港務局：</b>		
1.水運分成工業港、商港與漁港，建議水運的定義要清楚。	1.目前本案已經定位為以商港為探討對象。	同意執行單位辦理說明。
2.航港局的編制尚未正式成立，但各港進出船舶運輸量之計算，請依據國際公約辦理。	2.交通部已規劃建議分別成立航港局及港務公營公司，但尚未實施，故依現狀繼續辦理。	同意執行單位辦理說明。
3.簡報第 28 頁，數據正確，但分析要再細一點。	3.謝謝委員意見，本次調查已依據 IPCC 之分類，將調查對象區分為散裝船、貨櫃船與客船等，期末報告中已仔細以各分類中代表性公司之油量來推估。	同意執行單位辦理說明。
4.環保署的溫減法之需求為何？交通運輸部門之需求為何？在資料蒐集方面要依用途區分精細程度，不必所有資料都交給環保署。	4.溫減法尚未實施，本案將依據計畫之要求，將船舶之 GHG 排放設定在 CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 等三個項目來區分，目前已經將此三類排放分別計算出。	同意執行單位辦理說明。
<b>一一、台灣高速鐵路股份有限公司：</b>		
1.期中報告第 3-23 頁，在能耗統計表來看，2007 年的加總不會等於加總值，請確認。還有表期中報告 6.3.1-1 和 6.3.1-2 關於高鐵	1.已依臺灣高鐵資料修訂於第 6 章。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
能耗的資料請依台灣高鐵公司的資料做修正。		
2.期中報告 6-23 和 6-24 頁，關於高鐵現況請做文字修正，例如：請刪除第 6-23 頁通車後營運初期及括弧裡(於 2008 年與 2010 年各增加 8 組列車)的字眼，並將 2018 年將“最終”增加改為預計即可。另外，表格裡最大功率欄位應改為 10260kW。	2.已依建議於修訂報告中調整修正。	同意執行單位辦理說明。
3.高鐵為單一車種和單一路線，故以 Tier1 計算即可，請思考是否須計算至 Tier3。	3.已依建議於修訂報告中調整修正，高鐵僅計算至 Tier 1。	同意執行單位辦理說明。
4.資料取得的部分，台灣高鐵公司會盡量配合。	4.謝謝臺灣高鐵公司，已發函索取相關所需資料。	同意執行單位辦理說明。
<b>一二、 台北市政府捷運工程局方仁鳳副工程司(書面意見)</b>		
1.本報告書提出軌道運輸溫室氣體排放推估方式與 貴所目前請本局填報減量計算方式是否一致，請進一步說明。	1.經與運研所索取該排放推估方式，經查該推估為推估未來年之二氧化碳減碳目標值，與本報告書推估方式不同。 2.日前運研所請北捷局填寫的報告為使用其他運具移轉至北捷的移轉減少用油二氧化碳減量，而本報告為所使用實際用電數據推估二氧化碳排放量，故其計算方式不同。	同意執行單位辦理說明。
2.本報告書提出軌道運輸溫室氣體排放推估方式，應考量各都會區未來年相關單位是否可以執行填報相關資料。	2.本研究將進一步了解並進行確認。	同意執行單位辦理說明。
<b>一三、 台北捷運公司企劃處葉信宏先生(書面意見)</b>		
1.P.6-12 臺北捷運概況中之捷運營運路線應新增今年 7 月通車之內湖線，故路線數為 9 條、車站數為 82 個車站，建議參考 P.6-15 頁內容修正。	1.已依建議於修訂報告中調整修正與說明，詳細說明見第 6.1 節。	同意執行單位辦理說明。
2.P.6-13 捷運內湖線已於 98 年 7	2.已依建議於修訂報告中調整	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
月 4 日營運通車，請修正。	修正，詳細說明見第 6.1 節。	
3.P.6-21 之動力機車介紹中未包含中運量膠輪系統，請補充。	3.已依建議於修訂報告中調整修正，詳細說明見第 6.1 節。	同意執行單位辦理說明。
<b>陸、主席結論：</b>		
1.統計資料來源須更清楚掌握，其應用過程中遇到的問題要完整的呈現，以作為各部門資料統計的參考，並與各單位加強溝通協調。	1.遵照辦理，並已於期末報告中適當章節說明辦理情形。	同意執行單位辦理說明。
2.請加強能源消耗和溫室氣體排放與社經參變數和運輸部門活動強度相關性的整合分析。	2.遵照辦理，已於第八、九章進行相關分析。	同意執行單位辦理說明。
3.請針對各個資料分析的過程、來源和結果等作完整的說明，特別要加強其結果與政策意涵部分的說明。	3.遵照辦理，並已於期末報告中適當章節說明辦理情形。	同意執行單位辦理說明。
4.本計畫期中報告原則審查通過，請研究團隊依據與會各位委員和各單位代表的意見或書面意見修正期中報告，以及作為未來計畫執行的參考，請於會議紀錄文到一個月內，提交修正結果。	4.遵照辦理，並已依限提送承辦單位。	同意執行單位辦理說明。
<b>柒、散會：98 年 8 月 6 日（星期四）中午 12：30。</b>		



## 附錄 3

### 期末報告審查意見與回應



## 附錄 3

交通部運輸研究所 ☒ 合作研究計畫第 2 類 ☐ 委託研究計畫

☐ 期中 ☒ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：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

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	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
伍、發言摘要：		
一、臺灣科技大學顧洋教授：		
1. 有關水運的耗油量部分，在簡報資料裡約 27 公秉，感覺過低，且與報告書第 3-19 頁之數字不符。	1. 簡報資料 P.14 中水運用油為「千公秉油當量」，非「公秉油當量」，數量應合理而無過低。簡報檔 2006-2008 用油數據與報告書第 3-19 頁之國內水運用油(千公秉油當量)數據亦相同。	同意執行單位辦理說明。
2. 軌道電力之能源消耗部分，因計畫工作項目中有提及盤查，是否可提供盤查建議，也提出運輸部門的準則。	2. 根據合約工作內容本期計畫不包含盤查事項。	同意執行單位辦理說明。
3. 第 8 章之報告內容除檢討運輸部門效率指標外，也另提一個新的需求效率指標，惟其指標的概念不明確，建議蒐集國外如何評估運輸部門的能源效率指標之作法以茲比較。	3. 聯合國秘書長曾在 COP14 中呼籲各國重視能源效率的衡量問題，目前亦有一些學術期刊針對能源效率的衡量展開專刊徵稿。本計畫所研擬的「能源需求效率」應是文獻上的創新。以後可持續觀察文獻發展並進行可行的比較。	同意執行單位辦理說明。
4. 有關第 9 章所列行動方案因應策略仍在行動綱領框架內，建議能有整體性之思考。	4. 本計畫目的之一即為推估我國運輸部門的減量潛力，故目前仍以綱領內之主要策略的減量潛力為分析範圍。已在第 9 章增加論述超越綱領外之其他減量策略。	同意執行單位辦理說明。
5. 第 12 章之網頁架構，其內容及定位不明，是否僅提供相關資訊或可作為盤查入	5. 本計畫所建置網頁之目的，旨為提供相關資訊查詢，並做線上的簡易迴歸分析與預測，冀	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
口？或可讓一般運輸業者進入網頁查詢；再者可否與能源局及工業局之網頁比較，並建議於網頁架構中建立盤查輔助之工具。	能提升資料庫的精確度與透明度。盤查涉及較多層面的法規問題，非為本計畫工作(或其他計畫執行中)，故目前網站暫不納入此一功能。	
6.請提出法規建置與行政措施及其它部會的配合事項，建議各部會並協商未來對於節能減碳的管理。	6.節能減碳的管理法規建置與行政措施等工作，涉及範圍廣，並非本計畫的工作項目。惟本計畫仍將針對能源效率、及能源需求與碳排放預測所面臨的問題，提出具體的建議。	同意執行單位辦理說明。
7.文字章節與格式要調整一致。	7.遵照辦理。詳見期末報告修定稿。	同意執行單位辦理說明。
<b>二、臺灣海洋大學蕭再安教授：</b>		
1.有關運輸能源效率指標部分，研究團隊用經濟的角度來論述是有別於過去的作法，但建議進一步因應未來需求分為事後評估型與事前評估型。	1.謝謝建議。表 8-1 的各項指標，可同時做為事前指標與事後指標，但須針對所需資料作有系統的建置和估算。	同意執行單位辦理說明。
2.自願減量部分，在運輸部門除貨運業、大眾運輸外，準大眾運輸也有機會運用。要如何落實應用在運輸部門，未見於報告中，是否可加強。	2.關於運輸部門的自願性減量協議，在國際上並不普及，研究團隊迄未能從文獻上查到相關案例，其與運輸部門的廠商及其業務結構較為複雜有關。本計畫已調整章節並強化相關內容的論述(見第 2 章第 2.6 節)。	同意執行單位辦理說明。
3.下列分析結果論述可再斟酌： (1)簡報第 21 頁所提到航空經濟績效與能源脫鉤是事實，但要把政策鼓勵並推動高鐵興建之因素納入考量； (2)於簡報第 31 頁中，有關軌道運輸排放與平衡表「接	3.以就相關問題在計畫報告中補充說明，茲分述如下： (1)關於航空經濟績效與能源脫鉤關鍵驅動力，在第 8 章的推估中已經納入考慮，結果一如委員所述，高鐵卻為主要因素之一。 (2)關於委員提出之簡報第 31 頁	同意執行單位辦理說明。



參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>近」一詞不宜，因能源平衡表上的各項數據應該是由各軌道業者提供，由供電計算排放，應使用相同參數，所推估出的數據應該是一致的；</p> <p>(3)有關簡報第46頁中之文字說明公路客運能耗與柴油價格指數的成本相關性低乙項，因公路客運也是公眾運輸的一種，是受扶持的對象，如果柴油的價格成長到一個很高地步時，公共運輸運量也提高，造成公共運輸能源消費量也變多，所以油價越高，公共運輸能耗與柴油價格指數的成本相關性受影響程度應該更為明顯。</p> <p>(4)簡報第47頁中，有關捷運與高鐵的營運對公路運輸及自小客車的能源需求效率具有激勵效果之敘述乙項，其邏輯為何，需再加強論述。</p>	<p>軌道運輸排放與平衡表「接近」一詞，其推測不一致原因可能為二：(a)各軌道業者所提供資料登入時間點不同；(b)由於本研究需分拆場站與路線用電，因此可能於拆解時產生誤差。</p> <p>(3)委員對於目前本研究發現「公路客運能耗與柴油價格指數的成本相關性低」的觀點，研究團隊亦有同感，惟更明確的結果仍有待在更高油價時的實證分析來證實。</p> <p>(4)此一論點係根據第8章關於各運據能耗量之經濟計量模型之推估結果。</p>	
<p>4.有關前次期中審查時之問題：「以捷運新路線加入前，測試之耗能如能單獨列出，可更精準評估」乙項，請與相關單位聯繫且說明結果。</p>	<p>4.已於98年12月15日與台北捷運公司企劃室康小姐聯絡，其回應為該公司內部無正式營運前之用電資料，需與捷運局聯繫以便索取相關資料。後於98年12月16日與捷運局聯繫，捷運局目前並無相關試營運數據回覆。</p>	<p>同意執行單位辦理說明。</p>
<b>三、經濟部能源局翁素貞代組長：</b>		
<p>1.在報告書第1-2頁有關各部門CO<sub>2</sub>排放趨勢，部門能耗最好將用電之能耗納入計算，能源局有相關資料可提供。</p>	<p>1.有含與不含用電之間皆排放量的資料統計各有用途。已於報告中加註說明。</p>	

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2.第 1-3 頁，「傳統以能源生產力或能源密集度並無法真正評量運輸能效或產生誤導的情形」乙項，因為很少人用能源生產力或能源密集度來評估運輸部門效率，不同層級與類別之指標不同，所以論述部分應做合理調整。	2.即便在其他部門或國家層級，「能源生產力」與「能源密集度」都無法真正用以評量能源效率，箇中問題已在報告中說明並加以潤飾。	同意執行單位辦理說明。
3.有關簡報第 44、45 頁，有較大變化處未說明趨勢發生原因，例簡報第 44 頁，計程車 2000 年下降原因為何？請在報告書中解釋趨勢影響原因。	3.各運具的能耗量變動或各有其因，本團隊將蒐集相關資料，進行事件分析，並於報告中補充說明。	同意執行單位辦理說明。
4.部分能耗之相關資料取得困難，例自小客車油耗，需要運具效率及行車型態之取樣分析資料，建議本報告能對取樣分析方法提出建議。	4.未來如有資料調查經費，可納入考慮。	同意執行單位辦理說明。
5.有關結論提及「能源局資料有誤」處，係因國內航空的中油資料分成航空汽油與煤油，因格式轉變後之重覆計算導致，本局已更正，希望在報告書中可一併修正；惟報告中 Tier 1 資料與能源局更新數字仍有很大出入，請再與能源局相關資料做比對。	5.已修正於第 13-1 頁。	同意執行單位辦理說明。
6.報告有些摘錄部分可當附件較為簡潔。	6.遵照辦理。	同意執行單位辦理說明。
7.結論與建議的部分，建議的部分還是只有描述，希望更有政策面的具體內容。	7.參照辦理。	同意執行單位辦理說明。
8.圖表重覆出現的部分建議可修改。	8.遵照辦理。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>四、行政院環境保護署王俊勝技術師代：</b>		
1.Ch.7 中運輸-能源別及公路運輸運具別二者間之 CO <sub>2</sub> 排放基線預測結果差異頗大，主要影響為何？另，結論中建議運輸部門 CO <sub>2</sub> 基線預測以能源別預測模型的數值為主，此預測結果是否有將自發性能源效率提昇及運具間的替代影響效果納入考量。	<p>1. 運具別模型僅針對公路運輸，就表 7-14 之公路合計預測值而言，單一方程式模型之差異約在 0.3%~5.9%之間，聯立方程式模型之差異約在 1.9%~8.9%之間。這兩類模型因結構與變數選擇差異頗大(能源別模型近有兩個方程式，而運具別則有九個方程式)，在 2015 年基線值的差距只有 0.3%~1.9%之間，2025 年基線值的差距則維持在 5.7%~8.9%之間，這樣的結果以可接受。</p> <p>2. 本章基線預測的假設情境為：GDP、自用小客車持有、能源價格維持歷史變化趨勢，且高鐵與台北捷運持續營運。因此，自發性能源效率提昇的效應並未進行模化，運具間的替代則有，例如：高鐵、捷運政策變數對自用小客車、公車與客運車能源消費量均呈現顯著影響(請參考表 7-2~表 7-5)。</p>	同意執行單位辦理說明。
2.Ch.8 提及能源需求效率做為運輸部門能源效率衡量指標確實較能符合實情，因「溫減法草案」明訂：『溫室氣體排放源及排放實體排放之溫室氣體排放量應符合溫室氣體效能標準』，該效率指標未來是否適合應用於評定我國運輸部門排放源之溫室氣體效能標準。	2. 「溫減法」中的效能標準在學理上與「能源效率」有別，不過，本計畫的效率指標可做為溫減法訂定效能標準的參考，但無法做為唯一的參考指標，因為「效能標準」所需考慮的因素較多。	同意執行單位辦理說明。
3.Ch.7 與 Ch.9 運用的模式不同，二者同時有估算運輸部門基線，執行單位是否有比	3. 第 7 章及第 9 章的模型建構目的不同，機理與意涵不同，前者以預測為主的多元迴歸模	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
較其間的差異？且 Ch.9 各運具的 3E 關聯函數，部分運具能源消費量與油價間的關係與 Ch.7 似有不同，如 Ch.9 中自小客車對油價無顯著關聯，但 Ch.7 確有顯著影響。	型，後者則以政策分析為主的經濟計量模型。因此，二者的推估結果有若干差異，但不宜逕做比較，惟可做為以後建模的參考。	
4.Ch.9 運用各運具的 3E 關聯模式進行運輸部門各情境措施的節能減量潛力的評估，可提供環保署擬訂「國家溫室氣體減量推動方案」時參考，但因各情景的減量潛力是假設其他情況不變(即其他情景不執行下)，所以整體運輸部門減量潛力合計是否有高估之虞？另，替代燃料車輛的運用除生質燃料外，未來油電混合車及電動車亦為公路運輸主要節能措施，建議應納入評估。	4.在推估各減量策略之減量效果時，如假設各措施相互獨立(前期研究均如是假設)，自可能高估減量效果。不過，目前國內運輸部門仍缺乏適當的 3E 與運輸整合模型，因此，此一假設仍難去除。不過，本計畫在評估減量潛力時，已經考慮經濟成長及減量目標的產業關聯性，故高估的潛在問題應已降低不少。至於油電混合車及電動車的減量效果，因其於未來國內運具的發展路徑上的引進時間點及佔比均具不確定性，故暫不於考慮納入評估。	同意執行單位辦理說明。
5.Ch.10 提及自願減量協議，本計畫既然主要針對運輸部門進行研究，建議針對國際運輸部門自願減量協議案例進行分析，以提供國內政府單位參考。	5.目前相關文獻甚少，對運輸部門尚無太大參考價值。目前已經調整章節，增列 2.6 節。	同意執行單位辦理說明。
<b>五、原能會核能所葛復光分組長(書面意見)：</b>		
1.本計畫之研究團隊專業寬廣，研究於 9 個月內完成，且報告內容豐富扎實，部分內容亦為國內新的研究成果，值得肯定。	1.謝謝葛委員的肯定。	同意執行單位辦理說明。
2.本報告用「推估」，易造成誤解為未來之推估，建議用「盤查」、「計算」或「統計」等，較符合一般用語。	2.本計畫關於能耗量與 CO <sub>2</sub> 排放量係根據第 8 章之實證模型所估算的結果，本質上確實屬於「推估」性質，未涉及盤	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	查。因此還是維持原有用語。	
3.Ch.3 有許多歷年資料蒐集彙整，但較少解釋說明，略為可惜，如表 3-4 小客車及機車年平均行駛里程之變化所呈現之意義及可供未來節能減碳之參考(Ch.9)。	3.趨勢的變化需要有客觀及嚴謹的分析方法，在第 7 章有建立能源消費模型且有統計性的探討，參數校估結果可說明其變化趨勢之原因。	同意執行單位辦理說明。
4.圖 4-12 之 CO <sub>2</sub> /Pkm 建議改用 CO <sub>2</sub> 較有意義；此外，建議以「空中運輸 GDP」取代「全國 GDP」。(圖 8-7 亦有類似問題)	4.(1)感謝審查卓見，在實證分析確實已經考慮採用「空中運輸 GDP」，惟其效果不如「全國 GDP」。本團隊對引用全國或空運 GDP 已有討論及驗證，採用全國 GDP 的原因是，國民經濟的增長會帶動民航的發展，但民航的發展卻未能給國民經濟的增長帶來顯著的推動(葉舟等，中國民航發展與國民經濟增長關係的實證分析，2005)。此因為客運量是因為國民生活水準提昇而增長，但國內航空業的榮枯則有太多因素，採用空運 GDP 會有較多的干擾因素。且空運 GDP 只有年資料，分析時數據較不足。  (2)脫鉤分析部分，在經濟較為活絡時，運量增加 CO <sub>2</sub> 也相對增加，所以以每一延人公里 CO <sub>2</sub> 較能解釋環境壓力。	同意執行單位辦理說明。
5.Ch.4 以 Tier3A 計算 CO <sub>2</sub> 排放，為國內首例，值得肯定。	5.感謝審查肯定。	同意執行單位辦理說明。
6.Ch.5 圖示不易辨讀，建議修改。	6.已於第五章加以修改。	同意執行單位辦理說明。
7.p.5-11 與 p.5-13 內容不一致，請確認。	7.已經加以修改如 5-11,5-13。	同意執行單位辦理說明。
8.p.5-34 提到 1990、1999、2000、2001 年，但 Ch.5 均卻看不到相關資料。建議	8.Chap5 已加以修改，引用能源平衡表之趨勢來做說明。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
Ch.5 及 Ch.6 提供完整歷年資料及論述。		
9.Ch.6 並無完整之軌道歷年 CO <sub>2</sub> 排放計算，建請補充。	9.謝謝委員的建議，已將相關歷年 CO <sub>2</sub> 排放資料於修訂版中第 6-42~6-44 頁修正。	同意執行單位辦理說明。
10.p.7-20 之自變數均未呈現採用之數值，難以判定 Ch.7 之預測結果(此點上次座談會已建議)。相關預測結果亦建議呈現完整結果，僅呈現 2015 及 2025 年，不易判定。Ch.7 之 CO <sub>2</sub> 推估約比目前核研所 MARKAL BAU 結果低 15-20%，然因並未說明預測之假設，因此甚難判讀該結果之合理性，未來也不易參考，建請補充說明其假設。Ch.7 結果雖有與前期計畫比較，但無差異探討說明，建請補充。	10.若有需要呈現自變數之採用數值及預測結果，可納入附錄提供參考。本章基線預測已考慮能源價格、高鐵政策變數及捷運政策變數，抑或是考量這些變數，使得 CO <sub>2</sub> 推估約比核研所 MARKAL BAU 結果低，此部分將與核研所相關人員詢問。	同意執行單位辦理說明。
11.圖 3-3 及圖 8-2 之平均耗能差距甚多，請說明。	11.已修正於 p8-7 圖 8-2。	同意執行單位辦理說明。
12.p.8-15 運輸部門能源生產力低(發電部門亦然)，只是反應產業特性，並無不合理。	12.但運輸部門之能源生產力偏低並不能用以表示該部門之能源效率低，故謂「以能源生產力來衡量能源效率是不合理的」。	同意執行單位辦理說明。
13.p.8-27 結論(7)認為能源需求效率有長期改善趨勢，似乎不易觀察。從 1995-2008 年看不出有改善趨勢，報告亦未說明 1990-1993 年惡化之原因。此外，圖 8-15 僅自小客有改善，其他運具無改善。	13.由圖 8-15 可見，計程車有在樣本期間(1995-2008)有明顯的改善趨勢，其他運具在早年有相對惡化，但在 2005 年以後，亦普遍呈現改善跡象。	同意執行單位辦理說明。
14.p.8-29 請說明近幾年自小客車能源需求效率超越客	14.本研究並未討論電動車及油電混和車之能源效率問題。但	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
運與公車之意涵。請說明為何電動車及油電混和車能源效率未必提升。	整體而言，客運與公車的營運制度、或由電車佔比依然偏低等因素，均可解釋效率指標值不及自小客車的現象。	
15.p.9-44 計程車節能主要績效效應來自於車隊系統。	15.有此可能，但其他因素亦或有以致之，例如改用天然氣、車輛汰舊換新、駕駛員的節能意識提高，駕駛操作習性改善等。	同意執行單位辦理說明。
16.Ch.11 內容完整，值得肯定，但圖均無法閱讀，請更正。	16.已修正於第 11 章。	同意執行單位辦理說明。
17.p.11-8 運具細分程度建請考量模型可行性。此整合模型之 CGE 部門數可能為多少？	17.將儘可能蒐集可得資訊予以細分，必要時採取合理假設進行拆解。至於其他非運輸及能源部門將適度簡化加總。	同意執行單位辦理說明。
18.p.11-38 認為技術減量約佔 2/3，但本報告建議之整合模型並未納入技術模型，是否會影響評估能力？	18.技術減量確實是減量工作中相當重要的一環，但基於模型整合工作所需耗費的時間與經費，初期整合規劃暫不納入技術模型，而採取參考國內技術模型結果，以外生設定方式納入本研究整合模式中。	同意執行單位辦理說明。
<b>六、交通部航政司：</b>		
1.本報告國輪基礎應為總噸位 100 以上之客貨船(不含漁船)，請說明釐清。	1.於第三章第 4 部分之水運內容中，已經加入「國輪的統計基礎其內容為總噸位 100 以上的客貨船，其中不包含漁船」等文字。第五章第一段亦有說明。	同意執行單位辦理說明。
2.在國際用油部分影響能源平衡表，但其用油係不論其航籍為何國(5-6)，請配合進出港船舶國際比例，再以此比例權重分析，另國內用油應排除漁船。	2.因能源平衡表中水運部分僅顯示國際水運用油及國內水運用油兩大部分，無法分出國籍船與外籍船之能源使用。於第五章第一段之水運內容中，已經加入說明。	同意執行單位辦理說明。
3.有關研究成果溫室氣體排放量計算模式，請提供以利	3.第三章之溫室氣體推估模式已經加以說明計算方法。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
後續年度應用。		
4.報告中相關統計圖表勿以顏色表示，建議以樣式區分，以利黑白列印。	4.已於第五章中做修正。	同意執行單位辦理說明。
<b>七、交通部民用航空局：</b>		
1.簡報 P15 所示航空運輸在 2008 年，總 CO <sub>2</sub> 排放量佔所有運輸的排放量約為 14%，此部分包括國際航線(含國籍及非國籍)的排放，因國際航線部分具有很大的不確定性及誤差，故未來在作為管制之本據上，應更加謹慎採用。	1.已修改於報告書中表 3-19，其中國際航空不包含於運輸部門裡，更正其所佔運輸部門 CO <sub>2</sub> 排放量比例為 0.73%。本研究採用 Tier3A 計算方式將國籍與外國籍航空方式區分，詳如第四章。	同意執行單位辦理說明。
2.因國際航空遠大於國內航空的現況下，或許可以考量國際與國內脫勾處理。	2.會後與民航局溝通並解釋國際航空與國內航空之排放是以不同方式處理之。	同意執行單位辦理說明。
3.第 13-6 頁結果的論定，有針對航空業的未來方向提出建議，但在解釋結果時，請註明依據之數據與趨勢。	3.遵照辦理。	同意執行單位辦理說明。
<b>八、交通部公路總局：</b>		
1.無意見。		
<b>九、交通部高速公路局(書面意見)：</b>		
1.P7-16~19 頁中，第 P7-16 頁之內容敘述為表 7-3 有差異，請再確認相關描述之一致性。(如第二段營業自小客車部分)。 (2)捷運政策對於營業小客車應亦有影響，為何未納入？ (3)油品價格對於營業小貨車、柴油小貨車、遊覽車、公車/客運車等應均有影響，為何未納入？	1.已修正於第 7-17，內容敘述與表格數據一致。	同意執行單位辦理說明。
2.P7-16~19 頁中，捷運政策對於營業小客車應亦有影	2.曾納入模型中，但自變數捷運政策不顯著，因此最後未納入	同意執行單位辦理說明。



