

國立台北大學資源管理研究所

碩士論文

指導教授：蕭代基 博士

馮正民 博士

空氣污染移動源管制政策之成本有效性
分析

研究生：郭彥廉

中華民國八十九年六月

謝誌

本論文得以順利完成，首先要感謝蕭代基與馮正民兩位指導老師的悉心指導，使學生能在交通、經濟、環境領域有更深一層的認識。除了論文及課業上的指導外，蕭老師嚴謹的治學理念及謙虛的做人處事態度，相信會使我一生受用。學生謹於卷首對兩位老師致上最深切的謝忱與敬意。

論文口試期間，承蒙蔡俊鴻老師提供寶貴建議，使本論文得以更臻完備與充實，謹此致以由衷之謝意。

論文寫作期間，交大運研所的李國正學長非常費心地多次指導我軟體操作，亞聯工程顧問公司的楊金華先生及中鼎工程公司的倪佩貞小姐提供資料，以及本所所有老師的指導，在此一併致謝。另外同學：星翔、雅洵、伯豪、銘峰、曉蘭、柏鈞、宗文、文胤、戎彥、文祥、宗達、景煌及學弟妹給予的鼓勵與幫助，都將成為我人生中無法磨滅的美好回憶。

最後要感謝一直在背後默默支持我的父母親、妹妹及貴鳳，謝謝你們對我的包容與照顧。

謹誌於
國立臺北大學資源管理研究所
中華民國八十九年 六月

國立臺北大學
資源管理研究所 碩士論文

空氣污染移動源管制政策之成本有效性分析

(88)

研究生：郭彥廉 撰

Zeon PDF Driver Trial
www.zeon.com.tw

空氣污染移動源管制政策之成本有效性分析

郭彥廉

摘要

本研究針對台北市中心區空氣污染移動源問題，評估電子道路定價及限制每戶車輛數兩種政策的成本有效性。前者的收費範圍除進入市中心區的道路橋樑以外，區內旅次也應在屏柵線收費。收費的對象與費率依據外部成本內部化原則，應以車輛大小（PCU）為比例計算費率適用所有私人運具。車輛持有管制政策，則是限制台北都會區每戶最多持有一輛小客車。

研究結果顯示，車輛持有管制政策每年產生 4856 噸的空污減量及 63.42 億元的時間節省效益，遠高於其每年 5.71 億元的成本（消費者剩餘減少），值得優先推行。若電子道路定價的每日費率為機車 45 元、小客車與計程車 150 元、大眾運輸系統使用者補貼 10 元，則空氣污染的減量為 31984 噸，將政策的實施成本加上收費造成的消費者剩餘減少，再扣除時間節省效益後稱為淨成本，電子道路定價對空污減量的單位淨成本為每噸 15.16 萬元，低於許多汽車排氣檢測、降低車輛排放標準政策。

關鍵字：車輛持有管制、電子道路定價、移動源、成本有效性

A Cost-effectiveness Analysis of Policies for Abating Mobile Source Emissions

Yan-Lien Kuo

Abstract

The objective of this study is to evaluate the cost-effectiveness of electronic road pricing (ERP) and automobile ownership policy that can abate the mobile source emissions at the central business district (CBD) of Taipei. Under ERP, the trips entering the CBD and intra-CBD trips will be charged. In order to internalize external costs, the fare rates of vehicles are proportional to the vehicle's private car unit (PCU). Under the automobile ownership policy, each household in Taipei can't hold more than one automobile.

The result shows that automobile ownership policy is worthwhile to be adopted. Because it will result in 4,856 tons air pollution abatement and 6,342 million NT\$ of time-saving benefit which is much larger than its 571 million NT\$ cost per year. Suppose the road pricing fare for a motorcycle is NT\$50, NT\$100 for a car and a taxi, and every public transit user is subsidized with NT\$10 per day, it'll result in 31,984 tons air pollution abatement. The net cost of ERP is the sum of implementation cost and reduced consumer surplus minus time saving benefit. ERP's net cost-effectiveness of air pollution abatement is NT\$151,000 per ton that is lower than many other vehicle emission reduction policies such as more stringent emission standards and automobile inspection program.

Keywords: automobile ownership policy, electronic road pricing, mobile source, cost-effectiveness

目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	VI
第一章 前言	1
第一節 研究動機與目的.....	1
第二節 研究範疇與內容.....	6
第三節 研究方法與流程.....	8
第二章 文獻回顧	11
第一節 經濟理論.....	11
第二節 實證文獻.....	14
第三節 小結.....	18
第三章 研究方法	19
第一節 實證模型.....	19
第二節 政策的評估.....	22
第四章 實證研究	27
第一節 資料處理與模型校正.....	27
第二節 電子道路定價政策.....	31
第三節 車輛持有管制政策.....	36
第五章 結果與討論	38

第一節	結果.....	38
第二節	討論.....	40
第六章	結論與建議.....	44
第一節	結論.....	44
第二節	建議.....	44
參考文獻		47
附錄 A	台灣地區與台北市 87 年排放量表.....	51
附錄 B	台北縣市車輛排放係數.....	53
附錄 C	電子道路定價與車輛總量管制計畫介紹.....	56

ZEON PDF DRIVER TRIAL
www.zeon.com.tw

圖目錄

圖 1.1	研究範疇.....	8
圖 1.2	研究流程圖.....	10
圖 2.1	最適道路定價與移動源污染稅.....	12
圖 4.1	台北市中心區路網圖.....	29
圖 4.2	車輛使用管制政策分析流程.....	33
圖 4.3	單一運具收費對總車旅次的影響.....	33
圖 4.4	組合收費方案對總車旅次減量的效果.....	34
圖 4.5	車輛持有管制政策分析流程.....	36

Zeon PDF Driver
www.zeon.com.tw

表目錄

表 1.1	移動源管制政策與案例.....	4
表 1.2	台北市各空氣品質監測站 PSI 值.....	8
表 2.1	Proost and Dender (1999) 的研究結果.....	16
表 2.2	重要相關文獻摘要.....	17
表 4.1	台北都會區民國九十年的旅次起迄表.....	28
表 4.2	各旅次目的的運具效用函數之係數.....	30
表 4.3	本研究與 DOTS 1 民國九十年每小時交通量預測結果比較	31
表 5.1	各種政策方案對模式各部分的影響.....	38
表 5.2	各種政策方案的效果.....	39
表 5.3	各種政策方案的總成本與空污單位減量成本.....	39
表 5.4	南高屏地區移動源管制政策之成本有效性分析文獻.....	40

第一章 前言

空氣污染移動源是指非以固定式排放設備（如煙囪）排放空氣污染物的來源，以下簡稱移動源，其所排放的空氣污染物占台北市極高比例。欲改善都市地區的空气品質，移動源的管制是非常重要的。以下先分析台灣的移動源現況，再回顧移動源管制政策，進而界定研究目的、範疇與分析方法。

第一節 研究動機與目的

移動源可以將之分為公路運輸—公路上各種機動車輛，與非公路運輸—農業機具、鐵路、船舶、航空器等。在台灣，這兩類移動源造成的空氣污染情形如何，移動源管制政策有哪些種類，台灣過去曾採用哪些政策，以下將分述之。再經由背景的分析提出本研究的目的。

一、移動源污染現況

依據環境保護署台灣排放資料庫（TED 4.2）的資料（附錄 A），民國八十七年台灣移動污染源排放之 NO_x （氮氧化物）佔總量 43.65%、CO（一氧化碳）69.87%、NMHC（非甲烷碳氫化合物）28.80%。在台灣，非公路運輸之移動源產生的空氣污染物多未超過總量的 3%，並非重要來源，因此公路運輸的移動源是造成空氣污染的主因之一。另外，移動污染源所產生的 NO_x 與 NMHC 是形成（低空）臭氧的主要來源，臭氧已成為空氣品質不良日數中，首要的指標污染物（台北市環境保護局，1998），其會導致許多呼吸系統與眼睛的損害。

在都市地區，以台北市的推估為例（附錄 A），移動污染源排放之 NO_x 佔總量 83.97%，CO 佔總量 99.30%，NMHC 佔總量 63.27%，其比例較全國高出許多，移動污染源的問題在都市地區益形嚴重，而台

北市正是移動污染源比例最高的地區。依據鄭福田（1986）的研究，台北市空氣污染物排放強度最高的地區集中在舊市區，也正是道路交通量最大的地區。欲改善空氣品質，移動源的管制是非常重要的。

二、移動源管制政策

移動源不僅是空氣污染的重要來源。一項研究指出，西德於 1985 年一年因運輸產生的環境損害成本為 1035 億馬克（含空氣、水、土壤、噪音污染），約為當年 GDP 的 6%，機動車使用所造成的環境損害成本佔了 420 億馬克，尚不包括交通事故的 350 億馬克。但機動車的使用者並不負擔這麼多成本，例如 1987 年的載貨卡車所負擔的成本，僅及其產生社會成本（包括各種污染、事故、擁擠成本）的 15%，而小客車也僅 26% ~ 29%。（馮正民，1997）

交通部門過去對於交通擁擠問題大都以供給面管理的方式因應，也就是增加交通建設以滿足日漸增加的需求。但交通所引起的上述外部成本並無法透過供給面管理的方式解決，正如環境經濟學的觀點，環境問題根源於財產權不完整所引起的外部性，而公路運輸造成的環境與交通上的無效率也是相同的情形。因此近年來交通需求管理（transportation demand management）或永續運輸（交通）的觀念興起，也就是讓交通資源的配置達到最適，且在環境的涵容能力之下，達到人移動的目的。Robinson（1997）將運輸需求面管理的策略分為以下四大類：

1. 基礎建設相關的政策包括，推動共乘（car pooling and van-pooling）、高乘載車道（high occupancy vehicle lanes）、推動大眾運輸、改變土地規劃與都市分區使用、推動自行車與步行計畫等。
2. 經濟誘因相關的政策包括，道路定價（road pricing）、停車管理、燃料稅、污染稅、牌照稅（license fees）、高耗油稅（gas-guzzler taxes）。
3. 雇主相關的政策包括，替換工作時間、電子通勤（tele-commuting）。

4. 公眾意識相關的政策包括，教育推廣、車輛檢修 (vehicle inspection and maintenance) 計畫、舊車淘汰 (vehicle scrapage) 計畫等。

雇主相關政策涉及總體經濟的影響，公眾意識相關政策中的教育推廣則需評估長時間的改變，以上兩者都較難評估。基礎建設相關政策中改變土地使用一項，一般屬都市計畫層次，較區域性交通與環境政策為上位，短時間不易為移動源而改變。

若將基礎建設相關政策解釋為硬體設備改善，則車輛檢修、舊車淘汰與提高車輛排放標準也可歸於此類，因其皆由硬體的改善以減少外部性。經濟誘因相關的政策中，道路定價又稱為擁擠定價 (congestion pricing) 或擁擠稅 (congestion tax)，定義為道路使用的邊際社會成本與私人成本之差，對駕駛人收取該差額便可使道路的使用更有效率 (Knight, 1924)。同理，污染稅 (費) 定義為污染排放之邊際社會成本與私人成本之差 (Baumol and Oates, 1988)。將其他的政策再作細分，則可分為交通與環境政策兩方面來討論，以解決交通、擁擠問題，或建設、維護道路設施的政策歸類為交通政策；解決空氣污染問題的政策歸類為環境政策。若政策採用收費或可交易總量管制則歸類為經濟誘因政策，若無則歸類為行政管制政策，各種政策的實施方式與案例整理如表 1.1。

表 1.1 移動源管制政策與案例

政策		方式與案例	
		經濟誘因政策	行政管制政策
環境政策	清潔車輛政策	<ol style="list-style-type: none"> 隨車徵收之環境稅，以反應不同車輛之環境外部性，如多數 OECD 國家均已採用的差別牌照稅、車輛貨物稅等。 補貼低排放車輛與舊車淘汰等。 	<ol style="list-style-type: none"> 排放標準與設備管制。 規定低排放或零排放車輛的銷售數量，如台灣規定電動機車銷售比例。
	清潔燃油政策	隨油徵收之環境稅，以反映不同品質燃油與使用量之環境外部性，如台灣的空污費，或芬蘭、瑞典等的燃料費。	替代燃料政策，規範使用者改用新配方汽油 低硫柴油等低污染燃料。
交通政策	車輛持有政策	<ol style="list-style-type: none"> 調高車輛持有費用，如新加坡與香港調高車輛登記費或牌照費。 限制車輛總數，如新加坡的車輛配額計畫 (vehicle quota scheme)，每年標售固定數量的牌照。 	車輛持有條件限制，如日本東京地區限制車輛持有者需擁有該地區之路外停車位。
	車輛使用政策	<ol style="list-style-type: none"> 道路維護費，如台灣的汽燃費 (僅依排放量計算)。 市區收費 (cordon pricing)，對進入市區的車輛收費，如新加坡的區域通行證計畫及電子道路定價、紐約曾實施的橋樑道路定價、挪威 Bergen , Oslo & Trondheim 三市的收費環 (toll rings)。 差別停車費，依區域擁擠程度訂不同的停車費。 里程收費，依行車的距離收費，如法國、美國等國家的收費公路。 擁擠收費，依行車的時間與距離收費，如香港曾試辦的電子道路定價。 	<ol style="list-style-type: none"> 禁止通行，如台北市西門町的行人徒步區、美國波士頓市中心區禁止通行。 車牌管制，雅典的拉哥斯是曾實施車號管制，亦即單雙號車牌一週中分別有三天禁止進入市區。 車流管制，如瑞典哥特堡的市中心車流管制，以障礙禁止車輛越區行駛。 共乘、高乘載車道。

資料來源：1. Chia and Phang (1999)；2. Small and Gomez-Ibanez (1998)；3. 張有恆 (1992)；4. 蕭代基、葉淑琦 (1998)；5. 環境保護署 (1998)

三、過去實施的移動源管制政策

近年來台灣在空氣污染的管制上有相當大的改變，八十七年修正通過的空氣污染防治法中，除了以往實施的排放標準、空污費等，還加入了總量管制的規定。國內固定污染源也因管制工具加強與多樣化而有改善。但在移動源方面，空氣污染防治法在民國七十一年修正時就授權主管機關訂定移動源的管制策略，過去多著重於排放標準管制。自民國七十九年七月一日起台灣地區出廠的新車型或新車均需達到的空氣污染物排放標準，降低了百分之八十，並將逐年加嚴。然而新車的排氣雖有改善，但因新車占總路面行駛車輛的比例低，加上汽機車數量增加迅速，民國八十六年的成長率就高達 9%，各大都市空氣品質仍未達空氣品質標準，移動源仍是各大都市空污的主要來源。

在推動替代燃料與低排放車輛方面，依環境保護署網站的資料，台灣已接受補貼改裝、汰換的液化石油氣（LPG）車共 12585 輛（86 年 7 月 17 日止），佔總車輛的比例仍低，且多為計程車；壓縮天然氣（CNG）車，僅有六輛公車（89 年 6 月底止）；電動機車共有 3609 輛（88 年 5 月 21 日止），低污染車輛的使用仍低。

