

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

運輸外部成本訂價、捷運票價補貼對都會區家戶運具 / 路線 選擇與環境改善影響之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2415-H-009-004-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學運輸科技與管理學系

計畫主持人：許巧鶯

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
期中進度報告

運輸外部成本訂價、捷運票價補貼對都會區家戶運具 / 路線
選擇與環境改善影響之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC91 - 2415 - H - 009 - 004 -

執行期間： 91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人：許巧鶯

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學運輸科技與管理學系

中 華 民 國 九 十 二 年 七 月 三 十 一 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
運輸外部成本訂價、捷運票價補貼對都會區家戶運具 / 路線選擇與
環境改善影響之研究

**The impacts of transportation external cost pricing and transit fare
subsidy on metropolitan household mode/route choices and
environmental improvements**

計畫編號：NSC 91-2415-H-009-004

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：許巧鶯(cihsu@cc.nctu.edu.tw) 國立交通大學運輸科技與管理學系

一、摘要

本研究以具有鐵路捷運路網的都會區為研究範圍，探討運輸外部成本訂價以及鐵路捷運票價降低兩種運輸管理策略，對通勤家戶的運具 / 路線選擇決策的影響，及其所達成的環境改善效益。本研究首先在未考慮鐵路捷運票價降低與運輸外部成本訂價的情況，構建通勤家戶運具與路線選擇模式，其次，考慮鐵路捷運票價降低與運輸外部成本訂價的情況，構建雙階層數學規劃模式。在第一階層數學規劃模式中，本研究整合考慮運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇間的互動關係，透過邊際成本訂價方式將小汽車的運輸外部成本訂價納入通勤家戶的總旅行成本，探討由於課徵平面道路上小汽車使用者所造成的壅塞稅、空氣污染稅與噪音稅之後，致使通勤家戶改變運具選擇決策而轉移至鐵路捷運系統時，鐵路捷運路網所吸引旅運需求量的變化，並衡量其環境改善效益。而在第二階層的數學規劃模式中，本研究構建鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，以第一階層數學規劃模式所達成的環境改善效果為限制式，探討鐵路捷運業者應如何在各站內降低票價以吸引旅運者由私人運具轉移至鐵路捷運系統，以達到相同的環境改善效益。研究結果顯示運輸外部成本訂價之後，至捷運淡水線、板橋線與新店線沿線車站停車轉乘的通勤家戶流量將增加，小部份通勤家戶將繞遠路至離出發地點較遠的捷運車站停車轉乘，以避開高壅塞路段，另一方面，距離就業地點愈遠的捷運車站，其票價降低的幅度愈大，以吸引通勤家戶至距離居住地點較近的車站轉乘捷運。

關鍵詞：鐵路捷運系統、運輸外部成本訂價、捷運票價降低、運具選擇

Abstract

This study from the viewpoint of system analysis explores benefits of environmental improvements due to transportation external cost pricing and transit fare reductions. This study firstly constructs a households' mode and route choices model without considering transportation external cost pricing and transit fare reductions. Second, this study constructs a bi-level mathematical programming model by considering transportation external cost pricing and transit fare reductions. In the first level, the interaction between transportation external cost pricing and households' mode/route choices is explored by applying the theory of marginal-cost pricing to incorporate cost burdens of transportation externalities into private car users' total travel costs. The model analyzes the effects of transportation external cost pricing in terms of the variations of households' mode/route choices, the increased patronage of rail transit lines and the benefit of decreased congestion, air pollution and noise. The benefit of environmental improvements due to transportation external cost pricing is also measured. In the second level, a transit fare reductions and households' mode/route choices model is then constructed with a constraint of achieving the given environmental improvement, which is measured in the first level. The purpose of this model attempts to explore how to decrease rail transit fares, so as to achieve equivalent benefits of environmental improvement. The results show that after the implementation of transportation external cost pricing and taxation, commuting households attracted to Tamshui, Panchiao and

Hsintien Lines will increase, and some commuting households might detour to farther stations then transferring to rail transit lines so as to avoid high congestion links on surface streets. On the other hand, transit fare reductions increase with households' travel distances on transit lines increase to encourage commuting households transferring to transit stations near their residences.

Keywords : Rail transit system, Transportation external cost pricing, Fare reduction, Mode choice

二、前言

隨著都會區運輸機具的增加，其運轉所產生的壅塞、空氣污染與噪音等運輸外部成本，因未歸宿至旅運者而形成社會成本，使得都會區內的社會大眾遭受效益損失。過去曾有多位學者探討運輸外部成本的訂價，並將其納入旅運者的總運輸成本考量。相關研究如 Ferrari[1]、Yang and Lam[2]、Yang and Bell[3]與 Yang and Huang[4]等，應用邊際成本訂價方法，考慮壅塞成本與運輸流量的關係，構建靜態均衡模式以求得最適的運輸路段壅塞成本訂價與均衡流量，並分別探討彈性運輸需求、運輸路網具有容量限制與尖離峰差別訂價等情況對旅運者路線選擇的影響。另有學者探討時間相依網路流量對路段壅塞成本訂價的影響，相關研究如 Mun[5]、Yang and Huang[6]與 Daganzo and Garcia[7]。為從整體觀點探討運輸系統營運的經濟成本與經濟效益，部份學者應用計量經濟方法，同時考慮壅塞、空氣污染、噪音與事故成本，應用邊際成本訂價方法或次佳訂價(second-best)方法，構建靜態確定性的外部成本訂價模式，推導道路運輸系統外部成本訂價的最適條件，並探討不同情況下的外部成本最適訂價，相關研究如 Verhoef, Nijkamp and Rietveld [8]、Mayeres, Ochelen and Proost[9]與 Johansson[10]。部份學者進一步分析不同運輸供給政策（如不同網路型態與容量供給）與運輸外部成本訂價的影響關係，如 De Borger et al.[11]、De Borger and Wouters[12]、Romilly[13]、Verhoef[14]、Mayeres[15]。此外，有關運輸外部成本訂價對不同運輸系統間的旅運需求量影響研究，則有 Huang[16]探討政府對高速公路用路人課徵過路費(toll)時，大眾運輸與私人運具間的競爭情形、旅運者的運具選擇決策以及大眾運輸票價間的關係。

為達成社會公平(equity)與維持社會福利，政府補貼的目的在於照顧弱勢團體，並根據不同的補貼對象（如大眾運輸業者、殘障低收入戶）與目標（如虧損補貼、績效補貼）制定適切的策略。過去有關大眾運輸補貼的研究側重於從營運觀點探討政府補貼對改善大眾運輸營運績效之效果，相關研究如 Kim and Spiegel [18]、Karlaftis and McCarthy [19]。亦有國內研究側重於探討補貼政策與分配制度的研擬，相關研究如張有恆與黃培原[20]、馮正民與林佳宜[21]。對旅運者而言，影響運具選擇決策的因素除了旅運者社經特性、運具服務特性、運輸路網特性之外，政府的運輸管理策略亦扮演重要的角色，例如政府對平面道路與高速公路上的私人運具用路人課徵運輸外部成本稅（如壅塞稅、空氣污染稅、噪音稅），係為一種鼓勵大眾運輸的策略，基於使用者付費原則提高私人運具使用者的總旅行成本，致使部份旅運者轉移至大眾運輸系統，以維持運輸系統與環境系統間的平衡，並達成環境改善的效益。另一方面，政府補貼大眾運輸業者並轉嫁至旅運者的結果可降低票價，提高大眾運輸系統對旅運者的吸引力，其最終的結果亦可使部份旅運者轉移至大眾運輸系統，並達成環境改善的效益。

