

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

臺鐵列車座位配置之最佳化模式

A Seat Allocation Optimization Model for Taiwan Railway

研究生：賴筠涵

指導教授：邱裕鈞

中華民國一〇七年六月

臺鐵列車座位配置之最佳化模式

A Seat Allocation Optimization Model for Taiwan Railway

研 究 生：賴筠涵

Student：Yun-Han Lai

指導教授：邱裕鈞

Advisor：Yu-chiun Chiou

國立交通大學
運輸與物流管理學系
碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

June 2018

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年

摘要

環島鐵路為臺灣公共運輸主幹，具有運量大、汙染低且適合長途運輸等特性，透過大量資源及技術的投入，鐵路系統之運能逐漸提升。然而，運量持續增長，代表營運單位在擴充基礎建設時，管理機制亦要隨之調整。營收管理係由需求預測、定價策略、超額訂位及座位庫存管理四個層面組成，本研究旨在探討座位庫存管理對鐵路營收之影響。

本研究以臺灣東部鐵路作為研究對象，建構鐵路靜態座位配置模式及歸納鐵路動態座位調整方法。旅客需求具有隨機性，倘若僅以平均值作為座位規劃之依據，將無法適應尖離峰波動之需求情況，故於鐵路靜態座位配置模式中，將分析確定性需求模式及隨機性需求模式之效益，利用隨機規劃的方法，將旅客需求的變動性納入模式中考量。後續根據歷史運量資料建立運量推估模式，做為鐵路動態座位調整方法之保留座位及彈性座位之規劃依據，以即時之銷售資料進行推估，動態調整剩餘座位之規劃，使座位配置更符合現實情況，並達到最大化收益(最大化座位利用率)之目標。

根據438普悠瑪2015/12/01~2016/12/28歷史資料顯示，鐵路動態座位調整方法之座位利用率皆達90%以上，而列車收益部分，較確定性需求模式高約8.16%；而與隨機性需求模式相差約5.70%。即使旅客需求劇烈變動，鐵路動態座位調整方法仍具有不錯之效益。根據本研究所提出之配位公平性指標，於各起迄區間之需求滿足程度亦較先進先服務模式(FCFS)更為公平。而本研究僅探討單一對號列車之座位控管問題，後續研究亦可將多列車間相互影響及不同運具之選擇行為納入模式中考量。

關鍵字：鐵路、營收管理、座位配置、隨機規劃、配位公平性

A Seat Allocation Optimization Model for Taiwan Railway

Student : Yun-Han Lai

Advisor : Dr. Yu-chiun Chiou

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

Abstract

The railway is one of the trunk-line public transportation systems in Taiwan with properties of high capacity, reliability, low pollution and suitability for long-distance travel. With lots of invested resource and technical improvement, the capacity of railway systems has been gradually increased. However, the passenger demand in the peak periods continues to grow, without proper seat allocation and control models, it is hard to meet passenger expectation.

Based on this, this study aims to develop a dynamically-adjusted seat allocation model towards revenue maximization (i.e., seat utilization maximization) based on a stochastic seat allocation planning model and predicted passenger demands of all OD pairs under demand uncertainty. Firstly, a stochastic seat allocation model is proposed to optimally determine the numbers of seats allocated to specific OD pairs and the number of flexible seats opened to all OD pairs (first come first serve basis). Secondly, a resilient backpropagation neural network (RBNN) demand prediction model is trained by historical ticketing data. Lastly, a dynamically-adjusted seat allocation model under stochastic programming framework is then developed to dynamically adjust the allocated numbers of remaining seats inventory.

To show the applicability of the proposed models, a case study on the train #438 of Eastern line of Taiwan Railway Administration (TRA) has been conducted. The RBNN model was trained by one year ticketing data (December, 1, 2016 to December 28, 2017). The training and validation error rates (MAPE) were 24.86% and 25.92%, respectively. As to the results of seat allocation and dynamic seat control, the load factor of the study train can exceed 90% and the revenue is 8.16% higher than the static deterministic model and 5.70% higher than the static stochastic model. The proposed model performs well even if passenger demand drastically varies. In terms of fairness, i.e. the variation of percentages of demand served in all O-D pairs, the proposed model performs also better than the static models.

Keywords: Railway seat allocation, Stochastic programming, Dynamically adjusted, Resilient backpropagation neural network.

致謝

回首準備考研究所的記憶仍歷歷在目，然時間卻在不知不覺消逝，敲著致謝的同時，亦代表我的碩士生活即將告一個段落。兩年間臺北與桃園的求學歷程，受到諸位師長、同學、朋友及家人的幫助，使我能順利完成學位。

論文得以完成，最先要感謝的是指導教授邱裕鈞老師，謝謝老師這兩年給我的啟發及鼓勵，每當我對自己的研究方向及方法感到困惑時，老師總是能為我排解疑難，使我有動力繼續往前邁進，至此以後，我亦會繼續努力遵循並實踐老師所給予的教誨，並將所學學以致用。感謝口試委員藍武王老師及胡守任老師於口試時給予建議及見解，使論文更加完善，亦在此表達我的感謝之意。

在這段艱辛卻收穫良多的學術道路上，感謝實驗室的同學登艦、以萱、詩儒及俊甫，我們互相扶持，互相打氣，分享彼此的論文寫作經驗。朝著自己的目標一步步向前，亦感謝碩士班的意純、雅晴、育誠、冠維、博元、建忠、沛芊、以恆等人的鼓勵，為我們研究生涯裡帶來許多歡笑。感謝我的摯友們紫瑜、子芸、寶慶、宗翰、宗憲、聖閎、昭蓉、映廷、依玲，不時的關心，督促我早日完成論文，找我出來聚餐聊天，使我可以暫時忘卻面臨困境的煩悶。也要感謝系辦柳姊和何姊這段期間於行政上的熱情幫助。

