

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文



Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

高速鐵路運量預測模式重建與分析

High Speed Rail Ridership Forecast Study-
Model Rebuilt and Analysis

林威任

Wei-Ren Lin

指導教授：許聿廷 博士

Advisor: Yu-Ting Hsu Ph.D.

中華民國 103 年 6 月

June 2014

摘要

高速鐵路具備高速度、高運能及低污染等優點，是相當具有吸引力之城際運具。自 2007 年台灣高鐵通車以來，即大幅縮短台灣西部走廊各大城市間的旅行時間，成就「一日生活圈」之概念。由於建設高速鐵路需要相當龐大的投資成本，若由政府主持興建，受到行政程序繁複即財政負擔的影響，將可能使通車時程不斷延宕。近年許多國家將大型公共建設轉向私有化的替代方案。台灣高鐵是世界上最大的 BOT 建設案，但自通車以來，營運即受到運量不足的影響，造成龐大的財務赤字。於 2009 年因財務困難，迫使政府不得不提供資金援助。1990 年代，交通部高鐵籌備處所委託幾家顧問公司預測高鐵的運量，但大多報告皆樂觀預估運量及營收，是造成後續財務規劃不佳的成因之一。然而由於實際通車日期與當初預測時程不同，許多社會經濟條件已不可同日而語，在 20 年後的今日與當初所預期之條件大多不符，如 GDP、人口、基本費率及行車時間皆不同。此外，台灣社會經濟環境和人文地理因素與其他國家有很大的不同，委託之顧問公司多以他們的經驗來推測需求量，但未必適用於台灣。本研究欲根據台灣高鐵的經驗，重新建構高速鐵路運量預測模式。

該模式分為兩個部分，一為直接總體需求模式，另一為總體羅吉特模式（運具分配模式）。利用歷史巨觀資料校估模式參數，並以台灣高鐵通車後之實際數據驗證模式參數。與實際運量相比，本研究所提出之高鐵運量模式預測誤差約為 15%。以次模式預測 20 年內的高鐵運量及營收值，結果顯示，即將營運通車的高鐵新增三站(苗栗、彰化及雲林)，在民國 110 年的預測情境下，可增加 16% 運量及 11% 的營收，即對營運有正面幫助。但這三站所貢獻的運量及營收將比現有高鐵嘉義站更低。在高鐵票價策略方面，本研究結果顯示現今台灣高鐵所制定之票價可幾乎創造最大之營收，因此目前票價措施算是合適。在高鐵接駁時間方面，當接駁時間越少，可有效吸引短途旅客(尤其是通勤旅客)，若高鐵站與目前傳統鐵路車站共構，可減少大量的接駁時間，民國 110 年計算結果顯示會約有 55% 的運量提升及 30% 的營收增加。

關鍵字：台灣高鐵、BOT、運量預測、總體資料

Abstract

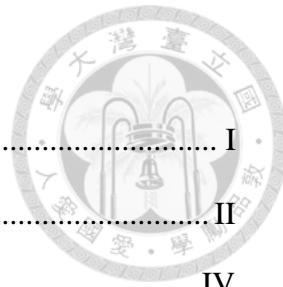
With its virtues of high speed, large capacity, reduced levels of energy consumption, and pollution, high-speed rail (HSR) is emerging as an attractive transportation system. Due to the large investment burden required for HSR projects and the inefficiency of government-sponsored public construction projects, many countries are now turning to the alternative of privatizing their HSR projects. However, the private company often encounters financial deficit when the operating revenue cannot balance the cost. Taiwan high speed rail (THSR) is the largest BOT (Build-Operate-Transfer) case in the world. It once declared bankrupt because of financial difficulties until the government provided funding support in 2009. Some criticisms focused on the overestimated ridership forecasts made by several consultants and institutes. However, the actual operation period is different from the planned one, which involves the changes of socioeconomic, environmental, and geographic backgrounds (such as GDP, population, and fare price). Also, the employed demand forecast models may be characterized by the experiences in other countries, which can be inapplicable in Taiwan. Hence, this study seeks to rebuild HSR ridership forecast model based on the experiences of THSR and re-examine it using actual operation data.

This model is composed of two parts, direct demand forecast model (overall inter-city travel demand), and aggregate logit model (mode split model). The parameters in both models are calibrated by using historical aggregate data and verified by real ridership data after THSR opening, showing that the prediction error of the proposed models is within 15%. The current fare price of THSR can reach the nearly best revenue, implying appropriate pricing strategies. The prediction of THSR ridership and revenue for the next 20 years are conducted based on the developed

models. The results show that the three stations (Miaoli, Changhua, and Yunlin) which are currently under construction may increase 16% ridership and 11% revenue in 2021, highlighting their positive effects on future operation. However, the demand generated from each of these three stations may be lower than the one currently with the lowest demand (Chiayi). If THSR stations were built on the conventional railway stations, access time can be significantly reduced, which may lead to 55% ridership and 30% revenue increase. The reduced access time may also attract more short-distance travelers (commute trips).

Keywords: *Taiwan high speed rail, BOT, ridership forecast, aggregate data.*

目錄



摘要	I
Abstract	II
目錄	IV
表目錄	VIII
圖目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 緒論	1
1.2 研究背景與動機	2
1.3 研究目的	4
1.4 研究範疇與限制	5
1.5 研究方法	5
1.6 研究流程與架構	6
第二章 文獻回顧	7
2.1 高速鐵路歷史簡介	7
2.2 1990 年代台灣高速鐵路運量預測報告書	8
2.2.1 法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司報告書	9
2.2.2 香港 MVA 弘達交通顧問有限公司報告書	11
2.2.3 台灣高鐵運量預測模式小結	12
2.3 高速/城際鐵路運量預測研究	13
2.4 文獻回顧小結	16
第三章 高速鐵路運量預測模式建構	19
3.1 直接總體需求預測模式	19
3.1.1 應變數及自變數選取	19

3.1.1.1 小客車交通量	22
3.1.1.2 國道客運(巴士)交通量	23
3.1.1.3 傳統鐵路(臺鐵)交通量	23
3.1.1.4 國內航空交通量	23
3.1.1.5 國民生產毛額	23
3.1.1.6 戶籍人口數、實住人口數	23
3.1.1.7 小客車持有量	24
3.1.1.8 就業人口數 (二三級就業人口數，商務通勤旅次).....	25
3.1.1.9 老年人口數 (返鄉旅次).....	26
3.1.1.10 國內總體旅遊人次 (旅遊旅次).....	27
3.1.1.11 旅行成本	27
3.1.1.12 旅行時間	30
3.1.2 分段式迴歸模式.....	34
3.1.3 直接總體需求模式計算.....	37
3.1.4 多重共線性.....	39
3.1.5 山脊型迴歸法.....	40
3.1.5.1 山脊型迴歸法介紹	41
3.1.5.2 山脊型迴歸法偏差常數之選擇	42
3.1.5.3 山脊型標準化迴歸係數之變異數	44
3.1.6 衍生交通量	45
3.2 運具分配模式.....	50
3.2.1 個體行為運具分配模式.....	51
3.2.1.1 個體選擇行為模式	51
3.2.1.2 可衡量之效用	52
3.2.1.3 不可衡量之效用	52
3.2.1.4 二項個體行為運具分配模式	53

3.2.1.5 多項羅吉特模式	54
3.2.1.6 巢式羅吉特模式	55
3.2.2 總體運具分配模式.....	57
3.2.2.1 總體羅吉特模式型態	57
3.2.2.2 總體羅吉特模式之參數校估	58
3.2.3 臺灣總體運具分配模式.....	59
3.2.3.1 效用函數	59
3.2.3.2 多項羅吉特模式與巢式多項羅吉特模式的選用	60
3.2.4 運具分配模式計算.....	64
第四章 案例分析.....	68
4.1 台灣高速鐵路系統案例分析.....	68
4.1.1 分析範疇與假設.....	69
4.1.1.1 台灣高鐵既有車站	69
4.1.1.2 台灣高鐵新增車站	71
4.1.1.3 研究預測假設	72
4.1.2 台灣高速鐵路相關資料說明	74
4.2 台灣高速鐵路運量預測結果(包含新增三站).....	76
4.3 敏感度分析.....	80
4.3.1 高速鐵路運具特性敏感度分析.....	80
4.3.1.1 高速鐵路接駁時間及旅行時間	80
4.3.1.2 高速鐵路旅行成本(票價).....	82
4.3.2 小客車運具特性敏感度分析及油價情境分析.....	84
4.3.2.1 小客車旅行時間	84
4.3.2.2 高速公路收費(ETC)基本費率	84
4.3.2.3 小客車平均乘載人數	85

4.3.2.4 油價(原油價格)情境分析	86
4.3.3 國道客運運具特性敏感度分析	88
4.3.3.1 國道客運旅行時間	88
4.3.3.2 國道客運旅行成本(票價).....	89
4.3.4 傳統鐵路運具特性敏感度分析.....	89
4.3.4.1 傳統鐵路旅行時間	89
4.3.4.2 傳統鐵路旅行成本(票價).....	91
4.4 案例分析小結.....	91
第五章 結論與建議.....	93
5.1 結論.....	93
5.2 建議.....	95
參考文獻.....	97

表目錄



表 3.1 變數資料表.....	21
表 3.2 旅行時間計算方式.....	31
表 3.3 分段式迴歸嘗試結果.....	35
表 3.4 分段式迴歸模式包含之 O-D 起訖對。	37
表 3.5 直接總體需求模式係數校估結果.....	38
表 3.6 山脊型迴歸模式調整係數結果.....	45
表 3.8 部分 O-D 起訖對之衍生交通量計算結果	48
表 3.9 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果	49
表 3.10 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果 (Sofrerail, 1991).....	49
表 3.11 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果.....	50
表 3.12 影響運具分配之變數(運輸規劃原理與實務，凌瑞賢).....	50
表 3.13 總體及個體羅吉特模式之比較(運輸規劃原理與實務，凌瑞賢).....	57
表 3.14 可選擇城際運具之效用函數.....	59
表 3.15 巢式多項羅吉特分類方案.....	62
表 3.16 各 O-D 起訖對之羅吉特模式結構	63
表 3.17 台北至高雄 O-D 起訖對之運具分配模式係數校估	64
表 4.1 台灣高鐵各站里程數(交通部高速鐵路工程局).....	74
表 4.2 高速鐵路票價及行車時間表(上為票價，下為行車時間).....	75
表 4.3 台灣高鐵接駁時間(分鐘).....	75
表 4.4 民國 110 年台灣高鐵運量(下)及營收(上)預測值	76
表 4.5 民國 120 年台灣高鐵運量(下)及營收(上)預測值	77
表 4.6 民國 110 年各高鐵車站運量及營收預測值.....	77
表 4.7 民國 120 年各高鐵車站運量及營收預測值.....	78

圖 目 錄



圖 1.1 台灣高鐵正式營運前之相關運量預測結果(監察院, 2009 年).....	3
圖 1.2 研究流程圖.....	6
圖 2.1 法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司運量預測流程圖(本研究整理).....	10
圖 2.2 香港 MVA 弘達交通顧問有限公司運量預測流程圖(MVA, 1993)	12
圖 3.1 臺灣西部走廊城際交通量.....	20
圖 3.2 直接總體需求模式概念圖.....	21
圖 3.3 直接總體需求模式(最小平方法)計算之總體交通量	38
圖 3.4 山脊型迴歸係數與最小平方法迴歸係數之差異(François Nielsen, 2006)..	41
圖 3.5 不同偏差常數對應之標準迴歸係數值.....	43
圖 3.6 直接總體需求模式採用最小平方法及山脊型迴歸模式之結果.....	44
圖 3.8 巢式多項羅吉特模式結構圖 (運輸規劃原理與實務, 凌瑞賢).....	55
圖 3.9 巢式多項羅吉特模式結構圖.....	62
圖 3.10 台北-台中 O-D 起訖對之各運具市場比例	65
圖 3.11 台北-台南 O-D 起訖對之各運具市場比例	66
圖 3.12 台北-高雄 O-D 起訖對之各運具市場比例	66
圖 3.13 台中-高雄 O-D 起訖對之各運具市場比例	67
圖 4.1 台灣高鐵未來年運量預測結果(包含新增三站).....	78
圖 4.2 台灣高鐵未來年營收預測結果(包含新增三站).....	79
圖 4.3 高速鐵路接駁時間敏感度分析(運量).....	80
圖 4.4 高速鐵路接駁時間敏感度分析(營收).....	81
圖 4.5 高速鐵路基本費率敏感度分析(運量).....	82
圖 4.6 高速鐵路基本費率敏感度分析(營收).....	82
圖 4.7 高速鐵路基本費率敏感度分析(民國 110 年營收預測值).....	83
圖 4.8 小客車旅行時間敏感度分析(運量).....	84

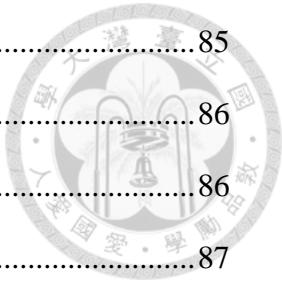


圖 4.9 小客車通行費(ETC)敏感度分析(運量).....	85
圖 4.10 小客車平均乘載人數敏感度分析(運量).....	86
圖 4.11 國際原油價格(美金)預測值(美國能源資訊局，2013)	86
圖 4.12 國內 95 無鉛汽油價格預測值.....	87
圖 4.13 油價情境分析(運量).....	87
圖 4.14 國道客運(巴士)旅行時間敏感度分析(運量)	88
圖 4.15 國道客運(巴士)票價敏感度分析(運量)	89
圖 4.16 臺鐵旅行時間敏感度分析(運量).....	90
圖 4.17 臺鐵票價敏感度分析(運量).....	90

第一章 緒論



1.1 緒論

高速鐵路具備高速度、高運能及降低污染等優點，是相當具有吸引力之城際運具。台灣高速鐵路(以下簡稱台灣高鐵)自 2007 年通車以來，大幅縮短西部走廊各大城市間的旅行時間，成就「一日生活圈」的概念，新的運輸工具成為時代的象徵。但自通車以來，營運一直受到運量不足的影響，造成營運困難，實際運量與 1990 年代各家顧問公司的預測結果相差甚大，其預測值平均高估約二至四倍。然台灣高鐵建設受到許多因素延宕通車，與最初的預期相差約 10 年之久，期間歷經重大社會經濟轉變，包含 1990 年代以降的海峽兩岸開放經商、南北第二高速公路的建設、2000 年金融風暴、2001 年金馬小三通、2008 年兩岸直航、金融風暴等因素，實際社會指標大多與過往研究不符。且 1996 年台灣高鐵改採 BOT (Build, Operate & Transfer)案建設，營運條件變更，當時預測所使用的基本票價與今日實行價格相異，情境不同亦無法一概而論，且台灣社會經濟環境和人文地理因素與其他國家有很大的不同，委託之顧問公司多以他們的經驗來推測需求量，但未必適用於台灣。此外，西部走廊國內航空客運量在台灣高鐵通車前夕，僅有最輝煌時期的三分之一，高鐵通車後更加速國內航空業的衰退。至 2012 年 9 月因營運績效不佳，全數退出西部走廊市場，規劃人員雖於事前預知高速鐵路將對航空業有衝擊，但仍認為兩者應為並存的競爭關係，與現實有差異。

如今台灣高鐵已通車七年，有實際運量統計數據。據此，本研究參考過往報告書之預測模式，並根據台灣高鐵的經驗，重新建構高速鐵路運量預測模式，並帶入新的社會經濟條件及營運資料，得出之預測結果經案例分析、敏感度分析與基礎情境做比較，從中給予結論與建議。而新建構模式之結果，期望能作為營運上之參考，並供未來規劃人員及其他尚在規畫建設高速鐵路的國家借鏡。

本研究模式分為二大部分。第一部分為直接總體需求模式，包含所有西部走

廊可選擇運具(小客車、國道客運、傳統鐵路、國內航空及高速鐵路等五種)的城際交通量，模式變數依照總體社會經濟條件、旅次目的及運具特性做取捨，而選取區域範圍以現有台灣高鐵車站的城市為主。第二部分依照前述總體城際交通量運測值，採用總體羅吉特模式(包含多項羅吉特及巢式多項羅吉特模式)，針對各個 O-D (Origin-Destination) 起訖對，以運具特性分配各運具之市場比例，進而得到台灣高鐵的運量預測值。預測結果包含未來台灣高鐵新增三站(苗栗、彰化及雲林)之運量及營收值。並以敏感度分析結果分析台灣高鐵接駁時間及票價對其運量之影響。

1.2 研究背景與動機

現今定義之高速鐵路發展已有 50 年歷史，一般由 1964 年日本東京至大阪的新幹線通車開始。對此日本制定法律，表明營運時速可高達 200 公里以上即可稱為高速鐵路 (High Speed Rail)。高速鐵路歸類為陸路交通之內，其服務性質與鐵路相同。但其速度較高，服務效率不同，所要求的安全條件更高，整體系統的設計與一般認知的鐵路有異。為區別兩者，舊有鐵路系統在本研究中定義為「傳統鐵路 (Conventional Railway)」，服務速度小於時速 160 公里；而高速鐵路路線標準較高、線型較好，服務速度可高於時速 250 公里，可大幅縮短城市間的旅行時間，近年新建設的高速鐵路系統更以時速 300 公里以上的規格來設計。

當世界各國經濟活動增加時，即會考慮建設高速鐵路以提升國內運輸的機動性，目前已有多個國家擁有高速鐵路系統，而有更多的國家欲規劃建設之，包含已開發及開發中國家。高速鐵路系統龐大，其興建所牽涉之事務繁多，規劃初期需諸多調查資料以進行可行性評估，包含土木建設、財務規劃、營運服務安排等，其中財務規劃及營運安排須按照客運量來設計，因此必須要預測未來營運的客運量。倘若運量預測的結果誤差過大，將會影響後續財務計劃，進而造成經營上的困難。

以台灣高鐵為例，在 2007 年 1 月 5 日正式營運後，實際運量不如以往預期，

成為營運危機的原因之一，如圖 1.1 所示。最初開始規劃台灣高鐵的交通部高速鐵路工程籌備處於 1987 年成立，爾後著手整體系統的設計。第一份完整的規劃報告書由籌備處委託法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司製作，於 1991 年完成。憑藉其 1981 年法國高速鐵路通車後的經驗，提供規劃建議。接著 1992 及 1993 年香港 MVA 弘達交通顧問有限公司、英國 Transmark 工程顧問公司、中華民國區域科學學會、交通部運輸研究所等皆有參與台灣高鐵的運量研究，最後由 MVA 接手後續幾年的規劃案。1996 年宣布台灣高鐵採取 BOT 案後，由台灣高鐵公司 (Taiwan High Speed Rail Corporation, THSRC) 得標成為台灣高鐵的建設者，其後仍委託 MVA 規劃運量預測事項，1997、1999、2002、2005 年根據社會經濟條件調整數據，提供修正版之報告書。

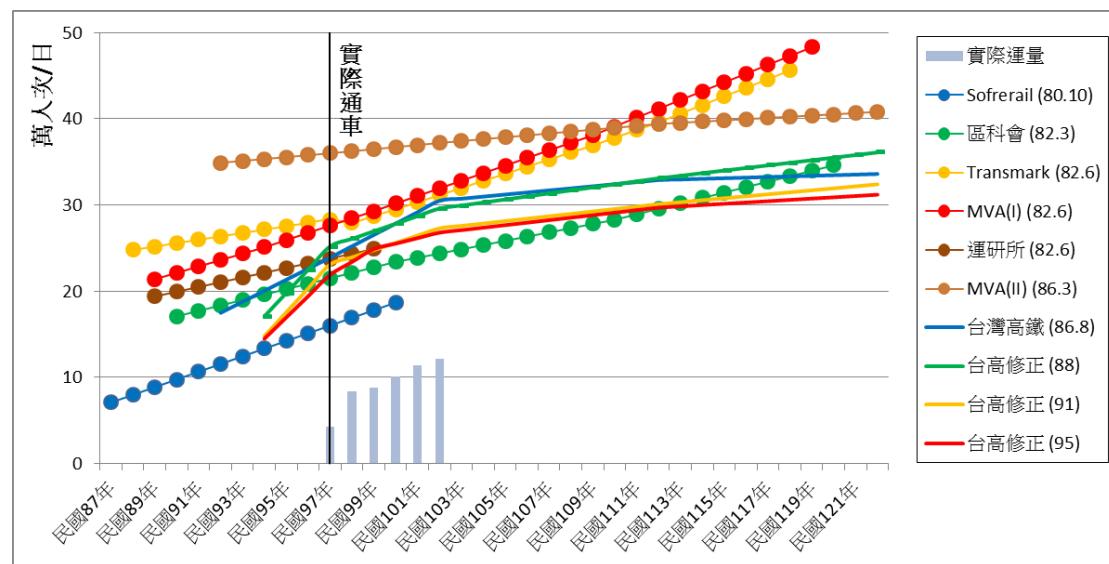


圖 1.1 台灣高鐵正式營運前之相關運量預測結果(監察院，2009 年)

本研究以 1991 年 Sofrerail 的運量預測報告書為藍本，期望能從最原始規劃高速鐵路的概念來重新建構運量預測模式。報告書預測 1996 年台北至台中段部分通車、1998 年台北至高雄段全程通車，與實際全線通車營運時間相差九年，預測 2011 年(民國 100 年)的運量約與實際運量相差 2 倍。而當時 1990 年代的社會經濟環境與 2000 年代差異甚大，且實際通車日期、票價皆有所不同，種種差異致使實際運量不如預期。此外，1990 年左右開始兩岸開放經商，許多台灣商

人前往大陸發展。2001 年開放小三通，加速兩岸人民的來往，同時對島內商旅、運輸需求的特性產生了相當程度的影響。2008 年再開放兩岸直航，國內航空業者積極改變營運方針，國內航線逐漸減少。再者，過往的報告書在計算城際運具分配時，皆認為西部走廊國內航線仍有穩定的客源競爭這塊市場。但實際西部航線運量在 2006 年台灣高鐵通車前夕，只有約巔峰時期(1997 年)的三分之一。至 2012 年 9 月 1 日，昔日最輝煌的台北高雄航線吹熄燈號，國內航線全數退出西部走廊。今日消費者已無法選擇該運輸工具，與過往的預測情形迥異。

本研究進行時，台灣高鐵已通車七年，在有實際資料及過往報告書預測模式的情況下，依照台灣高鐵的經驗，重新建構並驗證高速鐵路運量預測模式。過往運量預測報告書雖無法準確預測實際運量，卻是台灣運輸界之寶貴資料，後輩可從中汲取知識並參考其作法。目前尚有多國正規劃建設高速鐵路，本研究期望能根據現有實際資料，重新設計運量預測模式，再汲取台灣高鐵發展的歷史經驗，提供給未來規劃人員及他國參考。

1.3 研究目的

由於時代變遷，社會經濟環境及營運計畫與以往預測差異甚大，台灣高鐵實際運量不如過往預期結果。本研究進行時，適逢高鐵通車七年，有實際與預測運量的資料參考。本研究欲檢視過往預測報告書，重新建構模式，並帶入新調整之總體社會經濟資料、營運條件，得出之預測結果經案例分析、敏感度分析與基礎情境做比較，從中給予結論與建議。而新建構模式之結果，期望能作為營運上之參考，並供未來規劃人員及其他尚在規畫建設高速鐵路的國家借鏡。研究之目的可歸納如下：

- (1) 根據社會經濟資料、旅次目的及運具特性，建立直接總體需求模式。
- (2) 根據不同運具特性，以總體羅吉特模式(包含多項羅吉特模式，及巢式多項羅吉特模式)建立總體運具分配模式。
- (3) 探討新增高鐵三站所帶來的運量及營收效益。

(4) 根據前述預測結果，透過敏感度分析，探討台灣高鐵接駁時間與基本費率對其運量及營收值之影響，提供未來規劃人員及他國參考。

1.4 研究範疇與限制

本研究主要分析對象以高速鐵路的潛在客群為分析對象，此客群一般為城際運輸的旅次，凡是跨越(縣)行政區的旅次，本研究將其認定為城際旅次，其包含商務、旅遊及返鄉等旅次目的。資料主體來自於國道高速公路收費站小客車車流量數據、國道客運乘載人次、台鐵自強號、莒光號、長途區間車等乘載人次、國內航線客運量，不考量任何短途旅次(縣行政區內的旅次)影響。

選定的起訖點主要考慮設有高鐵站點的城市，東部走廊及外島地區轉乘的旅次影響忽略不計。距離較近的轉乘接駁站(如台北及板橋站)視為同一個站點。各個站點的參考變數數值皆以行政區為畫分界線，如左營站包含高雄市全區的人口數、就業人口數及其他相關變數。

依照歐洲經驗，國際機場普遍會設置高速鐵路站，1991 年 Sofrerail 報告書也建議將桃園站設於中正國際機場(桃園國際機場)。由於實際桃園站點並不是位在該處，因此本研究不額外使用變數，將其計入桃園站來計算。

旅行時間、旅行成本、接駁時間以及等車時間皆以平均參考值(包含官方時刻表、票價表數據)來計算，不考慮平日假日、季節變化、國定假日路況不同的區別。詳細資料和相關處理方法將於第三章說明。

本研究假設全國的社會經濟特性、運具特性等各因素包含 GDP、人口數、就業人口、旅行時間、旅行成本及其餘因子等，於各個城市為均勻成長之情境，實際運量與營收結果依照實際變數條件會有不同之結果。

1.5 研究方法

本研究欲採用台灣高鐵尚未通車前的歷史社會經濟資料，建立直接總體需求模式，以預測通車後之總體城際交通量。再按照可選擇運具之間的運具特性，以

總體羅吉特模式建立總體運具分配模式，計算台灣高鐵運量預測值。由於新運具的運量多由其他既有運具移轉過來的，在初期通車營運時，會面臨「運量移轉延滯效應」，消費者不熟悉新運具所造成之運量較低，通常會有高估運量的現象。

經由案例分析結果及敏感度分析比較，從中給予結論與建議。據此建議未來規劃人員及他國的規劃方向，並指出影響高速鐵路運量的重要潛在因素。

1.6 研究流程與架構

本研究之研究流程如圖 1.2 所示，於研究主題確定後，蒐集相關文獻以了解前人研究之方向與近況。確立研究之方向與方法後進行資料蒐集，以供後續建立模式與分析時使用。接著建立直接總量需求預測模式及運具分配模式。最後依據案例分析與敏感度分析之結果，整理且詳細探討後提出具體結論以及未來研究方向。

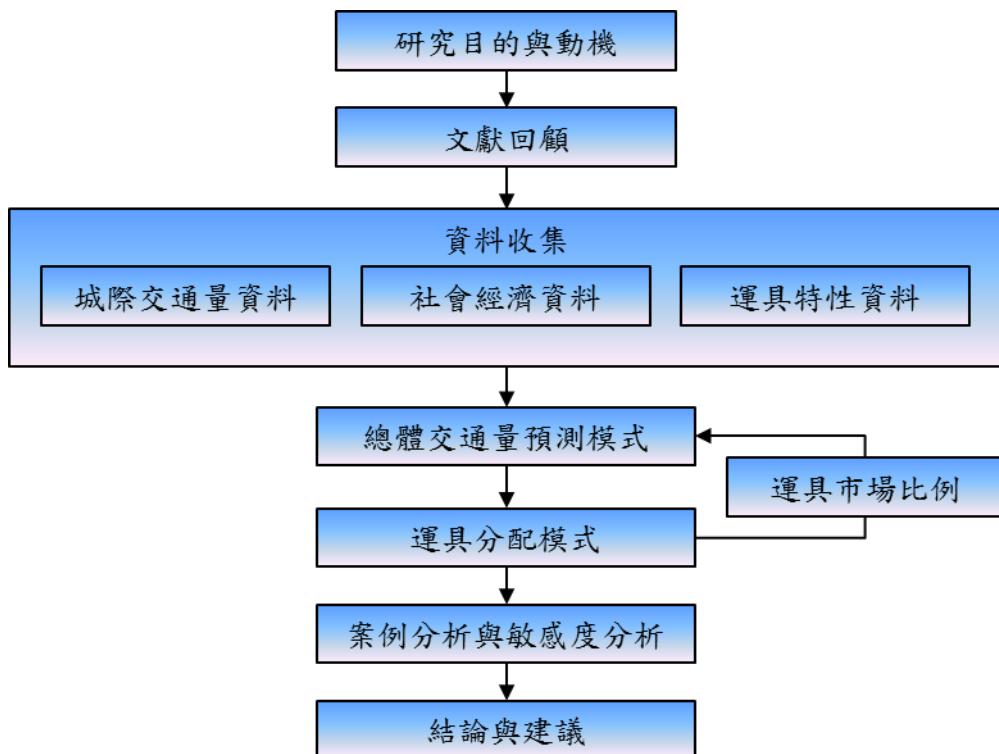


圖 1.2 研究流程圖

第二章 文獻回顧



2.1 高速鐵路歷史簡介

高速鐵路的定義，自 19 世紀英國鐵路創建以來即不斷在改變，人類不斷追求高速的目標，凡是超越前一代速度標準的鐵路皆能稱為高速鐵路。1964 年，日本為舉辦奧運會，於東京至大阪建設了新幹線，營運時速可高達 200 公里以上，相對於其他國家只能以實驗方式達到這個速度標準，現今普遍法規即認定其為世界第一條高速鐵路，爾後各國也相繼以此目標競速。1981 年法國鐵路高速線巴黎至里昂段的 TGV(Train à Grande Vitesse，高速度列車之意)系統正式營運。1991 年德國也完成漢諾威至維爾茲堡的高速鐵路線，推出 ICE (Inter-City Express) 列車。

日法德三國目前也是世界各國高速鐵路的主要製造國家，如西班牙、韓國使用法國的 TGV 車輛系統、中國使用德國的 ICE 車輛系統、台灣則是使用日本新幹線的車輛系統。義大利亦有建造高速鐵路系統，然其主要採取傾斜式列車技術 (Pendolino) 克服車輛過彎障礙以提升車輛行駛速度。由於多數國家興建高速鐵路系統皆是新闢路線，路線規格較高、線型較佳，除非是現有路線改善，否則不會採用傾斜式技術，因此較少國家引進該系統。目前高速鐵路的定義是能達到時速 250 公里以上的鐵路線即稱之。而新建高速鐵路系統皆是以時速 300 公里、甚至 350 公里以上的規格來設計。未來的定義可能再更改，高速鐵路的型態也會因時因地而不同。現今仍有許多國家規劃建設高速鐵路中，由於經費龐大，回收週期長，多數尚處在初期討論階段，遲遲無法發包動工。高速鐵路系統龐大，興建所牽涉之事務繁多，規劃初期需要諸多調查資料進行以可行性評估，包含土木建設、財務規劃及營運服務安排等，其中之財務規劃及營運安排須按照客運量來設計，因此必須要預測未來營運之客運量。倘若運量預測的結果與實際誤差過大，將會影響後續財務計劃，進而造成經營上的困難。

2.2 1990 年代台灣高速鐵路運量預測報告書



1980 年代台灣即有建設高速鐵路的構想，當時已有多項十大建設工程完工，並準備接下來的十二項建設工程。雖然這些重大的建設計劃都沒有涵蓋到高速鐵路規劃案，但無庸置疑的，經濟成長迅速的台灣需要有更多的工具提升生產力與機動力。政府於 1987 年成立交通部高速鐵路籌備處，開始籌備建設台灣高鐵的各項事務。初期即有許多顧問公司協助完成初期規劃，第一份完整的規劃報告書是由 1991 年法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司完成，憑藉其 1981 年法國高速鐵路通車後的經驗，來提供規劃建議。該預測模式與現今普遍採用的傳統四步驟運量預測方式不同，是以時間價值的分佈決定既有運具有多少比例運量移轉至高速鐵路上。詳細模式內容於後說明，至今此概念仍運用於法國 SNCF 鐵路公司之中，具有參考的價值。