在環境的經濟誘因政策方面，民國八十四年七月依據新空污法（八十一年修訂），對機動車輛隨油徵收空污費，但因燃料的價格彈性極低，空污費又因專款專用的原則而無法有效利用，費率因而在八十六年度降低，無法使機動車使用者的行為改變（蕭代基等，1998），空污費的成效因此大打折扣。

在交通政策方面，不論是台灣或台北市，過去多著重於交通建設的供給面管理與大眾運輸系統的補貼，不具長期減少交通量的誘因。需求面管理方面，除了車輛貨物稅、關稅、汽燃費、牌照稅等依車輛汽缸總排氣量收取的費用以外，對車輛的使用與持有缺乏有效的管制工具。台北市方面，停車費率提高、區域差別費率與違規拖吊費用提高等政策均遲遲無法實施，目前僅西門町一帶實施的行人徒步區有限制車流的效果，但實施範圍小，改善空氣污染的效果極有限。

四、研究目的

由以上的背景分析可以發現，公路運輸的移動源是台北市空氣污染的主要來源，而且在文獻中可以發現有非常多樣的移動源管制政策，台灣過去的空气污染防治政策無法有效地減少移動源。本研究的目的就是評估數個移動源管制策略，做為進一步改善地區性、都會區空氣污染的政策建議。

第二節 研究範疇與內容

本研究基於研究目的與資源限制，必須界定研究範疇。空間範疇為台北都會區，因前述台北市移動源排放佔總量比例極高，但移動源的污染行為主要來自交通，而台北市的交通與其鄰近的地區有很密切的關係，亦即台北縣與桃園縣的數個鄉鎮。例如台北市交通局（1997）的交通需求模型便界定台北都會區為台北市及台北縣的三重市、新莊市、蘆洲鄉、五股鄉、泰山鄉、林口鄉、八里鄉、板橋市、中和市、永和市、樹林鎮、鶯歌鎮、土城鄉、三峽鎮、新店市、深坑鄉、烏來鄉、坪林鄉、石碇鄉、汐止鎮、淡水鎮、三芝鄉、石門鄉，以及桃園縣的龜山鄉。

由表 1.2，空氣品質監測站的空氣污染指標值（PSI）中可以發現，台北市交通路網最密集的地區空氣品質較其餘區域為差，如一般稱為舊市區或市中心區（central business district，CBD）部分，包括大同區、中山區、松山區、信義區、中正區、大安區、萬華區等。因此本研究的研究範圍訂為上述的台北市中心區。時間範疇方面，台北都會區在民國八十五年捷運系統與快速道路陸續通車後，交通路網及運具選擇均有顯著改變，所採用的模式需能確實反應民國八十五年後的各項交通建設所造成的改變。此外，評估的時間不宜太長，以現在或短期的未來為主。

表 1.2 台北市各空氣品質監測站 PSI 值

一般測站	松山	萬華*	古亭*	士林*	南港	汐止*+	大直
PSI 值	55	64	76	37	17	40	42
交通測站	承德	中北					
PSI 值	155	57					

註：*者為環境保護署測站，其餘為台北市環境保護局測站；+為 2000 年 6 月 20 日 16:00 資料，其餘為 16 日 16:00 資料

資料來源：台北市環境保護局網站

本研究的目標以傳統的空氣污染物，以及一般交通模式所區分的運具為主，因研究目的在改善都會區的空氣品質，加上評估的時間較短，會長期停留且均勻混合於大氣中的溫室氣體如 CO₂ 等，不包括在評估範圍內，而以傳統的空氣污染物為標的，包括 SO_x、NO_x、CO、NMHC 等。運具則包括機車、小客車、計程車、公車及貨車。

在研究的政策方面，上節所回顧的四大類政策中，雇主與公眾意識相關政策因涉及總體經濟且需評估長期影響，因此不在本研究範圍內。本研究將討論表 1.1 中的數個政策，如清潔車輛及燃料、車輛持有、車輛使用管制等。

由以上研究目的與範疇界定的結果(參見圖 1.1)，本研究的內容即在於評估台北都會區移動源管制政策對交通量、交通時間及空氣污染的影響。由於並非評估所有公路運輸的外部性，非完整的政策成本效益分析，因此不將效益全部貨幣化，亦即採用成本有效性的評估法，評估各種政策之成本與效果，或轉換為單位效果所需成本，可與其他政策相比較。

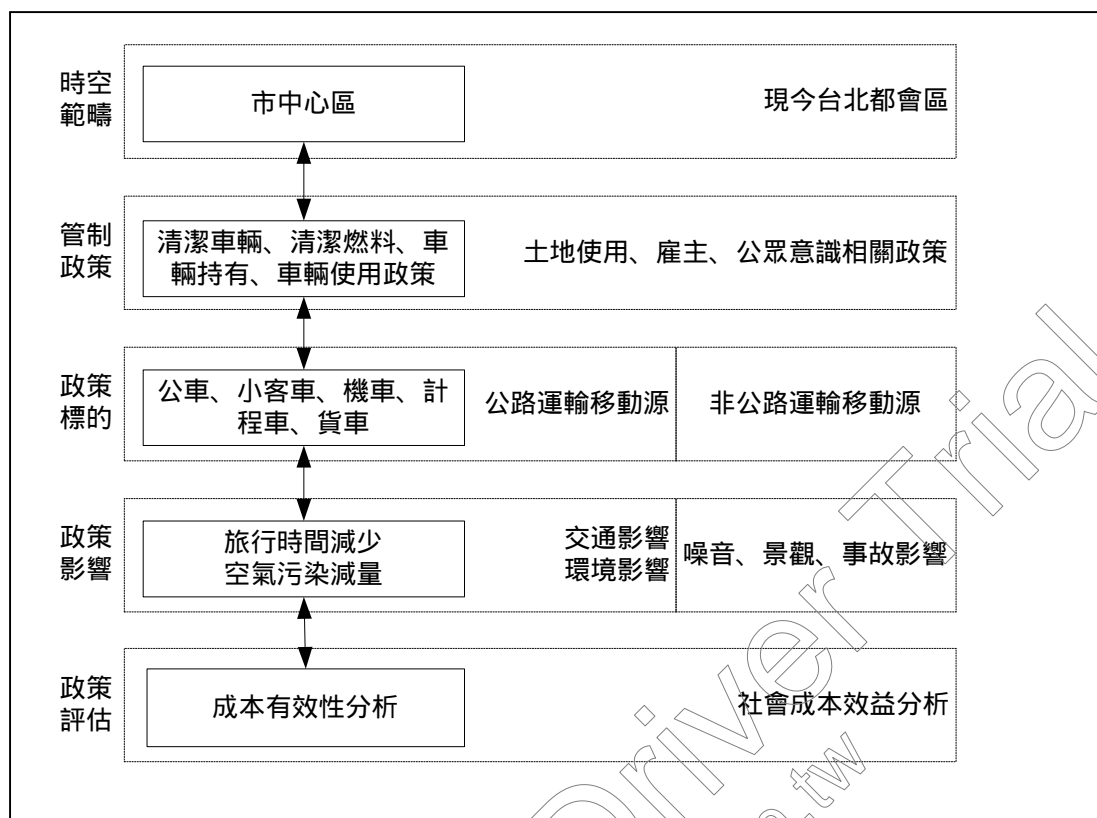


圖 1.1 研究範疇

第三節 研究方法與流程

欲評估個案或政策對空氣污染物之型態及數量之影響，可以依據個案之形式或行動構成的排放係數計算，排放係數指空氣污染物由燃燒或工業生產等活動排入大氣之平均比率，依行動之等級來區分，與排放係數相關之指標有生產能力 燃燒燃料量 車輛行走里程數等(U.S. EPA, 1973) 因此，可以用下面的公式計算道路車輛之空污排放量(環境保護署，1998)：

$$\text{排放量} = EF_{abc} \times \text{Activity}_{abc} \quad (1.1)$$

式中，Activity 為活動量，即每種機動車輛消耗之能量或行駛里程；EF 為排放係數，即每單位活動量產生之排放量；a 為燃油種類（柴油、汽油等）；b 為車輛種類（小客車、機車等）；c 為排放控制技術。

移動源的排放與其活動行為也就是交通行為相關,因此本研究需建立一個交通需求 排放模型,其流程如圖 1.2 所示。該模型包含一個交通需求模型,描述不同速度的車行距離(延車公里)與車輛持有、使用成本、車輛及使用人的特徵、公路路網之關係,以及一個移動源排放係數,敘述各種車輛在某速度下,行駛某距離平均排放各種空氣污染物的量。本研究所擬定的管制策略將造成車輛使用或持有成本改變,進而影響車行距離。透過排放係數的關係可以得到其對空氣污染減少的效果。在管制政策方面,本研究將以經濟誘因工具為主,包括交通政策如擁擠定價等,以及排放稅(費)的方式,提高車輛使用成本,使空氣污染的外部成本內部化。

移動源所造成的空氣污染在都市中是相當嚴重的。過去的排放標準管制,及低費率隨油徵收的空污費政策,很難在高車輛成長率的情形下,有效地減少移動源空氣污染。若決策者欲以最低成本改善都市空氣品質,則本研究將可提供幾種移動源管制政策的成本與效果,決策者在決定空氣品質目標後,依政策的減量單位成本進行實施參考。

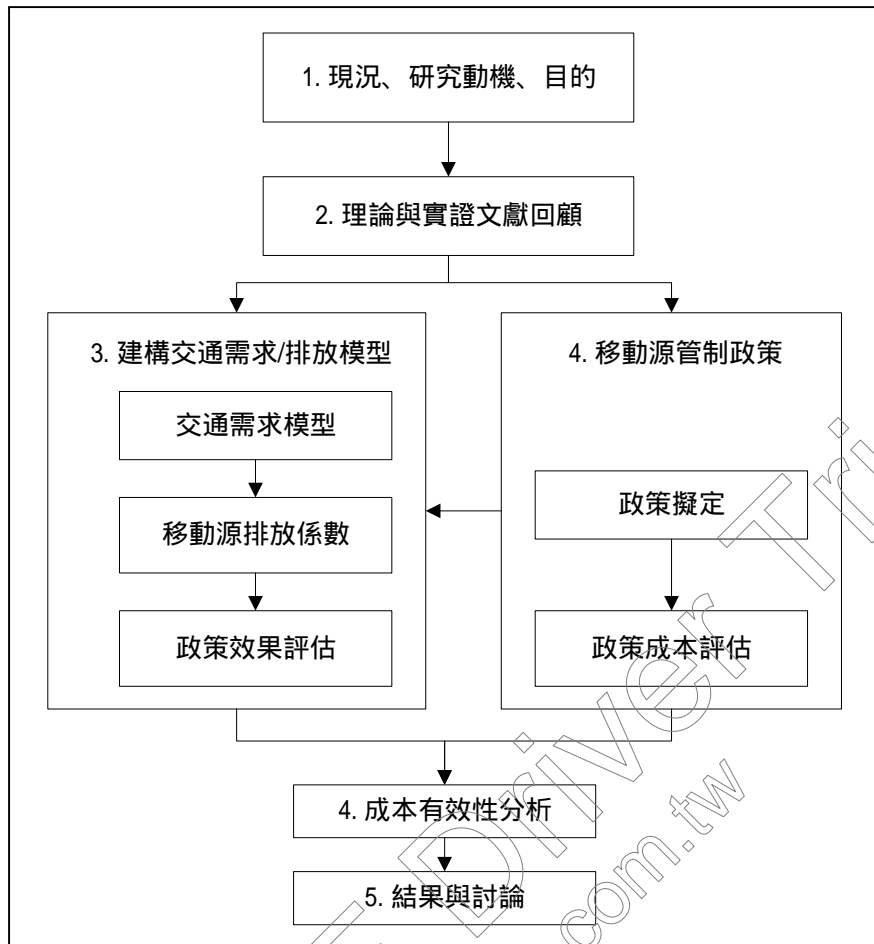


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

由於本研究的目的是運用環境與交通政策來解決移動源造成的空氣污染，所應用的模型是由交通需求及移動源排放模式所構成。因此，文獻回顧會收集相關理論及政策成本效益分析文獻。

第一節 經濟理論

以下將分別回顧與本研究相關的兩方面經濟理論，一者為交通與環境政策的理論，亦即本研究欲探討的清潔車輛、清潔燃油、車輛持有與使用政策。一者為交通需求模型的理論，如何估計交通需求。這些是評估方法及政策上的理論基礎。

一、交通與環境政策

由環境經濟學的觀點，環境問題根源於財產權不完整所引起的外部性，而機動車使用造成的環境與交通上的無效率也是相同的情形，美國環境保護署(1997)將之列舉如下：1)機動車使用造成移動源空氣、水、噪音污染；2)機動車排放二氧化碳、氮氧化物及使用氟氯碳化物造成溫室效應、臭氧層稀薄；3)交通建設造成生物棲地減少、多樣性損失；4)交通建設造成視覺與景觀的損失；5)車輛行駛造成交通擁擠與旅行成本增加；6)交通事故；7)過多的交通建設。1到4屬於環境面的外部成本，5和6屬於社會的外部成本，7則是因為補貼所引起的。目前在都市中，機動車最受重視的問題便是空氣污染、交通擁擠、噪音與交通事故，而噪音問題的衡量與效益評估較困難，在這個研究中暫不考慮。

探討環境與交通擁擠外部性理論都將 Pigou(1920)的 Economics of Welfare 視為起源，文中舉了一個兩條道路的例子，Pigou 認為若有兩條道路，其中一條設有收費站，對使用者收費，另一則免費，則在收

費的道路上，其車速與旅行時間，都會較另一條無收費的道路為佳。Knight (1924) 進一步以模型說明此現象。這種要求使用者對其產生的外部性依據邊際外部成本付費以達資源配置有效率的理論，在環境問題方面，成為 Baumol and Oates (1988) 提出污染者付費的觀念，兩者都可以圖 2.1 來說明，各種交通建設都有一定的設計容量，環境系統對於空氣污染也有涵容能力。以道路為例，道路上行駛的車輛數在超過設計容量 Q_1 後，行駛速度減緩使得邊際社會成本 MSC 會快速增加，但在未付費情形下，因擁擠效果為公共外部性，該路段上的所有車輛會受到相同的影響，因而駕駛人以私人邊際成本 MPC 等於社會平均成本 ASC 做車輛使用的決策，而非 MSC，造成資源的過度使用。

