

運輸需求管理策略之節能減排效益 評估模式

AN EVALUATION MODEL FOR THE ENERGY CONSUMPTION AND EMISSION REDUCTION OF TRANSPORTATION DEMAND MANAGEMENT STRATEGIES

黃于真 Yu-Chen Huang¹

陳尉雯 Wei-Wen Chen²

李宗益 Tsung-Yi Lee³

傅 強 Chiang Fu⁴

朱珮芸 Pei-Yun Chu⁵

(108 年 4 月 30 日收稿，108 年 5 月 26 日第 1 次修改，108 年 6 月 20 日定稿)

摘 要

我國運輸部門為第二大能源消耗部門，運輸節能減排策略之推動有其必要性，為實踐交通部「推動永續綠色運輸，落實節能減碳政策」之施政方針，需建立運輸部門節能減量策略評估工具。本研究參考國內外相關研究與評估模型，結合運輸需求模型與能耗、碳排及空污參數，開發本土化評估工具「運輸需求策略評估模型」，運用此模型進行交通管理策略應用分析，可評估措施對運輸需求變化、運具使用選擇及能耗、排放具體減量效益之影響，作為交通部及相關部會策略研擬之參考。

-
1. 鼎漢國際工程顧問公司副理(聯絡地址：110 臺北市信義區松山路 130 號 5 樓；電話：02-27488822 分機 221；E-mail：fin@thi.com.tw)。
 2. 鼎漢國際工程顧問公司助理規劃師。
 3. 鼎漢國際工程顧問公司副總經理。
 4. 交通部運輸研究所綜合技術組副研究員。
 5. 交通部運輸研究所綜合技術組副組長。

關鍵詞：運輸部門；運輸需求模型；節能；減碳；減污

ABSTRACT

The transportation sector is the second largest energy consuming sector in Taiwan, which established the importance of green transportation promoting and transportation sector energy conservation and emission reduction. The Ministry of Transportation and Communications mandates policies for developing sustainable green transportation and implementing measures for energy conservation and emission reduction. Therefore, there is a need for an assessment model for evaluating the effects of energy consumption and emission reduction of various transportation measures.

This research reviewed domestic and international literatures to establish an evaluation model “Transportation Energy Conservation and Emission Reduction Evaluation Module”, which can be applied for different strategy assessment. This research applying the case studies to analyze the transportation management strategies for the consideration of decision-making of the Ministry of Transportation and Communications and related ministries.

Key Words: *Transportation sector; Transportation demand model; Energy conservation; Carbon reduction; Air pollution emissions*

一、前言

因應全球對抗氣候變遷趨勢，我國於民國 104 年依總統令公布實行「溫室氣體減量及管理法」，其中明訂我國西元 2050 年之溫室氣體排放量目標為 2005 年之 50% 以下，並規範各部門應提出個別的溫室氣體排放管制行動方案^[1]。有鑑於運輸部門為我國第二大能源消耗部門，運輸節能減碳策略推動有其必要性，為支援交通部配合環保署辦理國家溫室氣體減量工作，交通部運輸研究所自民國 103 年起，積極投入第 2 期能源國家型科技計畫 (National Energy Program-Phase II, NEP-II)，建立運輸節能減碳策略評估工具，以反映運輸策略對運輸需求、能源消耗及溫室氣體排放之影響，俾利評估相關策略的減量效果。

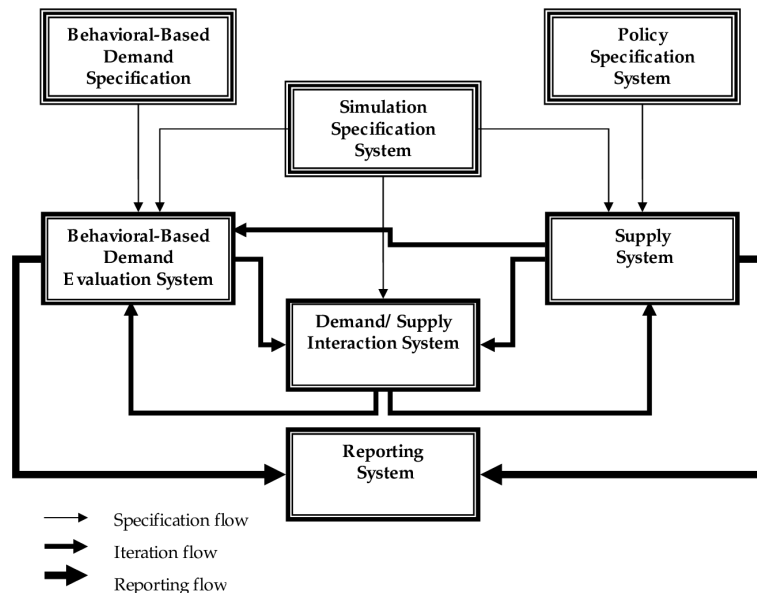
交通部運輸研究所開發之「運輸需求策略評估模型」，係以運輸需求模型結合國內能耗碳排相關研究成果，建立一套本土化的運輸節能減碳評估模組，民國 104 年優先導入城際運輸需求模型，開發「城際運輸策略評估模組」，用以進行國家型運輸策略之分析。基於都會運輸碳排放約占總體運輸部門 70%，都會的運輸節能減碳策略為相當重要的一環，遂於民國 105 年起開發「都會運輸策略評估模組」，以利都會尺度之節能減碳運輸策略探討^[2,3]。

二、文獻回顧

回顧我國主要溫室氣體減量評估模型，多以總體的角度探討國家總體能耗碳排情形，使用計量模型、總體經濟模型或類神經網路模型等方法，透過 GDP、系統總延人（車）公里等總體變數，進行整體系統總量之推估。此類模型與估算工具，為由上而下（top-down）的推估方式，目的是進行國家總體溫室氣體排放量之推估，其預測之準確性視其是否有足夠之統計數據或參數來支援推估而定，且較難被應用作為區域及特定策略的分析。

國際上運輸能源相關政策評估模型，包含歐洲 STEEDS (scenario-based framework to modelling transport technology deployment: energy–environment decision support)、歐盟 SULTAN、SimAGENT 模型、TRESIS (transportation and environment strategy impact simulator)模型及 Mobility Model (MoMo) 等^[4-8]，多透過能源、運輸、經濟等模組或參數之結合進行估算；藉由運輸模組計算運輸能源消費需求，能源模組提供能源效率、排放係數等估算能耗碳排所需參數，經濟模組則輔助作為運具持有及未來車輛市場之預測。其中在運輸能源消費需求的計算上，SimAGENT 模型、TRESIS 模型及 Mobility Model (MoMo)^[6-8]皆透過社經發展（如 GDP、油價、人口）及運輸系統結構等參變數之交互關係，進行運輸活動量的推估。

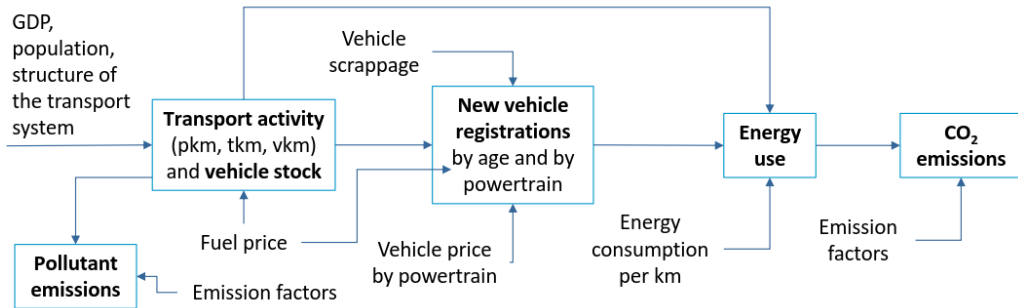
雪梨大學建立之 TRESIS 模型，係藉由家戶特性調查數據建立行為需求評估系統，結合運輸系統路網、土地使用、運具系統及其他環境與政策參數等，計算運輸行為選擇的機率，包含旅運行為、地點、運具選擇等，進而推估運輸活動量，其結構如圖 1 所示。



資料來源：Hensher^[7]。

圖 1 TRESIS1.4 模型架構

IEA 建置的 Mobility Model 模擬模型，則以 GDP、油價、人口結構等參數推估運輸活動量（車公里、人公里、噸公里），再以能耗、碳排及污染排放係數計算能源需求、溫室氣體與空氣污染排放量，可透過模擬反應政策成效，其結構如圖 2 所示。



