

國道大客車於國道 1 號之能耗推估模式 建構與驗證¹

DEVELOPING AND VERIFICATION OF FUEL CONSUMPTION MODEL FOR HEAVY PASSENGER BUS ON FREEWAY NO.1

陳柏君 Po-Chun Chen²

吳姿瑩 Zi-Ying Wu³

廖亭瑋 Ting-Wei Liao⁴

胡以琴 Yi-Chin Hu⁵

張益城 Yi-Cheng Chang⁶

(107 年 8 月 22 日收稿，107 年 9 月 20 日第 1 次修改，107 年 9 月 30 日定稿)

摘要

因應全球氣候變遷，加強管制溫室氣體排放已成為國際趨勢。為落實推動運輸部門節約能源與減少溫室氣體排放量各項行動方案，有必要建置完整公路運輸之車輛能耗率及排放係數資料庫及推估模式，方有助於推估預測之精準度。惟以往以實驗室觀測之平均速率所構建的能耗／排放模式，對於以提升速率或改善運作效率為主之策略／措施，將無法敏感反映其節能減碳效果。本研究運用車載量測設備蒐集行駛於國道 1 號之國道客運

-
1. 本研究承蒙交通部運輸研究所「大客車動態能源消耗與溫室氣體排放參數資料庫擴充與模式檢討」研究計畫之贊助始得完成，謹此致謝；本研究之資料蒐集，承蒙統聯客運公司提供營運車輛與駕駛員，於國道 1 號正常營運狀況下協助研究團隊蒐集相關資料，特此致謝。
 2. 鼎漢國際工程顧問公司協理 (E-mail: grace@thi.com.tw)。
 3. 鼎漢國際工程顧問公司規劃師 (聯絡地址：110 臺北市信義區松山路 130 號 5 樓；電話：02-27488822ext.206；E-mail: maggiwu@thi.com.tw)。
 4. 鼎漢國際工程顧問公司分析師 (E-mail: tingwei@thi.com.tw)。
 5. 馬里蘭大學博士 (E-mail: amyhu@thi.com.tw)。
 6. 交通部運輸研究所運輸計畫組研究員 (E-mail: yi_cheng@iot.gov.tw)。

間能耗資料，該車符合我國環保3期標準(美規4期)，共蒐集近5.7萬筆國道逐秒排放數據，構建速率與耗油量曲線與分坡模式，俾利推估國道大客車行駛於各類路型之能耗。本研究建立的大客車國道分坡模式可涵蓋-2%~2%的坡度範圍，約可涵蓋國道1號路段總長90%。透過不同車輛、駕駛、營運路線之驗證分析可知，整體旅次誤差率在10%以內，顯示本模式具有良好的推估能力。進一步透過能耗/CO₂轉換係數，本模式可應用於評估私人運具轉移至公共運輸的節能減碳效果。

關鍵詞：大客車；國道；能耗；減碳

ABSTRACT

Global climatic change calls for effective programs for reducing emissions of greenhouse gases from all countries worldwide. For effective and efficient implementation, environmental considerations should be incorporated at the planning stage. Incorporating environmental factors for evaluating effects of transportation policies on fuel consumption and air pollution, however, requires more research efforts. And, in the past, the energy consumption/emission model constructed at the average speed of laboratory observations will not be sensitive to the energy saving and carbon reduction effects of strategies/measures that focus on improving the rate or improving operational efficiency.

The study team used the new technology of On-board Emissions Measurement Systems to collect about 5.7 thousand seconds of emissions data, which are used for building relationships between fuel consumption and instantaneous operating speeds of freeway bus. The National Freeway No.1 model established this year covers the slope range from -2% to 2% which occupied 90% of National Freeway No.1's segments. Through the verification analysis, the estimate error is within 10%, indicating that this model has good estimation ability. Moreover, the CO₂ emissions can be measured by transition coefficient. Based on the calculated fuel consumption and CO₂ emissions of modes, we can evaluate the energy saving and carbon reduction effects on shifting passengers from cars to buses.

Key Words: Passenger bus; Freeway No.1; Fuel consumption; CO₂ emissions

一、前言

近年來，因應全球氣候變遷，加強管制溫室氣體排放已成為國際趨勢，國內各部會亦持續推動各項節能減碳計畫。目前運輸部門之節能減碳分別由經濟部、環保署與交通部推動，其中，由交通部主導之計畫類型包括：軌道建設、公路建設、道路管理等，而其減碳績效大致以私人運具移轉、道路速率提升與瓶頸改善等為主，多與「道路系統」之運作績效有關。為了評估各項計畫對於節能減碳之成效，需掌握車輛運行中隨道路類型與交通狀

況之能耗動態特性。

在動態車載排放量測技術未成熟前，所有車輛排放模式均以實驗室觀測值為建構基礎，以定速或法定駕駛行程來量測能耗或排放量。在當時條件下所建構的排放模式，都是以平均速率為主要解釋變數，然而這樣的排放與速率彼此間之關係並未經過道路實測檢驗。近年來，重大交通建設計畫皆需評估節能減碳效益，若採實驗室觀測的平均速率所構建的排放模式，對於以提升速率或改善運作效率為主之策略/措施，將無法敏感反映其節能減碳效果，故為落實推動運輸部門節約能源與減少溫室氣體排放量各項行動方案，有必要建置完整公路運輸之車輛能耗率及排放係數資料庫及推估模式，方有助於提升推估預測之精準度。車輛能耗排放特性隨車種、道路類型、交通狀況而異，相關參數有必要針對國內車隊狀況及環境特性予以修正調整。依據文獻顯示，國際間對於車輛能耗與排放推估模式發展趨勢，已朝向依各類車輛行駛時間為分析基礎，探討車輛動態行駛中之能耗與排放特性。

隨著動態車載排放量測設備技術成熟，使得在道路上實測成為可能，交通部運輸研究所（以下簡稱運研所）自 96 年起陸續辦理「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性」系列研究，利用車載排放量測系統，蒐集車輛動態道路實測能耗與排放資料，藉以研究車種、道路類型、速率對於能耗與碳排之影響關係。有鑑於車載排放量測系統實驗的複雜度與困難度，國內以往應用該系統的研究成果多屬小汽車、機車於法規實驗室之案例，本研究針對大型車於國道 1 號的實車測試為國內首例。

二、文獻回顧

2.1 國際間車輛排放之法令與模式發展

國際間關於車輛排放最關注焦點在於空氣污染，因此多由環保署主導制訂的空污排放標準，且已行之有年。至於車輛能耗或碳排標準，過去並無相關規範，近期因應全球暖化，歐美中日等已著手研擬，國內的車輛審驗單位亦刻正關注中。依據我國「交通工具空氣污染物排放標準」（106 年 4 月 27 日修正發布）^[1]，大客車污染排放物已進入第 5 期標準，管制標準如表 1 所示。此外，檢視「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」（107 年 10

表 1 柴油大型車空氣污染物第 5 期排放標準

污染物 測試法	CO	THC	THC+ NO _x	NO _x	PM	PN	NH ₃	儀器測定 黑煙(不透 光率 m ⁻¹)
	(mg/kWh)	(mg/kWh)	(mg/kWh)	(mg/kWh)	(mg/kWh)	(mg/kWh)	(ppm)	
WHSC	1,500	130	-	400	10	8.0×10 ¹¹	10	0.5
WHTC	4,000	160	-	460	10	6.0×10 ¹¹	10	
WNTE	2,000	220	-	600	16	-	-	

資料來源：「交通工具空氣污染物排放標準」（106 年 4 月 27 日修正發布）^[1]。

月 18 日修正發布)，內容中尚無規範大型客貨車^[2]。簡言之，與「節能減碳」較相關的能耗、碳排標準，國內車輛法規皆尚未規範。

國內進行車輛污染排放之研究，亦多參考歐美發展之推估模式，表 2 為歐美與國內環保署所發展車輛空污排放模式之內容。其中值得一提的是，美國環保署的官方模式自 2012