最後，要感謝我摯愛的父母及弟弟，給予我無盡的關愛和溫暖，使我有放鬆及傾訴的管道，因為有你們的支持，讓我能堅持到最後，完成我的碩士論文。

因為有你們，研究生活充滿了動力，撰寫論文的黑夜裡才不孤寂，真誠的感謝一路上相伴的大家。最後，僅將此論文與各位分享。

賴筠涵 謹誌於

國立交通大學 運輸與物流管理學系碩士班

中華民國一〇七年六月

目錄

摘要.....	1
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 收益管理相關文獻.....	5
2.2 航空與鐵路營運特性之異同.....	7
2.3 航空及鐵路座位配置相關文獻.....	9
2.4 數學規劃相關文獻.....	12
2.5 小結.....	14
第三章 模式建構.....	15
3.1 研究假設.....	15
3.2 鐵路靜態座位配置模式.....	17
3.3 鐵路動態座位調整模式.....	19
3.4 運量推估模式.....	21
3.5 分析步驟.....	24
第四章 實例驗證.....	26
4.1 資料蒐集.....	26
4.2 運量推估模式之結果分析.....	36
4.3 鐵路靜態座位配置模式之結果分析.....	39
4.4 鐵路動態座位調整方法之結果分析.....	47
第五章 結論與建議.....	55
5.1 結論.....	55
5.2 建議.....	56
參考文獻.....	57

表目錄

表 2-1 航空及鐵路座位配置相關文獻整理	11
表 2-2 臺鐵營收管理相關文獻	12
表 3-1 類神經網路種類	22
表 3-2 MAPE 值尺度表	24
表 4-1 臺鐵 2016 年各車種座位利用率	27
表 4-2 普悠瑪列車座位資訊表	28
表 4-3 438 車次時刻表	29
表 4-4 438 車次站點合併情況	30
表 4-5 2016 年各起迄區間平均運量	30
表 4-6 各起迄區間平均潛在需求	32
表 4-7 台鐵平日旅次起迄需求表	33
表 4-8 台鐵假日旅次起迄需求表	34
表 4-9 各起迄區間費率	35
表 4-10 各起迄區間座位配置下限	35
表 4-11 類神經網路輸入層變數表	36
表 4-12 運量推估模式之績效結果	38
表 4-13 開賣天數變數之績效結果	38
表 4-14 確定性需求模式座位配置結果	39
表 4-15 隨機事件情境一(68%)之座位配置結果	43
表 4-16 隨機事件情境二(95%)之座位配置結果	44
表 4-17 隨機事件情境三(99.7%)之座位配置結果	44
表 4-18 平日情境需求模擬	49
表 4-19 假日情境需求模擬	49
表 4-20 銷售模擬結果	49
表 4-21 預測績效比比較圖	51
表 4-22 運量推估模式準確度對鐵路動態座位調整方法之影響	51
表 4-23 配位公平性指標	53

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	3
圖 2-1 非巢式座位配置	7
圖 2-2 巢式座位配置	7
圖 3-1 起迄區間示意圖	16
圖 3-2 兩階段隨機規劃模式	18
圖 3-3 彈性座位控制範例	20
圖 3-4 人工類神經網路示意圖	21
圖 3-5 單層隱藏層類神經網路架構圖	22
圖 3-6 分析步驟	25
圖 4-1 臺鐵營運路線圖	26
圖 4-2 臺鐵歷年年運量及日均量變化趨勢	27
圖 4-3 438 車次每日(累積)售票曲線圖	31
圖 4-4 438 車次平均運量及潛在需求對照圖	32
圖 4-5 類神經網路架構圖(運量推估模式)	37
圖 4-6 確定性需求模式各起迄區間配置占比	40
圖 4-7 各起迄區間潛在需求佔比	40
圖 4-8 438 車次平均運量及確定性需求模式配置結果對照圖	41
圖 4-9 常態分配分布圖	42
圖 4-10 EVPI 及 VSS 關係圖	43
圖 4-11 隨機性需求模式配置結果	45
圖 4-12 敏感度測試	45
圖 4-13 完全資訊解及隨機價值解比較圖	46
圖 4-14 各模式配置結果比較	47
圖 4-15 票務系統運作流程	48
圖 4-16 各座位配置模式之列車收益及座位利用率	50
圖 4-17 平均列車收益及座位利用率比較圖	52
圖 4-18 FCFS 模式與鐵路動態座位調整模式比較圖	54

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

臺灣環島鐵路及西部的臺灣高鐵為我國公共運輸之主要系統，具有運量大且穩定性高之特性，近年來，政府積極推行公共運輸政策，鼓勵民眾搭乘公共運輸工具，自民國 96 年臺灣高鐵通車後，年運量從 3058 萬人次提升至民國 106 年的 6057 萬人次；而臺鐵運量也從 1.8 億人次攀升至 2.3 億人次，顯見臺灣已成為以臺鐵、高鐵、捷運為主的軌道運輸時代。隨著鐵路運量持續增長，代表營運單位在擴充基礎建設時，管理機制也要隨之調整，方可維持其服務品質並創造更高利潤。

收益管理之概念起源於 1978 年美國解除航空管制，美國民航局降低了一直以來被嚴格控管的定價限制，至此，營收管理被廣泛應用於航空產業。根據美國航空公司(American Airlines)將收益管理定義為「在適當的時間，以適當的價格，將適當的座位配銷給適當的顧客，使航空公司收益最大化」，而收益管理是由定價策略、超額訂位、需求預測及座位庫存管理四個層面所組成。隨著亞洲及歐洲高速鐵路之興起，鐵路營收管理之相關研究也日益受到重視。