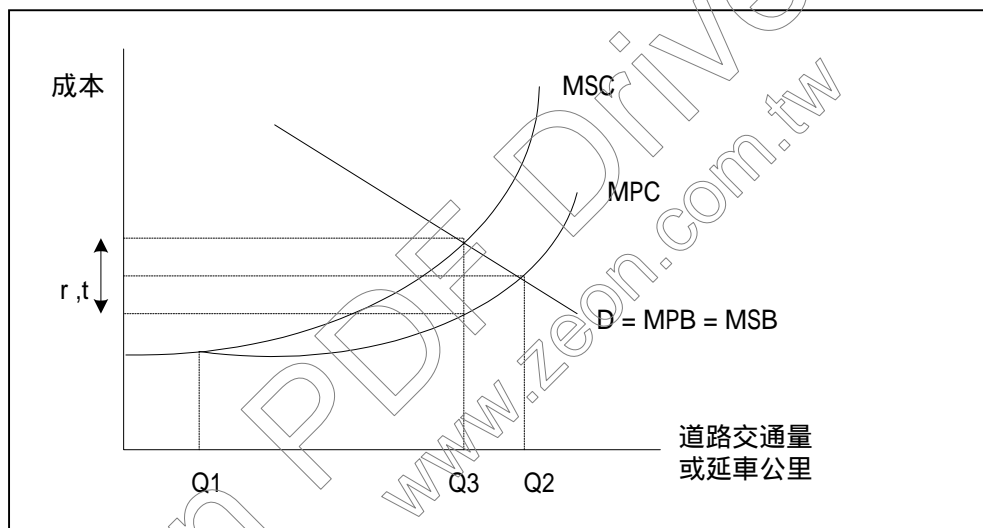


圖 2.1 最適道路定價與移動源污染稅

設該路段上有 Q 部車、平均行駛長度為 L 、行車速度為 V 、每小時旅行成本（包括行車成本與時間成本）為 C ，

則其旅行總成本（TC）為： $TC = \frac{QCL}{V}$ ，若設 $L=1$ 則 $TC = \frac{QC}{V}$ ，

因此社會平均成本（ASC）為： $ASC = \frac{TC}{Q} = \frac{C}{V}$ ，

社會邊際成本（MSC）為： $MSC = \frac{dTC}{dQ} = \frac{C}{V} - \frac{QC}{V^2} \frac{dV}{dQ}$ ，

$$\text{最適道路定價 (r) 為： } r = MSC - ASC = -\frac{QC}{V^2} \frac{dV}{dQ} \geq 0 \quad (2.1)$$

最適道路定價又稱擁擠定價 (congestion pricing) 或擁擠稅 (congestion tax)，稅率與該路段上的車數、車速、成本均相關，因此欲完全將擁擠外部性內部化有困難，因此，道路定價的次佳 (second best) 方案便出現，包括表 1.1 中的不同收費方式。機動車的使用會產生空氣污染，其隨著大氣的流通而擴散，情形與交通擁擠一樣，車輛的駕駛人僅負擔一般的使用成本 (旅行成本)，並不包括其每公里行車所造成的空氣污染成本，因此有過多車輛使用，造成過多的污染排放，最適污染稅率為 t 。若能對車輛使用收取擁擠稅及污染稅，則車輛的使用可以達到社會最適化的目標。

二、交通需求模型

根據經濟學消費者需求理論，在運輸需求分析中，應將導致運輸消費 (transportation consumption) 的最終貨品或服務的因素引入模式中，一般以旅次 (trip) 為運輸需求單位，依其社會經濟活動或旅次目的分類 (就如同將最終貨品分類)，而按各種旅次目的分別建立運輸需求模式。消費量用 T_{ijmr}^p 表示，意即旅次目的 p 從 i 地到 j 地使用運具 m 經路徑 r 的次數，需求函數中包括最終活動的吸引力或強度的變數 E ；服務水準變數 L ，其包括價格、時間、舒適、安全等；運輸消費者的社經變數 S ，其包括所得、車輛持有數等。運輸需求函數可以寫成：

$$T_{ijmr}^p = f_{ijmr}^p(L, S, E) \quad (2.2)$$

在進行都市運輸需求分析與預測時，欲建立上述五維的運輸需求模式 (T_{ijmr}^p)，一般可依據旅次資料的運用方式與模式的特性不同，可分為以下四大類：

1. 循序性集體需求模式 (sequential aggregate demand model)
2. 直接性集體需求模式 (direct aggregate demand model)
3. 循序性個體需求模式 (sequential disaggregate demand model)

4. 直接性個體需求模式 (direct disaggregate demand model)

循序性模式是將運輸需求模式依照旅次發生過程 (trip making process)，假設旅次發生者 (trip maker) 先考慮到旅次目的，如工作、教育、購物等，然後再依次考慮去哪裡 (迄點)、使用何種運輸工具 (mode)、走哪條路線 (route)，依序處理；直接性模式則假設運輸行為是將目的、迄點、運具等同時考慮，以一個模式表示；集體需求模式是以交通區為單位的集體資料所建立的模型；個體需求模式則以個人或家戶為單位的個體資料建立的模型。

由於個體需求模式主要在描述個體交通需求的行為，不能對都會區中各個區域間、路段的交通量進行估計，因此，目前都會區的交通需求預測方面，集體需求模式是最普遍被採用。又因實證結果發現循序性需求模式較直接性需求模式佳，故循序性集體需求模式普遍被用於都會區的交通規劃。根據上述循序性的假設，運輸需求可依序分成下列四步驟：

1. 旅次發生 (trip generation)：在探討各交通區 (traffic zone) 在單位時間 (如每日) 所產生與吸引之各類旅次量。
 2. 旅次分佈 (trip distribution)：在分析各交通區間的旅次流動量。
 3. 運具選擇 (mode choice)：交通區間各種運輸工具所承擔的運量。
 4. 交通指派 (traffic assignment)：在探討各路線或路段的交通量。
- 依序進行則可以得到都會區中各路段的交通量。

第二節 實證文獻

以事前的角度，評估移動污染源管制政策成本效益的文獻，大致可以分為以下兩類，1) 包含車輛使用或持有政策的研究，這類研究多在評估都市整體交通並考慮多種交通與環境政策，所採用的模式大多包括都會區的交通預測。2) 以清潔車輛與燃料政策為主的研究，這類研究大多僅利用車輛排放模型，將交通行為視為外生。重要文獻的摘要如表 2.5 所示。

一、包含車輛使用或持有政策的研究

與本研究進行方向較為接近者如 Proost and Dender (1999)、環境保護署 (1998)、林建元 (1990) 三者，其結果均顯示，增加車輛使用成本（如通行證政策）對空污與交通均有明顯效益。

政策分析與模式建構最為全面者為 Proost and Dender (1999)，其以比利時首都布魯塞爾為例，建構一個運輸—能源—環境的模型，稱為 TRENEN-URBAN，找出最適價格與外部成本內部化政策之有效性與福利影響評估。模型的需求面是交通使用者面對各種運具（各種私人、共乘或大眾運輸工具）不同時間（尖離峰）的交通需求，及各種方案產生的外部成本（擁擠、空污、事故、噪音）。供給面則是運具提供者的運具、燃料、維護的成本，以利潤最大化為目標，且受限於政府環保管制政策。均衡價格是生產者價格（依各類運具行駛公里數）、運輸時間成本（平均擁擠成本加步行與等待時間成本）、稅或補貼的加總。福利函數設定為消費者剩餘、生產者剩餘、稅收、外部成本的加總。交通產生空污與下列係數有關：排放控制、速度、燃料特性與技術、車輛年齡與大小、檢修情況，政策模擬的結果如表 2.4 所示。

另一類的研究則是採用較簡化或較小範圍的交通模型，如楊文龍、陳俊成 (1999) 的研究，僅考慮市區的總車輛數與總道路面積，未評估全面性的交通管理政策。賴俊良 (1997, 1998) 的研究，分別對台北市南京東路公車專用道，以及陽明山花季期間，管制所有小客車與無管制之間，假設數種通行證費率以模擬車流車速、燃料使用與空污排放，顯示通行證管制的方式對減少能源與空污有明顯效果。

三、以清潔車輛與燃料政策為主的研究

這方面的研究大多為改變排放標準、控制設備、燃料種類與成分等政策，或透過新技術、檢驗方式強化上述政策之執行，一般不包括交

通模型，其相關文獻甚多，Wang (1997) 有詳盡的回顧，並提出這類政策之成本有效性分析的原則。蕭代基等 (1997) 的研究則比較遙感探測與全面定檢¹，兩種針對使用中車輛排氣檢驗的方案之成本與效果。估計 CO 減量可達 56.4 萬公噸，遙測方案之平均每單位減量成本較全面定檢方案低 20% ~ 40%。另外，對車輛與燃油市場有較佳描述的是 Sunil Chandrasiri (1999) 的研究，其利用統計資料，以迴歸估計各種車輛的持有及車用燃料需求，再擬定燃料價格調整、裝設觸媒轉換器、無鉛汽油、低硫柴油、限制車輛進口等政策，進行成本有效性分析，但這些政策台灣均已實施或即將實施，對未來的政策方向較無助益。

表 2.1 Proost and Dender (1999) 的研究結果

	福利的改變 (歐元/日)	空污外部成 本改變 (歐元/日)	每日總小 客車指數	尖峰時 間車速
對照情境			100	23
完全反映外部成本政策	+0.703 (100%)	-0.015	78	40
市區通行費	+0.368 (52%)	-0.001	89	33
完全停車收費	+0.128 (18%)	-0.004	-	-
改善排放技術 (消費者負擔)	-0.003 (-0%)	-0.006	100	23
改善排放技術 (政府負擔)	-0.013 (-0%)	-0.006	100	23
改善燃料效率 (命令規範)	-0.120 (-17%)	-0.016	98	24
改善燃料效率 (燃料稅)	+0.038 (+5%)	-0.016	95	26

¹ 遙感探測是指利用紅外線儀器遙測使用中車輛之排氣，若不符規定則再通知其接受檢驗，確認不合規定則需進行調修。全面定檢則是規定每輛車每年均需到特定地點檢驗數次。

表 2.2 重要相關文獻摘要

作者	題名	作法與特色	重要結論
Proost and Dender (1999)	Effectiveness and welfare impacts of alternative policies to address atmospheric pollution in urban road transport	以布魯塞爾 2005 年為規劃目標，建構一個運輸/能源/環境的模型 (TRENEN-URBAN)，包括各運具的需求與成本，及各方案的外部成本，評估最適價格、內部化政策與福利影響。	運輸政策會明顯影響交通需求，改善都會交通時間分配，也對環境有利。若政策可以改變都會運輸市場最明顯的無效率（擁擠與停車外部成本），則可以得到福利大幅增進。
Sunil Chandrasiri (1999)	Controlling Automotive Air Pollution: The Case of Colombo City	利用統計資料，以迴歸估計各種車輛的持有及車用燃料需求。擬定燃料價格調整、裝設觸媒轉換器、無鉛汽油、低硫柴油、限制車輛進口等政策，進行成本有效性分析。	政策建議順序如下：淘汰二行程機車；對汽油採差別費率，提高無鉛汽油之使用，及裝設觸媒轉換器；柴油價格依含硫量訂定；減少柴油價格的補貼；鼓勵使用液化石油氣為燃料。
環境保護署 (1998)	利用運輸預測模式技術減低台北都會由道路車輛造成之溫室氣體排放之行動計畫	運用台北捷運局發展之 TRTS III 運輸需求模式，評估各政策在溫室氣體減量上的效益，政策包括，鼓勵大眾運輸、提高承載率、市中心行車收費、提高行車速率均勻度、改善燃油引擎等。	(1) 利用車輛製造新技術改善輕型汽車之平均油耗率。(2) 鼓勵良好駕駛行為以改善油耗率。(3) 提高私人車輛用有成本和運行成本及改善大眾運輸服務品質。
林建元 (1990)	台北市地區通行證試辦計畫可行性之研究	運用交通局 (1989) 的運輸需求模式，評估三種不同範圍的地區通行證之技術、經濟與社會可行性。經濟可行性中包括交通與空污減量效益。	技術可行性以重點地區(空污最嚴重的街廓)管制方案最佳，經濟可行性以舊市區管制方案最佳，社會可行性以全市管制最差。
楊文龍、陳俊成 (1999)	都市交通空氣污染管理策略之影響評估	以台北市為例，運用系統動態學理論結合羅吉特運具選擇模式、車流模式與排放模式，評估七種改善公車、捷運與計程車費率的政策對空污減量的影響。	捷運通車與捷運班次增加對 NO _x 與 HC 的減量較顯著。

第三節 小結

由以上的文獻回顧可以發現，道路車輛的使用會造成許多外部性，其中擁擠與空氣污染外部性可以透過收費的方式將之內部化。在政策的評估方面，成本有效性分析可量化政策對交通時間節省與空氣污染減量的單位成本之效益。而現有的實證研究中，可評估完整評估一都會區實施移動源管制政策之效益者均含總體交通預測模型。台灣的實證研究中，以環境保護署（1998）的移動源政策最為完整，也引用交通局的交通預測模型，但其政策目標僅為溫室氣體減量且缺乏成本之估計，使得政策的優劣不易顯現。以通行證政策為主要評估對象的文獻，如林建元（1990），以較簡單的單一排放係數（各種速度下均相同）來進行空氣污染的估計。這些是本研究可以加以改善的地方。

第三章 研究方法

移動源的管制政策可以分為四大類，分別為車輛使用管制、車輛持有管制、清潔車輛及清潔燃料政策，由文獻回顧可以發現，國內對前兩類政策的研究仍相當少，且缺乏完整的成本效益分析以為政策參考。本研究將針對車輛使用與持有政策對交通與空氣污染的影響進行成本有效性分析。首先說明研究的實證模型，亦即交通需求-排放模型，再敘述如何利用此模型評估移動源政策的影響。

第一節 實證模型

道路車輛之空氣污染物排放量可以透過 1.1 式計算，車輛之交通行為與排放係數相乘得到排放量。交通行為由運輸需求模式進行估計，由文獻回顧可知，目前多採用循序性集體需求模式，而其四大步驟為旅次發生、旅次分佈、運具選擇與交通指派，四大步驟的模式在施鴻志等（1984）或王慶瑞（1999）的著作中有詳細討論，以下分別說明之：

一、旅次發生

旅次發生模式又分為旅次產生（trip production）與旅次吸引（trip attraction）兩部分，旅次產生的形式為：

$$P_i^p = f(SE_i) \quad (3.1)$$

其中 P_i^p 為 i 區 p 旅次目的所產生之旅次數， SE_i 為 i 區之社會經濟特性，如家戶人口數、所得、就業人口數、就學人口數、車輛持有數等。旅次吸引的形式為：

$$A_j^p = f(E_j) \quad (3.2)$$

其中 A_j^p 為 j 區 p 旅次目的所吸引之旅次數， E_j 為 j 區各級產業及業人

口數或學生人口數。一般旅次產生與吸引採多元迴歸分析法估計。

二、旅次分佈

旅次分佈模式的形式為 $T_{ij}^p = f(P_i^p, A_j^p, t_{ij}^p)$ ，其中 T_{ij}^p 為 i 區所發生之 p 旅次目的被分佈至 j 區之量， t_{ij}^p 表由 i 區到 j 區之空間阻擾程度，形式為 $t_{ij}^p = f(GC_{ij}^p)$ ， GC_{ij}^p 為 i 區到 j 區的一般化成本 (General cost)，形式為 $GC_{ij}^p = f(A_{ij}, L_{ij}, F_{ij})$ ， A_{ij} 、 L_{ij} 、 F_{ij} 分別為旅行時間、旅行距離與其他費用，如過橋費、通行費、停車費等。 T_{ij}^p 一般採用重力模式進行估計，函數形式如 3.3 式：

$$T_{ij}^p = P_i^p A_j^p t_{ij}^{-s} / \sum_{j=1}^n A_j^p t_{ij}^{-s} \quad (3.3)$$

