

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

鐵路捷運系統對家戶運具選擇、居住分佈與
環境影響之研究

The Study on the Effects of Rail Transit System
on Households' Mode Choices, Residential
Distribution and Environmental Impacts

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號： NSC89 - 2211 - E - 009 - 077

執行期間： 89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人： 許 巧 鶯

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

執行單位：國立交通大學運輸工程與管理學系

中華民國 九十年 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
鐵路捷運系統對家戶運具選擇、居住分佈與環境影響之研究

The Study on the Effects of Rail Transit System on Households' Mode Choices, Residential Distribution and Environmental Impacts

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 009 - 077

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：許巧鶯(cihsu@cc.nctu.edu.tw) 國立交通大學運輸工程與管理學系
計劃參與人員：郭淑婷等

一、中文摘要

本研究以具有平面道路與鐵路捷運路網的都會區為研究對象，應用連續近似方法與數學規劃方法，並假設通勤家戶以一般化旅行成本與地租成本之和最小為目標，構建符合使用者均衡原則的整合性通勤家戶運具選擇與居住分佈模式，以描述運輸系統與住宅土地使用間的互動關係，且將住宅區與家戶的異質性、流量擁塞影響以及家戶不同所得競租效果納入考量以減輕總計誤差的程度。此外，本研究分別參考空氣污染擴散模式以及噪音傳遞模式，將其改寫以進一步構建空氣污染分佈模式以及噪音分佈模式，比較鐵路捷運系統營運前後的空氣污染分佈與噪音分佈變化情形。根據上述模式結果，本研究分別從社會經濟層面、環境影響層面、區位發展層面來探討鐵路捷運系統的營運效益與相關影響。研究結果顯示鐵路捷運路網營運後，各居住地點至就業地點(CBD)的旅行時間節省以旅行距離愈長的地區愈顯著，鐵路捷運沿線居住地點的地租成本較顯著提高，空氣污染與噪音累積量分佈的空間集中性漸趨緩和。

關鍵詞：運具選擇、居住分佈、鐵路捷運系統、效益分析、環境影響分析

Abstract

This study formulates an integrated households' mode choice and residential distribution model in a metropolitan area with surface streets and rail transit networks. The model is constructed to describe transportation/residential land-use interaction using continuous analytical approaches and mathematical programming methods. Heterogeneity among residential sites and households is also considered to alleviate aggregation bias. The model is formulated to minimize the sum of households' generalized travel costs and rent costs under user equilibrium by incorporating flow congestion effects and different income households' bid-rent effects. In addition, this study applies an air pollution diffusion equation and a noise propagation equation to formulate the models of pollution and noise distribution at each of all residential sites. Based on the results of the above models, the quantitative benefits of rail transit system are analyzed in terms of travel time saving, environmental impacts and urban development. The results reveal that, upon completion of rail transit networks, travel time savings from each residential site to the Central Business District (CBD) are more notable with a longer commuting distance. Rent costs are obviously higher in areas along rail transit lines. The spatial convergence of cumulated air pollution and noise distributions are moderated.