參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
響，為何未納入？	報告中。	
3.P7-16~19 頁中，油品價格對於營業小貨車、柴油小貨車、遊覽車、公車/客運車等應均有影響，未何未納入。	3.轉價效果，關於能源價格的變動因會有轉價於運費之效果，所以本研究團隊認為此些運具的消費皆受經濟因素影響，例如：GDP。	同意執行單位辦理說明。
<b>十、交通部高速鐵路工程局：</b>		
1.無意見。		
<b>十一、臺北市政府捷運工程局(書面意見)：</b>		
1.本報告書第 7.4 節「能源消費與 CO <sub>2</sub> 排放量基線預測」之預測年期包括 2015 年與 2025 年，然第六章國內各都會區軌道運輸系統路網說明內容皆不一致，例如台北與高雄都會區捷運系統僅說明至營運中路線，並無說明興建中與規劃中路線；台中都會區捷運系統並未說明目前興建中「烏日文心北屯線」，而僅說明規劃中路線。鑑於營運路線長度不同即影響能源消費與 CO <sub>2</sub> 排放量，請再檢核 2015 年與 2025 年軌道運輸預測值是否需修正。	1.各地區未營運中之捷運系統，在基線預測 (BAU，business as usual)時並未納入考慮。另有關第六章捷運系統說明已依所提供附件檢核修正。	同意執行單位辦理說明。
2.另臺北捷運目前興建中路線皆於民國 104 年年底前通車營運，相關資料請參考本局網站；另提供台中捷運相關資料；桃園捷運資料請洽桃園縣政府交通處確認。	2.感謝提供，桃捷資料已與桃縣政府確認。	同意執行單位辦理說明。
3.相關計畫之說明補充如附件。	3.感謝提供資料。	同意執行單位辦理說明。
<b>十二、台灣高速鐵路股份有限公司：</b>		
1.報告中提及因高鐵營運時間不長，未能建立相關模式與指標；故是否請政府協助	1.為個別業者建立相關指標，在理論及實務上均屬可行，未來產官學應可通力合作，為有需	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見		研究機構處理情形			本所計畫承辦單位 審查意見
高鐵建立相關指標，未來在配合政府所推動之政策更為容易。		要的業者提供適當的服務。			
2. 報告內容之能源效率指標，後續如何應用、統合及連結，希望在未來實用上可更具意義。		2. 本計畫所提出的「能源需求效率」指標，在文獻上確屬創新性的構想，如能長期進行分析，應可發揮更多應用上價值，例如反映運輸政策對於效率的影響、運輸部門能耗的永續性等。			同意執行單位辦理說明。
十三、台北捷運公司(書面意見)：					
1. P6-7 頁，「1.概況」中，「木柵線、內湖線」請修正為「文山內湖線」，路線總數修正為 8 條，另平均搭乘人數修正為超過 130 萬人次。		1. 感謝提供指正，已於第 6-6 頁與第 6-8 頁修正。			同意執行單位辦理說明。
2. P6-7 頁，「2.路線」中，「木柵線」請修正為「文湖線(動物園站至中山國中站)」；「內湖線」請修正為「文湖線(松山機場站至南港展覽館站)」。		2. 感謝提供指正，已於第 6-6 頁與第 6-8 頁修正。			同意執行單位辦理說明。
3. P6-8 頁，請更新圖 6-2 臺北捷運路線圖，另表 6-5 請參照前述路線名稱修正。		3. 感謝提供指正，已於第 6-7 頁與第 6-8 頁修正。			同意執行單位辦理說明。
4. P6-9 頁，表 6-6 臺北捷運高運量車型部分數據有誤，請參考下表修正。		3. 感謝提供指正，表 6-6 已修正。			同意執行單位辦理說明。
	C301 型	C321 型	C341 型	C371 型	
馬達輸出	145KW/200HP	225KW/300HP	225KW/300HP	175KW/235HP	
現有車數	132cars	216cars	36cars	123cars	
列車編組	22 列 6 車組	36 列 6 車組	6 列 6 車組	19 列 6 車組/3 列 3 車組	
十四、本所綜技組(書面意見)：					
1. 有關貴我契約中之研究主題與重點，要求「建置維護運輸部門溫室氣體排放查詢網頁」乙項，於期末報告		1. 已修正部分文字。本項工作已完成相關之軟體建置，配合本計畫驗收程序交付運研所。			同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
中指出本期係進行網頁之「規劃」，請依契約內容辦理，並請進一步說明現在辦理情形(報告第 1.2 節，第 1-4 頁)		
2.以往由於小客車使用柴油車輛數目較少，故歷年報告及統計資料中均未將使用柴油之小客車單獨列出計算，惟近年由於使用柴油小客車車輛銷售車型與數量有日漸上升之現象，請說明未來在何種情況下，須將柴油小客車必須納入研究考量(報告第 3.1 節，3-5 頁)	2.當未來在柴油小客車有顯著增加的情況下，將柴油小客車納入考慮。	同意執行單位辦理說明。
3.有關表 3-6 小貨車之平均年耗油量推估資料中，係依表 3-3 之車輛登記數配合車輛燃油使用效率估算而來，惟表 3-3 中，小貨車登記數量只有分自用與營業，並未區分汽油及柴油小貨車數量，請說明此一部分如何估算。(報告第 3.1 節，3-8 頁、3-11 頁)	3.已補充說明於第三章 p.3-7。	同意執行單位辦理說明。
4.圖 3-1(第 3-25 頁)之公路部門各車種歷年能源消耗變化趨勢圖中，其在報告中配合說明之文字太過簡略，建議就變化較為明顯之運具補充分析，如小客車、營業小客車、營業小貨車(汽油)、機車等，必要時並可估算其每年之年成長率變化趨勢以利分析(報告第 3.2 節，3-23 頁)。	4. 已 補 充 說 明 於 第 七 章 p.7-9~p.7-12。	同意執行單位辦理說明。
5.有關報告中就國內航空溫室氣體排放 Tier 3A 資料與依能源局資料所估算之 Tier 1 資料(2008 年)之差異	5.改修正於報告 4.5 節。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
部分，請與能源局確認資料正確性後，修訂報告文字(報告第 4.5 節)。		
6.有關報告中就國內水運之資料蒐集部分，所提之建議內容請再具體一點，包括權責單位，資料項目、蒐集之作法與蒐集週期等等(報告第 5.4 節)。	6.資料蒐集之相關說明已再詳細敘述於 5.4 節，p.5-35,p.5-36。	同意執行單位辦理說明。
7.第 6.1 節列有多項軌道建設之基本說明資料，建請將涉能源消耗及溫室氣體排放之項目保留外，其餘可考慮刪除或列為附錄文件(報告第 6.1 節)。	7.感謝提供指正，已將未涉及本次計畫之新設軌道系統移至附錄。	同意執行單位辦理說明。
8.第 6.3 節所列軌道溫室氣體排放相關內容中，僅列有臺鐵及北捷兩種，建請將已營運之高鐵及高捷一併納入分析(報告第 6.3 節)。	8.本計畫根據 IPCC 的公式分為 Tier1~Tier3，Tier 1 的部分團隊是統一將所有運具放置於第三章。而 Tier 2 高鐵並無區分路線與車種，高捷亦無區分車種，因此高鐵與高捷 Tier 2 本計畫未納入計算範圍，其詳細說明列於第 6-27~6-28 頁。	同意執行單位辦理說明。
9.有關運輸部門溫室氣體排放基線預測部分，研究團隊以聯立方程式方式校估模型，統計分析之結果較為理想。推估結果，以運具而言，除機車外，其餘運具如小客車等，均較去年研究成果所估算之 CO <sub>2</sub> 排放量為高，加重運輸部門未來節能減碳所擔之責任。	9.去年度計畫之預測模型中，其所加入的變數及情境與本年度計畫不同，因此導致結果不相同。	同意執行單位辦理說明。
10.有關運輸部門能源效率指標部分，研究團隊所建立之指標偏向學術性，若要進行某運具之能源效率，必須透過複雜的數學模式計算，在實務操作上並不方便，且計	10.實務上可行之能源效率指標均彙整如表 8-1 所示。每個指標都有錢在問題，本計畫所提出的指標則較具理論基礎，未來可針對不同指標進行相關性分析，俾能選擇較適當且易	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
算結果亦不易以直觀之方式了解其合理性，在實務之影響因素分析上造成困難，建議研究團隊簡化能源效率指標，或找其它實務單位較為適用之指標(報告第8章)。	懂的指標，進行必要的修正，以做為公告的基礎。	
11.在運輸部門減量策略方面，表 9-12 減量績效表中，列有多種情境背景個別之影響，以及相關運輸政策面向之影響因子分析，惟在報告中未有完整之說明文字作詳細之說明，且所列之運輸政策面向涵蓋不完整，建議予以補充強化。此外，表中各項情境之間(如實施燃料稅，加上國際油價上漲)之加成影響，是否在模式中有納入考量，也請一併說明。	11.已在第 9 章補強說明。至於時師能源稅及國際油價上漲，則屬獨立事件，已在第 9 章予以說明。	同意執行單位辦理說明。
12.表 9-12 減量績效表中，係以 Top-Down 方式估算運輸部門減量成效，惟為配合本所業務需要，應與現在永續能源政策行動方案中各項計畫減量成效進行結合，兩者必須相互呼應。	12.已在第 9 章補充說明彼此間的關聯性。	同意執行單位辦理說明。
13.有關運輸部門減量策略方面，請提出較完整之推動策略構想。	13.遵照辦理，已在第 9 章補充說明。	同意執行單位辦理說明。
14.請依研究成果撰寫 10 至 20 頁之摘要報告，納入作為報告之附錄 1。	14.遵照辦理，詳見附件。	同意執行單位辦理說明。
15.本案工作項目包含出國參加 COP15 會議，請研究團隊與會人員回國後，將相關成果報告納入報告中。	15.遵照辦理，詳見附件。	同意執行單位辦理說明。
16.請研究團隊於會後依規定	16.遵照辦理，已經上網填報。	同意執行單位辦理說明。

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
至「GRB 政府研究資訊系統」填報有關本案相關研究成果並上傳成果效益報告，報告格式請至國科會「政府科技計畫績效管考平台」( <a href="http://stprogram.stpi.org.tw/index.htm">http://stprogram.stpi.org.tw/index.htm</a> )」下載，或逕洽本計畫本所承辦人。		
<b>陸、主席裁示：</b>		
1. 有關運輸部門能源效率指標與預測模式部分，請研究團隊就實務操作面，檢討其操作易行性與結果易讀性。	1. 已根據「庶民化」原則，改善可讀性，其基線預測模型已修正於第七章內容。	同意執行單位辦理說明。
2. 在運輸部門減量策略方面，請依據政府部門現行推動策略，提出更完整之推動策略構想。	2. 遵照辦理，已在第 9 章補充說明。	同意執行單位辦理說明。
3. 本期末報告原則審查通過，請研究團隊依據各與會委員及與會代表意見修訂報告書，將回覆辦理情形納入定稿報告，並於 98 年 12 月 25 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。	3. 遵照辦理。	同意執行單位辦理說明。
<b>柒、散會：中華民國 98 年 12 月 7 日（星期一）中午 12 時 15 分。</b>		

## 附錄 4

### 國外運輸部門節能減碳趨勢資料蒐集 (參與 COP15 會議)





## 附錄 4

# 國外運輸部門節能減碳趨勢資料蒐集(參與 COP15 會議)

### 1. 會議緣由

自 1995 年起，聯合國逐年召開「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)締約國大會，執行公約的各項程序，也是氣候變化綱要公約的最高決策單位；根據公約的規定，年度會議應定期檢討各國執行成效。2009 年於哥本哈根舉行第 15 屆締約國大會(COP15)，為 1997 年 12 月第 3 屆締約國大會通過京都議定書後，迄今最重要與盛大的一次會議，也被視為全球應對氣候變化之戰的轉捩點與達成後京都協議的關鍵契機。

曼谷與巴塞隆納氣候談判會議為哥本哈根會議前最主要磋商會議：

- (1) 曼谷會議的進展被視為「雖具建設性但無突破性」。開發中國家與已開發國家針對減量目標及規模、克服技術轉讓障礙與調適行動之穩定融資及管理制度意見依然相左且兩極化，各方仍停留在少數幾個關鍵問題，並未就 2012 年後排放減量承諾、融資等主要議題達成共識。兩個 AWG 會議間關聯性爭議在哥本哈根會議前最敏感之程序議題乃是哥本哈根會議成果之法規格式與兩個 AWG「公約長期合作行動特設工作小組會議」(AWG-LCA)與京都議定書特設工作小組會議(AWG-KP)」之間關聯性。此外，曼谷會議適逢 Ketsana 颱風在菲律賓、越南、高棉、寮國等國造成 300 多人死亡與重大淹水災情。因此使得對抗天然災害成為東南亞國家之重大訴求。菲律賓代表於星期三會議中以 Ketsana 造成嚴重災情為例，要求已開發國家積極進行與支持排放減量行動，表示若能因此激發各國減碳行動，則菲律賓遭受颱風損害與痛苦才不會白費。過去在會議磋商中，東南亞國家一直處於被動角色，最近風災頻繁可能導致東南亞國協(ASEAN)之 10 個成員國聯合採取積極磋商角色。
- (2) 巴塞隆納會議是哥本哈根氣候變化大會召開之前的最後一次氣候變化問題談判。UNFCCC 秘書處執行秘書德布爾(Yvo De Boer)表示，儘管本次談判在多個方面取得了進展，但在已開發國家中期減量目標和

為開發中國家應對氣候變化提供資金兩個關鍵問題上卻仍沒有實現突破。未能解決兩個關鍵問題，一是已開發國家的中期減量目標，二是已開發國家為開發中國家減緩和調適氣候變化的努力提供資金的問題。德布爾希望工業化國家能夠提高自己的減量目標，並且明確承諾在短期和中長期能夠向開發中國家提供多少資金。

## 2. 會議議程

2009 年「聯合國氣候變化綱要公約第 15 屆締約國大會暨京都議定書第 5 屆締約國會議」在 12 月 7 日～18 日於丹麥哥本哈根市舉辦。會議議程主要為 UNFCCC 第 15 次締約國大會(COP15)暨京都議定書第 4 屆締約國會議(CMP4)，以及這兩個國際公約之四個附屬團體會議，分別是第 31 次附屬科技諮詢機構會議(SBSTA)、第 31 次附屬履行機構會議(SBI)、第 8 次公約長期合作行動特赦工作小組會議(AWG-LCA 8)，以及第 10 次京都議定書特定工作小組會議(AWG-KP 10)，同時公約針對氣候變遷相關議題主辦 267 場周邊會議(side event)；此外，國際探交易協會(IETA)，也於鄰近大會會場 Bella Center 的 Crown Plaza 舉辦 103 場會議。整體會議架構圖如圖 1 及表 1 所示，交通運輸相關議題議程如表 2 所示。

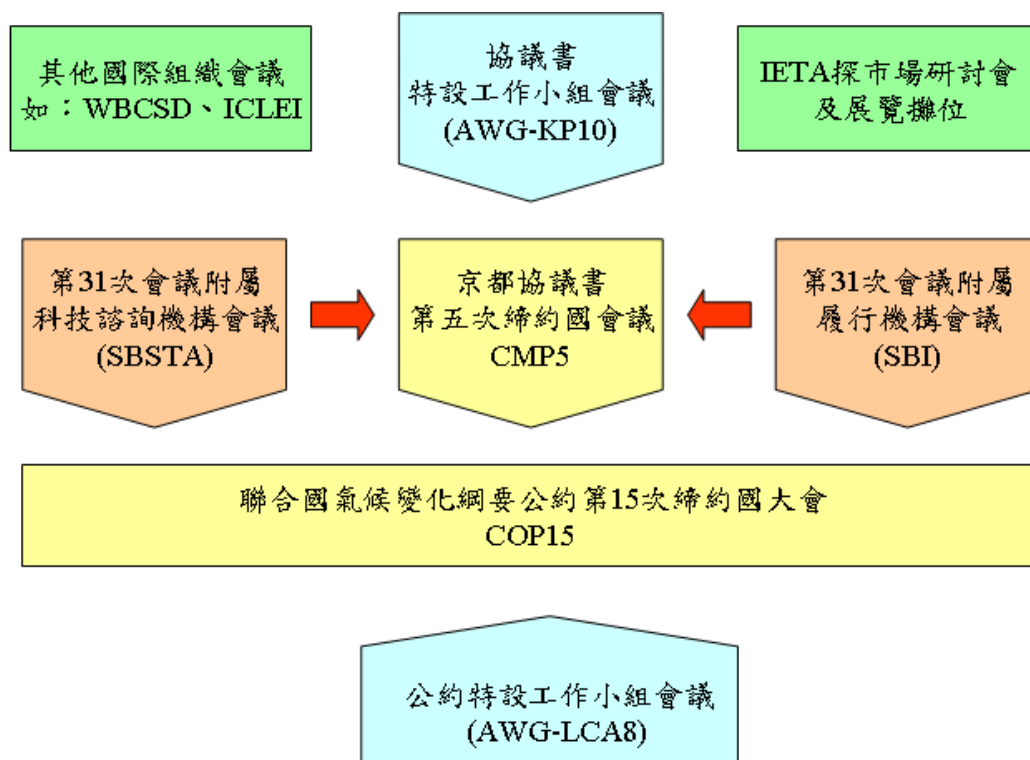


圖 1 COP15/CMP5 會議架構

表 1 COP15/CMP5 會議議程

First Week								
12.07(一)	12.08(二)		12.09(三)		12.10(四)	12.11(五)	12.12(六)	
開幕典禮 COP 開幕 CMP 開幕	SBI	SBSTA	COP	非正式協商	非正式協商	非正式協商	COP	非正式 協商
			CMP				CMP	
			AWG-LCA 開幕	CMP			非正式協商	SBI 閉幕
AWG-KP 開幕								
公約周邊會議及展覽攤位								
Second Week								
12.14(一)	12.15(二)		12.16(三)		12.17(四)	12.18(五)	12.19(六)	
非正式協 商	非正式協商		COP	非正式 協商	部長會議 (High-level segment)	部長會議 (High-level segment)		
			CMP					
非正式協 商	AWG -LCA 閉幕	AWG- KP 閉幕	部長會議 (High-level segment)	非正式 協商		COP 閉幕 CMP 閉幕		
公約周邊會議及展覽攤位								

表 2 交通運輸相關會議議程

2009.12.07.(一)	
10:30-12:30 Veolia Transport, GTZ, UITP and TRL	<p><b>A role to play for the land transport sector in the post 2012 World</b></p> <p>Veolia Transport, GTZ, UITP and TRL will present under the initiative "Bridging the gap: pathways for transport in the post 2012 process" sustainable land transport policy scenarios, examples and suggestions for a low carbon road map for developed and developing countries and how they can be better facilitated through a climate agreement.</p>
2009.12.08.(二)	
08:45-10:15 European Commission DG ENV	<p><b>Inclusion of Aviation in the EU Emissions Trading Scheme</b></p> <p>How aviation activities are being included in the European Union Emissions Trading System from 2012, with an update on the latest implementation activities.</p>
10:15-11:15 U.S. Department of Transportation (DOT)	<p><b>Greening U.S. Aviation: The Roadmap to Reducing Greenhouse Gases</b></p> <p>The U.S. is taking a proactive approach and is leading global efforts to mitigate the climate impacts of aviation. A panel of aeronautics experts will outline research and development efforts focused on aviation greenhouse gases and lead a discussion on scientific research to better understand the climate impacts of aviation emissions, new aircraft and engine technologies, alternative fuels and more efficient operations.</p>
13:00-14:30 Brazil	<p><b>The contribution of biofuels to climate change mitigation</b></p> <p>Biofuels as a low carbon renewable alternative for the reduction of GHG emissions in the transport sector, as well as for electricity, cooking and heating. Creation of an international market for biofuels, taking into account the three pillars of sustainability of the global production and use of biofuels.</p>
16:45-17:45 FTA, USA	<p><b>Buses, Trains, and Commuter Vans: Reducing Carbon through U.S. Public Transit</b></p> <p>This panel will showcase the role of public transportation in reducing U.S. greenhouse gas emissions (GHG) from the transportation sector. The transportation sector emits 29</p>

	percent of all U.S. GHG emissions.
20:00-21:30 Greenpeace International (GPI)	<b>How the Copenhagen Agreement must drive emissions to zero</b> A presentation with partners from state governments, industry, science and civil society.
2009.12.09.(三)	
08:45-10:15 European Commission DG ENV	<b>International Aviation and Maritime Emissions post-2012</b> An event looking at the likely evolution of aviation and maritime emissions post-2012 and possible policy responses.
10:00-12:00 DTU Transport	<b>Transport out of the Greenhouse - from Copenhagen to Implementation</b> What are possible policy pathways and appropriate institutional frameworks for achieving transitions towards low carbon transport in industrialized countries, and to avoid repeating the failures in developing ones? At this seminar you will meet two leading international UK-based experts on transport and climate policy analysis, John Whitelegg and Holger Dalkmann and hear their views on what it takes to make real changes happen
10:30-12:30 The Ministry of Agriculture Natural Resources and Environment-Cyprus	<b>International Shipping and Climate Change</b> International experts analyse the current situation of the world's international merchant fleet, its efficiency and carbon footprint, and the challenges faced by the IMO in controlling GHG emissions from ships.
15:30-17:30 BMU	<b>Innovative transport solutions - essential in mitigation strategies and part of Technology cooperation</b> German Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety
15:30-17:30 Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety-Germany	<b>Innovative Transport Solutions-Essential for Mitigation and Technology Cooperation</b> Best practice technologies for a low-carbon future in developing and developed countries. The Federal Ministry for the Environment and German Industry presents and discusses technology cooperation in transport.
2009.12.10.(四)	
10:15- U.S. Department of	<b>Exploring Sustainable Urban Transportation: Lessons from the Copenhagen Model</b>

Transportation (DOT)	<p>U.S. Department of Transportation and City of Copenhagen officials will lead participants into the city of Copenhagen to explore sustainable transportation development as a model of U.S. efforts to build more livable communities. The Sustainable Communities Partnership, announced in July 2009, brings together U.S. Departments of Transportation, Department of Housing and Urban Development and the Environmental Protection Agency to better coordinate federal transportation, environmental protection, and housing investments. The goal of the partnership is to build livable communities, where safe, convenient and affordable transportation is available to all people, regardless of what mode they use. Livability is an important climate strategy, particularly for the transportation sector which is responsible for 30% of American greenhouse gas emissions. More compact developing along with complimentary pricing strategies could reduce carbon dioxide emissions by 18-24% by 2050.</p> <p>Side event participants will learn about the city's plan and experience first-hand Copenhagen's state-of-the-art transit system, transit-oriented development, and world-renown bicycle paths. Site visits will be accompanied by discussions of the past, present, and future Copenhagen transportation plans and the application to U.S. transportation policy.</p>
11:00-12:30 Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)	<p><b>Driving home solutions: transport emissions trading and regional adaptation information</b></p> <p>The Potsdam Institute (PIK) introduces two of its solution-oriented projects: 1) CITIES on emission trading in the transport sector (with TU Berlin and BMW) and 2) the ci:grasp prototype - a support platform for global and regional adaptation (with GTZ).</p>
16:30-18:00 Bridging the Gap Initiative	<p><b>Copenhagen: bridging the gap with land transport</b></p> <p>There is considerable scope to develop mechanisms to both reduce and reward CO<sub>2</sub> emission reduction efforts from the land transport sector in developing and industrialised countries. There is also the opportunity to put a framework in place that will enable land transport to receive the finance, capacity building and technology that it needs to implement</p>

	effective mitigation and adaptation measures. This official side event will present recent thinking from transport and climate change experts about how this can be done.
2009.12.11.(五)	
17:30-20:30 Inter American Development Bank (IDB) and the Bridging the Gap Initiative	<b>Shaping the Future of Urban Transport</b> Urban transport in developing countries is a major and fast growing source of GHG emissions. At the same time transport infrastructure and operations is vulnerable to climate change. The demand for mobility in developing country cities is expected to continue growing, to meet the need for economic and social development. To help ensure that such growth will be more sustainable, developing countries require international support to implement mitigation and adaptation measures.
2009.12.12.(六)	
15:00–16:00 Kompass Network	<b>Podcars: Climate friendly transport</b> Watch, listen and discuss Podcars and climate friendly transportation at this informative session on climate friendly transport. A third of the greenhouse gases are caused by transportation. Podcars exist now! Some tracks are running and several are on their way. KOMPASS is a network of local governments promoting information, discussion and financing of podcar/PRT pilot tracks. Decision makers, media and all interested are most welcome to attend.
2009.12.13.(日)	
14:00-16:30 Asian Development Bank (ADB)	<b>Responding to Climate Change in Asia and the Pacific</b> As part of the ADB event the transport sector is a key area of focus and the afternoon sessions (2:00pm to 4:30pm) have been dedicated to the complex issues surrounding transport in the climate change process. Sessions include: (a) A seat at the table: Transport as part of the solution, and (b) Rethinking Transport: Mechanisms for Reducing Emissions.
2009.12.14.(一)	
15:00-17:00 Sustainable Developments (IISD) - Global Subsidies Initiative (GSI)	<b>Phasing out Fossil-Fuel Subsidies: Moving from Rhetoric to Reform</b> Governments recognize that reducing support to fossil fuels will not only save them billions of dollars, but that it can also make a significant contribution to reducing emissions of