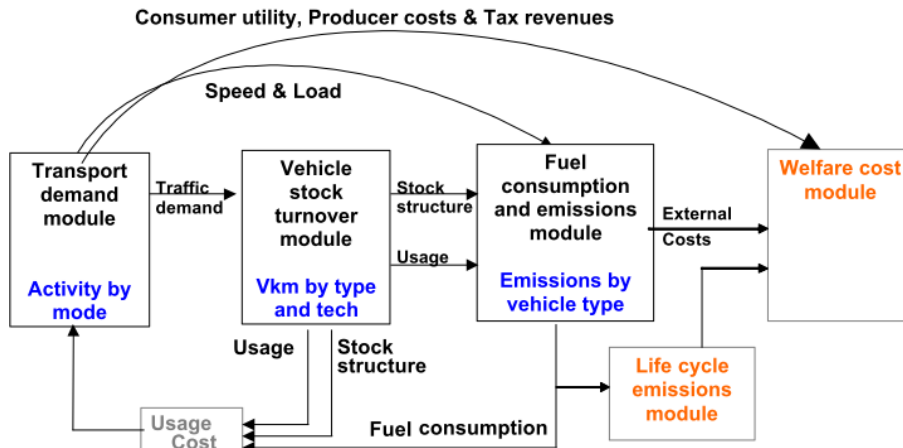
資料來源：Jacob^[8]。

圖 2 Mobility Model 分析流程

歐洲 STEEDS 及歐盟 SULTAN 屬於高階決策支援系統^[4]，用以研究各運輸技術對市場、環境與能源的衝擊，其運作皆透過相關預測模型的相互結合來進行評估與效益探討。歐盟 SULTAN 決策支援系統是歐盟 EU Transport GHG Routes to 2050 之主要技術工具，運用 TREMOVE 運輸需求模型結合 PRIMES 能源模型中運輸相關參數，建立快速反應(quick-response)的評估模組，合稱 PRIMES-TREMOVE 模型，可推估各種交通環境政策對於運輸需求，民眾運具選擇，車輛持有以及整體碳排之影響^[5,9]。

PRIMES (price-induced market equilibrium system) 能源模型可就歐洲能源需求、供給、價格等整個能源市場系統進行推估與預測，有鑑於運輸部門為能源消費需求大戶，PRIMES 模型中針對運輸部門提供了詳盡的參數，以精細估算運輸政策、需求變化對於能源市場的影響，2017 年完成更新的第 6 版，已可預測至 2050 年^[10]；TREMOVE 運輸需求模型則由 Catholic University of Leuven 與 Transport & Mobility Leuven 研發於 1998 年，經過不斷加強更新，2010 年完成最新版本 3.3.2 更新，可進行 1995-2050 年之推估與預測，探討全歐盟或各國相關運輸政策（如道路收費、公共運輸興建與補貼等）推動對於運輸需求之影響^[11]。TREMOVE 模型分成 5 個主要模組，包括運輸需求模組、車輛持有模組、能耗排放模組、成本績效模組、生命週期評估模組，如圖 3。

有別於我國總體溫室氣體減量評估模型，本研究運輸需求節能減碳評估模型(transportation demand management environment, TDME)之模型建構，係參考歐盟 PRIMES-TREMOVE 模型，藉由運輸需求模型與運輸能源與溫室氣體排放資料之結合，以從下而上(bottom-up)的方式計算運輸需求的變化，進而推估衍生之能耗與碳排、空污排放變化效果，用以反應個別區域、縣市與各種策略節能減碳減污效益。



資料來源：Transport & Mobility Leuven^[9]。

圖 3 TREMOVE 系統架構

三、模型架構與案例評估方法

以下說明本文所採用的模型架構，以及案例評估方法設計。

3.1 運輸需求策略評估模型架構

本研究「運輸需求策略評估模型」(transportation demand management environment, TDME) 係以估算運輸策略能耗與碳排、空污排放量變化、支援運輸部門相關政策與方案決策為建置目的，然而，運輸需求模式之應用範疇受限於模式分析時段、路網與運具結構等限制，未必符合運輸策略評估範圍與對象，如臺北都會區運輸需求預測模式以臺北都會區為分析重點，路網及運具皆以臺北都會區為建置重點，其他範圍則會適度簡化，因而無法用以進行其他範圍之運輸策略評估，故不易以單一尺度之評估模組，完整掌握各種運輸策略之節能減碳效益，然若要將所有運輸需求模型導入至同一平台，不僅工作量龐大，且對於模型運算負荷大，將難以操作，不利於整合應用分析。因此，參考歐盟 TREMOVE 模型作法，運用個別模式來反應策略對於運輸旅運行為的影響 (如延人、延車公里)，採分層作業方式建構 TDME，適度簡化模型分析結構，以運輸需求模組將運輸需求模型之反應變數導入 (如各運具路線起迄點運量等)，經由成效推估模組將模式值轉換為相同尺度規格後，再透過能耗、碳排參數進行能耗與碳排量之估算。

TDME 模型架構包含運輸需求模組、成效推估模組，如圖 4 所示。

1. 運輸需求模組：由城際模式 (如城際需求模式)、都會區模式 (如臺北都會區運輸需求預測模式) 及其他生活圈模式組成，用以分析運輸政策對旅次產生、運具選擇、路徑選擇等運輸行為之影響。

2. 成效推估模組：透過運輸需求模組之產出結果，輔以相關能源與排放係數，反應運輸政策、能源政策下之能耗、碳排放及空污排放變化。

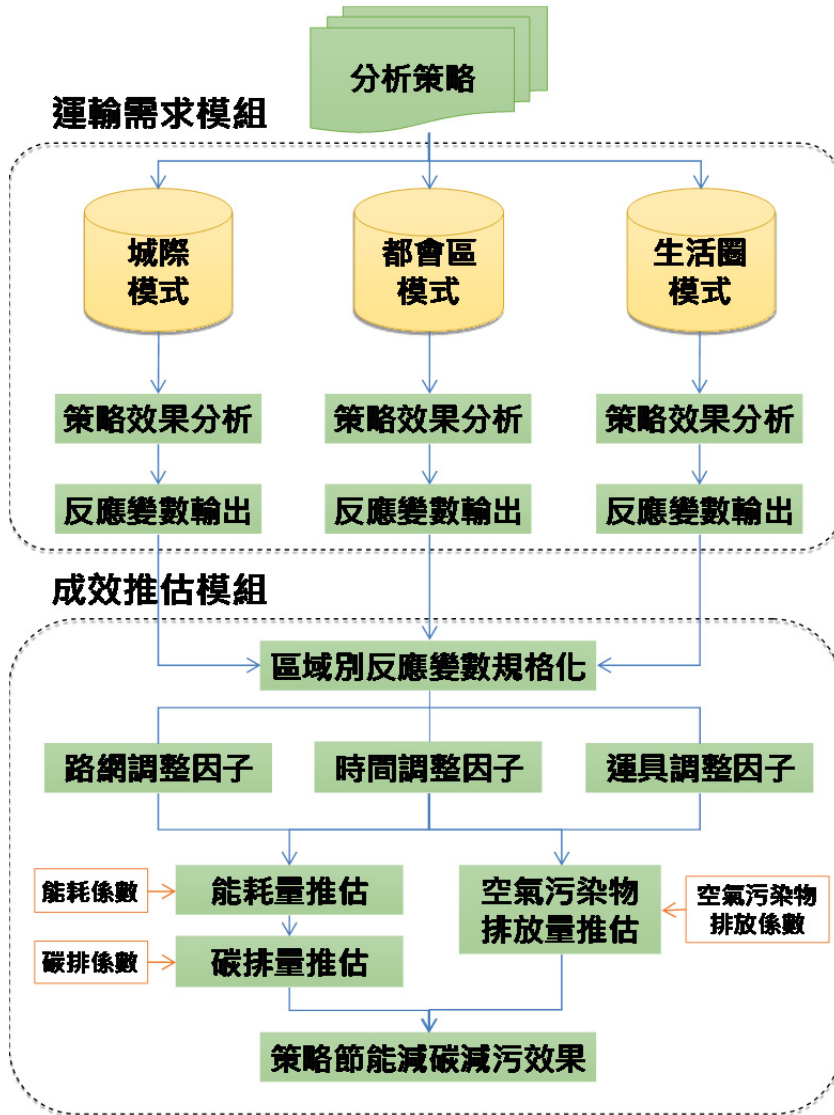


圖 4 TDME 分層作業架構

3.2 運輸需求模型

綜觀目前國內運輸需求模型，就分析維度來看，多屬於單一空間尺度的巨觀分析模型，跨分析維度與跨空間尺度的分析模型相對缺乏，因此在分析應用上，常需配合議題整合多個模式進行分析，如圖 5 所示。