Keywords : mode choice, residential distribution, rail transit

system, benefit analysis, environmental impact analysis

二、緣由與目的

過去有關居住地點選擇與通勤運具選擇間互動關係的整合研究，所採用的研究方法主要有四類：1.數學規劃方法，2.Logit 模式，3.解析性方法，4.經濟分析方法。在數學規劃方法方面，係整合最大熵(Maximum Entropy)與路網使用均衡，以 Herbert and Stevens Model[1]為基本模式結合均衡路網指派模式，發展求解演算法，以求得各居住區位與就業區位間使用不同路線的分派流量，如 Boyce and Southworth[2]、Los[3]等。在 Logit 模式方面，大抵從家戶單位的居住效用觀點，收集實際的區位選擇資料，校估各項變數對居住效用的影響，進而決定單一家戶單位對各居住區位、通勤運具、通勤路線等的選擇機率，如 McFadden[4]、Anas[5]、Waddell[6]等。而在解析性方法方面，大都假設通勤者的就業地點為已知，以 Alonso[7]所發展的住宅區位模式為模式建構的基礎，相關研究如 Shibusawa and Higano [8]、Shibusawa[9]等。在經濟分析方法方面，則應用供需理論與市場觀念來探討土地市場與運輸系統的供需均衡情形，如 Hunt and Simmond [10]、Francisco and Martinez [11]。另一方面，由於鐵路捷運路網無法提供完全的及門服務，旅運者在平面道路與鐵路捷運路網間的轉乘，以及在鐵路捷運路線間的轉運情形顯得相當普遍，過去已有多位學者進行整合性運具與路線選擇的研究，如 Abdulaal and Leblanc[12]、Yang and Yagar and Iida[13]等，而亦有部份研究同時將旅運者在不同運輸路網間的轉乘與轉運情形納入考量，如 Florian and Cabrera[14]、許巧鶯與郭淑婷[15]、Hsu and Guo[16]等。雖然運輸系統與設施供給增加能滿足旅運者的運輸需求，帶動都市開發、土地使用發展與產業進步，相對地，空氣污染、噪音、道路擁塞、居住密集等負面影響卻是無可避免的。政府單位希望透過運輸系統規劃、土地使用規劃與管制、環保標準訂定來同時兼顧運輸系統發展、都市成長與環境品質三者的共榮。基於運輸系統發展對環境品質將造成嚴重影響的考量，過去曾有多位學者構建運輸與環境影響的整合架構，如 Gualtieri et al.[17]、Ambrosino et al.[18]等。

回顧上述文獻可知，都市土地使用活動與交通運輸活動，兩者間存在交互影響關係，然而傳統運輸規劃程序上多假設一個已知的土地使用型態，忽略運輸系統建立後對土地使用活動的影響，土地活動又刺激運輸活動的循環效果。因此，本研究從家戶的運具選擇以及居住分佈，建立運輸活動與土地使用活動的互動關係，並將研究重點定位在易產生交通擁塞的就業旅次，探討具有平面道路與鐵路捷運路網的都會區內，家戶的運具選擇，以及居住分佈的

情形。其次，傳統進行運具選擇、交通量指派與居住區位分派(選擇)的研究皆採用鄰里分區(census zones)以及家戶分群的觀念，然而家戶間具有異質性，且家戶在選擇居住地點時，亦是跨越鄰里分區的限制，而以各居住地點的居住效用為選擇依據。因此，本研究將採用連續近似方法(continuum approximation)將研究範圍內的平面道路視為連續型態，將鐵路捷運路網視為離散型態，藉以求得研究範圍內各居住地點之連續型態的流量方向與家戶密度，並透過等一般化旅行成本線分佈、等地租成本線分佈來預覽研究範圍內高交通擁塞地區以及高居住密度地區之所在。第三，過去有關運輸系統開發的環境影響研究，側重於從運輸系統、使用者、環境層面，論述運輸與環境間的影響關係，逐步建立各項環境影響評估指標與其衡量標準，以及整體性架構。較少文獻針對形成環境污染的空氣污染、噪音、擁塞等項目來探討運輸系統發展對環境系統間的影響，亦甚少探討空氣污染、噪音、擁塞等項目與旅運者之運具選擇間的關係，以及建立運輸系統與環境系統間的模式，來量化分析新建鐵路捷運系統對空氣污染、噪音、擁塞等運輸外部成本的改善效益。本研究構建空氣污染分佈模式以及噪音分佈模式，藉以探討鐵路捷運系統營運後，隨著旅運者轉而使用鐵路捷運系統使得各居住地點小汽車流量減少，而達到的空氣污染改善與噪音改善效益。

三、結果與討論

本研究分別構建通勤家戶居住分佈模式、通勤家戶運具選擇與居住分佈模式以及研究範圍內空氣污染與噪音分佈模式來探討運輸系統、土地使用系統、環境系統間的影響關係，由這些模式的結果分析鐵路捷運系統的相關影響與營運效益。本研究應用連續近似方法以二維座標平面 D 表示研究範圍內的均質路網，並以 ∂D 表示此研究範圍的邊界，假設研究範圍內家戶的就業地點高度集中於中心商業區(CBD)，且以座標 $o = (o_1, o_2)$ 表示，令圖 $G(N, A)$ 表示離散型態的鐵路捷運路網， N 為圖中所有節點的集合， A 為圖中所有節線的集合，本研究以節點表示捷運車站，節線表示鐵路捷運路網中兩車站間的捷運路段，並以二維座標平面空間 D' 表示研究範圍內的住宅區，即整個研究範圍 D 中不包括鐵路捷運車站與捷運路段 $G(N, A)$ ，以及工商業與其他用地的二維座標平面空間。在通勤家戶居住分佈模式的目標式方面，假設家戶居住地點的選擇係以一般化旅行成本與地租成本之和最小為目標，為建立小小汽車流量 $|v(x)|$ 與一般化旅行成本的關係，以及家戶數 $g^i(x)$ 與地租成本的關係，本研究定義小汽車在平面道路上的一般化旅行成本函數 $c(v/x)$ 為線性常數函數，表示如式(1)。其中， $a(x)$ 表示一般化旅行成本中未受到車流擁擠影響的部份， $b(x)$ 表示每增加一單位小汽車流量強度所增加的一般化旅行成本。