表 2 國內外車輛排放推估模式彙整

	MOBILE-Taiwan	MOBILE-6	COPERT	EMFAC	EVEAM	MOVES
模式分類	巨觀	巨觀	巨觀	巨觀	微觀	微觀
軟體版本	現行 MT-2.0(1996 年依據 MOBILE-5a 建構)	MOBILE-6.2 (2004 年)	COPERT 4V11.3	EMFAC 2014	未釋出(預計 2017 年釋出)	MOVES 2014
數據管理方式	模式嵌入	模式嵌入	關聯式資料庫	關聯式資料庫	關聯式資料庫	關聯式資料庫
圖形介面	無	無	有	有	有	有
排放來源	道路源	道路源	道路源	道路源(非道路源以 Offroad 2007 模式推估)	道路源	道路源及非道路源
已應用之地理區域	●台灣	●美國全國	●歐洲各國 ●澳洲	●加州全州 ●空品區 ●空品分區 ●都會規劃組織 ●郡 ●69 個次區域 (Sub-Area)	●北美和歐洲	●美國全國 ●州 ●郡 ●路段
道路分類	-	●高速公路 ●幹道 ●地區道路 ●高速公路交流道	●都市道路 ●鄉村道路 ●高速公路	-	未知	●郊區無管制道路 ●郊區管制道路 ●都市無管制道路 ●都市管制道路 ●非屬於路網部分
燃料種類	●汽油 ●柴油 (含鉛汽油的停用時間已依台灣規範調整為 2001 年)	●汽油 ●柴油 ●天然氣 ●電力	●含鉛汽油 ●無鉛汽油 ●柴油 ●液化石油氣 ●混合汽油 ●壓縮天然氣 ●生質柴油 ●生質乙醇	●汽油 ●柴油 ●電力	未知	●汽油 ●柴油 ●壓縮天然氣 ●液化天然氣 ●乙醇 ●電力
數據來源	●MOBILE-5a 原設定；並以台灣環保署長期累積的車輛行車型態測試調整	●美國 EPA 長期累積的車輛行車型態測試	●採用歐洲與美國各種行車型態測試	●加州長期累積的車輛行車型態測試	●採用歐盟、亞洲與美國車款實驗室測試與美國的行車型態	●行車型態測試及車載量測系統 PEMS 測試
交通特性的表現方式	●整個旅次的車輛平均行駛速度(Trip-based)	●各路段的車輛平均行駛速度(Link-based)	●整個旅次的車輛平均行駛速度(Link-based)	●整個旅次的車輛平均行駛速度(Trip-based)	未知	●基於車輛整個旅次或路段的瞬時比功率和瞬時車速、加速度及道路坡度的關係
車種分類	將 Mobile 5a 的 8 類修改為較符合台灣情況的 7 類，包含自用汽油小客車、營業用汽油小客車、汽油小貨車、柴油小貨車、柴油重型車、二行程機車、四行程機車	依車輛類型、重量及燃料分為 28 類	自 6 大類(自用小客車、營業用小客車、重型貨車、公車、輕型機車、機車)車種依歐盟排放類別、燃料、排氣量、車重細分為 306 類	系統依照車輛總重先分 LDV 及 HD，在依照車輛類型、用途、重量及燃料細分 43 類	未知	依照車輛使用類型分為機車、自用小客車、自用卡車、輕型商用卡車、城際客運巴士、市區巴士、學校巴士、垃圾車、單節短程卡車、單節長途卡車、露營車、短程聯結車、長途聯結車等 13 類

表 2 國內外車輛排放推估模式彙整(續)

	MOBILE-Taiwan	MOBILE-6	COPERT	EMFAC	EVEAM	MOVES
排放類型	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛尾氣排放 ●日間蒸發損失 ●熱靜置蒸發排放 ●行駛蒸發損失 	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛尾氣排放 ●啟動排放 ●熱靜置蒸發排放 ●日間蒸發損失 ●靜置蒸發損失 ●行駛蒸發損失 ●曲軸箱蒸發排放 ●加油逸散 ●熱車磨損排放 ●輪胎磨損排放 	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛尾氣排放 ●啟動排放 ●汽油車蒸發排放 	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛尾氣排放 ●怠速排放 ●啟動排放 ●日間蒸發損失 ●靜置蒸發損失 ●熱靜置蒸發排放 ●行駛蒸發損失 ●熱車磨損排放 ●輪胎磨損排放 	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛排放 ●怠速排放 ●蒸發排放 ●加油逸散 ●熱靜置蒸發排放 	<ul style="list-style-type: none"> ●行駛尾氣排放 ●啟動排放 ●熱車磨損排放 ●輪胎磨損排放 ●滲透蒸發 ●燃料排氣口蒸氣排出 ●燃料洩漏 ●曲軸箱行駛排放 ●曲軸箱啟動排放 ●曲軸箱長時間怠速排放 ●加油逸散 ●怠速排放 ●燃料生命週期 WTP 階段
污染物種類	<ul style="list-style-type: none"> ●HC ●CO ●NOx 	<ul style="list-style-type: none"> ●HC ●CO ●NOx ●CO₂ ●尾氣排放粒狀物中硫酸鹽成份(SO₄) ●柴油尾氣排放粒狀物中有機碳成份 ●柴油尾氣排放粒狀物中元素碳成份 ●汽油尾氣排放粒狀物中總碳成份 ●尾氣排放粒狀物中鉛成份(Pb) ●SO₂ ●NH₃ ●剎車磨損 PM 排放 ●輪胎磨損 PM 排放 ●苯 ●甲基第三丁基醚(MTBE) ●1,3-丁二烯 ●甲醛 ●乙醛 ●丙烯醛 ●碳氫化合物 	<ul style="list-style-type: none"> ●POL_NAME ●CO ●NOX ●VOC ●PM (exhaust) ●FC ●CH₄ ●NH₃ ●N₂O ●NMVOC ●CO₂ ●SO₂ ●Pb ●Cadmium ●Copper ●Chromium ●Nickel ●Selenium ●Zinc ●NO ●NO₂ ●PM_{2.5} ●PM₁₀ 	<ul style="list-style-type: none"> ●HC -TOG -VOCs(ROG) -THC -CH₄ ●CO ●NOx ●CO₂ ●PM_{2.5}、PM₁₀ ●燃料消耗量 ●SOx ●Pb 	<ul style="list-style-type: none"> ●僅計算 NMVOC 	<ul style="list-style-type: none"> ●THC ●NMHC ●NMOG ●TOG ●VOCs ●NO ●CO ●SO₂ ●NO₂ ●CO₂ ●GHG ●燃料消耗率 ●燃料消耗量 ●CH₄ ●HONO ●N₂O ●NH₃ ●NOx ●PM(10&2.5) -有機碳成份 -元素碳成份 -硫酸鹽成份 -剎車磨損 -輪胎磨損 ●乙醇 ●乙醛 ●丙烯醛 ●甲基第三丁基醚(MTBE) ●甲醛 ●苯 ●苯(氣體、微粒) ●1,3-丁二烯

資料來源：行政院環境保護署，「移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫」，106 年 11 月 [3]。

以後，由 MOVES 取代了 MOBILE。過去 MOBILE 系列模式係以實驗室測試資料為基礎、模式推估結果難以驗證，而 MOVES 則是運用第 2 代車上診斷設備與亞利桑納州車輛檢驗維修計畫提供的資料，採用使用中車輛資料進行車輛使用特性分析。

在 MOVES 模式中，依據大、小車型，分別採用「牽引動力度」(scaled tractive power, STP, 參見式 1)、「車輛牽引動力」(vehicle specific power, VSP, 參見式 2) 作為評估參數。STP 適用於大客車、單體大貨車和聯結車；VSP 則適用於機車、轎車以及雙軸四輪車輛等輕型或中型車輛。STP 與 VSP 二者概念相似，均以車輛行駛速率、加速率、道路坡度

等因子作為計算基礎，用以衡量為克服慣性加速度、路面阻抗及風阻的引擎順時輸出馬力。

$$STP = \frac{Av + Bv^2 + Cv^3 + M \cdot v \cdot (a + g \cdot \sin\theta)}{f_{scale}} \quad (式 1)$$

$$VSP = (A/M) \cdot v + (B/M) \cdot v^2 + (C/M) \cdot v^3 + (a + g \cdot \sin\theta) \cdot v \quad (式 2)$$