接著 1992 年、1993 年高速鐵路籌備處再度邀請國內外顧問公司及研究機構，包含香港 MVA 弘達交通顧問有限公司、英國 Transmark 工程顧問公司、中華民國區域科學學會、交通部運輸研究所等參與、檢討及修正台灣高鐵的運量預測結果，最後由 MVA 接手後續幾年的運量規劃案。其後高速鐵路建設歷經波折，最重大之轉折點在於 1996 年政府宣布台灣高鐵採取 BOT 案，原先國家政府主持的交通建設，改為民間企業統整發包。1997 年 8 月由台灣高鐵公司得標成為台灣高鐵的建設者，後續的運量預測報告仍委託 MVA 來規劃。由於通車時程不斷延宕，又於 1999、2002、2005 年根據社會經濟條件調整數據，提供修正版的報告書。

2007 年 1 月 5 日，台灣高鐵正式通車營運，初期營運班次較少、接駁系統及票務系統尚未建置完善，消費者對於新系統陌生、對高昂票價怯步，第一年實際日平均乘載人次僅約為 4.3 萬，遠低於任何一份運量預測結果(見圖 1.1)。爾後台灣高鐵公司積極改善接駁系統及售票系統，並不斷推出優惠票價措施，如「橘色 85 折、藍色 65 折優惠」、「回數票」以及後續的「早鳥票」、「多人同行一人免

費」、「學生專案」等皆對運量成長有明顯幫助，但實際運量成長仍不如當初的預期，是造就高鐵財務危機的原因之一。

以下針對第一份由高速鐵路籌備處委託法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司的報告書以及後續由香港 MVA 弘達交通顧問公司所做的報告書做詳細介紹。

2.2.1 法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司報告書

本報告書是高速鐵路籌備處第一份委託的完整規劃報告書，包含場站設計、營運規劃、車輛調度安排、財務規劃等，運量預測為財務規劃的前置報告書。其運量預測模式可分為三大部分，分成「直接總體需求預測模式」、「移轉運量 (Diverted ridership) 模式」及「衍生運量 (Induced ridership) 模式」。

第一部分「直接總體需求模式」先收集台灣西部走廊既有城際運具的相關營運資料，包含小客車、國道客運、臺灣鐵路(以下簡稱臺鐵)、國內航空四種。根據 1980 年至 1990 年之間的歷史交通量數據，以直接總體需求模式，預測未來年(1991 年至 2011 年)的總體交通量。預測者認為交通量會依據總體社會經濟條件的變化而隨之影響，採用 GDP 及總體人口作為變數。再依照預測的運具分配比例，得到各年度既有城際運具的交通量。

第二部份「移轉運量」即計算自既有運具移轉至新運具—高速鐵路之運量。首先收集家庭收支所得五等分位資料，依照對數常態分佈 (Log-Normal distribution) 擬合家庭收支所得分佈曲線。再假設全台灣人口的「時間價值分佈曲線」符合該家庭收支所得分佈曲線，按照平均時薪計算，得到對數常態分佈之平均值 μ 及標準數 σ^2 。接著再計算各種運具(包含高速鐵路)的一般化成本 (generalized cost)，包含運具票價、旅行時間，據此得出均衡時間價值 (balanced time value, indifference value of time)，即可得知此均衡時間價值在時間價值分佈曲線的落點，得到既有運具有多少比例的運量會移轉至高速鐵路。代入第一部份的交通量結果即可得到移轉運量。

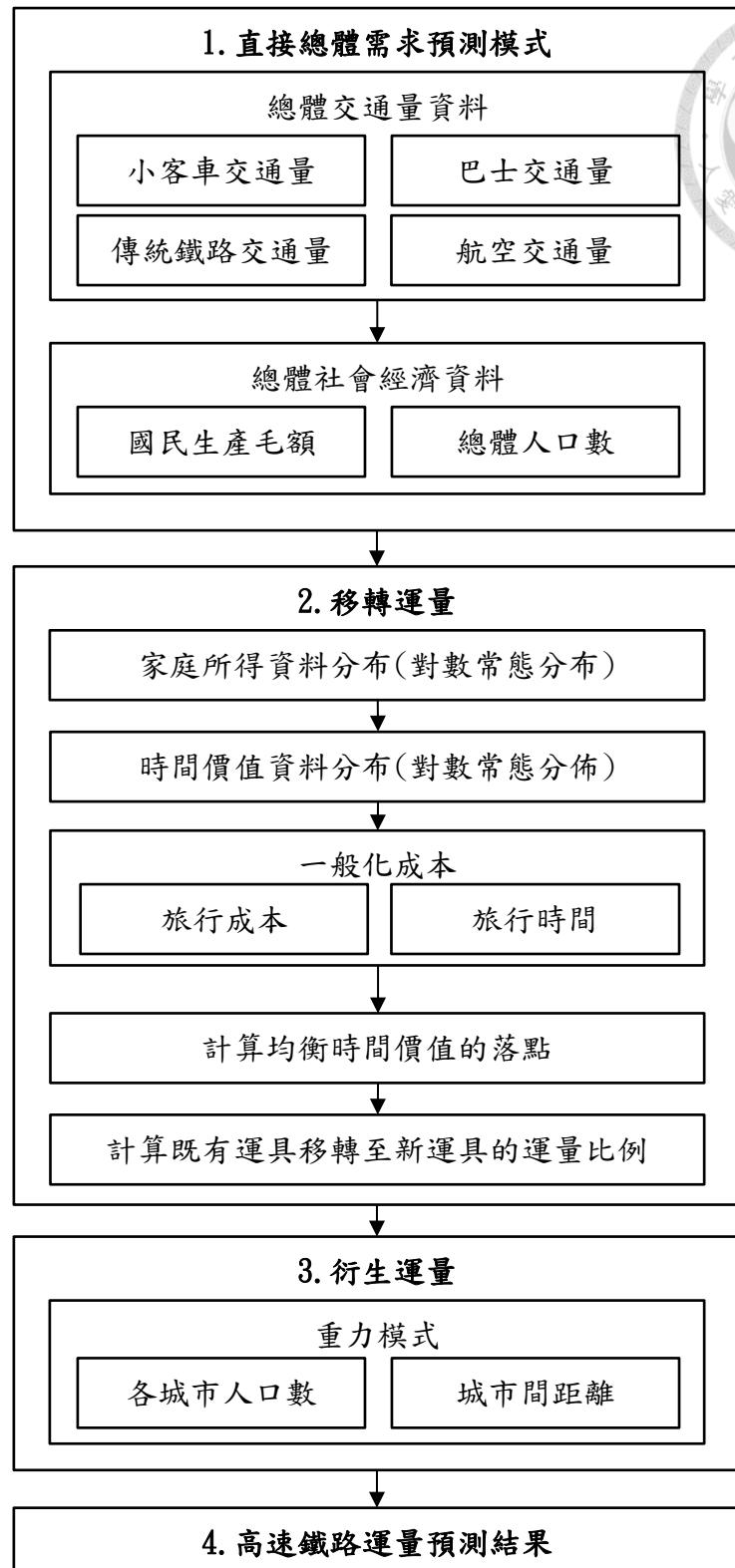


圖 2.1 法國 Sofrail 鐵路工程顧問公司運量預測流程圖(本研究整理)

第三部份「衍生運量」說明新運具將會加強城市間的機動性，人們可以較低時間成本來往於各城市之間，屆時將可能會衍生出新的運量。台灣高鐵通車以來

即有「南北一日生活圈」的概念，即是在說明機動性增加、南北往來更方便，而衍生了新的旅運需求。多出來的衍生運量，是以**重力模式**計算之，根據兩地的人口數以及距離長度，決定出衍生運量的多寡。詳細模式流程如圖 2.1 所示。



2.2.2 香港 MVA 弘達交通顧問有限公司報告書

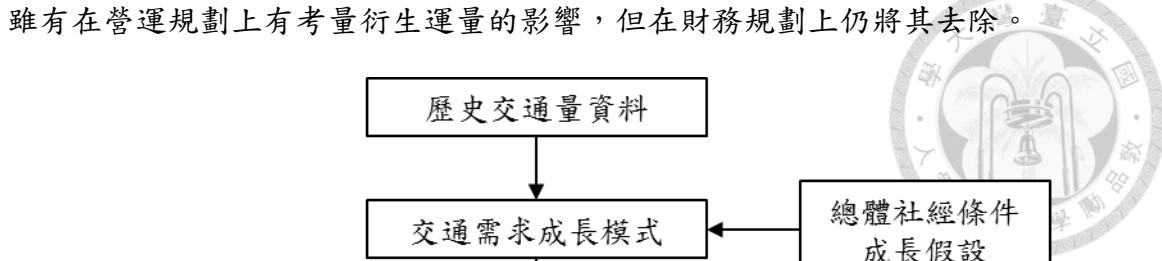
香港 MVA 弘達交通顧問公司所採用的預測模式，為傳統的運量規劃四步驟，包含旅次產生、旅次分佈、運具分配(由於高速鐵路為單一路線，故不包含交通量指派問題)，並發放問卷以敘述性偏好方法取得高速鐵路的運量預測值。詳細流程如圖 2.2 所示。

首先，報告書依照行政區分為 50 個大區域，並收集歷史交通量及總體社會經濟資料，區分商務及非商務旅次，以校估「**交通需求成長模式**」，得到未來預測年之總體城際旅次需求量。據此結果再依照各區域的人口數，分配「**旅次產生量**」及「**旅次吸引量**」。

第二步是「**旅次分佈模式**」，按照傳統的重力模式，取得商務及非商務旅次各別對應之係數值，得到 O-D 起訖對的交通量。

第三步即「**運具分配模式**」，該報告書採取多項羅吉特模式，針對各個 O-D 起訖對，以運具特性分配各運具之市場比例。其效用函數採用一般化成本，包含基本費率、車內旅行時間、接駁時間及等車時間。分析對象為既有四種運具(小客車、國道客運、台鐵、國內航空)。由於是既有存在之運具，以顯示性偏好資料進行模式構建。而高速鐵路為新運具系統，不存在於實際空間上，因此再以敘述性偏好、問卷形式，採用二項羅吉特模式 (Binary Logit Model) 分析既有運具有多少運量比例移轉至高速鐵路。最後得到高速鐵路與既有運具之間的市場分配比例，代入前述 O-D 起訖對的交通量即可得到高速鐵路運量預測值。另外，由於 1990 年代正興建高速公路中，因此考量小客車及巴士的旅行時間變化，調整最終的預測值。

至於「**衍生運量**」，並無特定模式，MVA 認為其約為高速鐵路總運量的 5%，



2.2.3 台灣高鐵運量預測模式小結

依照台灣高鐵運量預測報告書的模式可分為兩類：一是傳統運量預測流程，即所謂的運輸規劃四步驟預測，包含旅次產生、旅次分佈、運具分配及交通量指派，如 MVA 所使用。另一類為直接總體需求模式，先收集歷史巨觀資料進行模式構建，再以此計算未來年的總量需求。接著再計算運具分配比例即可得到各運具運量，如 Sofrerail 所使用。

前者可以考量旅次產生、旅次吸引的各種可能性，如家工作旅次、非家旅次、人口密度、工商業密度等因素得到詳細且微觀的資料。也可依照需求挑選重要因素，得到各城市的旅次產生量，再藉由重力模式針對每一對 O-D 起訖對計算交通量，最後依照運具分配模式得到各運具之交通量值。計算可以得到精確的數據，不過資料量需求龐大、經費高昂，如許多微觀的資料不易取得，甚至需要家庭訪查、問卷調查，因此模式在操作上有其困難度。

後者雖無法考量到各區域微觀的社會經濟特性，其模式使用巨觀資料，多是國家政府公開資訊，資料取得相對容易，操作實用性高，適合高速鐵路規劃剛起步的國家使用。

2.3 高速/城際鐵路運量預測研究

高速鐵路的相關研究多是從城際鐵路沿革而來，主要是探討新路線的客運量，這些路線原先多具備傳統鐵路線，且有多種其他競爭運具，如小客車、國道客運、航空。而新路線、新系統將可能吸引原先在此走廊上的旅客，因此在進行運量預測時，須考慮到競爭運具間的運量移轉效應。Lee 與 Chang (2006) 探討南韓高速鐵路建設前後，總體交通量的差異。結果顯示，巴士、航空、小客車有明顯的運量移轉現象，鐵路(包含傳統鐵路及高速鐵路)運量有顯著的成長。而短程與中程旅客以小客車為主要運輸工具，長程以高速鐵路為主要運輸工具。新系統建設後，運量確實有明顯的移轉效應，並表示有些微的衍生運量產生，但卻難以衡量。

新運具運量預測模式，依照上一小節分類，分為傳統運量預測流程與直接總體需求模式，多數文獻以傳統運輸規劃四步驟取得每一個起訖對的交通量，爾後再以多項羅吉特模式分析高速鐵路的運量。過程雖複雜，但研究結果多半著墨於運具分配模式以及其相關重要顯著因子，中間流程並無深入探討。後者模式較容易，資料取得相對容易，其作法是先收集歷史巨觀資料以預測總需求量，再依據不同情境設定，以運具分配模式獲得欲預測之運量。Pita 與 Arduin (1993) 依照法國經驗發展西班牙新建的高速鐵路運量模式，其發表年代與 Sofrerail 報告書相

近，多數概念類似，先進行直接總體需求模式，再以均衡時間價值來區分新運具與舊運具間運具分配比例。不過較特別之處在於西班牙所使用的鐵路軌距為寬軌（軌距 1668 毫米，大於標準軌距 1435 毫米），在跨國時會因為更換軌距、更換列車而產生運量下降的效應，因此有額外考慮這項減數效應。然而實際西班牙高速鐵路新建路線皆以標準軌規格來建造，並無此問題，台灣也是新建標準軌路線，不會與傳統鐵路的窄軌連接，亦無此問題，應將此變數刪除。

Profillidis 與 Botzoris (2004) 發展希臘的總體交通量預測模式，以直接總體需求預測模式，驗證各運具(包含傳統鐵路、小客車、巴士等)的預測年交通量，說明總體交通量可根據總體社會經濟條件、運具特性來計算。其模式包含了 GDP、人口數、油價、汽車持有率、運具票價、旅行時間延滯等因子。

由於直接總量需求預測模式使用的是多項迴歸模式，會遭遇到內生性及多重共線性的影響，Chen (2010) 在探討各項因素對美國東北走廊高速鐵路運量的影響時，分別就這些影響修正變數。內生性以兩階段最小平方回歸法 (Two-Stage Least Square Regression Model) 來克服，而多重共線性則以變異數膨脹因子 (Variation Inflation Factor, VIF) 來檢視及汰換變數。

在運具分配模式上除了法國與西班牙地區使用均衡時間價值區分新舊運具的分配比例外，多數研究是採用常見的羅吉特模式。Goolsby 與 Walker (1993) 以美國德州高速鐵路規劃案為例，發展高速鐵路運量預測模式，以二項羅吉特模式探討國內航線與高速鐵路之間的競爭關係，此二種運具以省時為目標，為商務旅客首選。由此可以得到有多少比例的航空運量轉移至高速鐵路。Pagliara 等人 (2012) 以西班牙馬德里至巴塞隆納高速鐵路線為案例，收集顯示性/敘述性偏好調查資料，以二項羅吉特模式及混合羅吉特模式探討高速鐵路與航空的競爭關係，結果顯示，票價及服務頻率為最重要的影響因子。

然而，只考慮高速鐵路與航空之間的競爭略顯狹隘，Ashiabor 等人 (2007) 以巢式及混合羅吉特模式，探討美國在不同城際旅次距離下，高速鐵路會從航空及小客車分配到的運量比例。Liu 與 Li (2012) 以美國東北走廊高速鐵路計劃案為

例，考慮航空、鐵路、小客車及國道客運之間的競爭。其採用巢式及混合羅吉特模式，將小客車及航空分為一類，鐵路及巴士分為另一類。Jeffrey 等人 (2013) 以美國中西部走廊高速鐵路計畫案為例，同樣考慮所有運具，以多項羅吉特模式計算運量。

上述文獻以常見的羅吉特模式及效用函數計算既有運具與高速鐵路之間的競爭關係，從而得到高速鐵路的運量。Tadi 等人 (1993) 以美國加州至內華達州高速鐵路計劃案為例，以多項羅吉特模式，計算高速鐵路運量，不過其效用函數與一般常見的效用函數形式不同，是以指數相乘形式呈現，在校估係數時以對數計算。Williams 與 Koppelman (1993) 以加拿大魁北克至安大略走廊為案例，以多項羅吉特模式分析既有城際快速列車未來年的運具分配比例。其先計算基年的運具分配比例，再以基年與預測年各項變數的比例來預測時間價值的差異，得到未來年各區域的運具分配比例。其分析的對象為既有運具，與新建高速鐵路運具情況不同。Stopher 等人 (1999) 以泰國高速鐵路可行性評估案為研究，也同樣計算基年與預測年的時間價值差異。不過其研究在校估各項因子的指數係數，以此指數係數計算預測年的高速鐵路運量，依此即可套用至新運具系統上。

Yao 與 Morikawa (2005) 以日本中央新幹線(磁浮列車高速鐵路)為案例，同時採用顯示性/敘述性偏好調查資料及歷史巨觀資料，融合至對數概似函數 (Joint Log-Likelihood Function) 之中。該研究將軌道運輸系統考量為下列三種運具：傳統鐵路(JR 在來線)、新幹線及中央新幹線(磁浮列車)，並將這三種歸類於同一巢層(鐵路)底下，以巢式羅吉特模式分析中央新幹線的運量。

上述文獻多數僅有計算既有運具與新運具高速鐵路間的競爭關係，並無考量到新運具帶來的衍生運量效益，由於衍生運量並沒有一個準確數據，運量成長是經濟成長帶來的效益抑或是新運具帶來的機動性增加，是無法判斷的。美國聯邦鐵路管理局 (The Federal Railroad Administration of the U.S. Department of Transportation, 2008) 指出新運具系統的衍生運量，以不超過小客車移轉運量的10%為佳，因此過多的衍生運量加入結果並不適宜，但不能不考慮之。

本研究依照文獻，將衍生運量的計算方式分為三類，分別為重力模式、總量放大係數法及運具特性影響。第一類重力模式是沿用傳統運輸規劃四步驟的旅次分佈模式計算之，其認為衍生運量會受到兩地的人口數和距離影響，Sofrerail 報告書預測模式 (1991)、Pita 與 Arduin (1993) 即是採用此方式。第二類總量放大係數法是根據歷史經驗決定未來幾年的總量放大係數，據此得到多出來的衍生運量。Tadi (1993) 即是採用此方法。由於前兩類的計算多根據歷史經驗，新運具尚未出現並無實際歷史數據可以參考，因此數值的合理性難以說服。第三類運具特性影響，是根據運具特性的變化，如旅行時間減少、班次增加等計算多出來的衍生運量值。數值有所憑證，且能做變數彈性分析，因此合理性較易說服。Yao 與 Morikawa (2005) 以旅行時間、票價及接駁時間的差異來計算衍生運量；而美國加州高速鐵路運量研究，是以可行性 (Accessibility) 計算之。

2.4 文獻回顧小結

高速鐵路的名詞對於「城際鐵路」較為新穎，因此多數相關研究皆是從城際鐵路沿革而來。歐洲鐵路多數為標準軌(兩軌條間距離為 1435 毫米)，列車運行較為安穩，城際列車能行駛至時速 180 公里以上，為提供更佳的軌道標準及營運便利性，會額外新闢路線，並進行相對應的運量研究。當列車營運速度持續提升至時速 250 公里以上甚至是 300 公里時，才會以新的名詞—高速鐵路取代，民眾對於高速鐵路的認知，即是高速的城際鐵路。因此在研究中，多半沿革於舊有的城際鐵路觀念。而台灣的鐵路系統是使用窄軌(兩軌條間距離為 1067 毫米，小於標準軌距)，最高級列車(自強號)營運時速最高僅能至 130 公里，且人口稠密，需要停靠的車站相當多，實際平均巡航速度不足 100 公里，與城際列車的定義有差異。2007 年 1 月台灣高鐵通車後，高速鐵路新建車站與傳統鐵路車站相距甚遠，行駛速度、旅行時間及票價等因素差異皆大，民眾普遍認為高速鐵路與傳統鐵路是不同系統，因此在面臨抉擇時，不會將這兩者視為同一類。而文獻多數認為新建建設的高速鐵路是「高速的城際列車」或是「傳統鐵路升級版」，在抉擇上視為

同一種類，運具分配模式對於傳統鐵路與高速鐵路差異大的國家而言，概念不適用。此現象顯見於台灣、日本、中國等地區。Yao 與 Morikawa (2005) 根據日本的狀況，將傳統鐵路、新幹線、中央新幹線分為三種運具，但仍將其分為同一巢層底下，亦可能不適用於台灣。因此有必要重新檢視台灣地區的運具選擇應如何分類。

再者，新運具開始營運後，會隨著機動性增加而有衍生運量的生成。多數文獻沿用城際鐵路的概念，並無考量到該因素，由於城際鐵路多是既有運具新闢路線，且傳統城際鐵路與高速鐵路區隔不明顯，運具特性差異小，衍生運量並不顯著。台灣兩者間的運具特性差異大，高速鐵路算是全新的系統，應將此項因素加入計算。衍生運量計算方式，以運具特性的差異(旅行時間、旅行成本、接駁時間等)來計算較為合理。

直接總體需求模式與傳統運輸規劃預測模式不同之處，在於省略了前面旅次產生、旅次分布的過程，是採用總體巨觀資料，沒有精確的 O-D 起訖對資料。如此是以總體社會經濟條件來推演未來交通量，雖計算簡便，但卻會忽略許多因素，如大小城市的人口差異、城市間距離、運具特性等。高速鐵路的站點 (node) 明確，O-D 起訖對建立起來不至於過大，應可以各別計算以取得更精確的預測。

過往的報告書在計算城際運具分配時，皆認為西部走廊國內航線仍有穩定的客源足以競爭，但實際西部航線運量在 2006 年台灣高鐵通車前夕，只有約巔峰時期(1997 年)的三分之一。高速鐵路通車後，更加速國內航空的衰退，航空業者因不堪虧損，紛紛退出市場。至 2012 年 9 月 1 日昔日的黃金航線—台北高雄航線吹熄燈號，至此國內航線全數退出西部走廊，今日民眾已無法選擇該種運輸工具。由於航空業屬於民營公司，在市場競爭上可有退出市場的選擇，因此在考慮運具分配模式之前，須先分析高速鐵路與國內航線之間的競爭關係。假若國內航線的一般化成本始終高於高速鐵路，則航空業者會決定關閉該條航線。此外，傳統鐵路亦有被完全取代的可能性，端看業者的選擇性，倘若是國營事業(如台鐵、中國鐵路及韓國鐵道公社等)，即使營運不佳仍會繼續行使城際列車，自然民眾

會有該項選擇，在運具分配模式中應當考慮之。而傳統鐵路若是民營為主的公司(如日本七家 Japan Rail 會社，其中六家客運、一家貨運)，則可能會選擇將城際列車退出高速鐵路的營運範圍，民眾便無法選擇該種運具。國道客運與傳統鐵路的狀況相似。而小客車無論距離長短，提供最佳的及戶服務 (door to door service)，仍是消費者(特別對持有自用小客車的家戶)普遍會考慮的選項。綜合上述探討，在運具分配模式進行之前，應先比較各項既有運具與高速鐵路的競爭關係。

本研究除了上述概念不同之外，有台灣高鐵通車前後的資料，欲以直接總體需求預測模式計算運量，再以實際資料驗證模式，期望對高速鐵路運量預測和分析方法提出建議，作為對未來高速鐵路興建、規劃的相關參考。

第三章 高速鐵路運量預測模式建構

本研究模式分為二大部分。第一部分為直接總量需求預測模式。首先收集歷史交通量數據，數據範圍包含所有西部走廊可選擇之城際運具，即小客車、國道客運、傳統鐵路、國內航空等四種，選取之區域以台灣西部走廊 11 個城市為主，以此資料預測未來年之數據，並加入高速鐵路通車後實際數據以驗證模式。其中模式變數，依照總體社會經濟條件(GDP、人口數、汽車持有率等)、旅次目的(商務、返鄉、旅遊等)及運具特性(旅行時間、旅行成本等)加入模式之中。部分變數的樣式比照重力模式的數學型式進行校估。再者，為避免數值誤差過大，採用分段式迴歸模式，再採取山脊型迴歸模式調整係數，以屏除多項迴歸模式的多重共線性問題。

第二部分依照前述計算結果，針對各個 O-D 起訖對，以總體羅吉特模式(包含多項羅吉特及巢式多項羅吉特模式)，得到高速鐵路運量預測值。而羅吉特模式採用之效用函數，以各運具之運具特性(旅行時間、旅行成本等)為主，根據歷史巨觀資料，以最大概似估計法校估出模式係數，再將此係數帶入未來年之數值，得到各年度各運具之交通量預測值。

3.1 直接總體需求預測模式

直接總體需求預測模式是利用歷史巨觀資料(Aggregate data)之趨勢，預測未來總體需求量。由於是預測趨勢，一般多使用迴歸模式取得未來之數值，藉由應變數與自變數的歷史資料，校估迴歸係數值，以此帶入未來預測值。

3.1.1 應變數及自變數選取

台灣西部走廊總體交通量包含四種運具，包括小客車、國道客運(巴士)、傳統鐵路(臺鐵)、國內航空，並在 2007 年台灣高鐵通車以後，加入高速鐵路的交通量，除此之外的運具不予考慮。考慮之交通量範圍以台灣高鐵現今設站之站點，以及未來預計新設站之站點為主，包含台北、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、

雲林、嘉義、台南、高雄及屏東十一個縣市，其餘地區假設接駁時間過長，不予以考慮。

由圖 3.1 所示，可發現小客車皆是城際交通最重要之運具。1990 年代以降，第二高速公路及快速道路路網建立起來後，島內小客車持有量快速增加，小客市場比例逐漸上升，至 2007 年時，約有 70% 的城際旅次使用小客車。國道客運交通量受到小客車增加的影響，使用人次逐漸下降。傳統鐵路自 1978 年中山高速公路全線通車後，客運量即受到嚴重衝擊，臺灣南北交通不再只依賴傳統鐵路。不過，臺鐵在 1979 年鐵路電氣化之後持續引進新型自強號列車，整體城際交通的運能是增加的，使得傳統鐵路城際交通量緩緩增加。西部走廊國內航空交通量於 1997 年達到高峰，之後受到人口、經濟及第二高速公路建設等影響，逐漸式微。2007 年高速鐵路通車後，更加劇國內航空市場衰退，於 2012 年 9 月全數退出西部走廊市場。國內航空雖看似繁華，但運能相較於其他交通工具仍是相當微小，航線侷限於最重要的幾組 O-D 起訖對，即使 1997 年西部走廊航空業最鼎盛的時期，仍只有約 3% 之市場比例。

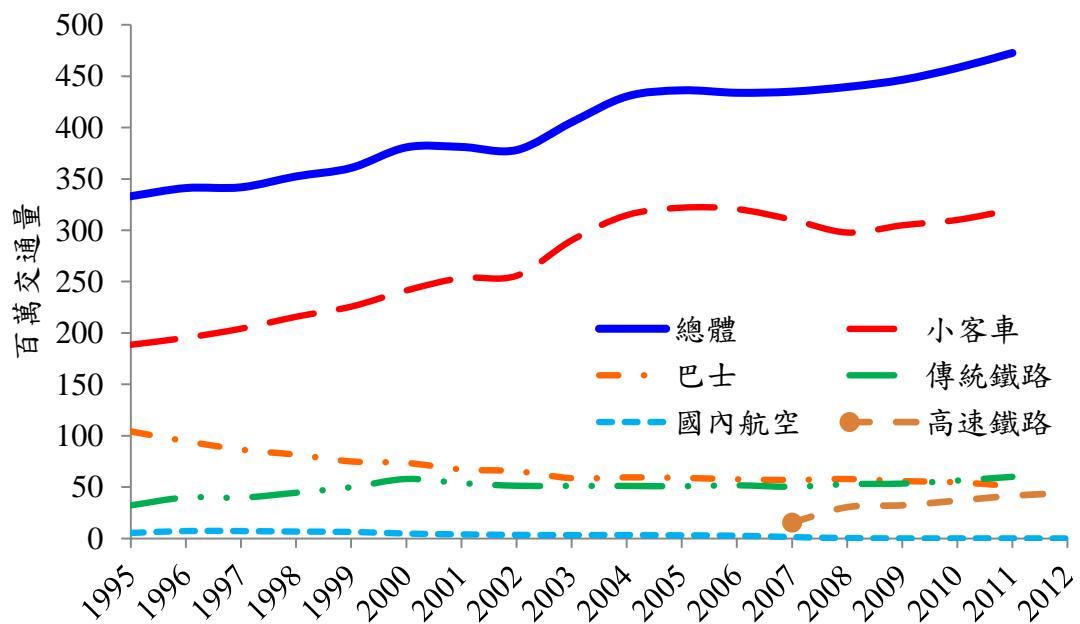


圖 3.1 臺灣西部走廊城際交通量

在進行模式計算之前，首先需收集歷史交通量數據、社會經濟資料、運具特性資料等，需要的資料如表 3.1 所列。

表 3.1 變數資料表

項目		變數資料	資料來源
應變數	西部走廊 O-D 起訖對 交通量資料	小客車交通量	交通部運輸研究所、台灣高鐵公司資料及本研究校估值
		巴士交通量	
		傳統鐵路交通量	
		國內航空交通量	
		高速鐵路交通量	
自變數	社會經濟資料	國民生產毛額(GDP)	行政院主計處資料
		實住人口數	人口普查資料
		小客車持有量	各縣市統計資料
	旅次目的	商務、通勤	各縣市統計資料
		返鄉	各縣市統計資料
		旅遊	觀光局電訪資料
	運具特性	平均旅行成本	平均估計值
		最小旅行成本	最小估計值
		平均旅行時間	平均估計值
		最小旅行時間	最小估計值

$$\text{總體交通量} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{經濟} + \beta_2 \times \text{人口} + \cdots + \beta_n \times \text{運具特性} \quad (3.1)$$

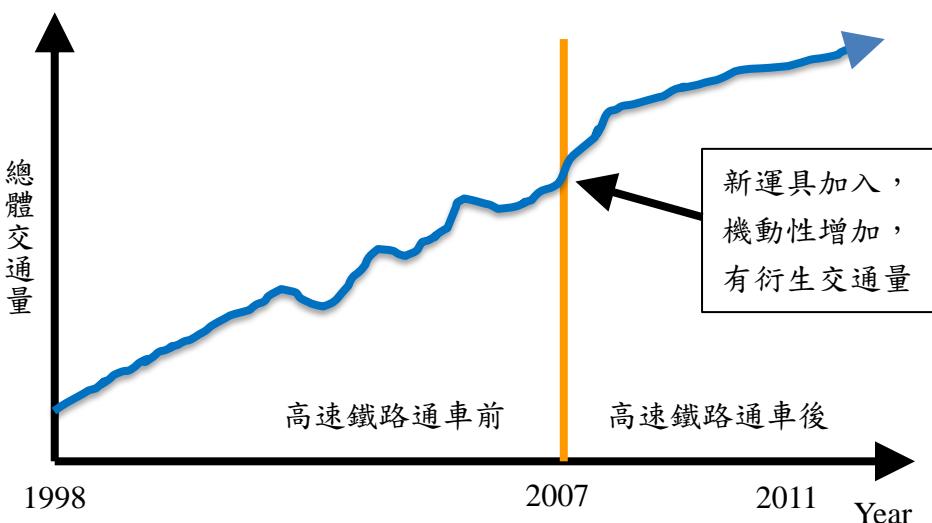


圖 3.2 直接總體需求模式概念圖

直接總體需求模式即是以總體交通量為應變數，其餘社會經濟資料、旅次目的及運具特性等因子作為自變數，校估出迴歸係數，再以此預測未來交通量，簡易之計算式概念如式(3.1)所列，其中包含之經濟因素、人口因素的自變數於後說明。而由於運具特性的改變會使機動性改變，使得有衍生交通量產生，如圖 3.2 所示，將於 3.1.6 節說明。