$$c(|v|, x) = a(x) + b(x) \cdot |v(x)| \quad (1)$$

在地租成本函數方面，先依據所得水準將家戶分群，假設所得愈高的家戶，其競租效果愈大，各居住地點第 i 類家戶的競租後單位面積地租成本函數 $k^i(x)$ 可表示如式(2)。其中， $g^i(x)$ ($i \in I$) 表示居住地點 $x = (x_1, x_2)$ 內的第 i 類家戶數， I 為依所得水準區分的家戶類別集合， $m^i(x)$ 表示居住地點 $x = (x_1, x_2)$ 內適合第 i 類家戶居住的單位面積平均地租， δ^i 表示第 i 類家戶用於購屋(租屋)的

單位面積所得預算， \bar{a} 為正常數， $n^i(x)$ 為調整第 i 類家戶在各居住地點的競租效果的參數，由於不同的家戶屬性在不同的居住地點將產生不同的競租效果，因此， $n^i(x)$ 為與居住地點 $x = (x_1, x_2)$ 以及家戶所得水準 i 有關的常數參數， $f(x)$ 為居住地點 $x = (x_1, x_2)$ 的容積率參數，表示樓地板面積與土地面積之比例，即每單位土地面積所能產生的樓地板面積，此外，令 $Ra^i(x)$ 表示居住地點 $x = (x_1, x_2)$ 內的適合第 i 類家戶的可用住宅用地面積， La^i 表示第 i 類家戶居住所需的平均樓地板面積。

$$k^i(x) = m^i(x) + n^i(x) \cdot \frac{\delta^i \cdot m^i(x)}{m^i(x)} \left(1 + \frac{g^i(x)}{f(x) \cdot Ra^i(x) / La^i} \right)^{\bar{a}} \quad (2)$$

$\forall i \in I, x \in D$

本研究建立以各居住地點的家戶數 $g^i(x)$ 與各居住地點的流量強度 $|v(x)|$ 為決策變數的數學規劃模式，如式(3)

式(8)。式(3)為目標式，表示家戶的居住地點選擇係以最小化一般化旅行成本與地租成本之和為目標，其中， CT 表示旅運者每月之平均通勤次數， \hat{a} 表示每一家戶的平均就業人數。假設每一家戶以一部車通勤且家戶成員的就業地點皆在單一的就業地點內，故可推導流量連續方程式如式(4)，式(5)表示研究範圍內的小汽車流量的目的地為單一的就業地點，式(6)表示各居住地點的各類家戶數 $g^i(x)$ 必須大於等於零，式(7)表示各居住地點的可用樓地板面積供給應大於等於樓地板面積需求，式(8)表示研究範圍內第 i 類家戶的總數為已知常數 q^i 。

$$\begin{aligned} \min \quad & N_1(|v|, g^i) \\ & = \hat{a} \cdot CT \cdot \iint_D \int_0^{c(y,x)} c(y,x) dy dx_2 \\ & + \sum_{i \in I} \iint_D La^i \cdot \int_0^{g^i(x)} \left\{ \frac{m^i(x) + n^i(x)}{m^i(x)} \left(1 + \frac{z}{f(x) \cdot Rd(x)/La^i} \right)^{\bar{a}} \right\} dz dx_1 dx_2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = \sum_{i \in I} g^i(x) \quad \forall x \in D \quad (4)$$

$$v_n = 0 \quad \text{on } \partial D \quad (5)$$

$$g^i(x) \geq 0 \quad \forall i \in I, x \in D \quad (6)$$

$$f(x) \cdot Ra^i(x) \geq g^i(x) \cdot La^i \quad \forall i \in I, x \in D \quad (7)$$