運輸外部成本課稅以及大眾運輸票價降低可視為一體兩面的運輸管理策略，亦即可藉由運輸外部成本課稅或者大眾運輸票價降低來達成相同的環境改善效益。由於透過運輸外部成本訂價來課徵運輸外部成本稅時，私人運具使用者在不同路段所造成的壅塞、空氣污染與噪音外部成本及其程度係受到當時的車流量與車流狀況影響，而運輸外部成本稅的徵收係期望達到以價制量的目的，亦即造成運輸外部成本愈高的旅運者應徵收較高的稅額，故運輸外部成本稅率的決定以及徵收的方式甚為複雜且可能發生不易合理徵收的問題，另一方面，採用上述運輸外部成本訂價時，旅運者的總運輸成本係於實際產生旅次時才可根據當時的車流狀況估算所需支付的運輸外部成本稅。相反地，降低大眾運輸票價對旅運者而言係為透明化的運輸管理策略，旅運者在產生旅次時可明確認知實際的總運輸成本，故在實施層面易達到立竿見影的成效，且能獲得與實施運輸外部成本訂價與課稅時相

同的環境改善效益。此外，過去有關補貼的研究較側重於探討補貼金額的分配、最適補貼水準以及補貼後大眾運輸業者的營運績效提昇等，而本研究擬從提高鐵路捷運的吸引力的觀點，分別探討課徵小汽車的運輸外部成本稅以及降低鐵路捷運票價時，旅運需求由平面道路轉移至鐵路捷運路網的情形，並進一步總計所達成的環境改善效益。

三、文獻探討

本研究針對所欲探討的研究課題，分別回顧國內外有關運輸外部成本訂價與大眾運輸補貼的文獻，並作系統化整理如后。

3.1 運輸外部成本訂價

運輸外部成本訂價為整合運輸規劃與環境影響時的重要課題，過去有關運輸外部成本訂價的研究大致可根據所考慮的運具、運輸外部成本種類以及研究方法加以分類。第一類研究為僅考慮車輛所造成的壅塞外部成本，構建確定性且靜態的均衡路網模式或應用等候理論探討壅塞訂價。相關研究如：Mun[5]先由交通量、密度與速度三者的關係來探討交通車流壅塞特性，並以運動波(kinematic waves)理論為基礎構建交通流量模式，描述壅塞的形成與變化，推導壅塞情形的邊際社會成本函數與最適壅塞稅。Ferrari[1]構建一具有需求彈性以及容量限制的確定性且靜態的路網均衡模式，研究中考慮道路容量限制與環境損害限制，假設多運具的路網型態，以旅次產生、運具分配情形為已知，進一步推導維持路網均衡的條件，並計算維持路網均衡時的道路訂價。Yang and Lam[2]構建雙階層數學規劃模式以決定最適道路收費的型態。其中，下階問題表示成等候網路均衡模式(queueing network equilibrium model)以描述在具有等候與壅塞情況的用路人路線選擇行為，而上階問題則在已知的系統績效(考慮用路人路線選擇行為)之下決定最適的道路收費。Yang and Bell[3]探討如何應用雙階層數學規劃方法並透過道路收費來降低旅運需求量。首先，構建考慮彈性需求與等候情況的路網均衡模式來求解供需均衡狀態，其次，求解最適的路段收費型態以減輕等候延滯的情形，並限制旅運需求量至滿足環境容量限制的水準。Yang and Huang[4]構建理論模式，在假設旅運需求與道路流量型態不會隨時間改變下，探討如何應用邊際成本訂價方法，來決定旅運需求具有彈性且最大化研究範圍內的淨經濟效益時的壅塞道路收費。第二類研究考慮數種運具所造成的環境外部成本，如壅塞、空氣污染、噪音或事故成本，探討其訂價與邊際社會成本。相關研究如：Verhoef, Nijkamp and Rietveld[8]從福利經濟學(welfare economic)觀點分析數種道路電子收費(Electronic Road Pricing, ERP)的優劣，研究中考慮車輛所產生的環境外部性如廢氣排放與噪音，以及道路壅塞情形，首先，推導環境外部性的最適管制費率以及最適壅塞費，其次，探討採用次佳訂價(second-best)作為 ERP 訂價以及環境外部性訂價的可行性，最後，探討實施次佳訂價之後對運具選擇以及社會福利的影響。De Borger et al.[11]構建一理論模式考慮私人運輸與大眾運輸的所有相關私人成本與外部社會成本，如壅塞、空氣污染、噪音與事故成本，並考慮數種訂價情況，如未考慮 / 考慮尖離峰差別訂價、大眾運輸部門具有預算限制，以分別決定尖離峰期間的私人運輸與大眾運輸的最適價格，進一步作為研擬訂價政策的參考。De Borger and Wouters[12]考慮相關的運輸外部成本(如壅塞、空氣污染、噪音、事故風險以及上下車時間損失)，探討都市運輸服務的最適訂價與供給決策，以及新建大眾運輸與道路基礎設施所達成的外部效益。此外，該研究並推導具有 / 無預算限制之下的最適訂價與供給規則。Romilly[13]針對廢氣排放、交通壅塞、燃油消耗、噪音污染、事故成本以及道路損害，提出一綜合性的貨幣化衡量指標，藉以估計以公車替代小汽車之後的經濟效益。Mayeres[15]應用一般化的均衡模式分別探討採用尖離峰道路差別訂價、提高燃油稅以及提高大眾運輸補貼時的效益，而效益的衡量係考慮壅塞、空氣污染、事故成本三種運輸外部性的改善。

另有部份研究構建時間相依的外部成本訂價模式，相關研究如：Johansson[10]同時考慮壅塞所引起的時間損失、耗油增加以及污染排放情形，以 Hicks/Kaldor 效率準則為基礎，構建成本-效益分析架構，以淨效益最大為目標，藉以推導與速度相依(speed-dependending)的最適道路收費。Yang and Huang[6]針對單一起迄對的瓶頸道路，考慮道路具有容量限制且有等候(queue)發生的情況下，並將研究期間劃分為數個時區，應用最適控制理論推導具有

彈性需求的時間相依(time-varying)的訂價模式。Daganzo and Garcia[7]考慮早上尖峰期間的單一瓶頸路段，探討通勤者如何選擇進入瓶頸路段的時間，以最小化貨幣成本(壅塞收費)、等候時間以及預期離間時間誤差的線性組合，其中，壅塞收費為時間相依且具有時窗限制。

3.2 大眾運輸補貼

過去有關大眾運輸補貼的研究大多探討大眾運輸補貼對營運績效與生產力的影響，相關研究如：Cervero[38]探討大眾運輸營運補貼對績效的影響；Bly and Oldfield[39]探討大眾運輸補貼對需求面與供給面的影響；Kim and Spiegel[17]探討在受管制的運輸產業中，總額補貼對生產結構與生產力的影響。Karlaftis and McCarthy[18]首先控制橫斷面的異質性(heterogeneity)及自相關性(autocorrelation)，其次，應用統計檢定方法分析不同系統規模與補貼水準對大眾運輸營運績效的影響情形。亦有部份研究探討不同營運狀況下的最適補貼水準，相關研究如：Osula[40]提出一程序來分別估計受管制運輸市場與解除管制運輸市場的都市大眾運輸的最適補貼水準，此估計程序係以減輕通勤者的平均運輸費用的補貼政策為基礎，並維持通勤者的運輸費用 - 所得比率至一合理水準。另有部份研究評析補貼分配制度的相關研究的優劣，相關研究如：Else[41]回顧英國國內有關補貼分配的研究，分析其優劣點，進一步提出成本 - 效用分析方法的觀念，並說明如何將此方法應用至地方性運輸服務的補貼研究。