兩區間的旅次與產生、吸引數成正比，與旅行成本呈一負指數（ $-s$ ）關係，在都市地區 s 通常在 2 以上，分佈的結果應讓端點的旅次總和等於產生與吸引數。

三、運具選擇

運具選擇模式為多項羅吉特模式 (multinomial logit model)，意即假設各交通區間的旅行者在運具選擇時是依據理性考慮，選擇可以帶給他最大效用的運具。運具的效用 (U_i) 假設具有分割性與可加性，由可衡量的效用 (V_i) 與不可衡量的效用 (ε_i) 相加所組成。 V_i 為運具 i 有關之平均效用 (mean utility)，本身不會任意改變，並可由一組變數加以衡量， ε_i 則是隨機項，會隨著狀況而變。一般交通預測研究將運具分為小客車、機車、計程車、大眾運輸等四類，運具效用的形式如 3.4 式：

$$U_i = V_i + \varepsilon_i = (D_i + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + a_3 X_{3i}) + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

其中 D_i 為運具的虛擬變數， X_{1i} 則為機車或小客車的持有數， X_{2i} 為使用各運具的旅行時間 (包括兩倍車外時間與車內時間)， X_{3i} 為付費成

本佔月所得的比例， a_1 到 a_3 則為持有數、時間與成本的係數。

根據 Ben-Akiva and Lerman (1985) 的研究，在效用極大化，以及每個 a_i 獨立且呈相同的 Weibull 分配假設下，若共有 n 種運具可選，則運具 m 的選擇機率 (P_m) 如 3.5 式：

$$P_m = e^{V_m} / \sum_{i=1}^n e^{V_i} \quad (3.5)$$

若 p 旅次目的從 i 區到 j 區的總旅次數為 N ，則運具 m 的需求 (D_m) 等於 N 乘以 P_m ，如 3.6 式：

$$D_m = N \times P_m = N \times (e^{V_m} / \sum_{i=1}^n e^{V_i}) \quad (3.6)$$

四、交通指派

將上述模式所計算的兩區間某目的某運具旅次指派到實際路網上，以預測各道路的負荷。一般以使用者均衡為指派原則，其假設使用者以最低成本為路徑選擇的依據，且路徑上的交通量需低於其容量限制。當交通指派達到均衡時，任何使用者選擇可到達目的地的任何路線之旅行成本均相同，即所有使用者的旅行成本總和為最低，稱為使用者最適 (user optimal)。

在進行指派前，需先將不同運具的人旅次，經由呈載率的換算可轉換為車旅次，再將不同的車種以小客車當量 (private car unit, PCU) 換為同一單位，形成 PCU 旅次起迄矩陣，以進行交通指派。指派的結果可以得到各路段的 PCU，透過流量與速度曲線的轉換，則可得到該路段的平均車速。

五、排放係數

移動源排放模式之結果稱為排放係數，指一特定車型於一速度下，行駛每公里排放各種污染物的量，通常是經由實驗數據與理論推

導而得。在台灣，使用最普遍的是環境保護署委託中鼎工程公司製作的 Mobile-Taiwan 2.0 移動源排放模式，其可依地區車輛特性分為台北市、高雄市、台灣省，依車輛型態分為私人汽油小客車 (LDGV-1)、商用汽油小客車 (LDGV-2)、汽油小貨車 (LDGT)、柴油小貨車 (LDDT)、大客貨車 (HDDT)、二行程機車 (MC2C)、四行程機車 (MC4C) 等七種，多數污染物的排放與行車速度有密切關係，且在低速行駛時排放量較高，但 NO_x 則是速度較高時排放量較大。排放係數表請參見附錄 B。

交通指派的結果為各路段的 PCU，因此需先依運具選擇的比例分為四種運具的車輛數，車輛數乘以該路段的里程數，得到車行里程數 (vehicle-kilometer-traveled, VKT)。為配合七種車輛的排放模式，本研究引用環境保護署 (1998) 的方式，依 Mobile-Taiwan 2 中的車輛分佈預設值進行分派。分派方式如下：

$$VKT_{LDGV-1} = 0.916VKT_a ; VKT_{LDGT} = 0.059VKT_a ;$$

$$VKT_{LDDT} = 0.025VKT_a ; VKT_{LDGV-2} = VKT_t ; VKT_{HDDT} = VKT_p ;$$

$$VKT_{MC2C} = 0.662VKT_m ; VKT_{MC4C} = 0.338VKT_m$$

VKT_a、VKT_t、VKT_p、VKT_m 分別表示小客車、計程車、公車、機車的 VKT。將不同車種、不同速度下的 VKT 乘以排放係數便可以得到車輛的空氣污染排放量。

第二節 政策的評估

本研究的目的是在評估車輛使用與持有政策對空污減量的影響，但使用管制政策的實施方式種類很多，基於成本資料的取得與實施技術可行性的考量，本研究以新加坡的電子道路定價政策作為評估方案，新加坡案例可參見附錄 C。

車輛持有管制政策大略可分為市場機制與命令管制兩種，前者如新加坡所實施的車輛總量管制計畫 (附錄 C)，後者則是由政府直接命令管制車輛的登記。欲完整評估市場機制的管制效果，必須有車輛

持有的供需模型，但 DOTS 1 模型中並沒有相關資料。因受模式限制，本研究假設持有政策是以命令管制的方式執行。以下分別說明如何運用上節所建立的模型估計移動源政策的效果、效益、成本及評估準則，最後則說明本研究結果如何與其他類似文獻進行比較。

一、政策效果

政策所產生的影響均可稱為政策效果。電子道路定價政策的目的是在於內部化擁擠的外部成本，會產生以下的影響：

1. 實施電子道路定價需投入資金於購買與裝設各項設備，投入人力於系統的維護與運作，稱為政策的實施成本。
2. 由 2.1 式可知，道路定價政策將使通過收費區的旅次增加旅行成本，亦即 3.3 式中的 t_{ij}^p 增加，使得通過收費區的旅次分佈減少，收費區內各路段的總車行里程數（VKT）減少。
3. 因對不同的運具課以不同的通行費以反應該運具造成的外部成本，收費後運具的相對效用改變，運具選擇機率改變。
4. 因為 2. 與 3. 的影響，經交通指派會造成各路段的車流量減少，同時使得車速提高，旅行時間縮短。
5. 因 VKT 減少及車速提高，使得車輛行駛所造成的空氣污染排放減少、噪音減少、交通事故減少，除第一項以外，不在本研究範圍內暫不予討論。

車輛持有政策的目標是減少家戶持有車輛，會產生以下的影響：

1. 實施車輛持有管制需投入人力於車輛登記的檢查，稱為政策的實施成本。
2. 由 3.1 式可知，減少家戶持有車輛數會造成旅次產生的減少。
3. 受管制運具與其他運具的相對效用改變，運具選擇機率改變。
4. 因為 2. 與 3. 的影響，經交通指派會造成各路段的車流量減少，同

時使得車速提高，旅行時間縮短。

5. 因 VKT 減少及車速提高，使得車輛行駛所造成的空氣污染排放減少、噪音減少、交通事故減少，除第一項以外，不在本研究範圍內暫不予討論。

二、政策成本

政策對社會有負面影響的項目可稱為政策成本，例如電子道路定價政策的實施成本，以及因限制需求造成的消費者剩餘（consumer surplus）減少。對電子道路定價政策而言，其實施成本應當包括執行該政策所需設備成本及每年操作、營運、維護費用。對車輛持有政策而言，因不需要增購、使用許多新設備，主要的成本在於行政上管制車輛總量或限制持有的條件。

在運具選擇模式中，共有四種運具，分別為小客車（a）、機車（m）、計程車（t）、大眾運輸（p），四者的選擇機率比為 3.7 式。實施電子道路定價政策，在已知運具效用函數時，可計算運具的效用改變量（ Δ_i ）。若已知現有運具選擇比例，則政策實施後的各運具選擇機率如 3.8 式。實施車輛持有管制政策限制小客車持有，則小客車運具的效用產生 Δ_c 的改變量，各運具選擇機率比如 3.9 式。

$$P_m : P_a : P_t : P_p = e^{U_m} : e^{U_a} : e^{U_t} : e^{U_p} \quad (3.7)$$

$$P'_m : P'_a : P'_t : P'_p = e^{U_m + \Delta_m} : e^{U_a + \Delta_a} : e^{U_t + \Delta_t} : e^{U_p + \Delta_p}$$

$$P'_m : P'_a : P'_t : P'_p = P_m e^{\Delta_m} : P_a e^{\Delta_a} : P_t e^{\Delta_t} : P_p e^{\Delta_p} \quad (3.8)$$

$$P'_m : P'_a : P'_t : P'_p = P_m : P_a e^{\Delta_c} : P_t : P_p \quad (3.9)$$

消費者剩餘減少是因管制使得價格提高，如道路定價政策，或是因政策限制需求量，如車輛持有管制政策。車輛的旅行成本及車輛持有數兩變數會影響運具的效用函數，造成使用者的效用改變。但旅次

分佈的改變僅代表使用者改變旅行距離，同樣可以達成旅次目的，使用者的效用並不會因此而減少。

馮正民 (1986) 及 Bockstael et al. (1986) 均指出，效用改變的補償剩餘 (compensating surplus, CS)²，可由需求函數的積分得到。計算運具的效用改變，需假設需求函數滿足可積分定理，即積分路徑與結果無關，設運具的效用起始值與終點值分別為 \bar{V}^0 與 \bar{V}^f ， P_i 如 3.5 式， N 為進行選擇的總人數，則 CS 如 3.10 式：

$$CS = N \times \sum_{i=1}^n \int_{\bar{V}^0}^{\bar{V}^f} P_i(\bar{V}) dV_i \quad (3.10)$$

其中 $\bar{V}^0 = [V_1^0, V_2^0, \dots, V_n^0]$ ； $\bar{V}^f = [V_1^f, V_2^f, \dots, V_n^f]$ ，積分的結果如 3.11 式：

$$CS = N \times \left(\ln \sum_{i=1}^n e^{V_i^f} - \ln \sum_{i=1}^n e^{V_i^0} \right) \quad (3.11)$$

車輛持有政策會造成旅次產生減少，則政策實施前後進行運具選擇的人數不同，將實施前的人數 (N^0) 與之後的人數 (N^f) 分別乘以效用，如 3.12 式：

$$CS = N^f \times \ln \sum_{i=1}^n e^{U_i^f} - N^0 \times \ln \sum_{i=1}^n e^{U_i^0} \quad (3.12)$$

三、政策效益

政策對社會有正面影響的項目可稱為政策效益，例如車輛的污染排放量減少及旅行時間縮短。時間節省效果可透過時間價值的換算來得到時間節省的效益。污染排放量減少的價值則需由居民對空氣品質改善的願付價值 (willingness to pay) 決定，其中包括了空氣品質改善所產生的健康效益。但估計這部分的效益涉及空氣污染的擴散模式，以及居民對品質的願付價值兩部分，非本研究的範圍，因此污染減量僅作效果估計，亦即以物質單位呈現。

² 根據福利經濟學理論，相對於消費者剩餘之改變量而言，補償剩餘較為精確。

四、決策準則

經濟學理論中，政策的評估通常採用成本效益分析與成本有效性分析兩種方法。成本效益分析是將計畫對社會產生的所有成本與效益均加以計算，選擇淨現值（net present value）較大且大於零的方案實施。成本有效性分析則是僅計算政策的實施成本及欲評估的效益項目之效果，依據政策的總成本與單位效果之成本作為評估準則，選擇較低單位成本的政策。本研究考量的政策效果包括，實施成本、消費者剩餘減少、空氣污染減少、旅行時間節省等四項。若將上述四項的貨幣化價值分計算出來，則可以求得政策的淨現值，做為政策的成本效益分析。

但因空污減量效益的估計較為複雜，本研究僅計算其餘三個項目的價值及空污減量的效果，但這樣的計算方式仍可與其他移動源政策成本有效性分析的結果相比較。因為 Proost and Dender（1999）的研究認為清潔車輛與燃料政策並沒有時間節省的效益，其對運具效用的影響也非常有限，可以忽略不計。這類政策的成本有效性分析，如環境保護署（1999）的研究，僅估計政策的實施成本及空污效果。本研究將政策實施成本、消費者剩餘減少及時間節省效益等三者相加，可以得到政策對空污減量的淨（社會）成本，將之除以空污減量同樣得到一單位減量的淨成本，可與其它的成本有效性分析文獻相比較。

第四章 實證研究

本研究將針對電子道路定價與持有管制政策進行評估。台北都會區的交通需求模型於民國七十八年（台北市交通局，1989）即開始建立，最近的更新是台北市交通局（1997）對其進行校估與修正，建立 DOTS 1 模型，是一個經廣泛驗證的模型。由於交通需求模式需要大量的調查與統計分析，因資源之限制，本研究將引用 DOTS 1 模式。以下先說明資料處理與模型校正，再評估政策。

第一節 資料處理與模型校正

由於本研究的目的是在評估台北市中心區移動源管制政策，並不需要使用 DOTS 1 中全部都會區的資料，僅針對市中心區進行模擬即可。為使模擬的交通情況與現今接近，本研究均採用交通局報告中對民國九十年的預測資料，以下敘述模型與資料的應用與校正。

本研究將運用的模式與資料包括 DOTS 1 中的旅次發生模組、旅次分佈結果、運具選擇模組，及交通指派的承載率、路網等資料，以及由 Mobile-Taiwan 2 所產生的排放係數。

一、旅次發生模式

DOTS 1 的旅次發生模組中包含旅次產生與旅次吸引模式，兩者均分四種旅次目的分別進行計算，包括家到工作（HBW）、家到學校（HBE）、家到其他（HBO）、非家旅次（NHB）。旅次產生模式是採用類目分析法與迴歸分析法，流程如下：類目分析法依據交通區內之家戶數與家戶年所得分佈的資料，將家戶分為數個所得等級，再運用調查得到的所得與車輛持有交叉機率，計算不同所得等級、車輛持有水準的家戶數。迴歸分析法即是將上述類目分析法的資料依不同所得等級、車輛持有水準、家戶人口數、工作者數、學生數等的參數，乘

以迴歸分析得到的旅次產生率，即可求算各交通區之旅次產生量。旅次吸引模式則是以就業人口數、就學人口數等為變數的迴歸模式。

二、旅次分佈模式

本研究分別引用交通局報告中旅次分佈之結果，台北都會區民國九十年的旅次起迄表(T_{ij}) (表 4.1) 及各區域間旅次目的的比例(T^p)，將兩者相乘則可得台北市中心區與鄰近 5 大分區間各目的旅次起迄矩陣 (T^p_{ij})。

表4.1 台北都會區民國九十年的旅次起迄表

90 年 OD	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	合計
Z1	3746079	231908	277943	199440	240578	281565	4977513
Z2	651487	657491	189954	35341	39481	150904	1724658
Z3	846328	251685	984736	162616	47016	80880	2373261
Z4	656894	45403	154134	350199	49353	39051	1295034
Z5	577809	40933	36882	39567	295512	73952	1064655
Z6	619886	141906	52838	28962	55650	709248	1608490
合計	7098483	1369326	1696487	816125	727590	1335600	13043611