3.1.1.1 小客車交通量

小客車交通量在台灣西部走廊佔了大多數的比例，在高速公路電子里程計費系統 (Electronic Toll Collection, ETC) 建置之前，並無小客車城際旅次之確實數據，本研究參考 1996 年交通部運輸研究所「第三期台灣地區整體運輸系統規劃-旅運特性及交通調查分析評估(4/4)」、2009 年「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究」及 2013 年「第 5 期整體運輸規劃研究系列-城際運輸需求模式檢討及參數更新研究(2/3)」等三份報告書的城際交通量資料進行校估。

第一份以實際交通調查資料，加入車輛攔訪結果，取得 1995 年各個 O-D 起訖對的交通量資料。第二份與第三份的做法相似，首先調查起點及迄點的社會經濟資料、城際運具特性資料，取得旅次產生量、旅次分佈起訖表，依照運具特性以羅吉特模式區分各運具之分配比例，再依照高速公路各個收費站的交通屏柵量(小客車通過車輛數)檢核起訖表，得到 2005 年、2007 年及 2010 年的資料，分為平日與假日兩類。為計算全年交通量數值，本研究依照平日及假日天數，乘上報告書推估之資料，取得全年交通量之 O-D 起訖表。

由於僅有幾個特定年份的交通量資料，本研究為取得完整的歷史巨觀資料，以便進行直接總體需求預測模式，依照運研所資料庫「運輸研究統計資料彙編」，從中擷取各年度高速公路交通屏柵量，以此比例分配取得各年度交通量之時間序列資料。



3.1.1.2 國道客運(巴士)交通量

國道客運交通量與小客車情形類似，無實際數據資料，以往有許多「野雞車(非法民營國道客運)」行駛，旅客資料並未如實呈報至公家部門。近年這些野雞車路線權雖逐漸合法，但仍有路線分段販售(同一旅次分成兩段)的問題，資料誤差甚大，因此本研究仍參酌運研所校估資料。巴士客運量與小客車的參考資料、計算方式皆相同，並參考運研所資料庫「運輸研究統計資料彙編」統計之「臺灣地區公路汽車客運營運量」，以此比例分配取得各年度交通量之時間序列資料。

3.1.1.3 傳統鐵路(臺鐵)交通量

傳統鐵路交通量採用「運輸研究統計資料彙編」之 O-D 起訖表數據。鐵路客運量來自於販售之票務資料，為實際數據。該資料庫將全台灣分為 50 區，本研究以縣市行政區為界，將同一行政區之分區合為一區。

3.1.1.4 國內航空交通量

國內航空交通量採用「運輸研究統計資料彙編」之起訖表數據。國內航空客運採記名制，統計之客運量數據皆為實際數據。

3.1.1.5 國民生產毛額

國內總體交通量與經濟發展息息相關。一般狀況下，當經濟發展程度越高，總體交通量會越大。本研究以國民生產毛額(GDP)作為通用性的經濟指標，單位為新台幣(元)。

經濟指標： GDP

3.1.1.6 戶籍人口數、實住人口數

交通量與人口數有一定程度之相關性，當人口數越多，無論是都會、城際交通量會正向成長，因此總體交通量必須考慮人口數的影響。不過，許多人在外地工作，戶籍地仍設於原處，這些人除了返鄉及旅遊以外，無法在原戶籍地貢獻任

何旅次交通量。此外，由於 1990 年代以降，越來越多台商前往大陸經商，這些多為商務人士居多，而高速鐵路主要的競爭力在於「省時、快速」，以往這群商務人士多在台灣產生商務旅次，有相當程度的可能在高速鐵路通車後會轉移至上，但因在國外無法於台灣貢獻商務旅次。因此，以戶籍人口數計算人口對交通量的影響會忽略這些因素。因此本研究在此採用實(常)住人口數做為自變數，資料採用行政院主計處之「人口普查資料」。由於人口普查資料僅有民國 79、84、89 及 99 年的離散資料，本研究為取得各年度連續之時間序列資料，以「內差法」取得中間各年度之實住人口數。

模式之自變數採用「重力模式」的概念，將兩地的實住人口數組合起來，再除以兩地間的距離平方，成為「人口吸引力」的指標，自變數型式如下所示：

$$\text{人口指標} : \frac{Pop_i \times Pop_j}{d^2}$$

式中

Pop_i : i 城市的實住人口數(百萬人)

Pop_j : j 城市的實住人口數(百萬人)

d : i 城市至 j 城市之間的距離(公里)

人口指標單位為(百萬人/公里)²。

3.1.1.7 小客車持有量

小客車交通量與小客車持有量多寡息息相關，第二高速公路建設後，汽車持有量明顯成長，小客車交通量亦顯著增加，兩者間有相當大的相關性。此外，小客車交通量佔有西部走廊總體交通量 70% 以上的市場比例，有關於小客車的變數將會影響總體交通量的計算結果甚大，需審慎考量。至於油價的變動，本研究將其計算至小客車的旅行成本之中，於後會解釋該因子。

小客車持有量的變數，也是採用「重力模式」的概念，將兩地的汽車持有量相乘，再除以兩地間的距離，得到「小客車持有量吸引力」指標：

$$\text{小客車持有量指標} : \frac{(Carown_i \times Carown_j)}{d^2}$$

式中

$Carown_i$: i 城市的小客車登記數(千輛)

$Carown_j$: j 城市的小客車登記數(千輛)

d : i 城市至 j 城市之間的距離(公里)

小客車持有量指標單位為(小客車持有數/公里)²。



3.1.1.8 就業人口數 (二三級就業人口數，商務通勤旅次)

前述為社會經濟特性影響總體交通量，接著以旅次目的的角度來選擇指標變數。本研究依據運研所的報告書的分類方式，將旅次目的分為四類，包含商務、返鄉、旅遊及通勤。商務旅次與商業程度有關連性，有確切數值描述該特性的是就業人口數，就業人口越多代表商業程度越高，連帶的使商務旅次增加。而通勤旅次方面，除了大型都會區之外，一般較少觸及城際旅次的範疇，且通勤也與就業率有相當程度的相關性，因此本研究將通勤合入商務旅次的計算之中。至於通勤旅次的就學人口方面，由於台灣的學區制度是以居住地的縣市為界，至其他縣市(非同名的縣市，如台南與高雄)的學校上課情形不多，本研究不將其納入考量之中。

就業人口數的變數，同樣採用「重力模式」的概念，將兩地的就業人口數相乘，再除以兩地間的距離，得到「就業人口數吸引力」指標：

$$\text{就業人口指標} : \frac{(Emp_i \times Emp_j)}{d^2}$$

式中

Emp_i : i 城市的就業人口數(百萬人)

Emp_j : j 城市的就業人口數(百萬人)

d : i 城市至 j 城市之間的距離(公里)

就業人口指標單位為(就業人口數/公里)²。



3.1.1.9 老年人口數 (返鄉旅次)

一般而言，返鄉旅次不易衡量，返鄉通常是以探親、訪友為目的居多，原先居住於某地，成年後至他處就業。在這樣的情形之下，有極大的可能性會產生返鄉旅次，於春節前後的返鄉人次，可看出台灣確實有許多人在外地就業。依據上述分析，可以就業地(實住人口數)與原戶籍地(戶籍人口數)的人口差異來衡量之，不過，民眾有可能會辦理遷戶籍的手續，但父母親仍居住於原戶籍地，使得原先應當納入考量的人口被忽略掉，且人口普查資料每十年才辦理一次，在資料疏漏的情形下，需另外尋找變數考量之。

台灣面臨高齡化社會(65 歲以上老年人口比例大於 7%)的問題，在一般城鎮級鄉村地區相當嚴重。由於原戶籍地就業機會小，許多青壯年人口至外地就業，但一到假日便會返鄉探親。當這一類的家庭數量越多，可預見的是返鄉旅次越高。因此，本研究依此概念設計返鄉人口指標來衡量返鄉旅次。同樣以「重力模式」的概念，將一地的戶籍人口數乘上另一地的老年人口數，再除以兩地間的距離，得到「返鄉吸引力」指標。而每一個 O-D 起訖對的交通量是雙向的，因此再反過來相乘再相加，得到返鄉人口指標，其變數型式為：

$$\text{返鄉人口指標} : \frac{Pop_i \times Elder_j}{d^2} + \frac{Elder_i \times Pop_j}{d^2}$$

式中

$Elder_i$: i 城市的老年人口數(百萬人)

$Elder_j$: j 城市的老年人口數(百萬人)

Pop_i : i 城市的實住人口數(百萬人)

Pop_j : j 城市的實住人口數(百萬人)

d : i 城市至 j 城市之間的距離(公里)

前者代表 i 城市至 j 城市的返鄉吸引力，後者代表 j 城市至 i 城市的返鄉吸引力。而返鄉人口指標單位為(百萬人/公里)²。

3.1.1.10 國內總體旅遊人次 (旅遊旅次)

旅遊目的的旅次有許多種，包含區域內、城際及國際的旅遊，計算城際旅次時須考量旅遊旅次的影響，但旅遊旅次同樣不易衡量，本研究參考交通部觀光局調查之「國人旅遊狀況調查」，採用其國人國內旅遊總旅次的數值，當作國內旅遊指標：

國內旅遊指標：*Tour*

式中

Tour：國人國內旅遊總旅次，其單位為人次

3.1.1.11 旅行成本

總體交通量會伴隨著社會經濟條件而有所變動，旅次也會依照不同的旅行條件產生。而運具特性方面，旅行成本與旅行時間也與交通量息息相關。消費者會權衡這兩項條件，決定是否創造這個旅次。若旅行成本及旅行時間很大的話，便有相當大的阻力阻止消費者選擇這一個旅次。若運具特性的條件阻力小，即所謂的「機動性」高，消費者便有意願創造這一個旅次。當高速鐵路通車營運之後，雖然票價較高昂，但旅行時間減少使阻力降低，便會促使消費者創造旅次。在此考量之下，本研究將運具特性也納入總體交通量的計算之中，而不再只是從社會經濟環境來描述總體交通量數值。此外，尚需考慮消費者物價指數的影響，經濟成長所伴隨的物價上漲，消費者對價格的接受程度上升，使得創造旅次的意願增加。本研究以高鐵通車年(2007 年)作基年，以其年平均消費者物價指數 (CPI Index) 當作基礎數值，按照比例求得其餘年之旅行成本。

台灣地區消費者對於城際運具的選擇多半有兩種方式，一為最便宜方案(最小旅行成本)，在不趕時間的條件下，消費者希望可以節省成本達到其旅次目的。另一方式為最省時間方案(最小旅行時間)，此為趕時間或高收入族群所選擇之條件。其餘依照不同因素，會選擇不同運具，如：持有私人車輛、親友旅遊等。本研究依據以上兩種方式所設計之運具特性指標，會將最小旅行成本及最小旅行時

間納入考量。

本研究所設計之旅行成本指標，可分為兩部分，一為平均旅行成本，以全部可選擇城際運具之加權平均值來衡量之；另一為最小旅行成本，取可選擇運具之最小旅行成本。以平均旅行成本減去最小旅行成本，當該數值越大，即票價吸引力越大。最後再加入相對於基年(2007 年)消費者物價指數調整數值。

$$\begin{aligned} \text{旅行成本指標} : & (TC_{Ave} - TC_{min}) \times \frac{CPI_{2007}}{CPI_{year}} \\ & = \left(\sum_{k=1}^n TC_{mode_k} \times mode_k \% - TC_{min} \right) \times \frac{CPI_{2007}}{CPI_{year}} \end{aligned}$$

式中

TC_{mode_k} ：第 k 種運具的旅行成本(新台幣元)

TC_{min} ：可選擇運具之最小旅行成本(新台幣元)

CPI_{2007} ：基年(2007 年)年平均消費者物價指數

CPI_{year} ：計算年或預測年之年平均消費者物價指數

$mode_k \%$ ：第 k 種運具的市場分配比例

市場分配比例可於下一節「運具分配模式」以「羅吉特模式」求得。高速鐵路通車前之可選擇運具有四種，包含小客車、國道客運、傳統鐵路、航空。高速鐵路通車後增加為第五種運具，其餘運具皆不考慮。不同 O-D 起訖對之可選擇運具不盡相同，如台北至高雄有完整的選擇，但如新竹至嘉義卻只有小客車、傳統鐵路及高速鐵路三種運具。各個運具的旅行成本，計算方式說明如下。

小客車旅行成本受到許多因素的影響，包含行駛距離、油價、燃油效率、承載人數、高速公路通行費等因素。行駛距離以中山高速公路交流道的起訖點計算，再考慮小客車及門服務，加入兩地城市各 10 公里(共 20 公里)的市區接駁距離。油價則參考台灣中油公司公告之「九五無鉛汽油」歷史牌價，計算每一年的平均值。燃油效率參考運研所 2009 年「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究」的數值，以高速公路每公里 0.087 公升為標準(平均時速 90 公里)，市區接駁每公

里 0.117 公升為標準(平均時速 30 公里)。承載人數代表小客車旅行成本可以分攤的人數，當承載人數越多，表示平均每人的小客車旅行成本就越低。參考運研所報告書的數據，本研究以平均 2 名承載人數作為計算值。高速公路通行費在 2014 年初 ETC 里程計費系統建置之前，以通過收費站數目當作標準，1991 年調整價格以後，每一次收費為 40 元。2014 年 ETC 里程計費系統建置之後，以 ETC 收費標準計算之，200 公里以內費率為 1.2 元/公里，200 公里以上費率為 0.9 元/公里。綜合上述，小客車旅行成本(TC_{Car})的計算值如下。

$$TC_{Car} = \frac{\text{油價} \times (\text{燃油效率} \times \text{行車距離})_{\text{高速公路} + \text{市區接駁}} + \text{高速公路通行費}}{\text{承載人數}(= 2 \text{ 人})}$$

國道客運旅行成本會根據各家國道客運公司的票價而不同，且平日假日及國定假日的票價不盡相同，因此國道客運旅行成本沒有一個固定的數值。本研究參考國光客運公司、統聯客運公司、和欣客運公司等訂定之票價，當作國道客運旅行成本之參考值。而部分上述客運公司未經營的路線，以其他有開行該路線的客運公司之票價為基準。

傳統鐵路旅行成本參考 1995 年以後臺鐵所公告之票價，自強號每公里 2.27 元、莒光號每公里 1.75 元、區間車每公里 1.46 元(復興號與區間車相同，併入區間車計算)，依照梯形票價表可取得各個起訖對之票價。由於臺鐵對於城際旅客的優惠措施較少，僅電子票證(悠遊卡、台灣通等)服務可及範圍以九折優惠計算之，其餘不考慮優惠票價。再考慮城際旅客搭乘次等列車的可能性，由於有巴士的競爭，行駛時間過長的次等列車通常僅能服務短程的旅客。本研究以搭乘次級列車時間 2~3 個小時為上限，莒光號服務範圍為 200 公里、區間車服務範圍為 100 公里，而最高級的自強號並不受限。接著將各車種之班次數加入考量，取得旅行成本的加權平均值。傳統鐵路旅行成本(TC_{TRA})的計算值如下。

$$TC_{TRA} = \frac{\sum_{\text{車種}} \text{票價} \times \text{班次}}{\sum_{\text{車種}} \text{班次}}$$

其中，車種包含自強號、莒光號(200 公里以內)、區間車(100 公里以內)，現今復興號班次多改為莒光號行駛，但行駛時間與區間車相仿，因此併入區間車班次計算。

國內航空旅行成本參考 2004 年各家航空公司公告之票價，至 2007 年高速鐵路通車後，仍使用這一套票價。考量高速鐵路與航空的競爭關係，皆以原價計算。考慮之西部走廊航線僅五組 O-D 起訖對，包含台北至台中、台北至嘉義、台北至台南、台北至高雄及台北至屏東。

高速鐵路旅行成本參考現行台灣高鐵公司公告之票價，於 2013 年 10 月調整票價之前，每公里 4.386 元(四捨五入至十位數)，只考慮經濟艙票價，不考慮商務艙票價。調整票價之後，以每公里 4.8108 元之費率計算之。優惠票價措施方面，由於每年制定措施不盡相同，本研究為便利計算，以整體平均票價當作高速鐵路旅行成本，不考慮任何優惠措施，以標準票價計算之，故研究結果可能略微低估運量。

3.1.1.12 旅行時間

旅行時間與運具特性息息相關，當一個旅次的旅行時間越短時，就可能吸引消費者，即所謂的「機動性」高。反之，則阻礙消費者創造旅次。依照該原則，也將旅行時間加入總體交通量的計算當中。本研究採用市場比例，以加權平均值計算總體平均旅行時間。此外，考量消費者對於城際運具的選擇方式(主要以最小旅行成本或是最小旅行時間)，再將高速鐵路通車後的影響納入考量，加入最小旅行時間的數值，以平均值減去最小旅行時間得到旅行時間指標。若該數值越大，代表最小旅行時間相對於平均時間的差距越大，即省下的時間越多，倘若高速鐵路的旅行時間為最小，當時間越省，對總體交通量將會有正向的幫助。旅行時間的指標，以全部可選運具的加權平均值減去最小值來衡量之。

$$\text{旅行時間指標} : TT_{Ave} - TT_{Min} = \sum_{k=1}^n \frac{TT_{mode\ k} \times T_{mode\ k}}{T_{Total}} - TT_{Min}$$



式中

$TT_{mode\ k}$ ：第 k 種運具的旅行時間(分鐘)

$T_{mode\ k}$ ：第 k 種運具的交通量(旅次)

T_{Total} ：所有考量運具的總交通量(旅次)

TT_{min} ：可選擇之 k 種運具中最小之旅行時間

城際運具選擇情形與旅行成本的考量相同。而各個運具的旅行時間，分為四個部份，包含甲地接駁時間、等車時間、車內旅行時間及乙地接駁時間，計算方式說明表 3.2 所示。

表 3.2 旅行時間計算方式

旅行時間	可選擇之城際運具				
	小客車	國道客運	傳統鐵路	國內航空	高速鐵路
甲地接駁時間	-	甲地市區 ↓ 甲地客運站	甲地市區 ↓ 甲地火車站	甲地市區 ↓ 甲地航空站	甲地市區 ↓ 甲地高鐵站
等車時間	-	客運 等車時間	傳統鐵路 等車時間	登機時間	高速鐵路 等車時間
車內旅行時間	甲地市區 ↓ 甲地交流道 ↓ 乙地交流道 ↓ 乙地市區	甲地客運站 ↓ 乙地客運站	甲地火車站 ↓ 乙地火車站	甲地航空站 ↓ 乙地航空站	甲地高鐵站 ↓ 乙地高鐵站
乙地接駁時間	-	乙地客運站 ↓ 乙地市區	乙地火車站 ↓ 乙地市區	乙地航空站 ↓ 乙地市區	乙地高鐵站 ↓ 乙地市區

接駁時間以市區至該運具站點的平均時間為準。其中國道客運、傳統鐵路及高速鐵路的接駁時間，是以既有大眾運輸工具(如公車、接駁車、捷運等)的行駛時間及等車時間加上轉乘時間而得。以台南高鐵站為例，接駁時間包含前往接駁

車站的時間(20 分鐘)、接駁車等車時間(15 分鐘)及接駁車行駛時間(40 分鐘)，再加上抵達台南高鐵站轉乘時間(5 分鐘)，總計 80 分鐘。此接駁時間以平均估計的時間為準。航空站由於較少有大眾運輸系統接駁，因此皆以自行開車及計程車的行駛時間為準，本研究一律估計為 40 分鐘。

等車時間參考 TRB (Transportation Research Board) 所發行之 Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd edition, Ch.4 之說明，當大眾運輸系統的班距較短的情形下，民眾不會看時刻表搭車，是以隨機時間的方式進站，等車時間即為班距的二分之一。而在班距過長的情形下，民眾即會看時刻表搭車。本研究以 15 分鐘為界，小於 15 分鐘的班距，等車時間為班距的一半；大於 15 分鐘的班距，等車時間為 15 分鐘。小客車不考慮等車時間，而飛機考慮的是登機時間，一般需要辦理登機服務，包含行李托運、登機安檢等事前作業，由於作業繁複，本研究將登機時間訂為 45 分鐘(國內航線)。

小客車由於是及戶服務，不需要額外考慮接駁時間及等車時間，將旅行時間全部納入車內旅行時間作考量。而甲地及乙地市區至交流道的時間，本研究都將其訂為 15 分鐘作為平均值。

國道客運的站點，在探討的幾個城市當中，皆是將客運站設於火車站附近，而市區至火車站的時間，即為接駁時間。本研究基本上也以 20 分鐘作為其平均值。而班距及車內旅行時間參考國道客運公司公告之參考時間，若有超過一家國道客運公司，則一起計算。

傳統鐵路的班距及車內旅行時間參考台鐵時刻表公告之參考時間。而考量的車種與前述旅行成本相同，區間車僅考量距離 100 公里以內、莒光號考量距離 200 公里以內、自強號則不限距離全數考量。

航空站的站點通常位於偏遠地區，接駁時間較長，在少有大眾運輸系統接駁的航空站，民眾通常僅能選擇搭乘計程車或是自行開車前往。本研究將前往航空站的接駁時間訂為 40 分鐘。

高速鐵路的站點多數位在偏遠地區，僅台北、板橋及高雄(左營)與傳統鐵路

及捷運系統共站，台中與傳統鐵路共站，其餘皆位在偏遠地區。縱使行車速度很快，車內旅行時間短，但由於接駁時間過長，致使民眾不易使用高速鐵路。以 2007 年台北來往台南的旅次為例，車內旅行時間為 105 分鐘，台北市區接駁時間為 25 分鐘，台南市區接駁時間為 80 分鐘，等車時間為 15 分鐘，僅接駁時間就與車內旅行時間相同，總旅行時間為 225 分鐘。由此可見，若站點設置偏遠，總旅行時間可能會是車內旅行時間的 2 倍甚至是 2 倍以上。高速鐵路向來以快速、便捷為企業經營目標，服務應考量旅客的整體旅行時間及接駁便利性，若只是單純的提速節省時間，而忽略接駁服務，可能會適得其反。旅行時間與旅行成本的討論，於後面章節討論之。



3.1.2 分段式迴歸模式

分段式迴歸模式(Piecewise regression model)主要是將資料分段，以取得更吻合原數據資料之迴歸模式。使用以上變數計算直接總體需求模式時，雖能夠得到 $R^2 = 0.95$ (解釋能力 95%) 的模式結果，但個別計算各個 O-D 起訖對之誤差甚大，MAPE (Mean Absolute Percentage Error, 平均絕對誤差百分比) 高達 100% 以上，即該擬合曲線並不適合計算總體交通量。原因在於模式是按照全部資料點去計算最佳係數值，數值殘差具有系統性，不是按照各點隨機分布。此結果會使誤差大致落在一個範圍之中，這些誤差值對於數值高之資料點，其計算誤差較小，但對數值低的資料點，其誤差卻相當高。綜觀整體資料，2007 年交通量最大之 O-D 起訖對為台北至桃園，其總體交通量為 1 億 5000 萬，兩地可視為台北都會區內，有大量的通勤旅次。而交通量最小之 O-D 起訖對為苗栗至屏東，其總體交通量僅約 30 萬。兩者相差約 500 倍，若使用同一擬合曲線，將使後者的誤差甚大，根據計算結果，前者誤差約為 20%，後者誤差卻高達約 800%，顯示使用同一擬合曲線並不合適。

遇到這種狀況，可依照資料點特性分成數個區間，接著在每個區間內分別做迴歸模式，即所謂的分段式迴歸模式。若資料為連續性之線性迴歸模式，分段式迴歸模式需注意在分段點處的迴歸線要能接合連續。根據數據資料或是數據散佈圖，可以初步確定分段點為 s_1, s_2, \dots, s_{n-1} ，將資料點分成 n 段，此時迴歸函數式的型式如式(3.2)所示。

$$\hat{y} = f(x) = \begin{cases} f_1(x) & x < s_1 \\ f_2(x) & s_1 \leq x < s_2 \\ \vdots & \vdots \\ f_n(x) & s_{n-1} \leq x \end{cases} \quad (3.2)$$

其中相鄰兩個函數式需滿足線性接合連續，即 $f_k(s_k) = f_{k+1}(s_k)$ 。

本研究所使用資料為離散資料，採用分群的方式將資料分為四群，其分群標準為同一群內資料間距總和為最小，且資料量不能少於 30 筆，經本研究嘗試結果，分群以表 3.3 的分類方式五為主，而直接總體需求模式型式如式(3.3)所示。

表 3.3 分段式迴歸嘗試結果

O-D 起訖對	平均年交通量	分段方式一	分段方式二	分段方式三	分段方式四	分段方式五			
台北-桃園	136,037,575	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.8497$ $MAPE = 10.25\%$		$R^2 = 0.7371$ $MAPE = 23.03\%$	
台南-高雄	62,548,441	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
桃園-新竹	40,378,463	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-新竹	37,827,612	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
苗栗-台中	32,088,070	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-台中	27,874,413	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
新竹-苗栗	24,518,725	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-雲林	22,447,462	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
彰化-雲林	15,494,325	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
嘉義-高雄	15,292,746	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
嘉義-台南	13,814,151	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-苗栗	12,950,400	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-彰化	11,469,080	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-高雄	11,356,709	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
桃園-台中	11,274,411	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
新竹-台中	10,826,327	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-嘉義	10,057,298	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-台南	8,701,967	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
雲林-嘉義	7,726,540	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-嘉義	7,164,671	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-高雄	6,931,572	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-台南	6,066,886	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
桃園-苗栗	5,274,186	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-雲林	5,105,278	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台南-屏東	4,478,148	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
雲林-高雄	3,462,472	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-彰化	3,285,082	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
彰化-嘉義	2,731,904	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
嘉義-屏東	2,449,085	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
雲林-臺南	2,191,236	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台中-屏東	2,068,628	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
台北-屏東	2,035,250	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			
桃園-高雄	2,004,711	$R^2 = 0.9726$ $MAPE = 13.96\%$		$R^2 = 0.7338$ $MAPE = 8.35\%$		$R^2 = 0.6971$ $MAPE = 26.82\%$			



彰化-高雄	1,592,403		
彰化-台南	1,569,577		
桃園-嘉義	1,459,283		
桃園-彰化	1,448,969		
苗栗-雲林	1,389,938		
桃園-台南	1,332,915		
新竹-嘉義	1,228,761		
新竹-高雄	1,220,498		
新竹-台南	1,147,345		
苗栗-彰化	1,010,645		
桃園-雲林	993,279		
新竹-彰化	974,822		
新竹-雲林	870,589		
苗栗-台南	820,222		
苗栗-高雄	744,992		
苗栗-嘉義	737,855		
桃園-屏東	606,480		
雲林-屏東	601,817		
彰化-屏東	590,412		
新竹-屏東	431,487		
苗栗-屏東	287,105		

$$\hat{y} = f(x_p) = \begin{cases} f_1(x_p), & 2000 \text{ 萬} \leq \text{總體交通量} \\ f_2(x_p), & 800 \text{ 萬} \leq \text{總體交通量} < 2000 \text{ 萬} \\ f_3(x_p), & 300 \text{ 萬} \leq \text{總體交通量} < 800 \text{ 萬} \\ f_4(x_p), & \text{總體交通量} < 300 \text{ 萬} \end{cases} \quad (3.3)$$

採用之 O-D 起訖對包含台北、桃園、新竹、苗栗、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及屏東 11 個站點，組合成共 54 組 O-D 起訖對(不考慮高雄-屏東之 O-D 起訖對)，從 1998 年至 2006 年共 9 年，一共 486 筆資料。按上述標準分群之後，分類如表 3.4，依照總體交通量多寡排序。

表 3.4 分段式迴歸模式包含之 O-D 起訖對。

分段式 迴歸模式	分段一 $f_1(x_p)$	分段二 $f_2(x_p)$	分段三 $f_3(x_p)$	分段四 $f_4(x_p)$
各個分段內 所考量之 O-D 起訖對	台北-桃園 台南-高雄 桃園-新竹 台北-新竹 苗栗-台中 台北-台中 新竹-苗栗 台中-雲林	彰化-雲林 嘉義-高雄 嘉義-台南 台北-苗栗 台中-彰化 台北-高雄 桃園-台中 新竹-台中 台中-嘉義 台北-台南	雲林-嘉義 台北-嘉義 台中-高雄 台中-台南 桃園-苗栗 台北-雲林 台南-屏東 雲林-高雄 台北-彰化	彰化-嘉義 嘉義-屏東 雲林-台南 台中-屏東 台北-屏東 桃園-高雄 彰化-高雄 彰化-台南 桃園-嘉義 桃園-彰化 苗栗-雲林 桃園-台南 新竹-嘉義 新竹-高雄 新竹-台南 苗栗-彰化 桃園-雲林 新竹-彰化 新竹-雲林 苗栗-台南 苗栗-高雄 苗栗-嘉義 桃園-屏東 雲林-屏東 彰化-屏東 新竹-屏東 苗栗-屏東

3.1.3 直接總體需求模式計算

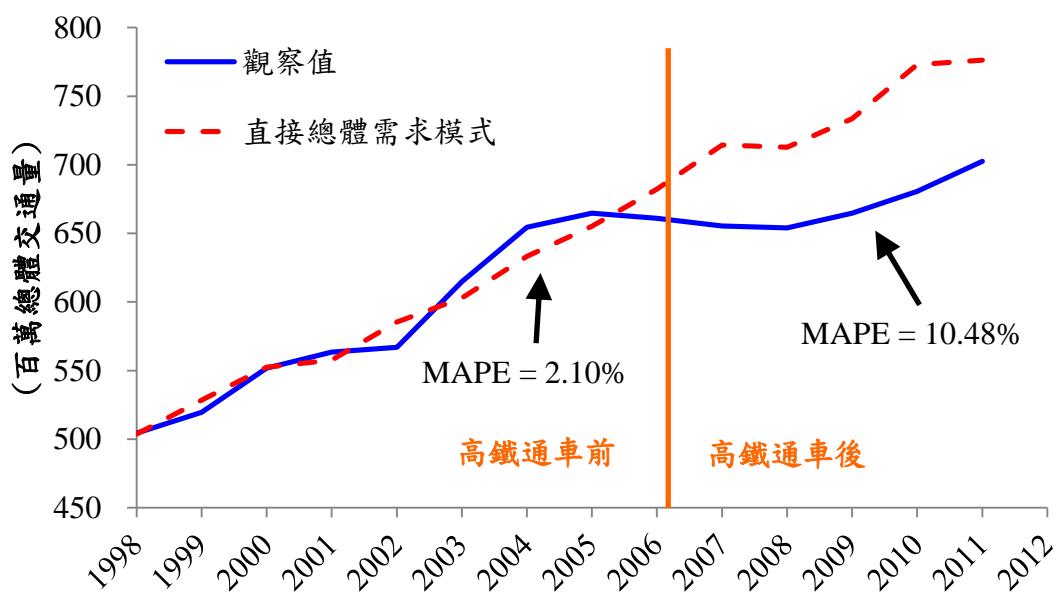
針對每一個起訖對，以總體交通量為應變數，將上述 9 個指標當作自變數放入模式之中，其中由於「國內旅遊指標」之係數顯著性不高，影響預測結果不大，且其資料多來自電訪調查，可靠性較低，因此將其刪除。雖本研究模式不包含旅

遊人次，但其為城際旅次的主要來源之一，若有可靠之資料來源仍應納入考量。

校估出之係數結果如表 3.5 所示。計算總體交通量之結果如圖 3.3 所示。

表 3.5 直接總體需求模式係數校估結果

No	自變數 (指標)	分段一		分段二		分段三		分段四	
		係數	T 值	係數	T 值	係數	T 值	係數	T 值
X_1	經濟	52.027	1.85	23.500	4.33	5.4267	1.83	3.7535	4.41
X_2	人口	-2438.7	-0.70	-2080.8	-0.46	16847	2.62	13415	2.45
X_3	小客車量	1143.6	0.02	-47117	-1.83	234163	6.13	88847	1.70
X_4	就業人口	-51911	-1.13	-44086	-1.22	-60124	-1.60	6144.3	0.15
X_5	返鄉人口	138484	2.88	63423	4.19	-23904	-1.79	-31628	-1.39
X_6	旅行成本	14118	0.24	7457.9	5.79	1106.9	0.31	2763.5	2.54
X_7	旅行時間	-42625	-0.43	-74076	-8.71	57958	6.20	5224.2	3.49
-	常數	-3529231	-0.27	2675154	1.02	-1286857	-0.90	-1284213	-3.16
-	R^2	0.9726		0.7338		0.8497		0.7371	
-	VIF 平均值	484.7 (大於 10)		108.2 (大於 10)		90.0 (大於 10)		74.6 (大於 10)	
-	各點 MAPE	13.96%		8.35%		10.25%		23.03%	
-	總體交通量 MAPE	2.10%							