其中，

A, B, C ：道路承載因子；

M ：固定質量因子；

g ：加速度（對應重力加速度為 $9.8m/s^2$ ）；

v ：車速（m/s）；

a ：車輛加速度（ m/s^2 ）；

$\sin\theta$ ：道路坡度函數；

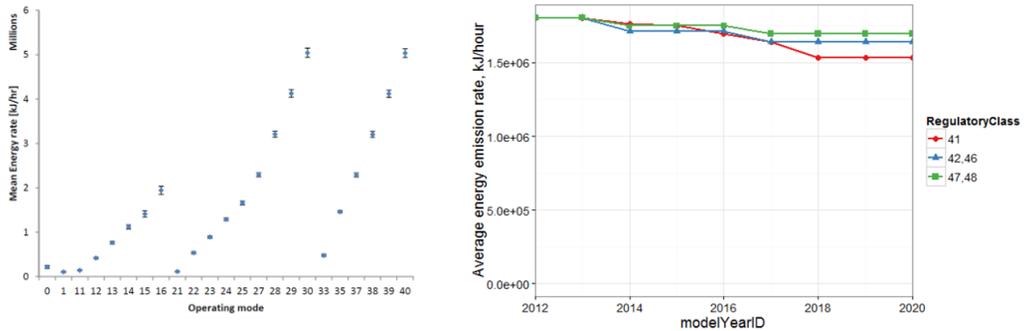
f_{scale} ：尺度因子。

根據 MOVES2014a 技術報告（為迄今最新版參數內容），重型車輛行駛狀態的能耗率如圖 1 所示^[4]。不同於 NO_x、HC、CO 等排放推估需要考慮車型年、車輛類型或車齡等變項，這些變項對於能耗與 CO₂ 排放係數沒有顯著影響，因此僅以一套參數代表之。儘管如此，MHDV (medium, deavy-duty vehicle) 之類車輛類型編號較小者，其車重較輕、排氣量較小，行駛狀態 (OPmode) 分布顯著不同於 HHDV (heavy, heavy-duty vehicle)，因此會得到 MHDV 與 HHDV 車隊各自不同的能耗率推估值。1960-2013 年間的能耗率維持相同，而 2014 年以後之重型車輛的碳排率推估值（及其對應的能耗率推估值）將因新法規施行而有所折減^[5]。

MOVES 模式除了針對前述行駛狀態分析（包含一般停等）之外，也推估冷起動、長時間停等 (extended idle) 與輔助動力等各階段的能耗狀況。以 2011 年美國車隊為例，MOVES 推估不同階段之能耗占比如表 3，顯示一般柴油重型車輛而言，冷起動所增加的能耗占總能耗比率多低於 1%；但對較低車重的 LHDV (light, heavy-duty vehicle, 4.5 噸以下)，冷起動能耗占比較高，可達 2.6%。換言之，針對車重大於 4.5 噸的柴油重型車輛，推估能耗時可以忽略冷起動、輔助動力等能耗階段，應不至於造成太大的誤差。但是對於車重大於 7.2 噸以上的柴油中重型車輛，需要考慮長時間停等的能耗量，在總能耗占比約為 1.3-4.7%。

針對長時間停等，MOVES 提供能耗率如圖 2，依據車型年有所差異，2000 年以前舊型車輛的能耗率較高，2002 年以後採用均一能耗率；且中、重型車輛採用同一能耗率。

歸納 MOVES 推估柴油重型車輛能耗、碳排率之主要影響因素包括：(1) 行駛狀態，例如車速、加減速、道路坡度等；(2) 車輛，包括車重、車輛總重、車型年；(3) 油品，例如熱值與碳排率差異。



註：管制類別 (Regulatory Class) 41 為車輛總重小於 14,000 lbs (約 6.3 噸) 之 LHDV；42-46 為總重介於 14,001-33,000 lbs (約 6.3-12 噸) 之 LHDV、MHDV 與 HHDV；47 與 48 為總重大於 33,000 lbs (大於 12 噸) 之 HHDV。

適用 1960-2013 年

適用於 2012-2020 年

資料來源：[4]。

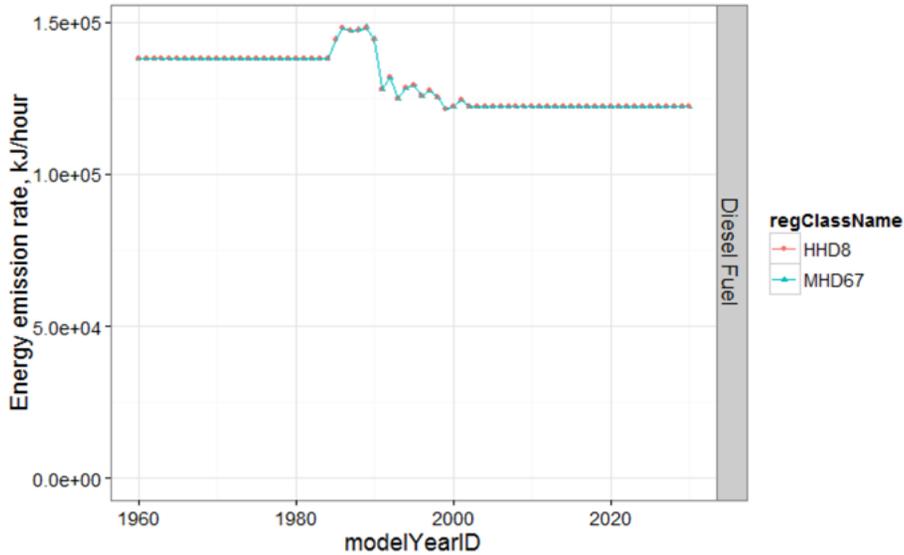
圖 1 MOVES 柴油重型車輛之能耗率

表 3 MOVES 柴油重型車輛之各階段能耗占比 (2011 年美國車隊)

車輛類型	車重 (噸)	能耗階段			
		行駛	冷起動	長時間 停等	輔助動力
市區公車		99.7%	0.3%		
雙軸四輪 客貨兩用車、 輕型商用貨車	3.9-4.5	97.4%	2.6%		
城際公車、 校車、雙軸 六輪單體貨車	3.9-6.3	99.2%	0.8%		
大客車、 單體貨車	6.3-7.2	99.3%	0.7%		
大客車、 單體貨車 與聯結車	MHDV 7.2-12	98.1%	0.6%	1.3%	0.01%
	HHDV 12 以上	95.1%	0.1%	4.7%	0.04%

註：行駛排放含行駛中停等。

資料來源：[4]。



註：管制類別 (Regulatory Class) HHD8 為車重大於 33,001 lbs (大於 12 噸) 之車輛，MHD67 表示車重介於 19,501-33,000 lbs (7.2-12 噸) 之車輛。
資料來源：[4]。

圖 2 MOVES 柴油重型車輛長時間停等能耗率

2.2 適用於運輸計畫評估的能耗模式

目前運輸部門節能減碳策略之執行分工如表 4，以人、車、路來區分，交通部門多集中在軌道、公路系統之興建，並結合管理引導用路人之運具選擇；經濟與環保部門主導車輛耗能與排放標準。再加上交通部門投入在「路」的建設經費相當龐大，更凸顯相關政策決策之重要性。

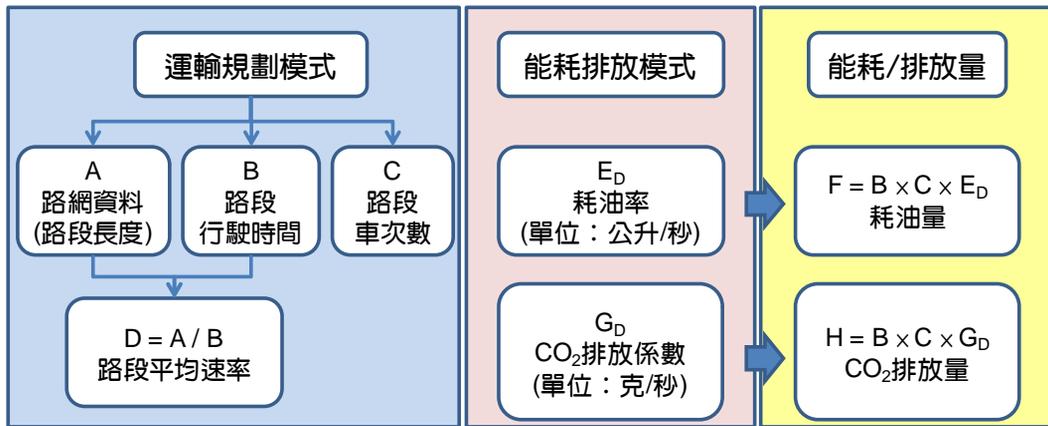
表 4 運輸部門節能減碳策略與部會分工

類別	策略	主導部門
人	旅次需求、運具選擇、環保駕駛行為	交通、環保
車	車輛燃料、車輛耗能與排放標準、節能技術導入	經濟、環保
路	軌道與道路建設、道路智慧交控、交通管理	交通

再者，國內重大交通建設計畫進行「可行性評估」時，以經濟效益與財務評估作為計畫決策之重要依據。經濟效益之評估項目包括旅行時間節省、行車成本節省、肇事成本節省、營運成本節省、空氣污染減少、二氧化碳排放減少等，其中能源消耗 (行車成本)、空