四、研究目的

本研究以具有鐵路捷運系統的都會區為研究對象，從系統分析觀點將運輸外部成本訂價、鐵路捷運票價降低、通勤家戶運具 / 路線選擇三者視為整體，構建雙階層(bi-level)數學規劃模式。其中，第一階層數學規劃模式係為滿足系統最佳化(System Optimum)原則之運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，由模式結果衡量透過運輸外部成本課稅所能達到的運輸環境改善效益，模式中總運輸成本包括一般化旅行成本、壅塞外部成本、空氣污染與噪音外部成本。而第二階層數學規劃模式係為滿足使用者均衡(User Equilibrium)原則之捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，探討應如何降低捷運票價，才能達到與採用運輸外部成本課稅相同的環境改善效益目標。

本研究的具體目的包括：

1. 同時考慮運輸路網上的壅塞、研究範圍內小汽車所產生的空氣污染與噪音成本，應用邊際成本訂價方法將這些運輸外部成本內部化，構建靜態確定性的運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，以探討運輸系統與環境系統間的互動關係。
2. 構建兩階層模式將運輸外部成本訂價與捷運票價降低視為一體兩面的運輸管理策略，本研究從提高鐵路捷運的吸引力的觀點，第一階層模式探討課徵小汽車的運輸外部成本稅對通勤家戶運具選擇的影響，並估計各捷運車站所吸引的轉乘量，而第二階層模式進一步將捷運票價視為決策變數，探討降低鐵路捷運票價時，旅運需求由平面道路轉移至鐵路捷運路網的情形，以及各捷運路線區段上的票價。
3. 從各居住地點至單一就業地點的一般化旅行成本節省、各居住地點的空氣污染與噪音外部成本減少三方面來衡量運輸外部成本課稅所達成的環境改善效益，並且考慮空氣污染與噪音外部成本所造成的 off-line effects 來總計研究範圍內的環境改善效益。將上述的環境改善效益視為限制式，求解鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，藉此了解各捷運車站至單一就業地點的最適票價、各捷運車站轉乘旅客量的變化。

五、研究方法

本研究參考並修改傳統運輸規劃中的路段旅行時間函數(Sheffi[23])，假設個別通勤家戶經由平面道路虛擬路段(artificial link)由相鄰居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的一般化旅行成本函數 $c_{ij}(v_{ij})$ 表示如式(1)。令 F 表示研究範圍內所有平面道路虛擬路段的起迄居住地點組合的集合； c_{ij}^0 表示個別通勤家戶經由平面道路虛擬路段由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的一般化旅行成本中未受到流量影響的旅行時間透過時間價值所換算得的一般化旅行成本； v_{ij} 表示由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的平面道路虛擬

路段上的通勤家戶流量； C_{ij} 表示由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的平面道路虛擬路段的容量； τ 及 ω 為參數。

$$c_{ij}(v_{ij}) = c_{ij}^0 \cdot \left(1.0 + \tau \cdot \left(1.0 + \frac{v_{ij}}{C_{ij}} \right)^\omega \right) \quad \forall (i, j) \in F \quad (1)$$

通勤家戶在鐵路捷運路網上的一般化旅行成本係參考許巧鶯與郭淑嫻[22]以及 Hsu and Guo[23]之研究，根據鐵路捷運車站為非轉車站與轉車站分別推導鐵路捷運路線區段上的一般化旅行成本如式(2)與式(3)。其中， h_a^s 與 h_b^r 分別表示經由平面道路至非轉車站及轉車站停車轉乘的小汽車流量； $t0_a^s$ 與 $t0_b^r$ 分別表示以非轉車站及轉車站為起始車站的捷運路線區段上的已知一般化旅行成本； H_a^s 與 H_b^r 為與容量有關的綜合性參數。

$$t_a^s(h_a^s) = t0_a^s + \alpha \cdot \left(\frac{\beta \cdot h_a^s}{H_a^s} \right)^\rho \quad \text{if } a \in (A^s \cup T^s), s \in S \quad (2)$$

$$t_b^r(h_a^s, h_b^r) = t0_b^r + \alpha \cdot \left[\beta \cdot \left(\frac{h_b^r + \sum_{\substack{a \in T^s \\ s \in W^r}}{h_a^s}}{H_b^r} \right) \right]^\rho \quad \text{if } b \in A^t, r \in S^t \quad (3)$$

另一方面，本研究將運具所產生的空氣污染與噪音外部成本納入考量，推導個別通勤家戶經由平面道路虛擬路段由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的總旅行成本函數如式(4)。在式(4)中，數學式右側(right-hand side)的第一項為個別通勤家戶經由平面道路虛擬路段由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的一般化旅行成本，第二項為其所引起的壅塞訂價，第三項為其所引起的空氣污染訂價，而第四項則為其所引起的噪音訂價。

$$tc_{ij}^{sur}(v_{ij}) = c_{ij}(v_{ij}) + v_{ij} \cdot \frac{dc_{ij}(v_{ij})}{dv_{ij}} + v_{ij} \cdot \frac{d\left(\sum_{x \in B_{ij}^{ac}} ae_x(v_{ij})\right)}{dv_{ij}} + v_{ij} \cdot \frac{d\left(\sum_{x \in B_{ij}^{nc}} ne_x^a(v_{ij})\right)}{dv_{ij}} \quad \forall (i, j) \in F \quad (4)$$

根據上述推導，本研究以居住地點間平面道路虛擬路段的通勤家戶流量 v_{ij} ，以及至捷運車站轉乘的車流量 h_a^s 與 h_b^r 為決策變數，構建運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式如式(5)-式(11)，並進一步估計壅塞訂價、各居住地點的空氣污染訂價與噪音訂價，將這些運輸外部成本負擔歸宿至小汽車使用者，以探討政府對私人運具課徵運輸外部成本稅之後對通勤家戶運具 / 路線選擇的影響。

$$\text{Min}_{v_{ij}, h_a^s, h_b^r} TC_2 \quad (5)$$

$$= \sum_{(i,j) \in F} \int_0^{v_{ij}} tc_{ij}^{sur}(v_{ij}) dv_{ij} + \sum_{s \in S} \int_0^{h_a^s} t_a^s(h_a^s) dh_a^s + \sum_{r \in S^t} \int_0^{h_b^r} t_b^r(h_a^s, h_b^r) dh_b^r$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{j \in D_i} v_{ij} = g_i \quad \forall i \in B^F \quad (6)$$

$$\sum_{i \in D_j} v_{ij} = \sum_{k \in D_j} v_{jk} \quad \forall j \in B^S \text{ and } i \neq j \neq k \quad (7)$$

$$\sum_{i \in D_j} v_{ij} + g_j = \sum_{k \in D_j} v_{jk} \quad \forall j \in (B - B^F - B^S) \text{ and } i \neq j \neq k \quad (8)$$

$$\sum_{i \in D_o} v_{io} + \sum_{s \in (S \cup S^t)} h_a^s = \sum_{j \in B} g_j \quad (9)$$

$$h_a^s = \sum_{i \in D_s} v_{is} \quad \forall s \in (S \cup S^t) \quad (10)$$

$$v_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in F \quad (11)$$

其中， g_j 表示居住於居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 內的通勤家戶數； D_j 表示與居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 相鄰的上游居住地點集合； D'_j 表示與居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 相鄰的下游居住地點集合； B 表示

研究範圍內所有居住地點的集合； B^F 表示所有居住地點集合 B 中位於研究範圍邊界的居住地點集合，即 $B^F \subset B$ ，而邊界居住地點將不會發生通勤家戶車流量流入的情形； B^S 表示所有居住地點集合 B 中與捷運車站相鄰的居住地點集合，亦即 $B^S \subset B$ 。

在第二階層的鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式中，本研究將式(2)與式(3)中所隱含的捷運票價分離出來，即令 p_a^s 為決策變數，並表示通勤家戶由捷運車站 s 轉乘捷運路線區段 a 至就業地點的捷運票價，故所推導的第二階層模式如式(12)-(14)。其中，式(13)中集合 SS^v 表示由限制式(6) - 式(11)所組成的決策變數解集合空間；式(14)表示實施運輸成本外部課稅與鐵路捷運票價降低策略將達成相同的環境改善效益。