鐵路產業屬於廣義之時效性資產，擁有不可儲存性、固定容量及市場區隔三種特性，因此存在著需求集中於特定時段之現象，連續假期常有「一票難求」之情形，探究一票難求的原因有以下兩點：1.乘客需求遠大於營運者所提供之服務運能 2.不適當之座位配置方式，例如：座位安排不符合實際需求、無法有效控管不同起迄區間之座位數量及缺乏即時掌握旅客需求之機制等。對於多起迄區間之列車，若未事先進行座位配置(Seat Allocation)規劃，將會導致車票集中於某特定起迄區間，使座位利用率偏低，造成收益損失。故在最大化收益之目標下，如何滿足不同起迄之需求，此為本研究之動機之一。

旅客需求具有隨機性，即使是同一車次，在不同的日期亦有所差異，若進行座位配置規劃時，未考量旅客需求之動態性及不確定性，可能導致資源無法有效利用。臺鐵目前座位配置方法皆仰賴決策者之經驗進行規劃，且整個售票週期未根據實際之效銷售狀況進行調整，此種管理方式是否適當存在許多疑慮。因此，本研究將以臺鐵作為研究對象，建構鐵路靜態座位配置模式及歸納鐵路動態座位調整方法，靜態座位配置模式分為確定性需求模式及隨機性需求模式，欲探討需求不確定性對模式的影響，後續根據即時之銷售資料進行發車當日之總運量推估，並動態調整各起迄區間之座位保留數，使座位得到最有效之安排。此為本研究之動機之二。

1.2 研究目的

基於上述研究背景及動機探究，本研究將建構一最佳化模式，在最大化收益(最大化座位使用率)之目標下，探討如何規劃各起迄區間之配置數量。而研究目

的條列如下：

1. 建構鐵路靜態座位配置模式及歸納鐵路動態座位調整方法：在最大化收益之目標下，建構鐵路靜態座位配置模式，探討確定性需求模式與隨機性需求模式之配位結果及其影響。後續將利用歷史運量資料建構發車當日之總運量推估模式，並根據實際銷售情況進行預測及動態調整，使各起迄區間之配置數量更符合實際情況，以提升座位利用率。
2. 建構鐵路運量推估模式，並以實例驗證模式之可行性：本研究蒐集臺鐵歷史購票資料，將個人資訊去識別化後，針對不同特性(售票週期、連續假期及星期等)進行分析探討。並以臺灣東部鐵路作為實際案例，探討模式所帶來之效益，並驗證其可行性。

1.3 研究範圍

臺鐵係為臺灣地區主要之運輸系統，自 96 年高鐵通車後，配合整體運輸市場的變化，其營運方針改以服務西部幹線中短程旅次，而將東部幹線視為主要之運輸市場。根據交通部運輸研究所(2015)所公布之「第 5 期整體運輸規劃研究系列」，北部地區城際運輸以臺北為重心，因臺北為臺灣之金融與政治中心，經濟活動活絡，與周圍城市往返需求大，然而，發生於西部地區之旅次多呈現遞遠遞減之情形；反觀東部地區，台北-花蓮的旅次量極大，近來休閒旅遊盛行，假日需求更是高達 1.8 倍。中部及南部地區分別以臺中及高雄為旅次起點，平常日多以短程之通勤旅次為主，假日即為中長程之休閒旅次(例如臺北-臺中之假日旅次量為平日之 2 倍、高雄-臺東之假日旅次量為平日之 1.8 倍)。

東部地區因地域因素，城際運輸多以鐵路及客運為主，2015 年花東鐵路電氣化的完工，提升了花蓮-臺東之軟硬體設備，改善服務品質，使臺北-臺東之旅運需求大幅提升，亦帶動東部地區之經濟開發。然而運能的提升仍無法有效解決「一票難求」之情形，除了乘客需求大於列車旅運能量外，不當之座位配置方法亦會造成此種情形發生，故本研究將針對臺灣東部鐵路進行個案分析，探討如何有效規劃各起迄區間之最適座位配置數量，提升整體座位利用率，並達到最大化收益之目標。