資料來源：台北市交通局 (1997)

註：

Z1：市中心區（大同區、中山區、松山區、信義區、中正區、大安區、萬華區）

Z2：三重新莊區（三重、新莊、蘆洲、五股、泰山、林口、八里、龜山）

Z3：板橋雙和區（板橋、中和、永和、樹林、鶯歌、土城、三峽）

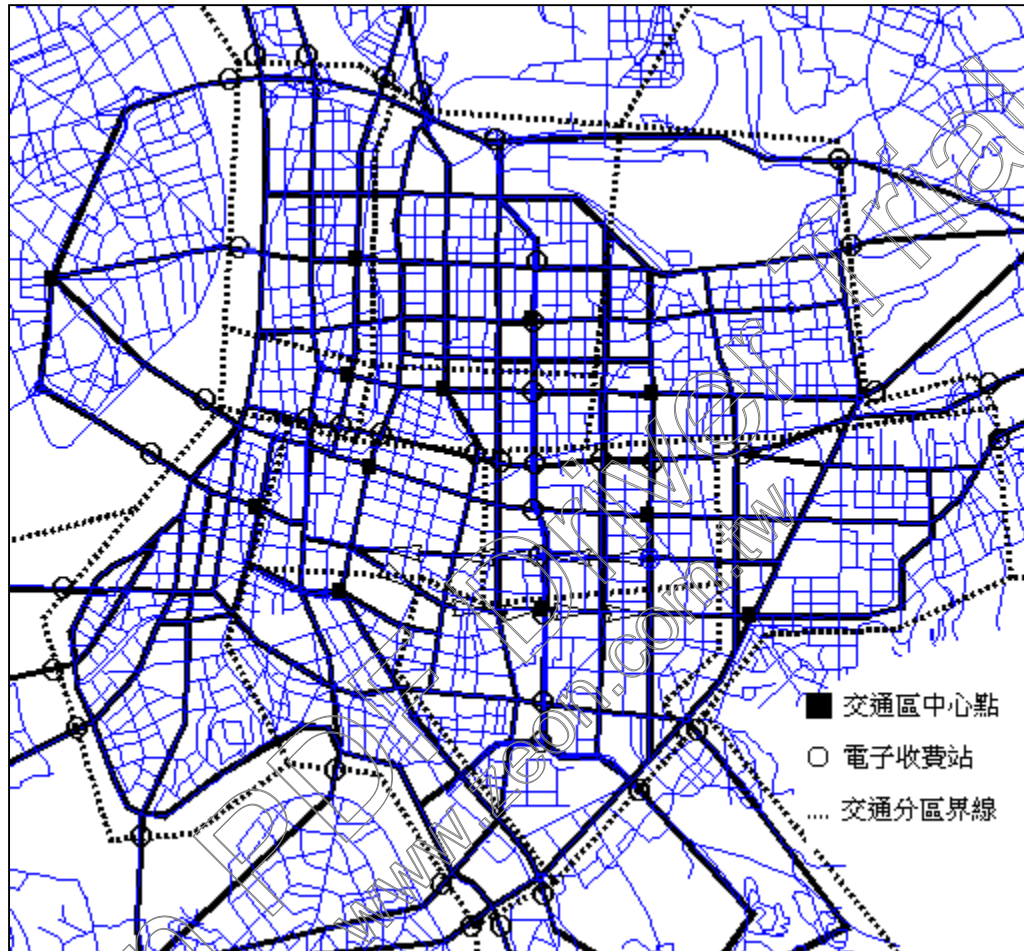
Z4：新店文山區（文山、新店、深坑、烏來、坪林、石碇）

Z5：內湖港汊區（內湖、南港、汐止）

Z6：士林北淡區（士林、北投、淡水、三芝、石門）

由於上述起迄表在市中心區的部分將所有旅次加總，無法進行交通預測，因此，再引用交通局報告中，市中心 7 個行政區旅次產生與吸引資料，自行依行政區的人口分佈重劃為 11 個小分區。本研究參考交通部數值地圖及 DOTS 1 路網資料所建立的市中心區路網（圖

4.1)，運用 TransCAD³軟體進行旅次分佈，產生市中心區的旅次起迄矩陣。周圍 5 大分區進出市中心區的旅次，則依據小分區的旅次產生與吸引比例進行分派。將上述資料合併便可以得到台北市都會區十六個分區間的旅次起迄矩陣。



註：細線為電子地圖，粗線為本研究路網

圖4.1 台北市中心區路網圖

三、運具選擇模式、交通指派與排放係數

引用交通局報告中的運具選擇模式，其運具分為機車、小客車(汽車)、計程車、大眾運輸系統四種，各種運具的效用函數形式如 3.4 式，變數的係數如表 4.2 所示。大眾運輸系統包含公車、捷運與鐵路，

³ TransCAD 軟體為 Caliper 公司所出版的交通地理資訊系統軟體，TransCAD 之商標所有權屬於 Caliper 公司所有。

但後兩者對台北市空氣污染的影響極小，因此欲計算道路車輛的空氣污染排放量時，利用 DOTS 1 預測九十年捷運、公車、鐵路使用者佔大眾運輸系統總量的比例將之扣除，僅計算選擇公車的旅次。

表 4.2 各旅次目的的運具效用函數之係數

	HBW	HBO	HBE	NHB
機車虛擬變數	0.001938	0.469800	0.004405	0.123000
汽車虛擬變數	0.644300	0.498700	1.126000	0.301000
大眾運輸虛擬變數	0.505300	0.473100	2.475000	-0.312600
機車持有數	0.500500	0.401500	0.621100	-
汽車持有數	0.432400	0.502300	0.203000	-
旅行時間	-0.024610	-0.034420	-	-0.039220
學校區位變數	-	-	0.556400	-
付費成本/月所得	-0.461500	-0.142800	-	-0.014824

資料來源：台北市交通局（1997）

貨運旅次部分，本研究所引用的旅次起迄表已經包括小貨車的部份。DOTS 1 模式對於非大眾運輸之大客車（如公司交通車等）及大貨車（卡車）的旅次是在交通指派前，另行加入旅次起迄表，這些特殊運具並不在運具選擇模式中。雖然大客車、大貨車的單位污染量相當高，但大客車旅次佔總旅次的比例非常低，且大部分的市區道路禁止大貨車通行，因此，本研究不考慮這部分的旅次及其污染量。

交通指派的部分，則運用報告中對九十年各運具承載率的預測，將使用不同運具的人旅次起迄矩陣轉換為車（PCU）旅次起迄矩陣，再運用 TransCAD 進行交通指派，選擇隨機使用者均衡（stochastic user equilibrium）指派法，意即當使用者以最低成本原則選擇路徑時，會因資訊不足而產生一具有特定分佈的誤差，最後得到台北市中心區各路段的流量，亦可換算速度與旅行時間。將各路段不同速度之 VKT 與四種污染物的排放係數相乘即可得到移動源空氣污染物排放總量。

四、模型校正

由於本研究採用 DOTS 1 旅次產生的資料與模式，故旅次產生數與車輛持有數均經過校正，可以正確反應民國八十五年（DOTS 1 的基準年）台北都會區小型車及機車車籍統計資料及持有狀況。

旅次分佈與運具選擇模式經本研究簡化，且以自行建立的市中心路網進行交通指派，故需校正。在未實施任何政策的零方案情形下，交通指派的結果整理於表 4.2，將之與 DOTS 1 對民國九十年的預測相比，台北市交通局（1997）認為誤差在 20% 內可接受，因本研究目的並非市區交通預測，該誤差尚可接受。

表 4.3 本研究與 DOTS 1 民國九十年每小時交通量預測結果比較

交通量 (PCU/HR)	三重新 莊走廊	板橋中永 和走廊	新店文 山走廊	南港內 湖走廊	士林北投 走廊	市民建國 以西*	建國市民 以南**
本研究	46769	50081	29741	30296	35089	10186	10961
DOTS 1	57500	57800	25200	26300	41200	11400	15000
差距比例	18.66%	-13.35%	18.02%	15.17%	-14.83%	-10.65%	-26.92%

註：*市民大道上與建國北路交叉點以西之交通量；**建國北路上與市民大道交叉點以南之交通量

第二節 電子道路定價政策

由前述研究方法可知，收費政策會改變旅次分佈與運具選擇。以下先界定政策內容，再敘述政策成本與效益之評估過程，流程如圖 4.1 所示。

一、政策內容

在電子道路定價的實施範圍方面，由於本研究的目的是在評估移動

源管制政策，若範圍過小則對擴散快速的空氣污染物沒有顯著的效果。林建元（1990）認為以基隆河、新店溪、大漢溪、拇指山為收費之週界具有良好的封閉性，且僅需設置收費站於橋樑等通道上，成本較低。但由表 4.1 可以發現，市區內旅次佔台北都會區相當高的比例，若僅進入市區旅次收費的話，效果相對較小，也必定會引發公平性的爭議。

本研究將分兩種情境模擬收費政策，一者為進入收費，設置 25 個電子收費站在進入的橋樑道路上；另一者是市區收費，除上述進入橋樑道路以外，在市區內也設置收費站，可於建國南北路及市民大道兩屏柵線上設置電子收費站，總共 42 個（位置參見圖 4.1）。

在費率訂定方面，該政策的目的是在於內部化車輛使用的外部成本，但車輛使用的擁擠外部成本會隨著其所在路段的路況而有不同，難以精確計算。本研究採用模擬的方式決定一費率。道路定價對旅次分佈的影響限於被收費旅次的迄點，由 3.1 式可以直接估計收費對旅次分佈的影響。收費對運具選擇的影響可由 3.5 式計算，由於運具的效用函數中，是以全日為計算基礎，因此本研究所假設之費率亦為一日之通行費。首先模擬個別運具收費對運具選擇的影響，結果如圖 4.3 所示。因運具收費後會產生轉移，對機車收費會使得總車旅次增加，小客車與計程車的收費超過一百元後總車旅次有較大的減量。另外，對每個大眾運輸系統旅次補貼 20 元也可以減少總旅次 0.02%。組合收費方案的結果則如圖 4.4 所示。

本研究參考新加坡的收費方式，以小客車當量（PCU）為收費比例，亦即機車與小客車的費率比為 0.3 比 1，選擇兩種費率進行模擬。設定以下三種方案：1）市區收費 100 元方案（SN100），即機車每日 30 元、計程車與小客車 100 元、大眾運輸補貼 10 元；2）進入收費 100 元方案（SN100A），費率與 SN100 同，但市區旅次不收費；3）市區收費 150 元方案（SN150），即機車 45 元、小客車與計程車 150 元、大眾運輸補貼 10 元的方案。對於大眾運輸的補貼不一定是票價上的減免，也可以是系統的改善。