$$\iint_D g^i(x) dx_1 dx_2 = q^i \quad \forall i \in I \quad (8)$$

本研究進一步構建鐵路捷運路網加入營運後的家戶通勤運具選擇與居住分佈模式，分別針對轉車站及非轉車站建立旅運者在捷運路線區段上的一般化旅行成本函數如式(9)與式(10)，其中， t_0^s 表示旅運者在捷運路線區段 a (所對應的起始車站為 s) 中的已知車上時間以及票價之加權平均和； h_a^s 表示至捷運路線區段 a 的起始車站 s 轉乘的小汽車流量； β 表示小汽車的平均承載率； \mathbf{a} 、 \mathbf{r} 為參數。

$$t_a^s = t_0^s + \mathbf{a} \left(\frac{\mathbf{b} \cdot h_a^s}{H_a^s} \right)^r \quad \text{if } a \in (A^s \cup T^s), s \in S \quad (9)$$

$$t_b^r = t_0^r + \mathbf{a} \left[\frac{\mathbf{b} \left(h_b^r + \sum_{\substack{a \in T^r \\ s \in W^s}} h_a^s \right)}{H_b^r} \right]^r \quad \text{if } b \in A^r, r \in S^r \quad (10)$$

所構建的家戶通勤運具選擇與居住分佈模式如式(11) 式

(19), 其中, v_s 表示至捷運車站 s 轉乘捷運的小汽車流量, 式(11)為目標式, 表示最小化家戶的地租成本, 與其在平面道路與鐵路捷運路網上一般化旅行成本, 式(12)為各捷運車站的流量連續限制式, 表示捷運車站 s 的總流入車流量等於經由該車站轉乘的總車流量; 式(13)為捷運車站上的流量守恒限制式, 即捷運車站 s 附近的車輛密度積分所得到的車流量, 須等於至該車站轉乘的車流量, 式(16)為鐵路捷運路網上的非負限制式。

$$\min N_2(h, v, \hat{g})$$

$$= \sum_{\substack{a \in (A^s \cup A^t \cup T^s) \\ s \in (S \cup S^t)}} CT \cdot \int_0^{h_a^s} t_a^s(w) dw + \hat{a} \cdot CT \cdot \iint_D \int_0^{v_s} c(y, x) dy dx dx_2$$

$$+ \sum_{i \in I} \iint_D \int_0^{g^i(x)} La^i \cdot \left[\frac{\partial^i - m^i(x)}{m^i(x)} \left(1 + \frac{z}{f(x) \cdot Ra^i(x)/La^i} \right) \right] dz dx dx_2 \quad (11)$$

$$\text{s.t. } h_a^s = v_s \quad \forall a \in (A^s \cup A^t \cup T^s), s \in (S \cup S^t) \quad (12)$$

$$\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = \sum_{i \in I} g^i(x) \quad \forall x \in D \quad (13)$$

$$\iint_S q dx dx_2 = -v_s \quad \forall s \in (S \cup S^t) \quad (14)$$

$$v_n = 0 \text{ on } \partial D \quad (15)$$

$$h_a^s \geq 0 \quad \forall a \in (A^s \cup A^t \cup T^s), s \in (S \cup S^t) \quad (16)$$

$$g^i(x) \geq 0 \quad \forall i \in I, x \in D \quad (17)$$

$$f(x) \cdot Ra^i(x) \geq g^i(x) \cdot La^i \quad \forall i \in I, x \in D \quad (18)$$

$$\iint_D g^i(x) dx dx_2 = q^i \quad \forall i \in I \quad (19)$$

本研究應用連續近似方法分別構建鐵路捷運路網營運前後之家戶居住分佈模式以及家戶運具選擇與居住分佈模式如上, 為便於模式求解, 本研究推導其對偶問題, 並應用有限元素法將原先的對偶問題予以離散化, 再以拉氏乘數放鬆原先的限制式成為兩個最大化問題, 進一步採用「K-K-T最佳化條件」推導鐵路捷運系統營運前後之家戶居住分佈以及家戶運具選擇與居住分佈的最佳化條件, 應用 Newton-Raphson method 求解由各居住地點至就業地點的均衡一般化旅行成本、各居住地點的地租成本以及鐵路捷運車站的轉乘旅客量。