四個分段迴歸模式之調整後 R^2 分別為 0.9726、0.7338、0.8497 及 0.7371，不過從係數的正負符號可發現此模式校估之結果不太合適，如就業率指標、返鄉人口指標應為正相關，但係數顯示為負號。而旅行成本指標及旅行時間指標是採用平均旅行成本(時間)減去最小旅行成本(時間)得到之變數指標，該數值越大即代表因機動性增加而產生之「衍生交通量」越多，故應為正相關變數，但以最小平方法校估係數結果亦有顯示為負值。此係數不合理的可能原因在於變數間仍「多重共線性」影響，當變數越多時，受到影響越嚴重，以下針對多重共線性做說明。

3.1.4 多重共線性

「多元迴歸 (Multiple Regression)」中的自變數間若有相關性，即會產生「多重共線性 (Multi-collinearity)」，該性質會使校估迴歸係數產生偏誤，若加入或移除自變數，會造成其他係數劇烈的改變，即可猜測存在多重共線性問題，係數校估甚至會有正負號不合理的狀況。在多重共線性的問題中，最小平方估計的正確性會受到影響，不過，自變數間的偏誤影響由於相關性會「相互抵銷」，不至於會使模式的預測能力下降(計算的 R^2 仍相當高)，但自變數的係數難以校估，正負符號不合理性亦無法解釋，係數的劇烈改變會伴隨著顯著性變化，使得研究者難以選擇自變數(迴歸分析-理論與應用，吳宗正，1995)。

一般偵測多重共線性的方式是計算「變異數膨脹因子 (Variance Inflation Factor, VIF)」，其公式為：

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (3.4)$$

R_j 為第 j 項自變數對其他自變數的「複相關係數」，在所有自變數皆有很大的 VIF_j 值時，即顯示模式有嚴重的多重共線性，一般將 $VIF_j > 10$ 視為嚴重多重共線性的指標。當 $R_j = 0$ ，可得到 $VIF_j = 1$ ，即自變數 j 與其他自變數相互獨立，沒有多重共線性的問題。若 $R_j = 1$ ，即自變數 j 與其他自變數完全的線性相關， VIF_j 就變成無限大的狀況。複相關係數 R_j 無法直接計算，需先將自變數

j 與其他自變數做多重迴歸，即：

$$X_j = a_0 + a_1 X_1 + \cdots + a_{j-1} X_{j-1} + a_{j+1} X_{j+1} + \cdots + a_k X_k + \varepsilon_j \quad (3.5)$$

該多重迴歸式得到的 R^2 即為自變數 j 與其他自變數的複相關係數平方 R_j^2 。

由於計算複雜，本研究使用 SAS 統計軟體來計算各自變數間的 R_j 值，以計算 VIF_j 。

要處理多重共線性的問題，第一種方法是刪除自變數以降低多重共線性的影響。在選擇自變數之前，會先計算變異數膨脹因子，倘若 $VIF_j > 10$ ，則選擇不加入該自變數。此方法雖能減少多重共線性的影響，校估係數時不會有太多偏誤，但被刪除自變數的訊息卻無法得知，對於評估自變數的影響效果並無太多幫助。第二種方法與第一種相反，是加入一些新的自變數來消除多重共線性的影響，但新加入的自變數也可能與既有自變數有相互影響。第三種方法是將自變數的迴歸係數依照不同組合的資料校估而得，來避免多重共線性的問題。以下述模式為例：

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_i \quad (3.6)$$

若 X_{i1} 與 X_{i2} 有高度的相關性，即有多重共線性的影響，則將 X_{i1} 移項，將應變數 Y_i 調整為，係數 β_1 是根據橫斷資料估計而得：

$$Y'_i = Y_i - \beta_1 X_{i1} \quad (3.7)$$

最後，將自變數 X_{i2} 依照調整後的應變數校估得到係數 β_2 ，即：

$$Y'_i - \beta_1 X_{i1} = \beta_0 + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_i \quad (3.8)$$

或是

$$Y'_i = \beta_0 + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_i \quad (3.9)$$

第四種方法，為使用下一節說明之「山脊型迴歸法 (Ridge regression)」為一般研究者處理多重共線性問題常用的方式。

3.1.5 山脊型迴歸法

使用山脊型迴歸法的優點是可以維持既有的自變數，在原先校估的係數加上

偏差值，得到較合理的迴歸係數。但相對付出的代價即為降低模式的解釋能力。本研究由於自變數皆是按照社會經濟條件、旅次目的即運具特性等因子來考量，自變數皆與總體需求有相關性，除非校估係數為不顯著，否則任意刪除一變數，則無法得知該變數的訊息。

3.1.5.1 山脊型迴歸法介紹

山脊型迴歸法可用來尋找較合適的迴歸係數，如下圖所示，自變數 j 採用「最小平方法」得到的迴歸係數為 b_j ，若有多重共線性影響，其變異數受到其他自變數影響而膨脹，致使趨近真實係數 β_j 的機率較低，而經過山脊型迴歸法的修正後，會使變異數的膨脹減少（圖 3.4 中較高峰的分布），使用修正後的迴歸係數 b_j^R ，會有較大機率趨近真值 β_j ，如此可減少偏誤的現象。

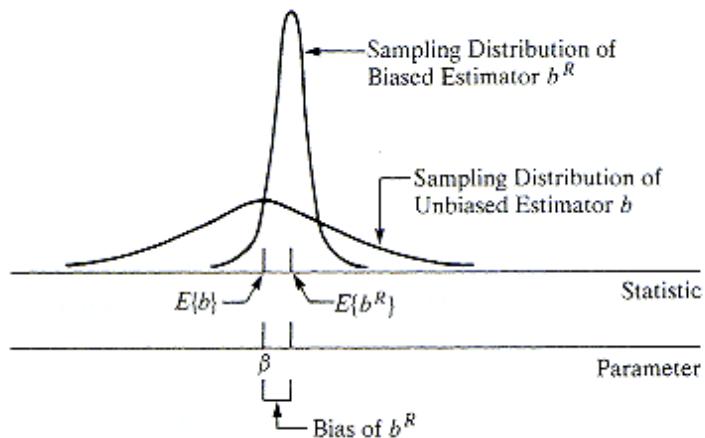


圖 3.4 山脊型迴歸係數與最小平方法迴歸係數之差異(François Nielsen, 2006)

b_j^R 的推估方式，先從一般的最小平方法來推導：

$$Y = b_1'X_1' + b_2'X_2' + \dots + b_k'X_k' + \varepsilon' \quad (3.10)$$

其中 X_1', X_2', \dots, X_k' 為標準化後的自變數， b_1', b_2', \dots, b_k' 為標準化迴歸係數，標準化後的自變數不會受到不同單位的影響，以方便修正。上述式子根據統計的推導，可以變成 $r_{xx}b = r_{yx}$ ，其中 r_{xx} 為 $(k-1) \times (k-1)$ 階層的矩陣，由自變數間的相關係數所組合成的相關矩陣，即：

$$r_{xx} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1,k-1} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \cdots & r_{2,k-1} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \cdots & r_{3,k-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k-1,1} & r_{k-1,2} & r_{k-1,3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$



而 r_{yx} 為 $(k-1) \times 1$ 階層的矩陣，由各個自變數與應變數的相關係數所組合成的相關矩陣，即：

$$r_{yx} = \begin{bmatrix} r_{y1} \\ r_{y2} \\ r_{y3} \\ \vdots \\ r_{y,k-1} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

「山脊型迴歸法」的標準化迴歸推估係數是在最小平方法之方程式加入偏差常數 $C \geq 0$ 求得，使之變成：

$$(r_{xx} + CI)b^R = r_{yx} \quad (3.13)$$

I 為 $(k-1) \times (k-1)$ 階層的單位矩陣， b^R 為山脊型標準化迴歸係數，為 $(k-1) \times 1$ 階層的矩陣：

$$b^R = \begin{bmatrix} b_1^R \\ b_2^R \\ b_3^R \\ \vdots \\ b_{k-1}^R \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

經由反矩陣的移項後可得

$$b^R = (r_{xx} + CI)^{-1} r_{yx} \quad (3.15)$$

上式中的常數 C 即為推估的偏差量，當 $C = 0$ 時，上式變為一般的最小平方法的標準化迴歸係數，當 $C > 0$ 時，山脊型迴歸係數即有偏差性，但會較一般最小平方法推估的值穩定。

3.1.5.2 山脊型迴歸法偏差常數之選擇

當偏差常數 C 越大時，山脊型迴歸係數推估量的偏差雖然會增大 (R^2 誤差會增大)，但是變異數會變小。為了去除變異數受到多重共線性的影響，需尋找偏差常數使所有自變數的變異數膨脹因子 $VIF = 1$ ，一般取平均值：

$$\overline{VIF} = \sum_{j=1}^k VIF_j = 1 \quad (3.16)$$

其所對應到的偏差常數 C 即為最適推估值。圖 3.5 中，可以發現在偏差常數約略為 0 時，標準化迴歸係數的估計值變化劇烈，甚至有正負變號的狀況，在分段一的案例中，得到的偏差常數 $C = 0.103$ ，在這附近的係數估計值變化穩定，藉此可得到適合的係數。而過大的偏差常數會使得模式偏差加劇 (R^2 偏低)，造成模式解釋能力下降。

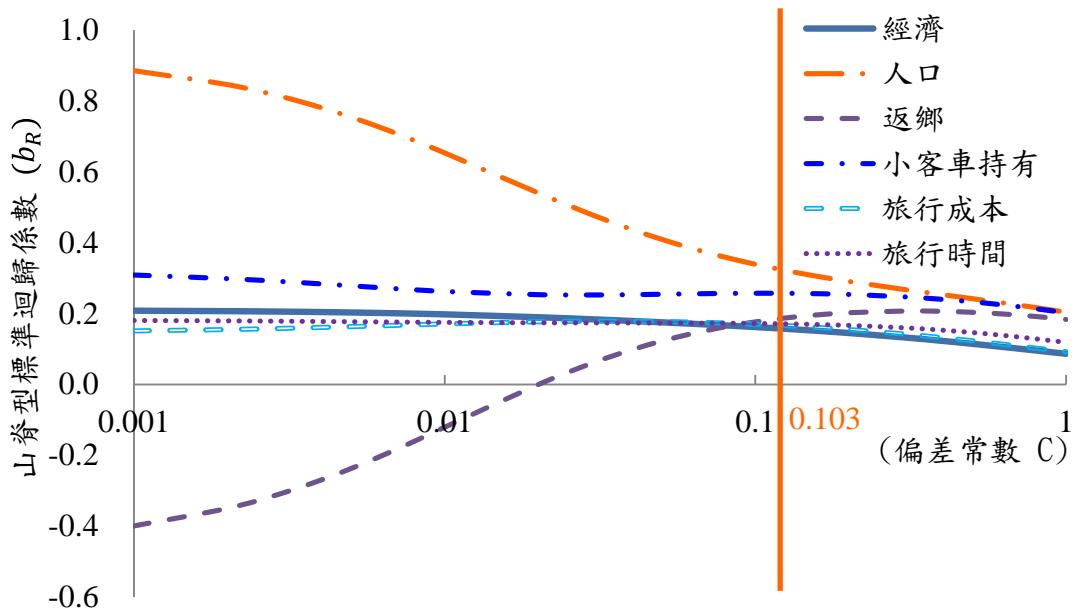


圖 3.5 不同偏差常數對應之標準迴歸係數值

將得到的山脊型標準化迴歸係數 b^R 經由標準化轉換回原始的迴歸係數即完成。修正後的迴歸係數，雖然會犧牲模式的準確性(分段一案例， R^2 由 0.9421 減少為 0.9250)，但會使係數的變異較穩定，可以有效的處理多重共線性的現象，係數的正負號也能合理的解釋。若係數仍無法合理解釋，即代表原先的多重共線性太過嚴重，或是自變數資料群與原先預期的結果不相符，需調整資料群或是刪除該自變數。一般軟體在選擇加入自變數時，會先計算變異數膨脹因子 VIF ，超過門檻即選擇放棄加入該自變數。

3.1.5.3 山脊型標準化迴歸係數之變異數

首先，定義山脊型迴歸係數的反矩陣 W_C 為：

$$W_C = (I + C(r_{xx})^{-1})^{-1} \quad (3.17)$$

將該矩陣乘上原有標準化迴歸係數：

$$W_C b = (I + C(r_{xx})^{-1})^{-1}(r_{xx})^{-1}r_{yx} \quad (3.18)$$

將 $(r_{xx})^{-1}$ 合併至前一個矩陣之中，可得到山脊型標準化迴歸係數 b^R ：

$$W_C b = (r_{xx} + CI)^{-1} r_{yx} = b^R \quad (3.19)$$

而計算標準化迴歸係數的變異數即可以下式計算而得：

$$Var(b^R) = Var(W_C b) = W_C Var(b) W_C^T = \sigma^2 W_C (r_{xx})^{-1} W_C^T \quad (3.20)$$

由此，可以計算出山脊型標準迴歸係數的變異數，進而計算標準差及 T 統計值。而山脊型迴歸法是將每一個標準化迴歸係數的變異數減小，以取得較接近真實的係數值，即 $Var(b^R) < Var(b)$ 。不過由於係數值會隨著偏差常數改變而有所更動，T 統計值並不一定會增加，不能由此說明係數更加顯著，因此計算 T 統計值、討論係數的顯著性並不是使用山脊型迴歸模式的重要考量。使用山脊型迴歸法計算結果如圖 3.6 所示，而調整後的迴歸係數如表 3.6 所列。

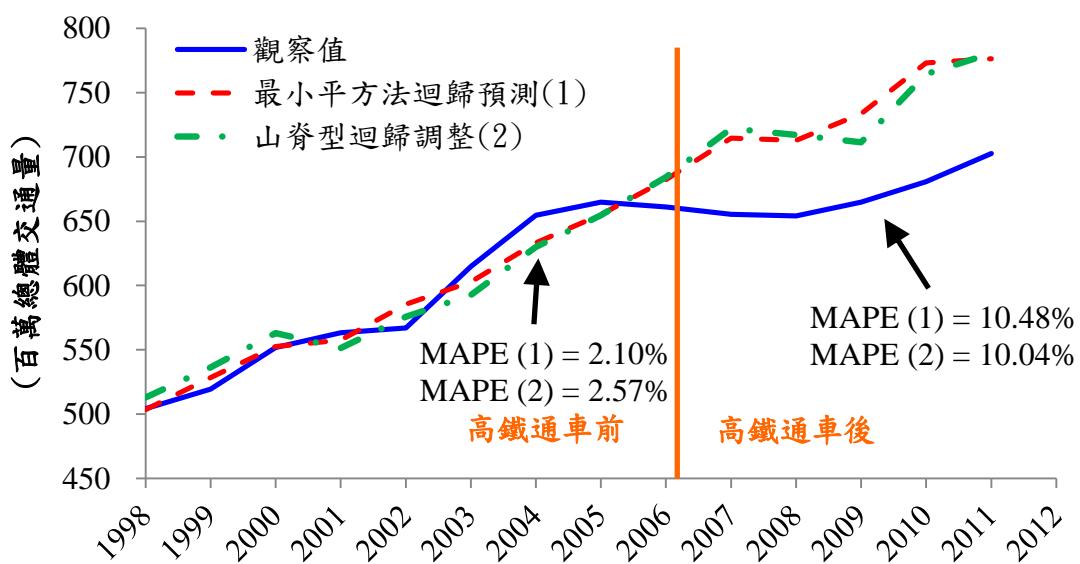


圖 3.6 直接總體需求模式採用最小平方法及山脊型迴歸模式之結果

表 3.6 山脊型迴歸模式調整係數結果

No	自變數 (指標)	分段一		分段二		分段三		分段四	
		原係數	調整後 係數	原係數	調整後 係數	原係數	調整後 係數	原係數	調整後 係數
X_1	經濟	52.027	76.078	23.500	21.318	5.4267	6.3870	3.7535	2.8983
X_2	人口	-2438.7	0	-2080.8	0	16847	2301.9	13415	5101.3
X_3	小客車量	1143.6	0	-47117	0	234163	112250	88847	70726
X_4	就業人口	-51911	24304	-44086	0	-60124	1356.9	6144.3	0
X_5	返鄉人口	138484	34092	63423	2021.2	-23904	0	-31628	11363
X_6	旅行成本	14118	0	7457.9	3549.2	1106.9	0	2763.5	3211.1
X_7	旅行時間	-42625	0	-74076	-47597	57958	49657	5224.2	4930.7
-	常數	-3529231	-12506490	2675154	2892684	-1286857	-670120	-1284213	-824986
-	R^2	0.9614		0.4017		0.6877		0.6955	
-	偏差常數 C	0.017		0.140		0.095		0.103	
-	VIF 平均值	1.02		1.00		1.00		1.00	
-	各點 MAPE	14.54%		12.16%		13.91%		26.05%	
-	總體交通量 MAPE	2.57%							

3.1.6 衍生交通量

新運具加入後，由於機動性增加，會吸引民眾前來使用這項新運具，使得每一個OD起訖對的交通量增加，增加的交通量稱為「衍生交通量 (Induced Traffic)」，而直接計入高速鐵路的衍生交通量稱為「衍生運量 (Induced Ridership)」。

在前述的文獻回顧中，計算出來的衍生交通量皆是直接計入高速鐵路運量之中。其可歸納為三種計算方式，分別為重力模式、總量放大係數法及運具特性影響。第一類重力模式是沿用傳統運輸規劃四步驟的旅次分佈模式計算之，其認為衍生交通量會受到兩地的人口數和距離影響。第二類總量放大係數法是根據歷史經驗決定未來幾年的總量放大係數，據此得到多出來的衍生運量量。第三類運具特性影響，是根據運具特性的變化，如旅行時間減少、班次增加等計算多出來的衍生交通量值。由於前兩類的計算多根據歷史經驗，新運具尚未出現並無實際歷

史數據可以參考，因此數值的合理性難以說服。本研究以第三類運具特性的數值計算之。

交通量的成長在本研究中將其分為兩類。如圖 3.7 所示，第一類為既有營運條件下，整體交通量會根據社會經濟條件因素而成長，如：人口數成長、經濟活動增加。此外尚有土地開發政策使部分地區的交通需求上升，或是大型活動及特殊時節所伴隨之交通量增長。

第二類為機動性增加而促使消費者有意創造新的旅次交通量，機動性增加是來自於運具特性的變化而來，如：旅行成本減少及旅行時間減少等因素。旅行成本減少的因素有票價優惠、政策補助使票價與通行費減少，以及國際油價情勢使得油價下跌。而旅行時間的減少為路線改善，如：路線截彎取直、新建道路等；新運具投入營運也會使旅行時間減少，如：本研究所探討之高速鐵路系統；端點服務如售票系統密度、接駁服務是否完善也會影響旅行時間的變化。

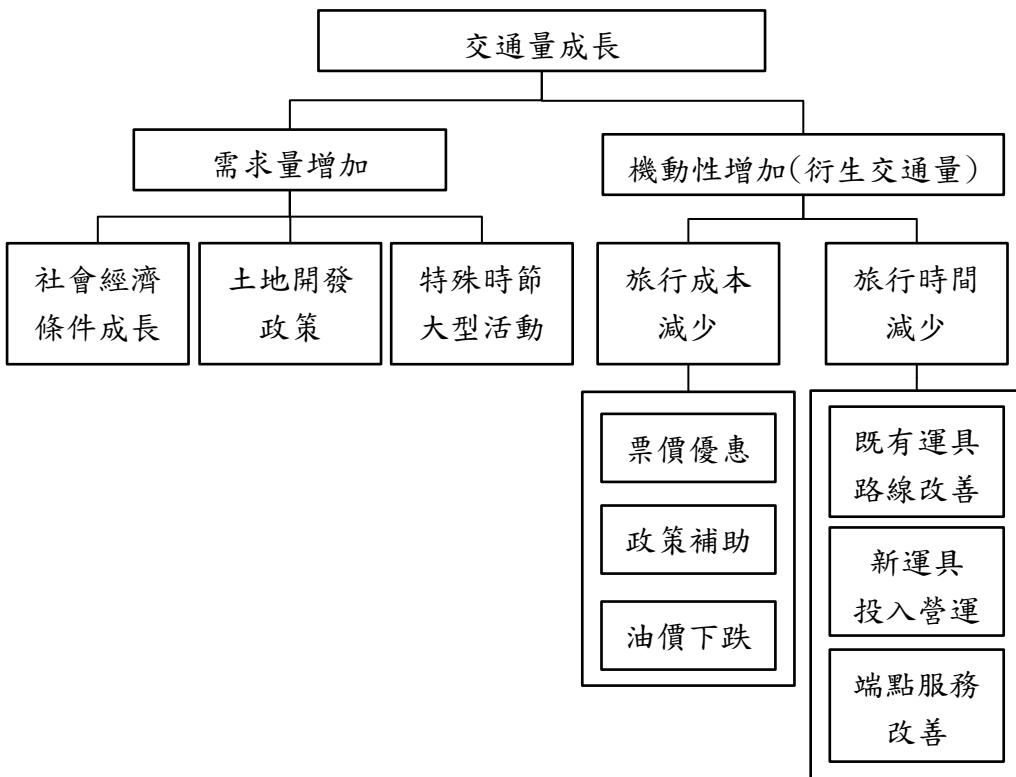


圖 3.7 交通量成長的因素

表 3.7 會產生衍生交通量的情況



機動性增加		
旅行成本減少	票價優惠	平均票價減少
	政策補助	高速公路通行費優惠、小客車養護費用減少、 公車票價補助
	油價下跌	小客車旅行成本減少
旅行時間減少	既有路線改善	高速公路新蓋路線，鐵路路線升級
	新運具營運	新型運具如：高速鐵路、新式列車營運、公車及捷運服務路網增加
	端點服務改善	售票端點密度增加、接駁運具服務改善

註：經濟成長會使消費者對旅行成本與旅行時間的感受改變，如消費者物價指數成長使消費能力提升、個人收入增加使得時間價值上升。

此外，根據總體經濟狀況的改變，相同的旅行時間及旅行成本，消費者會有不同的感受。當經濟成長、收入增加及消費者物價指數上升，使消費者對票價的負擔減少，即便是相同的票價，但機動性卻會增加。需考量衍生交通量的情形如表 3.7 所列。

由上述分析可得知，計算衍生交通量的方法，以運具特性的變化來計算會較有依據及說服力，且旅行成本及旅行時間皆須考量經濟因子(消費者物價指數及時間價值)的影響，以表現出經濟環境改變所帶給消費者的不同感受。須注意的是，計算過程應確認經濟因子是否會重複計算，如：實質 GDP 已包含消費者物價指數及個人收入的影響，就毋須再額外計算該經濟因子。

本研究所探討之高速鐵路為新型交通運輸系統，以快速便捷的服務為其標誌，相較既有之傳統鐵路、公路系統，可大幅縮短城際旅行的時間；而相對於航空有更便捷的可及性，可省去許多登機手續的繁雜作業。高速鐵路的興建，勢必會使機動性增加，創造出衍生交通量。不過，這些衍生交通量並不會全部使用高速鐵路，既有運具的部分使用者會移轉至高速鐵路上，使得既有運具的服務水準上升，也間接吸引額外的使用者，因此，將所有衍生交通量直接計入高速鐵路的運量並不合適。

衍生交通量的計算方式，僅考慮運具特性的改變，前述的社會經濟特性並不會受到影響。

$$\text{衍生交通量} = TT(\text{With HSR}) - TT(\text{Without HSR}) \quad (3.21)$$

式中

$TT(\text{With HSR})$ ：同一年度考慮新運具之運具特性所計算之總體交通量。

$TT(\text{Without HSR})$ ：同一年度不考慮新運具之運具特性所計算之總體交通量。

由計算式可以得知，當運具特性的變化量越大時，吸引到的衍生交通量越多。研究計算結果，短距離 O-D 起訖對，其衍生交通量幾近為原交通量 0%，如：新竹至台中，少部分幾組 O-D 起訖對由於直接總體需求模式係數不顯著，而將其省略，如：台北至桃園。而長距離 O-D 起訖對的衍生交通量，計算結果顯示有較多的衍生交通量，部分可超過 10%，如：台北至嘉義。而如台北至台南的 O-D 起訖對，由於接駁時間較長，城際旅運的服務水準改善相對較少，衍生交通量稍微較低，顯示新系統若無法確實的改善城際交通服務水準，消費者並無法感受到快速便捷的服務，使得搭乘意願較低，相對產生的衍生交通量亦會偏低。

表 3.8 部分 O-D 起訖對之衍生交通量計算結果

2011 年衍生交通量計算結果					
O-D 起訖對	距離(公里)	總體交通量 不包含高鐵	總體交通量 包含高鐵	衍生交通量	衍生比例
台北-桃園	32	189,983,120	189,983,120	0	0.00%
新竹-台中	85	15,110,331	15,228,887	118,557	0.78%
台中-高雄	187	7,067,290	7,545,793	478,502	6.77%
台北-嘉義	244	6,024,190	6,691,789	667,599	11.08%
台北-台南	302	12,796,855	13,316,457	519,602	3.90%
台北-高雄	342	13,481,829	14,763,022	1,281,193	9.50%
西部走廊總體交通量		545,123,169	550,636,789	6,955,605	1.28%

由表 3.8 結果可大略看出台灣西部走廊之衍生交通量約不到總體交通量 2% 左右，比例甚低，但若細究衍生交通量於高速鐵路運量之間的比例，如表 3.9 所

式，可發現其衍生交通量(運量)佔約 5%，顯示其對高速鐵路運量仍有一定的影響力。高速鐵路市場比例(運具分配比例)計算將於 3.2 節說明。

表 3.9 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果

2011 年衍生交通量計算結果					
O-D 起訖對	參考距離 (公里)	高速鐵路 市場比例	高速鐵路 預估運量	衍生交通量 (高速鐵路)	衍生比例
台北-桃園	32	2.26%	4,287,547	0	0.00%
新竹-台中	85	8.00%	1,218,311	9,485	0.78%
台中-高雄	187	24.06%	1,815,733	115,141	6.77%
台北-嘉義	244	23.38%	1,564,489	156,079	11.08%
台北-台南	302	34.84%	4,640,065	181,053	3.90%
台北-高雄	342	55.07%	8,129,518	705,512	9.50%
高速鐵路運量預估值			48,211,338	2,447,047	5.08%

而比較法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司運量預測的結果，如表 3.10 所示，其用重力模式所計算之衍生交通量，全部計入高速鐵路的客運量值，約佔其 37% 的預測值，顯示有高估的現象，是造成預測誤差的主因。

表 3.10 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果 (Sofrerail, 1991)

2011 年衍生交通量計算結果(千人次)					
O-D 起訖對	總體交通量 不包含高鐵	總體交通量 包含高鐵	高速鐵路 預估運量	衍生交通量 (高速鐵路)	衍生比例 (高速鐵路)
台北-桃園	49,996	53,622	10,793	3,626	33.6%
新竹-台中	6,204	6,840	1,769	636	36.0%
台中-高雄	11,817	14,335	5,678	2,518	44.3%
台北-嘉義	4,703	6,383	3,397	1,680	49.5%
台北-台南	5,818	7,985	4,891	2,167	44.3%
台北-高雄	18,446	24,172	15,254	5,726	37.5%
西部走廊	258,559	288,188	79,347	29,628	37.34%

若比較本研究與法國 Sofrerail 鐵路工程顧問公司的預測值，如表 3.11 所示。可發現不考量衍生交通量的條件下，運量預估數值相近，由此可知若無法將衍生交通量處理得宜，會有較大的誤差值。而香港 MVA 弘達交通顧問公司其計算的

衍生交通量比例約佔高速鐵路運量 5%，其認為比例不高而不計入預測值之中，但在營運規劃上，仍有考慮這 5%的影響。

表 3.11 部分 O-D 起訖對之高速鐵路衍生交通量計算結果

2011 年高速鐵路運量計算結果(千人次)				
研究結果	高速鐵路 預估運量	高速鐵路 預估運量 (不含衍生交 通量)	衍生交通量 (高速鐵路)	衍生比例 (高速鐵路)
實際值	41,629	衍生交通量無法測得		
本研究	48,211	45,764	2,447	5.08%
Sofrerail, 1991	79,347	49,719	29,628	37.34%
MVA, 1993 (2010 預測值)	106,818 (衍生交通量未計入預測值)		5,341	5.00%

綜合上述，由於衍生交通量無法觀測得，本研究以運具特性的改變趨勢，預測該數值，雖其比例僅佔約 5%，卻是實際發生而無法忽視的現象。

3.2 運具分配模式

運具分配是各區旅行者特性及各種運輸工具服務水準在已知條件之下，估計各區間使用各種運輸工具之比率。影響運具分配比率的變數可以分成旅次特性、旅行者行為特性及運輸系統特性等三種特性，如表 3.12 所示。

表 3.12 影響運具分配之變數(運輸規劃原理與實務，凌瑞賢)

特性	旅次特性	旅行者行為特性	運輸系統特性
影響變數	旅次目的 是否去市中心 旅次長度 出發時刻	每戶汽車數 所得 居住密度 及業區密度 每人汽車數 是否有汽車 每戶上班人數 到市中心距離	旅行時間比值 旅行時間差值 可及性比值 停車費 旅行成本比值 旅行成本差值 可及性指標

而運具分配模式具有下列特性：

- (1) 受政策影響大，當運具之費率或班次更動後，將立即影響運具分配比例。
- (2) 在預測計算過程中，可獨自成為一部分，不會受到前面旅次發生、旅次分布或直接總體需求模式影響。預測步驟可以按照需求調整。
- (3) 運具分配模式可以分為「個體行為運具分配模式」及「總體運具分配模式」，以下針對兩者分別說明。

3.2.1 個體行為運具分配模式

此方法是以使用者之效用函數推估使用個種運具之機率，從而求得各運具之交通量。

3.2.1.1 個體選擇行為模式

個體選擇模式亦稱為行為模式，基本假設為消費者會以理性之決策，在眾多可選擇替選方案中，挑選效用最大之方案。選擇行為的效用可以數學模式來描述之，假設消費者 t 可選擇之方案集合(所有可能方案)為 $C_t = \{1, 2, \dots, n\}$ ，在其心中所對應之效用為 $\{U_{1t}, U_{2t}, \dots, U_{nt}\}$ ，若替選方案 i 帶給消費者 t 之效用高於替選方案 j 之效用時，消費者才會選擇替選方案 i ，依此可以數學形式描述消費者 t 選擇 i 方案之機率為：

$$P(i|C_t) = \Pr(U_{it} \geq U_{jt}, \forall j \neq i \in C_t) \quad (3.22)$$

式中

U_{it} ：替選方案 i 帶給消費者 t 之效用

U_{jt} ：替選方案 j 帶給消費者 t 之效用

在一般情況下，假設效用函數 U_{it} 為隨機變數，而效用函數會存在一些不可衡量的部分，包含衡量誤差(measurement error)與函數指定誤差(specification error)。隨機效用函數可表示成數學形式如下。

$$U_{it} = V_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3.23)$$



式中

V_{it} ：可衡量部分

ε_{it} ：不可衡量之隨機項

3.2.1.2 可衡量之效用

在效用可以衡量之部分 V_{it} ，可以方案之客觀及主觀因素來表示之：

$$V_{it} = V(X_{it}, S_t) \quad (3.24)$$

其中， X_{it} 為替選方案 i 對消費者 t 之屬性向量，以運具來說，為旅行時間、旅行成本及班次等運具特性，為方案之客觀條件。 S_t 為消費者 t 之社會經濟特性，包含所得、年齡、性別、是否有車等，為決策者之主觀因素。 V_{it} 可以數學形式描述，即：

$$V_{it} = \sum_{k=1}^K X_{itk} \beta_k + \sum_{l=1}^L S_{tl} \alpha_l \quad (3.25)$$