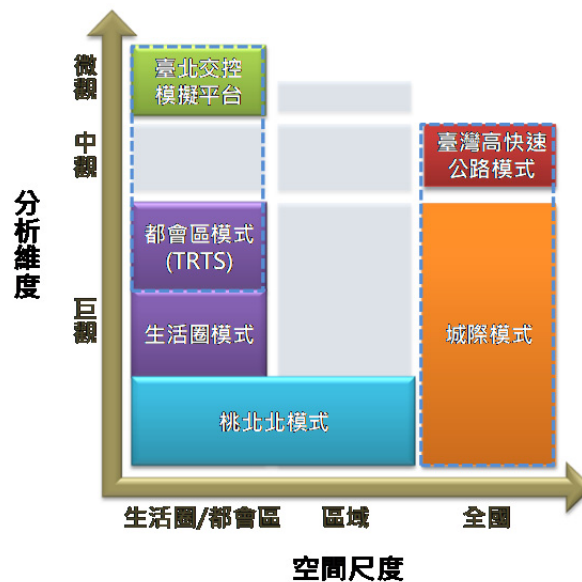


圖 5 國內運輸需求模型發展現況

國內運輸需求模型發展自 1980 年代，依臺北大眾運輸規劃需求始發展第 1 代之臺北都會區模式（簡稱 TRTS-I）後，陸續發展多套城際、都會及生活圈模式。交通部運輸研究所自 1976 年（民國 65 年）起開始辦理全臺整體運輸規劃作業，至民國 94 年~民國 97 年第 4 期整體運輸規劃期間起正式界定以城際旅次為分析範圍，進行城際運輸需求模式構建 (TDM)，其後並於民國 98 年~民國 103 年間進行模式參數更新作業，而後，因應都會區的發展趨勢調整城際旅次的定義，啟動第 5 期城際運輸需求模式之開發與更新；而營建署及縣市政府因應施政需求，亦於民國 94 年開始創建生活圈模式，國內現有運輸需求模型發展歷程與建置單位如圖 6 所示。

本研究已分別於民國 104 年、民國 105 年應用城際需求模式 (TDM) 以及臺北都會區運輸需求預測模式 (TRTS)，以「運輸需求策略評估模型」進行城際及臺北都會區相關運輸減量策略評估，說明如下。

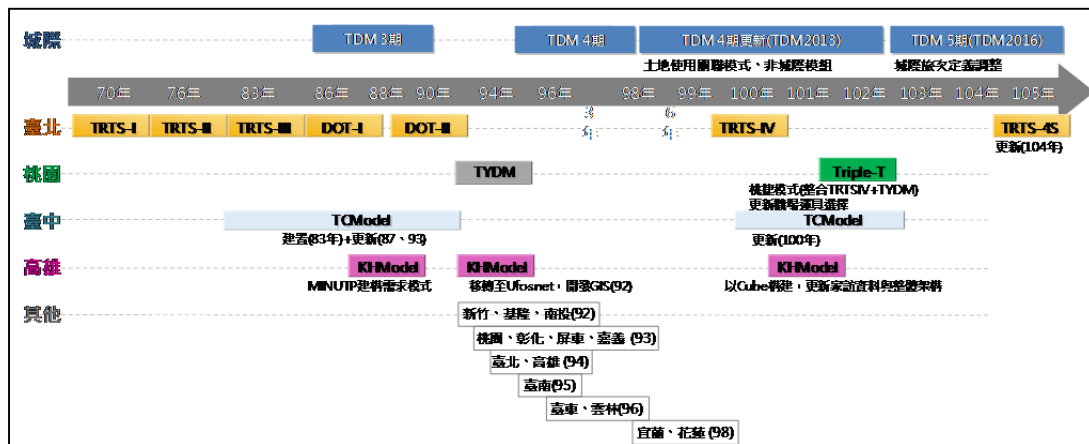
1. 城際運輸需求模式 (TDM)

城際需求模式 (TDM2016) 為交通部運輸研究所辦理之系列研究，目前已發展至第 5 期城際模式，使用 Cube 軟體平台建置，模式包含平日與假日的客運、貨運交通模組，研究範圍為全臺灣地區，路網為臺灣主要城際連結道路與市區重要道路，用以城際運輸供需預測分析與評估、政策敏感度與計劃影響度分析，作為未來整體運輸發展規劃與政策制定之參考^[3]。

2. 臺北都會區運輸需求預測模式 (TRTS)

TRTS 自民國 64 年起發展至今，已經歷過 4 次改版，為使軟體更具可操作性並結合

模式分類	城際運輸模式	都會區模式	生活圈模式
模式範圍	全臺灣	臺北都會區（含新北+臺北）、桃園都會區、臺中都城區、臺南都會區、高雄都會區	17 生活圈（臺北、桃園、新竹、臺中、臺南、高雄、基隆、苗栗、彰化、南投、雲林、嘉義、屏東、臺東、宜蘭、花蓮、金門）
研究單位	交通部運輸研究所	各縣市政府／捷運局	內政部營建署／各縣市政府



資料來源：本研究繪製。

圖 6 國內各運輸需求模式發展歷程

圖像功能，由原本的 DOS 介面轉移至 Windows 視窗，TRTS-IV 更是廣泛應用在路廊、大眾運具之運量分析。於民國 98 年 1 月 5 日委託鼎漢國際工程顧問公司辦理第 1 階段「臺北都會區整體運輸需求預測模式建立-旅次行為調查及旅次發生模組」工作，於民國 99 年 10 月完成成果報告，第 2 階段「臺北都會區整體運輸需求預測模式建立與應用 (TRTS-IV)」接續辦理旅次分布、運具選擇、路網指派等模組建立、參數校估、驗證、預測等工作，並於民國 101 年 12 月完成。至民國 104 年由於新莊蘆洲線、信義線、松山線陸續通車營運，路網營運模式也由多線在臺北車站轉乘改為 5 線 L 型，市中心區轉車點增加至 12 站，相關之時空背景變化下，原先模式之模式運算結果與現況亦有誤差，重新進行檢視及調整，遂發展更新 TRTS-4S 模式^[12]。

3.3 能耗與排放係數

影響排放量之重要關鍵變數包含運輸活動量（人旅次、車旅次、車公里）、車速、行駛道路、運具使用能源別、各運具能源效率、各能源排放係數。本計畫透過運輸需求分析模

組推估政策效果造成之運輸活動變化（包含活動量、車速及行駛道路與運具系統），並導入能源、排放估算係數，透過成效推估模組估算不同運具能源分配下之能源消耗及排放量。以下就導入之能源、排放估算係數行說明。

1. 公路系統車公里能耗係數

公路車輛能耗係數係採用交通部運輸研究所「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究」之系列研究成果^[13-17]，該系列計畫透過車輛道路實驗資料建構各車種車輛動態能耗模式，並建構各車種在不同道路類型、速率下之平均車公里能源消耗率。

如表 1 所示，公路車種分為小客車、市區公車、國道客運及機車；依各道路類型不同速率下有不同之車公里能源消耗率，然由於不同車種在道路上行駛最高速度限制不同，小客車資料建構最高速度達 120km/hr，市區公車僅達 50km/hr，國道客運達 100km/hr，機車達 80km/hr。