	<p>greenhouse gases, levelling the playing field for investments in alternative energy, and encouraging the shift to cleaner and more efficient modes of production and consumption. The International Institute for Sustainable Development (IISD) invites speakers and observers from a range of G-20 governments, inter-governmental and non-governmental organisations, as well as the private sector, to focus on how the political commitment to phase out fossil-fuel subsidies can be translated into effective reform.</p>
2009.12.15.(二)	
<p>10:45-12:15 International Transport Forum (ITF)</p>	<p><b>Major transport emission reductions: What is possible? At what cost?</b></p> <p>Facing economy-wide GHG cuts of up to 80% by 2050, we review evidence on what is possible for transport, what is feasible and how much is it likely to cost. Must we travel less? Must we travel better? Who acts? Who pays? Are we losing opportunities to cut transport GHG emissions at low cost?</p>
<p>11:30-12:30 U.S. Department of Transportation and U.S. Environmental Protection Agency</p>	<p><b>Driving Down Emissions, Driving Up Fuel Efficiency: Coordinating a Groundbreaking National Vehicle Policy</b></p> <p>In May 2009, U.S. President Barack Obama announced a new National Fuel Efficiency Policy aimed at both increasing fuel economy and reducing greenhouse gas pollution for all new cars and trucks sold in the United States. This policy responds to the country's critical need to address global climate change and to reduce oil consumption. In September, the U.S. Environmental Protection Agency and the U.S. Department of Transportation signed a joint rulemaking that proposed the first-ever greenhouse gas emissions standards and increased fuel economy standards for passenger cars, light-duty trucks, and medium-duty passenger vehicles for model years 2012-2016. These proposed standards would achieve approximately 950 million metric tons of total carbon dioxide equivalent emissions reductions and approximately 1.8 billion barrels of oil savings over the lifetimes of vehicles sold in model years 2012-2016. Not only is this new national policy revolutionary in its content, but it also reflects the</p>



	cooperative and collaborative nature of effective government, utilizing responsibilities of and contributions by both agencies. The new national policy was also supported by key stakeholders such as automotive manufacturers and the United Auto Workers, the State of California and 13 other states, and major environmental NGOs. A panel of U.S. government representatives will discuss this new policy and its implications.
14:00-15:30 The International Transport Workers' Federation (ITF) and the Global Labor Institute	<p><b>Climate Change and Employment: An Alternative Model for Transport</b></p> <p>The International Transport Workers' Federation (ITF) together with the Global Labor Institute at Cornell University is hosting a panel on transport, employment and climate change at COP 15 Copenhagen. The challenge of global warming and climate change means that we now urgently have to put forward an alternative and progressive vision of transport- a vision that articulates ideas about how transport can fulfill its wider role, about how transport should be owned and controlled, and about how transport can be a provider of good quality jobs and employment conditions for millions of transport workers around the world.</p>
2009.12.16.(三)	
10:15-11:15 U.S. Department of Transportation (DOT)	<p><b>The U.S. Transportation Sector: A Part of the Climate Solution</b></p> <p>The Obama Administration and the U.S. Department of Transportation (DOT) consider climate change a major priority, and are committed to generating green jobs, decreasing our reliance on foreign oil, reducing pollution, and creating more livable communities. DOT is working to dramatically improving the fuel efficiency of automobiles, intensify energy efficiency and renewable energy efforts, and work through interagency partnerships to build livable communities where people can move without burning oil. As transportation both contributes to and is affected by climate change, DOT is focused on mitigating transportation's contributions to greenhouse gas emissions and adapting to potential impacts on transportation infrastructure. This work</p>

	includes improving vehicle fuel economy, developing alternative fuels, improving system efficiency and fostering more transportation choices. A panel of DOT decision-makers will explore a number of actions the Department is taking as well as outline future goals and priorities.
11:00-12:30 Latin American, Corporación Andina de Fomento (CAF)	<b>Low Carbon Urban Massive Transport: a driver for a sustainable and competitive Latin American</b> A review of the evolution of lower emissions, urban mass transport systems in Latin America, and its impact in the quality of life of citizens; The development up to 2012 and perspectives for a post-Kyoto mechanism to treat GHG emissions in transport.
16:30-18:00 Climate action registry	<b>Panel: Complementary Transportation Policies: Moving Beyond a Cap</b> While the oil and gas industries are sure to be among the first sectors included in any cap and trade program, policymakers are seeking complementary ways to reduce emissions from the transportation sector, including improving vehicle efficiency standards, developing low carbon fuel standards, and other innovative policies. This expert panel will highlight creative thinking and action on these complementary approaches.
16:30-18:00 International Emissions Trading Association (IETA) Diane Wittenberg, The Climate Registry	<b>Complementary Transportation Policies: Moving Beyond a Cap</b> including improving vehicle efficiency standards, developing low carbon fuel standards, and other innovative policies. This expert panel will highlight creative thinking and action on these complementary approaches.

### 3.會議結論摘要

根據聯合國氣候變化綱要公約的執行長德布爾(Yvo de Boer)於12月19日召開的最後一場記者會，強調全球超過百位領袖一同參與COP15，並親自參與實質協商，是前所未見的狀況。其指出最後大會通過的哥本哈根協議(Copenhagen Accord)極具政治上的意義。本次會議的主要成果：

- (1)附件一國家，均需於2010年1月31日之前，提出其減量目標，而非附件一國家亦須在該期限前，提出其國內所規劃採行的減緩行動。而為了讓小島國家聯盟同意此協定，此協定中指出2015年時，將再依已達成的減量行動，檢視氣候變化綱要公約的最終目標，包括能否將增溫控制到1.5度以下。
- (2)針對「資助」(funding)議題方面，協議中同意墨西哥領銜提出「哥本哈根綠色氣候基金」的成立，以協助發展中國家進行「減緩森林退化」、調適、能力建構、技術發展等。
- (3)已開發國家承諾將於2010年至2012年之間，提供300億「新增」以及「額外」的資助。強調此資金的運作應為調適與減量並重，但強調對最低度發展國家、小島國家、非洲等，調適應為優先。在「財務資助」的長期承諾，強調基於落實「有意義」以及「透明」的減量行動的前提之下，已開發國家將於2020年時，共同提供每年1000億的資助。
- (4)針對「技術移轉」議題僅強調將設定一技術機制(Technology Mechanism)，以加速技術發展與移轉，但強調此移轉程序應為具有各國差異性，基於其所需以及優先順序，提出所需協助發展的調適與減緩技術。
- (5)在「減緩森林退化」議題上，則強調意識到此行動對減少溫室氣體排放的貢獻，將有REDD的延續計畫(REDD-plus)。

執行長德布爾於發言中坦承，這協議中沒有法律約束力的目標、亦沒有個別國家的減碳目標、沒有詳細說明300億基金該如何募集以及分配。期待以此協議為起點，在明年墨西哥第16次締約國會議前，協商出更詳細的內容，以推動具有法律約束力的具體議定書。表3為綠色公民行動聯盟(趙家緯，2009)將COP15主要結論與非政府組織(NGO)間期待的彙整。

表 3 COP15 結論與 NGO 期待對照表

議題	哥本哈根協定 (Copenhagen Accord)	國際氣候行動網 (CAN)
效力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 偏向政治性的宣言。</li> <li>2. 京都議定書仍將持續。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在未有新的議定書下，京都議定書應持續，且提出第二個減量承諾期。</li> <li>2. 需提出互補性的協議，以規範美國與發展中國家的參與。</li> </ol>
減碳目標	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 控制攝氏兩度以下。</li> <li>2. 要求附件一國家，均需於 2010 年 1 月 31 日之前，提出其減量目標。</li> <li>3. 非附件一國家亦需於 2010 年 1 月 31 日之前，提出其國內所規劃採行的減緩行動。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 為有效控制增溫兩度下，應將大氣圈的二氧化碳濃度控制在 350ppm。</li> <li>2. 全球排放量於 2013~2017 年間達到高峰，此後開始下降。</li> <li>3. 2050 年全球排放量需較 1990 年減少 80%。</li> <li>4. 工業化國家需於 2020 年時，較 1990 年的排放量減少 40%以上。</li> <li>5. 發展中國家的排放量，應相較於未採行減量措施時(BAU)顯著減少。</li> </ol>
減少森林退化	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 承諾將由氣候基金資助 REDD。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2020 年前，達成森林零退化。</li> <li>2. 每年需提供 350 億協助此行動。</li> </ol>
國際氣候基金	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 成立「哥本哈根綠色氣候基金」。</li> <li>2. 2010 年至 2012 年之間，提供 300 億「新增」以及「額外」的資助。</li> <li>3. 2020 年時，共同提供每年 1000 億的資助。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 2020 年時，每年應提供近 1950 億美元的財務金。</li> </ol>
技術移轉	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 技術機制 (Technology Mechanism) 以加速技術發展與移轉。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基於「保護與分享」(Protect and Share)的精神，建立一新的智財權的管理協定，協助檢兩與調適技術流通。</li> </ol>
調適策略	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 指出調適對高脆弱度的國家之重要性。</li> <li>2. 已發展國家有責任協助發展中國家的調適工作。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立調適行動綱領 (Adaptation Action Framework)，協助發展中國家鑑別其衝擊。</li> </ol>

資料來源：綠色公民行動聯盟(趙家緯，2009)，<http://e-info.org.tw/node/50373>

#### 4.運輸部門相關議題內容

運輸部門在減少溫室氣體排放的主要挑戰：首先，溫室氣體排放量大且仍持續顯著地成長，所以必須積極擬定減排政策；其次，運輸工具所使用的能源，95%倚賴高碳密度的化石燃料，所以必須提高能源使用效率並及早進行能源除碳化發展；最後，運輸部門容易遭受氣候變遷效應之衝擊，如水災破壞地面運輸設施、強風影響海空航運運行，所以必須立即投資調適與應變的相關措施。

當石油天然氣產業確定納入總量管制與交易機制(Cap and Trade Program)第一優先群中之際，政策制訂者應開始著手尋求互補性方法來減少運輸部門的溫室氣體(GHG)排放，包括提升運具效率標準、制訂低碳燃油標準、以及其他創新的措施。

決策者擬訂減排的規模和範圍是很艱鉅的工作，但運輸部門仍有許多低成本的政策仍然是可以付諸執行，尤其是在面臨高能源價格時代的來臨。如果運輸部門溫室氣體減排方案是基於邊際減排成本與效益所決策，之上以及採取最具成本效益的方案，則政府擬訂許多政策的同時，就可避免不必要的費用支出。

產業將需要一個具明確性、一貫性和延續性的政策方針，以引導低碳技術創新，而民眾也需要購買決策、旅運行為選擇及居住模式等方面的指導。其中，技術上的創新可能比旅運行為及居住模式改變來得具有更大且更快的減量潛力。

國際運輸論壇(ITF)提出運輸部門的12點關鍵信息(key messages)如下：

- (1) 在氣候變遷的不確定的結果下，要將減少溫室氣體排放的好處予以量化是非常困難的，特別是發生機率很低的災難發生時。
- (2) 氣候的不確定性與量化的難處，造成以碳的報酬率或影子價格決定選擇替選方案的困難。但是，假如我們不想浪費資源，則以成本效益來評比減排策略仍是必要的方法。
- (3) 整體上溫室氣體主要的減量大都寄望於能源及住商部門，但運輸部門有許多減排措施相較之下是成本較低的。有些措施長期之下因為燃料的節省而省下許多成本，儘管如此，因為運輸部門許多創新技術的資金成本是相當高的，同時這也造成了商業化的障礙，而這些投入的前置成本與後來獲得的能源效率往往是不成比例的。

- (4) 燃油效率標準輔以適當的燃油稅是一個重要的工具以解決前述的障礙。而長期目標的訂定，可以驅使汽車製造商需要新技術的投資，讓消費者為了提升燃油效率性而支付更高的價格作為補償。如此，汽車製造商及消費者的轉變提供運輸部門減量潛力。
- (5) 燃油稅將對 CO<sub>2</sub> 排放有重大影響，包括旅運需求及車輛製造商技術發展，所以燃油稅率必須配合因應氣候變遷的政策及減排措施一併實施。
- (6) 車輛登記費用或購置稅分級，以及獎助方案計畫(feabate schemes)能進一步引導消費者購買燃油效率較佳的汽車。但必須注意，應確保這些計畫能伴隨市場上車隊的變化，以避免汽車市場過於零碎，如此將會增加成本，削弱計畫的影響力。同時還需要與其他獎勵方案互相搭配，例如根據車輛排放量、燃油標籤制度。
- (7) 低碳燃料將有助於溫室氣體排放量減少但幅度不大。生質燃料的生產配額對於推廣低碳燃料是沒有效率的，甚至對於 CO<sub>2</sub> 減量都沒有效果，除非能與有效的永續性標準和燃料碳標準結合。
- (8) 改進傳統和混合燃料內燃機技術將是短、中期繼續減少溫室氣體排放的最佳方式。動力來源電氣化在長期中將扮演越來越重要的角色，然而電池成本、續航力及充配設施建置等障礙仍有待克服。最終，動力來源電氣化對於溫室氣體的排放取決於發電結構的碳強度。凡煤炭仍是電力生產的主要原料，動力來源電氣化並不一定會降低總體溫室氣體排放量，如果沒有達到經濟規模的碳捕獲和儲存技術。
- (9) 改善交通管理，深具減排潛力，減少車輛走走停停的情形和抑制超速行為，但釋放出來的道路容量將吸引更多的流量；不過，在很多情況下，即使在整體旅次增加的情形下，只要能以最有效率的速度度行駛，整體 CO<sub>2</sub> 排放量仍可低於原來的總排放量。關鍵在於，如何管理新增的有效容量以保有減少擁擠的效益，例如採取徵收擁擠費的方式。
- (10) 機動性管理措施、土地利用規劃和推廣高質量的公共運輸等，均有助於減少溫室氣體排放。這些措施所減排的量相對較少，由於技術效率改善的因素，隨著時間每公里二氧化碳的排放量減少了。這些措施的減排效益，或許較低於技術效率提升的效果然而，許多這些

措施所提供的重要共同利益(如空氣品質、噪音、擁擠)，不應被運輸當局所忽略。

(11) 國際航空與海運的燃油未被徵稅，相關國際公約被視為施行碳稅與交易的阻礙。在京都議定書協議下，國際民航組織(ICAO)和國際海事組織(IMO)被分配空運及海運減量責任；相關減排行動計畫仍被持續要求，但是是否能快速或有效達到減排成效卻不明確。以市場為基礎的手段，如徵收燃油稅和排放交易都可能會實施，雖然目前國際上仍未有共識。研究指出，排放交易制度(或燃油稅)只要能與其他部門的交易制度結合，會比起降稅或機票附加稅更具成本效益。

(12) 為了有效解決運輸部門碳排放問題，政府部門須建立健全的評估及監測架構以引導行動計畫推動。而評估及監測工作有賴充足的資料蒐集，透過資料蒐集及分析可以獲得許多管理上的資源。

溫室氣體減量和其他運輸目標之間存在著許多交互影響作用：例如降低交通擁塞，可能導致溫室氣體排放量顯著下降；減緩車輛速度會降低事故的嚴重程度。為了達成積極的運輸溫室氣體減排目標，運輸當局需要建立一個健全的評估和監測架構，以指導各國的行動。決定溫室氣體排放可分為四大類：交通運輸需求、運輸模式、燃料類型和燃油效率。燃油效率又分成兩部分，其一是車輛燃油效率，其二為交通流量效率。政府需要根據這四大因素來制定政策。所需數據包括不同交通運輸模式的組成與特性、活動數據、各運具的佔比、能源消耗與各運輸模式之排放率，同時須考慮化石燃料和生化燃料的因素。

道路上行駛的機動車輛為運輸部門最大排放來源，占整體部門的 2/3；目前全球機動車輛數已突破一億輛，預計於 2025 年將突破兩億輛。因此，運輸部門的改革是刻不容緩，特別是道路交通部分。講者 Sperling 指出，可藉由製造技術、管理制度與使用行為等三階段的創新作為來解決此一議題，其建議步驟如下：

- (1) 增加車輛應用電能電池、燃料電池與輕量材質等的 R&D 投資，包括培養下一代的科學家與工程師。
- (2) 加速先進車輛技術的商業化，如研發的補助與稅費的減免。
- (3) 制訂燃油與溫室氣體排放的標準，而不只是挑選眼前技術最佳的優勝者。

(4) 結合政策管制的市場機制，如燃油附加費或徵收碳稅、低能耗或非機動車輛的購買補助。

(5) 限制車輛使用，如增加車輛使用成本、管理都市土地使用、補助非機動車輛使用、創造的運輸機動性服務(mobility service)。

在理想的情況下，政府不應該增加減排預算，除非有明確的減排目標。在面對差距甚大的減排成本下，全球各地排放交易制度將可以大大降低整體溫室氣體排放成本。目前政策制定者和製造商需要在低成本減排技術和高成本投資間達成平衡。因此，改善運輸 CO<sub>2</sub> 排放的評估架構(圖 2)，必須包括大眾對運輸部門溫室氣體減排政策的接受度、執行的障礙與現有政策的兼容性和評估的問題，同時，也須考量排放量的生命週期和成本效益評估。

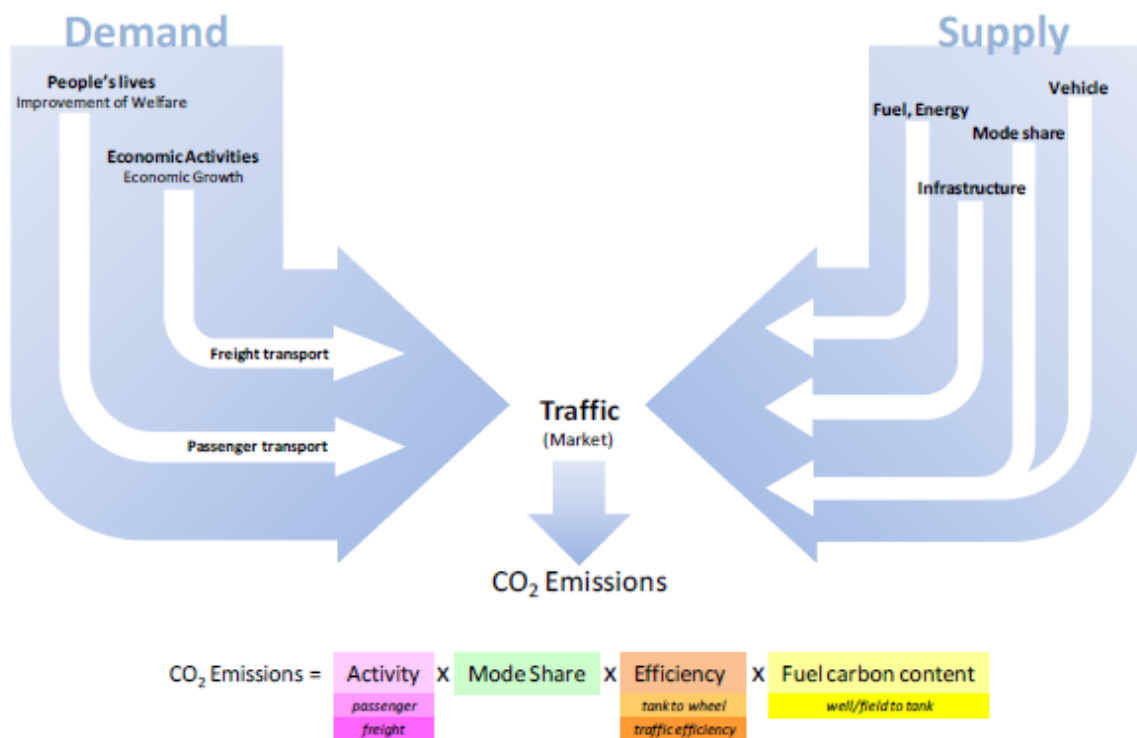


圖 2 改善運輸 CO<sub>2</sub> 排放的評估架構

## 5. 會議觀察心得與建議

本研究就本次丹麥哥本哈根會議之觀察，綜整提出以下心得：

### (1) 政府應明確擬定政策施行的策略主軸

如何因應氣候變遷並維持經濟發展為 COP 會議的核心，而運輸



部門在溫室氣體減排方面，除應維持環境的永續發展，亦應以不降低民眾的生活機能為宗旨。雖然，目前許多國家針對運輸部門均已宣示明確的承諾或積極的減量目標，也採行許多減量措施，但是在串接政策目標與行動方案間的策略主軸卻鮮少著墨。

國外實際案例顯示，發展大眾運輸與發展替代能源車輛均為鉅額投資，在有限資源下應該謹慎選擇符合民眾使用習性、成本低且效益高的方案，例如歐洲或日本等地區在促進使用大眾運輸系統的成效上極為顯著，但是在美國或加拿大等地廣闊人稀且長久依賴私人運具的地區，低能耗車輛能獲致較高的成效。

## (2) 政府應積極扮演資源整合與協調分配的角色

就運輸溫室氣體減排而言，在部會間，交通部門對生質燃油發展、排放標準提升、使用者行為改變等與能源、工業與都計部門相關；在層級間，城際與都會的運輸上，涉及中央與地方、地方與地方政府；在運具間，私人運具轉移非機動工具或銜接至大眾運輸工具。上述各項，政府應積極成立跨部會、跨層級、跨運具的不同實質合作小組，扮演整合人力、物力、技術等資源的角色，才能有效率執行各項減排作為。

再者，諸如電力或再生能車輛的提倡，將可能使溫室氣體排放的責任轉移至能源部門，甚至排擠其他部門的能源使用需求；而轉移私人運具運量至高運能的大眾運輸工具上，則可能增加公車/巴士、捷運/臺鐵/高鐵等運輸的減排壓力。因此，如何分配有限資源與合宜減排額度，如京都議定書的主要精神—「共同但有區別的責任」，更需要政府積極扮演溝通協調的角色。

## (3) 政府應評估成本效益後施行完備的方案組合

優先改善各種運輸工具在能源使用密度的效率是溫室氣體減排的必要手段，進一步為避免資源的浪費，在運輸工具效能提升上，成本與效益評估是政策擬定時基礎。大規模運輸投資往往吸引政策擬定者的注意，然而大量投資並不一定能獲得充分的效果；例如，根據ITF(2009)報告，推展經濟駕駛(Eco-driving)方案，包括平順駕駛習慣的教育訓練、離合器調整與燃油經濟計算器(fuel economy metering)，可以極低成本的投入，快速達到 15%減排成效，而大規模、高成本的

去推展生質燃油技術，國際經濟合作發展組織(OECD)預估，至 2010 年最高僅可能有 10%的使用比例。因此，若經由成本效益評估，短期著重推動經濟駕駛方案，長期持續搭配生質燃油技術，則整體減排成效將可大為提升。

此外，步行與自行車為目前認為減少都會區運輸排放最為有效的措施，所以墨西哥政府再籌備舉辦 COP16 之際，也將自行車視為 2010 年施政重點，建立自行車的分享機制、停車設施與安全路徑；然而，除了硬體設施的建置，如何營造友善環境、提出有效誘因及實施行為教育，讓民眾願意改變行為且能夠充分使用，更是成功與否的關鍵。

## 附錄 5

### 「運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放之推估方法」專家學者座談會



## 附錄 5

### 「運輸部門 CO<sub>2</sub> 排放之推估方法」專家學者座談會

壹、時間：98 年 7 月 2 日（星期四）早上九點三十分正

貳、地點：交通部運輸研究所 5 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運貴組長、開南大學運輸觀光學院黃宗煌院長

肆、出(列)席單位及人員：如會議名單。

伍、主席致辭：略

陸、簡報：略

柒、綜合討論：

**國立台北大學自然資源與環境管理研究所李堅明教授：**

- (一) 建議關於溫室氣體的計算結果可與過去相關單位或部門作比對。
- (二) 就整個國家基本量以 Tier 1 為最基本消耗量，而 Tier 2 和 Tier 3 是屬於細部管理，其背後會引發未來運輸部門相關管理問題，研究團隊能從推估方面去引申運輸部門的管理和溫室氣體排放管理，政府在相關政策面推動及包括參數的推估都是相當重要的建議。
- (三) 研究團隊可以根據國外經驗，若要做運輸部門溫室氣體的排放，大部分做到哪裡？
- (四) 用不同方法推估，其數值一定不同，而背後意義為何？作具體差異說明。
- (五) 航空之貨運部分未提到，研究團隊未來是否會做航空貨運部分？
- (六) 客運部分，計算班機在上空時，其溫室氣體的排放須進一步了解。
- (七) 在脫鈎部分，應用 GDP 百萬美元，請問 GDP 是國家整體 GDP 還是運輸部門 GDP？建議推估運輸部門 GDP 較恰當。
- (八) 第二季較無其他季節有強脫鈎的現象，是何因素在績效上有此現象，建議進一步補充說明。
- (九) 水運部分，以散裝為代表，除了散裝是否有其他？在散裝上其排放比例為多少？
- (十) 目前以個案部分做推估，若無政府強制力，其企業所提供資料較為保守，所以資料取得之正確性是否可以確認？