式中

X_{itk} ：消費者 t 選擇替選方案 i 之第 k 種屬性值(客觀條件)

K ：替選方案之屬性總數

β_k ：第 k 種屬性參數值

S_{tl} ：消費者 t 之第 l 種社會經濟特性(主觀因素)

L ：社會經濟特性總數

α_l ：第 l 種社會經濟特性參數值

3.2.1.3 不可衡量之效用

在實際狀況中，影響決策的變數眾多，有許多不可衡量的部分，無法全部由可衡量效用函數來決定之，通常以 ε_{it} 來表示。式(3.22)可以表示為：

$$\begin{aligned} P(i|C_t) &= Pr(V_{it} + \varepsilon_{it} \geq V_{jt} + \varepsilon_{jt}, \forall j \neq i \in C_t) \\ &= Pr[V(X_{it}, S_t) + \varepsilon_{it} \geq V(X_{jt}, S_t) + \varepsilon_{jt}, \forall j \neq i \in C_t] \end{aligned}$$

$$= \Pr[\varepsilon_{jt} - \varepsilon_{it} \leq V(X_{it}, S_t) - V(X_{jt}, S_t), \forall j \neq i \in C_t] \quad (3.26)$$

此為個體選擇模式之基本形式，由隨機項 $\varepsilon_{jt} - \varepsilon_{it}$ 的機率分布，可發展出不同形式之個體選擇模式，設不可衡量效用之誤差 $\varepsilon_t = \varepsilon_{jt} - \varepsilon_{it}$ ，個人選擇方案機率為 ε_t 累積分布函數，可推導出個體行為運具分配模式，說明如下。

3.2.1.4 二項個體行為運具分配模式

假設有兩種替選方案捷運 i 與公車 j ，則個人選擇捷運的機率 P_i 為：

$$\begin{aligned} P_i &= \Pr(u_i \geq u_j) \\ &= \Pr[V(x_i, s) + \varepsilon_i \geq V(x_j, s) + \varepsilon_j] \\ &= \Pr[\varepsilon_j - \varepsilon_i \leq V(x_i, s) - V(x_j, s)] \\ P_j &= 1 - P_i \end{aligned} \quad (3.27)$$

一、線性模式

若不可衡量效用誤差 $\varepsilon = \varepsilon_j - \varepsilon_i$ 為均值分布 (Uniformly Distribution)，可衡量之效用函數 $V_i = V(x_i, s)$ 與 $V_j = V(x_j, s)$ 均為線性，因此可推導出 P_i 為線性函數 (Ben-Akiva and Lerman, 1987)。

二、普羅比模式

若假設不可衡量之效用函數 ε_i 與 ε_j 均為常態分佈 (Normal Distribution)，平均數為 0，變異數為 σ_A^2 與 σ_B^2 ，則 ε 亦為常態分布。因此可以推導出 P_i 為：

$$P_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{V_i - V_j}{\sigma}} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt = \Phi\left(\frac{V_i - V_j}{\sigma}\right) \quad (3.28)$$

式中 $\Phi[(V_i - V_j)/\sigma]$ 為標準化累積常態分佈，此模式稱之為二項普羅比模式 (Binary Probit Model)。

三、羅吉特模式

若假設不可衡量之效用函數 $\varepsilon = \varepsilon_j - \varepsilon_i$ 為甘式分配 (Gumbel Distribution)，可以推導出 P_i 為：

$$P_i = Pr(u_i \geq u_j) = \frac{1}{1 - e^{-\mu(V_i - V_j)}} = \frac{e^{\mu V_i}}{e^{\mu V_i} + e^{\mu V_j}} \quad (3.29)$$

此模式稱為二項羅吉特模式 (Binary Logit Model)。由於普羅比模式並非封閉型態，需以積分形式才可求得選擇機率，在計算上的操作較困難。羅吉特模式為封閉型態，計算上較便捷，且羅吉特模式與普羅比模式求得之解相近，因此羅吉特模式廣被使用於研究及實務上，本研究亦使用羅吉特模式作為運具分配模式。

3.2.1.5 多項羅吉特模式

若消費者無隨機喜好變異，不可衡量效用函數 ε_{it} 為獨立且相同分配 (Independent and identically distributed, IID)，則根據極端值分配 (Gumbel Distribution) 之機率密度函數，可導出多項羅吉特模式 (Multinomial Logit Model) 為：

$$P_i = \frac{e^{V_{it}}}{\sum_j e^{V_{jt}}} \quad (3.30)$$

式中

P_{it} ：個人 t 選擇運具 i 之機率

V_{it} ：個人 t 使用運具 i 可被測度之效用

多項羅吉特模式最大的缺點在於新加入的選項，若與既有可選擇方案雷同，則計算上會將兩項雷同的選擇分開計算，如此將限縮其餘選項的機率值，造成計算偏誤。如公車與捷運系統間的競爭，若新加入一條公車路線，則會限縮捷運系統的選擇機率值。為避免類似問題，會選擇使用巢式羅吉特模式 (Nested Logit Model)，以下針對巢式羅吉特模式說明。





3.2.1.6 巢式羅吉特模式

由多項羅吉特模式之式(3.28)，可以推導出：

$$P_i = \frac{e^{V_{it}}}{\sum_j e^{V_{jt}}} \Rightarrow \frac{P_{it}}{P_{kt}} = \frac{e^{V_{it}}}{e^{V_{kt}}} \Rightarrow \frac{P_{it}}{P_{kt}} = e^{V_{it} - V_{kt}} \quad (3.31)$$

表示個人選擇方案 i 或 k 的相對機率式由 i 和 k 的效用所決定，與其他替選方案無關，此稱為不相關替選方案的獨立性(Independence of Irrelevant Alternatives, IIA)。即不論其他可選擇方案增加或減少，只要 V_{it} 與 V_{kt} 值不改變，兩者間的相對機率將不受影響。

巢式多項羅吉特模式(Nested Multinomial Logit, NMNL)的主要概念是將具有相關性的替選方案，歸納於一獨立之巢狀結構中，利用包容值(Inclusive Value)將每一巢狀結構中之相關替選方案，建立依共同效用函數，之後再與其他獨立替選方案利用多項羅吉特模式進行機率評估。

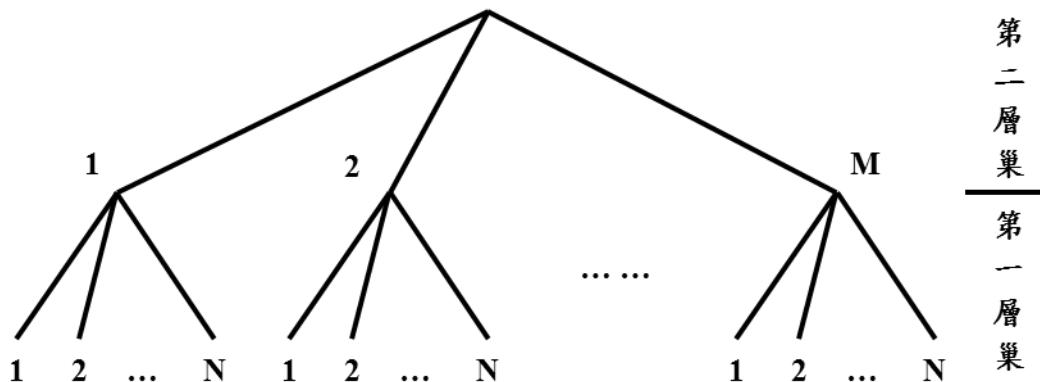


圖 3.8 巢式多項羅吉特模式結構圖 (運輸規劃原理與實務，凌瑞賢)

圖 3.8 表示各個替選方案因相關性而分成兩個巢層，每一巢層內有數個巢群。個體 t 之選擇程序先從第二層巢 (上層巢) 中 $1, 2, \dots, M$ 中選擇一個替選方案 m ，接著再從 m 方案所包含第一層巢 (下層巢) 之 $1, 2, \dots, N$ 中，選擇效用最大之方案 n ，如此即完成選擇行為。以數學式說明個體 t 選擇 m, n 方案之機率 P_{mn}^t 為：

$$P_{mn}^t = \frac{\exp(V_{mn}^t)}{\sum_{a \in A} \sum_{b \in B} \exp(V_{mn}^t)} \quad (3.32)$$



式中

V_{mn}^t ：個人 t 最後選擇 m, n 方案之效用

A ：個人 t 於第二層巢中可選擇方案之集合

B ：個人 t 於第一層巢中可選擇方案之集合

假設式(3.32)中之 V_{mn}^t 為：

$$V_{mn} = \alpha X_{mn} + \beta Y_m \quad (3.33)$$

式中

X_{mn} ：與第一、二層巢相關之屬性變數

Y_m ：與第二層巢相關之屬性變數

α, β ：待校估之參數值

將式(3.33)帶入式(3.32)可得：

$$P_{mn}^t = \frac{\exp(\alpha X_{mn} + \beta Y_m)}{\sum_{a \in A} \sum_{b \in B} \exp(\alpha X_{mn} + \beta Y_m)} \quad (3.34)$$

再定義包容值 I_a ：

$$I_a = \ln \sum_b \exp(\alpha X_{ab}) \quad (3.35)$$

包容值之係數為 θ ，則個體選擇方案 m, n 之機率 P_{mn} 可以表示為：

$$\begin{aligned} P_{mn} &= \frac{\exp(\alpha X_{mn} + \beta Y_m)}{\sum_{a \in A} \exp(\theta I_a + \beta Y_a)} \\ &= \frac{\exp(\alpha X_{mn})}{\exp(\theta I_m)} \times \frac{\exp(\theta I_m + \beta Y_m)}{\sum_{a \in A} \exp(\theta I_a + \beta Y_a)} \\ &= \frac{\exp(\alpha X_{mn})}{\sum_m \exp(\alpha X_{mn})} \times \frac{\exp(\theta I_m + \beta Y_m)}{\sum_{a \in A} \exp(\theta I_a + \beta Y_a)} \\ &= P_{n|m} \times P_m \end{aligned} \quad (3.36)$$

機率 P_{mn} 即為選擇方案 m 之機率 P_m 與在 m 條件下選擇方案 n 之機率 $P_{n|m}$ 的乘積。包容值之係數 θ 須介於 0 至 1 之間。當 $\theta = 0$ ，即代表第一層巢中所包含之替選方案有相關性與完全替代性。當 $0 < \theta < 1$ ，表示第一層巢所包含之係數有一部份相關性。當 $\theta = 1$ ，表示第一層巢中所包含之替選方案沒有相關性，即符合多項羅吉特模式之基本假設，可以多項羅吉特模式取代之。多項羅吉特模

式可視為巢式多項羅吉特模式之特例。

3.2.2 總體運具分配模式

總體運具分配模式以各區各運具之分配比例做為應變數，運具特性及社會經濟特性作為自變數，所構成之數學模式。總體運具分配模式有以下優點：

- (1) 個體模式須經過總計過程才可供規劃預測使用。
- (2) 有現成總計資料使用，不需再額外收集或製作問卷取得資料。
- (3) 路網資料若不精確，使用之旅行成本、旅行時間等運具特性會有差異，導致個體模式預測結果誤差大。

總體運具分配模式同樣具有直線、普羅比及羅吉特模式，表 3.13 針對總體羅吉特模式與個體羅吉特模式做比較。

表 3.13 總體及個體羅吉特模式之比較(運輸規劃原理與實務，凌瑞賢)

	總體羅吉特模式	個體羅吉特模式
資料	以分區為單位	個人訪問資料
應變數	兩地間搭乘 i 種運具的比例	個人選擇 i 種運具的機率
自變數	總體特性資料(總體平均值)	個體特性資料(個別屬性值)
函數型態	$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$	$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$
參數校估	最大概似法： $L(\beta) = \prod_{i=1}^I \left(\frac{e^{u_i}}{\sum_j e^{u_j}} \right)^{N_i}$	最大概似法： $L(\beta) = \prod_{t=1}^T \prod_{i=1}^I \left(\frac{e^{u_{it}}}{\sum_j e^{u_{jt}}} \right)^{\delta_{it}}$
預測	直接預測	預測資料總計(aggregation)

3.2.2.1 總體羅吉特模式型態

總體羅吉特模式型態之數學型式：

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in A_t} e^{V_j}} \quad (3.37)$$



式中

P_i ：某兩地間搭乘 i 種運具之比例

V_i ：某兩地間 i 種運具的一般化成本(Generalized Cost)或效用

$V_i : a_n X_i + b_w U_w + c, n = 1, 2, \dots, N, w = 1, 2, \dots, W$

X ：某兩地間， i 運具的運輸成本(旅行時間、距離)

w ：某兩地間的社會經濟特性

a_n, b_w, c ：參數

3.2.2.2 總體羅吉特模式之參數校估

總體多項羅吉特模式以最大概似估計法(Maximum Likelihood Method)求得，
概似函數的定義： n 個隨機變數 X_1, X_2, \dots, X_n 的概似函數為該 n 個隨機變數的聯合機率函數，假設概似函數 $L(\theta)$ 為：

$$L(\theta) = g(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = f(x_1, \theta)f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta) \quad (3.38)$$

又設最大概似估計量 $\hat{\theta} = h(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，當 $\theta = \hat{\theta}$ 時，可使 $L(\theta)$ 為最大。

最大概似法求最大概似估計量的方法為：

(1) 由母體的機率函數 $f(x, \theta)$ 做成概似函數，即 $L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$ 。

(2) 先求一階微分式，得到 $L(\theta)$ 的極大值，以 θ 對 $L(\theta)$ 微分，令其為 0，

即 $\frac{d}{d\theta} L(\theta) = 0$ ，即可得到 θ 之最大概似估計量 $\hat{\theta}$ 。

(3) 再求二階微分式，查看 $\frac{d^2}{d\theta^2} L(\theta)$ 是否小於 0，確認求得之值為極大值。

總體多項羅吉特模式的最大概似函數為：

$$L = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_I!} \prod_I (p_i)^{N_i} \quad (3.39)$$

式中

N_i ：第 i 種運具所佔之分配比例(觀測值，%)

p_i ：第 i 種運具所佔之分配比例(以概似估計值所計算之，%)

為方便計算，會將最大概似函數取對數簡化之，成為對數概似函數

(Log-Likelihood function)，其數學式為：

$$LL = \sum_I N_i p_i \quad (3.40)$$

設第 i 種運具之效用函數為 $u_i = \sum_{k=0}^K \beta_k x_k$ ， β_k 為第 k 種運具特性會社會經濟特性屬性值 x_k 之係數，則多項羅吉特模式函數為 $P_i = \frac{e^{u_i}}{\sum_j e^{u_j}}$ ，將其帶入式(3.39)及(3.40)中，得到數學式為：

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^I \left(\frac{e^{u_i}}{\sum_j e^{u_j}} \right)^{N_i} \quad (3.41)$$

以及簡化後之對數概似函數為：

$$\begin{aligned} LL(\beta) &= \sum_{i=1}^I N_i \left(u_i - \ln \left(\sum_j e^{u_j} \right) \right) \\ &= \sum_{i=1}^I N_i \times u_i - 100\% \times \ln \left(\sum_j e^{u_j} \right) \end{aligned} \quad (3.42)$$

3.2.3 臺灣總體運具分配模式

本研究之資料為歷史巨觀資料(Historical aggregate data)，分區以現行行政區分界為主，為計算高速鐵路年運量值，採用總體運具分配模式。

3.2.3.1 效用函數

本研究所使用之運具分配模式為總體羅吉特模式，各運具所使用之效用函數如表 3.14 所示。

表 3.14 可選擇城際運具之效用函數

可選擇城際運具	效用函數所包含之變數屬性值
私人小客車(Car)	旅行成本、旅行時間、兩地間小客車總數
國道客運(Bus)	旅行成本、旅行時間
傳統鐵路(TRA)	旅行成本、旅行時間
國內航線(Air)	旅行成本、旅行時間、航班次
高速鐵路(HSR)	旅行成本、旅行時間 (2007 年以後)

考量消費者對於價格的感受隨著物價上漲而不同，效用函數中的旅行成本屬性值每年不盡相同，本研究以消費者物價指數(2007 年為基年)調整各年度運具 k 之旅行成本 TC_{ky} ：

$$TC_k = TC_{ky} \times \frac{CPI_{2007}}{CPI_y} \quad (3.43)$$

式中

TC_k ：調整後第 k 種運具之旅行成本(新台幣元)

TC_{ky} ：第 y 年第 k 種運具之旅行成本(新台幣元)

CPI_{2007} ：基年(2007 年)年平均消費者物價指數

CPI_{year} ：計算年或預測年之年平均消費者物價指數

而經濟成長伴隨的收入成長，也會使消費者對旅行時間的感受不同，本研究將旅行時間 TT_{ky} 乘上時間價值 VOT_y 得到各個年度運具 k 之旅行時間價值：

$$TT_k = TT_{ky} \times VOT_y \quad (3.44)$$

式中

TT_k ：調整後第 k 種運具之旅行時間(分鐘 \times 元/小時)

TT_{ky} ：第 y 年第 k 種運具之旅行時間(分鐘)

VOT_y ：第 y 年之時間價值(新台幣元/小時)

VOT_y ：平均年個人所得 \div 年平均工時

旅行時間包含車內旅行時間及車外等車與接駁時間。

3.2.3.2 多項羅吉特模式與巢式多項羅吉特模式的選用

是否選用巢式多項羅吉特模式，須先了解各個運具之間的相關性。首先，第二章文獻回顧分析國外文獻，多數將高速鐵路及傳統鐵路視為相似的運具，理應分於同一個巢層之中。然而，本研究經觀察，台灣地區的高速鐵路與傳統鐵路速度相差甚大，票價結構、營運方式、接駁方式、及旅運目的不盡相同，在台灣的案例之中，高速鐵路與傳統鐵路是不同的運具，將兩者分於同一個巢層之中結果並不佳。

第二種分類方式，是將高速鐵路及國內航線分於同一個巢層之中，兩者間有相當高之替代效果，服務的對象多半為時間價值高、對舒適要求較高之消費者。不過依照台灣的歷史資料來看，國內航空業於 1997 年達到巔峰之後，開始快速消逝，至高速鐵路通車營運年(2007)時，只有約巔峰時期的三分之一。通車後加速國內航空業的衰退，至 2012 年 9 月因營運困難，全數退出西部走廊市場。若將航空歸納於某一巢層底下，會產生運具消失、巢層結構改變的問題，造成運具分配比例計算的誤差過大。據此，將兩者歸納於同一巢層之中結果並不佳。

第三種分類方式，是將高速鐵路與私人小客車分於同一巢層之中，高速鐵路為大眾運輸工具之一，無法提供及門服務。雖然消費族群同為對舒適度要求較高，但接駁時間長，造成使用運具上的困難。將兩者歸納於同一巢層之中結果並不佳。此外，消費者選擇私人小客車的因素與小客車持有量相關，本研究將其納入效用函數的考量之中。

第四種分類方式，是將高速鐵路與國道客運分於同一巢層之中，其理由與第一種分類方式類似，兩者運具特性差異大，結果並不佳，無法視為相似的運具。

第五種分類方式，是將國道客運與傳統鐵路分於同一巢層之中，兩者同為大眾運輸系統之一，在台灣的情況中，其接駁點相近(本研究以火車站為主要接駁點)，兩者票價結構雖不同，但旅行時間接近，具有相關性。再者，根據歷史交通量資料來看，兩種運具的相對交通量比例較穩定，且模式結果較佳，因此本研究選擇將這兩者歸納於同一巢層之中。

需注意之處為，若國道客運或傳統鐵路運具分配比例過低，或是以短程公路客運的型式營運，則分於同一巢層對於模式預測效果不佳。此外，彰化(南彰化)及雲林地區的國道客運站多半不在臺鐵火車站附近，因此也無法將之分於同一巢層之中。

其餘分類方式，依照票價結構、旅行時間的差異、私人運具與否等因素，預測效果皆不理想，不適合再分出其他巢層結構。分類方式歸納如表 3.15。本研究完整之巢式多項羅吉特模式結構圖如圖 3.9 所示。

表 3.15 巢式多項羅吉特分類方案



方案	分於同一巢層	台灣案例預測效果優劣及其解釋
一	高速鐵路 與傳統鐵路	預測效果不佳。 旅行時間、票價結構差異大，營運方式、接駁方式不同，無法視為相似的運具。
二	高速鐵路 與國內航線	預測效果不佳。 國內航線快速消逝，2012 年全數退出市場，運具消失會造成巢層結構改變，導致計算誤差過大。
三	高速鐵路 與小客車	預測效果不佳。 高速鐵路為大眾運輸工具之一，無法提供及門服務，且小客車交通量與小客車持有量相關。
四	高速鐵路 與國道客運	預測效果不佳。 旅行時間、票價結構差異大，營運方式、接駁方式不同，無法視為相似的運具。
五	傳統鐵路 與國道客運	適合，預測結果較佳。 兩者同為大眾運輸系統之一，接駁點相近(本研究以火車站為主)，票價雖不同，但旅行時間接近。
六	其餘分類方式	預測效果不佳。 旅行時間、票價結構差異大、營運方式不同。

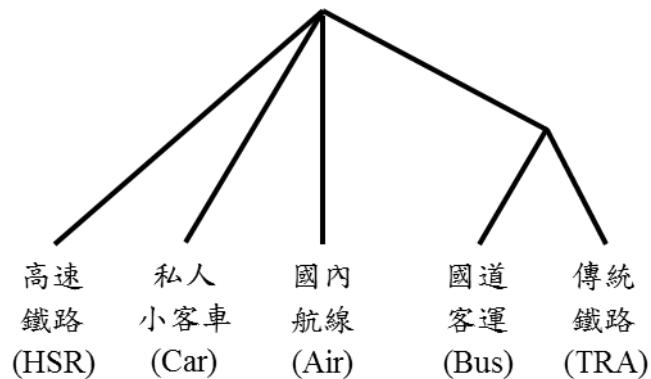
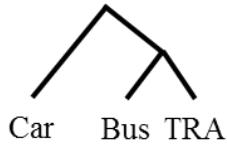
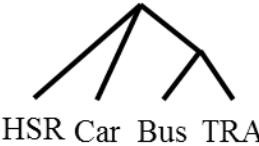
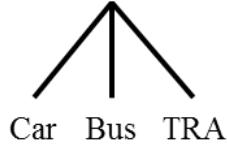
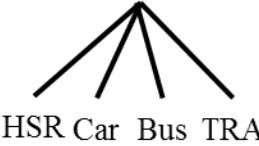
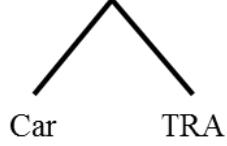
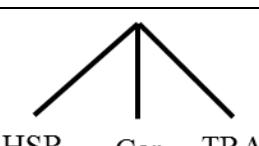


圖 3.9 巢式多項羅吉特模式結構圖

本研究所選定之 11 個台灣西部走廊城市並非具備所有的運具，如台北至高雄具有完整的五種運具，可使用巢式多項羅吉特模式。但如桃園至嘉義，只有小客車、傳統鐵路及高速鐵路等三種運具，在此條件下，僅能使用多項羅吉特模式。各 O-D 起訖對所使用之羅吉特模式結構詳列於表 3.16 中。

表 3.16 各 O-D 起訖對之羅吉特模式結構

包含之 0-D 起訖對	2007 年高速鐵路 通車以前	2007 年高速鐵路 通車以後	2012 年西部航線 退出市場以後
台北-台中 台北-嘉義 台北-台南 台北-高雄 台北-屏東			
台北-桃園 台北-新竹 台北-苗栗 桃園-台中 桃園-高雄 新竹-台中 台中-嘉義 台中-台南 台中-高雄 台中-屏東 嘉義-台南 嘉義-高雄			
台北-彰化 台北-雲林 桃園-台南 新竹-高雄 台中-雲林 雲林-高雄 台南-高雄 台南-屏東			
其餘 29 對 0-D 起訖對			

3.2.4 運具分配模式計算

運具分配模式計算，是將 11 座選取城市所組合之 54 對 O-D 起訖對各別計算之，由於篇幅因素，本節在此選取最主要之 O-D 起訖對(台北至高雄)做數值分析說明，並再選取 4 對主要城市 O-D 起訖對做說明。

運具分配模式的計算過程，首先以通車前歷史資料(1998 年至 2006 年)校估各運具的係數，再以通車後的歷史資料(2007 年至 2011 年)驗證數據誤差為可接受範圍內(MAPE 為 10% 以內)，爾後再估計未來年的運具分配比例(2012 年至 2033 年)。

表 3.17 台北至高雄 O-D 起訖對之運具分配模式係數校估

運具		小客車	國道客運	傳統鐵路	國內航空	高速鐵路
上巢層	旅行成本	-0.00107	-0.00107 (平均旅行成本)		-0.00107	-0.00107
	旅行時間	-0.00093	-0.00093 (平均旅行時間)		-0.00093	-0.00093
	小客車持有量	1.366407	-		-	-
	航空班次	-	-		0.02164	-
	常數項	0	4.524948		2.150225	4.524948
下巢層	旅行成本	-	-0.0007	-0.0007	-	-
	旅行時間	-	-0.00286	-0.00286	-	-
	常數項	-	0	-1.16973	-	-
	包容值	-	0.269977		-	-
2000 年實際值		19.91%	30.33%	9.93%	39.84%	-
2000 年計算值		21.77%	33.13%	9.05%	36.04%	-
2000 年誤差值		1.87%	2.81%	0.88%	3.80%	-
2011 年實際值		21.17%	19.48%	2.06%	0.17%	57.11%
2011 年計算值		20.16%	17.19%	4.94%	2.65%	55.07%
2011 年誤差值		1.01%	2.30%	2.88%	2.47%	2.05%

註 1：所有運具之旅行成本及旅行時間採用同樣的係數。

註 2：校估係數中，以小客車(上巢層)及國道客運(下巢層)為基礎值，常數項為 0。

註 3：上巢層之國道客運及傳統鐵路，其旅行成本及旅行時間採平均值計算。

註 4：由於係數校估是採用歷史資料，不含高速鐵路運具，其常數項只能採用估計值，本研究將其採用為國道客運與傳統鐵路的常數項值。

由表 3.17 可看出運具分配比例的誤差可維持於 5% 以下。其中之航空班次採用民航局統計資料，航空市場比例於 2000 年以後逐漸衰退，於 2007 年高速鐵路通車後幾乎完全由其他運具取代，如此劇烈變化的航空運具市場比例，在巢式多項羅吉特模式中，無法完全掌握其變化的趨勢，是這幾對主要 O-D 起訖對的主要誤差來源。而由於 2012 年後航空全數退出西部走廊市場，加上估計誤差較大，因此本研究在未來的運具分配模式中，將航空運具刪除。

首先為台北至台中 O-D 起訖對，其連結台灣北部及中部主要城市，各城際運具無不在此積極競爭市場。由本研究預測結果可發現，高速鐵路的市場會逐漸上升，約莫於 2031 年，高速鐵路市場將超越自小客車，顯示高速鐵路在此具有很大的發展潛力，如圖 3.10 所示。而經數值分析可知，台北及台中兩地的接駁服務系統較佳，接駁時間與其他大眾運輸系統相近，整體旅行時間具有競爭力。而隨著台灣經濟持續成長，消費者的時間價值上升，使得高速鐵路效用增加，因此運量及營收於未來 20 年將會有顯著的提升。

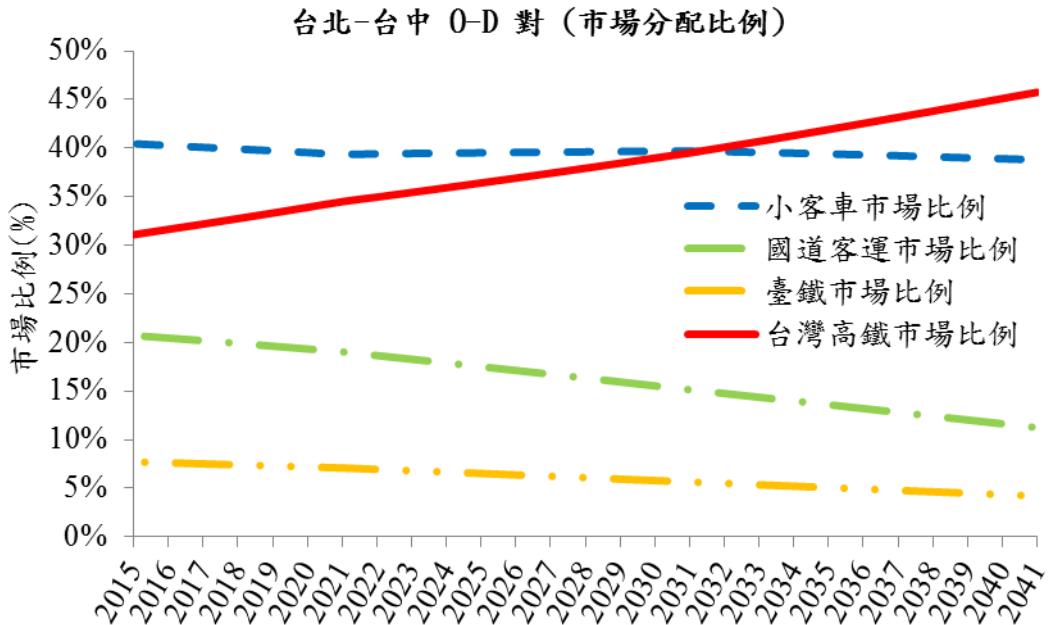


圖 3.10 台北-台中 O-D 起訖對之各運具市場比例

第二為台北至台南之 O-D 起訖對，其連結台灣北部及南部主要城市，由於距離長達 300 公里左右，傳統鐵路及小客車的市場比例相對偏低，主要是由國道

客運及高速鐵路主導市場需求，如圖 3.11 所示。兩者票價及旅行時間有相當大的區隔，消費者可依照需求選擇運具。而經濟成長使消費者的時間價值上升，高速鐵路效用增加，市場分配比例持續上升使國道客運消費者移轉至其上。