1.4 研究架構

圖 1-1 為本研究之研究流程圖。研究內容可分為：研究背景目的、文獻回顧、模式建構、實例應用及結論與建議五部分。五部分之詳細內容如下：

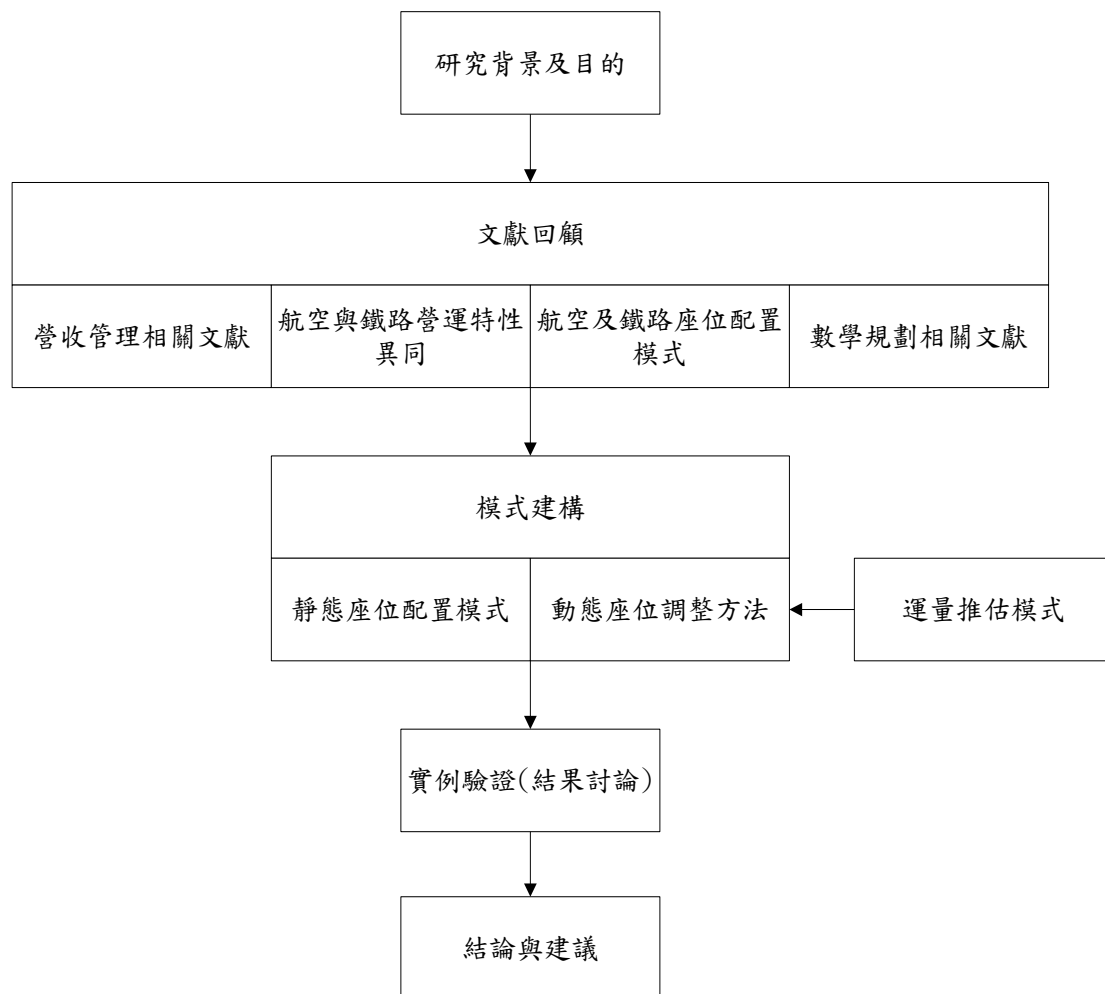


圖 1-1 研究流程圖

1. 研究背景及目的：探討該領域之研究背景並確立研究內容及目的，本研究之主要研究對象為臺灣東部鐵路之無站位對號列車(普悠瑪號)，根據旅客需求之隨機性，建立一動態調整模式，在有限之總座位數下，追求利益最大化(座位利用率最大)。
2. 文獻回顧：確立研究方向後，首先要進行相關文獻之回顧，了解此研究之發展及目前的研究狀況，並探討未來趨勢與所要面對之挑戰。文獻回顧主要分為四個部分，第一部分為營收管理之相關文獻，探討營收管理之起源及發展，而營收管理之概念是由需求預測、超額訂位、定價策略及座位控管四個層面所組成，故將針對此四個層面進行闡述。營收管理之概念被廣泛應用於航空產業中，而鐵路產業之相關研究起步較晚。第二部分將針對航空及鐵路之營運特性進行比較，兩者雖皆為運輸產業，但在營運管理特性上仍有所不同，藉由此部分之回顧，在後續探討航空及鐵路座位配置管理相關文獻時，方能了解兩者應用上之差異。第三部分將回顧航空及鐵路座位庫存管理之相關文

獻，並以表格呈現臺鐵營收管理之相關研究。而座位庫存管理為一最佳化問題，多以數學規劃方法進行求解，因此，第四部分將簡單介紹其理論及實務之應用。

3. 模式建構：根據先前文獻回顧之結果，了解該研究之發展現況及所會面臨之問題後，即確立本研究之目標。本研究所建構之模式主要分為兩種，一為鐵路靜態座位配置模式，另一項則是鐵路動態座位調整模型。鐵路靜態座位配置模式將分為確定性需求模式及隨機性需求模式，藉由兩者之配位結果比較需求隨機性對模式之影響，而後進一步歸納出鐵路動態座位調整方法，根據即時銷售資料，調整各起迄區間之保留座位數及彈性座位數。
4. 實例應用：參考臺鐵歷史資料推估出符合實際情況之購票需求，以本研究所提出之模式進行求解，並模擬動態調整模式之售票過程，分析其配置結果，探討營收效益，並解釋其隱含意義。
5. 結論與建議：歸納研究結果，給予分析說明，並根據結果研擬具體可行之結論與建議，做為後續研究之發展基礎

第二章 文獻回顧

本研究主要是探討收益管理中座位庫存管理於鐵路之應用，規劃靜態與動態座位最佳化模式，有效分配座位於各個起迄組合中，達到最大化收益(最大化座位使用率)之目標。本章節將對此主題做一文獻回顧，為切合主題，將著重討論座位庫存管理之相關文獻。第一部份為收益管理相關文獻，將介紹收益管理之定義及組成。航空領域及鐵路領域雖皆為運輸產業，但在營收管理的應用上仍有所不同，故第二部分應先探討其營運特性之異同，方能了解兩者模式應用上的差別。第三部份即回顧航空及鐵路座位庫存管理之相關文獻，並以表格呈現臺鐵營收管理相關研究之異同。而座位庫存管理係為一最佳化問題，多以數學規劃進行求解，因此，第四部份將簡單介紹其理論及實務之應用。

2.1 收益管理相關文獻

收益管理的概念起源於 1978 年美國聯邦航空總署解除航空管制，降低了航空公司一直以來被嚴格控管的定價限制。美國航空公司(American Airlines)將收益管理定義為「在適當的時間，以適當的價格，將適當的座位配銷給適當得顧客，使航空公司收益最大化」，而 Weatherford and Bodliy(1992)將其定義為藉由產能重新分配、超額預訂控制及定價策略得到最大營收，張有恆(2007)指出航空公司收益管理是針對公司資源，依市場特性與趨勢及競爭情況，結合經營與行銷策略，做最有效之調整，以達成公司整體收益最大之目標。根據 McGill et al.(1999)之研究所述，收益管理是由四個層面所組成，其四個層面如下：

1. 需求預測(Forecasting)

需求預測為收益管理中最重要的一環，推估旅客需求，以探討旅客之需求變動，擬定決策，並影響最終收益，此外超額訂位(Overbooking)策略之基礎也是來自於需求預測。但顧客行為及其他外在因素(如節慶假期、氣候及班次延遲等)皆會影響旅客需求，故要精準預測各路網區間之變動需求，是件相當困難的事。