- (十一) 簡報第 65 頁中所提到用 Tier 1 所計算之排放量單位有誤。
- (十二) 簡報第 86 頁提到整體排放量的推估，船的數量、噸位、船齡等三種，請問其三種的意義為何?哪一種可作為代表性?
- (十三) 軌道部分，簡報 97 頁中用語 GWP 之中文使用溫室氣體「生成」潛勢，較不適用生成兩字，請做調整。
- (十四) 簡報第 109 頁中，排放係數以柴油而言，都是用公升/克為單位，消耗量為千公升，所以應改為 $\times 10^3$ ，而電力部份，應改為 $\times 10^3 \times 10^{-3}$ 。

**行政院原子能委員會核能研究所核子燃料及材料組 IGCC/能源模型研發分組葛復光分組長：**

- (一) 資料較為繁複，所以需要做交叉比對，即便能源局所提供不同年份和不同網站的資料，必須做比對。
- (二) 能源平衡表中資料包含生值燃料，是否獨立計算? 例如生值柴油、生值酒精。
- (三) 運輸部門的 Tier 1 跳到 Tier 3，請問 Tier 2 未呈現的情況是否可以說明原因?
- (四) 航空與水運有計算，公路部分只有計算軌道，運輸界佔最大部分是公路，但是未在簡報中提出，請說明原因。
- (五) 在減量上，研究團隊主要是呈現  $\text{CO}_2$  或者是等效的  $\text{CO}_2$ ?
- (六) 航空部分，有特別分國籍和國外兩部分，國際上對於  $\text{CO}_2$  未釐清其歸屬，從運輸角度及各國減量之要求上也並未釐清，所以短時間內為何有此劃分，請說明原因。
- (七) 簡報第 22 頁提到  $\text{N}_2\text{O}$ ，然而第 46 頁是  $\text{NO}_x$ ，請問此二頁所指的是否同一種? 若不是，以何種為主?
- (八) 水運部分，簡報第 68 頁，其數據之資料來源為何處?是否為 IPCC? 請說明。
- (九) 水運部分，國內目前應釐清總量的部份，特別是 Tier 1 的部份，國內還有很大的空間，將其資料完整釐清，是很大的貢獻，未來在 Tier 2 和 Tier 3 的部分，若 IPCC 提出其他國家各自的排放係數，而交通部運輸研究所可以建立，國際上較易採信。
- (十) 關於軌道部分，問題同航空部分，關於  $\text{NO}_x$  請說明清楚。

- (十一) 簡報第 106 頁中的數據，特別是能源局的資料，在航空部分其使用新版能源平衡表，運輸服務業是屬於運輸部門之外，請問其他水運和軌道部分是使用何種版本？若是新版請說明清楚。
- (十二) 簡報第 109 頁中，排放係數 0.636 為單年，建議採用逐年的排放係數，在此不適用穩定的數值作計算。

**交通部運輸研究所綜合技術組黃運貴組長回應：**

公路部分在去年已作深入探討，今年請研究團隊針對水運和空運部分作詳細的資料蒐集和分析，現今國際上大多焦點在於 Tier 1，針對 Tier 2 和 Tier 3 希望透過本計畫做開端，使運輸部門對策略的研擬作為啟發，未來對節能減碳相關資料的資料庫進行一系列計畫，今年此期計畫包括公路、空運、水運和軌道是為了下一期計畫做奠基的工作。

**台南科技大學國際企業經營系暨國際貿易科熊正一教授：**

- (一) 航空部分，資料大多是以延人公里(RPK)來表示，以國家角度來看較希望看到可使用每提供一個座位公里數(Available Seat Kilometer, ASK)，主要 RPK 與 ASK 僅差在承載率，故只要將 ASK 乘上係數後即可得知 RPK。
- (二) 各別航空公司是否可以提供油耗資料，對於 Tier 1 計算非常重要。
- (三) 水運部分，建議可透過歐陸的船公司取得船舶的氣體排放量相關資料。
- (四) 在船舶分類上，對於漁船部分，如何定義？
- (五) 軌道部分，需關切場站問題，例如是否可取得場站的電量資料作詳細分析。

**交通部運輸研究所綜合技術組黃運貴組長回應：**

今年交通部運輸研究所已有計畫針對場站的能耗做調查。

**長榮海運股份有限公司張中雋協理：**

- (一) 之前所了解的有關 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 排放公式計算和簡報不同，事實上與貨物裝載量相關。

- (二) 簡報第 68 頁所用的 GRT 不妥當，為容積噸而不為載重噸。
- (三) 船齡分類不太合理，船齡不會影響關於污染問題。

**台南立德大學運籌與行銷管理學系江國地教授：**

- (一) 建議可參考日本船公司有關於 CO<sub>2</sub> 排放相關網站及資料。
- (二) 簡報第 69 頁，用總噸較不恰當，用載重噸計算排放量較適當。

**開南大學空運管理系暨研究所尹相隆主任回應：**

- (一) 貨運已有做，目前尚在整理。
- (二) 脫鉤部分，不只運輸部門的 GDP，另外有水運 GDP、空運 GDP。
- (三) Tier 1、Tier 2 和 Tier 3 全部都會做比較。
- (四) NO<sub>x</sub> 部分，之後會加強說明。

**開南大學物流與航運管理學系林澄政教授回應：**

- (一) 針對專家所提出的意見，未來將朝此方向做努力與嘗試。

**開南大學運輸科技與運籌學系張蓓琪主任回應：**

- (一) 針對專家所給予的建議，未來將做修正與補充。
- (二) 簡報第 109 頁，經再次試算為 10<sup>-6</sup>，無誤。
- (三) 簡報第 109 頁數值 0.636 僅為 2008 年度的資料數據，其他年份的數據，已在簡報第 108 頁呈現。

捌、散會：98 年 7 月 2 日（星期四）中午十二點正



## 附錄 6

### 「運輸部門能源消費預測與能源效率推估」專家學者座談會



## 附錄 6

### 「運輸部門能源消費預測與能源效率推估」專家學者座談會

壹、時間：98 年 11 月 5 日（星期四）下午兩點三十分正

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：開南大學運輸觀光學院黃宗煌院長

肆、出(列)席單位及人員：如會議名單。

伍、主席致辭：略

陸、簡報：略

柒、綜合討論：

#### 一、國立交通大學交通運輸研究所馮正民教授：

- (一)運輸部門場站用電計入服務業部門，其佔比為多少？請確認此部份之電力消費量是否須歸回運輸部門。
- (二)簡報第 8 頁，車公里數已計算平均行駛的里程再乘上使用率，其涵義為何？機車的使用率為多少？可否再說明其概念？
- (三)聯立方程式的結果為何？在校估時採用似無相關比較單一迴歸方程式，假設殘差項是有相關，其校估結果是否與單一迴歸差不多？以聯立方程式預測時，會有總量與各分量之預估值，請問研究團隊將會以哪種預估結果為主？
- (四)同意簡報第 13 頁缺乏能源價格目標年預測值之說明，但可以建立預測值的模式，關於各系統對價格的敏感度與能源價格彈性，可當作政策變數依據，是否有其他非價格政策變數？此變數未來可供交通部參考，除了價格機制外，是否有可能呈現此非價格政策變數，將來可反映政策討論，但還需要考慮，是否有歷史資料。
- (五)政策變數可以反映在能源效率指標裡，將來能源效率的變動各運具也可適用於價格與非價格政策變數裡討論。

#### 二、國立交通大學交通運輸研究所邱裕鈞教授：

- (一)運輸能源消費與運輸活動有關，脫離運輸活動的說法很難說服。假設彈性固定，當 GDP 上升，經濟活動也跟著上升，GDP 會脫鉤，但呈現非線性。

- (二)小汽車持有率其實會有飽和的現象，當 GDP 增加會跟經濟活動有關，且與機動率需求有關。機動率的需求可分為公共運輸：政府的政策與私人運具：小汽車和機車持有率。運輸的需求須有單位：以延車公里或延人公里，在估算能源時要使用的單位為何？
- (三)簡報第 65 頁，匱效率裡變數的相關性較高，是否有貢獻性的問題及運輸的產出是否有效率？
- (四)運輸部門 GDP 如何詮釋？

### 三、國立台北大學自然資源與環境管理研究所李堅明教授：

- (一)運輸部門 GDP 如何計算？需於簡報中說明清楚。
- (二)2025 年運輸部門能源消費為 25,493 千公秉油當量且 CO<sub>2</sub> 排放量為 68,205 千公噸，在 MARKAL 模型中，運輸部門佔 15%，相對於其他部門未來佔比會提高。
- (三)未提到如何推估能源價格？
- (四)2015-2025 能源成長情況趨近於平穩之原因為何？
- (五)簡報第 64 頁，Bus-1, Bus-2 與 Bus-3 之間在選擇變數時，為何有所不同？
- (六)簡報第 64 與 65 頁，匱效率的部份，在多少百分比的情況下為無效率？請舉例說明無效率有哪些。
- (七)簡報第 68 頁，彈性是為單位的，請將運量彈性修正為 0.7。

### 四、台灣綜合研究院研究一所林唐裕所長：

- (一)關於軌道運輸能源消耗推估是如何推估？又電力消費方面，是否以電力單位熱值乘以用電量加以推估較準確易做？
- (二)簡報第 20 頁，預測國際燃油從 2009 年至 2030 年成長幅度超過 3 倍，國內的航空燃油 1990 至 2008 年間(也接近二十年)，其成長幅度為 2 倍多，不到 3 倍。請問這是否意謂著 GDP 在 2009 年至 2030 年間的成長幅度超過 1990 年到 2008 年間？再者，2009 年到 2010 年間，國內航空燃油同樣急速下降，之後呈緩慢下降走勢，能否說明其下降的理由。
- (三)簡報第 25 頁，汽油自用小貨車的 CO<sub>2</sub> 排放在 2009 年 2010 年間急速

下降，且後的趨勢均呈現緩慢下降，與歷史年資料的走勢似乎不太一致，是否可以說明其理由？

(四)運輸部門能源效率推估

1. 政府積極推動各部門溫室氣體減量策略及具體行動方案，應能反映未來能源效率的提升與二氧化碳排放密集度的下降，請問在簡報中是否有考慮這部分的效果？
2. 簡報第 65 頁，匱效率意涵為何？請加以說明。
3. 簡報第 68 頁，公路客運之能源消費量之運量彈性的“0.7%”是否為誤值？

**五、行政院原子能委員會核能研究所核子燃料及材料組 IGCC/能源模型研發分組葛復光分組長：**

(一)運輸部門能源預測

1. 簡報第 12 頁，請將聯立方程式之結果請列於報告中。
2. 簡報第 13 頁，GDP 實際預測值之結果請列於報告中。
3. 簡報第 16 頁，預測值是否高估？自變數不能僅考慮 GDP 與能源價格。

(二)運輸部門能源效率推估

1. 簡報第 35 頁，不同數據的比較建議可列於報告中。
2. 簡報第 51 頁，由圖中看來，以國家的角度是不鼓勵前走，因為將會越來越飽和。
3. 小客車與機車之結果，建議需呈現於報告中。

**六、行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處簡慧貞副處長王俊勝環境技術師(代)：**

(一)運輸部門能源需求預測

1. P15-17 及 P20-21 中運輸部門能源成長預測模式及公路運輸運具別能源成長預測模式，部分  $R^2$  的值偏低，顯示預測模式解釋能力稍差。
2. 各部門及各運具以 GDP 為共同變數，若改為人均 GDP 是否適當，此外是否應將能源價格因素納入考量。

3. 承上，因預測模式只納入 GDP 作為變數，所以預測結果可以看出來各運輸部門及各運具間的能源需求及 CO<sub>2</sub> 成長幅度仍大，該預測方式似乎較無法反映能源價格及自發性能源效率提升的效果。
4. 報告中指出，使用聯立方程式可反應各運輸部門及各運具間的替代性，但從簡報說明及能源需求預測結果中似乎都無法看出決定彼此間替代性的關聯，如高鐵、捷運與公路運輸間如何反應彼此的替代性，另運具與運具間的替代性是否應將成本與效率納入考量。

#### (二)運輸部門能源效率推估

1. 能源需求效率作為運輸部門能源效率衡量指標確實較能符合實情，但各類運具相關資料如單位能源運量的取得應以合標準計算是否有一致性估算方法，且黃教授在報告中所述未來對於創新運輸技術的影響，後續應有整合性評估模型來做進一步評估。

### 七、鼎漢國際工程顧問股份有限公司陳柏君經理：

- (一)計量模型比較難反應都會區土地政策的改變，所以運輸需求模型輔助運輸總車公里、總人公里、總能源上的趨勢能參考或比對。
- (二)政策變數上的反應有 1.價格：對油價之敏感度在模型裡是否能反映在什麼價位上能耗達到何種水準？2.運具分配比：公路方面，私人運輸的能耗下降，則 CO<sub>2</sub> 將會下降，未來要調高大眾運輸的目標為何？
- (三)能源指標可分為私人運具及公共運輸，例如加嚴能耗標準讓私人運具的使用能有效發揮，公共運輸的供給會提高所以處理方式要不同。

### 八、交通部運輸研究所運輸計畫組張瓊文研究員：

- (一)總量模式是收集資料，統計資料之處理要考慮政策變數。
- (二)部門 GDP 如何推估？
- (三)能源需求效率中，關於匱效率的部份，如何確認所選的模型是有效率？請說明。

### 九、經濟部能源局蔡志亮專門委員：

- (一)能源稅推至 2025 年是否須納入考慮衝擊最大為運輸部門，若無列入建議需標示出來將會如何影響未來運輸的計算。技術的進步需考量

於政府政策措施的採納。能源統計主要為運具的能源消費 CO<sub>2</sub> 的統計，CO<sub>2</sub> 上升之原因要考慮場站部分，但此部分能源密集度在計算上困難，陸運含營業與自用較難分解，能源價格彈性會因蒐集資料日期不同也會影響。

**十、交通部科技顧問室陳賓權研究員：**

- (一)2009 年國內航空與國際航空數值請確認。
- (二)關於能源價格變動報告書需解釋，前後章節需聯貫起來，其能源效率指標之政策上意涵為何？

**十一、交通部民用航空局黃建元技正：**

- (一)2009 年國內航空燃油下降而國際航空燃油上升請檢討。
- (二)簡報第 72 頁，第 2 與第 3 個模式有何不同？
- (三)簡報第 73 頁，匱效率是否有替代工具的考慮，如航空業受高鐵之影響。

**十二、交通部台灣鐵路管理局陳威宏先生**

無意見。

捌、散會：98 年 11 月 5 日（星期四）下午五點五十分正。



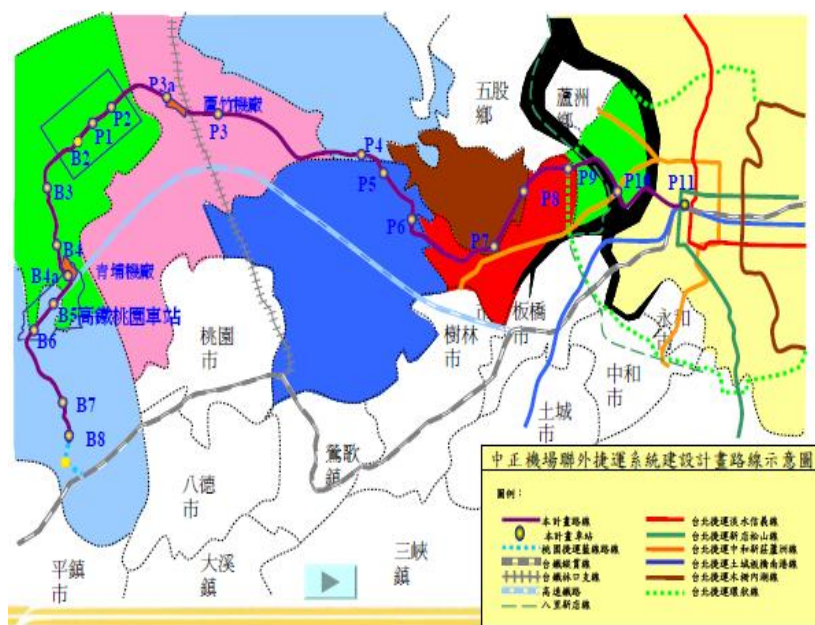


## 附錄 7

### 軌道系統新建系統簡介

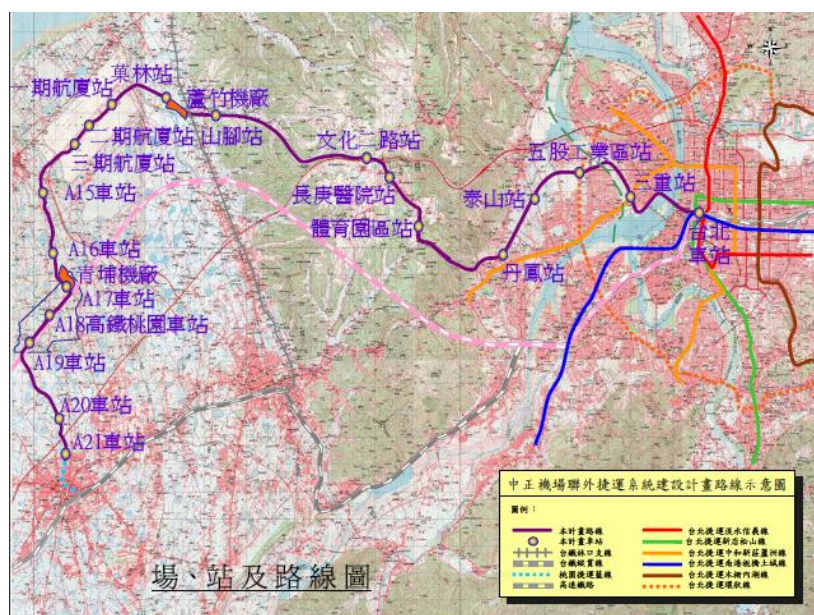






資料來源：交通部高速鐵路工程局(2009)。

圖 2 中正機場聯外捷運系統建設計畫路線示意圖



資料來源：交通部高速鐵路工程局(2009)。

圖 3 中正機場聯外捷運系統場站與路線圖

表 1 路線長度與建造模式

路線結構		長度(公尺)		百分比
高架橋：至三重站東側		38485		75%
隧道	明挖覆蓋	6151	12988	25%
	山岳	1055		
	淺盾	5782		
合計：至臺北車站西側 C1 設站		51473		100%

資料來源：財團法人中華顧問工程司(2004)。

## (2)動力機車

桃園機場捷運系統首先對具長坡路段之捷運系統進行初部遴選，分別對鋼軌鋼輪系統之瑞士蘇黎世捷運、德國 Stuttgarter 捷運、日本神戶電鐵有馬線和膠輪系統之日本廣島高速交通 Astram 線、日本大阪市地下鐵 7 號線與臺北捷運文湖線進行系統特性與動力機車特性整理，見表 2~表 4。

## 2.運量

各分析年期日運量預測參考下圖，通車年(民國 98 年)全線運量約 10 萬人旅次/日，其中直達車運量 1.7 萬人旅次/日，普通車 8.3 萬人旅次/日。直達車平均旅次長度為 31.9 公里，普通車則為 13.2 公里。

至民國 128 年時，全線運量成長至約 22 萬人旅次/日，其中直達車 5.4 萬人旅次/日，普通車 16.4 萬人旅次/日。直達車平均旅次長度為 32.1 公里，普通車則為 13.5 公里。整體運量短期成長較高，民國 98~105 年年平均成長率約 3.1%，而後成長幅度逐年緩至 1.9%，見表 5。

表 2 鋼軌鋼輪牽引馬達具長坡路段之捷運參考系統

營運案例名稱	瑞士蘇黎世捷運	德國 Stuttgarter 捷運	日本神戶電鐵有馬線
開始營運年	1923 新線	1990 新線	1994
軌距	1435mm	1435mm	1067mm
最大坡度/路段長	79‰ ; > 60‰/3280m	70‰/5000m	50‰/4700m
列車編組	單節車/最多 4 車	2 節車/2 組	4 節車
車組長/寬度	22m/2.80m	38.2m/2.65m	72.6m/2.7m
車廂載客量	193/輛(6 人/m <sup>2</sup> )	161/輛(6 人/m <sup>2</sup> )	168 人/輛
使用電壓	直流 1200V 架空線	直流 750V 第三軌	直流 15KV 架空線
行車安全設備	ATP，人工駕駛	ATP，人工駕駛	ATP，人工駕駛
動力軸數	all	all	All
額定功率	4*146kW	8*120kW	4*120kW
車輛空重	44t	55.6t	35.3t
營運里程	10.4km	19km	40km
最高行駛速度	70km/h	80km/h	100km/h

資料來源：財團法人中華顧問工程司(2004)。

表 3 膠輪系統之捷運參考系統

營運案例名稱	日本廣島高速交通 Astram 線	加拿大 Montreal 藍、綠、橘級黃線	臺北捷運文湖線
開始營運	1994	1966	1996
列車編組	6 輛	3/6/9 輛	4 輛
車輛(廂)尺寸	車長：8.40m 車寬：2.38m 車高：3.29m	車長：17.2m 車寬：2.5m	車長：27.56m 車寬：2.56m 車高：3.53m
車輛載客量 (AW3)	286 人/每列車	NA	228 人/每對車
使用電壓	直流 750V/第三軌	直流 750V/第三軌	直流 750V/第三軌
行車安全設備	ATP，人工駕駛	ATC 及 ATO	ATO 全自動
營運里程	18.4km	65km	10.9km
最高行駛速度	70km/h	70km/h	80km/h
班距	3 分	3~5 分	72 秒

資料來源：財團法人中華顧問工程司(2004)。

表 4 鋼軌鋼輪線性馬達推進之捷運參考系統

營運案列名稱	日本東京都營地下鐵 12 號線	日本大阪市地下鐵 7 號線	加拿大溫哥華捷運系統 (SkyTrain)
開始營運年	1991	1990	1999
軌距	1,435mm	1,435mm	1,435mm
最大縱波	55‰	37‰	60‰
列車編組	6 輛(將來 8 輛)	4 輛(將來 8 輛)	4 輛(尖峰 6 輛)
車輛尺寸	車長：16.5m 車寬：2.5m 車高：3.15m	車長：15.8m 車寬：2.49m 車高：3.12m	車長：17.3m 車寬：2.65m 車高：3.28m
車廂載客輛	駕駛車：90 人 中間車：100 人	駕駛車：90 人 中間車：100 人	中間車：130 人
供電	直流 1500V 第三軌	直流 1500V 第三軌	直流 600V(MK I) 直流 750V(MK II) 第三軌
行車安全設備	ATC、ATO、CTC	ATC、ATO、CTC	全自動、無人駕駛 Moving block
營運里程	光丘-新宿 環狀線(27.8km) 輻射線(12.9km)	京橋-鶴見綠地 營運路線延長 5.2km	包含 ExpoLine 及 MillenninmLine，營運路 線延長約 28.9km
最高行駛速度	70km/h	70km/h	80km/h
班距	2 分 30 秒	2 分 30 秒	約 2~5 分鐘

資料來源：財團法人中華顧問工程司(2004)。



表 5 各年期全線日運量

年期	民國 98 年	民國 108 年	民國 118 年	民國 128 年
直達車日運量(人旅次/日)	17,064	26,986	38,831	54,075
成長率	---	4.7%	3.7%	3.4%
普通車日運量(人旅次/日)	83,409	108,747	141,368	163,569
成長率	---	2.7%	2.7%	1.5%
全線日運量(人旅次/日)	100,472	135,734	180,199	217,644
成長率	---	3.1%	2.9%	1.9%
直達車平均旅次長度(公里)	31.9	32.0	32.0	32.0
普通車平均旅次長度(公里)	13.2	13.3	13.4	13.5

資料來源：財團法人中華顧問工程司(2004)。

## 二、桃園捷運系統

### 1.概況

近年來隨著第二高速公路、國道 2 號、臺 61 線快速公路、臺 66 線快速道路、高速鐵路等重大交通建設陸續完工通車，以及各工業區之開發啟用，大幅改變原本桃園都會區之整體社經發展形態。依據「桃園都會區大眾捷運系統路網評估暨分期發展計畫」研究結果顯示，因應桃園縣未來運輸需求，桃園都會區之整體路網將以「目字型的快捷路網」為主要架構，如此可符合桃園都會區未來 1 個航空站、2 個日字型運輸走廊(北日：蘆竹鄉、大園鄉、桃園市、中壢市、平鎮市、八德市；南日：桃園市、中壢市、平鎮市、八德市、龍潭鄉、大溪鎮)、3 個都會核心(航空站、中壢/平鎮、桃園)之都市空間結構發展，配合聯外之高鐵，臺鐵，機場捷運軌道系統，加上國道 1、2、3 號高速公路及 61、66 快速道路等，構成桃園都會區完整的運輸骨幹。

### 2.路線

桃園捷運系統之整體路網係由藍線、紅線、綠線、橘線及棕線等構成，如附圖 4 所示，其路網各路線起迄與詳細資料說明見表 7：



資料來源：臺北市政府捷運工程局(2009)。

圖 4 桃園捷運路網示意圖

### 3.車種

不同捷運系統技術在工程設計準則上均取決於車輛大小、轉彎半徑、坡度線型上之要求、車站長度、車輛加減速與煞車能力。初步建議採以地下及高架混合方式之專用路權之輕軌捷運或自動導軌之中運量捷運系統作為考量。