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{v_{ij}, h_a^s, h_b^s, p_a^s} TC_3 \\ & = \sum_{(i,j) \in F} \int_0^{v_{ij}} c_{ij}(v_{ij}) dv_{ij} + \sum_{s \in S} \int_0^{h_a^s} t_a^s(h_a^s, p_a^s) dh_a^s + \sum_{r \in S^*} \int_0^{h_b^r} t_b^r(h_b^r, h_a^s, p_a^s) dh_b^r \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{s.t. } v_{ij} \in SS^v \quad \forall (i, j) \in F \quad (13)$$

$$BF(v_{ij}^1, v_{ij}^2) = BF(v_{ij}^1, v_{ij}^2) \quad (14)$$

在求解程序方面，本研究應用拉式乘數與 Newton-Raphson's 法循序求解所構建的三個模式。首先，求解通勤家戶運具與路線選擇模式。其次，求解第一階層運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，分析與比較實施運輸外部成本課稅之後通勤家戶的運具與路線選擇決策的變化、平面道路虛擬路段上通勤家戶流量與旅行時間的變化、捷運車站轉乘旅客量的變化，以及研究範圍內壅塞稅、空氣污染稅與噪音稅的分佈情形，進一步衡量實施運輸外部成本課稅所達成的環境改善效益。最後，求解第二階層鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式，藉以了解如何降低研究範圍內的鐵路捷運票價，並達到相同的環境改善目標。Newton-Raphson's 法之求解步驟則說明如后(Maron and Lopez [42])。

步驟一：令 $k=0$ ，決定目標式 $L_1(v_{ij}, \mu_m^r, \mu_o^r)$ 之決策變數與拉氏乘數起始解 v_{ij}^0 、 μ_m^{r0} 與 μ_o^{r0} ，決定目標式 $L_2(v_{ij}, \mu_m^r, \mu_o^r)$ 之決策變數與拉氏乘數起始解 v_{ij}^0 、 μ_m^{r0} 與 μ_o^{r0} ，決定目標式 $L_3(v_{ij}, p_a^s, \mu_m^r, \mu_o^r, \mu_f^r)$ 之決策變數與拉氏乘數起始解 v_{ij}^0 、 p_a^{s0} 、 μ_m^{r0} 、 μ_o^{r0} 與 μ_f^{r0} ，以及最大覆算次數 $K = 120$ 。

步驟二：求算非線性聯立方程式第 k 次覆算(iteration)的 Jacobian 矩陣。

步驟三：令 $g_m^{L_1}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk})$ 為通勤家戶運具與路線選擇模式中第 m 個非線性聯立方程式的第 k 次覆算之值，令 $g_m^{L_2}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk})$ 為運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式中第 m 個非線性聯立方程式的第 k 次覆算之值，令 $g_m^{L_3}(v_{ij}^k, p_a^s, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk}, \mu_f^r)$ 為鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式中第 m 個非線性聯立方程式的第 k 次覆算之值，則分別求解下列線性方程式可得上述最小化問題中決策變數與拉氏乘數的增(減)量，即 $[dv_{ij} \quad d\mu_m^r \quad d\mu_o^r]^T$ 與 $[dv_{ij} \quad dp_a^s \quad d\mu_m^r \quad d\mu_o^r \quad d\mu_f^r]^T$ 。

$$J_{N_{L_1} \times N_{L_1}}^k \times \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ d\mu_m^r \\ d\mu_o^r \end{bmatrix}_{N_{L_1} \times 1} = - \begin{bmatrix} g_1^{L_1}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk}) \\ \vdots \\ g_{N_{L_1}}^{L_1}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk}) \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$J_{N_{L_2} \times N_{L_2}}^k \times \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ d\mu_m^r \\ d\mu_o^r \end{bmatrix}_{N_{L_2} \times 1} = - \begin{bmatrix} g_1^{L_2}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk}) \\ \vdots \\ g_{N_{L_2}}^{L_2}(v_{ij}^k, \mu_m^{rk}, \mu_o^{rk}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$J_{N_{L_3} \times N_{L_3}}^k \times \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ dp_a^s \\ d\mu_m^r \\ d\mu_O^r \\ d\mu_f^r \end{bmatrix}_{N_{L_3} \times 1} = - \begin{bmatrix} g_{L_3}^{L_3}(v_{ij}^k, p_a^{sk}, \mu_m^{rk}, \mu_O^{rk}, \mu_f^{rk}) \\ \vdots \\ g_{N_{L_3}}^{L_3}(v_{ij}^k, p_a^{sk}, \mu_m^{rk}, \mu_O^{rk}, \mu_f^{rk}) \end{bmatrix} \quad (17)$$

步驟四：防衛程序(safeguard process)，由於 Newton-Raphson's 法係利用各方程式中各決策變數與拉氏乘數的梯度，求得下一覆算各決策變數與拉氏乘數的增(減)量，此種方式容易因決策變數與拉氏乘數的目前解不理想，而使後續覆算之決策變數與拉氏乘數的增(減)量，產生發散的現象。

步驟五：分別利用下式求得上述最小化問題第 $k+1$ 次覆算的近似解，並令 $k=k+1$ 。

$$\begin{bmatrix} v_{ij}^{k+1} \\ \mu_m^{r,k+1} \\ \mu_O^{r,k+1} \end{bmatrix}_{N_{L_1} \times 1} = \begin{bmatrix} v_{ij}^k \\ \mu_m^{r,k} \\ \mu_O^{r,k} \end{bmatrix}_{N_{L_1} \times 1} + \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ d\mu_m^r \\ d\mu_O^r \end{bmatrix}_{N_{L_1} \times 1} \quad (18), \quad \begin{bmatrix} v_{ij}^{k+1} \\ \mu_m^{r,k+1} \\ \mu_O^{r,k+1} \end{bmatrix}_{N_{L_2} \times 1} = \begin{bmatrix} v_{ij}^k \\ \mu_m^{r,k} \\ \mu_O^{r,k} \end{bmatrix}_{N_{L_2} \times 1} + \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ d\mu_m^r \\ d\mu_O^r \end{bmatrix}_{N_{L_2} \times 1} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} v_{ij}^{k+1} \\ p_a^{s,k+1} \\ \mu_m^{r,k+1} \\ \mu_O^{r,k+1} \\ \mu_f^{r,k+1} \end{bmatrix}_{N_{L_3} \times 1} = \begin{bmatrix} v_{ij}^k \\ p_a^s \\ \mu_m^{r,k} \\ \mu_O^{r,k} \\ \mu_f^{r,k} \end{bmatrix}_{N_{L_3} \times 1} + \begin{bmatrix} dv_{ij} \\ dp_a^s \\ d\mu_m^r \\ d\mu_O^r \\ d\mu_f^r \end{bmatrix}_{N_{L_3} \times 1} \quad (20)$$

步驟六：判斷目前的近似解是否滿足收斂條件，若滿足，則至步驟八，否則，至步驟七。

步驟七：判斷覆算次數是否已達最大次數，若已達到，則至步驟八，否則，至步驟二。

步驟八：限制式檢驗程序，由於連接兩相鄰居住地點的平面道路虛擬路段具有容量限制，步驟三、步驟四與步驟五所求得的下一覆算(iteration)由居住地點 $i = (i_1, i_2)$ 至居住地點 $j = (j_1, j_2)$ 的平面道路虛擬路段上的通勤家戶流量 v_{ij}^{k+1} ，可能發生超過該虛擬路段容量 C_{ij} 的情形，致使個別通勤家戶在該虛擬路段上的總運輸成本劇增，或者發生決策變數 v_{ij}^{k+1} 之值無法滿足限制式的情形。因此，本研究於步驟八進行限制式檢驗程序，判斷決策變數解是否滿足限制條件，若發生限制式不滿足的情形，則按比例循序調整相關連的虛擬路段通勤家戶流量 v_{ij}^{k+1} 。最後，輸出結果。