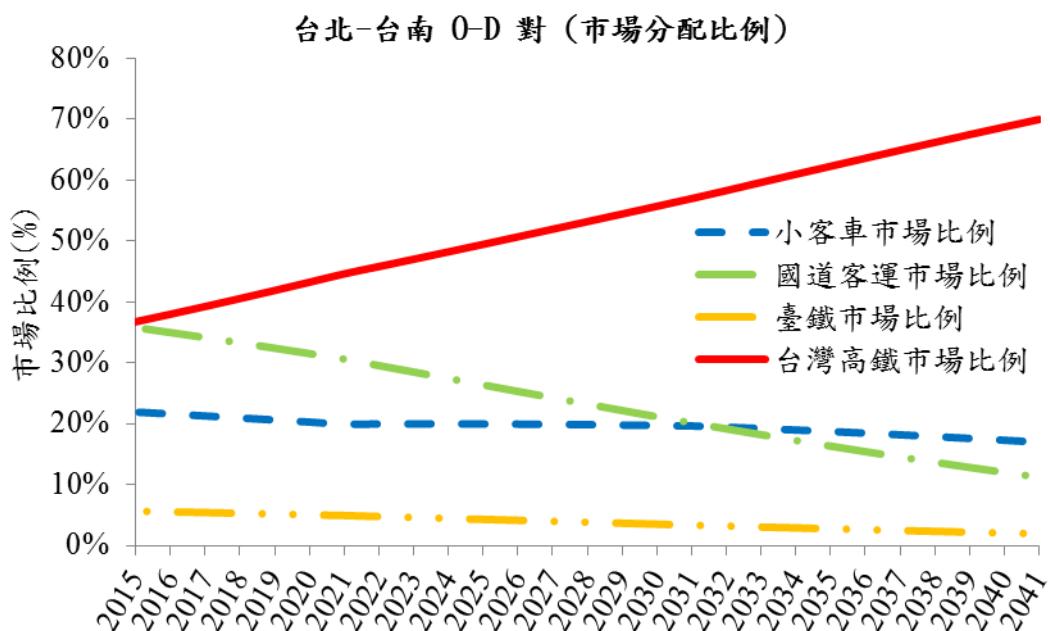


圖 3.11 台北-台南 O-D 起訖對之各運具市場比例

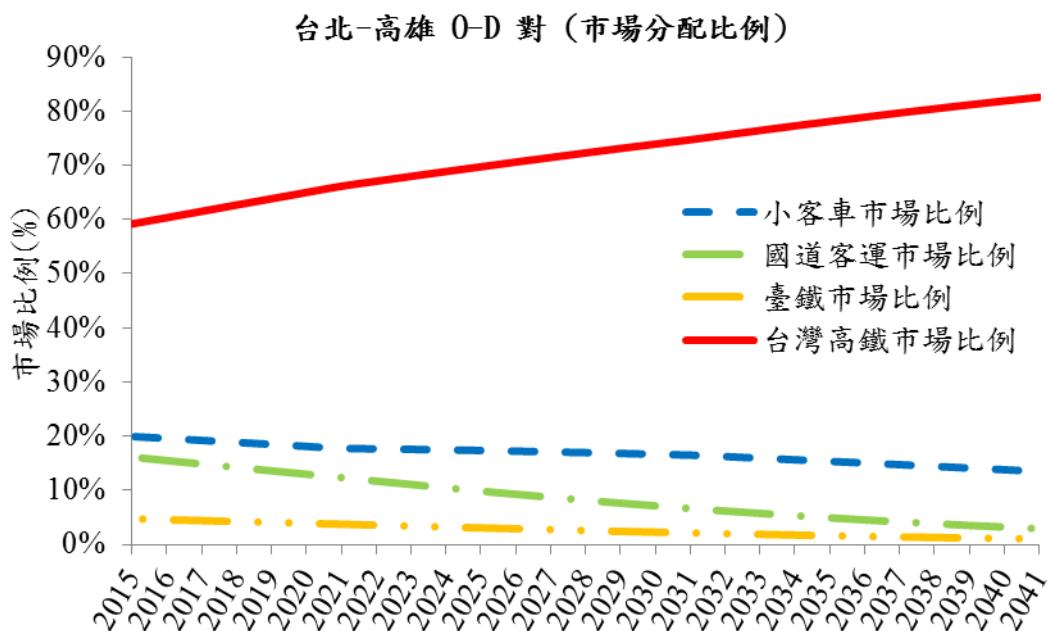


圖 3.12 台北-高雄 O-D 起訖對之各運具市場比例

第三為台北至高雄之 O-D 起訖對，為連結台灣北部及南部兩個最大之城市，距離約為 350 公里，由於國道客運及傳統鐵路的旅行時間較長(約 5 小時以上)，故市場比例相對偏低，多由高速鐵路(2007 年以前為國內航空)主導市場需求，小客車雖有成長但仍不及高速鐵路的成長趨勢，如圖 3.12 所示。

第四為台中至高雄之 O-D 起訖對，為連結台灣中部及南部之主要城市，其結果與前述台北至台中之 O-D 起訖對相似，結果如圖 3.13 所示。台中與高雄兩地的接駁服務系統較佳，接駁時間與其他大眾運輸系統相近，整體旅行時間具有競爭力。

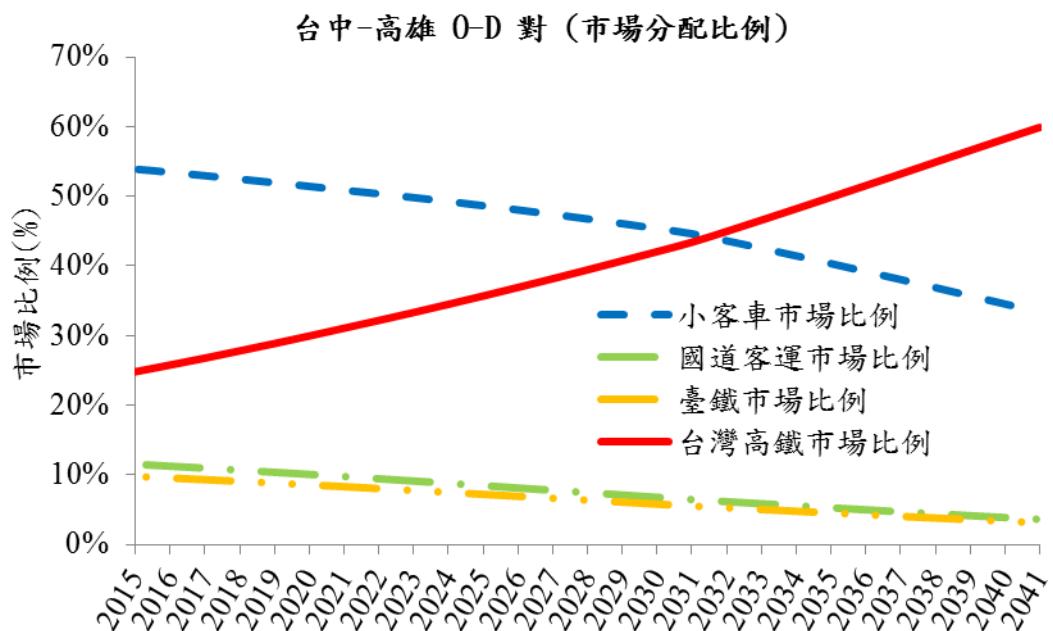


圖 3.13 台中-高雄 O-D 起訖對之各運具市場比例

由以上四對 O-D 起訖對的結果可發現，高速鐵路於長途旅運確實具有其競爭力及未來發展性，尤其在台北、台中及高雄等地之接駁服務系統較佳的城市，本研究結果顯示未來經濟成長伴隨的時間價值上升，將有機會取代小客車成為主要之城際運具。

第四章 案例分析

本研究於第三章中已完整說明模式結構，在此將收集之歷史巨觀資料及實際營運資料所校估出模式進行案例分析，並預測未來高速鐵路年運量值。



4.1 台灣高速鐵路系統案例分析

本研究以台灣高速鐵路系統作為分析對象。自 1987 年交通部高速鐵路籌備處成立著手規畫台灣高速鐵路系統，至 2007 年實際通車歷經 21 年之久。期間受到社會、政治、經濟及工程議題影響，多次變更設計導致延宕通車，與最初預期 1998 年通車相差約 10 年之久。而最重要的變革為 1996 年台灣高鐵改採 BOT 案建設，營運條件變更，國營事業體改由民間承辦發包，所有的規劃工作又須重新調整。爾後經歷經濟轉變，如：2000 年金融風暴、2001 年金馬小三通、國內產業西移至中國大陸等使高速鐵路潛在客群流失，且又受工程因素數度延宕通車時程，直至 2007 年台灣高鐵通車時，社會經濟條件已不可同日而語。台灣高鐵大幅縮短西部走廊各大城市間的旅行時間，成就「一日生活圈」的概念，但營運卻受到運量不足的影響，實際運量與 1990 年代各家顧問公司及 2007 年通車前的預測結果相差甚大，直接影響後續的財務規劃及營運策略。2009 年因財務問題數度宣布破產，直到台灣政府出資緩解才又繼續經營，但該方法並不是長遠之計，台灣高鐵的財務問題直至今日仍是燙手山芋，時常成為媒體的焦點。

過往台灣高鐵運量預測所使用的社會經濟條件、營運條件等因子均與今日實際情形差異甚大，必須重新調整。此外，西部走廊國內航空業至 2012 年 9 月因營運困難，全數退出西部走廊市場，在進行運具分配模式預測時，需移除國內航空運具。以下針對台灣高鐵案例，帶入歷史巨觀資料及未來預測資料進行分析，得到台灣高鐵運量預測值。



4.1.1 分析範疇與假設

台灣高鐵目前設置有台北、板橋、桃園、新竹、台中、嘉義、台南及高雄等 8 個車站，未來更有新增南港、苗栗、彰化及雲林等 4 個車站。各別車站的簡介於下說明。

4.1.1.1 台灣高鐵既有車站

高鐵台北與板橋站皆為服務大台北地區的消費者，其所在車站為重要之交通樞紐點，可選擇運具有高速鐵路、臺鐵、台北捷運的「三鐵」服務，站外亦有市區公車、國道客運等大眾運輸工具，接駁系統方便，是唯二與市中心火車站共構的高鐵車站。為方便計算，本研究將板橋站的運量計入台北站計算。

高鐵桃園站位在桃園縣中壢市青埔地區，站點離市中心(桃園市及中壢市)相當遙遠，且其接駁服務較不方便，目前僅有小客車及接駁公車服務。未來將建設「桃園捷運機場線」接駁中壢市中心及桃園國際機場旅客前往，屆時接駁服務將會大為改善。不過目前欲建設完成之機場線於桃園地區僅少數地區及國際機場受惠，市中心的捷運建設時程尚未確定，因此本研究並未考慮其對桃園市中心所帶來之效益，但未來仍可視桃園捷運機場線的營運條件調整之。

高鐵新竹站位在新竹縣竹北市六家地區，站點同樣離新竹市中心較遙遠。2007 年高鐵營運初期，臺鐵六家支線尚未建設完，由其他地區來往之接駁公車，其行車時間較長，加上接駁公車等車時間，也造成接駁系統不理想的狀況。2011 年 11 月 11 日臺鐵六家支線通車營運後，接駁時間改善甚多，其平均班距為 30 分鐘，行車時間為 20 分鐘至臺鐵新竹站。近年高鐵新竹站有大批的房市興起，未來將可能會有大量的「通勤旅次」往返於台北及新竹之間。

高鐵台中站位在台中市烏日區，其站點設置之考量為服務台中市中心、彰化市及南投縣之消費者，雖距台中市中心有一段距離，但服務到更多的民眾，可有效提升運量及營收。其與臺鐵新烏日站共構為「雙鐵」車站，臺鐵縱貫線上的列車可服務使用高鐵的消費者，同時也有多班接駁公車服務。本研究為方便計算，

且考量南投縣幅員遼闊，接駁距離、時間均長，新設置的高鐵彰化站可能會移轉部分南投縣消費者，因此並未考量南投縣對台灣高鐵的影響。此外，高鐵營運初期，臺鐵列車營運並未與台灣高鐵整合，造成班距不均的情形，也造成接駁服務不便的影響，近年此現象已漸改善。

高鐵嘉義站位在嘉義縣太保市，距離嘉義市中心亦相當遙遠，目前尚未規劃任何鐵路系統(臺鐵或捷運)接駁市中心及高鐵站。僅有嘉義客運公司所提供之「快捷公車服務」，一般稱之為「嘉義 BRT」。該快捷公車服務班距為 20 分鐘，行車時間 20 分鐘至臺鐵嘉義火車站，相當便捷。高鐵嘉義站所服務範圍包含嘉義縣及臺南市北部區域(包含新營區、鹽水區、六甲區及官田區等麻豆以北城鎮)，約佔臺南市 14% 的人口數，在模式計算過程將之加入嘉義站的變數屬性值之中。此外，由於城市規模較小接駁時間較長等因素，目前高鐵嘉義站為運量最少之車站。

高鐵台南站位在臺南市歸仁區，距離台南市中心約 15 公里，為接駁距離最遙遠之車站，即便使用自用小客車也要將近 30 分鐘的接駁時間，若使用接駁公車甚至有 1 個小時的行車時間，包含接駁公車等車時間便會超過 1 個小時。2011 年 1 月 2 日臺鐵沙崙支線通車後，接駁服務改善許多，其平均班距為 30 分鐘，行車時間為 25 分鐘至高鐵台南站。

高鐵左營站位在高雄市左營區，為服務大高雄及屏東地區的消費者，其所在車站可選擇之運具同樣有高速鐵路、臺鐵、高雄捷運的「三鐵」服務，站外亦有市區公車、國道客運等大眾運輸工具，接駁系統方便，但其車站並不是位在中心火車站，接駁服務水準仍受到些許影響。此外，台灣高鐵營運初期，臺鐵列車營運並未與之整合，臺鐵屏東線、南迴線等列車均由臺鐵高雄站發車。造成高鐵左營站(臺鐵為新左營站)接駁不便的情形，多半消費者僅能仰賴高雄捷運的接駁服務。近年臺鐵已在新左營站設置新列車基地，將屏東線及南迴線列車改由新左營站發車，才使接駁服務系統更佳的完善，屏東地區的消費者更有利選擇使用台灣高鐵。

目前臺鐵於桃園、台中、台南及高雄均有「鐵路高架化」、「鐵路地下化」及設置「捷運化車站」，未來將可能會增加列車班次數，間接的使高鐵站的接駁服務更加便利。



4.1.1.2 台灣高鐵新增車站

高鐵南港站位於台北市南港區，其設置之主要目的為建設高鐵新基地(汐止基地，位在新北市汐止區)，並更改台灣高鐵的起點。目前的起點站—台北站僅有雙月台四股道，且切換股道的轉轍器距離車站尚有一段距離，導致列車營運安排的有許多阻礙。在新設南港站之後，調整起點站可以有效的安排列車，以因應未來運量提升所需要增加的列車班次數。而高鐵南港站所帶來的運量及營收效益，本研究也將其計入台北站計算，不額外做考量。

高鐵苗栗站位在苗栗縣後龍鎮豐富地區，苗栗站預定地規劃要與臺鐵豐富站共構，以便利轉乘接駁的消費者，距離臺鐵苗栗站僅一站，行車時間不到 5 分鐘。不過高鐵苗栗站與臺鐵豐富站之間的有超過 500 公尺的站外轉乘距離，是否因此造成消費者不便，需審慎規劃。此外，目前臺鐵山線(竹南經台中至彰化路段)的區間車班次數較少，等車時間亦會增加接駁時間，未來也需視情況增加列車頻率。

高鐵彰化站位在彰化縣田中鎮，彰化站預定地距台鐵田中站約 2.5 公里，而距最近之台鐵縱貫線也約有 1 公里之直線距離，若與臺鐵做接駁服務可能會對消費者造成不便，亦需審慎規劃。若接駁公車系統建置完善，則可以便捷的服務田中鎮、北斗鎮、社頭鄉及田尾鄉居民，至於臺鐵是否會新增「新田中站」連結高鐵彰化站，端看未來如何規劃。若建置起來，則可對員林鎮、二水鎮及臺鐵集集線沿線居民提供便捷的接駁服務，將可能會創造更多的客源，也能對觀光產生莫大的效益。需注意的是，由於地理位置較偏彰化縣南部，高鐵彰化站所服務範圍為「南彰化地區」，僅佔彰化縣約 52% 人口，「北彰化地區」如彰化市、鹿港鎮、和美鎮及其他員林鎮以北地區，皆納入高鐵台中站服務範圍之中。

高鐵雲林站位在雲林縣虎尾鎮，是雲林縣的中心點，其服務範圍為全雲林縣地區。不過高鐵雲林站與臺鐵縱貫線至少有 10 公里以上的距離，因此難與臺鐵作接駁服務，故其大眾運輸接駁系統需仰賴接駁公車。由於高鐵雲林站鄰近城鎮(如斗六市、斗南鎮、西螺鎮及虎尾鎮等)人口數規模相近，不同於嘉義有明顯之市中心，接駁公車系統應如何營運，需要審慎規劃。至於是否有與嘉義相同的快捷公車系統(嘉義 BRT)，規畫出雲林快捷公車系統，有待各界協商。

4.1.1.3 研究預測假設

由於影響台灣高鐵運量的因素眾多，無法考量真實世界所有因素，本研究設定一些基本情境與假設，以利研究的進行。研究案例分析基本假設如下所列：

- (1) 本研究分析對象以高速鐵路的潛在客群為主，此客群一般為城際運輸的旅次，包含商務、旅遊及返鄉等旅次目的，不考量任何短途旅次(城市內的旅次)影響，通勤旅次則計入商務旅次計算。
- (2) 選定之 11 個城市皆以行政區為畫分界線，不考慮南投縣、東部走廊及外島地區前來使用之消費者。距離較近的轉乘接駁站(如台北及板橋及新設南港站)視為同一個站點。
- (3) 消費者會選擇最近之高鐵站點，不會選擇接駁時間較長之較遠高鐵站。彰化縣北部(約 48% 彰化縣人口)會選擇高鐵台中站，彰化縣南部(約 52% 彰化縣人口)會選擇新設高鐵彰化站。臺南市北部(約 14% 台南市人口)會選擇高鐵嘉義站，其餘臺南市人口會選擇高鐵台南站。屏東縣人口會選擇搭乘臺鐵屏東線、南迴線列車前往高鐵左營站轉乘高速鐵路。
- (4) 依照歐洲經驗，國際機場基本上會設置高鐵站，但台灣高鐵桃園站並未設置於機場，本研究不額外使用變數計算國際機場所帶來之客群。
- (5) 桃園捷運機場線的主要服務客群為往返機場之旅客，目前路線經過地區為桃園縣較偏遠之城鎮，不影響市中心的運輸接駁服務。本研究不將機場線所帶來之效益納入考量，而未來若有延伸路線至中壢市中心，可視情況調整之。

(6) 旅行時間、旅行成本、接駁時間以及等車時間皆以平均參考值(包含官方時刻表、票價表數據)來計算，不考慮平日假日、季節變化、國定假日路況不同的區別。詳細資料說明請見第三章。

(7) 本研究假設全國的社會經濟特性、運具特性等各因素包含 GDP、人口數、就業人口、旅行時間、旅行成本及其餘因子等，於各個城市為均勻成長之情境，實際運量與營收結果依照實際變數條件會有不同之結果。

(8) 新增三站之後，由於未來的營運策略無法預知，本研究假設原有高鐵消費者的權益不受影響，即旅行時間、票價、班次數等因素皆不改變，列車營運有區隔市場，主要城市有直達車可選擇，新增三站亦有區間車可選擇。本研究僅考慮新增三站的所帶來的正面效益，不考量相關負面影響，如土地徵收、土建成本、交通衝擊，營運服務水準下降等因素。

(9) 本研究所收集之台灣高鐵歷史運量資料來自於台灣高鐵公司，其資料已包含優惠票價措施促成之運量，但有多少比例的消費者享受優惠票價，實難查得，因此本研究仍將其視為原價所擁有之運量。其後之運量預測值也以同樣情境，設定基本費率，不考量優惠票價措施所造成之運量成長影響。本研究在營收預測上皆以原價來計算，因此營收值會略微高估，實際營收會因為優惠票價措施而略低。

(10) 本研究為依照台灣高鐵經驗設計之運量預測模式，最大之限制為無法衡量航空與高速鐵路間的競爭關係。由於台灣南北長僅約 400 公里，不如其他國家有超過 500 公里的 O-D 起訖對，國內航空在高速鐵路通車營運後，即迅速衰退，兩者並存時間僅數年，競爭關係無法衡量，於後運量預測皆將國內航空移除。模式建構考量兩者競爭關係有待未來研究進行。

4.1.2 台灣高速鐵路相關資料說明



本節所列之資料為本研究設定之台灣高鐵運具特性數值。

為能預測未來新增三站票價及行車時間，及依照不同費率情境作敏感度分析，需取得各站里程數，表 4.1 為交通部高速鐵路工程局所公布之台灣高鐵各站里程數。

表 4.1 台灣高鐵各站里程數(交通部高速鐵路工程局)

車站	台北	桃園	新竹	苗栗	台中
里程數(公里)	5.094	42.285	72.179	104.865	165.733
車站	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
里程數(公里)	193.886	218.48	251.585	313.86	345.188

政府公告之高速鐵路基本費率，在 2013 年 10 月 7 日以前為每人車公里 3.655 元，而依據特許合約規範，台灣高鐵公司最多可提升 120% 費率來收取票價，即每人車公里 4.386 元。至 2013 年 10 月 8 日以後，因應物價上升趨勢，政府提升基本費率至每人車公里 4.009 元，台灣高鐵公司亦調漲票價至其 120% 的費率，即每人車公里 4.8108 元。計算完票價後，四捨五入至五的倍數(票價調整前為四捨五入至十位數)，即尾數為 0 或 5，調整至現今營運公告之票價。票價表如表 4.2 所示。其中之屏東轉乘接駁臺鐵需增加 35 元票價。

台灣高鐵行車時間以最快速抵達目的地之列車為主，新增三站的行車時間以每站皆停之區間車營運模式計算。行車時間表同如表 4.2 所示。其中之屏東轉乘接駁臺鐵需增加 50 分鐘行車時間。

台灣高鐵接駁時間的方式，主要分為兩部分計算，第一為市區前往交通樞紐點搭乘接駁運具之時間，本研究以臺鐵火車站為各區之交通樞紐點，全部設置為 20 分鐘，其中之左營站，為考量位在高雄市區北邊，接駁時間較長，以 30 分鐘計算。屏東的接駁時間同高雄站，增加之時間計在行車時間上。第二部份為臺鐵火車站前往高鐵站之接駁時間。若高鐵站與臺鐵站共構，則計算 5 分鐘步行時間；若是列車接駁之車站，需考量臺鐵之班距及其行車時間；若無臺鐵接駁，則考慮

其接駁公車之等車時間及行車時間。各高鐵站接駁時間參考數值，如表 4.3 所列。

表 4.2 高速鐵路票價及行車時間表(上為票價，下為行車時間)

車站	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營	屏東
台北	0	175	315	475	765	905	1020	1180	1480	1630	1665
桃園	21	0	140	300	590	725	845	1005	1305	1455	1490
新竹	34	13	0	155	450	580	700	860	1160	1310	1345
苗栗	49	28	15	0	290	425	540	700	1000	1150	1185
台中	52	41	28	19	0	130	250	410	710	860	895
彰化	81	60	47	32	13	0	115	275	575	725	760
雲林	92	71	58	43	24	11	0	155	455	605	640
嘉義	86	65	52	58	24	26	15	0	295	450	485
台南	105	84	71	77	43	45	34	19	0	150	185
左營	96	99	86	92	44	60	49	34	15	0	0
屏東	146	149	136	142	94	119	99	84	55	0	0

註：屏東為高鐵左營站轉乘臺鐵屏東線(票價加 35 元、行車時間加 50 分鐘)

表 4.3 台灣高鐵接駁時間(分鐘)

車站	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營	屏東
市區 →臺鐵	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30
臺鐵 →高鐵	5	45	35	20	20	20	40	30	40	5	5
總計	25	65	55	40	40	40	60	50	60	35	35

註 1：由臺鐵站接駁至高鐵站之時間，包含等車時間及行車時間。

註 2：等車時間以接駁車班距一半時間計算，超過 15 分鐘則以 15 分鐘計。

註 3：本研究未考慮桃園捷運機場線通車營運後，桃園站減少之接駁時間。

註 4：2011 年臺鐵新竹六家支線未通車前，新竹站接駁時間設定為 65 分鐘。

註 5：2011 年臺鐵台南沙崙支線未通車前，台南站接駁時間設定為 80 分鐘。

註 6：屏東為高鐵左營站轉乘臺鐵屏東線，增加之旅行時間計入行車時間內。

4.2 台灣高速鐵路運量預測結果(包含新增三站)



本研究根據歷史巨觀資料所校估出相關模式數值，預測 20 年內(2014 年至 2033 年)之情境。將社會經濟特性、各個運具相關之運具特性，帶入直接總體需求模式及總體羅吉特模式，得出之各年度運量預測結果，如表 4.4、4.5 所示。此外，將各個 O-D 起訖對的票價加入計算，則可得到各年度營收預測結果。而本研究不考量優惠票價措施所造成之運量成長影響。在營收預測上皆以原價來計算，因此營收值會略微高估，實際營收會因為優惠票價措施而略低。

表 4.4 民國 110 年台灣高鐵運量(下)及營收(上)預測值

起訖	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
台北	0	1285	2472	1007	16999	960	1131	2502	12564	24437
桃園	734	0	21	52	1114	349	399	455	726	3258
新竹	785	15	0	26	738	236	172	391	992	3291
苗栗	212	17	17	0	135	138	46	290	360	1000
台中	2222	189	164	47	0	84	252	437	824	2389
彰化	106	48	41	33	65	0	8	117	307	613
雲林	111	47	25	9	101	7	0	20	126	518
嘉義	212	45	45	41	107	42	13	0	116	296
台南	849	56	86	36	116	53	28	39	0	247
左營	1499	224	251	87	278	85	86	66	165	0

註 1：苗栗、彰化及雲林三站為新增高鐵車站。

註 2：運量單位為萬人，民國 110 年總運量預測值，既有車站為 8146 萬人，新增三站後為 9500 萬人。

註 3：營收單位為新台幣百萬元，民國 110 年總營收預測值，既有車站為 755 億元，新增三站後為 839 億元。

註 4：不考慮優惠票價，以基本費率 4.8108 元/公里原價計算。

註 5：營收僅考慮票箱收入，不考慮業外營收。

註 6：板橋站及新設南港站運量計入台北站；往返屏東之運量計入左營站。

表 4.5 民國 120 年台灣高鐵運量(下)及營收(上)預測值

起訖	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
台北	0	1552	3481	1395	25623	1097	1314	3154	20692	34752
桃園	887	0	7	28	1734	331	422	596	1003	4618
新竹	1105	5	0	10	1064	272	178	523	1203	4486
苗栗	294	9	6	0	158	142	38	349	463	1329
台中	3349	294	236	54	0	41	185	754	964	3762
彰化	121	46	47	33	32	0	3	97	355	765
雲林	129	50	25	7	74	3	0	8	140	513
嘉義	267	59	61	50	184	35	5	0	167	407
台南	1398	77	104	46	136	62	31	57	0	330
左營	2132	317	342	116	437	106	85	90	220	0

註 1：運量單位為萬人，民國 120 年總運量預測值，既有車站為 1 億 1758 萬人，新增三站後為 1 億 3224 萬人。

註 2：營收單位為新台幣百萬元，民國 120 年總營收預測值，既有車站為 1108 億元，新增三站後為 1205 億元。

註 3：其餘備註同表 4.4 所列。

由表 4.4 及表 4.5 的結果總計，可得到各個高鐵車站的運量及營收預測值，如表 4.6 及表 4.7 所示。從結果可以發現，新增三站的運量及營收貢獻將會比現在高鐵嘉義站更低，最低為高鐵雲林站，運量僅約為最多的台北站十五分之一。其主要原因在於城市規模較小，二三級就業人口數較低。而新增三站未來發展，其中之苗栗站運量會有小幅度提升，主要是往返於台北至苗栗的消費者使用量成長。而彰化及雲林的運量則呈現停滯的現象，依照本研究使用的變數資料分析，推測是由於經濟成長使小客車數量提升，短程旅次衰退原因多半移轉至小客車上，如台中至彰化、雲林等 O-D 起訖對；而長程旅次如台北至彰化、雲林等 O-D 起訖對則有顯著成長。

表 4.6 民國 110 年各高鐵車站運量及營收預測值

車站	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
運量	6730	1376	1428	498	3288	479	425	611	1427	2740
營收	63356	7658	8338	3053	22973	2811	2672	4622	16261	36050

註 1：運量單位為萬人，營收單位為新台幣百萬元。

註 2：數值計算包含進站及出站。

表 4.7 民國 120 年各高鐵車站運量及營收預測值

車站	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	雲林	嘉義	台南	左營
運量	9683	1745	1932	616	4797	484	409	809	2130	3845
營收	93059	10292	11223	3912	34284	3102	2802	6055	25317	50961

註 1：運量單位為萬人，營收單位為新台幣百萬元。

註 2：數值計算包含進站及出站。

考慮時間序列預測值，加入 2007 年營運至 2013 年運量及營收實際值、預測值，及 2014 年至 2033 年 20 年間之預測值。結果如圖 4.1 及 4.2 所示。

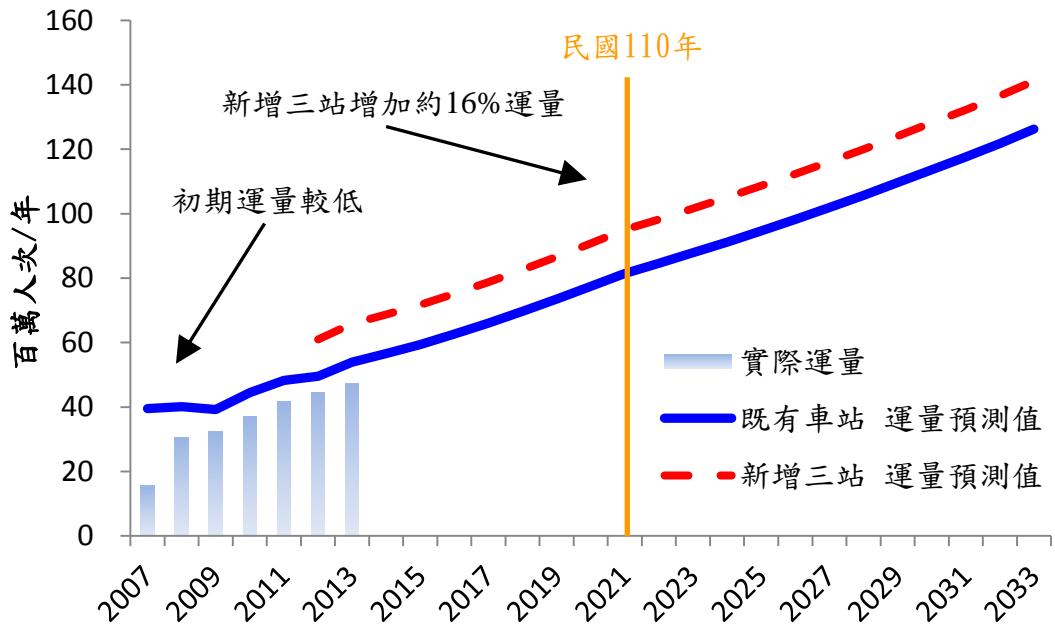
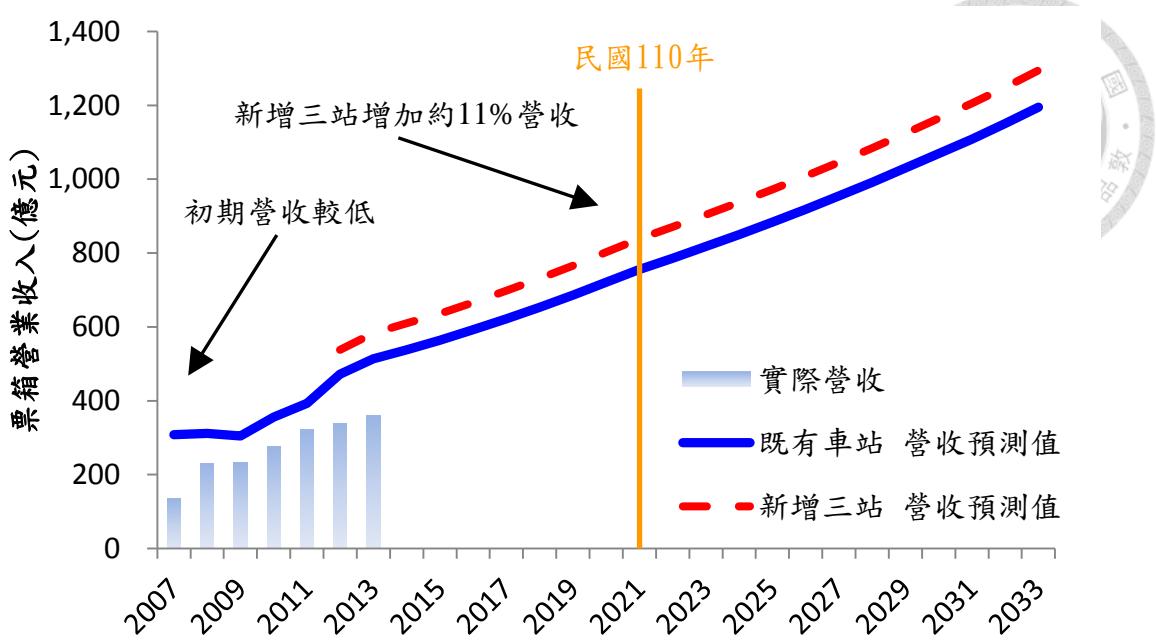


圖 4.1 台灣高鐵未來年運量預測結果(包含新增三站)