氣污染與二氧化碳屬於環境指標。由於環保署移動污染源排放清冊（簡稱 TEDS）已提供各車種之空污排放係數，因此，本研究主要以能耗碳排建模為主要目的。

交通建設因規模龐大、建設期長，需以「長期」需求預測以為規劃依據，因此多以運輸規劃模型來進行交通方案運量分析，並進行經濟效益分析進行決策評估。由於運輸規劃模式可進行路網績效產出，分析精度包含各車種於各路段上的運行速率、車流量等，因此若能建立隨速率變化的能耗參數，便可計算出整體車流的能耗表現。是故，透過運輸規劃模式與能耗參數結合，遂成為符合運輸部門分析各方案間能耗量的評估工具，如圖 3 所示。



資料來源：[6]，本研究整理。

圖 3 運輸規劃與能耗、碳排模式整合

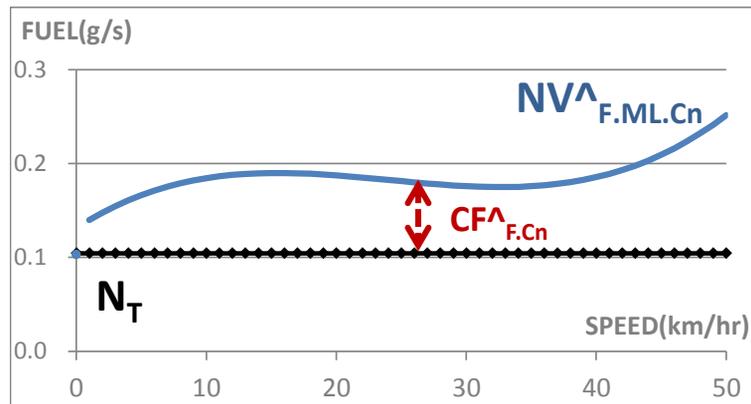
2.3 運輸部門能耗碳排推估模式

傳統對於公路運輸的能耗、污染排放量計算方式，多以平均燃油經濟性（即每公升燃油的延車公里）及實驗室參數推估，無法明確得知實際於道路運行時，在不同速率或不同道路型態之能耗與污染排放量，實難以清晰地評估運輸計畫對環境面的影響。再者，從 2.1 節美國 MOVES 空污模式發展可知，與空氣污染物 (NO_x、HC、CO) 相較，能耗與碳排特性較不受車齡影響，且受行駛狀態影響較大。

有鑑於此，交通部運研所「運輸規劃與能源消耗、CO₂ 排放整合型模式」系列研究自 96 年起，進一步藉由採用新式車載量測設備 (on-board emission measurement, OEM)，先後針對小客車、大客車與機車，進行車輛之動、靜態能耗/排放特性蒐集與調查分析，採用車種、道路類型、坡度、車速等作為解釋變數，建構車輛之能耗/CO₂ 排放推估模式 [7-14]，可於後續搭配交通模擬、運輸規劃模式應用時，能夠衡量出各交通運輸計畫/方案在能耗與溫室氣體排放的差異性，協助交通運輸計畫進行方案評估。

該系列研究基於實務應用目的，且在有限的研究資源下，以實驗設計方式，尋求法規

審驗測試與道路實測情境的關聯來建構模式，並以綜合轉換率做為模式成果。如圖 4 所示，模式成果為一套綜合轉換率 (CF[^]F.Cn)，以此綜合轉換率再搭配車輛既有之平均值，即可展開成車輛於實際道路上之動態能耗特性 (NV[^]F.ML.Cn)，如式 3 所示；隨後可再透過碳排放轉換當量 (FF_U)，將車輛之動態能耗特性轉換成 CO₂ 排放特性，如式 4 所示。



資料來源：[13]。

圖 4 車輛動態能耗碳排模式之概念

動態能耗推估值 = 綜合轉換率 × 法規標準測試之能耗值

$$\text{FUEL}(\frac{\text{g}}{\text{s}}) = \text{NV}^{\text{F.ML.Cn}} = \text{CF}^{\text{F.Cn}}(\%) \times \text{N}_T(\frac{\text{g}}{\text{s}}) \quad (\text{式 } 3)$$

動態 CO₂ 排放推估值 = 碳排放轉換當量 (FF_U) × 動態能耗推估值

$$\text{CO}_2(\frac{\text{g}}{\text{s}}) = \text{FF}_U \times \text{FUEL}(\frac{\text{g}}{\text{s}}) \quad (\text{式 } 4)$$

其中，

- (1) 各車種動態能耗推估值 (NV[^]F.ML.Cn)：依據各車種、道路類型及速率改變之下，推估各車種能耗值，單位為 g/s。
- (2) 綜合轉換率 (CF[^]F.Cn)：依據各車種、道路類型及速率改變的綜合轉換率 (%)，此綜合轉換率與法規測試能耗平均值搭配，即可求得各車種動態能耗推估值。
- (3) 各車種法規標準測試能耗平均值 (N_T)：為各車種法規標準測試能耗平均值 (g/s)，來源包含能源局之公告值、運輸部門排放清冊推估值及客運業者統計值等。
- (4) 碳排放轉換當量 (FF_U)：將 IPCC 公告車用汽油 CO₂ 排放係數 (g/L)，經由容積單位及油品密度轉換計算可得。

三、研究方法

3.1 實驗路線與時間

本研究擷取大型車於國道 1 號之逐秒微觀資料進行能耗與碳排特性之分析。實驗路線為統聯公司國道客運路線 1620「臺北－臺中(經中清路)」為實驗路線，如圖 5 所示。

大客車實驗於 103 年 6 月 10 日 (二) ~ 6 月 18 日 (四) 進行，配合該客運公司營運執行調查實驗，皆為統聯公司同一名駕駛，總計完成臺中－臺北往返共計 9 趟次。



資料來源：統聯客運乘車資訊網。

圖 5 實驗路線示意圖

3.2 實驗車型

為取得國道客運實際營運資料，本研究徵詢統聯客運同意，以 1620 線實際營運之駕駛與車輛為實驗對象。該車型是日本進口之 MITSUBISHI RP51JP3L，搭載直列 6 缸 6M70-6AT3 直接噴射附渦輪增壓柴油引擎，排氣量為 12,882c.c.，核定車重 17 噸，座位數

31 位。最大馬力可輸出 279kW/2000rpm，最大扭力 1716 N-m/1100rpm。其車輛變速箱配備電子易控式操作，配有前進 5 速，後退 1 速自排系統，換檔大都藉由電腦輔助完成。在車輛煞車部分，包含：全空氣式楔型雙迴路剎車與引擎動力遲滯剎車及電磁剎車 (OPT)。該車於實驗時之車齡為 5 年。該車符合美規 4 期 (我國 4 期) 排放標準，亦為國內客運主要代表車型引擎，車上亦有配置污染排放控制系統並選擇搭載有數位行車記錄器，以符合模式建構需求。

表 5 實驗大客車

客運公司	統聯客運	
實驗時車齡	5 年	
廠牌車型	MITSUBISHIRP51JP3L	
核定車重	17 噸	
排氣量	12,882c.c.	
其他配備	獨立發電機供應車上所有附屬電力設施	
座位數	31	
污染排放標準	美國 4 期、我國 4 期	

資料來源：[14]，本研究整理。

3.3 能耗與碳排放取得設備

近年來，由於車載設備與車上電腦之發展，加上車載量測設備 (on-board emission measurement, OEM) 的問市，已能針對行駛車輛進行排放實測驗證。國外車載排放量測系統之主要用途除了分析車輛動態特性對於能耗與排放的影響，以及建構推估模式外，近期因應氣候變遷議題對於車輛排放之重視，亦已將其納入作為使用中車輛檢測之執法工具。

本研究承襲運研所 96 年展開的車輛能耗與碳排系列研究，引進車載排放量測設備 HORIBA OBS-2200 進行道路實測。該設備具有高度的穩定性及精確度，亦具有衛星定位系統 (GPS) 功能，因此可得到車輛在實際道路上的逐秒速率與排放資料 (包括 CO、CO₂、THC、NO_x 等 4 種氣體)，再根據碳平衡法則即可推估計算出燃油消耗。

HORIBA 2000 Series 目前已被美國環保署 (符合美國聯邦法規 CFR Part 1065 subpart J 所規範之道路測試標準)、歐盟以及日本汽車製造協會 (JAMA) 等採用。其中，美國環保署積極發展之「車載排放量測系統」(on-board emission measurement, OEM)，係透過實際量測大型車輛整車運作狀態下之排放數據，以作為推估重型柴油車輛污染排放總量的基礎，而在此背景之下，HORIBA 系統已於 2004 取得美國環保署認可，其所量測整車運作下之排放數據，可用於裁判大型車輛是否對環境造成污染之依據。