六、結果與討論

本研究以台北大眾捷運系統的路網涵蓋範圍為例進行範例說明（研究範圍如圖 1 所示）。

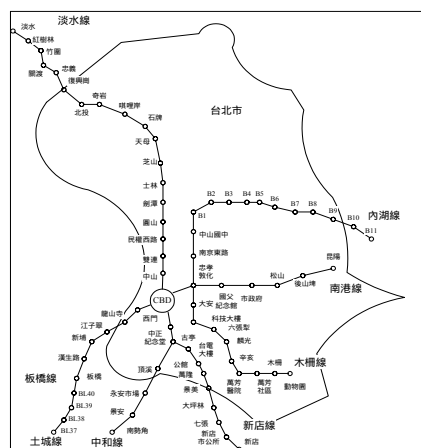


圖 1 台北大眾捷運系統路線涵蓋範圍示意圖

圖 2 為不考慮運輸外部成本訂價與鐵路捷運票價降低情況之通勤家戶運具與路線選擇的結果（即通勤家戶運具與路線選擇模式之結果），圖中的粗實線表示台北大眾捷運系統的路網圖，虛線表示連接兩相鄰居住地點的平面道路虛擬路段，而虛線上的數值則表示行經該平面道路虛擬路段的通勤家戶小汽車流量。圖 3 為實施運輸外部成本課稅（考慮運輸

外部成本之 off-line effects) 之後通勤家戶的運具與路線選擇情形 (即運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式之結果)。由圖 3 可知, 由於將壅塞稅、空氣污染稅與噪音稅納入通勤家戶在平面道路虛擬路段上的一般化旅行成本函數, 因而提高通勤家戶經由平面道路至就業地點的總運輸成本, 增加通勤家戶轉乘鐵路捷運的誘因, 進而達到鼓勵大眾運輸的目的。另一方面, 通勤家戶行經平面道路虛擬路段或居住地點的壅塞稅、空氣污染稅與噪音稅將隨通勤家戶流量增加而提高, 故部份通勤家戶將避開高流量的平面道路虛擬路段而改變通勤路徑, 或至適當捷運車站停車轉乘捷運系統, 致使研究範圍內平面道路上發生小汽車流量大於容量的虛擬路段數目減少。

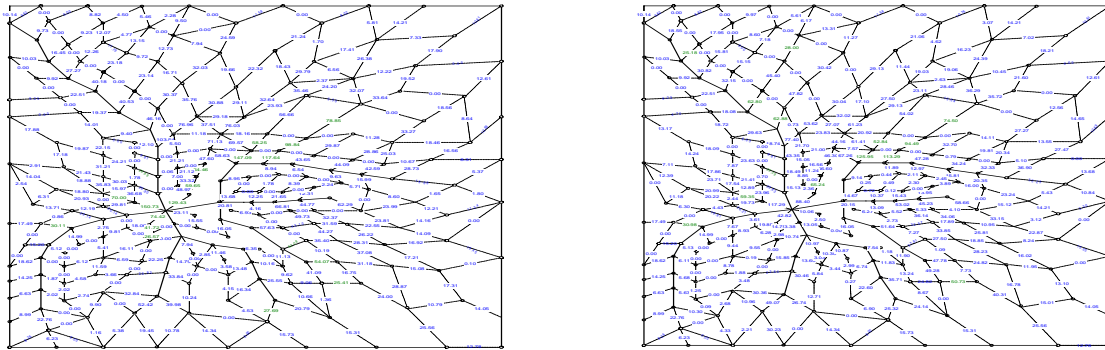


圖 2 不考慮運輸外部成本訂價情況之通勤家戶運具與路線選擇結果 (單位: 仟家戶) 圖 3 考慮運輸外部成本之 off-line effects 與訂價情況之通勤家戶運具與路線選擇結果 (單位: 仟家戶)

比較圖 2 與圖 3 中平面道路虛擬路段上通勤家戶流量的變化, 並計算各捷運車站上游平面道路虛擬路段的通勤家戶流量, 可推估運輸外部成本訂價前後至各捷運車站停車轉乘的通勤家戶流量變化情形如表 1。由表 1 與圖 2、圖 3 可知, 實施運輸外部成本訂價與課稅之後, 至捷運淡水線、板橋線與新店線沿線車站停車轉乘的通勤家戶流量將增加。由圖 1 與圖 2 可發現實施運輸外部成本訂價與課稅之後, 部份通勤家戶將繞遠路至離出發地點較遠的捷運車站停車轉乘。而在捷運路線間的競爭方面, 運輸外部成本訂價與課稅之前部份選擇中和線沿線車站停車轉乘的通勤家戶將轉移至新店線或板橋線沿線車站。又比較表 1 與表 2 可發現考慮運輸外部成本之 off-line effects 之後, 隨著通勤家戶經由平面道路虛擬路段時的總運輸成本增加, 至各捷運車站停車轉乘的小汽車流量將增加, 但並未有顯著的增加。

表 1 運輸外部成本訂價前後(考慮運輸外部成本之 off-line effects) 至各捷運車站停車轉乘之通勤家戶流量 (單位: 仟家戶)

路線	捷運車站	運輸外部成本訂價前	運輸外部成本訂價後	變化量	路線	捷運車站	運輸外部成本訂價前	運輸外部成本訂價後	變化量	
淡水線	雙連	20.90	35.97	15.07	板橋線	西門	20.14	27.82	7.68	
	圓山	28.96	47.88	18.92		龍山寺	22.90	27.29	4.39	
	劍潭	6.81	58.17	51.36		江子翠	45.11	45.97	0.86	
	士林	115.65	96.15	-19.50		漢生路	20.33	20.33	0.00	
	天母	55.57	92.51	36.94		板橋	18.62	24.74	6.12	
	北投	59.91	80.89	20.98		BL40	16.12	19.94	3.82	
	復興崗	62.70	54.67	-8.03		BL38	8.66	12.27	3.61	
	關渡	37.20	40.75	3.55		BL37	31.75	42.05	10.3	
	竹圍	26.49	35.21	8.72		新店線	中正紀念堂	0.00	16.43	16.43
	紅樹林	9.73	18.55	8.82			古亭	7.94	21.72	13.78
淡水	19.76	19.76	0.00	公館	14.32		21.18	6.86		
木柵線	科技大樓	16.05	16.05	0.00	萬隆		6.35	7.54	1.19	
	麟光	57.63	51.64	-5.99	景美		23.64	18.57	-5.07	
	萬芳醫院	73.22	49.72	-23.50	七張	41.90	58.31	16.41		
	動物園	95.16	97.07	1.91	新店	48.48	49.46	0.98		
南港線	忠孝復興	34.49	34.82	0.33	木柵線 內湖段	中山國中	8.95	9.14	0.19	
	國父紀念館	16.42	23.46	7.04		B2	205.72	193.21	-12.51	
	市政府	88.46	68.46	-20.00		B3	126.58	125.19	-1.39	
	松山	57.08	59.19	2.11		B5	50.20	60.26	10.06	
昆陽	62.29	58.66	-3.63	B7		53.72	50.05	-3.67		
中和線	頂溪	37.04	29.45	-7.58		B9	58.59	52.68	-5.91	
	永安市場	54.77	53.10	-1.67		B11	47.39	69.14	21.75	
	南勢角	125.26	106.17	-19.09						