在空氣污染與噪音分佈模式方面, 本研究分別構建空氣污染分佈模式以及噪音分佈模式, 將家戶居住分佈模式以及家戶運具選擇與居住分佈模式之結果, 輸入空氣污染分佈模式及噪音分佈模式, 藉以求得研究範圍內的等空氣污染累積量分佈、等噪音累積量分佈, 並比較鐵路捷運系統營運前後的空氣污染分佈與噪音分佈變化情形。最後, 以具有鐵路捷運系統的台北都會區為研究範例, 驗證本研究所構建模式的操作過程與應用性, 並從社會經濟層面(如: 一般化旅行成本節省)、環境影響層面(如: 空氣品質改善、噪音污染改善、交通壅塞分佈)、區位發展層面(如: 區位可及性變化、居住密度變化、地租分佈變化)來探討與分析台北大眾捷運系統的營運效益與相關影響。研究結果重點整理如后:(如圖 1)鐵路捷運系統營運後, 當居住地點與就業地點間通勤距離愈長時, 通勤家戶的一般化旅行成本節省將愈顯著, 其原因可能為鐵路捷運系統改變各居住地點至就業地點的可及性, 通勤家戶將選擇轉乘捷運以減少一般化旅行成本, 例如居住在捷運淡水線、中和線、新店線、木柵線沿線地區的通勤家戶將可減少一般化旅行成本。

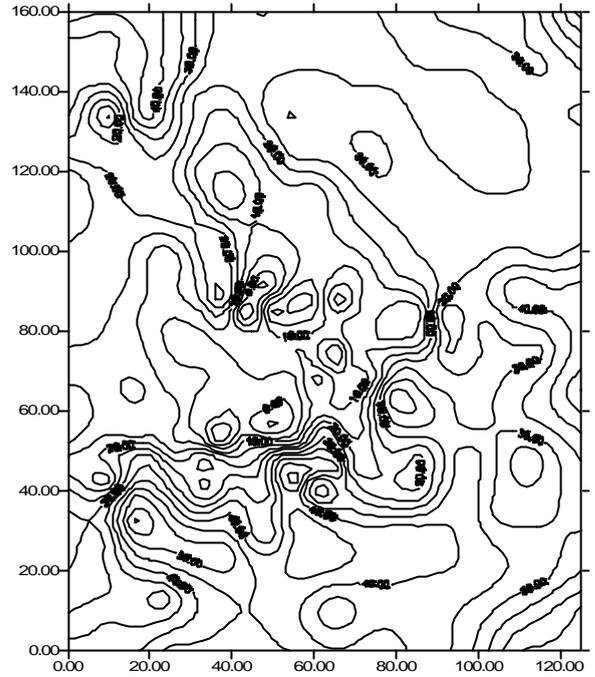


圖 1 鐵路捷運系統營運前後研究範圍內之等旅行時間節省線分佈圖(單位:分鐘)

(如圖 2)鐵路捷運系統營運後地租增加較多的地區主要分佈於捷運沿線, 如板橋線附近的萬華區、板橋市、土城市, 中和線附近的中和市、永和市, 新店線附近的新店市, 木柵線附近的木柵區。推論其原因可能為, 板橋線、新店線、中和線、新店線與木柵線在研究範圍的南部區域形成綿密的捷運路網, 擴大了捷運路網的服務範圍, 故對沿線地區的地租影響較顯著。