表 6 HORIBA OBS-2200 設備

項目		說明	
儀器 分析 方法	CO	HNDIR (0-0.5~12vol%)	
	CO ₂	HNDIR (0-5~20vol%)	
	THC	HFID (0-100~10000ppm)	
	NO _x	HCLD (0-100~3000ppm)	
可量測排放物		CO、THC、CO ₂ 、NO _x	
速率/轉速擷取		OBD / EIU	
將取樣濃度換算排氣體積的方法		用皮托管流量計直接量測(差壓法)	
設備主機重量		29kg	
設備體積(mm)		350(W)*330(H)*500(D)	
車型限制		汽、柴油車輛皆可	
電源		24 DC / 110 AC	
安裝時間		3hr	
價格		高	
國內實測經驗		汽車、市區公車、國道客運、樞式大貨車、貨櫃車	




HORIBA OBS-2200 系統及附屬取樣探頭及流量計

資料來源：[14]，本研究整理。

3.4 建模概念與流程

如 2.2 節所述。本研究主要係以：(1) 既有實驗大客車實際耗能值 (NFuel.T)；(2) 執行大客車實際道路實驗時之數位式行車紀錄器車速資料 (VF.R)；(3) 執行大客車實際道路實驗期間，搭配 HORIBA OBS-2200 量測隨速率變動之能耗排放實際資料等 3 種資料來源，作為模式建構基礎。首先，確認資料來源 (2) 與 (3) 趨勢一致性，再建立 (1) 與 (3) 之轉換關係(FI[^])，接著利用各項轉換關係推估實驗大客車之各道路類型動態能耗/排放值，此轉換關係經驗證後，便可以此轉換關係推估其他大客車之各道路類型動態能耗/排放值。模式建構路徑如圖 8。

1. 動態能耗／排放推估值

自 HORIBA OBS-2200 所量測之隨車速變動能耗排放實際值 (NVFuel.F.Cn)，配合既有實驗大客車實際耗能值 (NFuel.T)，建立 NFuel.T 與 NVFuel.F.Cn 之間的各项轉換關係 (FI[^]F.Cn)，透過轉換關係可將 NFuel.T 轉換為動態能耗/排放推估值 (NV[^]Fuel.F.ML.Cn、

$NV^{CO_2.F.ML.Cn}$ ，如式 5~式 6。

$$NV^{Fuel.F.ML.Cn} = NFuel.T \times FI^F.Cn \quad (式 5)$$

動態排放推估值 = 動態能耗推估值 × 碳排放轉換當量

$$NV^{CO_2.F.ML.Cn} = NV^{Fuel.F.ML.Cn} \times FFU \quad (式 6)$$

各坡度下之動態能耗推估值 = 大客車實際耗能值 × 道路、速率、坡度轉換因子

2. 各坡度下之動態能耗/排放推估值

當隨車速變動之能耗排放實際值 ($NV^{Fuel.F.Cn}$) 具坡度特性 (G) 時，則可獨立為坡度路段下隨車速變動之能耗排放實際值 ($NV^{Fuel.F.Cn.G}$)，亦可建立 $NFuel.T$ 與 $NV^{Fuel.F.Cn.G}$ 之間的各项轉換關係 ($FI^F.Cn.G$)，透過轉換關係可將 $NFuel.T$ 轉換成各坡度下之動態能耗/排放推估值 ($NV^{Fuel.F.ML.Cn.G}$ 、 $NV^{CO_2.F.ML.Cn.G}$)，如式 7~式 8 所示。

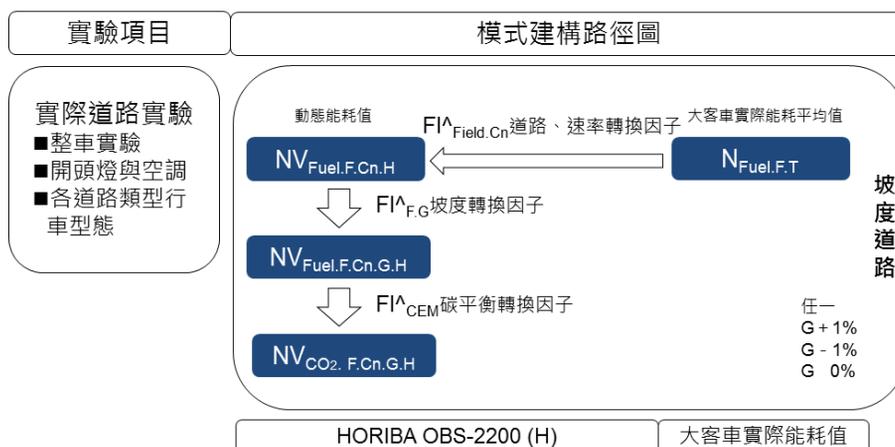
$$NV^{Fuel.F.ML.Cn.G} = NFuel.T \times FI^F.Cn.G \quad (式 7)$$

各坡度下之動態排放推估值 = 各坡度下之動態能耗推估值 × 碳排放轉換當量

$$NV^{CO_2.F.ML.Cn.G} = NV^{Fuel.F.ML.Cn.G} \times FFU \quad (式 8)$$

3. 轉換關係 (FI^F) 之驗證及移轉

最後，利用本年度蒐集之車輛數據，驗證此轉換關係至穩定後，即可將轉換關係移轉至其他大客車使用，進而可從其他大客車之既有資料（實際耗能值， $NFuel.T$ ）推估其實際道路上隨車速變動之能耗/排放值（包含 $NV^F.ML.Cn$ 、 $NV^F.ML.Cn.G$ ）。



資料來源：[14]，本研究整理。

圖 6 實驗項目與模式建構圖

四、模式建構與驗證

4.1 建模資料庫

本研究取得資料經合理性檢核，並考量各坡度、速度間具有足夠樣本（每個速率累積至少 30 個有效樣本），最終彙整可供建模資料庫如表 7 所示。依照坡度分別為 3 組：正 1 度坡 ($1 \leq G\% < 2$) 共 10,467 秒、平坡 ($-1 < G\% < 1$) 共 38,494 秒、負 1 度坡 ($-2 < G\% \leq -1$) 共 7,623 秒。

表 7 建模資料庫

	道路屬性	國道速限 100~110 一般道路 (C1)			小計
	類型	正 1 度坡	平坡	負 1 度坡	
		$1 \leq G\% < 2$	$-1 < G\% < 1$	$-2 < G\% \leq -1$	
行駛 狀態	樣本數	10,467	38,494	7,623	56,584
	建模樣本之速率最小值	13	0	74	-
	建模樣本之速率最大值	98	98	98	-

資料來源：[14]，本研究整理。

4.2 建模流程與成果

1. 能耗推估曲線配適

將各坡度實驗樣本分組，以速率為變數建立能耗推估曲線，式 9 ~ 式 11 即為正 1 度坡、零坡、負 1 度坡的配適結果。各項係數之檢定結果如表 8 所示，顯示係數皆相當顯著，且各推估方程式之 adj-R^2 皆在一定水準上。實驗樣本與推估曲線如圖 7 所示。

$$NV^{\wedge}_{F.C1.G+1\%} = 1.3186380321 + 0.0016667547V^2 - 0.0000103545V^3 \quad (\text{式 } 9)$$

$$NV^{\wedge}_{F.C1.G0\%} = 0.8524117032 + 0.0582328281V \quad (\text{式 } 10)$$

$$NV^{\wedge}_{F.C1.G-1\%} = 0.0431929675V \quad (\text{式 } 11)$$

2. 建立推估曲線與該車平均耗油率之間的關係（綜合轉換率）

依據統聯客運提供該車之實際耗能平均值 3.05 (km/l) 轉換為 3.82654227 (g/sec)，再配合上述配適推估曲線，得到綜合轉換率，以函數關係表達如式 12 ~ 式 14。各項係數之檢定結果如表 9 所示，顯示係數皆相當顯著，且各推估方程式之 adj-R^2 皆在一定水準上。轉換率之推估曲線如圖 8 所示。