圖 4 顯示實施運輸外部成本訂價之後研究範圍內的空氣污染與噪音訂價分佈情形。由圖 4 可知，高空氣污染與噪音訂價的區域主要集中於就業地點附近以及捷運中和線、新店線與木柵線沿線車站。表 3 為實施捷運票價降低策略前後至各捷運車站停車轉乘的通勤家戶流量變化以及捷運票價變化情形，原先本研究預期應全面降低捷運票價才能達成與課徵運輸外部成本稅相同的環境改善效益，研究結果顯示部份鄰近就業地點(CBD)或轉車站的捷運路線區段上的票價反而有增加的情形。究其原因可能是由於本研究係探討多對一的旅運型態，愈接近就業地點的平面道路虛擬路段愈壅塞，為鼓勵通勤家戶至距離就業地點較遠的捷運車站轉乘捷運，並抑制過多的小汽車車流進入高壅塞的中心商業區，可合理地提高鄰近就業地點的捷運路線區段票價。而由距離就業地點較遠的捷運車站起始的捷運路線區段的票價降低幅度應較大，以鼓勵較多通勤家戶至離出發地點較近的捷運車站轉乘。在通勤家戶的流量變化方面，降低捷運票價後雖然可使部份捷運車站的轉乘小汽車流量增加，但仍有部份捷運車站的轉乘小汽車流量為減少的情況，究其原因可能為小汽車在平面道路上的旅行速度較捷運列車為快，故從總一般化旅行成本觀點來決定運具與路線選擇決策時，仍有部份通勤家戶將選擇使用小汽車經由平面道路至就業地點的方式。

表 2 運輸外部成本訂價前後(考慮運輸外部成本之 off-line effects)至各捷運車站停車轉乘之通勤家戶流量 (單位：仟家戶)

路線	捷運車站	運輸外部成本訂價前	運輸外部成本訂價後	變化量	路線	捷運車站	運輸外部成本訂價前	運輸外部成本訂價後	變化量
淡水線	雙連	20.90	35.97	15.07	板橋線	西門	20.14	27.82	7.68
	圓山	28.96	47.88	18.92		龍山寺	22.90	27.29	4.39
	劍潭	6.81	58.17	51.36		江子翠	45.11	45.97	0.86
	士林	115.65	96.15	-19.50		漢生路	20.33	20.33	0.00
	天母	55.57	92.51	36.94		板橋	18.62	24.74	6.12
	北投	59.91	80.89	20.98		BL40	16.12	19.94	3.82
	復興崗	62.70	54.67	-8.03		BL38	8.66	12.27	3.61
	關渡	37.20	40.75	3.55		BL37	31.75	42.05	10.3
	竹圍	26.49	35.21	8.72		新店線	中正紀念堂	0.00	16.43
紅樹林	9.73	18.55	8.82	古亭	7.94		21.72	13.78	
淡水	19.76	19.76	0.00	公館	14.32		21.18	6.86	
木柵線	科技大樓	16.05	16.05	0.00	萬隆		6.35	7.54	1.19
	麟光	57.63	51.64	-5.99	景美		23.64	18.57	-5.07
	萬芳醫院	73.22	49.72	-23.50	七張		41.90	58.31	16.41
	動物園	95.16	97.07	1.91	新店		48.48	49.46	0.98
南港線	忠孝復興	34.49	34.82	0.33	木柵線	中山國中	8.95	9.14	0.19
	國父紀念館	16.42	23.46	7.04		B2	205.72	193.21	-12.51
	市政府	88.46	68.46	-20.00		B3	126.58	125.19	-1.39
	松山	57.08	59.19	2.11		B5	50.20	60.26	10.06
	昆陽	62.29	58.66	-3.63		B7	53.72	50.05	-3.67
中和線	頂溪	37.04	29.45	-7.58	內湖段	B9	58.59	52.68	-5.91
	永安市場	54.77	53.10	-1.67		B11	47.39	69.14	21.75
	南勢角	125.26	106.17	-19.09					

本研究根據所構建之(1)通勤家戶運具與路線選擇模式；(2)運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇；(3)鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇模式之結果，整理不同運輸管理策略下之轉乘通勤家戶數、停車轉乘比例與捷運公司票價收入如表 4。由表 4 可知對平面道路上之通勤家戶課徵壅塞稅以及降低捷運路網上旅運者的票價，皆可達成將旅運者由私人運具轉移至鐵路捷運的目標，亦即可使研究範圍內至捷運車站停車轉乘的通勤家戶數比例較未實施此兩種運輸管理策略時提高。然而，若從捷運公司的票價收入觀點來探討此兩種運輸管理策略的優劣時，在本研究範例說明的情況下，實施捷運票價降低策略將發生捷運公司票價收入減少的情形，其原因為捷運旅客量增加所帶來票價收入增加不及捷運票價減少所帶來的票價收入減少，為彌補捷運公司所面臨的票價收入減少或虧損，使其達到永續經營的目標，政府單位應合理補償捷運公司。

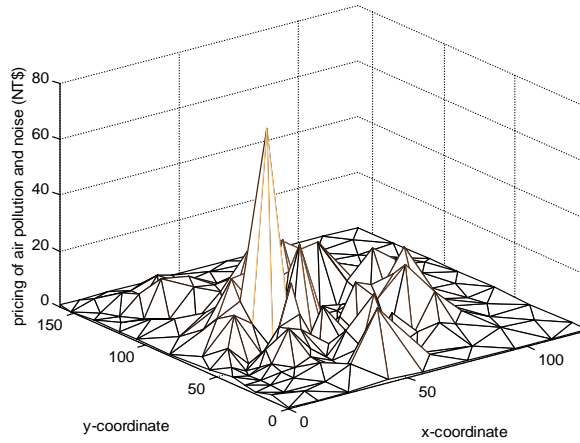


圖 4 運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式中空氣污染與噪音訂價分佈 (單位：NT\$)

表 3 實施捷運票價降低策略前後至各捷運車站停車轉乘之通勤家戶流量變化與捷運票價變化 (單位：仟家戶；NT\$)