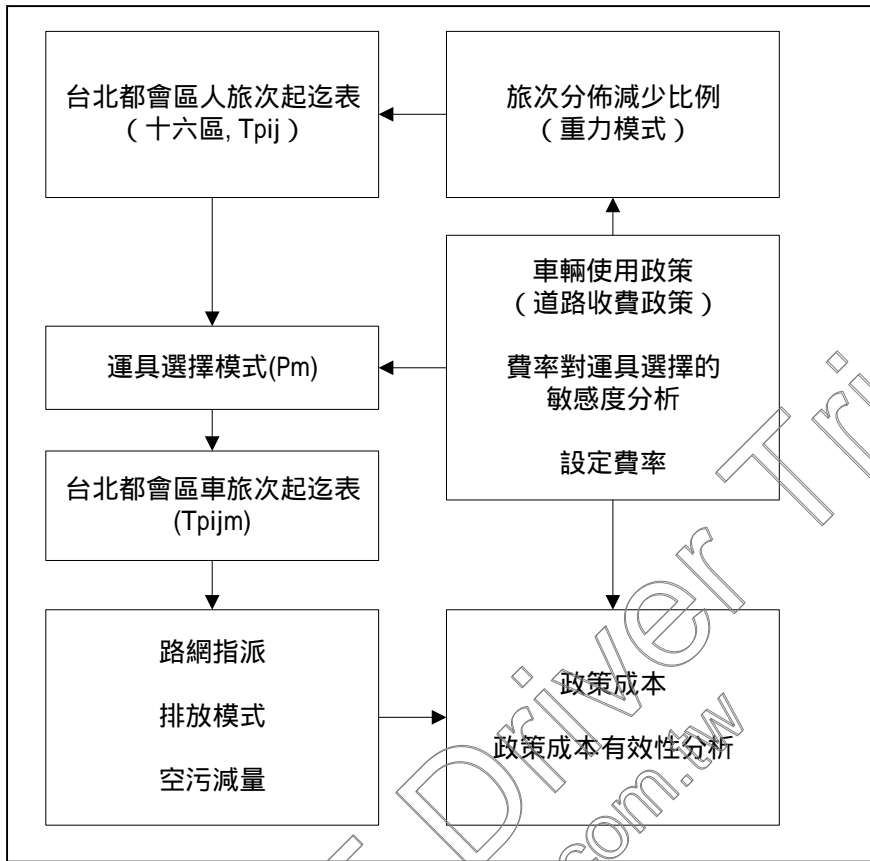


圖 4.2 車輛使用管制政策分析流程

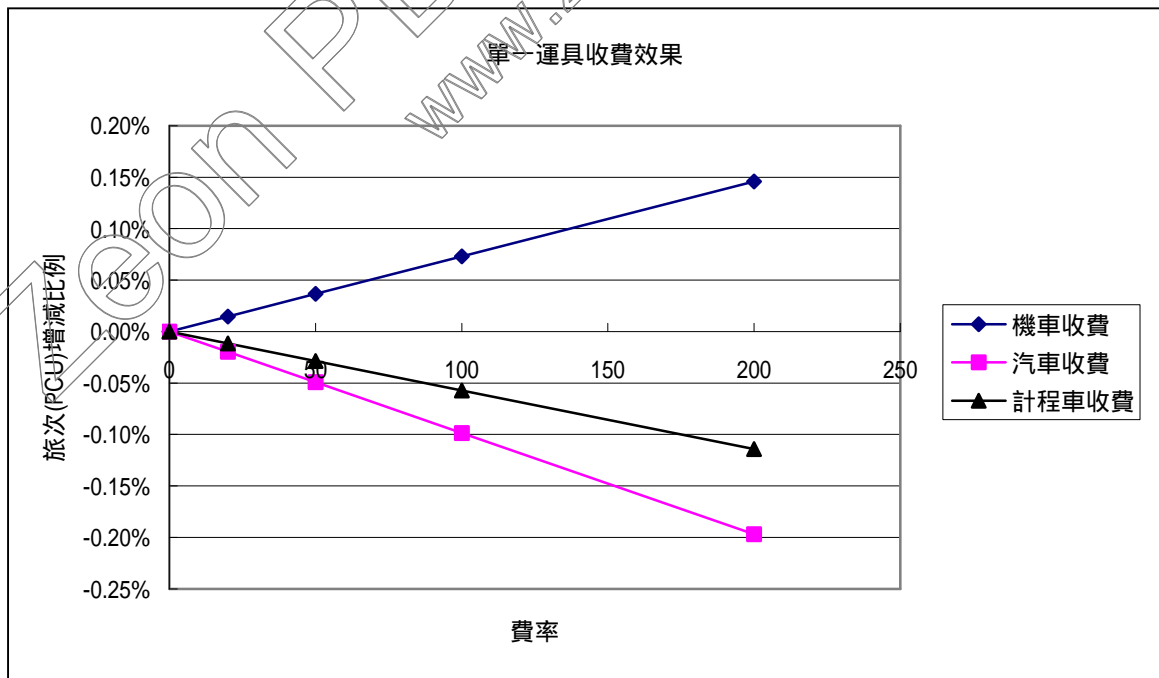


圖 4.3 單一運具收費對總車旅次的影響

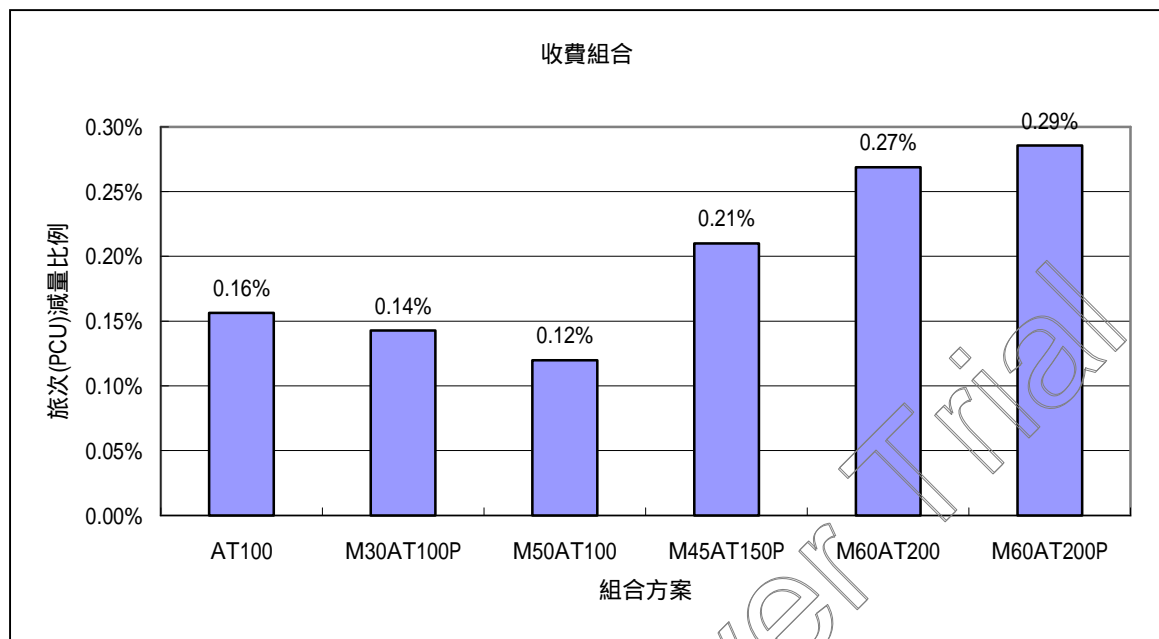


圖 4.4 組合收費方案對總車旅次減量的效果

二、政策效益

電子道路定價政策會產生時間節省及空污減量的效益。由於經市中心區的旅次會因收費而增加一般化成本。假設旅次分佈模式的形式為 3.3 式且 α 為 2，在已知收費前一般化成本時，可計算旅次分佈的減少比例。由於該政策全面實施於台北都會區，對旅次產生的影響應可一致化的減少旅次分佈結果，故直接將零方案的人旅次起迄矩陣的值減少相同比例，不重新估計旅次分佈。收費對運具選擇的影響可由 3.5 式計算。得到政策實施後選擇各種運具的人旅次起迄表，透過承載率的轉換可得到車旅次起迄表，再進行交通指派，乘以排放係數後可得到道路車輛的空氣污染排放量。因政策使得旅次減少及運具轉移造成指派後的交通量降低，同時使得速度提升，進而使車輛的旅行時間減少及空污減量。

旅行時間節省的效益計算，是在政策方案的實施下，各路段車輛旅行時間與零方案下的旅行時間之差，意即所有車輛的旅行時間節

省，再引用交通局報告中對時間價值的估計，私人運具使用者的時間價值為每分鐘 1.2 元，大眾運輸使用者則為 1.5 元。依據運具選擇中各運具使用者比例及上述時間價值的估計，可求算時間節省效益，該效益可計為政策的負成本。

三、政策成本

台北都會區實施電子道路定價的政策成本，包括道路使用者的消費者剩餘減少，以及政府實施政策的成本。後者又包括行政成本及設備成本兩部分，設備成本為 42 個車道上的電子收費站，及所有台北都會區通行之車輛需裝設一電子儲值卡讀卡機。

本研究參考新加坡的成本，其設置成本 1.97 億新幣，扣除讀卡機單價 150 元新幣共裝 68 萬輛的成本，其餘部分假設 70% 為系統固定成本，30% 為 33 座收費站的成本。新加坡的 5 年的維護與行政成本為 3900 萬新幣。

1. 估計台北都會區設置該系統，市區收費方案（含 42 座收費站）的成本共約 18 億新台幣（設一元新幣為 17.7 元新台幣）。若設備壽命為十年，利率 4%，則每年成本為 2.22 億新台幣。進入收費方案（含 25 座收費站）的每年成本為 1.92 億新台幣。
2. 依據模式估計，民國九十年台北都會區約有 440 萬汽機車，若全數裝設讀卡機則需 116 億。若設備壽命為五年，利率 4%，則每年成本為 26.07 億新台幣。
3. 台北都會區每年維護與行政成本為 1.55 億新台幣。

市區收費方案的成本每年約為 29.84 億新台幣。進入收費方案則為 29.54 億新台幣。

消費者剩餘減少可由 3.7 式計算。因資料的圍限無法計算每一個不同旅次的效用值，因此本研究分別計算進出市區及區內兩類旅次的平均小客車效用，再利用 3.4 與 3.5 式所得出的效用比計算各種運具的效用值，進而計算消費者剩餘的減少量。

第三節 車輛持有管制政策

由前述研究方法可知，車輛持有管制政策會改變旅次產生與運具選擇。以下先界定政策內容，再敘述政策成本與效益之評估過程，流程如圖 4.1 所示。

一、政策內容

以命令管制的方式限制每家戶僅能擁有一部小客車或機車，這種政策僅需在車輛申請行照、牌照時進行檢查即可，行政成本不高。因持有政策會影響運具選擇，若小客車與機車均受限制，則會造成相當多旅次轉為計程車與大眾運輸，造成總交通量增加。因此，本研究僅模擬限制每家戶持有一輛小客車的方案（SNIC）。

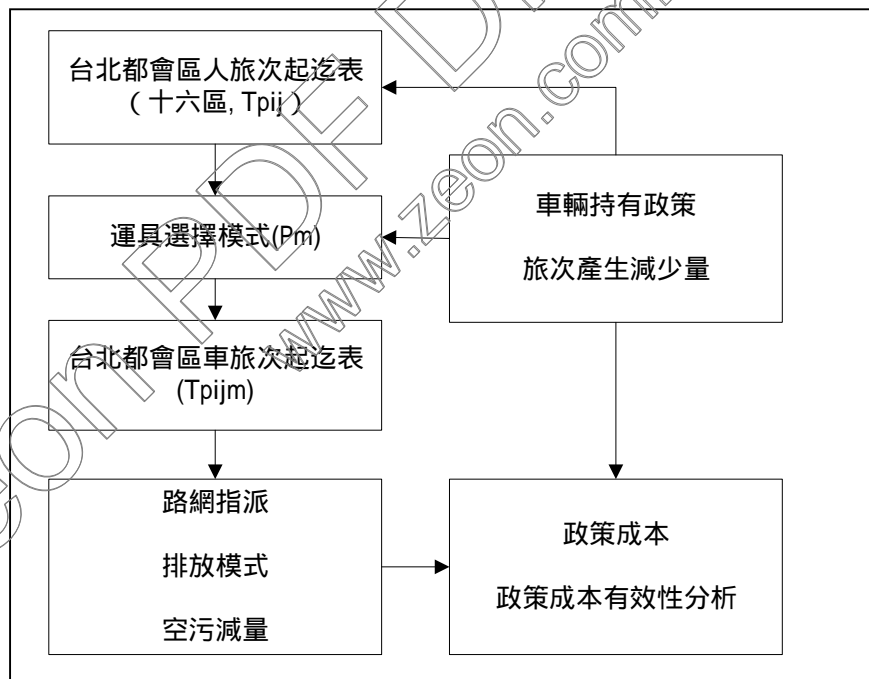


圖 4.5 車輛持有管制政策分析流程

二、政策的效益

車輛持有政策會影響模式中旅次產生及運具選擇部分。DOTS 1

模型在旅次產生模式中有所得與車輛持有交叉機率，車輛持有水準共分七類，分別為無持有車輛（NVA）、持有一輛機車（1MA）、多輛機車（MMA）、一輛小客車（1CA）、一輛小客車與多輛機車（1CMA）、多輛小客車（MCA）、多輛小客車與機車（MCMA）。依據該機率及交通區之家戶社經變數可以計算該分區之旅次產生量。

若政策為限制每戶最多僅能擁有一輛小客車，則我們可以假設原持有多輛小客車者會轉變為一輛小客車，可求算政策實施後的旅次產生量。將實施前後的旅次產生量減少比例直接反映到原有的旅次分佈結果，亦即所有的旅次均受到相同的產生減少影響。運具選擇模式中運具效用與平均車輛持有數相關，持有政策對運具選擇模式的影響可以由 3.6 式計算政策實施後各運具的選擇機率，再經交通指派與排放係數便可得到持有管制下車輛之空污排放量。同樣地，由於交通量減少及運具轉移，會造成交通時間節省及空污減量的效益。時間節省的計算方式與道路定價政策相同。

三、政策成本

執行上述車輛持有政策的行政成本並不高，但車輛持有管制使得車輛消費者所能購買的數量減少，造成其福利的減少，也就是消費者剩餘減少，其可由 3.7 式計算。持有政策僅會影響小客車的效用，本研究分別計算進出市區及區內兩類旅次的平均小客車效用，再利用 3.4 與 3.6 式所得出的效用比計算各種運具的效用值，進而計算消費者剩餘的減少量。

第五章 結果與討論

經由前述的模式計算，以下列出電子道路定價與車輛持有管制政策對旅行時間及空污減量的效益與成本，並據此計算該政策之每單位效益所需成本。另可參考清潔車輛與燃料的相關政策之文獻，將其每單位空污減量之成本與本研究的政策比較。

第一節 結果

實證研究所設定的三種電子道路定價方案會使通過收費區的旅次減少，以及運具選擇的轉移，造成指派後交通量減少及速度提升。車輛持有管制方案則會減少旅次產生及運具選擇轉移，同樣會造成指派後交通量減少及速度提升。由於上述方案均未改變車輛排放標準，因此排放係數的部分均不變。表 5.1 列出政策對模式各部分的影響，電子道路定價對運具選擇的改變效果小於持有管制政策，但定價政策在減少進入收費區旅次方面有較顯著的減量。因車輛與交通量的基數非常大，小比例的改變即可對空氣污染有明顯減量。

表 5.1 各種政策方案對模式各部分的影響

	旅次產生 (人旅次)	旅次分佈(人旅次)		運具選擇 (PCU 旅次)	交通指派結果	
		進出市中心 區旅次	市中心區 內旅次		年車行里 程數減少 (10 ⁶ VKT)	平均車速增 加 (公里/小時)
SN100	-	-0.09%	-0.16%	-0.14%	1757.89	6.13
SN150	-	-0.19%	-0.30%	-0.21%	3395.81	12.19
SN100A	-	-0.09%	-	-0.04%	900.56	3.34
SN1C	-0.34%	-	-	-0.43%	366.89	1.41

表 5.2 則表示各種政策下，台北市中心區移動源之各種空污排放量以及總和的車行時間。由於車輛所排放之 NO_x 會隨著速度的增加

而增加，但其他污染物則會降低。為了便於評估政策效益，及與其他研究相比較，因此，運用等效污染量的觀念，亦即將 CO 重量之七分之一與其他污染物重量相加，得到一不同空氣污染物的等效空污量（CARB，1991）。政策造成的等效空污量減少簡稱為等效減量。

表 5.2 各種政策方案的效果

	年車行時間 (10 ⁶ 小時)	SOx / year (噸)	HC / year (噸)	CO / year (噸)	NOx / year (噸)	等效空污量 (噸)
零方案	991.14	1023.36	37699.46	159602.94	11643.05	73166.30
SN100	673.04	921.09	27227.25	110189.59	9973.08	53862.80
減量	318.10	102.28	10472.21	49413.35	1669.97	19303.50
SN150	481.02	825.78	20440.29	79760.17	8521.87	41182.26
減量	510.12	197.58	17259.17	79842.77	3121.18	31984.04
SN100A	810.27	970.81	31794.78	131525.69	10759.55	62314.53
減量	180.87	52.55	5904.68	28077.25	883.50	10851.77
SN1C	908.44	1002.08	35050.93	146878.16	11274.71	68310.32
減量	82.70	21.29	2648.53	12724.77	368.34	4855.98

政策的淨成本包括實施成本、消費者剩餘減少與時間節省效益，淨成本除以空污減量，可以得到單位減量的淨成本。成本有效性分析則是政策的實施成本除以空污減量。計算結果如表 5.3 所示。

表 5.3 各種政策方案的總成本與空污單位減量成本

	實施成本 (億元)	消費者剩 餘減少 (億元)	時間節 省效益 (億元)	淨成本 (億元)	等效減量 (噸)	成本有效性 (萬元/噸)	單位減量 淨成本 (萬元/噸)
SN100	29.84	273.16	243.59	59.41	19303.50	15.46	30.77
SN150	29.84	409.31	390.67	48.48	31984.04	9.33	15.16
SN100A	29.54	180.30	138.50	71.34	10851.77	27.22	65.74
SN1C	-	5.71	63.42	-57.71	4855.98	-	-118.84

註：*成本部分未扣除時間節省效益

由於目前台灣在移動源管制政策之評估研究仍不多，本研究引用南高屏地區移動源管制政策之成本有效性分析(表 5.4)，雖移動源數量不同，但仍可做為與本研究比較的參考。

表 5.4 南高屏地區移動源管制政策之成本有效性分析文獻

管制對策名稱	等效減量 (噸/年)	社會成本	
		總成本 (元/年)	平均成本 (元/噸)
淘汰老舊機車	833.6	131951710	158291
加強機車路邊稽查排氣檢測	281	32403386	115315
建立機車排氣定檢制度	2071	166256991	80279
汽車排氣遙測	202	45240307	224406
淘汰老舊汽車	1099	885831187	806034
建立柴油車排氣檢驗制度	72	34208470	475118

資料來源：環境保護署(1999)