表 8 能耗推估曲線之函數係數與檢定結果

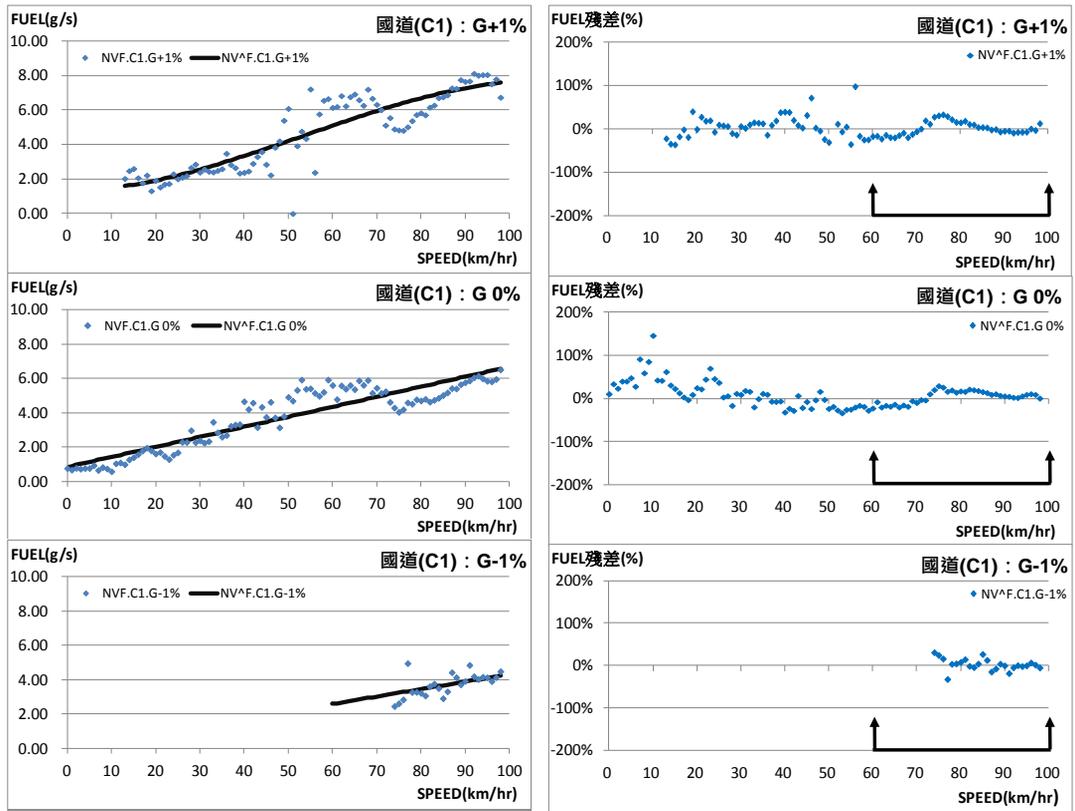
NV^F	常數項	一次係數	二次係數	三次係數	adj-R ²	F 值
$NV^F_{F.C1.G+1\%}$	1.3186380321		0.0016667547	-0.0000103545	0.79	158.17***
t 值	4.71 ***		6.52 ***	-3.93 ***		
$NV^F_{F.C1.G0\%}$	0.8524117032	0.0582328281			0.84	504.22***
t 值	5.79 ***	22.45 ***				
$NV^F_{F.C1.G-1\%}$		0.0431929675			0.98	1303.45***
t 值		36.10 ***				

註：*表示 p<0.1，**表 p<0.05，***表 p<0.01。

資料來源：[14]，本研究整理。

NV^F : FUEL

NV^F 殘差百分比 : FUEL



資料來源：[14]，本研究整理。

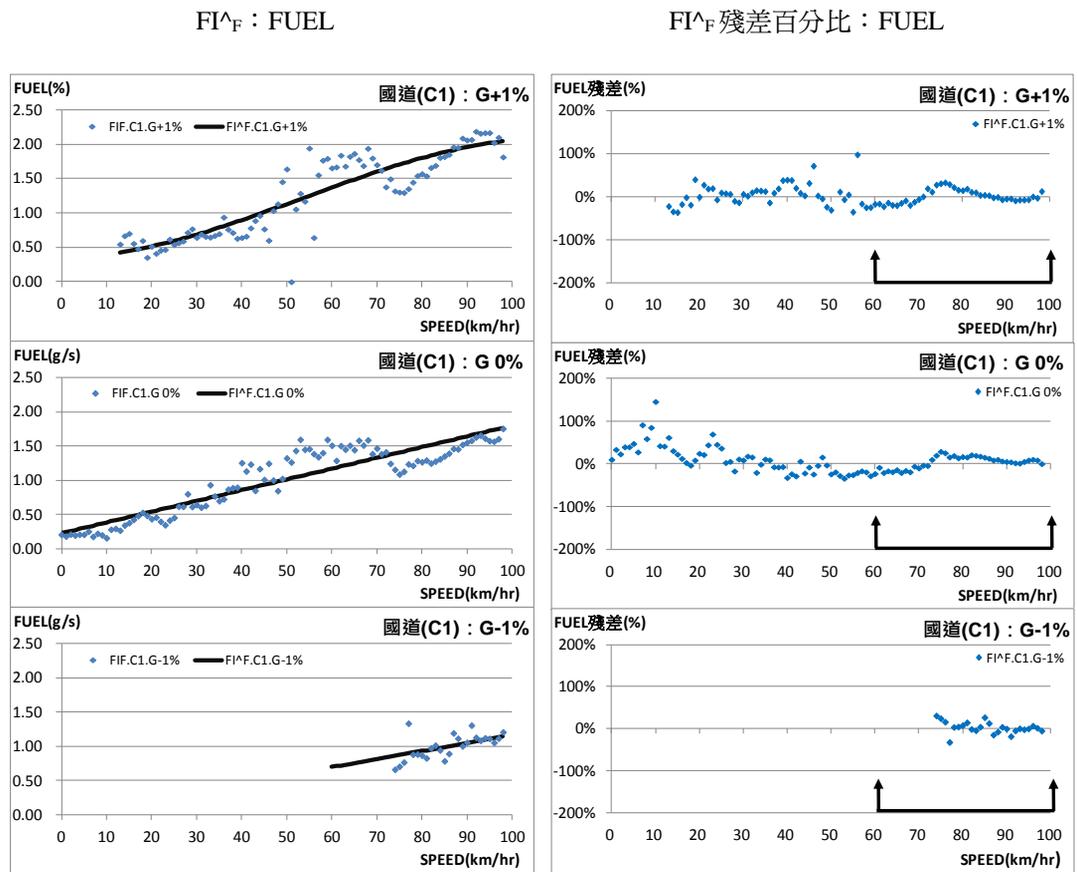
圖 7 實驗大客車於國道 1 號之油耗與推估曲線

表 9 綜合轉換率之函數係數與檢定結果

FI^F	常數項	一次係數	二次係數	三次係數	adj-R ²	F 值
$FI^{FC1G+1\%}$	0.3551889830		0.0004489578	-0.0000027891	0.79	158.17***
t 值	4.71 ***		6.52 ***	-3.93 ***		
$FI^{FC1G0\%}$	0.2296060318	0.0156856230			0.84	504.22***
t 值	5.79 ***	22.45 ***				
$FI^{FC1G-1\%}$		0.0116344788			0.98	1303.45***
t 值		36.10 ***				

註：*表示 p<0.1，**表 p<0.05，***表 p<0.01。

資料來源：[14]，本研究整理。



資料來源：[14]，本研究整理。

圖 8 實驗大客車於國道 1 號之綜合轉換率推估曲線

此推估式即為模式成果，未來可取得另一輛車之平均能耗值，即可透過本模式推估各道路類型、各速率下之油耗率。為應用方便，模式成果另以查表方式顯示，如表 10 所示。

$$NV^{F.C1.G+1\%} = 0.3551889830 + 0.0004489578V^2 - 0.0000027891V^3 \quad (\text{式 } 12)$$