路線	捷運車站	捷運票價 降低前 (流量/票價)	捷運票價 降低後 (流量/票價)	變化量 (流量/票價)	路線	捷運車站	捷運票價 降低前 (流量/票價)	捷運票價 降低後 (流量/票價)	變化量 (流量/票價)	
淡水 線	雙連	(20.90/20)	(77.26/28.3)	(56.36/8.3)	板橋 線 含土 城段	西門	(20.14/20)	(86.46/13.32)	(66.32/-6.68)	
	圓山	(28.96/20)	(67.03/20.4)	(38.07/0.4)		龍山寺	(22.90/20)	(48.99/12.12)	(26.09/-7.88)	
	劍潭	(6.81/20)	(188.26/18.9)	(181.45/-1.1)		江子翠	(45.11/25)	(35.26/29.70)	(-9.85/4.7)	
	士林	(115.65/25)	(131.24/23.5)	(15.59/-1.5)		漢生路	(20.33/25)	(32.64/37.22)	(12.31/12.22)	
	天母	(55.57/25)	(88.36/21.8)	(32.79/-3.2)		板橋	(18.62/30)	(11.33/45.28)	(-7.29/15.28)	
	北投	(59.91/30)	(57.87/23.4)	(-2.04/-6.6)		BL40	(16.12/30)	(15.05/44.26)	(-1.07/14.26)	
	復興崗	(62.70/35)	(42.06/31.12)	(-20.64/-3.88)		BL38	(8.66/35)	(7.01/24.25)	(-1.65/-10.75)	
	關渡	(37.20/40)	(31.20/36.58)	(-6.00/-3.42)		BL37	(31.75/35)	(22.01/22.63)	(-9.74/-12.37)	
	竹圍	(26.49/40)	(19.85/36.47)	(-6.64/-3.53)		新店 線	中正紀念堂	(0.00/20)	(30.93/37.59)	(30.93/17.59)
	紅樹林	(9.73/45)	(7.77/41.87)	(-1.96/-3.13)			古亭	(7.94/20)	(15.93/26.10)	(7.99/6.1)
淡水	(19.76/50)	(17.64/46.57)	(-2.12/-3.43)	公館	(14.32/20)		(13.89/10.73)	(-0.43/-9.27)		
木柵 線	科技大樓	(16.05/20)	(8.61/31.23)	(-7.44/11.23)	萬隆		(6.35/25)	(7.50/4.69)	(1.15/-20.31)	
	麟光	(57.63/20)	(57.55/4.18)	(-0.08/-15.82)	景美		(23.64/25)	(35.79/0.00)	(12.15/-25.0)	
	萬芳醫院	(73.22/25)	(57.36/0.00)	(-15.86/-25.0)	七張	(41.90/30)	(54.76/24.33)	(12.86/-5.67)		
	動物園	(95.16/30)	(79.63/7.76)	(-15.53/-22.24)	新店	(48.48/30)	(33.24/6.93)	(-15.24/-23.07)		
南港 線	忠孝復興	(34.49/20)	(99.61/0.00)	(65.12/-20.0)	木柵 線 內 湖 段	中山國中	(8.95/20)	(3.68/3.70)	(-5.27/-16.3)	
	國父紀念館	(16.42/25)	(66.37/0.00)	(49.95/-25.0)		B2	(205.72/20)	(228.03/18.11)	(22.31/-1.89)	
	市政府	(88.46/25)	(65.00/0.00)	(-23.46/-25.0)		B3	(126.58/25)	(21.04/22.43)	(-105.54/-2.57)	
	松山	(57.08/30)	(44.68/5.76)	(-12.4/-24.24)		B5	(50.20/25)	(3.40/15.11)	(-46.80/-9.89)	
	昆陽	(62.29/30)	(33.86/5.88)	(-28.43/-24.12)	B7	(53.72/30)	(18.26/26.76)	(-35.46/-3.24)		
中和 線	頂溪	(37.04/20)	(61.12/25.03)	(24.08/5.03)	B9	(58.59/30)	(15.12/26.72)	(-43.47/-3.28)		
	永安市場	(54.77/25)	(54.79/28.80)	(0.02/3.80)	B11	(47.39/35)	(30.86/30.50)	(-16.53/-4.5)		
	南勢角	(125.26/25)	(89.38/15.10)	(-35.88/-9.9)						

表 4 不同運輸管理策略下之轉乘通勤家戶數、停車轉乘比例與捷運公司票價收入之比較

模式	轉乘通勤家戶數 (仟家戶)	停車轉乘比例 (%)	捷運公司票價 收入(仟元)
通勤家戶運具與路線選擇	2039.170	69.58%	73590.906
運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇	2193.798	73.85%	74853.391
鐵路捷運票價降低與通勤家戶運具 / 路線選擇	2217.875	75.68%	39567.527
總家戶數 = 2930.651(仟家戶)	-	-	-

本研究之具體研究結果包括：(1)運輸外部成本訂價與課稅對通勤家戶運具 / 路線選擇以及旅行時間的影響；(2)研究範圍內之壅塞、空氣污染與噪音訂價的分佈情形；(3)捷運票價降低對通勤家戶運具 / 路線選擇以及旅行時間的影響；(4)運輸外部成本訂價與課稅、捷運票價降低兩種運輸管理策略對捷運公司票價收入的影響。由通勤家戶運具 / 路線選擇模式以及運輸外部成本訂價與通勤家戶運具 / 路線選擇模式之結果可推論：(1)運輸外部成本訂價之後，至捷運淡水線、板橋線與新店線沿線車站停車轉乘的通勤家戶流量將增加，部份通勤家戶將繞遠路至離出發地點較遠的捷運車站停車轉乘，以避開高壅塞路段；(2)運輸

外部成本訂價可藉由減輕平面道路上的交通壅塞程度以及通勤家戶流量的空間集中程度，並使部份通勤家戶流量轉移至鐵路捷運路網，進一步達到研究範圍內的環境改善效益；(3)由壅塞訂價、空氣污染與噪音訂價的分佈情形可預覽研究範圍內產生高運輸外部成本的地區，除可作為環境改善策略的重點實施的參考，亦可作為未來研擬運輸外部成本課稅制度的參考；(4)比較通勤家戶運具與路線選擇模式、運輸外部成本訂價與通勤家戶運具／路線選擇模式之結果，可事先預估實施運輸外部成本訂價之後各捷運車站的停車轉乘小汽車流量的變化，作為各捷運車站轉乘設施規劃的參考，並可預估運輸外部成本訂價之實施效益。

另一方面，由捷運票價降低與通勤家戶運具／路線選擇模式之結果可推論：(1)降低捷運票價將吸引較多原先使用小汽車至就業地點的通勤家戶轉移至鐵路捷運路網，致使平面道路壅塞情形多集中於捷運車站附近；(2)因愈接近就業地點的平面道路虛擬路段愈壅塞，為鼓勵通勤家戶至距離就業地點較遠的捷運車站轉乘捷運，並抑制過多的小汽車車流進入高壅塞的中心商業區，可合理地提高鄰近就業地點的捷運路線區段票價；(3)在一給定的環境改善效益目標之下，鐵路捷運路網上的票價降低結果可作為後續探討整體捷運路網票價分佈的參考。

七、計劃成果自評

本研究成果已完成計劃之預期目標：(1)廣泛收集有關運具與路線選擇、運輸外部成本訂價、大眾運輸補貼之文獻，透過系統化方法評析與整理相關文獻之主要貢獻以及應用理論。(2)構建運輸外部成本訂價與通勤家戶運具／路線選擇模式，將運輸外部成本納入通勤家戶的總運輸成本中，探討針對平面道路上小汽車使用者課徵運輸外部成本稅，而增加平面道路上通勤家戶的總運輸成本時，致使部份原先經由平面道路至就業地點的通勤家戶因而改變運具與路線選擇決策時，各捷運車站的停車轉乘小汽車流量變化，以及所達成的環境改善效益。(3)將捷運票價降低視為鼓勵大眾運輸的策略，探討如何降低各捷運車站至單一就業地點的票價，以吸引原先經由平面道路至就業地點的通勤家戶轉乘捷運，進一步分析其對環境改善效益、鐵路捷運營運收入的影響。(4)發展求解演算法，求解研究範圍內平面道路虛擬路段上之小汽車流量、至各捷運車站停車轉乘的小汽車流量，藉以推算各平面道路虛擬路段上的壅塞外部成本訂價、各居住地點上的空氣污染與噪音外部成本訂價，並進一步求解由各捷運車站至就業地點的票價分佈。(5)有別於過去研究，本研究考慮兩種鼓勵大眾運輸策略，並與運具／路線選擇、環境影響模式整合探討三者的影響關係，所構建的整體研究程序與架構、模式構建與求解方法，以及所探討的相關影響因素，亦可作為後續相關研究的參考。此外，本研究中有關運輸外部成本訂價與通勤家戶運具／路線選擇的模式構建以及範例分析的研究成果已投稿國內研討會並接受發表，如郭淑嫻與許巧鶯[24][25]與許巧鶯與彭一民[37]，並已準備投稿國際學術期刊，如 Guo and Hsu[26]。