表 1 公路系統能耗係數

單位：l/km

速度 (km/hr)	小客車							市區公車		國道客運				機車
	國道	快道	省道低干擾	省道高干擾	縣道	鄉道	市區道路	臺北	其他地區	國道	快道	省道	市區道路	一般道路
6	0.329	0.381	0.543	0.483	0.496	0.475	0.419	1.288	1.463	0.821	0.821	0.671	0.698	0.196
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	0.150	0.178	0.293	0.245	0.253	0.261	0.234	0.675	0.767	0.488	0.488	0.447	0.447	0.087
15	0.143	0.170	0.280	0.235	0.241	0.252	0.225	0.646	0.734	0.472	0.472	0.435	0.434	0.082
16	0.137	0.163	0.267	0.226	0.230	0.243	0.218	0.618	0.703	0.457	0.457	0.424	0.422	0.077
17	0.132	0.157	0.256	0.218	0.220	0.236	0.212	0.593	0.674	0.444	0.444	0.414	0.411	0.073
18	0.128	0.151	0.246	0.211	0.211	0.229	0.205	0.569	0.646	0.433	0.433	0.405	0.402	0.070
19	0.124	0.146	0.236	0.204	0.203	0.222	0.200	0.545	0.619	0.423	0.423	0.396	0.393	0.067
20	0.121	0.142	0.226	0.198	0.195	0.216	0.194	0.522	0.593	0.413	0.413	0.389	0.385	0.064
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
50	0.082	0.066	0.086	0.073	0.078	0.056	0.059	0.163	0.186	0.309	0.309	0.222	0.231	0.035
...	...	...	...	...						...	...	...	...	...
80	0.061	0.053	0.061	0.164						0.282	0.282	0.222	0.231	0.032
...	...	...								...	...	...	...	
100	0.054	0.068								0.274	0.274	0.222	0.231	
...	...	...												
120	0.053	0.068												

資料來源：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」^[13-17]。

各車輛類型在不同道路型態、不同車速下能耗係數略有差異。大致而言，較高的速度能耗表現較佳，但各車輛、道路類型下能耗係數隨速度之表現有其極限值，並出現最適速度，以小客車為例，國道上最適速度約為 110km/hr，快道上最適速度約為 75km/hr，省道低干擾道路最適速度約為 70km/hr，高干擾道路最適速度約為 53km/hr，縣道、鄉道、市區道路最適速度皆較低，約為 50 km/hr，可見車輛能耗係數與速度之關係受道路類型、車輛行駛型態影響。

2. 軌道系統車公里能耗係數

軌道運輸系統主要以電力為動力來源，本研究以營運統計資料及軌道用電量自行推估軌道系統車公里能耗值，作為單位車公里能源效耗量以計算能耗，如表 2 所示。

表 2 軌道系統能耗係數

項目	臺鐵	北捷
延人公里 a	11,114,976,762	5,880,980,256
延車公里 b	45,011,046	23,100,505
能耗 (公秉油當量)c	128,085	70,103
能源密集度 (公升油當量／公里) c/a	0.0115	0.0119
車公里能耗 (公升油當量／公里) c/b	2.8456	3.0347

註：數據為 2015 年資料。

3. 單位能耗碳排係數

本研究碳排係數採用能源局所公布之各能源系統 CO₂ 排放係數。彙整主要能源類別，包含汽油、柴油、LPG、電力、燃料油、航空汽油碳排係數及油當量轉換係數如表 3 所示。

表 3 各能源碳排係數及油當量轉換係數

能源系統	碳排係數	油當量轉換係數
汽油	2.263 (KgCO ₂ /L)	0.867 (公升油當量／公升)
柴油	2.606 (KgCO ₂ /L)	0.933 (公升油當量／公升)
LPG	1.753 (KgCO ₂ /L)	0.737 (公升油當量／公升)
電力	0.526 (KgCO ₂ /度)	0.225 (公升油當量／度)
燃料油	3.111 (KgCO ₂ /L)	1.067 (公升油當量／公升)
航空汽油	2.395 (KgCO ₂ /L)	0.833 (公升油當量／公升)

註：數據為 2015 年資料。

資料來源：經濟部能源局^[18]。

4. 單位車行里程空污排放係數

本研究空污排放係數係根據環保署公布之 TEDS 9.0 線源排放係數^[19]。彙整 TEDS 9.0 線源排放係數分類項目如表 4 所示，考量 NO_x、CO、PM_{2.5} 對於人體具有危害性，且為運輸部門矚目之交通工具排放污染物，本研究以此 3 種空氣污染物進行策略污排之評估，所導入之空污係數彙整表 5 至表 7，其速度級距單位為 5 至 10 公里，本計畫導入後透過數據插值法進行應用，並以各車種車籍登記數比例拆分運輸需求模組各運具（小客車、計程車、機車、大客車）占比進行計算。

表 4 TEDS 9.0 線源排放係數分類項目

年份	2013-2021 年
縣市	臺北地區、臺中市、高雄市、其他縣市、離島縣市
車種	營業自用大小客車、營業自用大小貨車、二行程與四行程機車
能源	汽油、柴油、油氣雙燃料
車速	5~100 km/hr
空氣污染物	PM ₁₀ 、PM ₆ 、PM _{2.5} 、SO _x 、Pb、NO _x 、CO、HC、NMHC

資料來源：環保署空氣污染排放清冊 TEDS9.0^[19]。

表 5 各車種不同車速下 NO_x 排放係數

速度 (km/hr)	NO _x (g/km)								
	自用 汽油 小客車	營業用 汽油 小客車	自用 柴油 小客車	營業用 柴油 小客車	液化 石油氣車	二行程 機車	四行程 機車	公車客運	遊覽車
5	0.462120	0.790621	0.583121	0.588025	0.434680	0.063409	0.221224	10.300760	9.575401
10	0.399237	0.671994	0.514455	0.518713	0.434680	0.059232	0.195903	9.057408	8.420191
15	0.377785	0.631960	0.461226	0.463396	0.434680	0.057001	0.184613	8.074556	7.508704
20	0.368780	0.613799	0.413449	0.417187	0.434680	0.057001	0.183458	7.297557	6.783881
25	0.361557	0.600761	0.379653	0.382573	0.434680	0.057660	0.190208	6.685947	6.217076
30	0.357127	0.592999	0.353245	0.355072	0.434680	0.060757	0.200376	6.210159	5.774429
40	0.364053	0.606393	0.317477	0.319574	0.434680	0.068383	0.226656	5.584937	5.192760
50	0.369422	0.617608	0.303308	0.306228	0.434680	0.075632	0.251145	5.302986	4.931981
60	0.374123	0.625638	0.303705	0.306936	0.434680	0.077964	0.268620	5.322084	4.947212
70	0.377151	0.630168	0.318623	0.321221	0.434680	0.083681	0.278677	5.640075	5.244351
80	0.393825	0.659883	0.359348	0.361445	0.434680	0.090199	0.303194	6.315002	5.869201
90	0.444490	0.757458	0.426309	0.429254	0.434680	0.107380	0.361806	7.467468	6.944982
100	0.496311	0.854178	0.528323	0.532337	0.434680	0.123420	0.421691	9.328999	8.673929

資料來源：環保署空氣污染排放清冊 TEDS9.0^[19]。

表 6 各車種不同車速下 CO 排放係數

速度 (km/hr)	CO (g/km)								
	自用 汽油 小客車	營業用 汽油 小客車	自用 柴油 小客車	營業用 柴油 小客車	液化 石油氣車	二行程 機車	四行程 機車	公車客運	遊覽車
5	8.000505	12.445805	0.669836	0.788370	2.235210	17.223119	8.556338	7.839206	6.882030
10	5.011906	7.553551	0.523766	0.615723	2.235210	9.691135	4.932427	6.124594	5.374229
15	4.014503	5.924808	0.416421	0.489495	2.235210	6.581297	3.435899	4.867376	4.274299
20	3.514700	5.108369	0.336548	0.396197	2.235210	5.060996	2.704255	3.938492	3.459125
25	3.216008	4.619143	0.276667	0.325788	2.235210	4.207895	2.293926	3.243205	2.846866
30	3.017365	4.292544	0.232306	0.273131	2.235210	3.664445	2.033037	2.717092	2.385524
40	2.469186	3.398539	0.171607	0.202723	2.235210	2.977121	1.701585	2.011163	1.766471
50	2.103123	2.799544	0.135732	0.160371	2.235210	2.523152	1.483604	1.596706	1.400725
60	1.858026	2.399376	0.116577	0.137070	2.235210	2.214754	1.334810	1.359717	1.194415
70	1.683974	2.113647	0.106400	0.125152	2.235210	2.029718	1.245370	1.243307	1.092088
80	1.585898	1.952599	0.104560	0.123310	2.235210	1.948939	1.206043	1.220031	1.071716
90	1.635690	2.033054	0.109027	0.128789	2.235210	2.175411	1.316007	1.282684	1.125688
100	1.961921	2.569641	0.124319	0.144885	2.235210	3.702202	2.050157	1.446243	1.268349