2007 年台灣高鐵通車營運初期，接駁系統、票務系統等尚未建置完成，消費者對於新運具不熟悉，多數無法權衡新運具的效用為何，使得使用高速鐵路的消費者較少。而隨著時間遞演，這些系統逐漸建置完善，廣告推出使運具曝光度越來越高，消費者逐漸轉移至高速鐵路上，使運量回復至「正常水準」。這樣的現象，本研究將其稱為「運量移轉延滯效應 (lag effect)」，即新運具初期運量會偏低，待時間推演後便回復至正常水準。這樣的延滯效應可以營運策略處理，加速運量回到正常水準，如：持續推出優惠票價措施、免費試乘或是積極從各個層面打廣告等，吸引消費者來「嘗試」這項新運具，使之有權衡新運具效用的機會。



新增三站(苗栗、彰化及雲林)於民國 110 年(2021 年)可多創造約 16% 的年運量，若將各 O-D 起訖對的票價加入計算，則可得到 11% 的額外年營收(不考慮業外營收)。需注意的是，由於會受到運量移轉延滯效應的影響，新增三站營運初期的運量及營收成長會較為有限，但對長期而言，本研究結果顯示新增三站對兩者皆有正向幫助。

比較民國 110 年與 120 年的預測結果，顯示新增三站雖有正向幫助，但其成長性較低。台灣高鐵年運量及營收成長的主要來源，仍由主要的城市(台北、台中、台南及高雄)所主導，增加這些主要 O-D 起訖對之高速鐵路競爭力，如提升接駁系統服務水準、持續推出票價優惠等措施，可有效創造更多客源及營收值。

4.3 敏感度分析



本研究之敏感度分析將分別探討各個運具之運具特性(旅行成本及旅行時間)對台灣高鐵運量及營收之影響。

4.3.1 高速鐵路運具特性敏感度分析

高速鐵路營運條件及運具特性為直接影響高速鐵路運量的因素，若其服務水準較差，則可預見的為運量及營收值降低。

4.3.1.1 高速鐵路接駁時間及旅行時間

高速鐵路接駁時間為影響高鐵運量的重要因子，本研究調整各站接駁時間數值做敏感度分析，運量與營收預測值結果如圖 4.3、圖 4.4 所示。其中，各站接駁時間減少 5 分鐘即代表起訖站皆減少 5 分鐘，即旅行時間減少 10 分鐘。而與臺鐵同名車站共構之意為所有高鐵站設置於市中心，毋須在新設置接駁系統。

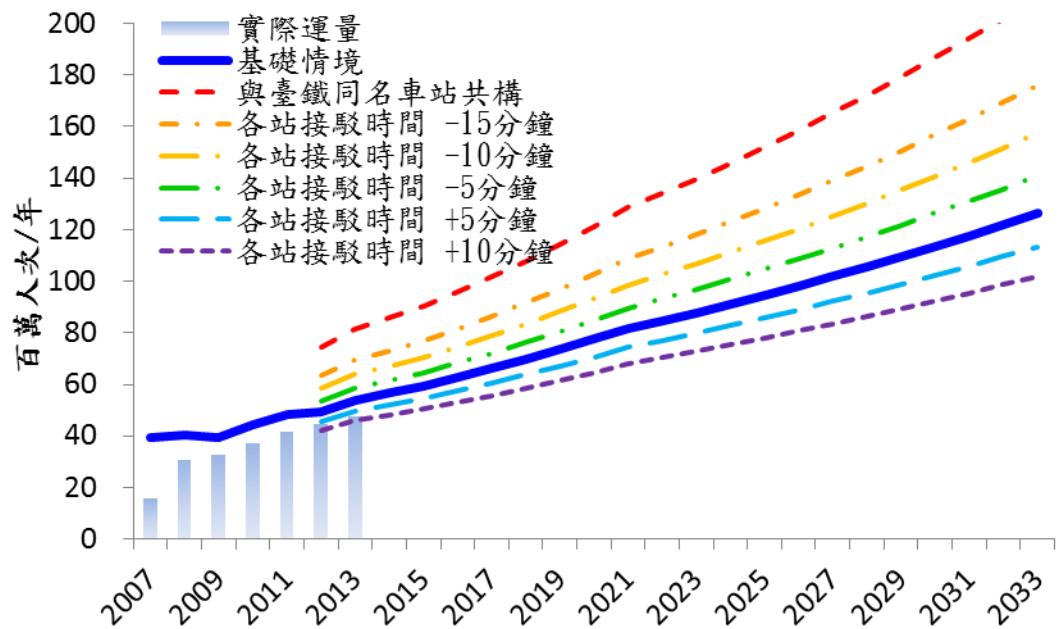


圖 4.3 高速鐵路接駁時間敏感度分析(運量)

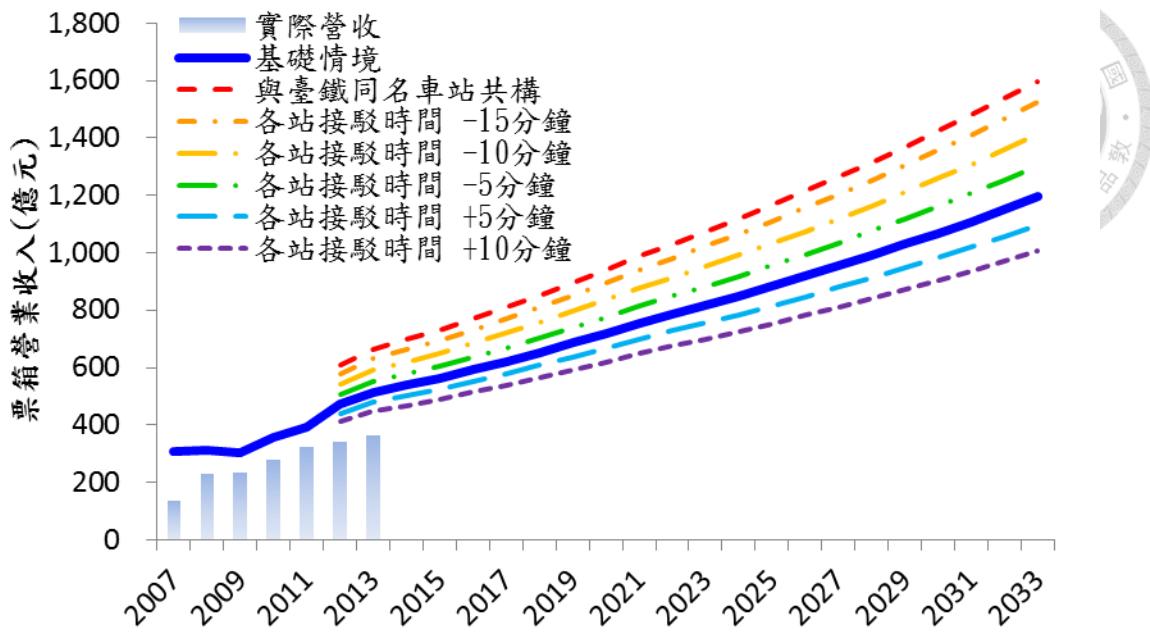


圖 4.4 高速鐵路接駁時間敏感度分析(營收)

由結果可知，當接駁時間越長，造成運具水準降低，會使運量及營收減少。當接駁時間越短，由數值分析發現，會吸引大量短途旅次(包含通勤旅次)使用高速鐵路，使得運量大為提升。若台灣高鐵比照韓國高速鐵路 (Korean Train eXpress, KTX) 的設計方式，將高速鐵路設於傳統鐵路車站(共構車站)，則接駁時間將大為減少，消費者在選擇運具會將高速鐵路視為「傳統鐵路升級版」，或稱其為「超級自強號」。本研究按照此情境之接駁時間數值(等同傳統鐵路接駁時間)計算，得出之結果顯示運量會提升 55%，營收提升 30%，顯示此舉會吸引大量的短途旅次。不過應注意的是，將高鐵車站設於市中心需較昂貴的土地徵收費用、建設費用；建設期間所造成之交通衝擊難以衡量；大量的短途旅次消費者佔據高鐵車廂，使服務水準降低；傳統鐵路軌距與高速鐵路不同，無法共用軌道，需額外增設站場設施等種種因素，使得高速鐵路建設、營運窒礙難行。本研究僅針對接駁時間調整所產生的效益做敏感度分析，不考慮負面影響。高鐵車站設置於市中心是否為最佳方案，尚需從各個層面討論之。

4.3.1.2 高速鐵路旅行成本(票價)

高速鐵路票價同為影響高鐵運量的重要因子，本研究調整基本費率做敏感度分析，運量與營收預測值結果如圖 4.5、圖 4.6 所示。

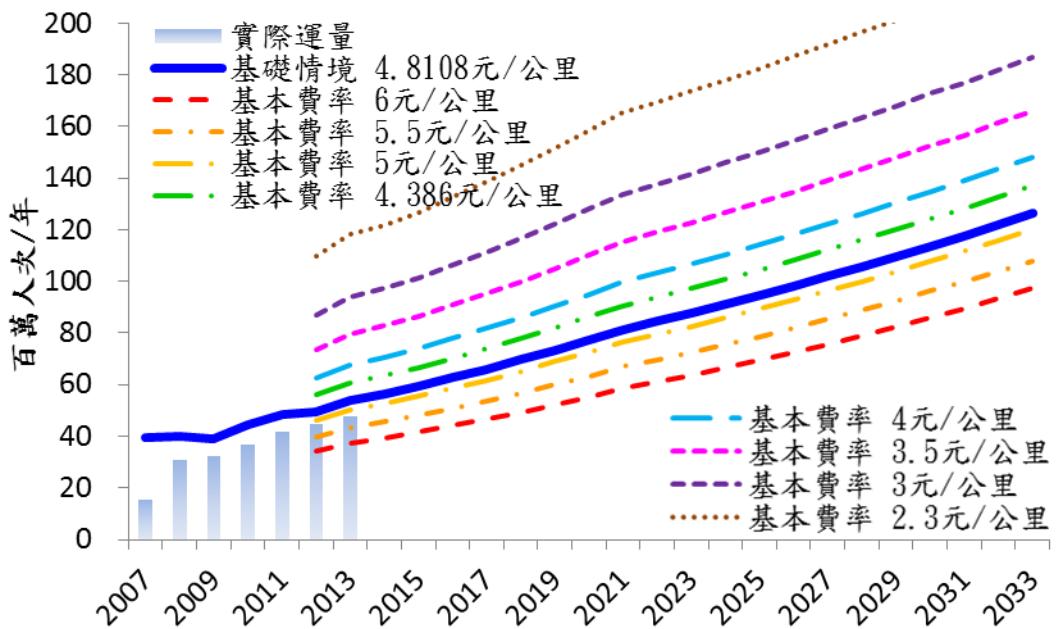


圖 4.5 高速鐵路基本費率敏感度分析(運量)

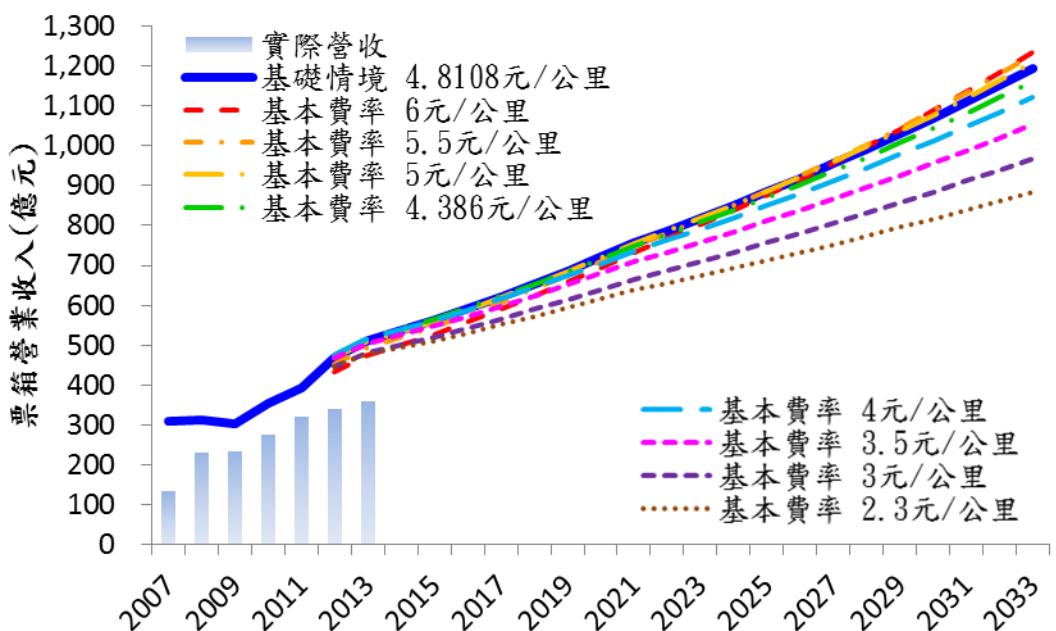


圖 4.6 高速鐵路基本費率敏感度分析(營收)

由於台灣高鐵並非完全壟斷或完全競爭之市場，根據一般「供需曲線」的原

理，當票價/旅行成本越高時，需求量便會越低，從運量統計值的觀點來看，會期望票價越低，運量越高為佳。但如果考量營收值的影響，可發現票價在某個區將有最高營收值。本研究將各個 O-D 起訖對之原始票價(不考慮優惠票價)乘上運量值，得到總營收值，並加入新增三站後之預測值，其結果如圖 4.7 所示。

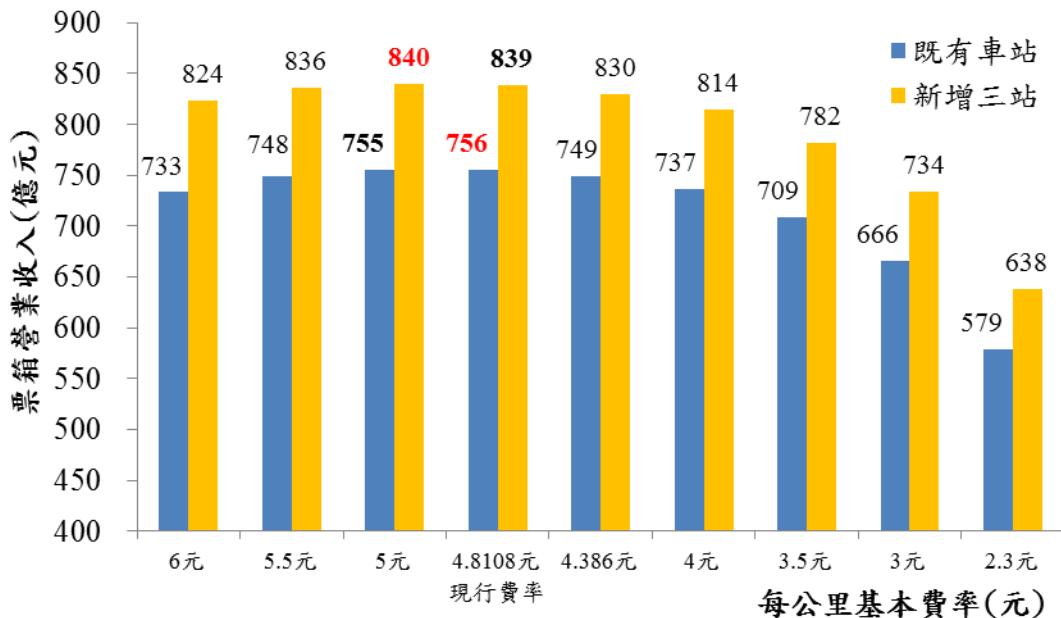


圖 4.7 高速鐵路基本費率敏感度分析(民國 110 年營收預測值)

以民國 110 年營收預測值來看，當基本費率訂在約每公里 5.0 元時，可創造最大之營收值。而現行基本費率為每公里 4.8108 元，與最高營收值相近，顯示目前台灣高鐵公司所制定之票價算是合適。而制定優惠票價措施可有效再額外創造運量及營收。

由於時空環境不同，1991 年 Sofrerail 所訂定之基本費率為每公里 2.3 元，1993 年 MVA 為每公里 3 元，以現今社會經濟條件來看，本研究結果顯示，運量雖然較高(前者約 2 倍，後者約 1.6 倍)，但營收值卻不是最佳解。

4.3.2 小客車運具特性敏感度分析及油價情境分析



小客車佔有西部走廊 70% 的總體交通量，其運具特性同為影響高速鐵路運量的重要因素，若其服務水準較差，則可預見對於高速鐵路較為有利，其運量及營收值將會提升。

4.3.2.1 小客車旅行時間

小客車由於具備及門服務之特性，旅行時間相對於其他大眾運輸工具較少。本研究以總體小客車旅行時間平均值做敏感度分析，高速鐵路運量預測值結果如圖 4.8 所示。可發現每調整 10% 小客車旅行時間，約影響 8% 的高速鐵路運量值，影響至鉅，若塞車情形日益嚴重，則對高速鐵路運量將有正向影響。

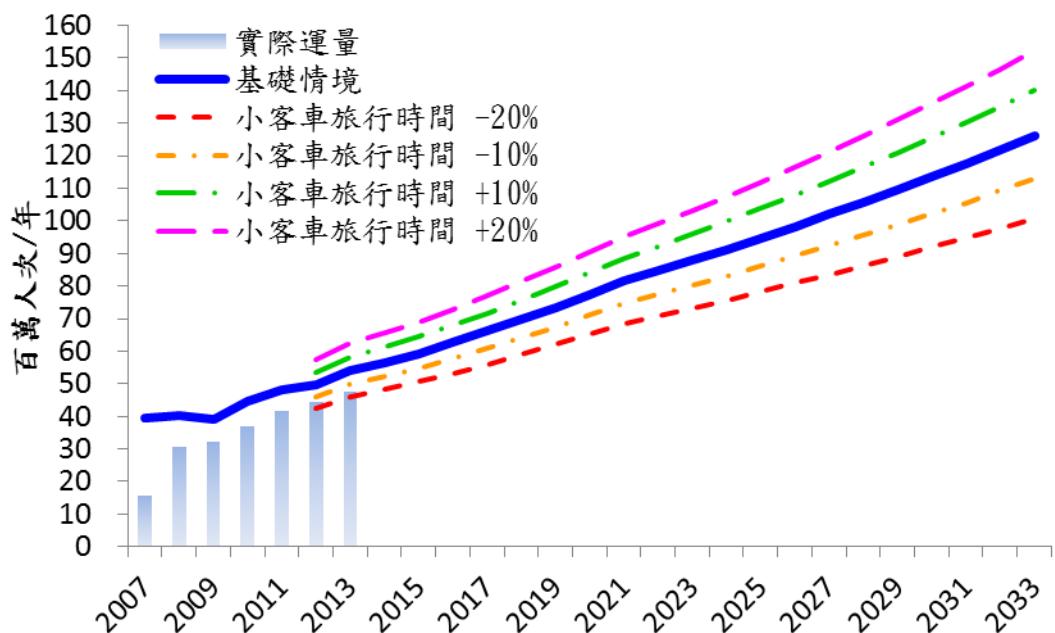


圖 4.8 小客車旅行時間敏感度分析(運量)

4.3.2.2 高速公路收費(ETC)基本費率

小客車行駛高速公路需支付過路費，其費用計入小客車旅行成本。現行 ETC 基本費率為 200 公里內每公里 1.2 元，200 公里以上為基本費率 75 折，為每公里 0.9 元。本研究以調整 ETC 基本費率做敏感度分析，高速鐵路運量預測值結果如

圖 4.9 所示。可發現情境分析之結果，影響不到 5% 的高速鐵路運量值，顯示 ETC 的基本費率不易影響消費者使用小客車之意願。

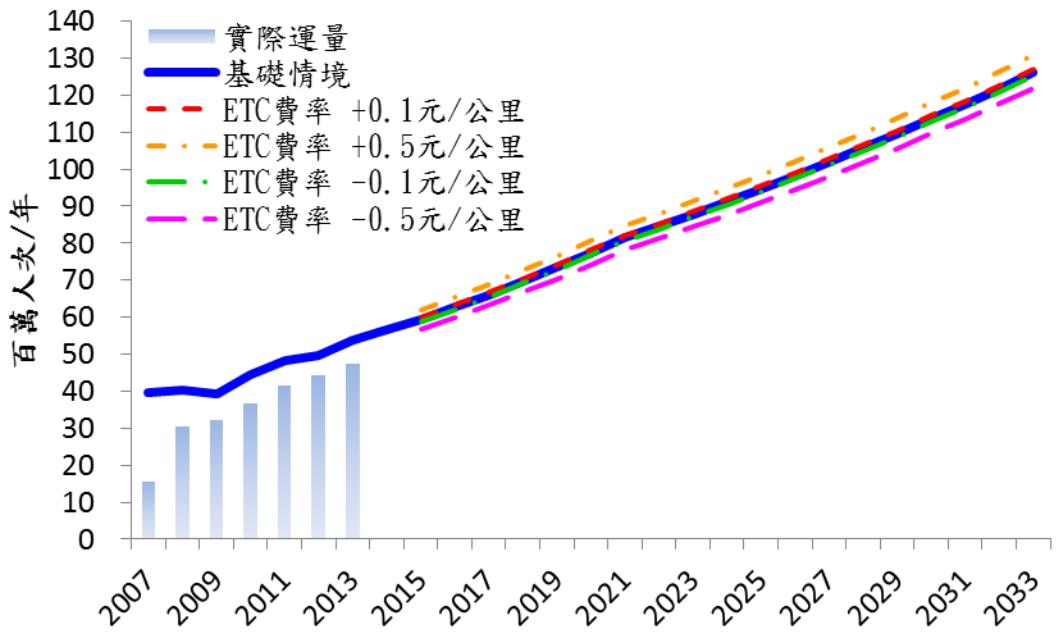


圖 4.9 小客車通行費(ETC)敏感度分析(運量)

4.3.2.3 小客車平均乘載人數

小客車旅行成本需考量平均乘載人數。當平均分擔成本的人數越多，其成本便會大幅下降。本研究以平均 2 名乘載人數作為計算值，並以平均 1.5 名及 2.5 名乘載人數作敏感度分析。高速鐵路運量預測值結果如圖 4.10 所示。可發現情境分析之結果，在平均乘載人數 1.5 人時，即小客車旅行成本較基礎情境增加 33% 時，會有大量的小客車消費者移轉至其他運具，高速鐵路是其一，增加約 17% 運量。而在平均乘載人數 2.5 人時，即小客車旅行成本較基礎情境減少 20%，便會有一部份的消費者移轉至小客車上，高速鐵路減少約 10% 運量。小客車平均乘載人數影響高速鐵路運量預測結果甚鉅，因此需謹慎使用之。

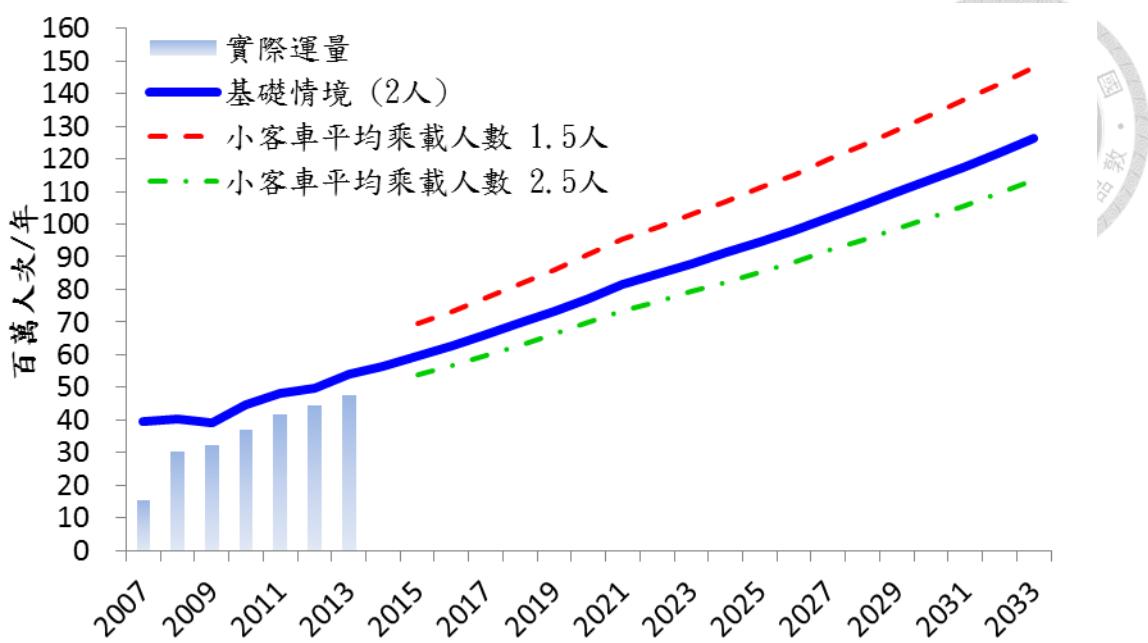


圖 4.10 小客車平均乘載人數敏感度分析(運量)

4.3.2.4 油價(原油價格)情境分析

油價為小客車旅行成本之重要來源，本研究假設所有小客車使用 95 無鉛汽油。油價之未來預測值，為根據美國能源資訊局 (U.S. Energy Information Administration, EIA) 2013 年所預測之資料，如圖 4.11 所示。

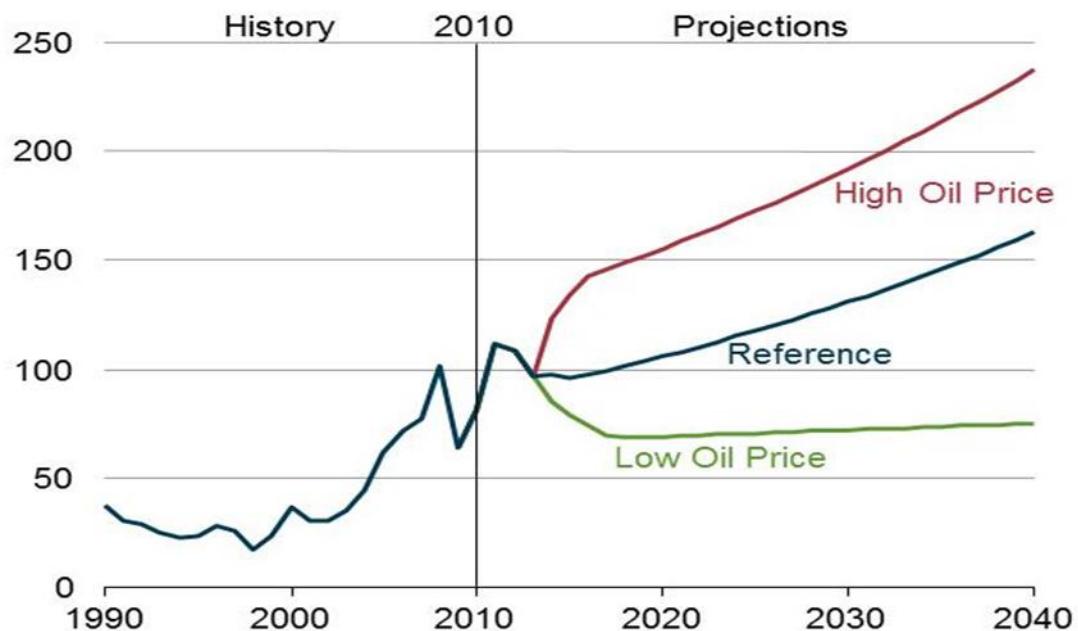


圖 4.11 國際原油價格(美金)預測值(美國能源資訊局，2013)

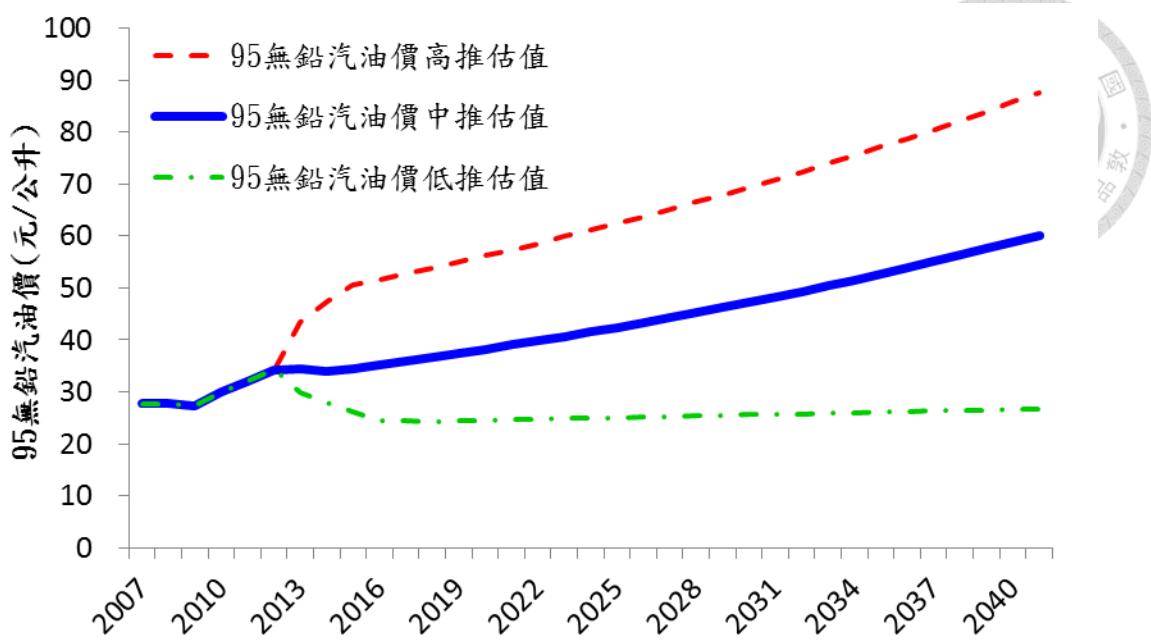


圖 4.12 國內 95 無鉛汽油價格預測值

由於油價未來趨勢變動幅度甚大，分為高中低三種情境，本研究依照其比例計算國內 95 無鉛汽油價格，如圖 4.12 所示。

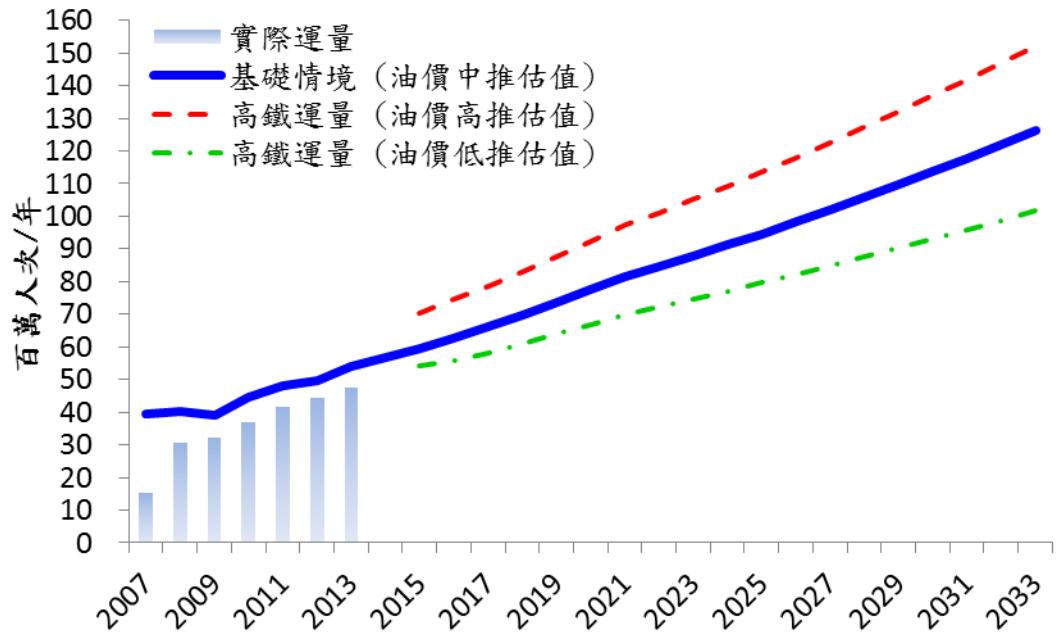


圖 4.13 油價情境分析(運量)