八、參考文獻

- [1]Ferrari, P. (1995), "Road Pricing and Network Equilibrium," *Transportation Research*, Vol. 29B, No. 5, pp. 357-372.
- [2]Yang, H. and Lam, W. H. K. (1996), "Optimal Road Tolls under Conditions of Queueing and Congestion," *Transportation Research*, Vol. 30A, No. 5, pp. 319-332.
- [3]Yang, H. and Bell, M. G. H. (1997), "Traffic Restraint, Road Pricing and Network Equilibrium," *Transportation Research*, Vol. 31B, No. 4, pp. 303-314.
- [4]Yang, H. and Huang, H. J. (1998), "Principle of Marginal-cost Pricing: How Does It Work in a General Road Network," *Transportation Research*, Vol. 32A, No. 1, pp. 45-54.
- [5]Mun, S. I. (1994), "Traffic Jams and the Congestion Toll," *Transportation Research*, Vol. 28B, No. 5, pp. 365-375.
- [6]Yang, H. and Huang, H. J. (1997), "Analysis of the Time-varying Pricing of a Bottleneck with Elastic Demand Using Optimal Control Theory," *Transportation Research*, Vol. 31B, No. 6, pp. 425-440.
- [7]Daganzo, C. F. and Garcia, R. C. (2000), "A Pareto Improving Strategy for the Time-dependent Morning Commute Problem," *Transportation Science*, Vol. 34, No. 3, pp. 303-311.
- [8]Verhoef, E., Nijkamp, P. and Rietveld, P. (1995), "Second-best Regulation of Road Transport Externalities," *Journal of Transportation Economics and Policy*, Vol. 29, No. 2, pp. 147-167.
- [9]Mayeres, I., Ochelen, S. and Proost, S. (1996), "The Marginal External Costs of Urban Transport," *Transportation Research*, Vol. 1D, No. 2, pp. 111-130.
- [10]Johansson, O. (1997), "Optimal Road-pricing: Simultaneous Treatment of Time Losses, Increased Fuel Consumption and Emissions," *Transportation Research*, Vol. 2D, No. 2, pp. 77-87.
- [11]De Borger, B., Mayeres, I., Proost, S. and Wouters, S. (1996), "Optimal Pricing of Urban Passenger Transport - A Simulation Exercise for Belgium," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 30, No. 1, pp. 31-54.
- [12]De Borger, B. and Wouters, S. (1998), "Transport Externalities and Optimal Pricing and Supply Decisions in Urban

- Transportation: A Simulation Analysis for Belgium," *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 28, pp. 163-197.
- [13] Romilly, P. (1999), "Substitution of Bus for Car Travel in Urban Britain: An Economic Evaluation of Bus and Car Exhaust Emission and Other Costs," *Transportation Research*, Vol. 4D, pp. 109-125.
- [14] Verhoef, E. T. (2000), "The Implementation of Marginal External Cost Pricing in Road Transport," *Papers in Regional Science*, Vol. 79, pp. 307-332.
- [15] Mayeres, I. (2000), "The Efficiency Effects of Transport Policies in the Presence of Externalities and Distortionary Taxes," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 34, No. 2, pp. 233-260.
- [16] Huang, H. J. (2000), "Fares and Tolls in a Competitive System with Transit and Highway: the Case with Two Groups of Commuters," *Transportation Research*, Vol. 36E, pp. 267-284.
- [17] Kim, M. and Spiegel, M. (1987), "The Effects of Lump-sum Subsidies on the Structure of Production and Productivity in Regulated Industries," *Journal of Public Economics*, Vol. 34, pp. 105-119.
- [18] Karlaftis, M. G. and McCarthy, P. (1998), "Operating Subsidies and Performance in Public Transit: An Empirical Study," *Transportation Research*, Vol. 32A, No. 5, pp. 359-375.
- [19] 張有恆、黃培原，民國 79 年，「大眾運輸補貼政策之研究」，運輸計劃季刊，第 19 卷第 1 期，頁 1-26。
- [20] 馮正民、林佳宜，民國 87 年，「大眾運輸補貼分配制度與模式之研究」，運輸計劃季刊，第 27 卷第 1 期，頁 51-76。
- [21] Sheffi, Y. (1985), *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- [22] 許巧鶯、郭淑嫻，民國 88 年，「通勤者在平面道路與捷運路網之運具與路線選擇」，運輸計劃季刊，第 28 卷第 1 期，頁 61-90。
- [23] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (2001), "Household-mode Choice and Residential-rent Distribution in a Metropolitan Area with Surface Road and Rail Transit Networks," *Environment and Planning A*, Vol. 33, No. 9, pp. 1547-1575.
- [24] 郭淑嫻、許巧鶯，民國 90 年，「運輸外部成本訂價對通勤家戶運具/路線選擇之影響研究」，2001 年中華民國都市計劃/區域科學學會聯合論文研討會論文集(C)，頁 53-78。
- [25] 郭淑嫻、許巧鶯，民國 90 年，「環境改善效益限制下鐵路捷運捷運路網之票價研究」，中華民國第七屆運輸網路研討會論文集，頁 111-125。
- [26] Guo, S. P. and Hsu, C. I., "The Impacts of transportation External Cost Pricing and Transit Fare Variations on Household Mode/route Choices and environmental Improvements," Paper preparing for submitting to International Journal.
- [27] Lo, H. K. and Hickman, M. D. (1997), "Toward an Evaluation Framework for Road Pricing," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 123, No. 4, pp. 316-324.
- [28] Tsamboulas, D. and Mikroudis, G. (2000), "EFFECT - Evaluation Framework of Environmental Impacts and Costs of Transport Initiatives," *Transportation Research*, Vol. 5D, pp. 283-303.
- [29] Koppelman, F. S., Bhat, C. R. and Schofer, Jr. (1993), "Market-research Evaluation of Actions to Reduce Suburban Traffic Congestion - Commuter Travel Behavior and Response to Demand Reduction Actions," *Transportation Research*, Vol. 27A, No. 5, pp. 383-393.
- [30] Wardman, M. (1994), "Forecasting the Impact of Service Quality Changes on the Demand for Interurban Rail Travel," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 28, pp. 287-306.
- [31] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (1999), "Commuters' Mode and Route Choices on a Network with Surface Streets and Transit Lines," *Transportation Planning Journal*, Vol. 28, pp. 61-90 (in Chinese)
- [32] Huang, H. J. (2000), "Fares and Tolls in a Competitive System with Transit and Highway: the Case with Two Groups of Commuters," *Transportation Research*, Vol. 36E, pp. 267-284.
- [33] 賴禎秀、李明儒、蔡仁偉，民國 86 年，「階梯式收費結構下通勤者之均衡行為模式」，運輸計畫季刊，第 26 卷第 4 期，頁 593-613。
- [34] 賴禎秀，民國 89 年，「最佳單階段與兩階段擁擠收費下通勤者出發時刻變動行為之經濟分析」，運輸計畫季刊，第 29 卷第 2 期，頁 253-280。
- [35] 褚志鵬、葉崑陞，民國 90 年，「道路擁擠收費政策在考量異質旅次之靜態分析」，運輸計畫季刊，第 30 卷第 1 期，頁 33-62。
- [36] 褚志鵬，民國 90 年，「主線收費及匝道收費政策下之擁擠定價分析」，運輸計畫季刊，第 30 卷第 3 期，頁 513-538。
- [37] 許巧鶯、彭一民，民國 91 年，「單一瓶颈路段擁擠收費與鐵路捷運定價之研究」，中華民國運輸學會九十一年年會暨第十七屆學術論文研討會論文集，頁 45-53。
- [38] Cervero, R. (1986), "Examining the Performance Impacts of Transit Operating Subsidies," *ASCE Journal of Transportation*, Vol. 115, No. 5, pp. 467-480.
- [39] Bly, P. H. and Oldfield, R. H. (1986), "The Effects of Public Transport Subsidies on Demand and Supply," *Transportation Research*, Vol. 20A, No. 6, pp. 415-427.
- [40] Osula, D. O. A. (1998), "A Procedure for Estimating Transit Subsidization Requirements for Developing Countries," *Transportation Research*, Vol. 32A, No. 8, pp. 599-606.
- [41] Else, P. K. (1992), "Criteria for Local Transport Subsidies," *Transport Reviews*, Vol. 12, No. 4, pp. 291-309.
- [42] Maron, M. J. and Lopez, R. J. (1991), *Numerical Analysis - A Practical Approach*, Third Edition, Wadsworth.