需求預測方法甚多，包括時間序列法(Time Series Models)、因果預測法(Causal Forecasting Methods)、迴歸分析法(Regression Models)、灰預測模式(Grey Models, GM)、支持向量機(Support Vector Machine, SVM)及類神經網路(Neural Network, NN)等，近年來，以類神經網路最為受到青睞，並應用於各個領域。Freisleben and Gleichmann(1993)以類神經網路來探討售票期間各艙等訂位數及未出現(No-show)旅客總數之關係，並以此模式預測未來未出現之比例。Celebi et al.(2009)以多層感測器模式(Multi-Layer Perception Model, MLP)及自回歸整合移動平均模型(Autoregressive Integrated Moving Average Model, ARIMA)來預測輕軌運輸系統之旅客需求，並以均方根誤差(Mean Squared Error, MSE)及平均絕對百

分比誤差(Mean Absolute Percent Error, MAPE)來判別預測模式之優劣，結果顯示，MLP 之預測結果比 ARIMA 更為精確。

類神經網路之訓練演算法有許多種，其中以倒傳遞(Back-Propagation, BP)演算法最為廣泛使用，因其複雜度低且準確性高，以輸入之訓練集來預測輸出結果，如果出現錯誤，則調整其權重，減少錯誤發生。Riedmiller and Braun(1993)提出之彈性反向傳播(Resilient Backpropagation, RPROP)演算法，RPROP 在訓練模式時，僅考慮偏導數之正負號進行權重調整，並不會因偏導數之大小影響模式優劣。基此，本研究將以類神經網路進行總運量之推估。

2. 定價策略(Pricing)

定價策略之原理來自於差別訂價(Price Discrimination)，了解不同旅客對於相同資源所願付出之最高價格，探討不同旅客對價格的敏感度，藉由產品區隔及票價管理兩種方式，對不同旅客提供不同票價之產品，進而刺激旅客需求，並設法防止高費率之旅客需求轉向購買低費率之產品及高費率之旅客於出發前幾日買不到票之情形發生。

而常見之費率結構(Fare Structure)有以下三種：

- (1) 單一費率制(Flat Fare)：整段航程為單一票價，票價與距離完全無關係。
- (2) 區域費率制(Zonal Fare)：將整段航程分為數個區段，同區內為同一票價，若跨越兩區，票價即為兩區票價總和。又分為固定分區及可變分區。
- (3) 里程費率制(Distance-Based Fare)：費率按照里程計算，票價即為航程距離與單位里程費率之乘積。

3. 超額訂位(Overbooking)

旅客歷史訂位資料是一項非常重要的資料庫，藉由分析此資料庫，推估過去取消訂位(Cancellation)及未出現(No-show)之比例，進而訂定出最適當之超額訂位比例，若航空公司不懂得運用超額訂位策略，當接近起飛時，旅客取消訂位或者未報到，將會導致空位起飛，造成收益損失，故有效運用此策略能提高運具效用，達到最大化期望收益及最小化空位風險的目標。

4. 座位庫存管理(Seat Inventory Control)

對於航空產業而言，座位庫存管理是在研究如何有效配置不同價位之產品數量，藉由高低票價艙位數的調整，刺激需求並增加收益；而鐵路產業是在探討不同起迄區間之座位配置最適數量。

游鵬勝(2001)提到航空座位配置策略可分為非巢式(Non-Nested Booking Limit)與巢式(Nested Booking Limit)兩種。非巢式策略模式是將固定艙位數分配給各艙位等級，分配至各等級之艙位數總和即為總座位數(如圖 2-1)，縱使高費率等級之艙位已達其訂位上限，而低費率等級之艙位有所剩餘，航空公司

仍拒絕高費率艙位之旅客需求。而巢式策略模式可以改善此項缺點，調整低費率艙位配置數量來支援高費率等級之旅客需求(如圖 2-2， $B_1=L_1+B_2$ 、 $B_2=L_2+B_3$...、 $B_{k-1}=L_{k-1}+B_k$ 、 $B_k=L_k$)。而大多數的國家對於鐵路產業皆有嚴格管制，其價格、數量、報酬率及服務品質皆受到嚴格控管，故鐵路座位配置策略之應用不如航空產業來的有彈性。

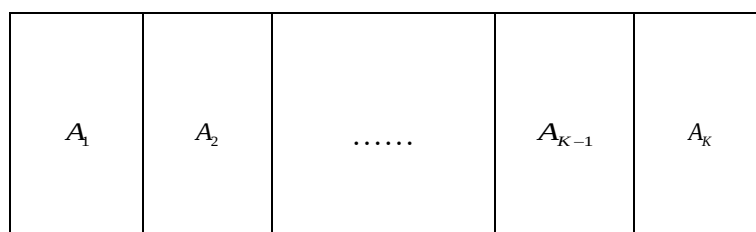


圖 2-1 非巢式座位配置
(參考來源：游鵬勝(2001))

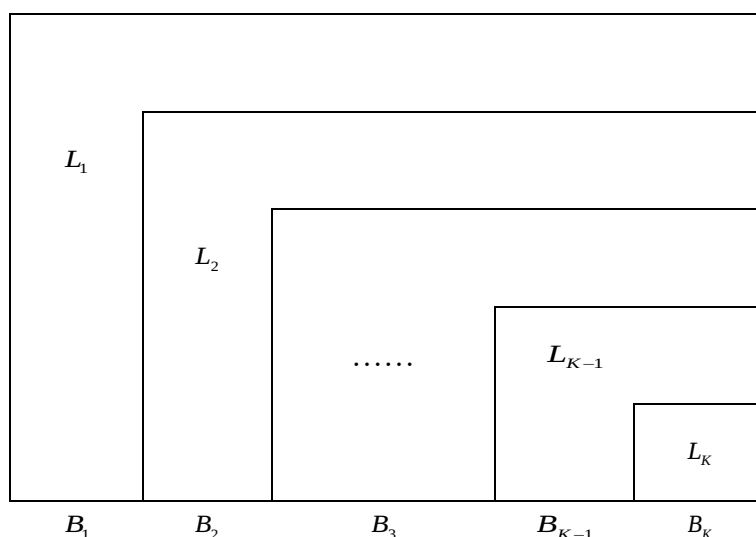


圖 2-2 巢式座位配置
(參考來源：游鵬勝(2001))