小客車旅行成本之基礎情境是採用油價中推估值計算，再根據高推估值及低推估值做情境分析。高速鐵路運量預測值結果如圖 4.13 所示。在油價高推估值

情境條件下，會使高速鐵路運量增加約 20%；油價低推估值情境會使高速鐵路運量減少約 14%。顯示油價也會使高速鐵路運量產生劇烈的變化。



4.3.3 國道客運運具特性敏感度分析

國道客運同為大眾運輸系統之一，佔西部走廊約 10% 的交通量，多數消費者選擇其作為城際運具之主要考量在於低廉的票價。相對於高票價，低旅行時間的高速鐵路而言，兩者市場是有所區隔的。

4.3.3.1 國道客運旅行時間

國道客運旅行時間較長、條件變化較大，不像軌道運輸系統有固定之時刻表時間，若遇到道路擁塞情況，旅行時間會變得更加無法掌握。在假日時，若旅行時間增長將會使一部份消費者感到厭煩，致使移轉至高速鐵路上，增加 20% 的總體國道客運旅行時間會使高速鐵路增加 6% 的運量。而國道客運旅行時間若減少 20%，則高速鐵路的時間競爭優勢會變差，加上票價低廉因素，會使一部分的高鐵消費者移轉至國道客運上，使其運量減少 10%。高速鐵路運量預測值結果如圖 4.14 所示。

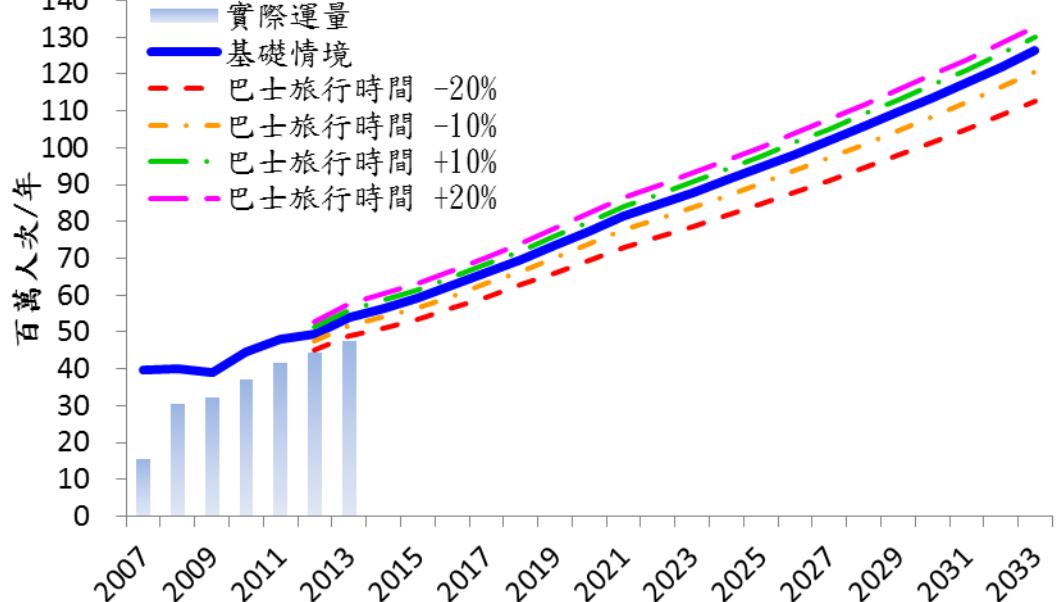


圖 4.14 國道客運(巴士)旅行時間敏感度分析(運量)

4.3.3.2 國道客運旅行成本(票價)

國道客運旅行成本低廉，為其最大的優勢，在票價上與高速鐵路有市場區隔，因此其旅行成本變化，幾乎不影響高速鐵路的運量(約 2%)。高速鐵路運量與營收預測值結果如圖 4.15 所示。

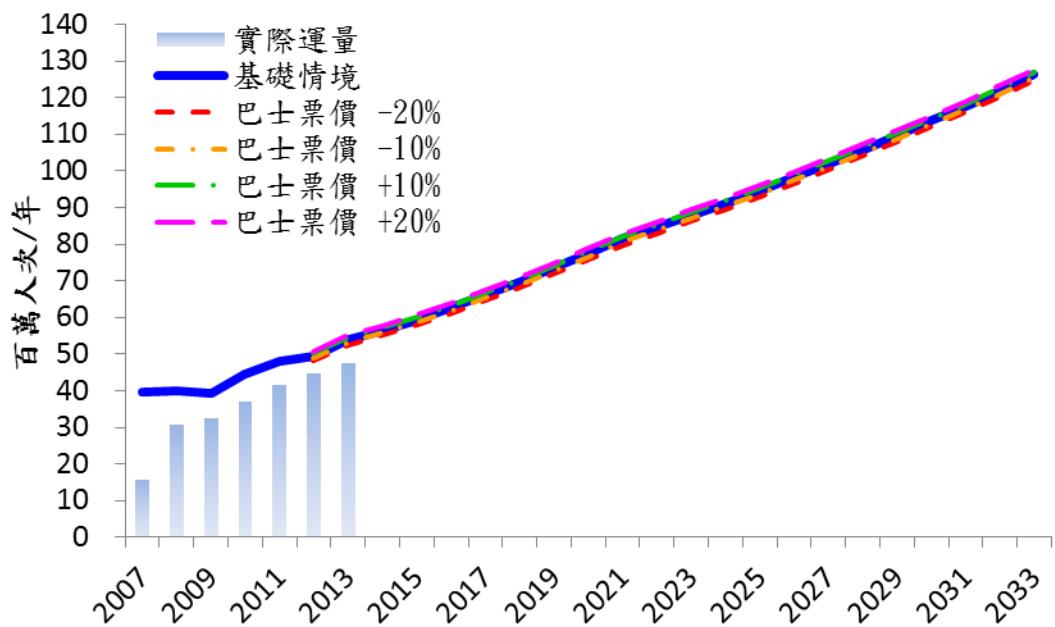


圖 4.15 國道客運(巴士)票價敏感度分析(運量)

4.3.4 傳統鐵路運具特性敏感度分析

傳統鐵路同為大眾運輸系統之一，佔西部走廊約 10% 的交通量，多數消費者選擇其作為城際運具之主要考量在於短途通勤以及次要城市的服務，主要城市搭乘臺鐵的長途旅次不多。比較票價，同樣旅行時間服務水準可以選擇國道客運；而比較旅行時間，又不如小客車及高速鐵路。在市場定位上比較模糊，通常僅能彌補其他運具服務不及地區。若要在主要城市與其他運具競爭長途旅次，則除非運具特性有大幅度改變，否則並不適合制定這樣的策略。

4.3.4.1 傳統鐵路旅行時間

傳統鐵路旅行時間較長，有固定之時刻表時間，但若遇到假日旅客數較多時，

會有列車延誤的狀況，旅行時間會比原本稍長，同樣會使一部份消費者感到厭煩，致使移轉至高速鐵路上。增加 20%的總體傳統鐵路旅行時間會使高速鐵路增加 4%的運量。而傳統鐵路旅行時間若減少 20%，則高速鐵路的時間競爭優勢會變差，使高鐵消費者移轉至傳統鐵路上，使其運量減少 8%。高速鐵路運量預測值結果如圖 4.16 所示。

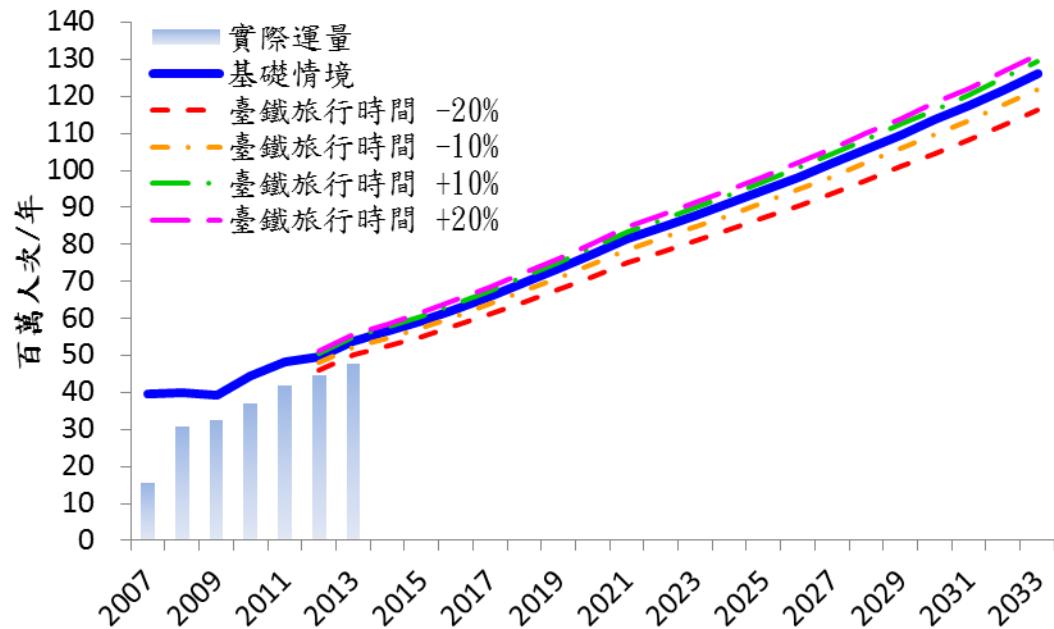


圖 4.16 臺鐵旅行時間敏感度分析(運量)

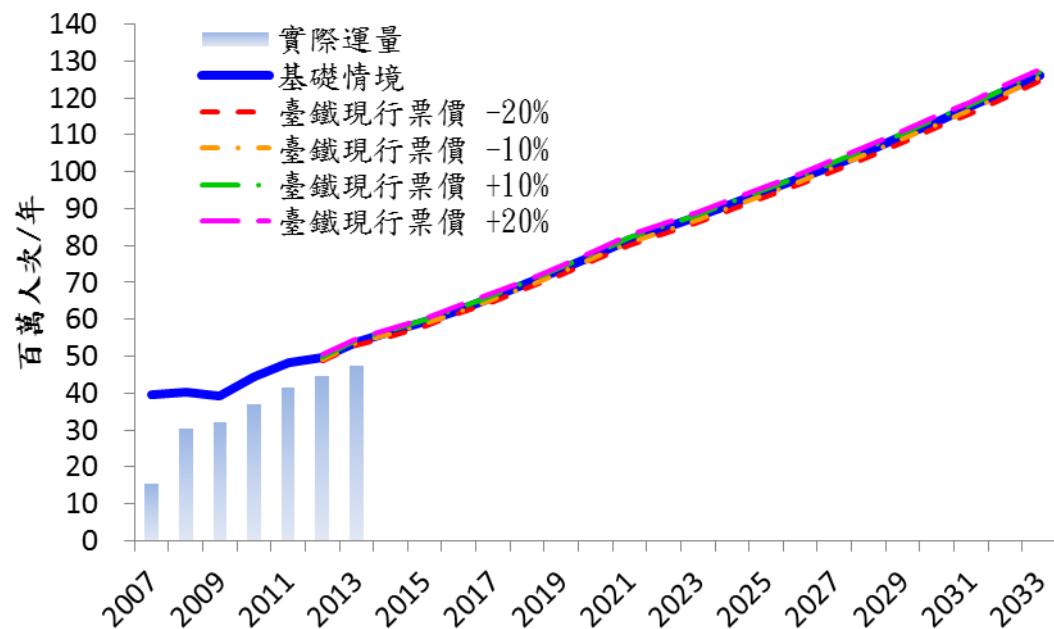


圖 4.17 臺鐵票價敏感度分析(運量)

4.3.4.2 傳統鐵路旅行成本(票價)

傳統鐵路旅行成本皆在高速鐵路及國道客運之間，在長途旅次的票價或時間競爭上不如其他運具，服務對象有區別，因此其旅行成本變化，也幾乎不影響高速鐵路的運量(約 1.5%)。高速鐵路運量與營收預測值結果如圖 4.17 所示。



4.4 案例分析小結

本研究以台灣高速鐵路系統作為分析對象，計算未來運量及營收預測值，以及針對各個可選擇城際運具之運具特性做敏感度分析。

新運具通車營運初期，接駁系統、票務系統等尚未建置完成，消費者對於新運具不熟悉，使得運量較低。但隨著時間遞演，系統逐漸建置完善，廣告推出使其曝光度增加，消費者便會移轉至其上，使運量回復至「正常水準」。本研究將其稱為「運量移轉延滯效應」，這樣的效應可以營運策略加速運量回到正常水準，如：持續推出優惠票價措施、免費試乘或是積極從各個層面打廣告等，吸引消費者來使用新運具。

新增三站(苗栗、彰化及雲林)的運量及營收貢獻將會比現在高鐵嘉義站更低，最低為高鐵雲林站。其主要原因在於城市規模較小，二三級就業人口數較低。新增三站的長途旅次會持續成長，但短程旅次會由於小客車持有量成長而衰退。總體而言，三站長期的運量僅會小幅度成長。

新增三站於民國 110 年可多創造約 16% 的年運量、11% 的額外年營收(不考慮業外營收)。而營運初期會受到運量移轉延滯效應的影響，運量及營收成長會比較有限，但對長期而言，本研究結果顯示新增三站對營運會有正向幫助。此外，新增三站雖有正向幫助，但其成長性較低。台灣高鐵年運量及營收成長的主要來源，仍由主要的城市(台北、台中、台南及高雄)所主導，增加這些主要城市之高速鐵路競爭力，如提升接駁系統服務水準、持續推出票價優惠等措施，可有效創造更多客源及營收值。

高速鐵路接駁時間減少，可有效的吸引短途旅次(包含通勤旅次)，使得運量大為提升。若台灣高鐵比照韓國高速鐵路的設計方式，將高速鐵路設於傳統鐵路車站(共構車站)，得出之結果顯示運量會提升 55%，營收提升 30%。不過應注意的是，本研究僅從接駁時間做敏感度分析，只考慮正面效益，不考慮高鐵車站設於市中心之負面影響。

高速鐵路票價越低，則會使運量提升。但如果加入營收值的考量，依照本研究的結果顯示，基本費率訂在每公里 5.0 元附近時，可創造最大之營收值。而現行基本費率為每公里 4.8108 元，與最高營收值相近，顯示目前台灣高鐵公司所制定之票價算是合適。而制定優惠票價措施可再有效創造額外運量及營收。

小客車佔有西部走廊總體交通量 70%，其運具特性影響高速鐵路運量甚鉅，本研究針對小客車旅行時間、ETC 費率、平均乘載人數及油價做敏感度分析，顯示這些因素除了 ETC 費率以外，皆對高速鐵路運量有很大的影響，在計算這些數據時，需審慎選擇。

國道客運同為大眾運輸系統之一，佔西部走廊約 10%的交通量，多數消費者選擇其作為城際運具之主要考量在於低廉的票價。相對於高票價、低旅行時間的高速鐵路而言，兩者市場是有所區隔的。本研究結果顯示國道客運票價略微改變幾乎不影響高速鐵路的運量。而國道客運旅行時間縮短會使高速鐵路的時間競爭性變差，使得一部分高鐵消費者移轉至其上。

傳統鐵路同為大眾運輸系統之一，佔西部走廊約 10%的交通量，其運具特性介在其他可選擇城際運具之間，市場定位模糊。多數消費者選擇傳統鐵路作為城際運具之主要考量在於短途通勤以及次要城市的服務，通常為彌補其他運具服務不及地區。本研究結果顯示傳統鐵路旅行時間縮短同樣會使高速鐵路的時間競爭性變差，但此因素影響力不及國道客運。

第五章 結論與建議



本研究以台灣高速鐵路系統作為分析對象，以歷史社會經濟特性、各運具運具特性及交通量巨觀資料，並使用台灣高鐵通車後之實際資料驗證，建立直接總體需求模式與總體羅吉特模式。爾後使用其模式預測未來台灣高鐵年運量值。本章將對模式建構、預測結果及數值分析做出結論，並對後續研究發展給予建議。

5.1 結論

- (1) 新運具加入後，會由於機動性增加而產生額外之「衍生交通量」，這些運量不易衡量，本研究於直接總體需求模式加入平均、最小旅行成本及平均、最小旅行時間等運具特性因子，計算新運具所改變之總體運具特性，進而求得衍生交通量值。經計算結果，高速鐵路運量約 5%來自於衍生交通量。
- (2) 直接總體需求模式針對每一對 O-D 起訖對計算總體交通量，可以考量到不同城市間之社會經濟特性，其結果較為精確。模式之變數比照「重力模式」來設計，可同時考量到兩城市特性對交通量之影響，經本研究分析結果，採用這些設計之變數指標來校估模式係數，其模式解釋能力會較高。
- (3) 新運具營運初期，由於接駁系統、票務系統等尚未建置完成，消費者對於新運具不熟悉，將有「運量移轉延滯效應」的現象，使用新運具的消費者較少。待時間推演後即會回復至正常水準。此效應可以營運策略加速運量回到正常水準，如：持續推出優惠票價措施、免費試乘或是積極從各個層面打廣告等，吸引消費者來使用新運具。
- (4) 新增高鐵三站(苗栗、彰化及雲林)於民國 110 年可多創造約 16%的年運量、11%的額外年營收。營運初期會受到運量移轉延滯效應的影響，運量及營收成長比較有限，但對長期而言，對營運會有正向幫助。統計各站進出站運量預測值，新增三站的運量將會比現在高鐵嘉義站更低，其中最低為高鐵雲林站。其主要原因在於城市規模較小，二三級就業人口數較低。新增三站的長

途旅次會持續成長，但短程旅次會受到小客車持有量成長而衰退。

(5) 台灣高鐵年運量及營收成長的主要來源，由主要的城市(台北、台中、台南及高雄)所主導，增加這些主要城市之高速鐵路競爭力，如提升接駁系統服務水準、持續推出票價優惠等措施，可有效創造更多客源及營收值。

(6) 高速鐵路接駁時間減少，可有效的吸引短途旅次(包含通勤旅次)，使得運量大為提升。若台灣高鐵比照韓國高速鐵路(KTX)的設計方式，將高速鐵路設於傳統鐵路車站(共構車站)，本研究結果顯示，運量會提升 55%，營收提升 30%。本研究僅考慮接駁時間減少所帶來之正面效益，不考慮負面影響。

(7) 台灣高鐵基本費率訂在每公里 5.0 元附近時，可創造最大之營收值。而現行之基本費率為每公里 4.8108 元，與最高營收值相近，顯示目前台灣高鐵公司所制定之票價算是合適。

(8) 小客車佔台灣西部走廊 70%之總體交通量，油價、小客車旅行時間及小客車平均乘載人數等因素，會影響高速鐵路運量甚鉅。本研究結果顯示，小客車旅行時間每調整 1.2%，高鐵運量約有 1%的變化；而小客車旅行成本大約每調整 2%，會影響 1%的高鐵運量。

(9) 消費者選擇國道客運之主要考量在於低廉的票價。與高速鐵路為不同之經營市場。本研究結果顯示國道客運票價改變幾乎不影響高鐵運量，顯示市場有所區隔。而國道客運旅行時間縮短會使高速鐵路的時間競爭性變差，使部分高鐵消費者移轉至其上。研究結果顯示減少 20%國道客運旅行時間會使高鐵減少 10%運量。

(10) 傳統鐵路(臺鐵)的運具特性介於其他可選擇城際運具之間，市場定位較為模糊，消費者選擇傳統鐵路主要是考量短途通勤以及次要城市間的服務，為彌補其他運具服務不及地區。研究結果顯示傳統鐵路票價改變僅略微影響高速鐵路的運量，市場同樣有所區隔。而傳統鐵路旅行時間縮短亦會使高速鐵路的時間競爭性變差。減少 20%傳統鐵路旅行時間會使高鐵減少 8%運量。

5.2 建議

(1) 本研究為依照台灣高鐵經驗設計之運量預測模式，最大之限制為無法衡量航空與高速鐵路間的競爭關係。由於台灣南北長僅約 400 公里，國內航空在高速鐵路通車營運後，即迅速衰退，兩者並存時間僅數年，競爭關係無法衡量，於後運量預測皆將國內航空移除。模式建構考量兩者競爭關係有待未來研究進行，可嘗試使用鄰近國家如日本及中國等巨觀資料有長距離之高速鐵路及國內航空競爭關係。

(2) 本研究分析對象以長途城際旅次為主要分析對象，包含商務、旅遊及返鄉等旅次目的，其中之通勤旅次計入商務旅次計算。不過，台灣高鐵當初設置於偏遠地區的其一目的為土地開發，未來將會有新城鎮於高鐵車站附近誕生，屆時會有許多人使用高速鐵路作為通勤運具。商務旅次與通勤旅次搭乘運具的頻率畢竟是不同的，未來可針對此類的通勤旅次做細部分析及探討。

(3) 依照歐洲經驗，國際機場基本上會設置高鐵站，但台灣高鐵桃園站並未設置於機場中，本研究不額外使用變數計算國際機場所帶來之客群。但實際情形為多數前往桃園國際機場之旅客，是使用台灣高鐵作為接駁運具，高鐵桃園站外有接駁公車前往機場。可調查各地區國際旅遊旅次量，設置新變數加入分析探討。

(4) 即將通車之桃園捷運機場線主要服務客群為往返機場之旅客，目前路線經過地區為桃園縣較偏遠之城鎮，未影響市中心的運輸接駁服務。未來桃園捷運若有延伸路線至中壢市中心，亦或是其餘桃園捷運路線通車後，可視情況調整高鐵桃園站的接駁時間。再者，亦可在台北至桃園間加入這項新運具，並探討其「運量移轉延滯效應」的影響。

(5) 本研究選定之 11 個城市皆以行政區為畫分界線，未考慮南投縣之消費者。待高鐵彰化站通車後，可以針對南投縣多少比例消費者願意使用高速鐵路，及選擇使用高鐵台中站或是高鐵彰化站等對運具選擇、站點選擇做探討。

(6) 由於目前無法預知未來新增三站之營運策略為何，本研究假設原有高鐵消費者的權益不受影響，即旅行時間、票價、班次數等因素皆不改變，僅考量正面效益，不考慮負面影響。待實際營運後，可調整高速鐵路相關運具特性，以探討新增三站的負面影響。

(7) 本研究之直接總體需求模式所參考之歷史巨觀資料為「封閉區間」，包含 1998 年至 2006 年的資料，該區間的社會經濟變動趨勢並無法正確地解釋未來 20 年趨勢，在計算結果中可發現預測皆為穩定成長的狀況，為本研究無法避免的問題。未來研究可採用「時間序列」的方式預測高速鐵路運量，每一期的運量皆會受到前一期數據的影響，該方法相對不易有過度樂觀預測的情形。

參考文獻



1. Ashiabor, S., H. Baik, and A. Trani. Logit models for forecasting nationwide intercity travel demand in the United States. *Transportation Research Record*, No. 2007, 2007, pp. 1–12.
2. Cambridge Systematics, Inc., (2007). Bay Area/California High-Speed Rail Ridership and Revenue Forecasting Study. *Prepared for Metropolitan Transportation Commission and the California High-Speed Rail Authority*.
3. Chen, Z.H., (2010). Analysis of factors affect high speed train ridership in the United States -The acela express case study, *51st Annual Transportation Research Forum 2010*, Vol. 1, pp. 1-15.
4. Federal Railroad Administration, U.S. Department of Transportation, (2008). Desert Xpress Ridership Forecast Review, *High-Speed Ground Transportation for America*.
5. Goolsby, M.E. and Walker, E.L., (1993). Texas High Speed Rail ridership forecasting, *High Speed Ground Transportation Systems I*, pp. 256-265.
6. Peters, J.C., Han, E-P., Peeta, S. and DeLaurentis, D., (2013), Analyzing the Potential for High-speed Rail as Part of the Multimodal Transportation System in the Midwest Corridor.
7. Kao, T.C., Lai, Y.C. and Shih, M.C., (2010). Privatization Versus Public Works for High-Speed Rail Projects, *Transportation Research Record*, No. 2159, pp. 18-26.
8. Lee, J.H. and Chang J.S., (2006). Effects of high-speed rail service on shares of intercity passenger ridership in South Korea, *Transportation Research Record*, No. 1943, pp. 31-42.
9. Li, Y.T., Schmöcker, J.D. and Satoshi, F.J., (2014). Demand Adaptation towards New Transport Modes: Case of High Speed Rail in Taiwan, *Transportation*



10. Liu, R.F. and Li, A., (2012). Forecasting high-speed rail ridership using a simultaneous modeling approach, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 35, No. 5, pp. 577-590.
11. Maria, B., (2013). Forecasting Demand for High Speed Rail, *Transportation Research Board 2013 Annual Meeting*.
12. Pagliara, F., José M.V. and Concepción R., (2012). High-speed rail versus air transportation, *Transportation Research Record*, No. 2289, pp. 10-17.
13. Pita, A.L. and Arduin, J.P., (1993). Medium classic rail traffic: How to forecast the new high speed rail traffic, *High Speed Ground Transportation Systems I*, pp. 246-255.
14. Profillidis, V.A. and Botzoris, G.N., (2004). Econometric models for the forecast of modal shift in passenger demand for Greece, *Decision and Simulation in Engineering and Management Science - International Conference on Modelling and Simulation, ICMS'04*, pp. 153-154.
15. Provisional engineering office of high speed rail ministry of transportation and communications, Taiwan, Republic of China, (POHSR), (1991). The West Taiwan High Speed Rail Integrated Planning Project-Market Analysis, POHSR, Sofrerail General Consultant.
16. Provisional engineering office of high speed rail ministry of transportation and communications, Taiwan, Republic of China, (POHSR), (1992). Draft Report on Market Research for the High Speed Rail Demand Forecasting Study, POHSR, Transmark Consultant.
17. Provisional engineering office of high speed rail ministry of transportation and communications, Taiwan, Republic of China, (POHSR), (1993). West Taiwan Corridor HSR Market Study, POHSR, MVA Consultant.

18. Provisional engineering office of high speed rail ministry of transportation and communications, Taiwan, Republic of China, (POHSR), (1997). Ridership and Revenue Forecasts for HSR Privatisation, POHSR, MVA Consultant.

19. Senanu, A., Hojong, B. and Antonio, T., (2007). Logit Models for Forecasting Nationwide Intercity Travel Demand in the United States, *Transportation Research Record*, Vol. 2007, pp. 1-12.

20. Stopher, P.R., Metcalf, H.M.A., Wilmot, C.G., Catalina, A.J. and Schimpeler, C.C., (1999). Estimating patronage for a feasibility study of high-speed rail in Thailand, *Transportation Research Record*, No. 1691, pp. 12-18.

21. Tadi, R.R., Bondada, M.V.A. and Paul, B., (1993). Assumptions behind ridership forecasts for high speed ground transportation systems and their validity: The California-Nevada case study, *High Speed Ground Transportation Systems I*, pp. 299-312.

22. Taiwan High Speed Rail Corporation, (2005). Taiwan High Speed Rail Patronage and Revenue Study-Final Report, THSRC, MVA Hong Kong LTD. Consultant.

23. Transportation Research Board, (2013). Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition, Transportation Research Board.

24. U.S. Energy Information Administration, (2013). International Energy Outlook 2013, U.S. Energy Information Administration, http://www.eia.gov/forecasts/ieo/liquid_fuels.cfm

25. Williams, B.T. and Koppelman, F.S., (1993). Intercity travel demand modeling and forecasting for high speed rail service in the Quebec-Ontario Corridor, *High Speed Ground Transportation Systems I*, pp. 266-275.

26. Yao, E.J. and Morikawa, T.Y., (2005). A study of on integrated intercity travel demand model, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 39, No. 4 SPEC. ISSS., pp. 367-381.

27. 行政院內政部(2013)，「全國區域計畫」，行政院內政部，研究報告。

28. 行政院主計總處(2014)，「79 年、84 年、89 年、99 年人口及住宅普查」，行政院主計總處。

29. 行政院主計總處(2014)，中華民國統計資訊網，行政院主計總處。

30. 行政院經濟建設委員會(2012)，「中華民國 2012 年至 2060 年人口推計」，行政院經建會，研究報告。

31. 交通部運輸研究所(1993)，「台灣地區西部走廊高速運輸系統對整體運輸系統運量影響之研究」，交通部運研所，研究報告。

32. 交通部運輸研究所(1995)，「台灣地區整體運輸系統規劃—台灣地區整體運輸需求分析與預測之研究總報告書」，交通部運研所，研究報告。

33. 交通部運輸研究所(1996)，「第三期台灣地區整體運輸系統規劃—旅運特性及交通調查分析評估」，交通部運研所，研究報告。

34. 交通部運輸研究所(1999)，「第三期台灣地區整體運輸系統規劃—整體運輸系統供需預測與分析」，交通部運研所，研究報告。

35. 交通部運輸研究所(2005)，「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究(1/4)」，交通部運研所，研究報告。

36. 交通部運輸研究所(2006)，「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究(2/4)」，交通部運研所，研究報告。

37. 交通部運輸研究所(2007)，「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究(3/4)」，交通部運研所，研究報告。

38. 交通部運輸研究所(2008)，「城際運輸觀察展望分析研究(3/3)」，交通部運研所，研究報告。

39. 交通部運輸研究所(2009)，「國家永續發展之城際運輸系統需求模式研究(4/4)」，交通部運研所，研究報告。

40. 交通部運輸研究所(2012)，「第 5 期整體運輸規劃研究系列—運輸系統與社經發展趨勢研究(1/2)」，交通部運研所，研究報告。

41. 交通部運輸研究所(2012),「第 5 期整體運輸規劃研究系列—運輸系統與社會發展趨勢研究(2/2)」,交通部運研所,研究報告。

42. 交通部運輸研究所(2012),「第 5 期整體運輸規劃研究系列—城際運輸需求模式檢討及參數更新研究(1/3)」,交通部運研所,研究報告。

43. 交通部運輸研究所(2013),「第 5 期整體運輸規劃研究系列—城際運輸需求模式檢討及參數更新研究(2/3)」,交通部運研所,研究報告。

44. 交通部運輸研究所(2014),「85 年—100 年運輸研究統計資料彙編」,交通部運研所,統計資料。

45. 交通部觀光局(2014),「中華民國 90 年—101 年國人旅遊狀況調查」,交通部觀光局,調查資料。

46. 吳宗正(1995),「迴歸分析—理論與應用」,復文書局。

47. 凌瑞賢(2004),「運輸規劃原理與實務」,鼎漢國際工程顧問股份有限公司。

48. 監察院(2009),「監察院九十八年度專案調查研究報告」,監察院,研究報告。

49. 山脊型迴歸模式(2014),<http://www.unc.edu/~nielsen/soci709/m11/m11.htm>。

50. 分段式迴歸模式(2014),<http://202.121.199.249/foundrymate/lessons/data-analysis/24/244.HTM>。

51. 台灣中油股份有限公司(2014),汽柴燃油價格變動,台灣中油。

52. 台灣高鐵,<http://www.thsrc.com.tw/index.html>。

53. 交通部民用航空局,民航運輸統計資料,<http://www.caa.gov.tw/big5/content/index.asp?sno=186>。

54. 交通部高速鐵路工程局,<http://www.hsr.gov.tw/>。

55. 交通部國道高速公路局,<http://www.freeway.gov.tw/>。

56. 交通部臺灣鐵路管理局,<http://www.railway.gov.tw/tw/index.html>。

57. 國光客運,<http://www.kingbus.com.tw/guideRoute.php>。

58. 統聯客運,<http://www.ubus.com.tw/html/line/index.php>。

59. 和欣客運,<http://www.ebus.com.tw/ebus/information02.htm>。



60. 日統客運，<http://www.solarbus.com.tw/>。
61. 新竹客運，<http://www.hcbus.com.tw/big5/information.asp>。
62. 苗栗客運，<http://www.mlbus.com.tw/businfo.php>。
63. 台中客運，<http://60.249.10.173/3.php>。
64. 員林客運，<http://www.ylbus.com.tw/ie/p03.htm#>。
65. 台西客運，<http://www.taisibus.com/content/view/176/>。
66. 嘉義客運，<http://www.cibus.com.tw/modules/tinyd1/index>。
67. 高雄客運，<http://www.ksbus.com.tw/schedule/part2.htm>。