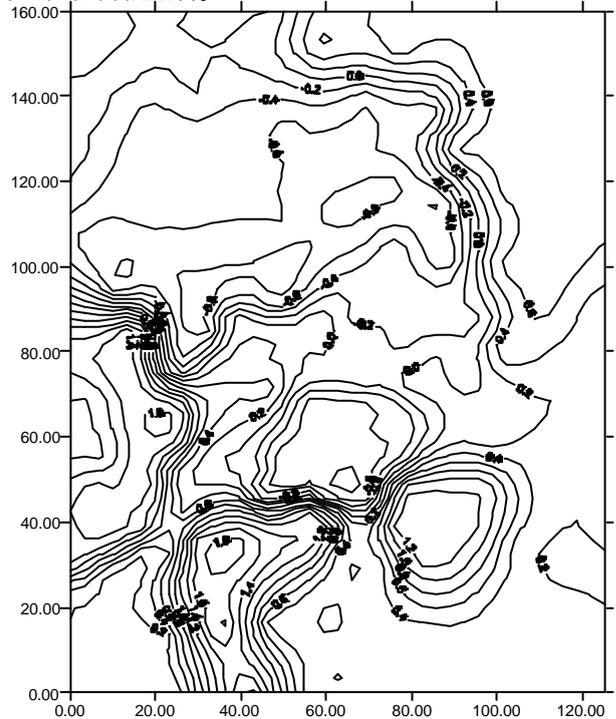


圖 2 鐵路捷運系統營運前後研究範圍內之等地租成本變化線分佈圖(單位:US\$1,000)

(如圖 3)當鐵路捷運路網營運後, 空氣污染累積量空間分佈的尖峰特性漸趨緩和, 市中心鄰近地區的空氣污染累積量有減少的趨勢。

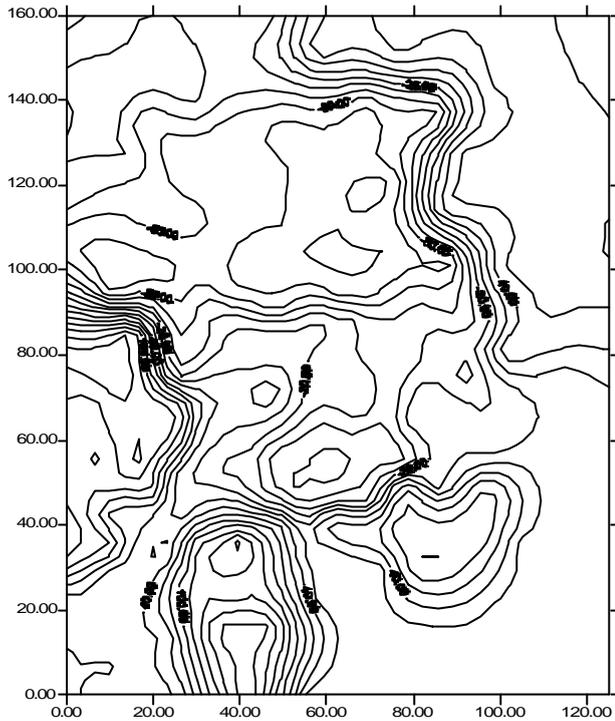


圖 3 鐵路捷運路網營運前後研究範圍內之等空氣污染累積量變化線分佈(千克)

四、計劃成果自評

本研究已完成原計劃之預期目標：(1)廣泛收集有關土地使用、家戶居住分佈、運具與路線選擇、運輸系統外部性、空氣污染擴散模式、噪音傳遞模式之文獻，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)應用連續近似方法構建家戶居住分佈模式以及家戶運具選擇與居住分佈模式原型問題，藉著對偶問題的推導來求得鐵路捷運系統營運前後，各居住地點之均衡地租、平面道路一般化旅行成本勢能、捷運路線區段一般化旅行成本、停車轉乘小汽車流量的變化情形，並進一步分析鐵路捷運系統之效益。(3)參考過去學者所建立之空氣污染擴散模式以及噪音傳遞模式，配合本研究課題之特性、研究假設與理論基礎，藉以分別構建空氣污染分佈模式以及噪音分佈模式，以探討與分析鐵路捷運系統營運後研究範圍內空氣污染分佈與噪音分佈的變化情形。(4)根據模式求解結果，分別從社會經濟層面、環境影響層面、區位發展層面來探討鐵路捷運系統營運後的效益。此外，本研究中有關家戶通勤運具選擇與居住分佈的模式構建以及部份範例分析的研究成果已投稿國際研討會並接受發表，如 Hsu and Guo[19]，而有關於家戶通勤運具選擇與居住分佈以及社會經濟層面、區位發展層面的鐵路捷運效益分析的研究成果已投稿國際期刊且已被接受刊登，如 Hsu and Guo[20]。有關空氣污染與噪音分佈以及環境影響層面的鐵路捷運系統營運效益分析的研究成果則已發表於國內研討會，如許巧鶯與郭淑嫻[21]，並進一步深入分析鐵路捷運路網的營運效益後已投稿國際期刊，目前尚在審查中，如 Hsu and Guo[22]。