$$NV^{F.C1.G0\%} = 0.2296060318 + 0.0156856230V \quad (\text{式 } 13)$$

$$NV^{F.C1.G-1\%} = 0.0116344788V \quad (\text{式 } 14)$$

表 10 道路類型轉換率

速率	正 1 度坡 (G+1%)	平坡 (G 0%)	負 1 度坡 (G-1%)	速率	正 1 度坡 (G+1%)	平坡 (G 0%)	負 1 度坡 (G-1%)	速率	正 1 度坡 (G+1%)	平坡 (G 0%)	負 1 度坡 (G-1%)
0		17%									
1		25%		36	81%	79%		71	162%	134%	83%
2		26%		37	83%	81%		72	164%	136%	84%
3		28%		38	85%	83%		73	166%	137%	85%
4		29%		39	87%	84%		74	168%	139%	86%
5		31%		40	90%	86%		75	170%	141%	87%
6		32%		41	92%	87%		76	172%	142%	88%
7		34%		42	94%	89%		77	174%	144%	90%
8		36%		43	96%	90%		78	176%	145%	91%
9		37%		44	99%	92%		79	178%	147%	92%
10		39%		45	101%	94%		80	180%	148%	93%
11		40%		46	103%	95%		81	182%	150%	94%
12		42%		47	106%	97%		82	184%	152%	95%
13	42%	43%		48	108%	98%		83	185%	153%	97%
14	44%	45%		49	111%	100%		84	187%	155%	98%
15	45%	46%		50	113%	101%		85	189%	156%	99%
16	46%	48%		51	115%	103%		86	190%	158%	100%
17	47%	50%		52	118%	105%		87	192%	159%	101%
18	48%	51%		53	120%	106%		88	193%	161%	102%
19	50%	53%		54	123%	108%		89	195%	163%	104%
20	51%	54%		55	125%	109%		90	196%	164%	105%
21	53%	56%		56	127%	111%		91	197%	166%	106%
22	54%	57%		57	130%	112%		92	198%	167%	107%
23	56%	59%		58	132%	114%		93	199%	169%	108%
24	58%	61%		59	135%	116%		94	201%	170%	109%
25	59%	62%		60	137%	117%	70%	95	202%	172%	111%
26	61%	64%		61	139%	119%	71%	96	203%	174%	112%
27	63%	65%		62	142%	120%	72%	97	203%	175%	113%
28	65%	67%		63	144%	122%	73%	98	204%	177%	114%
29	66%	68%		64	146%	123%	74%	99	205%	178%	115%
30	68%	70%		65	149%	125%	76%	100	206%	180%	116%
31	70%	72%		66	151%	126%	77%				
32	72%	73%		67	153%	128%	78%				
33	74%	75%		68	155%	130%	79%				
34	76%	76%		69	158%	131%	80%				
35	79%	78%		70	160%	133%	81%				

資料來源：[14]，本研究整理。

3. 推估成果分析

本研究所建構之推估曲線係以 g/s 為單位，不同於與一般慣用單位為 l/km 之推估曲線。為便於與相關研究比較，因此運用逐秒速率 (km/hr) 與油品容積係數 (g/cm³) 等參數 (參見式 15 與式 16)，將上述推估曲線轉換為 l/km，其數據與圖形結果請分別參見圖 9。無論坡度為何，皆顯示低速較高速耗油，且速率越低越明顯，且速率在 50km/hr 以上之高速區間，油耗率之差異不大。

$$Y\left(\frac{g}{km}\right) = X\left(\frac{g}{s}\right) \times 3600\left(\frac{s}{hr}\right) \times \frac{1}{V\left(\frac{km}{hr}\right)} \quad (式 15)$$

$$Z\left(\frac{km}{L}\right) = 843.7\left(\frac{g}{L}\right) \times \frac{V\left(\frac{km}{hr}\right) / 3600\left(\frac{s}{hr}\right)}{X\left(\frac{g}{s}\right)} \quad (式 16)$$

其中：

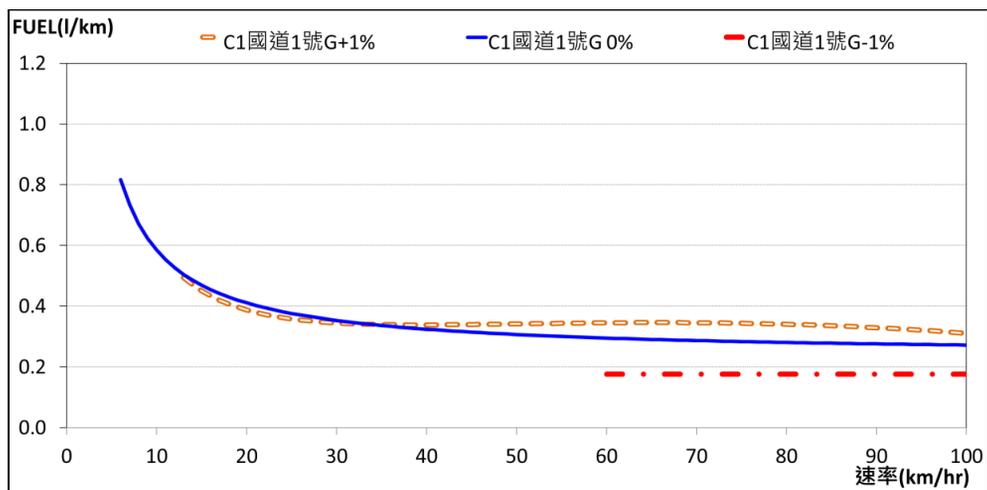
X 表示每單位時間下之能耗數據 (g/s)；

Y 表示每單位距離下之 CO₂ 排放數據 (g/km)；

Z 表示每單位能耗之行駛距離 (km/l)；

V 表示該秒的瞬時速率 (km/hr)；

843.7 (g/L) 為柴油比重，實驗該年度柴油容積密度為 0.8437kg/L，0.8437kg/L×1000=843.7g/L。



資料來源：[14]，本研究整理。

圖 9 國道 1 號大客車之油耗推估曲線

4.3 模式驗證

表 11 為其他車輛透過本模式推估能耗與碳排之方法，需透過該車之平均實際能耗值 (1) 結合轉換率 (2) 即可得到各速率下之能耗值，若再結合碳排放轉換當量 (3) 即可得到各速率下之碳排放量。

表 11 模式應用方式

轉換因子&推估結果			FUEL	CO ₂
實驗大客車之實際能耗值 (g/s) ^註		(1)	3.82654227	-
各道路類型之轉換率	FI ^F (%)	(2)	如表 7	-
碳排放轉換當量	FF _U	(3)	3.08877563	
推估結果	NV ^{F,ML,Cn} (g/s)	(4)	=(1)×(2)	=(1)×(2)×(3)

註：本研究 103 年度所採用「實驗大客車之實際能耗值」，為統聯客運提供本計畫之實驗大客車於 103 年 6 月的實際燃油經濟性 3.05(km/l)，再將此值單位轉換為能耗值(g/s)，以搭配本計畫所取得之資料，進行推估模式之建構。

資料來源：[14]，本研究整理。

本研究透過 2 個案例來進行模式驗證，說明如下：

1. 同一車輛、駕駛、營運路線

實驗期間另外保留某日資料，與建模資料完全獨立，進行做驗證之用。驗證方式係以實驗車輛該日之平均燃油經濟性 (km/l) 為基礎，進行單位轉換至 g/s，再套用推估模式可得各速率下的能耗/CO₂排放推估值 (g/s)，進而代入的逐秒行車型態 (speed-time profile，簡稱 VT 圖)，便可分別加總各道路類型逐秒耗油量為推估耗油量 (L)；最後，比較各道路類型推估之推估耗油量 (L)，與實際耗油量 (L) 誤差情形，當兩者的誤差率很小時，表示模式推估結果具有可信度。

驗證結果：國道段部分，正坡 (G+1%) 略高估 5.80%，平坡 (G 0%) 則高估 11.27%，負坡 (G-1%) 則低估 20.01%，就單一國道道路類型而言，正坡 (G+1%) 推估結果佳，平坡 (G 0%) 尚可，負坡 (G-1%) 推估結果不良，但有坡 (即 G+1%與 G-1%) 之推估結果，誤差率僅-2.23%，因此可知本模式分別推估國道正坡 (G+1%) 耗油量時，易出現高估，然而推估負坡之耗能率 (G-1%) 則反之，但綜觀有坡路段 (G+1%與 G-1%) 之推估結果，則顯示本模式具相當好的推估能力，詳參見表 12。

2. 不同車輛、駕駛、營運路線

另蒐集統聯客運公司模式建構實驗之車輛、駕駛、營運路線均不同之營運資料，該路線為行駛國道 1 號之「臺北-臺南」，由人員手持 GPS 跟隨實驗車輛行駛實驗路線，蒐集

表 12 同一車輛、駕駛、營運路線之驗證結果

道路類型		實驗日期	實際耗油量	平均速率	推估耗油量	誤差率
			(L)	(km/hr)	(L)	(%)
			(1)	(2)	(3)	(4)=[(3)-(1)]/(1)
國道	正坡：G+1%	103/06/10	6.04	84.79	6.39	5.80%
	平坡：G 0%	103/06/10	15.32	87.91	17.04	11.27%
	負坡：G-1%	103/06/10	2.72	62.41	2.18	-20.01%
	有坡：G+1%、G-1%	103/06/10	8.76	73.45	8.57	-2.23%

註：G+1%代表「1%≤坡度<2%」、G 0%代表「-1%<坡度<1%」、G-1%代表「-2%<坡度≤-1%」。

資料來源：[14]，本研究整理。

實驗車輛之實驗時間及行駛軌跡。惟因預算限制，無法裝置車載設備於該車取得逐秒排放，因而改參考該日該車平均能耗值為基礎，進行單位轉換至 g/s，再套用本計畫推估模式可得各速率下的能耗／CO₂ 排放率 (g/s)，進而代入驗證實驗北上及南下旅次之行車型態，並分別加總北上及南下旅次之各道路類型耗油量 (L)；再者，分別以北上與南下合併道路類型之總耗油量 (L) 除以其行駛里程 (km)，則可分別得到北上與南下旅次推估能耗率 (l/km)；最後，分別比較北上及南下旅次之推估能耗率 (l/km)，與客運業者提供之當日實際能耗率 (l/km，即燃油經濟性的倒數) 差異，當誤差率很小時，表示模式推估結果具有可信用度。