### 4.運量

桃園捷運各線最大站間尖峰小時運量推估，分別為藍線為 6200 人旅次，綠線為 9600 人旅次，橘線為 3600 人旅次，桃林高架線為 3300 人旅次。由表 6 可知所規劃之桃園捷運全路網目標年全日以及尖峰小時運量預測。

表 6 目標年桃園捷運全路網運量預測一覽表

時段	藍線	綠線	橘線	桃林高架線
全日(人旅次)	207,800	221,700	90,000	53,600
尖峰小時(人旅次)	29,000	34,500	14,800	7,600

資料來源：臺北市政府捷運工程局(2009)。

表 7 桃捷整體大眾運輸系統路網

名稱	起訖	走廊	路網功能	長度	系統
藍線	國 際 機 場 - 八 德	服務國際機場-航空 城西側-高鐵桃園站 -中壢-龍岡-八德路 廊	銜接機場捷運線、橘 線、臺鐵捷運紅線及 綠線等	9.2km(A21 以南)	鐵 路 捷 運
綠線	航 空 城 - 八 德	服務航空成空產業 園區-蘆竹-南崁-桃 園-八德路廊，可續 延大溪	銜接捷運藍線、紅 線、橘線，並可與臺 北捷運三鶯線銜接， 另與南崁轉運站銜接	25.7km	輕 軌 捷 運
臺鐵紅 線	鳳 鳴 - 中 壢 - 富 岡	建構桃園-內壢-中 壢-TOD 路廊 「目」字路網之橫向 串連路廊/北至臺北 /南至平鎮/富岡/新 竹	銜接藍線、綠線與棕 線，同時兼負區域城 際運輸功能	15.3km 高 架化路段	鐵 路 捷 運
橘線	桃 園 - 平 鎮	服務桃園-內壢-中 壢-新興都計地區路 廊「目」字路網之橫 向串連路廊	銜接臺鐵捷運紅線、 橘線、綠線與棕線， 並保留續向南延伸服 務龍潭地區之彈性機 制	22.7km	捷 運 進 階 運 具
棕 線 - 桃林段	桃 園 - 蘆 竹	服務桃園-經國特區 -南崁-蘆竹 桃林貨運鐵路廊 帶，發展成綠色運輸 走廊	銜接臺鐵捷運紅線、 橘線、機場捷運線， 銜接聯外主幹道運具 系統、便捷轉乘，構 建地區接駁次系統路 網	12.5km	捷 運 進 階 運 具
棕 線 - 迴龍段	桃 園 - 迴 龍	服務桃園-龜山-迴 龍	銜接臺鐵捷運紅線及 臺北捷運新莊線	12.0km	捷 運 進 階 運 具
合計				97.4km	

資料來源：臺北市政府捷運工程局(2009)。

### 三、臺中捷運

#### 1.概況

民國 87 年完成「臺中都會區捷運路網細部規劃」，其建議從民國 87 年至民國 110 年臺中都會區捷運路網先由紅、藍、綠三條線組成，共計 69.3 公里，見表 8 為民國 87 至民國 110 年之詳細路網內容說明。由於建造經費龐大政府財政狀況無法同時興建整體建議路網，經民 90 年辦理優先路線綜合規劃檢討後，建議綠線連接北屯區、臺中市副都心及高鐵臺中站之綠線(G3~G7)為優先興建路線。而其餘紅、藍線及延伸路線則建議後續分期推動。依 97 年 11 月 15 日交通部、臺北市政府及臺中市政府簽訂之三方協議書，臺中捷運後續路網規劃工作由交通部高鐵路局移交由臺北市政府捷運工程局辦理，其後續路網之細部規劃內容如表 9 所示。

#### 2.路線

綠線部分規劃時採用中運量、地下路線，礙於政府財政困難，高鐵局接手後改採高架鋼軌中運量之大眾捷運系統。預計興建 18 個車站及一座機廠，起於北屯頭家厝附近之捷運機廠，高架路段經松竹路、北屯路、文心路、文心南路、建國北路至高鐵臺中站。工程委託臺北市政府捷運工程局興建，2009 年 10 月 8 日動工，預計 2015 年完工。G1、G2 兩站則列入遠期路網中，也有延伸至彰化市以及彰濱工業區的計畫。目前臺中市公車路線有 53 路、85 路跟綠線的路線大致吻合。

紅線部分即起至豐原車站南至彰化車站，全長 31.8 公里。除既有的車站外，將增設五個區間通勤車站，分別為豐南車站、頭家厝車站、松竹車站、精武車站以及五權車站。

藍線部分起於東海大學，沿中港路、民權路、建國路至臺中車站；再由振興路、太平路、中興路、中興東路至東平路止。全長約 15 公里，14 站，二座機廠。預計將延伸至臺中港。目前 TTJ 捷運公車 57 路跟藍線的路線大致吻合。另有支線從 B1 站岔出，沿東海大學達中部科學工業園區站。

橘線起訖點分別為水湳經貿區轉運站 O1-霧峰 O17。始於水湳經貿園區經中清路、大雅路、公園路、精武路、雙十路、建國路、國光路、大峰路、草湖路至霧峰鄉林森路止。全長約 25 公里，17 站，一座機廠。遠期將往北

延伸至臺中科學園區，往南至草屯鎮、南投市。目前臺中市公車路線有 9 路、61 路跟橘線的路線大致吻合。

表 8 民國 110 年捷運路網內容

建議路網		路線型式/長度(公里)			
路線	範圍	地面	地下	高架	合計
紅線	潭子-中興新村		15.87	17.552	33.422
藍線	東海-太平		11.249	5.445	16.694
綠線	大坑-烏日	0.781	18.364		19.145
合計		0.781	45.483	22.997	69.261
建議路網		車站形式/處			
路線	範圍	地面	地下	高架	合計
紅線	潭子-中興新村		15	8	23
藍線	東海-太平		11	3	14
綠線	大坑-烏日	1	16		17
合計		1	42	11	54

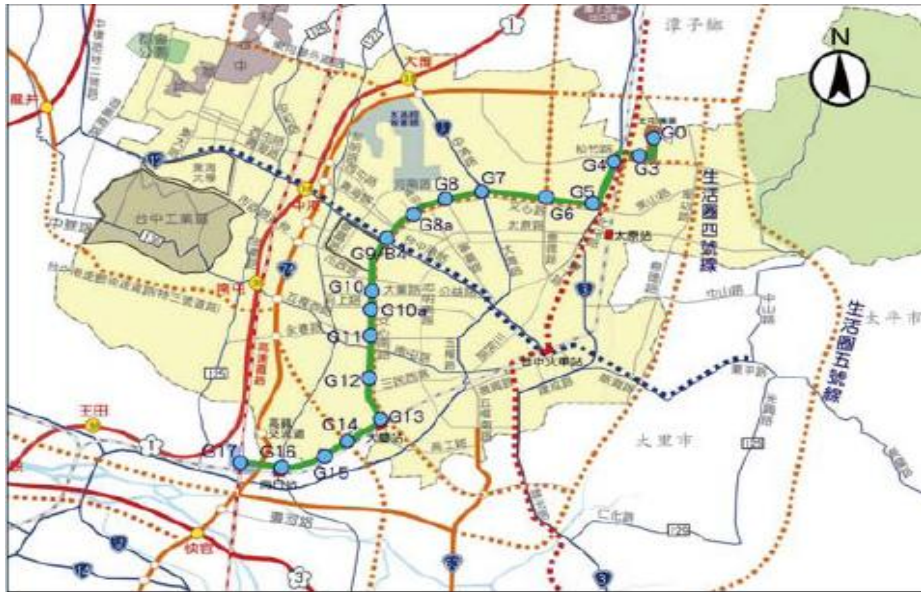
資料來源：亞新工程顧問股份有限公司(2009)。

表 9 遠期路網延伸內容

線別	路線起迄	延伸長度	增設車站(處)
紅線	潭子-豐原	6.73	5
	中興新村-南投	7.79	3
藍線	臺中榮總-臺中港	16.89	10
烏日文心北屯線	烏日-員林	24.11	11
	彰化-彰濱	20.78	14
中清大雅支線	文心路-大雅	7	3

資料來源：亞新工程顧問股份有限公司(2009)。

考量臺中地區長期發展潛力，細部規劃以目標年路網為基礎繼續發展出遠期路網，其路線規模分別由 110 年三條路線往兩端延伸，其路線圖如圖 5~圖 6 所示。



資料來源：臺北捷運工程局(2009)。

圖 5 臺中捷運路線示意圖



來源：亞新工程顧問股份有限公司(2009)。

圖 6 臺中捷運路網圖

### 3.車種

資料

目前所假設列車載客 720 人，若採用鋼軌鋼輪系統則每列車約為 4 節，但若採用膠輪系統則可能每列車需 5 節。此一因素後續研析建議系統技術型式時，尚須嚴謹評估，表 10 為目前臺中捷運評估列車尺寸及載客人數比較。

表 10 膠輪系統列車尺寸及載客人數

膠輪系統別	每節車長 (m)	每節車寬 (m)	每節車載客 人數(人)	平均每人使用 車廂地板面積 (m <sup>2</sup> )
內湖線所採用加拿大 龐巴迪列車	13.78	2.54	93	0.38
德國西門子 VAL258 型列車	13.78	2.56	125	0.28
法國亞士通 MP05 型 列車	15.05	2.44	144	0.26
日本三菱重工 Crystal Mover 列車	11.20	2.69	105	0.29

資料來源：亞新工程顧問股份有限公司(2009)。

#### 4.運量

核心路網各路線目標年尖峰小時站間通過量介於 8000 人次/時至 12000 次/時之間，屬於交通部「交通統計名詞」所定義「中運量」(每小時單方向可運送 6000 人次)系統。表 11 為臺中捷運核心路網預測運量之詳細資料。

表 11 目標年核心路網各路線

路線方案	路線延伸段	捷運橘線	捷運藍線
車站數	4	17	14
起訖點	G17-G20	O1-O17	B1-B14
全日運量(人次/日)	14,429	133,400	141,100
尖峰運量(人次/小時)	2,958	27,113	29,541
尖峰站全日比例(%)	20.5%	20.3%	20.9%

資料來源：亞新工程顧問股份有限公司(2009)。





## 附錄 8

### 期末報告資料



交通部運輸研究所

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)  
一 建立運輸能源效率指標與運輸成長預測模式

期末報告審查簡報

開南大學運輸觀光學院

中華民國98年12月7日

## 內容

- 一、計畫目的
- 二、工作項目
- 三、期中審查意見處理說明
- 四、研究成果說明
- 五、結論與建議

## 一、計畫目的

- 建立「運輸能源效率指標與運輸能源成長預測模式」，進一步落實相關運輸能源基本資料庫的建立與擴充，以補足以往未充分掌握之能源消耗、污染排放等參變數資料，俾求評估體系之完整性。

2009/12/7

運研所期末簡報

3

## 二、工作項目

- 繼續辦理運輸部門能源消耗與溫室氣體**排放清冊資料庫建置及網站維護**
- 整合**能源模型與運輸規劃模型**，藉以評估運輸部門節能減碳目標
- 配合第三次全國能源會議召開，彙整及**檢討運輸部門行動方案執行成果，並研擬達成減量目標之策略**
- **建立運輸能源成長預測模式**，進行成長預測模擬分析與相關需求規劃
- **建立運輸能源效率指標**，做為制訂永續運輸政策的參考
- 考察國內外運輸部門節能及節能減碳推動現況，並蒐集資料

2009/12/7

運研所期末簡報

4

### 三、期中審查意見處理說明<sup>(1/3)</sup>

#### 審查意見

- 高鐵的技術效率是否比航空和公路好，在報告中尚未看見相關數值。
- 結論部分建議與運輸作結合，如何讓能源效率較好的系統進來的越多，是運輸政策之職掌。

#### 意見回覆與處理

- 推估技術效率與生產力時，需有足夠長的時間序列資料，因此，高鐵部分暫無法推估。
- 本計畫已就各運具效率之評估結果，釐清影響效率之驅動因子，並據以建議提升能源效率的運具系統發展方向。

2009/12/7

運研所期末簡報

5

### 三、期中審查意見處理說明<sup>(2/3)</sup>

#### 審查意見

- 預測方式不管是迴歸、時間序列或情境分析，長期的預測都難以精準，故宜以目標管理來看。
- 自願減量的課題是否在期中報告完之後也持續當作後續研究課題？請進一步考量。

#### 意見回覆與處理

- 長期預測與目標管理是可兼籌並顧，並相輔相成。長期預測雖難精準，但除可提供可能趨勢之外，更可做為政策影響評估的 benchmarking。
- 已納入報告第10章。

2009/12/7

運研所期末簡報

6

### 三、期中審查意見處理說明<sup>(3/3)</sup>

#### 審查意見

- 台鐵場站耗能的部分請在計畫範疇時定義清楚。
- 簡單迴歸與時間序列之誤差隨時間擴大，建議就預測方式進一步探討。
- 文字與數據引用錯誤、錯字、圖表等報告格式問題。

#### 意見回覆與處理

- 遵照辦理。場站與基礎建設的耗能推估非屬本計畫研究範疇。
- 後續將不採用計量模式進行長期預測，改以目標管理方式，進行政策面與技術面之探討。
- 遵照辦理。全文已盡可能避免相關問題。

2009/12/7

運研所期末簡報

7

### 四、研究成果說明

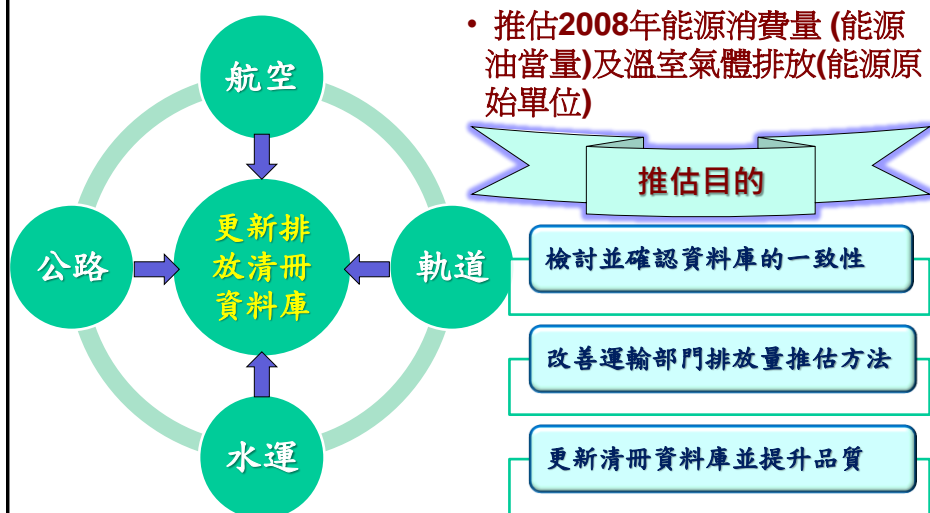
1. 運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫更新
2. 航空運輸溫室氣體排放推估
3. 水運運輸溫室氣體排放推估
4. 軌道運輸溫室氣體排放推估
5. 運輸部門溫室氣體排放量基線預測
6. 運輸部門能源效率指標建立
7. 節能減碳的策略與潛能推估
8. 運輸與能源模型整合架構分析

2009/12/7

運研所期末簡報

8

## 排放量推估與清冊更新

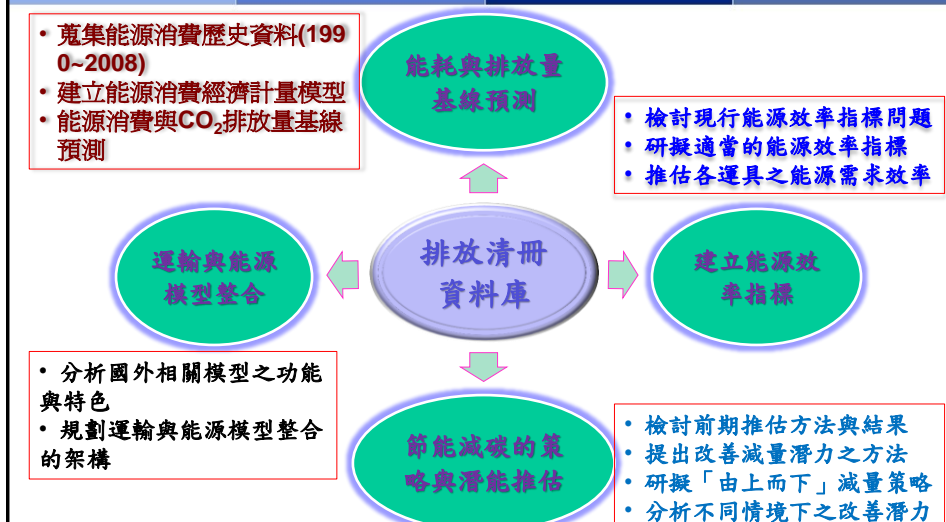


2009/12/7

運研所期末簡報

9

## 排放清冊資料庫的應用



2009/12/7

運研所期末簡報

10

## 1. 運輸部門溫室氣體排放清冊資料庫更新

### 1.1 研究重點

- 賡續推估2008年能源消費量(能源油當量)
- 賡續推估2008年溫室氣體排放(能源原始單位)
- 運輸部門範疇包含：
  - 公路運輸
  - 軌道運輸
  - 航空運輸(含國際航空運輸)
  - 國內水運運輸
- 推估方法：IPCC 2006 Tier1



## 1.2 研究方法

- 由推估各運輸系統能源消費量，再以排放係數轉換為溫室氣體排放量
- 公路運輸能耗量計算
  - 公路運具能源消費量(公秉油當量)  

$$= \text{各運具登記車輛數} \times \text{運具年平均行駛里程} \times \text{使用率} \times \text{單位里程能耗係數} \times \text{能源油當量值}$$
  - 並以能源平衡表總量為調整基準
- 其他運輸系統能耗量計算
  - 其他運輸系統能源消費量(公秉油當量)  

$$= \text{能源平衡表消費量} \times \text{能源油當量值}$$

2009/12/7

運研所期末簡報

13

## 1.3 研究成果：能源消費

- 2008年運輸部門總能耗：14,909 (千公秉油當量)
  - 公路運輸：12,216 (81.9%)
  - 軌道運輸：264 (1.8%)
  - 航空運輸：2,159 (14.5%)
  - 水運運輸：271 (1.8%)

年份	合計		公路		軌道		水運		航空	
	千公秉油當量	成長率(%)	千公秉油當量	成長率(%)	千公秉油當量	成長率(%)	千公秉油當量	成長率(%)	千公秉油當量	成長率(%)
2006	16,112	-	13,036	-	149	-	371	-	2555	-
2007	15,672	- 2.7%	12,648	- 3.0%	208	39.4%	335	- 9.8%	2481	- 2.9%
2008	14,909	- 4.7%	12,216	- 3.3%	264	37.3%	271	- 17.1%	2159	- 12.6%

2009/12/7

運研所期末簡報

14

## 1.4 研究成果：溫室氣體排放量

- 2008年運輸部門總排放：41,134 (千公噸CO<sub>2</sub>當量)
  - 公路運輸：33,722 (82.0%)
  - 軌道運輸：792 (1.9%)
  - 航空運輸：5,835 (14.2%)
  - 水運運輸：785 (1.9%)

年份	合計		公路		軌道		水運		航空	
	千公噸 CO <sub>2</sub> 當量	成長率 (%)	千公噸 CO <sub>2</sub> 當量	成長率 (%)	千公噸 CO <sub>2</sub> 當量	成長率 (%)	千公噸 CO <sub>2</sub> 當量	成長率 (%)	千公噸 CO <sub>2</sub> 當量	成長率 (%)
2006	44,403	-	35,970	-	448	-	1077	-	6908	-
2007	43,196	- 2.8%	34,897	- 3.1%	622	28.0%	969	-11.1%	6708	- 3.0%
2008	41,134	- 4.8%	33,722	- 3.4%	792	27.4%	785	- 19.0%	5835	- 13.0%

2009/12/7

運研所期末簡報

15

## 1.5 政策意涵

- 2006~2008年運輸部門除軌道系統外均呈現能源消費量下降，其原因可能為：
  - GDP成長趨緩表示經濟活動強度趨緩
  - 能源價格上升
  - 自用小客車持有率下降
  - 捷運與高鐵取代部分公路運輸與航空運輸

2009/12/7

運研所期末簡報

16

## 2. 航空運輸溫室氣體排放推估

### 2.1 研究重點

- 以**Tier 3**方法計算我國國籍航空能源消耗，據以推估排放量，提升資料信度與效度，並分析其與航空經濟成長的**脫鉤**情勢
  - 詳細蒐整比對民航局、各機場、各航空公司及全球航空班表指南(AOG)十年航空部門活動資料
  - 以EMEP/CORINAIR各型機耗油-距離模式為本，就我國特性修正建立新模式
  - 考量國際線中停情形，求出我國航空實際能源消耗情形
  - 比對Tier 1方法(依據能源平衡表)計算結果，驗證模式可信度

## 2.2 研究方法

蒐整比對民航局、各機場、  
各航空公司及全球航空班表  
指南(AOG)國籍航空國內外  
航線十年活動資料



## 機型分類



## EMEP/CORINAIR 各型機耗油-距離模式

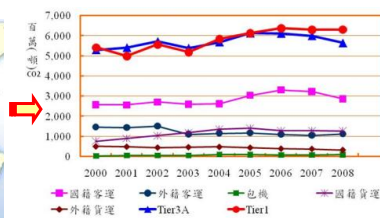
[illegible]

大圓航線調整  
繞道因子  
中停考量



2009/12/7

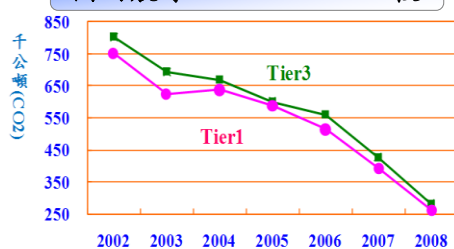
運研所期末簡報



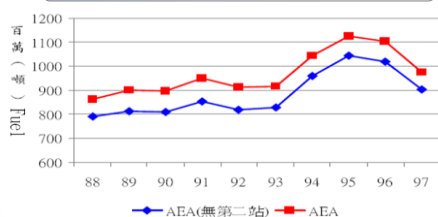
19

## 2.3 研究成果

### 國內航線Tier 1&Tier 3比較



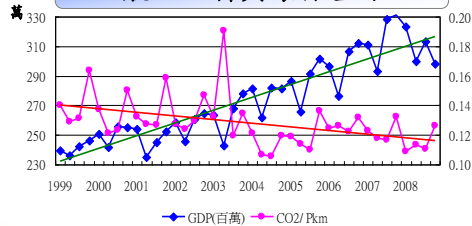
## 國外航線考量中停因素



## 國外航線Tier 1&Tier 3比較



## 航空經濟與環保壓力



## 2.4 政策意涵

- 本研究顯示：國內已有能力採用Tier 3A方法（EMEP/CORINAIR燃油估算模式），精確推估我國航空各年、各季之國內、國際線客、貨、包機之能源消耗與溫室氣體排放量，其與Tier 1(能源平衡表)比較擬合度極高，表明模式的高可信度。
- 本研究首次詳實調查國內各機場十年內的航空活動，並彙整相關資料，對各項研究頗具參考價值，後續應繼續予以妥善維護。
- 航空部門的經濟績效與能耗及排放量已呈現脫鉤現象，爾後應繼續根據主要驅動因子，加強輔導與管理。
- 推估結果做為排放清冊更新之參考。

2009/12/7

運研所期末簡報

21

## 3. 水運運輸溫室氣體排放推估

### 3.1 研究重點

- 彙整文獻：蒐集各海運組織所建議之船舶排放標準
- 推估水運**總排放量**：依據能源平衡表推估水運運輸歷年總排放量
- 推估水運**個案排放量**：依據散裝船、貨櫃船與客船等船種分類，以該船種代表性之個案公司歷年用油量，觀察船種溫室氣體之排放趨勢
- 調查國內**五大港口**之歷年油耗趨勢

2009/12/7

運研所期末簡報

23

### 3.2 研究方法

- 針對公務部門與船種代表性個案公司，進行資料蒐集與深入訪談，拜訪單位如下：
  - 2009.06.05 拜訪個案散裝船公司：取得個案公司歷年散裝船用油
  - 2009.06.12 拜訪台灣中油公司：取得五大港口歷年國際與國內用油量
  - 2009.06.26 拜訪個案客船公司：取得該客船用油量
  - 2009.08.27 拜訪交通部航政司：取得各船種歷年之總噸位數與載重噸
  - 2009.10.20 獲能源局提供能源平衡表中關於國內與國際用油之中油與台塑供油量的資料

2009/12/7

運研所期末簡報

24

### 3.3 研究成果

- 彙整各海運組織建議之船舶排放標準
- 計算水運運輸歷年總排放量
- 以台灣中油公司資料呈現五大港口歷年用油趨勢
- 個案分析方面：呈現個案散裝船、貨櫃船與客船公司於整體國籍船種之載重噸比例，並計算個案散裝船、貨櫃船與客船之歷年之排放量，可看出各船種之排放趨勢

2009/12/7

運研所期末簡報

25

### 3.4 政策意涵

- 呈現各港口之國內與國際用油趨勢，可供國內航運貨量變化分析及排放清冊更新之參考
- 個案分析部份
  - 依據散裝船、貨櫃船與客船之所佔總噸位或是載重噸可大致估算該船種整體之油量
  - 提供個案公司散裝船、貨櫃船與客船之歷年用油趨勢，可供國內分析該船種貨運變化之參考

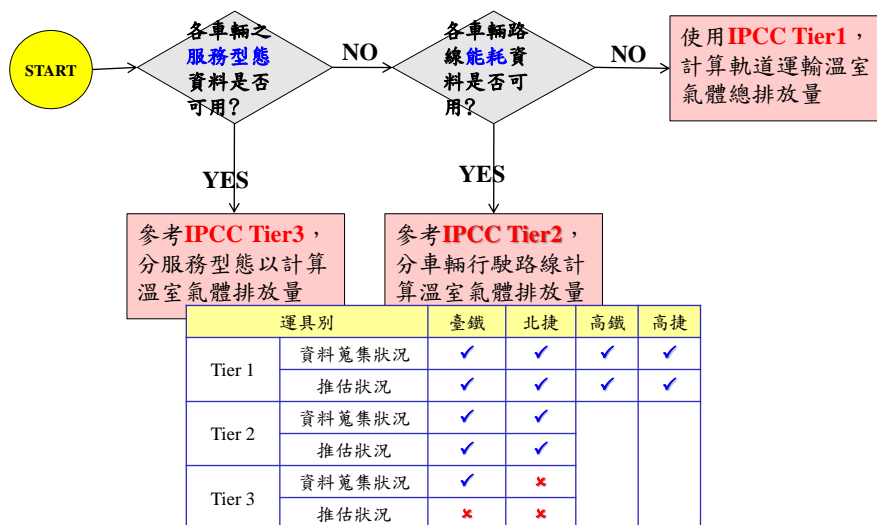
2009/12/7

運研所期末簡報

26

## 4. 軌道運輸溫室氣體排放推估

### 4.1 研究重點



2009/12/7

運研所期末簡報

28



## 4.2 研究方法

### Tier 1

利用能源使用量與排放係數  
來計算溫室氣體排放量

$$\text{溫室氣體排放量} = \sum_j (\text{能源消耗量}_j \times \text{排放係數}_j)$$

$j$  = 能源類型

### Tier 2

針對台鐵及北捷以不同路線  
及不同車種蒐集能源消耗量

臺鐵Tier2溫室氣體排放量

$$= \sum_i \sum_j \sum_k (\text{能源消耗量}_{ijk} \times \text{排放係數}_{ij})$$

$i$  = 能源種類，柴油/電力

$j$  = 車輛行駛路線，縱貫線/宜蘭線/南迴線/...