五、參考文獻

[1] Herbert, J. D. and Stevens, B. H. (1960), "Model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas", *Journal of Regional Science*, Vol. 2, No. 2, pp.21-36.
 [2] Boyce, D. E. and Southworth, F. (1979), "Quasi-Dynamic Urban-

location Models with Endogenously Determined Travel Costs", *Environment and Planning A*, Vol. 11, pp.575-584.
 [3] Los, M. (1979), "Combined Residential-Location and Transportation Models", *Environment and Planning A*, Vol. 11, pp.1241-1265.
 [4] McFadden, D. (1978), "Modeling the Choice of Residential Location", *Transportation Research Record* 673, pp.72-77.
 [5] Anas, A. (1981), "The Estimation of Multinomial Logit Models of Joint Location and Travel Mode Choice from Aggregated Data", *Journal of Regional Science*, Vol. 21, No. 2, pp.223-242.
 [6] Waddell, P. (1993), "Exogenous workplace choice in residential location models: Is the assumption valid?", *Geographical Analysis*, Vol. 25, No. 1, pp.65-82.
 [7] Alonso, W. (1964), *Location and Land Use-toward a general theory of land rent*, Harvard University Press.
 [8] Shibusawa, H. and Higano, Y. (1995), "External Economies of Telecommuting in a Closed Information-Oriented City", The 14th PRSCO Conference, Taipei, R. O. C., 1995.
 [9] Shibusawa, H. (1997), "Commuting Behavior in the Closed City with Telecommuting and Office Work", The 36th Annual Meeting of Western Regional Science Association Royal Waikoloan Resort, Hawaii, 1997.
 [10] Hunt, J. D. and Simmonds, D. C. (1993), "Theory and application of an integrated land-use and transport modeling framework", *Environment and Planning B: Planning and Design*, pp. 221-244.
 [11] Francisco, J. and Martinez, C. (1995), "Access: the transport-land use economic link", *Transportation Research*, Vol. 29B, No. 6, pp.457-470.
 [12] Abdulaal, M. and Leblanc, L. (1979), "Methods for Combining Modal Split and Equilibrium Assignment Models," *Transportation Science*, Vol. 13, No. 4, pp.292-314.
 [13] Yang, H., Yagar, S. and Iida, Y. (1994), "Traffic Assignment in a Congested Discrete/Continuous Transportation System", *Transportation Research*, Vol. 28B, No.2, pp.161-174.
 [14] Florian, M. and Cabrera, E. (1994), "Network Equilibrium Models with Combined Modes," *Transportation Science*, Vol. 28, No. 3, pp.182-192.
 [15] 許巧鶯、郭淑嫻，民國 88 年，「通勤者在平面道路與捷運路網上之運具與路線選擇」，運輸計劃季刊，第二十八卷，第一期，頁 61-90。
 [16] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (1999), "Access mode combinations for intercity transportation terminals in a metropolitan area," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* Vol. 3, No. 2, pp. 333-348.
 [17] Gualtieri, G. and Tartaglia, M. (1998), "Predicting Urban Traffic Air Pollution: A GIS Framework," *Transportation Research*, Vol. 3D, No. 5, pp. 329-336.
 [18] Ambrosino, G., Sassoli, P., Bielli, M., Carotenuto, P. and Romanazzo, M. (1999), "A Modeling Framework for Impact Assessment of Urban Transport Systems," *Transportation Research*, Vol. 4D, No. 1, pp. 73-79.
 [19] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (2001), "Household Mode Choice and Residence Rent Distribution in a Metropolitan Area with Surface Streets and Rail Transit Networks," Paper Presented at WRSA 40th Anniversary Annual Meeting, February 25-28, Palm Springs, California.
 [20] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (2001), "Household mode choice and residence rent distribution in a metropolitan area with surface streets and rail transit networks," Accepted for publication in *Environment and Planning part A*.
 [21] 許巧鶯、郭淑嫻，民國 90 年，「鐵路捷運系統對居住環境品質之改善效益研究」，中華民國區域科學學會/住宅學會 2001 年聯合論文研討會論文集，B2-III。
 [22] Hsu, C. I. and Guo, S. P. (2001), "Externality reductions, accessibility benefits and rent variations in residential areas due to rail transit networks," Paper Submitted for *Transportation Research Part D*.