2.2 航空與鐵路營運特性之異同

Ciancimino et al.(1999)提到美國鐵路運輸較不發達，因旅客多以航空服務做為第一考量，且鐵路產業之定價受到嚴格控管，營收管理策略之效益較小，故相對於航空領域之相關研究，將營收管理概念應用於鐵路運輸之文獻較少。直到亞洲及歐洲高速鐵路興起，鐵路營收管理之相關研究才逐漸增加。

基於上述原因，本研究將探討鐵路運輸產業及航空運輸產業營運特性之異同，方能了解航空與鐵路座位配置模式之應用差異。

航空客運座位及鐵路客運座位皆屬於廣義之時效性資產營收管理(Perishable-Asset Revenue Management, PARM)，根據 Weatherford and Bodily

(1992)的研究整理，時效性資產存在下列幾種特性：

1. 不可儲存性：時效性資產又稱為時效性商品(Perishable Product)，具有一定之生命週期，在此生命週期後，商品即無法再創造利潤。航空及鐵路客運座位，在啟程之後，剩餘的座位將無法產生收益，故時效性商品需藉由營收管理策略，謹慎規劃資源，創造最大利益。
2. 固定的容量：時效性商品數量有限，不僅是本身之容量限制，有時候是來自廠商的供給限制，為減少供過於求或供不應求的情形發生，廠商會以價格來限制商品數量。例如：航空艙位的早鳥折扣、鐵路座位的學生優惠等，以避免滯銷之情況。如何有效運用有限資源，即是時效性商品最大之課題。
3. 具有區隔市場之特性：時效商品通常利用「購買時間」來做為差別訂價之依據，普遍來說，對價格敏感度較高的人，會選擇提早訂票，享受較多折扣，反之對價格敏感度較低的人，通常在出發前才會購買機(車)票，彈性較小。需藉由營收管理來權衡這兩者，有效控管各級數量，避免空位浪費，亦或者是安排太多座位數給低票價的旅客，使得高費率之旅客買不到票，形成收益損失(Yield loss)。

航空客運及鐵路客運雖皆為運輸服務業，但兩者之營運特性仍有所不同，根據 Abe(2007)及楊仕欣(2009)年的整理，存在以下幾點差異：

1. 路網起迄點複雜(More Network Oriented)：相對於航空產業，鐵路產業之路網更為複雜，由多組起迄區間(OD pair)所組成，在進行鐵路座位配置時，無法以航空座位配置模式直接代入規劃，故決策者在進行鐵路座位配置時，需考量的層面更為繁複，該如何訂定各起迄區間之價格及數量，皆是一門很大的學問。
2. 產品價格差異較少(Fewer Fare Product Differentiation)：以相同商品來說，航空產業通常擁有 6 至 8 種定價，而鐵路產業至多只有 2、3 種，因鐵路運輸之旅客同質性較高。例如，對時間敏感度較高之商務旅客就會選擇較快速且費率較高之車種搭乘，反之，休閒旅客就會選擇費率較低之車種，因此鐵路產業之產品價格較航空產業而言差異較小。
3. 旅客訂票模式與座位等級相互獨立(Booking Arrival Patterns Independent of Fare Classes)：航空旅客之訂票時間通常與座位費率成反比，也就是說，願意付較高金額購買此次服務之旅客通常在接近出發時間才會訂票，反觀鐵路產業並沒有此項特性，兩者是相互獨立之關係。
4. 購票前置時間極短(Very Short Booking Lead Times)：根據 kraft et al.(2000)之研究結果顯示，美國國家鐵路公司(Amtrak)中，紐約至華盛頓這條路線，有高達 43.4%之旅客需求集中於發車當日。不同於航空產業，鐵路產業之班次

密集，購票前置時間極短，且取消預定、重複預定之比例相當高。

5. 定價彈性較大(Flexibility in Pricing)：航空產業屬於高度競爭產業，其定價彈性較小，反觀鐵路產業，通常市場中沒有其他競爭者，不需要調整費率與其他同業競爭，定價彈性較大。
6. 基本服務水準：鐵路運輸業屬於公共運輸，不能僅以最大化利益為決策目標，亦要設法達成各起迄區間之配位公平性，提供偏鄉地區之基本服務水準，保障他們「行」的需求。

2.3 航空及鐵路座位配置相關文獻

Littlewood(1972)應用期望邊際報酬之觀念解決兩費率艙位配置問題，若低費率座位之票價大於高費率潛在銷售機率與其費率之乘積，則接受此次訂位。而Richter(1982)提出一高費率保護水準，保障高費率座位數量，避免將全部座位配置給低費率之產品，確保總收益不會受到影響。Wang(1983)將此最佳化決策方法拓展至多航點、多費率之航空艙位配置模式，Glover(1982)提出以整數規劃的方法來解決非線性座位配置的問題，而Belobaba(1987)將這些應用期望邊際報酬概念於航空艙位配置問題之研究加以整合，提出 Expected Marginal Seat Revenue(EMSR) 模式。但EMSR模式僅考慮了各費率間艙位的影響，並未考慮這一連串訂位過程中旅客需求之動態性、不確定性。