$k$  = 車輛種類，柴電機車/柴油客車/柴油機車/電力機車/推拉式電力機車/電聯車/傾斜式電聯車

北捷Tier2溫室氣體排放量

$$= \sum_j \sum_k (\text{能源消耗量}_{jk} \times \text{電力排放係數})$$

$j$  = 段別，木柵段/淡新中段/板南土段

$k$  = 系統，中運量/高運量

### Tier 3

僅針對臺鐵推估溫室氣體排放，根據原IPCC  
Tier 3推估公式來看，需以車輛數、車隊運轉  
小時、車輛功率、各車型列車編組、運轉負  
荷因子及能源排放係數進行推估

臺鐵Tier3溫室氣體排放量

$$= \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s (\text{運轉小時}_{ijk} \times \text{功率}_{ik} \times \text{列車編組}_k \times \text{排放係數}_{ij} \times \text{運轉負荷因子}_{sk})$$

$i$  = 能源種類，柴油/電力

$j$  = 車輛行駛路線，縱貫線/宜蘭線/南迴線/...

$k$  = 車型，R100/R150/R180/...

$s$  = 服務類別，客運/貨運

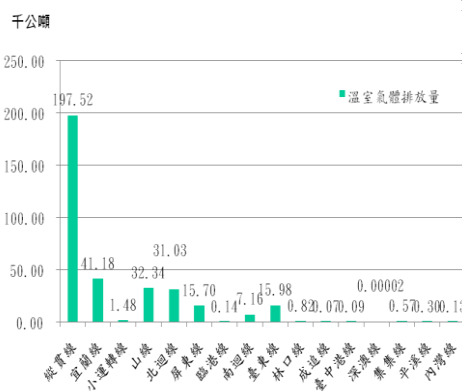
運研所期末簡報

29

## 4.3 研究成果

### Tier 2台鐵分線別溫室氣體排放量

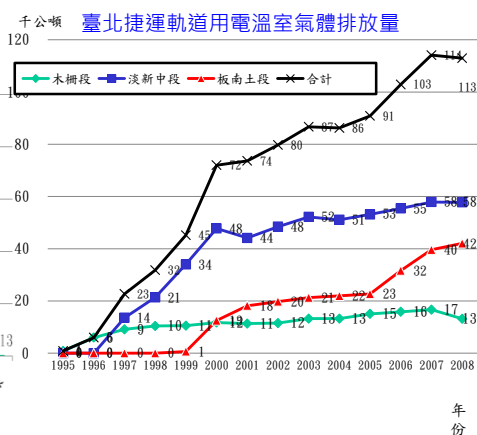
Tier2台鐵依路線別溫室氣體排放量



2009/12/7

### Tier 2北捷分段別溫室氣體排放量

臺北捷運軌道用電溫室氣體排放量



運研所期末簡報

30

## 4.4 政策意涵

- 以各軌道系統(臺鐵、北捷、高鐵、高捷)之營運數據為基礎，所推估之**總排放量**與能源平衡表相當接近：能源平衡表(Tier 1)為700千公噸，本計畫為698千公噸。
- 本計畫建立契合軌道系統之排放量推估模型，採用各軌道能耗的實際營運數據，據以推估溫室氣體排放量。可做為不同減量策略情境下的減量推估及政策制訂的參考。
- 由於資料欠缺，目前應用Tier 3來推估軌道部門的排放量時，猶須做出若干假設(例如假設**車輛實際運轉功率**滿載)，致使推估結果與其他方法有極大差距(如台鐵Tier 3之推估量為4,489千公噸，約為Tier 2 (344.49千公噸)與Tier 1 (360千公噸)的10倍)。故亟需建立本土數據庫(包括試運轉資料、機車類型與運轉因子等，如下頁表)，俾能採用Tier 3。

2009/12/7

運研所期末簡報

31

## 4.5 未來研究方向

■ 建立Tier 3 所需之本土數據庫，期與國際接軌。

	基本資料			營運資料				
	車型 <sup>a</sup>	營運服務類別 <sup>b</sup>	能源別 <sup>c</sup>	能耗量 (公升/年) (度/年)	運轉小時 (小時/年)	行駛里程 (公里/年)	運量 (延人(噸)公里/年)	車輛平均 行駛功率 (kW)
範例	TEMU1000	客運	電力	500,000	6,000	200,000		250
	R150	貨運	柴油	1,700,000	30,000	600,000		250
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

2009/12/7

運研所期末簡報

32

## 5. 運輸部門溫室氣體排放量基線預測

### 5.1 研究重點

- 蒐集運輸部門能源消費歷史資料(1990~2008)
- 建立能源消費經濟計量模型，據以預測能源消費與CO<sub>2</sub>排放量基線。考慮因素包括：
  - GDP
  - 車輛持有率
  - 政策效應：高鐵、捷運、高速公路電子收費
  - 價格彈性
  - 交叉彈性

## 5.2 研究方法

### ■ 建立能耗量之經濟計量模型

$$E_t = \alpha_0 \prod_{i=1}^n x_{it}^{\beta_i} \prod_{j=1}^m \alpha_j^{z_{jt}} \quad (1)$$

$E_t$ ：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 ( $j=1,2,\dots,m$ )

$\alpha_0$ 、 $\beta_i$ 、 $\alpha_j$ ：為模型參數

### ■ 同時採用多種方法推估不同實證模型

● 單一方程式迴歸模型

● 聯立方程式(Simultaneous equations)迴歸模型

2009/12/7

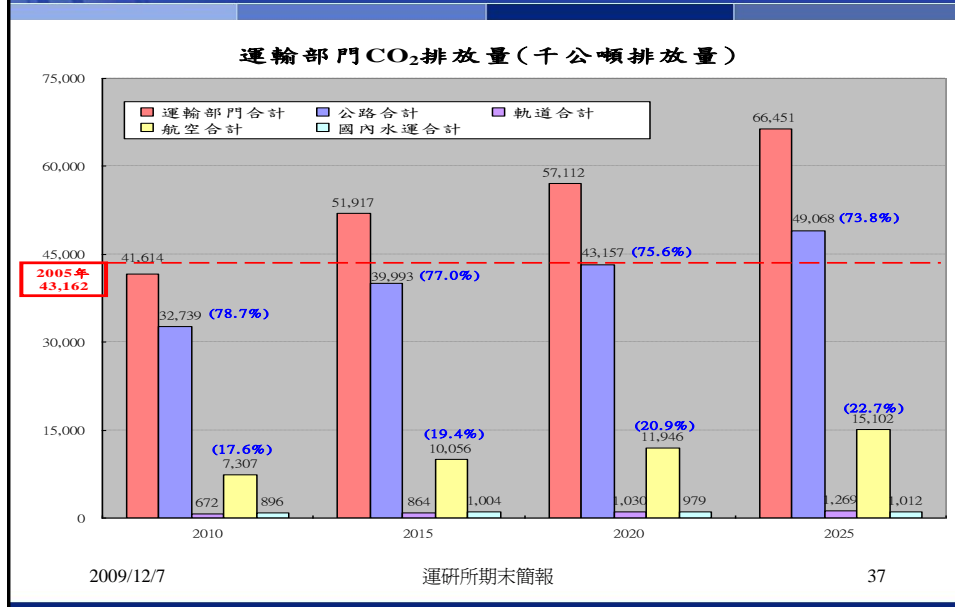
運研所期末簡報

35

## 5.3 研究成果：能耗與排放量之基線預測

能源消費量預測	類別	以2005年為基準	單一方程式獨立校估模型		聯立方程式同時校估模型	
			2015年預測值	2025年預測值	2015年預測值	2025年預測值
	能源別	汽油車	10,248	12,697	10,285	12,729(51.4%)
		柴油車	4,850	5,965	4,705	5,670
		公路合計	15,097(77.5%)	18,662(74.5%)	14,990(77.4%)	18,399(74.2%)
		運輸部門合計	19,476	25,060	19,362	24,781
	運具別	汽油車	10,533	13,955	10,659	14,103
		柴油車(不含特種車)	4,527	5,805	4,616	5,935
		公路合計	15,059	19,761	15,274	20,038
CO <sub>2</sub> 排放量預測	類別	以2005年為基準	單一方程式獨立校估模型		聯立方程式同時校估模型	
			2015年預測值	2025年預測值	2015年預測值	2025年預測值
	能源別	汽油車	26,759	33,153	26,857	33,237(50.0%)
		柴油車	13,541	16,656	13,136	15,831
		公路合計	40,299(77.1%)	49,810(74.1%)	39,993(77.0%)	49,068(73.8%)
		運輸部門合計	52,244	67,236	51,917	66,451
	運具別	汽油車	27,503	36,440	27,832	36,826
		柴油車(不含特種車)	12,639	16,210	12,887	16,570
		公路合計	40,142	52,649	40,719	53,396

### 5.3 研究成果：CO<sub>2</sub>基線值與2005年排放值比較



### 5.4 政策意涵<sub>(1/2)</sub>

- 公路排放量佔比高達82%~74%(2008~2025)，實為減量的主要焦點。
- GDP顯著影響各能源消費，故經濟成長所造成的排放增量效果，不容忽視。
- 汽油自小客車持有率亦顯著影響，減緩自小客車成長亦屬有效策略。
- 能源價格彈性為負值且顯著；故推動能源價格合理化的節能減碳效果可期。

#### 高鐵政策乘數效應：

整體公路汽油消費為0.91  
 自小客汽油消費為0.87  
 公車/客運車柴油消費為0.86  
 國內航空燃油消費為0.69

#### 捷運政策乘數效應：

自小客汽油消費為0.85  
 公車/客運車柴油消費為0.62

2009/12/7

運研所期末簡報

38

## 5.4 政策意涵(2/2)

### ■ 減量策略方向：

- － 抑制自小客車輛持有
- － 持續推動高鐵營運
- － 持續推動捷運政策(台北都會區經驗)
- － 能源價格政策

### ■ 具潛力的減量策略方向：

- － 高速公路ETC政策對「汽油自小客、公車/客運車及營業大貨車」能源消費均呈現乘數效應在0.98~0.91之間(但統計上不顯著)，未來擴大推動後應持續觀察

2009/12/7

運研所期末簡報

39

## 6. 運輸部門能源效率指標建立

## 6.1 研究目的

- 分析並檢討能源效率的傳統指標（包括能源密集度、能源生產力、技術效率等）。
- 研擬具有學理基礎之**能源需求效率指標**。
- 建構運輸部門之**能源隨機需求邊界**（stochastic demand frontier），並進行實證分析。
- 評估陸運、空運及軌道運輸之能源需求效率，並根據主要驅動力，研擬提升運輸部門能源效率的有效策略。

2009/12/7

運研所期末簡報

41

## 6.2 研究方法

- 採用清冊資料庫的相關資料，估算各項傳統的能源效率指標（包括能源生產力、脫鈎係數與脫鈎比等），並比較運輸部門與其他部門之指標值的變動趨勢。
- 首度提出**能源需求效率**的觀念及其衡量方法，並建立能源隨機需求邊界的實證模型，進行實證分析。
- 根據實證分析結果估算各運具之需求效率係數；**係數值越大於1，表示需求效率越低。**

2009/12/7

運研所期末簡報

42

## 衡量能源效率的指標

### 均化指標

- 車輛平均效能
  - 效能標準
  - 每輛能耗：能耗量/車輛數
  - 每輛延人（噸）公里：延人（噸）公里/車輛數
- 能源密集度
  - 單位GDP之能耗量：ENG/GDP
  - 單位運量之能耗量：ENG/運量
- 單位能源生產力
  - 單位能耗的GDP：GDP/ENG
  - 單位能耗的運量：運量/ENG

2009/12/7

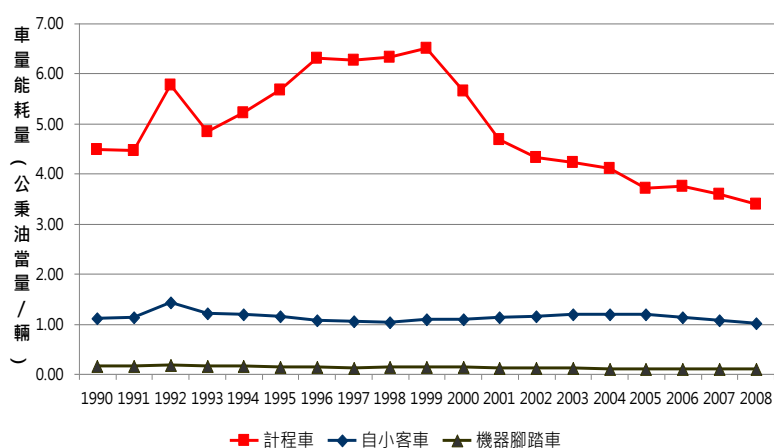
運研所期末簡報

### 綜合性指標

- 能源邊際產值 ( $VMP_E = P \cdot MPP_E$ )
- 能源邊際產值與其價格之差距： $|VMP_E - w|$
- 脫鉤指標
  - 脫鉤係數、脫鉤比
  - 脫鉤彈性
- 環境EKC
- 技術效率、成本效率（配置效率）
- 能源需求效率

43

## 自用車輛之能效比較：每輛能耗



2009/12/7

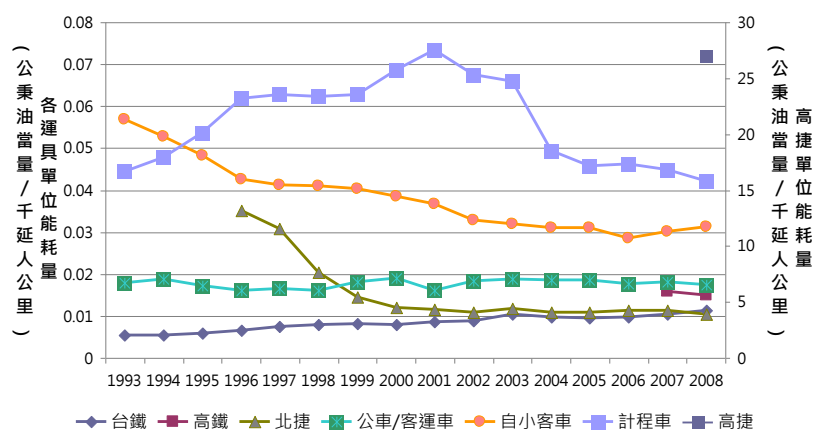
運研所期末簡報

44



## 各運具單位運量之能耗量

多數運具皆呈現改善趨勢！



2009/12/7

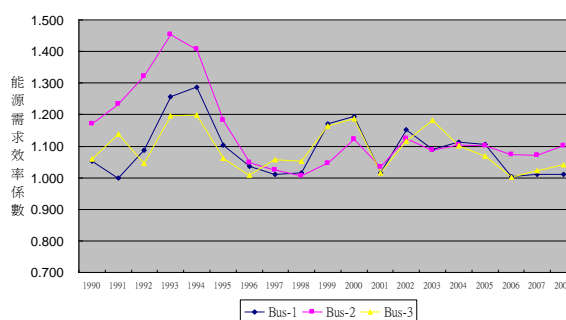
運研所期末簡報

45

## 6.3 研究成果：市區公車/公路客運

■ 公客運能源消費具**規模經濟**。惟公客運部門運量隨人均GDP增加而減少，民眾將改用其他替代性運具（如高鐵、捷運、自小客車等），因此，二者未來逐漸脫鉤的趨勢應屬可期。

■ 除運量外，尚有其他因素造成公客運部門的能源消費量的持續增長（例如使用中的車輛數、比較耗能之車輛配比增加、所得等）。



■ 公客運能源消費量與**柴油價格指數**無顯著關聯，可能原因：（1）公客運車班具僵固性，因應油價而機動調減班次空間有限。（2）油價水準不夠高。

2009/12/7

運研所期末簡報

46

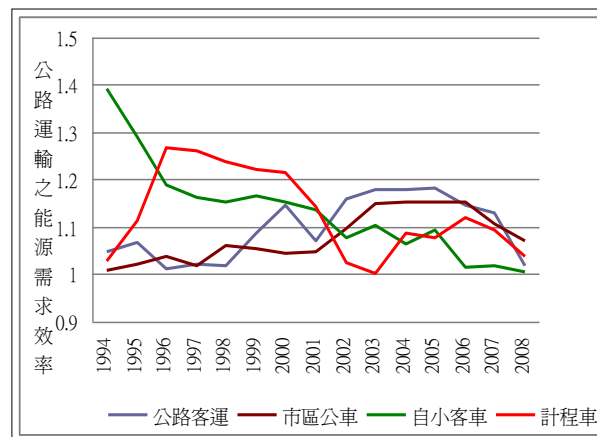
## 6.3 研究成果：公路運輸各運具之比較

### 公路運輸

不同運具之能源需求效率的變動趨勢略有差異

近三年來需求效率有顯著改善，與能源價格上漲及經濟不景氣有關

捷運及高鐵營運對公路運輸及自小客車之能源需求效率具有激勵效果



2009/12/7

運研所期末簡報

47

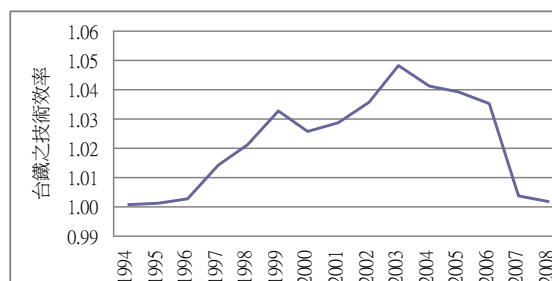
## 6.3 研究成果：台鐵之能源需求效率

### 台鐵

能源需求效率長期呈現效率惡化趨勢，直至2003年以後始見好轉，但其間差距並不顯著。

油料費、捷運、高鐵及公路營運對台鐵之能源需求效率亦有激勵效果

因資料所限，暫無法與其他軌道運輸之效率相提並論。

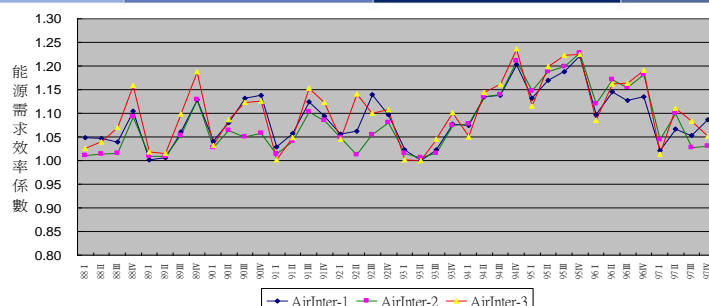


2009/12/7

運研所期末簡報

48

## 6.3 研究成果：國籍航空客運



### 影響能源需求效率的主要驅動力為：

- **規模效果**：有效擴大國內國籍航空客運的規模（以航空業GDP表示）。
- **競爭效果**：外國航空運量相對於國籍航空之比例越大時，將有助於能源需求效率提升。
- **生產力效果**：提升國內國籍航空客運之能源的相對生產力，亦有助於能源需求效率提升。

2009/12/7

運研所期末簡報

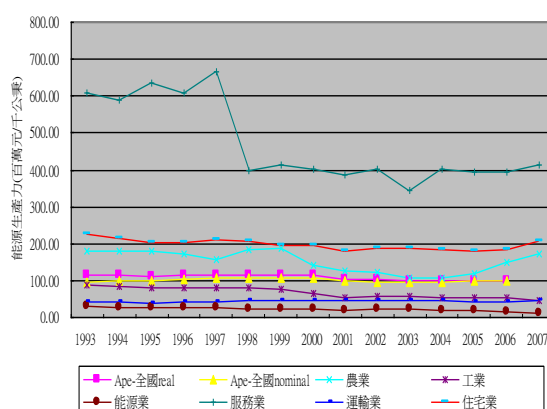
49

## 6.4 政策意涵 (1/2)

宜長期建置能源需求效率指標，並與其他指標相互輝映比較，以掌握正確趨勢，並反映施政與管理績效。

以**能源平均生產力**衡量能源效率時，存在固有問題：

- 不符效率本質，無法真實反映能源效率
- 永遠低於全國平均水準
- 難見能源效率改善的成果



台灣各部門的能源平均生產力

2009/12/7

運研所期末簡報

50

## 6.4 政策意涵 (2/2)

- 運輸部門的節能減排與能源效率問題逐漸受UNFCCC的重視，故應正確掌握各運具的能源效率及其趨勢，做為未來運輸系統規劃的參考。
- 根據實證結果顯示，影響能源效率的主要驅動力為：**生產力效果**、**競爭效果**、及**規模效果**。此為提升運輸部門能源效率應予強化的重點。
- 軌道運輸與公路運輸有明顯的替代關係，前者的運量規模對於公路運輸的能源需求效率具有正面助益，應可視為發展大眾運輸系統的重點。

2009/12/7

運研所期末簡報

51

## 7. 節能減碳的策略與潛能推估

## 7.1 研究目的

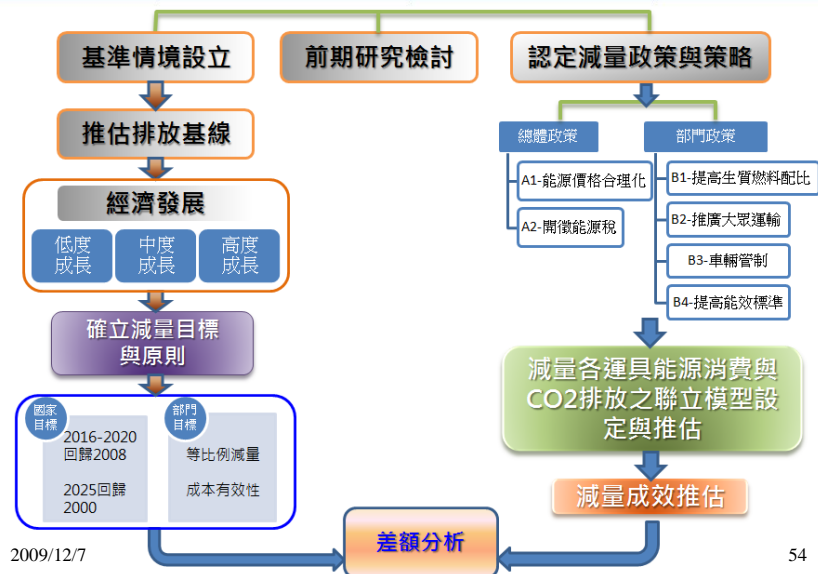
- 檢討前期研究關於減量潛力及其估算方法的合理性
- 研擬可行的**總體減量政策**與**部門減量策略**
- 推估運輸部門的減量潛力，並在國家減量目標的規範下，分析運輸部門落實減量目標的可及性