資料來源：環保署空氣污染排放清冊 TEDS9.0^[19]。

表 7 各車種不同車速下 PM2.5 排放係數

速度 (km/hr)	PM2.5 (g/km)								
	自用 汽油 小客車	營業用 汽油 小客車	自用 柴油 小客車	營業用 柴油 小客車	液化 石油氣車	二行程 機車	四行程 機車	公車客運	遊覽車
5	0.057265	0.057290	0.080286	0.086535	0.049920	0.152930	0.034670	0.330195	0.304308
10	0.057250	0.057280	0.080286	0.086535	0.049920	0.152860	0.034600	0.330195	0.304308
15	0.057240	0.057265	0.080286	0.086535	0.049920	0.152830	0.034570	0.330195	0.304308
20	0.057230	0.057250	0.080286	0.086535	0.049920	0.152820	0.034560	0.330195	0.304308
25	0.057220	0.057240	0.080286	0.086535	0.049920	0.152820	0.034560	0.330195	0.304308
30	0.057210	0.057230	0.080286	0.086535	0.049920	0.152810	0.034556	0.330195	0.304308
40	0.057195	0.057210	0.080286	0.086535	0.049920	0.152816	0.034556	0.330195	0.304308
50	0.057200	0.057215	0.080286	0.086535	0.049920	0.152820	0.034560	0.330195	0.304308
60	0.057195	0.057210	0.080286	0.086535	0.049920	0.152830	0.034570	0.330195	0.304308
70	0.057190	0.057205	0.080286	0.086535	0.049920	0.152850	0.034590	0.330195	0.304308
80	0.057190	0.057205	0.080286	0.086535	0.049920	0.152870	0.034610	0.330195	0.304308
90	0.057195	0.057215	0.080286	0.086535	0.049920	0.152870	0.034610	0.330195	0.304308
100	0.057205	0.057225	0.080286	0.086535	0.049920	0.152870	0.034610	0.330195	0.304308

資料來源：環保署空氣污染排放清冊 TEDS9.0^[19]。

3.4 交通管理策略案例情境設計

本研究目的為建置可評估運輸部門節能減碳策略之工具，過去研究多探討單一層級(都會／城際)策略分析，少有運輸策略於不同層級之減碳效果分析，爰此，本研究以「跨層級整合型案例」進行節能減碳效益分析。此外，近年空污議題備受重視，且與能源使用、溫室氣體排放息息相關，因此本計畫以「都會區污染防制案例」進行減污及減排策略效益評估。以下就「跨層級整合型案例」及「都會區污染防制案例」評估情境進行說明。

1. 跨層級整合型案例

為培養旅客使用公共運輸習慣、增強公共運輸使用黏著度，縣市政府、運輸營運業者(臺鐵、高鐵、北捷、高捷、桃捷)常以公共運輸定期票策略，鼓勵民眾利用公共運輸滿足通勤、通學需求，近年各縣市政府亦併行運輸推拉管理策略，透過停車管理策略增加使用成本，抑制私人運具使用以加強公共運輸推動效果。本計畫就臺北市為中心之通勤範圍，將新北市及桃園市龜山區、大園區、蘆竹區列入首都圈，以「首都圈公共運輸月票+都會區停車收費調漲」為案例進行分析。

案例情境針對模型基年(2015年)參變數進行假設，包含首都圈通勤民眾之運輸旅次範圍設定公共運輸票價優惠(訂定首都圈公共運輸最高票價為22元)，及臺北市市中心及新北市高繁忙地區停車付費比增加；模式情境設定及分析流程如圖7所示。

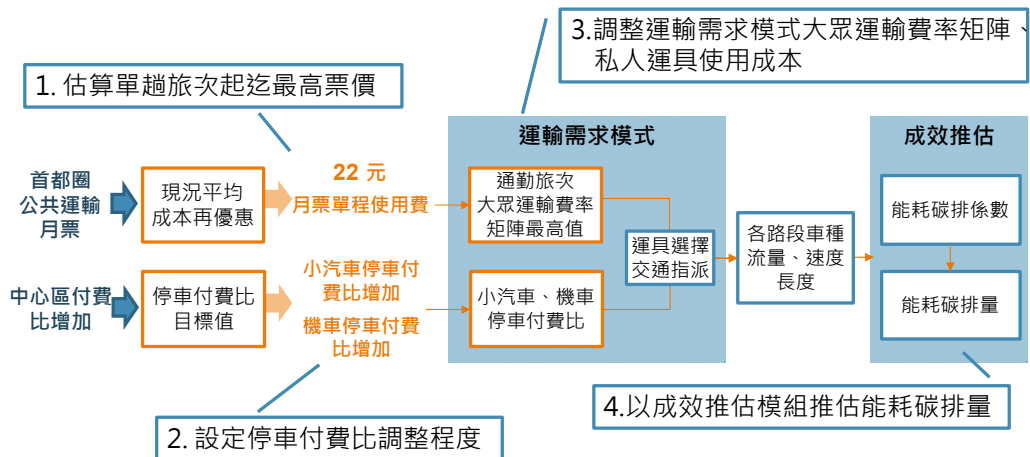


圖7 跨層級整合型案例分析流程

2. 都會區污染防制案例

我國除推動車輛電動化外，亦可併行燃油成本提升政策抑制燃油車使用，以購車、用車雙向推動車輛能源轉型，使政策施行達事半功倍之效果；配合國家從新車購買訂定管理辦法，面對車輛使用可一併提出相關油品稅費政策以加速節能減碳減污目標達成。爰此，本計畫案例分析以「公車電動化+私人運具油品使用成本調整」為例進行分析，

並以臺北都會區為範疇進行探討。

配合 2030 年市區公車全面電動化目標，將分析情境目標年設定為 2030 年，另參採近 10 年 2008 至 2018 年九五無鉛汽油年均價格最高值，將目標年油價設定為 34.9 元／公升；公車電動化措施即假設雙北市區公車全面電動化（至 2018 年 10 月為止共計 5,951 輛），私人運具油品使用成本調整措施則設定為調漲 2 元／公升（考量現行油品價格結構貨物稅之 1/3 約為 2 元）。模式情境設定及分析流程如圖 8 所示。

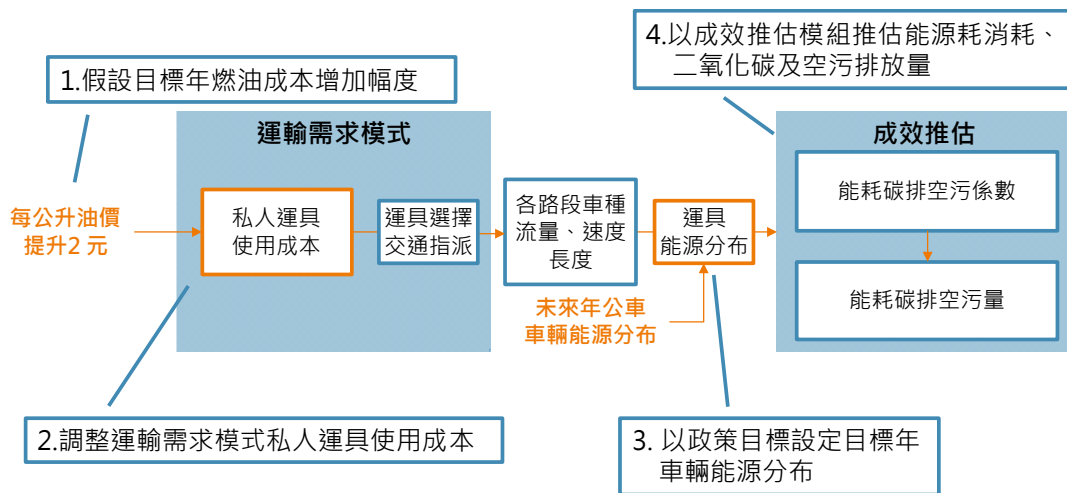


圖 8 都會區污染防制案例分析流程

四、分析結果

本節利用運輸需求策略評估模型，透過情境假設，分別進行跨層級整合型案例及都會區污染防制案例之運輸需求、節能減排效益分析。

4.1 跨層級整合型案例

1. 情境組合

- (1) 情境 0：無公共運輸月票、市中心維持停車收費現況；
- (2) 情境 1：僅推動首都圈公共運輸月票；
- (3) 情境 2：僅推動臺北市中心汽車全面停車收費；
- (4) 情境 3：同步推動首都圈公共運輸月票及臺北市中心汽車全面停車收費；
- (5) 情境 4：同步推動首都圈公共運輸月票及臺北市中心汽車全面停車收費、機車停車收費比 20%；