由表 5.3 與 5.4 比較便可發現，車輛持有管制政策的淨成本為負，亦即該政策僅計算時間效益便值得推動。電子道路定價政策之平均成本雖高但仍有競爭力，以 SN150 為例，僅高於加強機車路邊稽查排氣檢測與建立機車排氣定檢制度。再由總效益與總成本的觀點來看，兩種政策的空污減量總效益超過表 5.4 中的所有政策，但相對地總成本也為最高。SN100A 的平均成本遠高於 SN100，顯示市中心區內旅次收費有顯著效果。

第二節 討論

針對本研究的過程與結果，討論包括低估空污排放總量及政策實施的相關問題。

一、低估空污排放總量

本研究估計之市中心區移動源空污排放量，低於台北市環境保護局（1998）推估之台北市總量。除移動源在士林、北投、文山、南港等區所排放之空污外，總量較少的可能原因是慢速車流的估計不準確。由於循序性集體需求模式主要目的在預測交通區之間的平均車流與速度，並不包括在交通區內的短程旅次、巷道中的車輛，以及因紅綠燈、交通壅塞、車流混亂造成的速度降低，這些情況均會使得移動源的空污排放量大增。

二、車輛持有管制政策的評估與實施問題

本研究假設持有政策為限制每戶僅能擁有一輛小客車，則民眾反應除了擁有多輛車的家戶減少持有以外，也可能會增加機車持有或未持有者增加持有，但這些效果因模式缺乏持有的供給與需求曲線而難以估計。這也表示限制每戶的車輛數並不一定能控制車輛總數，欲達成車輛總量管制仍需要採取持有權標售的方法，固定每年釋出一定數量的持有權。雖然本研究計算的持有政策成本不高，但限制擁有政策仍有法律與政治問題需考慮。

三、道路定價政策的其他效果

Richardson et al. (1998) 討論道路定價可能造成的改變，除了一般認定的減少旅次、旅程；也可能改變居住位置、影響所得分配；還可能因費率過低，對行為沒有影響；因行車時間成本降低，造成用車增加；因降低時間成本及燃料效率提高，減低總車輛持有成本，造成車輛持有增加。這類問題都是道路定價政策執行需要考量的。現在新加坡執行的電子道路定價政策，已經可以克服多數定價的技術問題，它可以依據不同的時間、不同的地點、路況、擁擠程度、車種等因素而有不同的費率，更精確地改善擁擠情形，並達到改善空氣品質的目的。

的。至於道路定價可能使得持有增加的情形，則需要進一步的研究，若該情形發生，則需要與其他配套措施一併執行，例如本研究所擬定的車輛持有管制政策。

四、道路定價政策的公平性

道路定價政策的公平問題需視費率與收益之使用而定。Richardson et al. (1998) 認為，一般的情況是道路定價實施的結果，使得繳費的使用者較不繼續使用該收費路段的人產生更多的福利減損。因低所得者的道路使用型態選擇較少，時間成本卻較高所得者低，其費率與所得的比例也較高所得者低，即所謂累退效果。另一方面，若小客車、計程車的費率夠高，且收益有部分用於補貼大眾運輸系統，則高所得、開車多的用路人不會比低所得者有利。道路定價是否會產生累退效果還需視費率與收益之使用而定。因本研究所採用的模式僅有各交通分區的平均所得，對於收費的歸宿無法做進一步的實證分析。

五、道路定價的收費範圍、對象與費率

道路定價的收費範圍應包括市中心區內旅次，對象應當是公務車及大眾運輸以外的所有車輛，費率應以 PCU 為比例。由外部成本內部化原則可知，政策應對所有產生外部性的車輛，依據外部性大小透過收費將之內部化。由於公務車從事公眾服務產生外部效益故不收費，大眾運輸使用者不收費則是有補貼的功能以增加使用率。

收費對象的問題也可以由新加坡與香港的經驗得到啟示。香港政府因利益團體的壓力，不斷縮減收費對象，計程車、貨車與公司用車先後被排除收費，引發小客車持有者強烈抗爭，認為該政策違反公平原則，最後導致試辦計畫失敗（張有恆，1992）。相反地，新加坡政府全面以 PCU 為比例收費，無車種例外，但給予計程車、公司、貨運業者緩衝期，以漸增的費率達到原定目標（Foo, 2000）。新加坡的

實施方式較符合公平原則。

六、道路定價的成本效益分佈與收益分配

道路定價政策的收益分配問題必須考慮成本分佈。以下將台北都會區的居民分為市中心區內與區外、道路使用者、私人運具（機車、小客車、計程車）使用者等幾類進行討論：

1. 所有道路使用者均有時間節省的效益，但政策的成本主要由私人運具的使用者負擔，符合外部成本內部化原則。
2. 市中心區內居民獲得較區外居民多的空氣品質改善效益，但也可能因收費後車流量減少而喪失商業利益。
3. 由於目前台北市中心區仍是台北都會區最重要的生活中心，通過收費區的旅次佔都會區總旅次相當高的比例，居住於收費區外的私人運具使用者因選擇較少而負擔增加較多。

由以上的討論可以發現，區外居民的負擔仍然增加較多。因此應將部分收益回饋於區外居民。但基於以下幾點理由，收益不應專用於補貼交通建設或減免車輛使用費用：

1. 為了維持該收益的使用有效率，應以統收統支的方式管理。
2. 收益用於補貼交通建設或減免車輛使用費，會導致旅行成本降低旅次增加。
3. 除了交通建設以外，發展市中心區外的工商業、教育機構，可以增加區外居民的交通選擇，改善成本分佈的區域不公平現象。

第六章 結論與建議

本研究針對車輛使用與持有管制政策，分別模擬了電子道路定價及限制每戶車輛數的效益，並估計其成本。以下將提出本研究的結論與建議，且依據本研究之限制，提出未來研究方向。

第一節 結論

本研究針對台北市中心區(central business district, CBD)空氣污染移動源問題，評估電子道路定價 (electronic road pricing , ERP) 及限制每戶車輛數兩種政策的成本有效性。前者的收費範圍除進入市中心區的道路橋樑以外，區內旅次也應在屏柵線收費。收費的對象與費率依據外部成本內部化原則，以 PCU 為比例計算費率適用所有車種。車輛持有管制政策，則是限制台北都會區每戶最多持有一輛小客車。

研究結果顯示，車輛持有管制政策每年產生 4856 噸的空污減量及 63.42 億元的時間節省效益，遠高於其每年 5.71 億元的成本 (消費者剩餘減少)，值得優先推行。若電子道路定價的每日費率為機車 45 元、小客車與計程車 150 元、大眾運輸系統使用者補貼 10 元，則空氣污染的減量為 31984 噸，將政策的實施成本加上收費造成的消費者剩餘減少，再扣除時間節省效益後稱為淨成本，電子道路定價對空污減量的單位淨成本為每噸 15.16 萬元，低於許多汽車排氣檢測、降低車輛排放標準政策。

第二節 建議

由本研究所歸納的結論及研究之過程，分別提出政策及未來研究方向的建議。

一、政策建議

車輛持有管制政策有相當大的時間節省及空污減量效益，遠大於政策的成本，值得推動。電子道路定價的單位減量成本也不高，且有相當大的減量效果。雖然有些清潔車輛或燃料的政策有更低的平均成本，但許多提高排放標準及增加查驗（提高標準符合率）的政策目前均已實施，未來的邊際成本將上升。電子道路定價的總成本雖高，但總效益也相當大，其實施應可大幅改善交通與空氣品質狀況。

在政策的實施方面，收費對象依據外部成本內部化原則，應當對所有進入市區的車輛收費，且以 PCU 為比例計算費率。另外，考慮區域公平性，將部分收益交由區外政府單位統籌運用，包括改善大眾運輸系統、發展工商業與教育機構等，可以增加區外居民的交通選擇，改善成本分佈的區域不公平現象。

二、未來研究方向

本研究及環境保護署（1998）均是利用現有交通需求模式加上排放係數來進行移動源管制政策分析。利用現有的交通模型不僅可以大幅減少模型建構所需資源，更可以針對車輛持有與使用政策進行評估。然台灣現有的交通需求模型均未考量車輛使用的環境問題，以下提出幾點做為未來研究的參考：

1. 運具選擇模式中運具選擇應增加：現有的交通模式之運具選擇部份僅有四種運具，但在排放係數的部份則有更為詳細的車種，例如二行程機車與四行程機車、柴油小客貨車與自用汽油小客車，其污染排放與交通行為均有明顯不同，應當分別估計。另外，假如未來實施道路定價或車輛持有管制政策，則共乘將成為重要的運具，應當在模式中有對應方案。
2. 結合車流模型：本研究低估空污排放總量的原因，在於循序性集體需求模式不足以描述車流之實際行為，亦即車輛因紅綠燈或車流混亂等因素而減低速度與增加行駛距離，車流模型即在描述該

現象，若能在原有的交通需求模型中加入車流模型，或許可以更精確地預測車輛之空污排放。

3. 評估車輛持有與使用管制政策的成本效益：目前台灣並沒有針對車輛持有與使用管制政策進行全面性的成本與效益分析。因車輛使用而造成的外部性種類相當多，噪音、景觀、意外事故等的研究較少，交通建設的缺乏效率也應當被考慮。在車輛密度極高的都市地區，車輛持有與使用管制政策有實施的必要，進行更全面的成本效益分析是推動的第一步。

Zeon PDF Driver Trial
www.zeon.com.tw

參考文獻

英文部份：

1. Ben-Akiva, Moshe and Lerman, Steven R., Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1985.
2. Bockstael, Nancy E., Hanemann, W. Michael and Strand, Ivar E., Measuring the Benefits of Water Quality Improvements Using Recreation Demand Model, Report to the U.S. Environmental Protection Agency. College Park, Md.: University of Maryland.
3. California Air Resource Board (CARB), Proposed Regulations for California Phase 2 Reformulated Gasoline, Technical Support Document, Sacramento, CA, October 4, 1991.
4. Chia, Ngee-Choon and Phang, Sock-Yong, "Motor Vehicle Taxes as Environmental Management Instrument: the Case of Singapore," the Economy and Environment Program for Southeast Asia Conference.
5. Chin, Anthony T. H., "Sustainable Transportation: Abatement and Prevention of Vehicular Emission from Land Transportation in Singapore," Working Paper, 1999.
6. Foo, Tuan Seik, "An advanced demand management instrument in urban transport," *Cities*, Vol. 17, No. 1, pp. 33-45, 2000.
7. Freeman III, A. Myrick, The Measurement of Environmental and Resource Values Theory and Methods, Resource for the Future, Washington DC, 1992.
8. Harrington, Winston McConnell, Virginia and Walls, Margaret, "Who's in the driver's seat? Mobile source policy in the US federal system," Climate Change, Transport and Environmental Policy,

- Edward Elgar, 1998.
9. Harrington, Winston, "Fuel Economy and Motor Vehicle Emissions," *Journal of Environmental Economics & Management*. Vol. 33 (3). pp. 240-52. July 1997.
 10. Johansson-Stenman, Olof and Sterner, Thomas, "What is the scope for environmental road pricing," Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment, Edward Elgar, 1998.
 11. Lerman, Steven R., and Clifford R. Kern, "Hedonic Theory, Bid Rents, and willingness-to-pay: Some Extensions of Ellickson's Results," *Journal of Urban Economics* vol. 87, no. 2, pp.188-207, 1983.
 12. Proost, Stef and Dender, Kurt Van, "Effectiveness and Welfare Impacts of Alternative Policies to Address Atmospheric Pollution in Urban Road Transport, Working Paper, 1999.
 13. Robinson, Russ, "Transportation demand management in Canada: an overview," *Energy Policy*, Vol.25, Nos.14-15, pp.1189-1191, 1997.
 14. Sevigny, Maureen, Taxing Automobile Emissions for Pollution Control, Edward Elgar, 1998.
 15. Small, Kenneth A. and Gomez-Ibanez, Jose A., "Road pricing for congestion management: the transition from theory to policy," Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment, Edward Elgar, 1998.
 16. U. S. Environmental Protection Agency, "Accelerated Vehicle Retirement Programs," 1997.
 17. U. S. Environmental Protection Agency, Opportunities to Improve Air Quality through Transportation Pricing Programs, 1997.
 18. U. S. Environmental Protection Agency, "Compilation of air pollutant emission factors," 2nd ed., Publ. AP-42, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C.,

1973.

19. Wang, Michael Q., "Mobile source emission control cost-effectiveness: issues, uncertainties, and results," *Transportation research -D*, Vol.2, No. 1, pp43-56, 1997.

中文部份：

1. 王京明，「移動污染源空污費隨車徵收替代方案之探討」，*經濟前瞻*，第 59 期，頁 126-131，1998。
2. 王慶瑞，運輸系統規劃，正揚出版，1999。
3. 台北市政府交通局，台北市地區通行證試辦計畫之規劃研究，台北市道路交通安全促進會，1991。
4. 台北市政府交通局，台北都會區整體運輸系統發展分析及規劃模式之建立與應用，亞聯工程顧問公司，1997。
5. 台北市政府交通局，台北都會區整體運輸規劃之研究，中華民國運輸學會，1989。
6. 台北市環境保護局，台北市空氣污染物排放減量規劃與管制綜合計畫，中興工程顧問公司，1998。
7. 姜渝生、廖仁哲，「家戶同一效用最大化之小客車持有與使用、工作運具混合需求模型之研究—台灣地區之實證分析」，*運輸計畫季刊*，第二十七卷第四期，1998。
8. 施鴻志、段良雄、凌瑞賢，都市交通計畫—理論與實務，國立編譯館，1984。
9. 張有恆，運輸經濟學 - 理論與實務，華泰書局，1992。
10. 馮正民，「運輸使用者之效益衡量—Logit 模式的應用」，*運輸計畫季刊*，第十五卷第四期，1986。
11. 馮正民，「國土綜合開發—永續交通運輸」，*國家永續發展論壇*，第三次圓桌會議，1997。
12. 鄭福田，台北市非點源空氣污染排放特性調查研究，台大環工所，1986。

13. 蕭代基、張家春、黃錦糖、朱澤民、張能復、黃宗煌、楊重信、葉淑琦、林淑瑜，「空氣污染防制費收費辦法與執行之檢討」，經社法制論叢，第 22 期，1998。
14. 蕭代基、張能復、葉淑琦，「使用中車輛排氣檢驗與管制策略之成本效果分析」，亞太經濟管理評論，第一卷第一期，1997。
15. 蕭代基、葉淑琦，綠色稅制改革，台灣地球日出版社，1998，譯自 OECD, Environmental taxes and green tax reform, OECD, Paris, 1997。
16. 環境保護署，「八十六年空氣品質分析及污染防制對策」，1998。
17. 環境保護署，利用運輸預測模式技術減低台北都會由道路車輛造成之溫室氣體排放之行動計畫，Rowan Williams Davies & Irwin Inc.，1998。
18. 環境保護署，南高屏地區空氣污染總量管制規劃—F6 子計畫移動源管制對策之減量效益及成本分析研究，國立台灣大學環境工程研究所，1999。（EPA-88-FA21-03-0012）
19. 環境保護署，空氣污染總量管制制度推行先期作業及空氣污染物排放量推估標準方法建立，1999。

網站資料：

1. 中華電信研究所，<http://www.chttl.com.tw>
2. 台北市政府交通局網站，<http://www.dot.tcg.gov.tw>
3. 交通部運輸研究所網站，<http://www.iot.gov.tw>
4. 環境保護署網站，<http://www.epa.gov.tw>