2009/12/7

運研所期末簡報

53

## 7.2 研究方法與步驟



2009/12/7

54

## 7.3 研究成果：前期研究的檢討

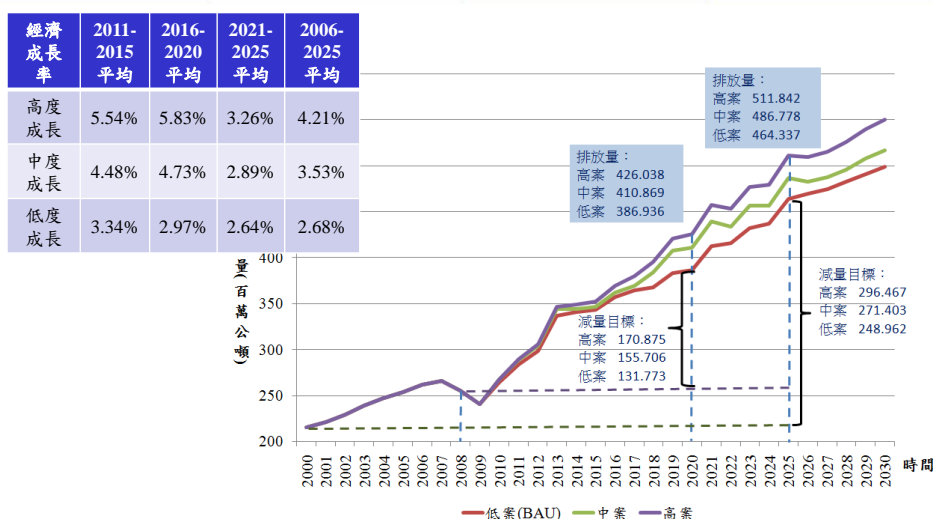
- 各項減量策略之減量效果的估算公式大都詳盡且合理，係屬「由下而上」(bottom-up)的評估方法。因其假設各策略之間相互獨立，無法兼顧各減量策略之效果間的交互作用，故可能高估減量效果。
- 估算公式所用參數大都有實務根據，但仍有少部分參數之設定方式的合理性無法考證，需要進一步推估。
- 基線的預測方法過於簡單，如能多考慮其他驅動力、函數型態及推估方法，應可改善預測結果。
- 未考慮運輸部門多元化的減量目標（如等比例減量、成本有效性減量等），且忽略未來經濟成長所造成的排放增量，因此對於運輸部門達成減量目標的潛力可能過於樂觀。
- 對於各項減量策略之關鍵變數的減量效果，欠缺系統性的計量模式推估。

2009/12/7

運研所期末簡報

55

## 7.3 研究成果：排放基線與國家減量目標



2009/12/7

運研所期末簡報

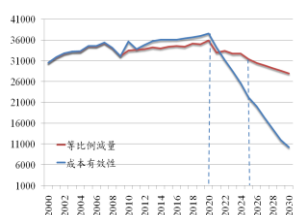
56

### 7.3 研究成果：運輸部門的減量目標

低度成長

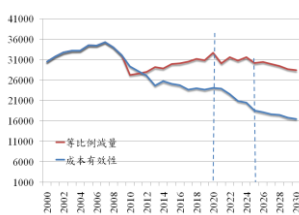
中度成長

高度成長

CO<sub>2</sub>排放路徑

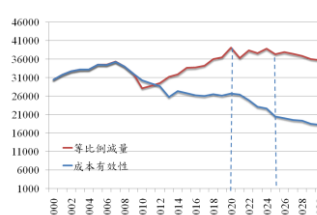
減量原則	排放量 (千公噸)	
	2020	2025
等比例減量	35,965	31,404
成本有效性	37,583	22,134

2009/12/7

CO<sub>2</sub>排放路徑

減量原則	排放量 (千公噸)	
	2020	2025
等比例減量	32,756	30,210
成本有效性	24,148	18,612

運研所期末簡報

CO<sub>2</sub>排放路徑

減量原則	排放量 (千公噸)	
	2020	2025
等比例減量	39,209	37,407
成本有效性	26,707	20,584

57

### 7.4 政策意涵 (2/2)

- 經濟成長大幅增加運輸部門的減量壓力，如果忽略經濟成長所增加的排放量，將高估運輸部門達成減量目標的潛力。因此，實施其他策略（如**提升系統效率**、**推動彈性機制**、**改變運具**等）勢不可免。
- 如欲達成既定的減量目標，不僅可及性低，經濟衝擊委實不小，未來應視實際情勢重新**檢討國家目標**的合理性。

2009/12/7

運研所期末簡報

58

## 8. 運輸與能源模型整合架構分析

### 8.1 研究目的

- 釐清整合模式建構目的與發揮功能
- 掌握國內、外能源經濟模型發展
- 掌握國內、外整合模式特性與操作方法
  - ✓ EPPA/MARKAL與ECLIPSE模型架構與整合方法
- 提出國內需要的運輸、能源與經濟整合模式
- 規劃台灣運輸部門3E整合模型架構
- 規劃運輸部門CGE模型架構
- 規劃台灣運輸部門3E整合模型操作介面



## 8.2 研究成果：模式整合方向與原則 (1/2)

- EPPA/MARKAL或ECLIPSE，皆以整合總體CGE模型與MARKAL技術模型為主要方式，忽略運輸需求管理策略的處理
- 國內能源經濟模型的發展，以CGE模型、MARKAL模型、或經濟計量模型為主軸，但缺乏適當且充分的溝通整合
- 目前國內能源模型對於運輸部門著墨仍十分有限，欲發展運輸部門整合模式，則應適當納入運輸規劃模式

2009/12/7

運研所期末簡報

61

## 8.2 研究成果：模式整合方向與原則 (2/2)

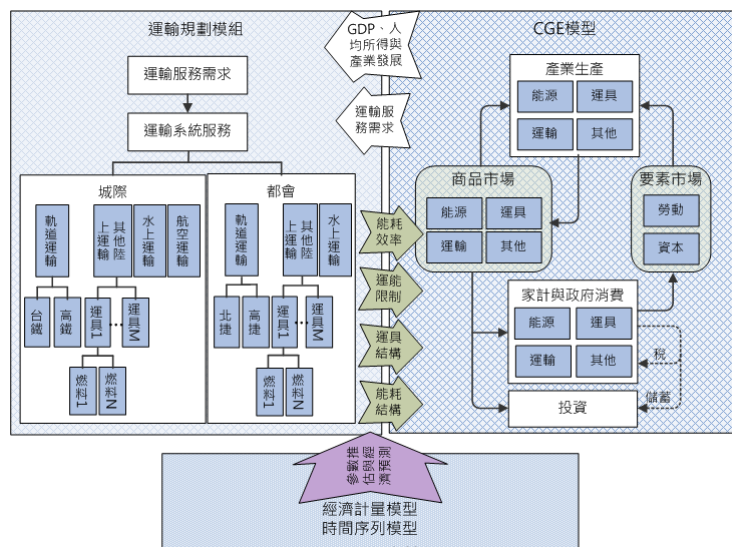
- 模式發展與整合工作需要長期的溝通、協調、建置、與修正，在時間有限下，通常會採取直接整合既有模型的方式
- 但既有模型大多具有一定規模，因此在經費上、在參變數定義的溝通上、結果的呈現上都是整合既有模型將面臨的挑戰
- 若是研究方向與重點較為聚焦，例如較關心未來經濟發展與運輸需求狀態，及在此狀態下運輸管理策略的運用，則可先就關心重點建置適當模型

2009/12/7

運研所期末簡報

62

## 8.2 研究成果：台灣運輸部門3E整合模型架構



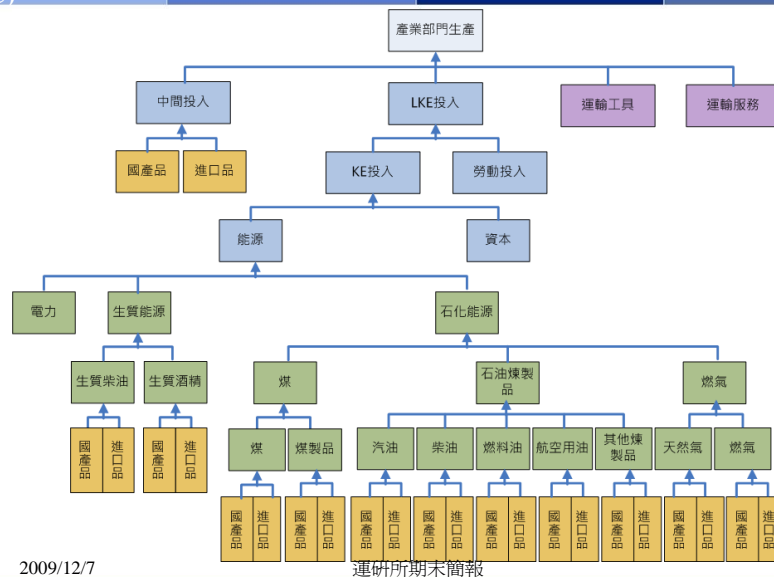
2009/12/7

運輸所期末簡報

63

## 8.2 研究成果：台灣運輸部門CGE模型架構 (1/

5)



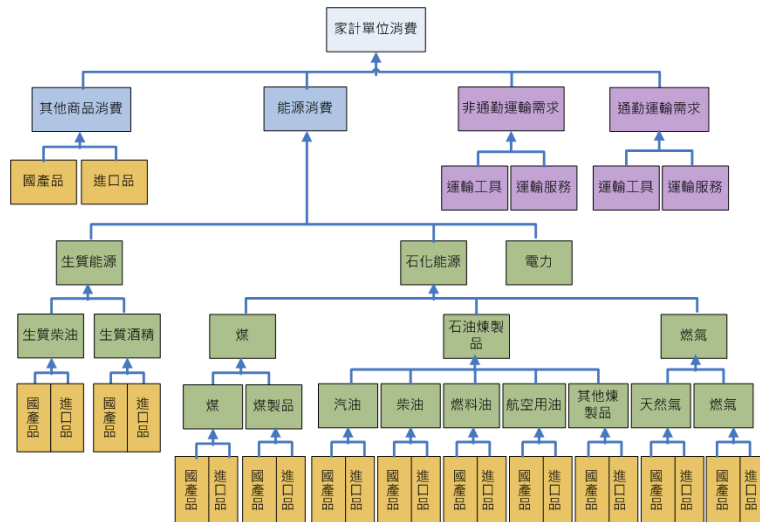
2009/12/7

運輸所期末簡報

64



## 8.2 研究成果：台灣運輸部門CGE模型架構 (4/5)



2009/12/7

運研所期末簡報

67

## 8.2 研究成果：台灣運輸部門3E整合模型操作介面 (5/5)



2009/12/7

運研所期末簡報

### 檔案

選擇模型  
離開

### 歷史資料呈現

GDP成長率  
產業結構  
CO2排放量  
國際能源價格  
國內能源價格  
運量與承載率

### 產生基線

基準情境設定  
執行產生基線  
顯示執行結果  
儲存執行結果

### 政策模擬

模擬情境設定  
執行政策模擬  
顯示執行結果  
儲存執行結果

### 結果比較

選擇比較檔案  
儲存比較檔案

### 關於

相關網站  
(運輸部門能源與溫室氣體資訊網)  
關於運輸部門3E整合模型

68

## 五、結論與建議

### 結論 (1/5)

#### ■ 航空運輸溫室氣體排放推估

- 北太平洋航線為我國之運量最大之航線，其中噴射氣流，對航空能源消耗計算之精準有相當大的影響，未來可以飛行記錄器資料作進一步的研究。
- 國內線能源油耗呈下滑趨勢，雖然除大陸、印度外，世界各國國內線都是緩成長，我國的負成長較為獨特，主要是受到高鐵的影響。

#### ■ 水運運輸溫室氣體排放推估

- 目前蒐集資料中，尚無法區分國籍船舶各船種之延噸海浬，也無法詳細區分該延噸海浬屬於國內航運或是國際航運，若要計算水運能源效率，必須進一步將資料分類更細緻，故相關資料的建構有賴各單位共同努力。
- 由蒐集資料中顯示，國籍船舶登記數按船種及船齡區分，但要探討能源使用量時，目前只能從能源平衡表中來獲得資料，無法對應來計算各船種的溫室氣體排放量，亟待未來克服之。

## 結論 (2/5)

### ■ 軌道運輸溫室氣體排放推估

- 台鐵Tier 3(4,489千公噸)排放量推估結果約為Tier 2(344.49千公噸)與Tier 1(360千公噸)之10倍，其原因主要為無法取得車輛實際運轉功率(假設滿載)。

### ■ 運輸部門溫室氣體排放量基線預測

- 聯立方程式之預測結果優於單一方程式，未來在實證模型的設計或仍可進一步改善。
- 基線預測是永無止境的工作，影響因素很多，為利於未來的政策評估或模型的整合，仍須針對各種狀況，隨時調整基線預測。

### ■ 運輸部門能源效率指標建立

- **需求效率及成本效率**為正確的能源效率指標，並可用以反映節能減碳的施政績效、及永續運輸發展的趨勢，故應持續深入研究與建構。
- 建構能源效率指標時，應同時考慮各運距之間的替代關係，未來進行系統性的比較應是發展指標體系所不可忽略的重點

2009/12/7

運研所期末簡報

71

## 結論 (3/5)

### ■ 運輸部門能源效率指標建立

- 為便於運輸部門能源之**技術效率**與**需求效率**的推估，未來相關資料之建置需更有系統性與一致性。高鐵及捷運則因營運期間不夠長，現階段尚無法有效推估。
- 限於資料可及性極低，運輸部門能源之**成本效率**的推估猶有困難；未來若能改善，應可反映更多政策意涵。
- 公路、軌道、空運及海運之間的能源效率差異，須待資料建置完整後，始能進行有效比較。有待日後繼續進行評估。
- 軌道運輸對於公路運輸（尤其是**自小客車**）的能源需求效率具有正面的激勵效果。
- 未來運輸技術的創新型態與再生能源發展，對於各運具之能源效率及經濟的影響，理應持續關注，且應有適當的**整合型3E模式**進行評估。

2009/12/7

運研所期末簡報

72

## 結論 (4/5)

### ■ 節能減碳的策略與潛能推估

- 建構兼顧理論與實務之本土化的「由上而下」(top-down)模型(整合經濟計量模型與CGE模型),藉以評估減量策略的3E效果,並隨時更新與擴建資料庫,掌握運輸部門的排放基線、能源需求結構、及減量績效。
- 根據COP15之後的國際減量新規範,並參酌我國經濟成長的新情勢、節能減碳新目標與政策、及運輸部門的技術發展路徑(technology development roadmap)(包括改變燃料、改變運具、提升系統效率等),設計更務實可行的減量情境,以進行減量潛力與影響的再評估。
- 強化能源政策、環境政策、及產業政策與運輸部門之能源需求與排放量的關聯分析,以增進「由上而下」模型的信度(reliability)與效度(validity)。

2009/12/7

運研所期末簡報

73

## 結論 (5/5)

### ■ 運輸與能源模型整合架構分析

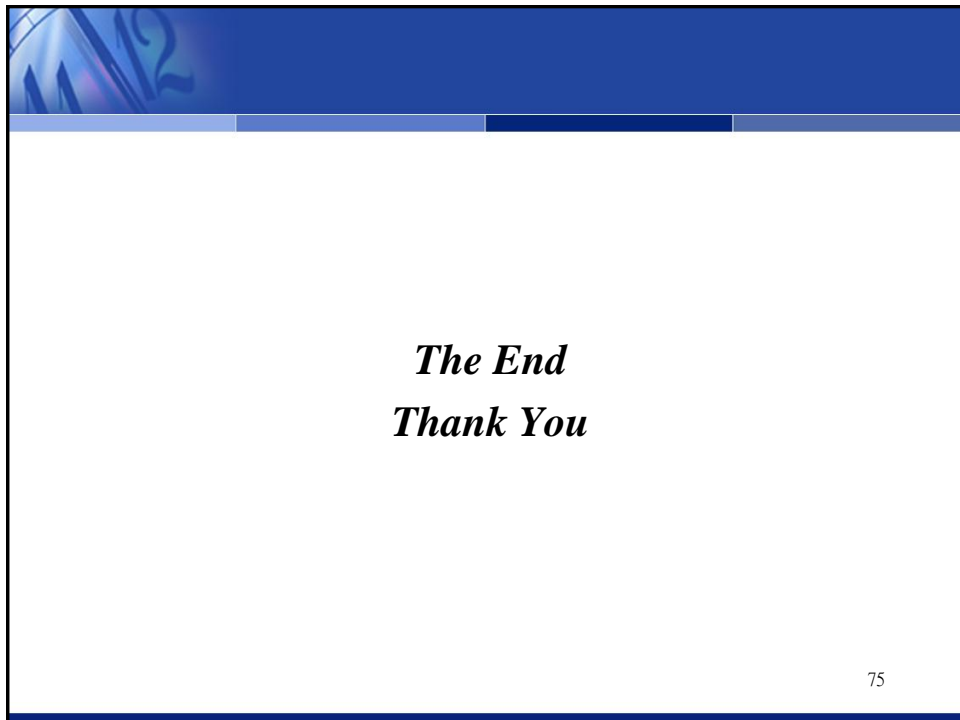
- 鑑於國際減量規範、能源危機、及國內相關法案緊迫,而運輸部門的排放與減量潛力受國內經濟成長的影響至為明顯,因此,我國應參照國外作法,及早建構運輸部門的3E+C+S的影響評估及決策支援模型。
- 為因應未來節能減碳的施政目標,3E+C+S的影響評估及決策支援模型宜適度整合經濟計量模型、能源模型、運輸規劃模式、以及CGE模型。
- 模式發展與整合工作需要長期的溝通與協調,並需有適當規模的研究人力和團隊,故應充實科研經費,儘早強化人才培訓及能力建置等前置性工作。

2009/12/7

運研所期末簡報

74







## 附錄 9

運輸部門能源與溫室氣體查詢網頁



## 附錄 9

# 運輸部門能源與溫室氣體查詢網頁

為了方便使用者查詢相關的資料，因此在原先建置的網頁中新增資料查詢的功能，除了將多樣且分散的資料彙整之外，另外也建置了資料繪圖功能，讓使用者藉由圖形分析快速掌握資料特性及趨勢。以下分別就網頁的建置目的、系統架構、系統功能逐一詳細說明。

## 一、網頁建置目的

在研究單位或政府單位中，資訊的傳遞相當的重要，然而隨著人員的轉職、離職或退休，往往也造成知識無法順利傳遞給下一位接替者；此外，若各單位所整理的資料無適當管道互相流通，將造成資料重覆蒐集整理或購置；再者，以往資料以 Excel 整理並保存，當資料量龐大又無彙整時，往往造成使用者查詢或使用不便。有鑑於此，為了使資訊得以流通、使知識得以流傳至接替者，同時讓使用者可以迅速的掌握所需的資料，因此本研究在原先已建置的網頁中，新增網頁查詢功能，將各別研究者所整理的資料彙整至系統中，使用者除了可於網頁中使用互動式選單查詢所需資料之外，另外也可快速將資料繪圖分析，掌握資料的特性及趨勢，讓研究者的經驗與知識得以流傳。

系統本身除了具備知識傳遞的功能之外，系統使用上的便利性以及其功能性將影響研究者的使用意願。為了便利使用者可以即時的檢視所關心的資料，且為了讓使用者可以即時掌握資料的特性，並快速的對所查詢的資料進行分析，因此，資料庫中除了收錄所需相關資料外，同時亦建置繪圖模組，當使用者有資料查詢、趨勢繪圖分析的需求時，透過 internet 或 intranet，即時從資料庫中蒐尋資料，並根據所獲得的資料，便捷地進行所需的分析。為了達到這樣的目的，因此系統介面以及資料庫規劃便成了相當重要的兩個幕後工作，資料庫系統介面的設計關係到了使用者在操作上的便利性，而資料庫的規劃不僅影響後續資料建置更新，同時也會影響使用的便捷性。

## 二、網頁架構說明

### 2.1 系統架構說明

根據上述目的，因此資料庫系統可區分為三大區塊，其一為資料庫，其二為繪圖模組，其三則為使用者介面，如圖 1 所示，當使用者有資料查詢、趨勢繪圖，或資料更新與上傳等需求時，可藉由個人電腦透過網際網路或內部網路，連結至系統架設主機，進行資料檢索、繪圖，而伺服器則根據使用者所送出的指令，在伺服器在接受到指令後，便會從資料庫中搜尋資料，並呼叫繪圖模組進行分析，最後再將繪圖結果傳送至使用者端，以網頁形式將結果予以顯示。

這樣的系統架構可以方便使用者利用個人電腦的操作，即可取得位於伺服器中的資料，使用者不需額外安裝軟體或操作介面，另外，藉由資料的彙整，使用者再也不必在數個分散的檔案中尋找所需資料。

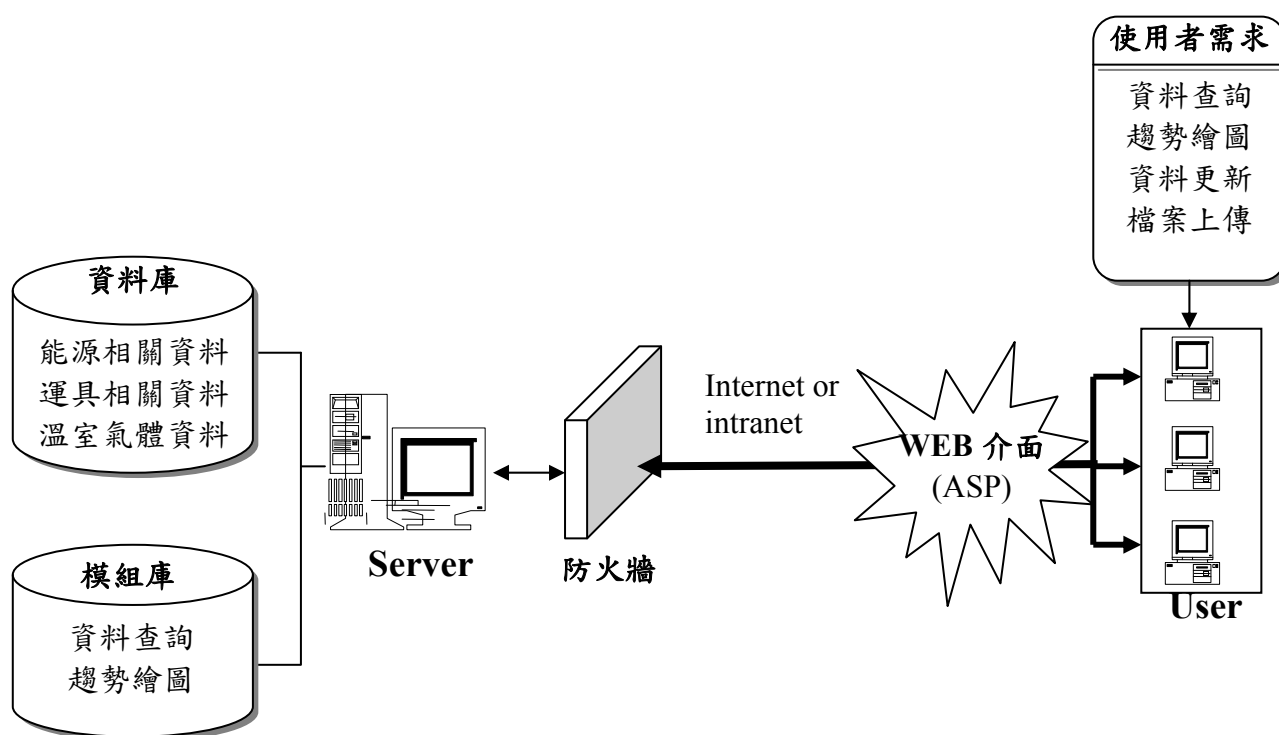


圖 1 產業與經濟資料庫系統架構圖

## 2.2 系統介面設計

### 1.系統程式語言選擇

在使用者介面方面，為了便利使用者在各地皆能便捷的使用本系統，系統將以網頁的形式來設計開發本系統，使用者僅需透過微軟 Windows 內建的 Internet Explorer 或網景公司的 Netscape 等瀏覽器軟體，即可透過網際網路執行本系統，進行資料庫存取，統計運算，以及資料繪圖等功能。為了達到利用網際網路執行本系統的目的，因此系統選擇以功能強大的 ASP 程式語言進行開發，設計具有親和性的使用者介面。

### 2.資料庫軟體選擇

一般而言，常用作為資料庫的軟體，包含有 Microsoft Access、Microsoft SQL Server、Oracle、MySQL、Postgre SQL、Microsoft Excel 等軟體。其中，以 MS SQL Server 資料庫軟體功能最為強大，且不論使用者介面、資料處理速度、資料保全程度、以及資料儲存量等，皆具有相當的優勢。然而由於 MS SQL Server 的取得成本相對較其他資料庫軟體高出許多，相對而言，Microsoft Access 則附屬在微軟辦公室軟體之中 (Microsoft Office)，無需另外再付費取得，再者，雖然 Access 的資料處理速度不如 SQL Server，但已足以支應本計畫資料量所需，且 Access 軟體承襲微軟的視窗化作業模式，對於未來系統建置完畢並移轉後，資料庫的維護人員較容易操作，因此，為顧及資料處理速度、軟體取得性，以及安全性的多重考量之下，本系統選擇以 Microsoft Access 為目前系統的資料庫軟體。

至於 Microsoft Excel 同樣內建於微軟的辦公室套裝軟體中，且操作介面更為一般性，且使用的範圍更為廣泛，然而由於 Access 可以做龐大的資料處理及計算，也可整合資料作成報表，但 Excel 除了無法建立資料表的關聯之外，最大的限制為有資料筆數的限制，而本系統中為了提供使用者完整的資料，因此未來所蒐錄的資料量勢必相當龐大，因此，在資料量的考量之下，選擇以 MS Access 作為資料庫軟體，再者，若將來在資料庫擴充的考量之下，改以 MS SQL Server 做為資料庫軟體時，在資料庫的轉換以及程式的修改上，所需的更動較少，因此，現階段本系統資料庫軟體的最佳選擇乃 MS Access。