(6) 情境 5：同步推動首都圈公共運輸月票及臺北市中心與新北市高繁忙地區汽車全面停車收費、機車停車收費比 20%；

(7) 情境 6：同步推動首都圈公共運輸月票及臺北市中心與新北市高繁忙地區汽車全面停車收費、機車停車收費比 50%。

2. 運輸需求分析探討

各情境之小汽車旅次量皆低於情境 0；機車旅次量則以情境 5、情境 6 擴大收費至新北高繁忙地區旅次量最高；並且除情境 1 以外，受小客車成本增加影響，機車旅次皆較基礎情境提高；公車及軌道旅次量則以情境 6 停車收費最嚴格時最高；計算各情境運具比如表 8 所示。

表 8 跨層級整合型案例各情境運具比

情境	機車	小汽車	計程車	公車	軌道	總旅次(千人旅次/日)
情境 0	39.8%	30.3%	2.4%	10.4%	17.1%	13,799
情境 1	39.6%	30.3%	2.4%	10.5%	17.2%	13,799
情境 2	43.4%	24.8%	2.7%	11.0%	18.1%	13,799
情境 3	43.2%	24.8%	2.7%	11.1%	18.2%	13,799
情境 4	42.9%	24.9%	2.7%	11.2%	18.3%	13,799
情境 5	45.9%	20.7%	2.9%	11.5%	18.9%	13,799
情境 6	44.4%	21.4%	3.0%	11.8%	19.4%	13,799

3. 能源消耗分析探討

情境能源消耗情形及各情境能源變化量（相較情境 0）彙整如表 9 所示。能源消耗總量以情境 0 最高，以情境 5 擴大收費至新北高繁忙地區情境最低；小客車能源消耗亦以情境 5 最低，情境 6 由於加嚴機車收費，小客車旅次較情境 5 增加，使小客車能源消耗於情境 6 時較情境 5 略高；機車能源消耗則以情境 1 最低，其餘情境由於機車旅次相較情境 0 皆有提升，能源消耗量較情境 0 高。

如表 10 所示，大客車受小客車旅次量減少、公路路網效率提升之影響，能源效率皆較情境 0 表現優異，能源消耗較低。捷運及臺鐵雖因私人運具移轉至公共運輸旅次量有所成長，然由前期訪談經驗得知，現況軌道班次密集度已趨飽和，需求成長幅度達到評估之門檻值才增班，因此軌道尚無增班空間，能源消耗量無增長。

4. 碳排放量分析探討

情境 0 碳排放情形及相較情境 0 之變化量彙整如表 11 所示。碳排放量分析結果與能源消耗趨勢一致。碳排放總量以情境 0 最高，以情境 5 擴大收費至新北高繁忙地區情

境最低；小客車碳排放量亦以情境 5 最低，情境 6 由於加嚴機車收費，小客車旅次較情境 5 增加，使小客車碳排放量於情境 6 較情境 5 略高；機車碳排放量則係以情境 1 最低，其餘情境由於機車旅次較情境 0 皆有提升，碳排放量較情境 0 高。

表 9 跨層級整合型案例情境 0 能源消耗量及各情境能源變化量

單位：公秉油當量／日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	3,909	507	1,760	1,301	212	80	7,769
情境 1	-20	-1	-18	-2	-	-	-42
情境 2	-537	26	135	-13	-	-	-388
情境 3	-554	24	114	-14	-	-	-430
情境 4	-544	29	97	-15	-	-	-433
情境 5	-912	59	251	-17	-	-	-619
情境 6	-852	80	179	-18	-	-	-612

註：能源變化量以各情境與情境 0 比較。

表 10 各情境路網效率

情境	小客車平均車公里能耗 (公升油當量／公里)	平均速率 (公里／小時)
情境 0	0.078248	42.33
情境 1	0.078058	42.36
情境 2	0.074543	43.34
情境 3	0.074328	43.40
情境 4	0.074411	43.38
情境 5	0.072067	44.07
情境 6	0.072503	43.93

大客車受小客車旅次量減少、公路路網效率提升之影響，能源消耗較低，碳排放量較少。捷運及臺鐵等公共運輸雖受私人運具移轉至公共運輸影響，旅次量皆較基礎情境成長，但由於軌道系統無增班空間、運量成長未達到增班評估門檻，因此碳排放量未見增長。

減碳效益計算如表 12 所示，並以一座大安森林年吸附量 389 公噸計算各情境減碳量轉換為大安森林年吸附量；情境 5 減碳效益約可達 9.4%，相當於 1,681 座大安森林公園年吸附量。

表 11 跨層級整合型案例各情境碳排放量

單位：公噸／日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	10,238	1,329	4,596	3,633	498	189	20,483
情境 1	-53	-3	-48	-6	-	-	-110
情境 2	-1,406	68	353	-36	-	-	-1,021
情境 3	-1,451	64	298	-40	-	-	-1,130
情境 4	-1,426	76	252	-41	-	-	-1,139
情境 5	-2,388	154	655	-49	-	-	-1,627
情境 6	-2,232	210	467	-51	-	-	-1,606

註：碳排變化量以各情境與情境 0 比較。

表 12 跨層級整合型案例各情境減碳效益

情境	減碳效益	
	於情境 0 比較之成長率	以大安森林年吸附量計
情境 1	-0.5%	98 座
情境 2	-5.8%	1,044 座
情境 3	-6.4%	1,142 座
情境 4	-6.4%	1,143 座
情境 5	-9.4%	1,681 座
情境 6	-9.1%	1,632 座

註：能源變化量以各情境與情境 0 比較，以大安森林年吸附量 389 公噸計算。

5. 情境組合分析結果差異探討

(1) 公共運輸月票策略在雙北以外影響較明顯；停車收費策略在雙北內影響較明顯

由於雙北以外地區進出雙北市之通勤、通學旅次平均起迄距離較雙北地區以內之通勤、通學旅次平均距離長，公共運輸月票對旅次距離較長之運輸行為優惠效果較大；雙北區域境內旅次距離相對較短，小汽車停車成本變動較長距離旅次敏感，雙北區域內受停車收費策略影響較明顯，如圖 9 所示。

(2) 主要運具移轉效果發生在機車

公共運輸月票策略下總移轉旅次量 2 萬 9 千餘人旅次／日，在旅次量的移轉分配上，移出量機車占 72%、小汽車占 28%，移入量軌道占 52%、公車占 47%，主要為機車旅次移轉至軌道及公車運輸系統；停車收費調漲策略下，總移轉旅次量 76 萬人旅次／日，在小汽車移轉至其他運具的移轉量中，機車占 67%，表示小汽車成本

增加時以移轉至機車為主，如圖 10 所示。

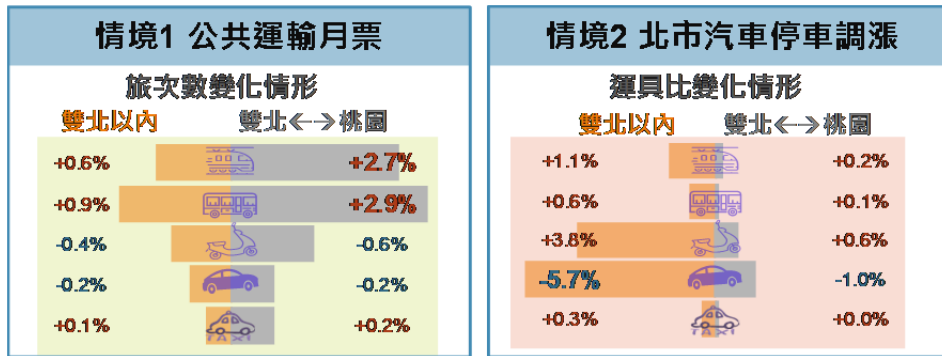


圖 9 不同區域層級下之策略影響效果

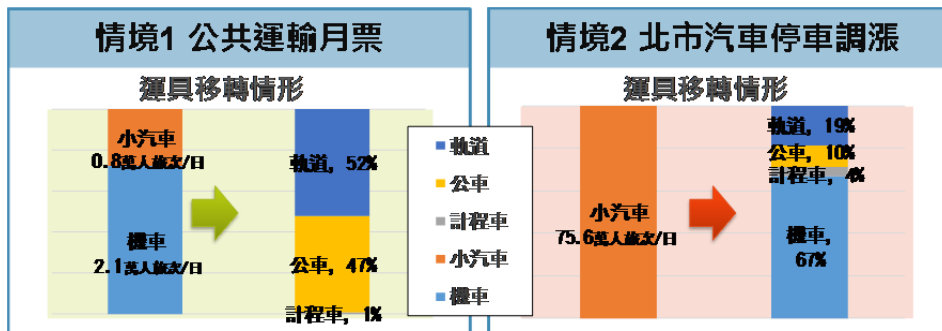


圖 10 策略之運具影響效果

- (3) 策略併行結果以雙北地區內較明顯；併行推拉策略有效增加公共運輸旅次、抑制私人運輸使用

雙北區域內受汽車停車收費策略影響較顯著，雙北以外地區對公共運輸月票策略較具影響性，然綜合評估結果以雙北地區運具變化較明顯；併行公共運輸月票情境下，小汽車總移轉旅次量較汽車停車調漲情境僅有些微幅度增加 (0.7 萬人旅次/日)，移轉至機車的旅次量較僅推動汽車停車收費漲價情境低，較多旅次改移轉至公共運輸，如圖 11 所示。