附錄 A 台灣地區與台北市 87 年排放量表

表1 台灣地區民國 87年移動源排放量一覽表 -- 細類-行業別

	TSP		PM10		SOx		NOx		NMHC		CO		Pb	
	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比
1. 公路運輸 合計	40157	4.86%	36042	10.07%	11996	3.38%	206029	41.29%	238942	28.54%	1383953	69.39%	167	64.43%
(1). 汽油車														
自用小客車	10698	1.29%	8559	2.39%	4433	1.25%	77230	15.48%	127763	15.26%	965857	48.42%	98	38.05%
計程車	648	0.08%	518	0.15%	365	0.10%	2457	0.49%	6336	0.76%	55661	2.79%	9	3.41%
汽油小貨車	1266	0.15%	1013	0.28%	481	0.14%	6234	1.25%	13480	1.61%	96374	4.83%	19	7.25%
(2). 柴油車														
柴油小貨車	1749	0.21%	1749	0.49%	956	0.27%	3573	0.72%	1290	0.15%	4363	0.22%	0	0.00%
公車/客運車	2127	0.26%	2127	0.59%	566	0.16%	14610	2.93%	2427	0.29%	7672	0.39%	0	0.00%
其他大客車	3440	0.42%	3440	0.96%	776	0.22%	19148	3.84%	2479	0.30%	7231	0.36%	0	0.00%
大貨車	12266	1.48%	12266	3.43%	3319	0.94%	77867	15.60%	9083	1.09%	26203	1.31%	0	0.00%
(3). 機車														
二行程機車	5996	0.73%	4797	1.34%	571	0.16%	439	0.09%	58561	7.00%	138584	6.95%	16	6.05%
四行程機車	1967	0.24%	1573	0.44%	529	0.15%	4471	0.90%	17523	2.09%	82008	4.11%	25	9.67%
2. 非公路運輸 合計	599	0.07%	599	0.17%	3802	1.07%	11779	2.36%	2167	0.26%	9674	0.49%	0	0.00%
農業機械/施工機具	188	0.02%	188	0.05%	384	0.11%	2247	0.45%	213	0.03%	1000	0.05%	0	0.00%
火車	118	0.01%	118	0.03%	638	0.18%	1737	0.35%	434	0.05%	632	0.03%	0	0.00%
航空器	0	0.00%	0	0.00%	9	0.00%	7361	1.48%	1455	0.17%	7961	0.40%	0	0.00%
船舶	293	0.04%	293	0.08%	2771	0.78%	434	0.09%	65	0.01%	81	0.00%	0	0.00%
移動源污染源 合計	40756	4.93%	36641	10.23%	15798	4.45%	217808	43.65%	241109	28.80%	1393627	69.87%	167	64.43%
固定與移動總排放量	826746	100.00%	358052	100.00%	354928	100.00%	499042	100.00%	837126	100.00%	1994622	100.00%	258	100.00%

表2 台北市民國 87年移動源排放量一覽表 -- 細類-行業別

	TSP		PM10		SOx		NOx		NMHC		CO		Pb	
	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比	公噸 / 年	百分比
1. 公路運輸 合計	4088	8.63%	3797	21.83%	1658	41.81%	19218	76.31%	58970	63.21%	362423	98.79%	35.5	98.61%
汽油小客車	1281	2.70%	1273	7.32%	836	21.08%	11285	44.81%	22876	24.52%	218820	59.65%	11	30.56%
小貨車	327	0.69%	240	1.38%	239	6.03%	1261	5.01%	1937	2.08%	18321	4.99%	0.8	2.22%
大客貨車	947	2.00%	904	5.20%	281	7.09%	6078	24.14%	972	1.04%	3187	0.87%	0	0.00%
二行程機車	1318	2.78%	1186	6.82%	207	5.22%	145	0.58%	29915	32.07%	93906	25.60%	4.6	12.78%
四行程機車	215	0.45%	194	1.12%	95	2.40%	449	1.78%	3270	3.51%	28189	7.68%	19.1	53.06%
2. 非公路運輸 合計	7	0.01%	7	0.04%	18	0.45%	1927	7.65%	53	0.06%	1876	0.51%		
農業機械														
施工機具	5	0.01%	5	0.03%	6	0.15%	62	0.25%	6	0.01%	26	0.01%		
鐵路	2	0.00%	2	0.01%	12	0.30%	32	0.13%	8	0.01%	11	0.00%		
航空器							1833	7.28%	39	0.04%	1839	0.50%		
船舶														
移動源污染源 合計	4095	8.64%	3804	21.87%	1676	42.26%	21145	83.97%	59023	63.27%	364299	99.30%	35.5	98.61%
固定與移動總排放量	47375	100.00%	17396	100.00%	3966	100.00%	25183	100.00%	93294	100.00%	366853	100.00%	36	100.00%

資料來源：台北市環境保護局，1998。

附錄 B 台北縣市車輛排放係數

車種	車速 (km/hr)	90 年排放係數 (克/公里.輛)					
		TSP	SOx	Pb	NOx	CO	THC
自用小客車	5.00	0.155	0.067	0.006	0.840	48.960	6.700
	10.00	0.153	0.067	0.004	0.740	26.280	3.050
	15.00	0.152	0.067	0.003	0.710	17.920	2.160
	20.00	0.151	0.067	0.002	0.700	13.920	1.750
	25.00	0.151	0.067	0.002	0.700	11.660	1.460
	30.00	0.151	0.067	0.002	0.700	10.200	1.260
	40.00	0.150	0.067	0.001	0.740	7.530	1.000
	50.00	0.148	0.067	0.001	0.760	5.720	0.850
	60.00	0.148	0.067	0.001	0.780	4.520	0.730
	70.00	0.148	0.067	0.001	0.790	3.760	0.650
	80.00	0.148	0.067	0.001	0.850	3.400	0.600
	90.00	0.148	0.067	0.001	1.020	3.940	0.600
	100.00	0.147	0.067	0.000	1.180	7.610	0.690
營業小客車	5.00	0.157	0.085	0.008	0.730	9.610	8.060
	10.00	0.154	0.085	0.005	0.610	5.500	2.690
	15.00	0.153	0.085	0.004	0.570	4.130	1.800
	20.00	0.152	0.085	0.003	0.550	3.440	1.430
	25.00	0.151	0.085	0.002	0.530	3.030	1.190
	30.00	0.151	0.085	0.002	0.530	2.760	1.010
	40.00	0.150	0.085	0.001	0.540	2.010	0.790
	50.00	0.148	0.085	0.001	0.550	1.500	0.660
	60.00	0.148	0.085	0.001	0.560	1.170	0.560
	70.00	0.148	0.085	0.001	0.560	0.930	0.500
	80.00	0.148	0.085	0.001	0.600	0.790	0.440
	90.00	0.148	0.085	0.001	0.700	0.860	0.410
	100.00	0.148	0.085	0.001	0.800	1.310	0.420
汽油小貨車	5.00	0.163	0.063	0.006	0.820	54.710	8.240
	10.00	0.162	0.063	0.005	0.690	27.840	3.510
	15.00	0.161	0.063	0.004	0.650	18.670	2.460
	20.00	0.160	0.063	0.003	0.630	14.120	1.980
	25.00	0.160	0.063	0.002	0.620	11.420	1.660
	30.00	0.159	0.063	0.002	0.610	9.640	1.420
	40.00	0.159	0.063	0.001	0.640	8.060	1.190

	50.00	0.160	0.063	0.001	0.670	7.070	1.040
	60.00	0.160	0.063	0.001	0.680	6.410	0.930
	70.00	0.160	0.063	0.001	0.700	5.960	0.860
	80.00	0.160	0.063	0.001	0.760	5.730	0.800
	90.00	0.160	0.063	0.001	0.950	6.810	0.810
	100.00	0.159	0.063	0.001	1.140	14.100	0.980
柴油小貨車	5.00	0.625	0.171	0.000	1.970	3.570	0.690
	10.00	0.625	0.171	0.000	1.730	2.790	0.590
	15.00	0.625	0.171	0.000	1.540	2.220	0.510
	20.00	0.625	0.171	0.000	1.390	1.790	0.440
	25.00	0.625	0.171	0.000	1.280	1.480	0.390
	30.00	0.625	0.171	0.000	1.190	1.240	0.340
	40.00	0.625	0.171	0.000	1.070	0.920	0.270
	50.00	0.625	0.171	0.000	1.010	0.730	0.230
	60.00	0.625	0.171	0.000	1.020	0.620	0.190
	70.00	0.625	0.171	0.000	1.080	0.570	0.170
	80.00	0.625	0.171	0.000	1.210	0.560	0.160
	90.00	0.625	0.171	0.000	1.430	0.580	0.150
	100.00	0.625	0.171	0.000	1.780	0.660	0.150
公車/客運	5.00	1.861	0.323	0.000	18.060	15.670	3.290
	10.00	1.861	0.323	0.000	15.880	12.240	2.810
	15.00	1.861	0.323	0.000	14.160	9.730	2.420
	20.00	1.861	0.323	0.000	12.800	7.870	2.100
	25.00	1.861	0.323	0.000	11.730	6.480	1.840
	30.00	1.861	0.323	0.000	10.890	5.430	1.630
	40.00	1.861	0.323	0.000	9.790	4.020	1.300
	50.00	1.861	0.323	0.000	9.300	3.190	1.080
	60.00	1.861	0.323	0.000	9.330	2.720	0.920
	70.00	1.861	0.323	0.000	9.890	2.490	0.820
	80.00	1.861	0.323	0.000	11.070	2.440	0.750
	90.00	1.861	0.323	0.000	13.100	2.560	0.710
	100.00	1.861	0.323	0.000	16.360	2.890	0.700
二行程機車	5.00	0.273	0.026	0.00236	0.010	25.760	8.990
	10.00	0.273	0.026	0.00147	0.010	14.050	5.320
	15.00	0.273	0.026	0.00106	0.010	9.170	3.710
	20.00	0.273	0.026	0.00084	0.010	6.770	2.900
	25.00	0.273	0.026	0.00069	0.010	5.430	2.440
	30.00	0.273	0.026	0.00058	0.010	4.580	2.140
	40.00	0.273	0.026	0.00045	0.010	3.500	1.770

	50.00	0.273	0.026	0.00036	0.020	2.780	1.520
	60.00	0.273	0.026	0.00031	0.020	2.290	1.340
	70.00	0.273	0.026	0.00027	0.020	1.990	1.230
	80.00	0.273	0.026	0.00023	0.020	1.870	1.200
	90.00	0.273	0.026	0.00021	0.020	2.280	1.270
	100.00	0.273	0.026	0.00019	0.030	5.030	1.760
四行程機車	5.00	0.097	0.026	0.00236	0.200	15.740	2.790
	10.00	0.097	0.026	0.00147	0.180	8.550	1.670
	15.00	0.097	0.026	0.00106	0.170	5.560	1.180
	20.00	0.097	0.026	0.00084	0.160	4.100	0.940
	25.00	0.097	0.026	0.00069	0.170	3.280	0.790
	30.00	0.097	0.026	0.00058	0.180	2.750	0.710
	40.00	0.097	0.026	0.00045	0.200	2.090	0.590
	50.00	0.097	0.026	0.00036	0.220	1.660	0.520
	60.00	0.097	0.026	0.00031	0.240	1.360	0.460
	70.00	0.097	0.026	0.00027	0.250	1.180	0.430
	80.00	0.097	0.026	0.00023	0.270	1.100	0.420
	90.00	0.097	0.026	0.00021	0.320	1.340	0.440
	100.00	0.097	0.026	0.00019	0.370	2.970	0.590

資料來源：環境保護署（1999）

附錄 C 電子道路定價與車輛總量管制計畫介紹

電子道路定價 (electronic road pricing) 與車輛總量管制計畫 (vehicle quota scheme) 分別是車輛使用於持有管制政策中最常被提到的實施方式，以下將分別介紹這兩種政策，以及在新加坡實施的實際情形。

一、電子道路定價

電子道路定價乃是以電子式、非人工的方式對使用道路者收取費用，期使道路的使用達社會最適。台北市交通局 (1991) 指出，市區收費若採用自動管制作業系統 (電子道路收費) 能減少車流延滯，每小時車流量可由人工收費最大的 900 輛增加至 1450 輛以上，並降低人事成本提高正確性。實施方式如下：駕駛人購買一電子儲值卡 (CashCard) 置於擋風玻璃下，當車輛駛近管制站時，觸動車道下之感應器，即啟動管制站之電子攝影機，攝入車輛正面影像 (含車牌)。車輛進入管制站時，上端天線發出一超高頻電磁波，經電子儲值卡反射回讀碼機確認，若正確扣款即清除電子影像，若沒有反射波或反射波有誤 (儲值卡不正確)，即將電子影像存檔以備日後追繳或處罰。

目前電子式的道路收費多應用於高速公路收費，僅新加坡於 1998 年開始將之用於一般市區道路，以替代其自 1975 年即開始執行的地區通行證計畫 (Area license scheme)。

Foo (2000) 介紹新加坡的電子道路定價，其在市中心區四周道路設置電子收費站，對進入市區車輛收費，收費站可自動對電子儲值卡進行扣款，通行費可隨著車種、時間、擁擠程度等有所不同。收費站的主要設備是一個電子收費站的信號桿 (Gantry) 及影像處理系統，可以監控數個車道讓多輛車同時通過，整個操作過程完全不干擾車流，也用於機車，但因無法辨識車上載客數，故無法依載客數之不同決定費率。目前共設有 33 座電子收費站，其中 27 個用於市區通行費的收取，其餘 6 個則用於高速公路收費。成本方面，新加坡政府與

系統提供廠商之合約為 1.97 億新幣,以及 5 年的維護費 3900 萬新幣,車上讀卡機為政府在一特定期限內免費為民眾裝設,期限過後則需收費 150 元新幣,電子儲值卡的額度為 20 到 500 元新幣。

新加坡的電子道路定價之收費時間為上午七點半到下午七點,費率隨時間(擁擠程度)變動的。收費方式,以小客車當量為收費比,亦即機車、小客車、計程車、大客車、大貨車的費率比為 0.5: 1: 1: 1.5: 2,最高的時間分別是上午八點半到九點為 2.5 元新幣(小客車),及下午六點到六點半為 2 元新幣。計程車、公司用車、大型課貨車的費率在實施第一年約僅應有費率之半,往後再依固定時程逐年提高到應有之費率。交通量的統計發現,電子道路定價實施後尖峰小時的車流量減少了約 22%。

二、車輛總量管制計畫

新加坡在 1990 年起,為了因應 80 年代經濟成長所引發的車輛數高度成長,開始實施車輛總量管制。新加坡陸運局(Land Transport Authority)每年依據前一年的新增道路面積、交通狀況、車輛報廢數等,決定該年允許車輛增加的總數,並在每月月初對車輛持有權(certificate of entitlement)進行標售,所有欲新購車輛及繼續保有持有權十年以上的人均需標得該權證。每年管制車輛總數增加率約 3%,估計若未實施該計畫,則 1993 年的增加率會超過 7.4%。