### 3.統計功能頁面設計

資料庫系統最重要的功能，即正確且完整的將使用者可能會用到的資料蒐錄於資料庫中，並提供使用者查詢、下載等功能。然而對於許多使用者而言，僅僅只是查詢與下載，仍無法滿足其分析的需求，使用者獲得資料後，若僅僅從查詢後列表的數值，無法立即準確的判斷資料的特性及趨勢，因此極需圖形繪製功能，藉以讓使用者迅速瞭解資料的特性。這樣的繪圖功能雖然在 Excel 中亦可達到，但由於 Excel 圖形種類少，且繪圖速度慢，因此本系統採用 ChartDirector 5.0 作為系統繪圖軟體。此軟體的特色在於，圖形精美且多樣，此外圖形亦可以圖檔格式儲存，方便使用者複製至文件或簡報中呈現。

## 2.3 資料庫架構

資料庫系統最重要的功能，即正確且完整的將使用者可能會用到的資料蒐錄於資料庫中，並提供使用者查詢，下載等功能。而建立資料庫系統，最首要的工作莫過於資料結構分析，並據以規劃資料庫架構，良好的資料結構分析，有助於資料庫架構的規劃，除了可以使資料庫系統的運作更加快速，也更方便未來資料的擴充。就目前網頁中的資料來看，依資料性質可粗分為兩大類，分別是屬質資料（文字）與屬量資料（數字），其中，質性的資料大多為研究報告、規劃案、或公告消息，而量化資料又可區分為時間序列資料（time series）與橫斷面資料（cross-section），如圖 2 所示。

由於目前各單位提供的資料項目繁多，資料類型、頻率多樣，面對如此多樣的資料，資料庫格式將變得更為複雜。此外，由於資料庫中的時間序列資料，除了過去的歷史資料之外，另外尚有對未來的推估；各資料項目不僅歷史長度不同、頻率也不同，而對未來推估的資料亦有不同的推估長度與頻率。如此更加深了建立資料庫的難度。

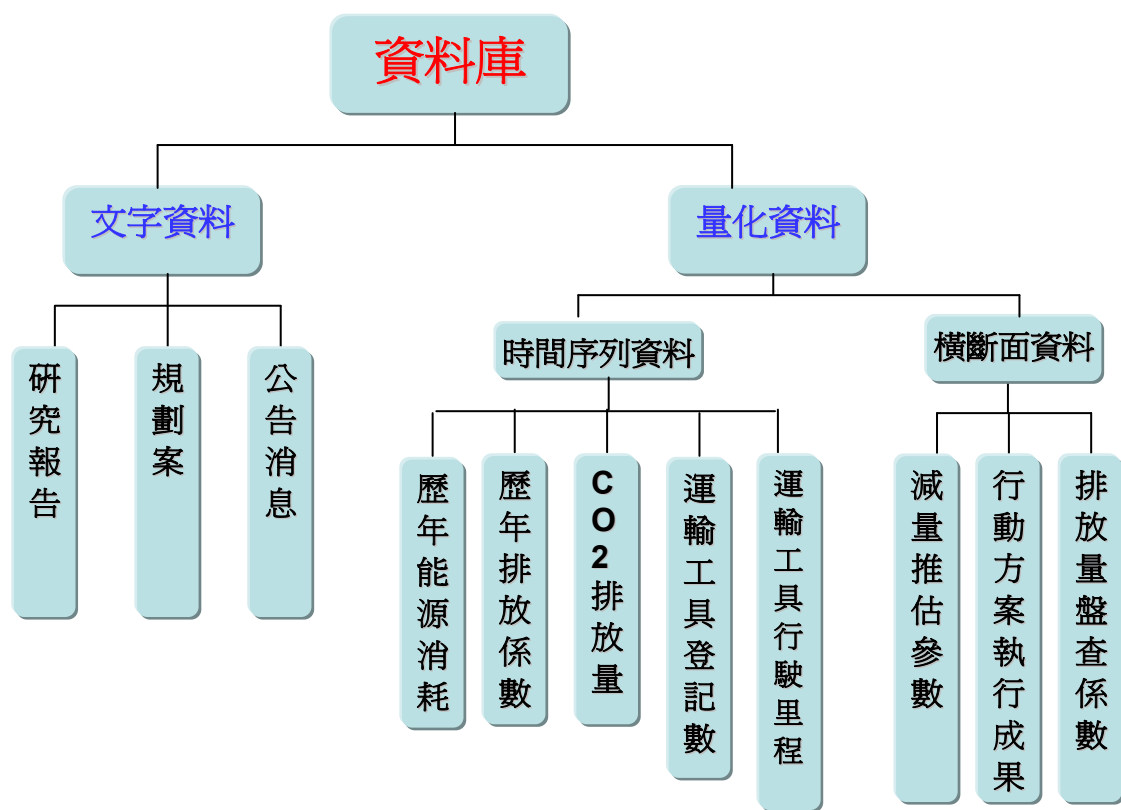


圖 2 資料庫架構

### 三、網頁功能說明

資料庫中建置的功能，會因資料形態或資料類型而不同。在資料查詢功能中，又可區分為文字資料及量化資料，如圖 3 所示。文字資料包含了資料檔案查詢與下載功能，使用者可以藉由關鍵字查詢尋找相關的研究報告或公告，或由不同的發佈單位蒐尋相關文件。此外，相關單位也可以藉由檔案上傳功能發布研究報告或相關資料，亦可由訊息發布功能公告訊息。在量化資料方面，除了互動式的資料查詢介面之外，另外也建置一個資料更新介面，使用者可以在自己的個人電腦上即可更新相關資料。雖然此一功能有其方便性，但是卻容易造成資料管理不易，因此未來有必要加設使用者登入選項，藉由使用者帳號的級別來控制資料更新或資料庫維護的權限。

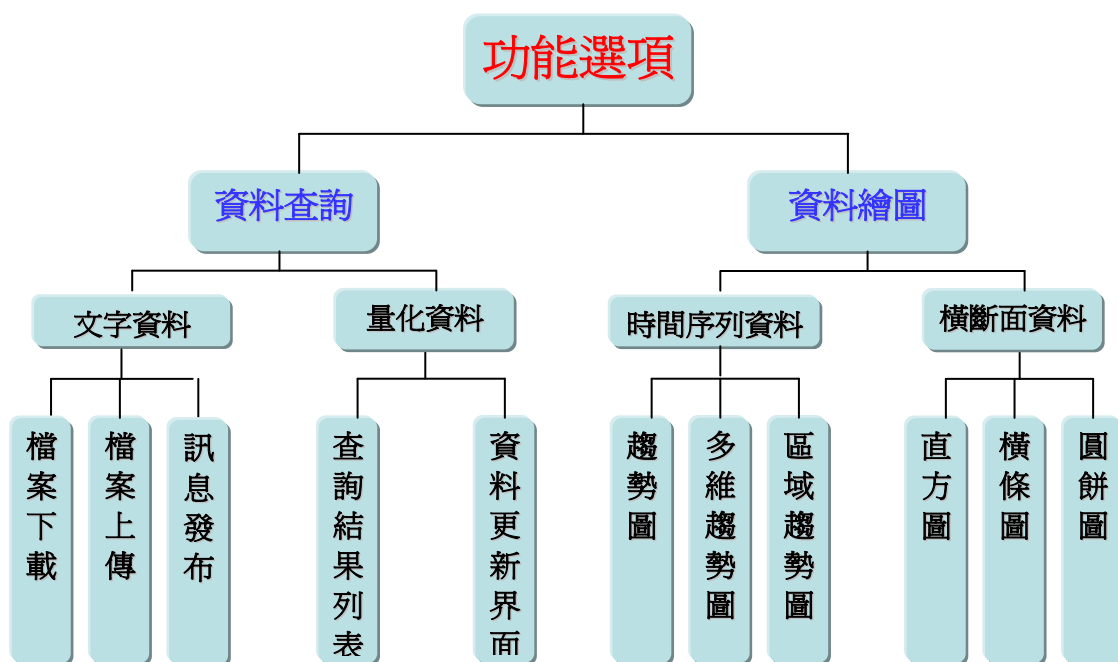
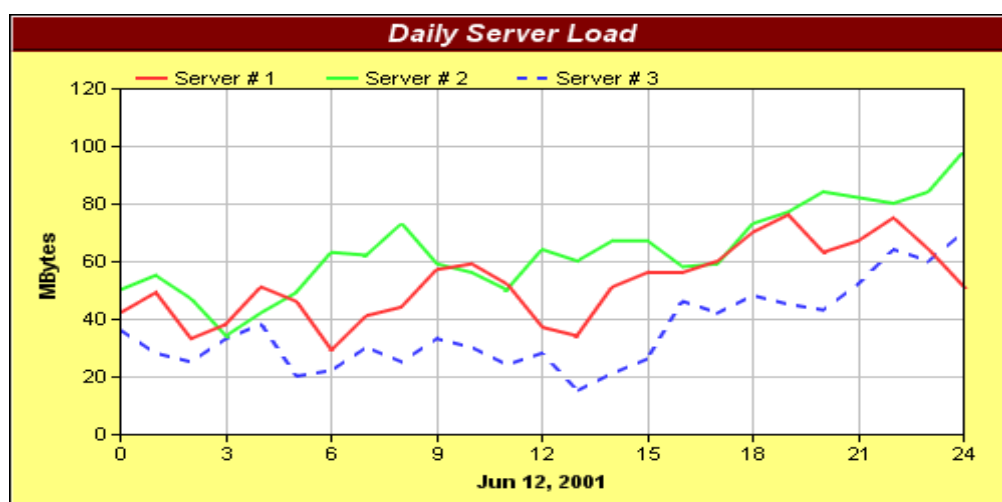


圖 3 網頁功能選項

在資料繪圖功能中，又可區分為時間序列資料或橫斷面資料，不同的資料類型，適用的圖形亦不相同，時間序列資料的繪圖模組將建置趨勢圖、多維度趨勢圖以及區域趨勢圖等功能。當使用者僅對一數列繪製趨勢圖，或多個數列，但縱軸數值大小相似時，則可繪製簡單趨勢圖，如圖 4 所示。

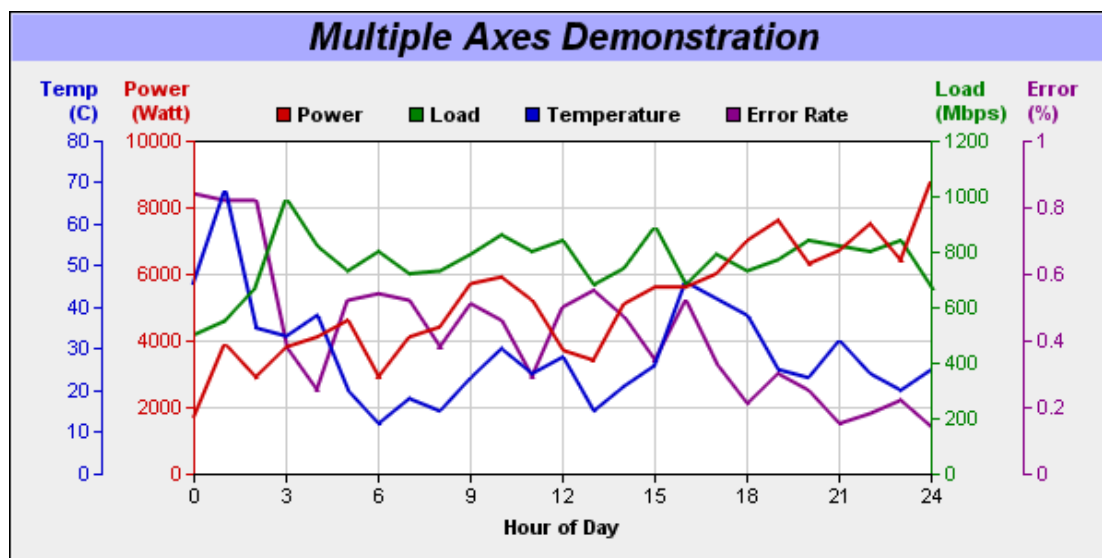


資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

圖 4 趨勢圖範例



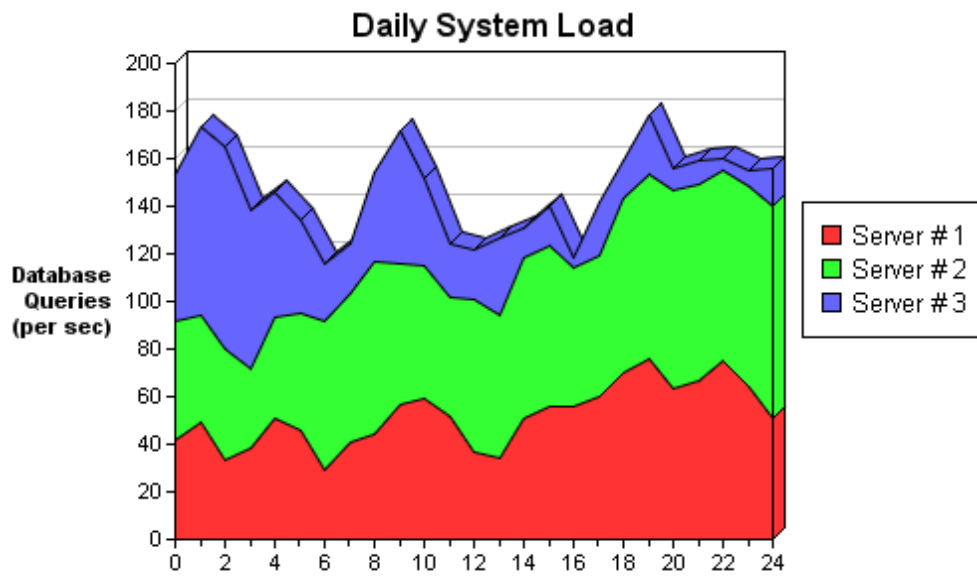
但當繪製的數列不止 1 個，且多個數列之間的數值差異甚大，則可繪製多維度趨勢圖，如圖 5 所示。多維度趨勢圖不限數列個數，但一般以 5 個數列繪製出來的圖形已過於複雜，若超過 5 個則愈難判讀。



資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

圖 5 多維度趨勢圖範例

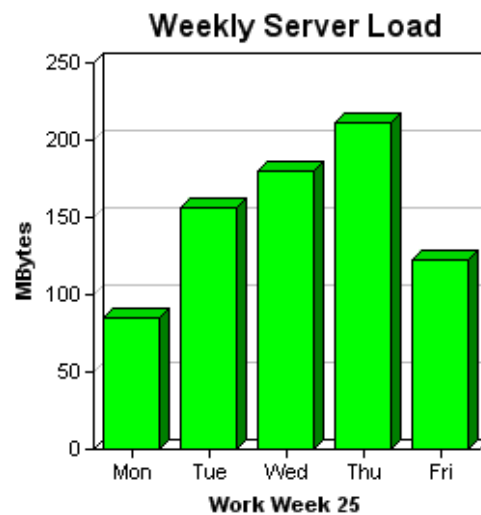
另外，若在繪製趨勢圖時，想要瞭解多個數列之間的比例變化，則可繪製區域趨勢圖，如圖 6 所示。圖 6 不僅可觀察趨勢變化，同時也可以觀察到數列之間占比的變化。



資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

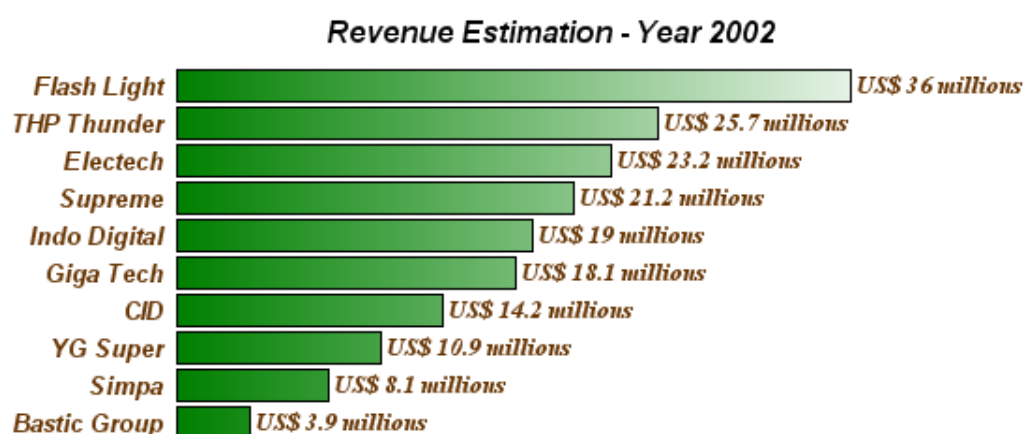
圖 6 區域趨勢圖範例

但若數值資料為橫斷面資料，此時便不適合用趨勢圖分析，則使用者可改以直方圖、橫條圖或圓餅圖進行分析，如圖 7、1-8、1-9 所示。



資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

圖 7 直方圖範例



資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

圖 8 橫條圖範例



資料來源：Advanced Software Engineering Limited (2008)。

圖 9 圓餅圖範例

## 四、系統功能展示

資料庫系統首要的工作除了資料分析以外，便是資料庫架構建置，目前系統進度已完成資料分析之外，資料庫架構也已初步完成。此外，亦建置了初步的量化資料查詢頁面以及趨勢繪圖功能，如圖 10 所示，在原先已建置好的網頁下增加兩個功能選項，分別為「資料檢索」以及「資料繪圖」。

點選左側選單中的「資料檢索」後，可進入數值資料檢索選單，使用者首先挑選資料類別後，接著挑選資料頻率與資料區間，最後便可挑選資料項目，挑選資料項目時，按押 ctrl 便可複選多個項目，如圖 11 所示。待資料挑選完畢後，點選「送出」鈕，即可由伺服器檢索資料，並列表整理如圖

12 所示。

若點選左側選單中的「資料繪圖」，便可進入資料繪圖的變數選擇表單，如圖 13 所示，選擇變數後，接著挑選資料頻率、資料期間，以及繪製圖形類型，最後再點選「進行分析」，即可繪製相關趨勢圖，如圖 14 的折線圖，及圖 15 的多維度趨勢圖。此外，為了讓使用者快速的掌握數列的特性，因此在趨勢圖的下方列出數列的基本統計表，以供給使用者參考。



圖 10 系統首頁

## 運輸部門能源與溫室氣體資訊網

### 最新消息

- 最新消息
- 行動方案
- 能源與運輸計畫
- 溫室氣體盤查
- 資料檢索
- 資料繪圖
- 回到首頁

交通運輸工具資料 行駛里程推估量

年資料 1991 2001

- ++小客車(汽油)\_自用
- ++小客車(汽油)\_營業
- ++汽油小貨車\_自用
- ++汽油小貨車\_營業
- ++柴油小貨車\_自用
- ++柴油小貨車\_營業

送出

圖 11 數值資料檢索選單

	交通運輸 工具資料	交通運輸 工具資料	交通運輸 工具資料	交通運輸 工具資料	交通運輸 工具資料
	行使里程 推估量	行使里程 推估量	行使里程 推估量	行使里程 推估量	行使里程 推估量
	小客車(汽 油)	汽油小貨 車	柴油小貨 車	大客車	大貨車
	自用	自用	自用	自用	自用
單位	公里	公里	公里	公里	公里
1991	13678	17615	17615	28272	33758
1992	13911	19598	19598	27948	37558
1993	14144	16098	16098	27624	30852
1994	13158	16373	16373	28232	31378
1995	12172	16725	16725	28841	32053
1996	10952	17584	17584	29449	33700
1997	11112	18147	18147	30057	34778
1998	11270	20342	20342	30666	38985
1999	12088	20502	20502	31274	39291
2000	12905	19840	19840	31882	38023
2001	14202	20756	20756	32400	39778

圖 12 數值資料檢索結果列表

**運輸部門能源與溫室氣體資訊網**

最新 消息

[最新消息](#)  
[行動方案](#)  
[能源與運輸計畫](#)  
[溫室氣體盤查](#)  
[資料檢索](#)  
[資料繪圖](#)  
[回到首頁](#)

變數 1	交通運輸工具資料	行駛里程推估量	+小客車(汽油)_自用
變數 2	交通運輸工具資料	行駛里程推估量	+小客車(汽油)_營業
變數 3			
變數 4			
變數 5			

年資料
1990
2007
折線圖

圖 13 趨勢繪圖變數挑選功能選單

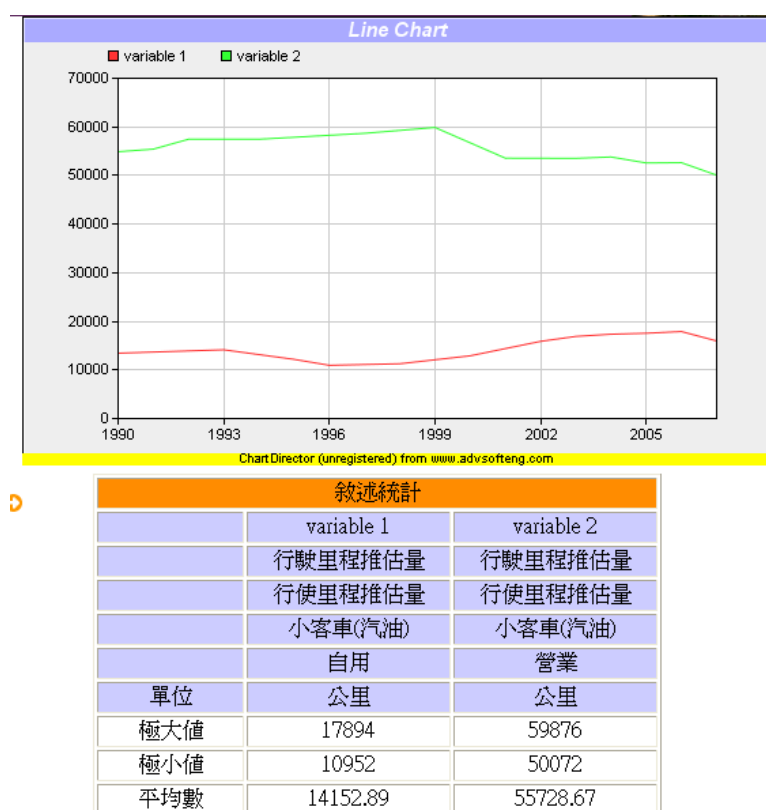


圖 14 趨勢繪圖結果

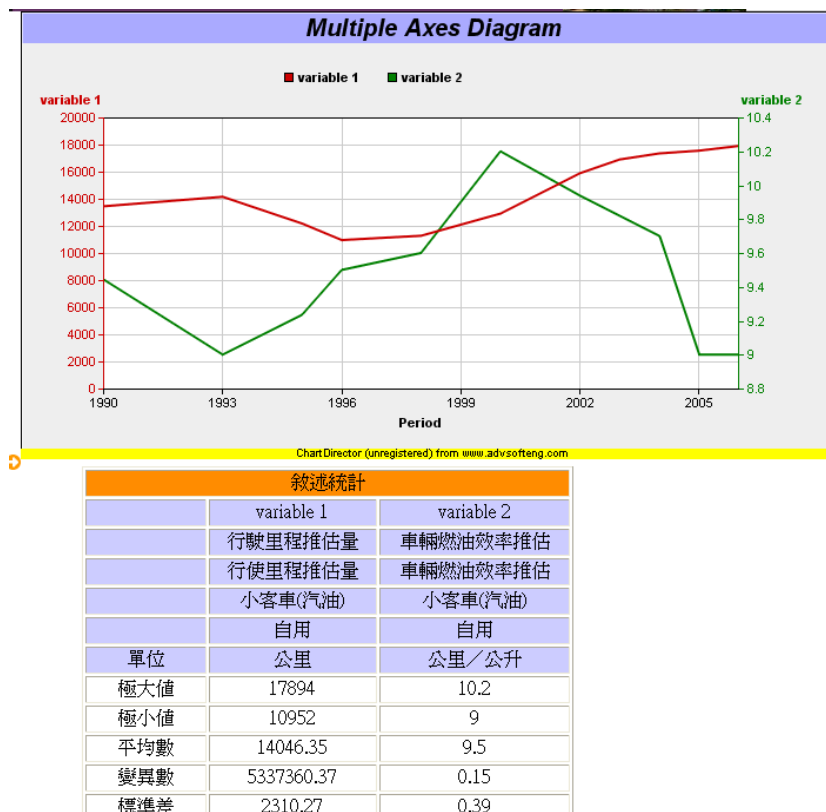


圖 15 多維度趨勢繪圖結果

## 五、小結

為了方便使用者查詢相關的資料，並讓資料得以流傳，不因人員變動而導致知識傳遞困難，因此在原先建置的網頁中新增資料查詢的功能，除了將多樣且分散的資料彙整之外，另外也建置了資料繪圖功能，讓使用者藉由圖形分析快速掌握資料特性及趨勢。

資料庫系統的建置中，首要的工作莫過於資料分析與資料庫架構規劃，目前查詢網頁的建置進度，除了資料分析與資料庫架構規劃已完成之外，另外也已建置了初步的量化資料查詢功能頁面，以及趨勢繪圖功能。後續主要著重在功能選項未完成的部分，包含文字資料部分的研究報告下載與上傳的功能、訊息發布功能；另外尚有資料繪圖中的區域趨勢圖、直方圖、橫條圖、以及圓餅圖等。