- (4) 增加機車停車管理策略，小汽車移轉量減少；擴大施政區域範圍，小客車旅次變化大於機車

情境 4 提高機車停車收費比時，使機車使用成本上升，可降低機車之使用，情境 4 較情境 3 只推動汽車停車收費機車移轉比例降低，如圖 12 所示。

情境 5 及情境 4 以同樣的汽機車收費比率進行設定，但費率調漲之區域設定不

同，情境 4 僅於臺北市市中心設定，情境 5 於臺北市市中心及新北市高繁忙地區進行費率調漲設定。比較情境 4 及情境 5 機車移轉程度可以發現，政策範圍推展至新北區域後，汽車移轉至機車的程度擴大，如圖 13 所示。

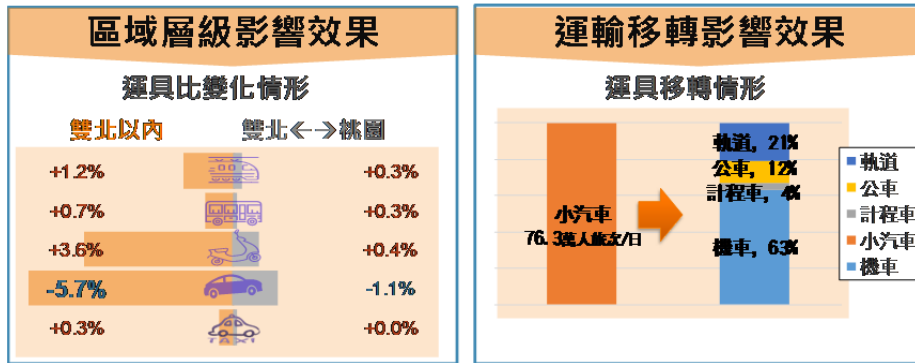
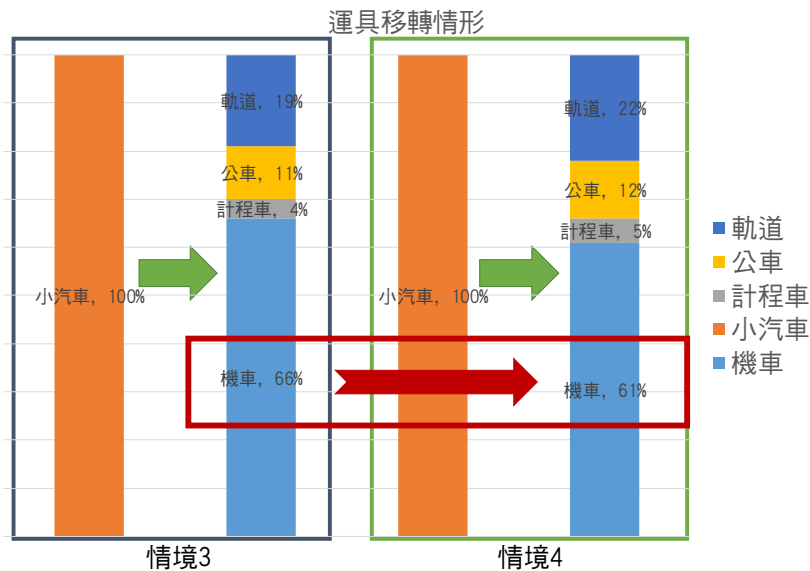


圖 11 策略併行結果



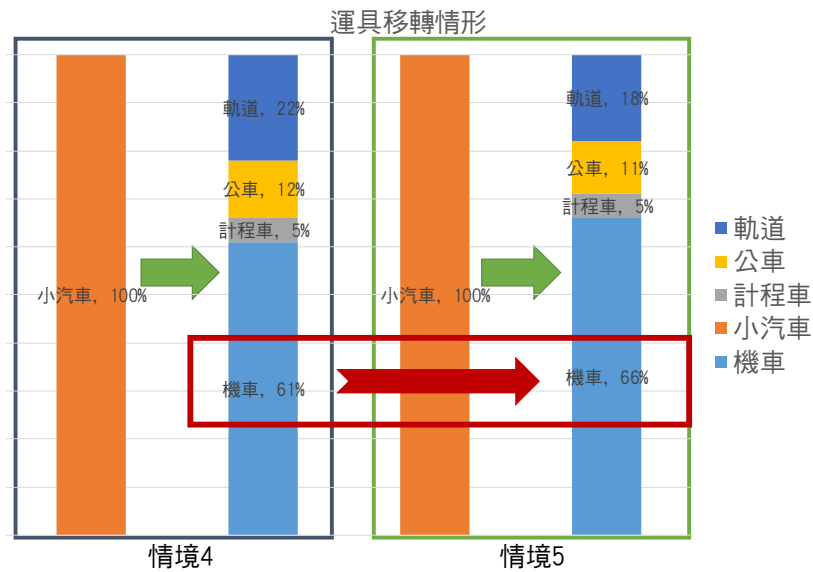
註：移轉量為情境 3、4 與情境 1 比較。

圖 12 情境 3、4 運具移轉效果來源

4.2 都會區污染防制案例

1. 情境組合

(1) 情境 0：無公車電動化+私人運具油品使用成本調整；



註：移轉量為情境 4、5 與情境 1 比較。

圖 13 情境 4、5 運具移轉效果來源

- (2) 情境 1：僅推動公車電動化；
- (3) 情境 2：僅推動私人運具油品使用成本調整；
- (4) 情境 3：同步推動公車電動化+私人運具油品使用成本調整。

2. 運輸需求分析探討

各情境組合運輸需求分析運具比彙整如表 13 所示。推動「私人運具油品使用成本調整」情境下 (情境 2、情境 3)，小汽車旅次有些微下降效果，機車旅次雖亦受油品價格上升影響，但由於小汽車使用者轉移使用機車之影響效果較大，機車旅次反而出現微量上升效果。

3. 能源消耗分析探討

能源消耗總量以情境 0 最高，以情境 3 同步推動公車電動化+私人運具油品使用成本調整情境最低，政策之減量效果明顯以大客車電動化效果較佳；由於燃油成本提高，小客車能源消耗以情境 2、情境 3 較低，部分旅次轉移至機車，造成機車能源消耗情境 2、情境 3 略增，大客車則係由於電動化以情境 1、情境 3 最低，如表 14 所示。

4. 碳排放量分析探討

各情境碳排放情形及相較情境 0 之變化量彙整如表 15 所示。碳排放量分析結果與能源消耗一致，碳排放總量以情境 0 最高，以情境 3 同步推動策略情境最低。減碳效益計算如表 16 所示，並以一座大安森林年吸附量 389 公噸計算各情境減碳量轉換為大安森林年吸附量；情境 3 減碳效益約可達 8.2%，相當於 1,576 座大安森林公園年吸附量。

表 13 都會區污染防制案例各情境運具比

情境	機車	小汽車	計程車	公車	軌道	總旅次(千人旅次/日)
情境 0	38.1%	27.4%	3.2%	9.6%	21.7%	15,214
情境 1	38.1%	27.4%	3.2%	9.6%	21.7%	15,214
情境 2	38.1%	27.3%	3.2%	9.6%	21.8%	15,214
情境 3	38.1%	27.3%	3.2%	9.6%	21.8%	15,214

表 14 都會區污染防制案例情境 0 能源消耗量及各情境能源變化量

單位：公秉油當量/日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	4,256	558	2,072	1,391	324	97	8,697
情境 1	—	—	—	-622	—	—	-622
情境 2	-26	1	3	-1	—	—	-23
情境 3	—	—	—	-622	—	—	-622