驗證結果顯示，北上與南下旅次與當日實際燃油經濟性之誤差介於 8.92 ~ 10.27%，若以整體旅次綜整來看，誤差為 9.60%，顯示本模式具良好推估能力，詳參見表 13。

表 13 不同車輛、駕駛、營運路線之驗證結果

行駛方向	實際能耗率 ^註	平均速率(km/hr)	推估能耗率 (l/km)	誤差率
	(l/km)			(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)=[(3)-(1)]/(1)
臺北－臺南：北上	0.262	68.21	0.289	10.27%
臺北－臺南：南下	0.262	71.69	0.286	8.92%
總計	0.262	69.91	0.288	9.60%

註：本項驗證實驗未取得逐秒實際耗能值 (g/s)，因此無區分道路類型，僅就實驗車輛當日平均燃油經濟性 (km/l) 取倒數為能耗率 (l/km)，再進行誤差比較。

資料來源：[14]，本研究整理。

4.4 成果應用

運研所自 96 年起辦理「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性」系列研究 [7,8,10,11,13,14]，已使用類似方法，透過車載排放量測系統與道路實測，蒐集各車種於不同道路類型、不同速率下之動態能耗與排放資料，建立能耗推估模式，並透過能耗/CO₂ 轉換係數，推估 CO₂ 排放量。相關成果可結合城際運輸模型 [9,12]，推估國道主要起迄旅次車均 CO₂ 排放量、人均 CO₂ 排放量，進而估算私人運具移轉至大客車的節能減碳效果。

本研究依據國道主要路段能耗/CO₂ 排放推估結果，並結合城際運輸模型中之國道上的大客車、小客車平均承載率，進一步推估人均 CO₂ 排放量 (kg/人)，分析國道主要起迄旅次，包括臺北-宜蘭、臺北-林口、臺北-桃園、臺北-新竹、臺北-臺中、臺北-臺南、臺北-高雄，分析大客車與小客車的車均 CO₂ 排放量、人均 CO₂ 排放量之倍率關係，可知在車均 CO₂ 排放量與人均 CO₂ 排放量方面，大客車於國道 1 號旅次，低速 (65km/hr) 為高速 (90km/hr) 的 1.04~1.05 倍，於國 5 臺北-宜蘭則為 1.27 倍；小客車低速為高速的 1.23 倍，如表 14 所示。

表 14 國道路段車均、人均碳排量相對關係

路段 (雙向註)	單向距離 (km)	車均 CO ₂ 排放量 比值		人均 CO ₂ 排放量 比值		均速 65 公里 vs 均速 90 公里			
		計算方式： 大客車/小客車		計算方式： 小客車/大客車		計算方式：低速 65 公里/高速 90 公里			
						車均 CO ₂ 排放量		人均 CO ₂ 排放量	
		均速 90 公里	均速 65 公里	均速 90 公里	均速 65 公里	大客車	小客車	大客車	小客車
臺北-宜蘭	40.6	6.02	2.65	6.20	2.58	1.27	1.23	1.27	1.23
臺北-林口	16.6	12.36	1.68	10.47	1.98	1.05	1.23	1.05	1.23
臺北-桃園	24.6	12.57	1.65	10.65	1.95	1.04	1.23	1.04	1.23
臺北-新竹	68.9	12.39	1.67	10.51	1.97	1.05	1.23	1.05	1.23
臺北-臺中	153.5	12.40	1.67	10.51	1.97	1.05	1.23	1.05	1.23
臺北-臺南	302.4	12.46	1.66	10.60	1.96	1.05	1.23	1.05	1.23
臺北-高雄	342.8	12.47	1.66	10.61	1.96	1.05	1.23	1.05	1.23

註：車均、人均 CO₂ 排放量均為該起迄路段雙向合計之 CO₂ 排放量結果。

資料來源：[14]，本研究整理。

進一步根據推估結果，計算城際運輸旅次往返的車均 CO₂ 排放量、人均 CO₂ 排放量詳表 15。以均速 90km/hr 為例，各旅次的人均 CO₂ 排放量顯示從小客車轉移到大客車，於國道 1 號平均每人的減碳效益約有 40%，於國 5 平均每人的減碳效益則有 62%，由此即可具體評估私人運具移轉至大客車之節能減碳的效益。

表 15 國道路段平均每人減碳效益

路段 (雙向 ^{註1})	單向距離 (km)	均速 90 公里		平均每人 減碳效益 ^{註2} 單位：%
		人均 CO ₂ 排放量 ^{註1} (kg/人)		
		大客車	小客車	
臺北－宜蘭	40.6	1.66	4.40	62%
臺北－林口	16.6	1.07	1.80	40%
臺北－桃園	24.6	1.61	2.66	39%
臺北－新竹	68.9	4.45	7.45	40%
臺北－臺中	153.5	9.92	16.61	40%
臺北－臺南	302.4	19.65	32.72	40%
臺北－高雄	342.8	22.30	37.09	40%

註 1：人均 CO₂ 排放量均為該起迄路段雙向合計之 CO₂ 排放量結果。

註 2：計算方式 = 1 - (大客車 / 小客車)

資料來源：[14]，本研究整理。

五、結論與建議

1. 本計畫運用車載量測設備蒐集 1 輛行駛於國道 1 號之國道客運行駛瞬間之能耗/排放資料。該車符合我國環保 3 期標準 (美規 4 期)，共蒐集近 5.7 萬秒國道 1 號逐秒排放數據，構建速率與耗油量、CO₂ 排放值曲線與分坡模式，俾利推估國道大客車行駛於各類路型之能耗與 CO₂。
2. 由推估曲線結果可知，不同坡度下之動態能耗曲線確實有所不同，各道路類型之配適結果為：國道 1 號正 1 度坡 (G+1%) 3 次式、平坡 (G 0%) 1 次式，負 1 度坡 (G-1%) 1 次式。本研究建立的大客車國道分坡模式可涵蓋 -2%~2% 的坡度範圍，約占國道 1 號路段總長的 90%。
3. 透過模式驗證，本模式對於整體旅次之能耗推估誤差約在 10% 以內，顯示本推估模式具有良好的推估能力。
4. 目前行駛於國道 1 號之國道客運路線非常多，時值配合當前交通部積極提升公路公共運輸載客量與市占率之措施，本模式可評估國道客運之能耗與 CO₂ 排放量，若再結合小汽車之能耗與 CO₂ 排放量推估，即可進行運具移轉之節能減碳效益評估。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，「交通工具空氣污染物排放標準」，106 年 4 月 27 日修正發布。

2. 經濟部，「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」，107年10月18日修正發布。
3. 行政院環境保護署，「移動污染源排放總量推估及管制專案工作計畫」，106年11月。
4. USEPA, "Exhaust Emission Rates for Heavy-Duty On-road Vehicles in MOVES2014", <http://www3.epa.gov/otaq/models/moves/documents/420r15015a.pdf>, 2015.
5. Scora, G., Boriboonsomsin, K., and Barth, M. J., "Effects of Operational Variability on Heavy-Duty Truck Greenhouse Gas Emissions", 2010 TRB Annual Meeting, Washington, D.C., 2010.
6. 溫蓓章、胡以琴、張瓊文、楊幼文、陳柏君，「新一代運輸部門能源消耗與排放推估模式之建構與發展趨勢：美國 MOVES 模式與我國相關研究之對比探討」，*運輸學刊*，第 24 卷，第 3 期，民國 101 年，頁 277-303。
7. 交通部運輸研究所，*能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究 (1/2)*，民國 97 年。
8. 交通部運輸研究所，*能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究 (2/2)*，民國 98 年。
9. 交通部運輸研究所，*能源消耗、污染排放推估模式與永續運需模式之整合應用*，民國 99 年。
10. 交通部運輸研究所，*車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究－以大客車為例 (1/2)*，民國 100 年。
11. 交通部運輸研究所，*車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究－以大客車為例 (2/2)*，民國 101 年。
12. 交通部運輸研究所，*運輸部門能源消耗與溫室氣體減量評估模型之應用*，民國 102 年。
13. 交通部運輸研究所，*車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究－以機車為例*，民國 103 年。
14. 交通部運輸研究所，*大客車動態能源消耗與溫室氣體排放參數資料庫擴充與模式檢討*，民國 104 年。