Gosavi et al. (2002) 認為建構座位配置模式時，應考量的因素眾多，例如：艙位等級、超額訂位策略、旅客需求型態及取消訂位比例等。為符合真實世界之旅客需求，此研究將座位庫存管理定義為一連續之半馬可夫鏈問題，(continuous-time Semi-Markov Decision Problem, SMDP)，並以強化性學習(Reinforcement Learning, RL)演算法來解決此問題。

Milne and Salari(2016)以混合整數規劃模式來解決艙位指派問題，而艙位配置(Seats allocation)與艙位指派(Seat assignment)為兩種不同的概念，艙位配置問題旨在決策各區間(等級)之艙位最適數量，使收益最大化；艙位指派問題則在探討如何將所接受之需求指派至各區間(等級)之艙位中。此篇文章依據乘客登機時之手提行李數量進行艙位指派，並考量其艙位所在之排數、乘客登機順序、艙位靠窗與否等因素，期望達到最小化登機時間之目標。研究結果指出，當乘客手提行李眾多時，藉由此模型進行艙位指派可大幅減少登機時間。

Ciancimino et al.(1999)將營收管理概念運用至鐵路領域，假設各起迄的需求為一連續且獨立之隨機變數，以確定線性規劃(Deterministic Linear Programming Model)及機率非線性規劃(Probabilistic Nonlinear Programming Model)兩種模式來探討單一費率、多個站點的座位控管問題。其非線性規劃模型如下：

$$\text{Maximize } \sum_{(i,j)} t_{ij} f_{ij}(x_{ij}) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{(i,j)} x_{ij} \leq c \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij}, \forall (i, j) \quad (3)$$

t_{ij} :起訖組合 (i, j) 之座位費率

$f_{ij}(x_{ij})$:起訖組合 (i, j) 之需求機率密度函數, x_{ij} 為起訖組合 (i, j) 之座位配置數

c :列車容量

u_{ij} :起訖組合 (i, j) 之配置上限

You(2008)延伸了 Ciancimino et al.(1999)之研究，建立兩種費率、多個站點之座位配置模式，該研究假設旅客需求為全票費率及折扣費率兩種，並以非線性整數規劃求解。當容量不足以應付全部需求時，營運者可以拒絕接受折扣費率之旅客，同時也產生了拒載成本(Bumping Cost)。

Li et al.(2010)提到多數營收管理相關研究是基於座位價格可變動的前提下進行配置，然而部份國家之鐵路座位價格為一定值(單一費率)，這些方法並不符合實際情況。此篇研究提出一符合實際情形之方法，合理配置有限資源於不同起迄間，提高載客因子，進而增加收益。其載客因子如下：

$$Z = \sum_{(i,j)} \frac{l_{ij} x_{ij}}{CL} \quad (4)$$

Z :載客因子

l_{ij} :起訖區間 (i, j) 之距離長度

x_{ij} :起訖區間 (i, j) 之座位配置數

L :列車行駛總距離

C :列車容量

座位等級、票價、旅行時間及班次頻率等皆是影響旅客需求之潛在因素，Wang et al.(2016)將旅客行為模式納入問題考量，以旅行時間、票價及服務水準建立一效用函數，推估旅客選擇產品之機率，並代入至單階段座位配置模式(Single-Stage Seat Allocation Model, SSA)及多階段座位配置模型(Multi-Stage Seat Allocation Model, MSA)進行求解，其中，多階段座位配置模型將旅客需求分為數個時間窗，進行多階段之動態配位。Hetrakul and Cirillo(2013)分別以多名目羅吉特模式(Multinomial Logit Model)、潛在類別模式(Latent Class Model)及混合羅吉特法，探討旅客購買車票之影響因素，結果顯示，票價、列車出發日期及時間皆會影響旅客選擇行為。

Luo et al.(2016)建立一多列車座位庫存控制模型(Multi-Train Seat Inventory Control Model, MSIC)，可同時求解相同起始點所有列車之停靠站組合及各起迄區間(O-D pair)之座位配置數，與現有模式相比，該模型更能夠最大化整體列車路線規劃之收益，作為決策者配置票務之依據。結果顯示，MSIC 模型可以通過優化不同列車上之乘客分配來提高整體收入。

表 2-1 航空及鐵路座位配置相關文獻整理

領域	學者(年代)	主題
航空領域	Belobaba(1987)	將應用期望邊際報酬概念於航空艙位配置問題之研究加以整合，提出 Expected Marginal Seat Revenue(EMSR) 模式。
	Gosavi et al. (2002)	考量艙位等級、超額訂位策略、旅客需求型態及取消訂位比例等，將座位庫存管理定義為一連續之半馬可夫鏈問題。
	Milne and Salari(2016)	區別艙位配置與艙位指派問題，探討如何將所接受之需求指派至各區間(等級)之艙位中。
鐵路領域	Ciancimino et al.(1999)	將營收管理概念運用至鐵路領域，探討單一費率、多個站點的座位控管問題。
	You(2008)	延伸 Ciancimino et al.(1999)之研究，探討兩種費率情形(全票費率及折扣費率)。
	Li et al.(2010)	提出以載客因子為目標式，規劃各起迄區間之最適座位配置數量。
	Wang et al.(2016)	將旅客行為模式納入問題考量，以旅行時間、票價及服務水準建立一效用函數，推估旅客選擇產品之機率。
	Luo et al.(2016)	建立可同時求解相同起始點所有列車之停靠站組合及各起迄區間(O-D pair)之座位配置模式。

為切合本研究之研究對象，下表亦整理了臺灣鐵路營收管理之相關案例：

表 2-2 臺鐵營收管理相關文獻

營收管理類型	學者(年代)	主題
需求預測	陳淑佩(2006)	針對臺鐵歷史訂購資料進行分析，探討影響訂票曲線之變數，並以數個預測模式進行需求推估，結果顯示，該研究所發展之 k 個鄰近模式預測績效最為突出。
	Tsai et al.(2009)	以類神經網路預測短期鐵路客運需求，結果顯示其預測績效比傳統 MLP 方法更為準確。
座位庫存管理	楊仕欣(2009)	建構一鐵路列車超額訂位座位配置模式，考量旅客未到站之不確定情況，以不同超額訂位賠償策略分析最適開放訂位限制，追求最大化收益。
	陳政豪(2010)	利用隨機規劃方法，將需求的變動特性納入模式中考量，以臺灣高鐵資料進行實際案例分析。