註：能源變化量以各情境與情境 0 比較。

表 15 都會區污染防制案例各情境碳排放量

單位：公噸/日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	11,147	1,461	5,410	3,883	760	230	22,890
情境 1	—	—	—	-1,825	—	—	-1,825
情境 2	-69	2	8	-2	—	—	-61
情境 3	-69	2	8	-1,827	—	—	-1,886

註：碳排變化量以各情境與情境 0 比較。

表 16 都會區污染防制案例各情境減碳效益

情境	減碳效益	
	於情境 0 比較之成長率	以大安森林年吸附量計
情境 1	-8.0%	1,525 座
情境 2	-0.3%	51 座
情境 3	-8.2%	1,576 座

註：能源變化量以各情境與情境 0 比較，以大安森林年吸附量 389 公噸計算。

5. 空污排放分析判討

各情境空污排放估計結果如表 17~19 所示，空污排放總量皆以情境 3 表現最好。另觀察各類污染物於運輸系統之分布，NO_x 排放分布在基礎情境以大客車為主，在大客車電動化推動後排放量大幅降低；CO、PM_{2.5} 排放則係以小客車、機車為主。

表 17 都會區污染防制案例各情境 NO_x 排放

單位：公斤／日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	20,901	3,423	8,758	24,307	—	—	57,389
情境 1	20,901	3,423	8,758	11,965	—	—	45,047
情境 2	20,809	3,436	8,784	24,306	—	—	57,334
情境 3	20,809	3,436	8,784	11,968	—	—	44,996

表 18 都會區污染防制案例各情境 CO 排放

單位：公斤／日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	117,810	19,926	82,909	9,082	—	—	229,727
情境 1	117,810	19,926	82,909	3,191	—	—	223,836
情境 2	117,139	19,960	83,049	9,072	—	—	229,221
情境 3	117,139	19,960	83,049	3,183	—	—	223,331

表 19 都會區污染防制案例各情境 PM_{2.5} 排放

單位：公斤／日

情境	小客車	計程車	機車	大客車	捷運	臺鐵	總計
情境 0	3,134	326	1,385	1,202	—	—	6,048
情境 1	3,134	326	1,385	630	—	—	5,476
情境 2	3,120	328	1,389	1,202	—	—	6,038
情境 3	3,120	328	1,389	630	—	—	5,466

本計畫空污排放推估僅針對行駛中之排放進行分析（發電造成之空污排放未列入本計畫估算範疇），市區公車電動化後行駛中將不會產生污染排放，大客車空污排放主要貢獻自遊覽車、自用大客車。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 機車停車收費政策效果有限，無法完全消除私人運具使用：運具使用成本包含時間與金錢成本，即使公共運輸使用成本減少，但由於私人運具具有及戶性優勢，公共運輸不易比擬，政策之運具移轉影響成效有限。
2. 機車停車收費調漲對公共運輸轉移成效有限：現況停車費率過於低廉，情境假設之停車費調漲額度不足以嚇阻機車使用效果，移轉誘因不大。
3. 併行公共運輸優惠與汽機車停車收費措施，較只施行汽車停車收費會有移回小客車或機車現象：推動汽機車停車收費下，除可透過推動公共運輸優惠增加使用公共運輸誘因外，由於私人運具使用之便利性、可及性高，私人運具間替代效果強，為減弱私人運具替代性，政策推動可朝改善公共運輸服務之易行性及可及性方向發展。
4. 私人運具油品使用成本調整漲 2 元增額影響有限：檢視歷年油價趨勢與運輸需求變化，發現油價增額需到一定程度才有顯著影響。
5. 公車電動化策略大幅降低 NO_x 排放：由於 NO_x 主要排放源為柴油車輛，推動公車電動化使 NO_x 排放量降低 20.5%，NO_x 減量效益明顯。
6. 車輛能源型態轉換之減碳、減排效益明顯：由於車輛能源型態轉換直接減少大部分車輛行駛中之碳排放量及空氣污染物排放量，減量效益卓越；然對國家整體排放效益尚需考慮發電過程所造成的排放量，因此車輛能源型態轉換策略之效益仍受我國發電結構影響。

5.2 建議

1. 停車費政策施行建議

- (1) 相較直接提高現行停車費率，擴大停車收費比率較能有效落實停車管理：停車費用調漲政策可透過收費比率或停車費率操作，然停車費率增加僅針對付費格位進行，對用路人不公平，未能滿足使用者付費原則，擴大停車收費比率落實停車管理較具效率、公平性。
- (2) 停車費用訂定具有有效上限定價：增收政策除可減少私人小客車使用、增加公共運輸使用外，亦可挹注停管基金，作為發展大眾運輸策略之財源。然停車費率之訂定應考慮停車市場供需平衡之有效定價；實務經驗發現由於政府僅能針對公有停車場／停車格訂定費用，無法要求民間停車業者統一定價，當價格過高時，民眾會選擇改至一般私人停車場停車，無法有效改變運具選擇行為。
- (3) 停車費策略推動之有效性，可能因旅次起迄點之公共運輸條件而有差異：政策推動

在增加民眾運輸成本情形下，應先滿足民眾基本「行」的需求，完善公共運輸路網，提供民眾有「選擇」公共運輸的機會。

2. 分析工具應用建議

- (1) 分析議題目前仍侷限在公共運輸發展、票價費率制定等總體策略，車輛怠速等交通管制策略分析方法仍有發展空間：本計畫在分析工具之應用上係採用運輸需求巨觀模型，主要就總體運輸行為進行預測分析；車輛怠速等交通管制策略分析計算尚缺乏車輛怠速之排放係數，並需仰賴微觀模型操作分析。
- (2) 本計畫效益評估目前未探討成本效益：由於政策之成本評估包含很多面向，本計畫主要為開發運輸策略評估工具，未能針對特定單一政策進行全盤討論分析，政策決策時應就各面向進行評估。
- (3) 案例分析結果推動車輛停車收費策略影響較發展公共運輸月票大，然政策之推動不只考慮效益，其投入成本、實務推動性及營運永續性皆為重要考量因素，建議政府實施策略應在考慮財務永續性下進行評估。

參考文獻

1. 環保署，溫室氣體減量及管理法，民國 104 年。
2. 交通部運輸研究所，城際運輸節能減碳策略評估模組開發及應用 (2/2)，民國 105 年。
3. 交通部運輸研究所，都會運輸節能減碳策略評估模組開發及應用 (1/2)，民國 106 年。
4. Brand, C., Mattarelli, M., Moon, D., and Calvo, R. W., "STEEDS: A Strategic Transport-Energy-Environment Decision Support", *European Journal of Operational Research*, Vol. 139, No. 2, 2002, pp. 416-435.
5. Nemry, F., "Transport Models in Use by the European Commissions", presented at UNECE Global Conference, April 24, 2012.
6. Paleti, R., Bhat, C., Pendyala, R., Goulias, K., Adler, T., and Bahreinian, A., "Assessing the Impact of Transportation Policies on Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emissions Using a Household Vehicle Fleet Simulator", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2430, 2014, pp. 182-190.
7. Hensher, D. A., "Climate Change, Enhanced Greenhouse Gas Emissions and Passenger Transport – What Can We Do to Make a Difference", *Transportation Research Part D*, Vol. 13, No. 2, 2008, pp. 95-111.
8. Jacob, T., "Energy Technology Perspectives Sustainable Transport in an Era of Urbanization", International Energy Agency, 2016.
9. Transport & Mobility Leuven, "TREMOVE Model Description", TREMOVE version 2.7, 2007.
10. E3 Modelling, "PRIMES", <http://e3modelling.gr/modelling-tools/primes/>, 2018.
11. Transport & Mobility Leuven, "TREMOVE", <http://www.tmlleuven.be/methode/tremove/home.htm>, 2018.

12. 交通部運輸研究所，第 5 期整體運輸規劃研究系列－城際旅次特性分析及補充調查，民國 105 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－以大客車為例 (1/2)，民國 100 年。
14. 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。
15. 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。
16. 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。
17. 交通部運輸研究所，能源消耗、污染排放與車輛使用之整合關聯模式研究 (3/3)，民國 99 年。
18. 經濟部能源局，「資訊與服務」，<https://www.moeaboe.gov.tw/>，民國 106 年。
19. 環保署，空氣污染排放清冊 TEDS9.0，民國 106 年。