2.4 數學規劃相關文獻

於鐵路座位庫存管理中，多以數學規劃方法求解各起迄區間之座位配置數。數學規劃為研究數值優化問題，根據問題性質及處理方法差異，衍生出多樣的分支，例如：線性規劃、非線性規劃、多目標規劃、動態規劃、整數規劃、隨機規劃、模糊規劃、雙層規劃及二次規劃等。

De Boer et al.(1999)提到，座位配置最佳化模式分為兩種，一為確定性數學規劃問題 (Deterministic Mathematical Programming Problem, DMP)，另一個則是機率型數學規劃問題(Probabilistic Mathematical Programming Problem, PMP)，確定性數學規劃模式忽略旅客需求之不確定性，而機率型數學規劃模式將旅客需求以機率之型態呈現，而機率型數學規劃模式可以發展成一隨機規劃問題(Stochastic Programming Problem)，將旅客需求視為一隨機變量，於模式中考量並求解。

兩階段隨機規劃(Two-Stage Stochastic Programming)是眾多隨機規劃模型中最常使用的一類，其建構模式之方法係依據問題是否包含不確定因素(隨機事件)，來進行階段的劃分，將決策問題分成不包含隨機事件及包含隨機事件兩個階段，第一階段(first stage)為立即作出決策之確定性部分，而第二階段(Second Stage)是

在第一階段決策結束後才會發生的隨機性部分。第二階段包含隨機事件之修正函數(Recourse Function)及各隨機事件發生之機率值。將第一階段決策值與第二階段修正量一併納入模式考量，並以期望函數進行求解，旨在追求最小期望成本或最大期望收益，其數學通式如下：

First stage:

$$\text{Minimize } c^T x + E[Q(x, \xi)] \quad (5)$$

$$\text{subject to } Ax = b \quad (6)$$

$$x \geq 0 \quad (7)$$

Second stage:

$$\text{Minimize } Q(x, \xi) = q(\xi)^T y \quad (8)$$

$$\text{subject to } T(\xi)x + W(\xi)y = h(\xi) \quad (9)$$

$$y \geq 0 \quad (10)$$

ξ : 不確定因素, 隨機事件

x : 第一階段不受隨機事件影響之決策變數

y : 第二階段之決策變數(修正量), 會因隨機事件調整

隨機規劃與確定性數學規劃最大的不同在於模式中引進了隨機變數，使隨機規劃比確定性數學規劃更符合實際問題，在管理學、運籌學、經濟學、邏輯控制等領域皆有廣泛應用。Beraldi et al.(2004)將隨機規劃應用於緊急醫療服務問題，在現實情況裡，醫療服務問題包含了許多不確定性，無法得知緊急需求的多寡及位置，故此研究提出一隨機規劃模型，求解緊急醫療服務處設立之位置及規模、每個站點需要配置多少輛救護車，以實現可靠服務水準及最小化成本之目標。根據大量數值測試結果，證明模式具有良好的效益。Yen and Birge(2006)以隨機規劃模型規劃航空公司機組人員之配置，傳統方法是將公司人員調度問題視為一確定性問題，並未考慮內部不確定性因素，此研究所提出之模式可以有效降低因不確定事件發生時，班機延遲之影響。Azaron et al.(2008)利用多目標隨機規劃方法解決不確定條件之供應鏈設計問題，此問題中，需求量、供應量、運送路線、短缺量及成本皆被視為不確定參數，藉由隨機規劃模型達到 1.最小化投資成本及短缺量 2.最小化總成本差異 3.最小化財務風險及不符合預算之可能性三項目標。

隨著電腦技術之發展，近年之研究多以啟發式演算法解決最佳化之問題，例如：貪婪演算法 (Greedy Algorithm)、粒子群移動演算法 (Particle Swarm Optimization)、螞蟻演算法 (Ant Colony Optimization)、模擬退火法 (Simulated Annealing Optimization)及基因演算法 (Genetic Algorithm)等。根據 Mitchell(1998)之介紹，基因演算法之原理採自生物演化學家達爾文所提出之生物演化理論，「基因」組成「個體」，而許多的「個體」組成「族群」，經由「交配」、「複製」、「突變」之演化過程，產生新的世代，也就是「物競天擇，適者生存」。基因演算法即是利用此概念，將以上過程代入計算機科學中，以數字編碼代表染色體，選擇

族群，對族群中每組字串進行評估和排序，決定能被遺傳之字串，透過交叉及變異來製造子代，持續演化直到適應函數最大後，將字串轉回原始值求得最佳解。

2.5 小結

基於上述文獻回顧整理，可以整理出後續之研究方向，如何動態調整座位配置及分析旅客分段購票之意願。本研究將發展鐵路靜態座位配置模式及鐵路動態座位調整模式，而動態座位調整模式與文獻中之動態模式不同，文獻中之動態模式是指將整個訂位過程(接受訂位至停止接受訂位的時間)切割成足以符合需求型態抵達之過程，進行座位配置，而本研究所提出之動態座位調整模式將利用售票期間已知銷售數量，進行發車當日之總運量推估，並進行每日動態調整，將剩餘座位數(尚未售出之座位)適當分配於各起迄區間，提高座位利用率及收益，改善現今座位配置方法於整個預售期間未再次調整之情形，於實務上更能應對需求高度不確定性之情況。而後續研究亦可分析旅客分段賣票之可能性，當旅客欲購買之起迄區間已無座位可供販售時，探討旅客是否願意分段購票。

第三章 模式建構

本研究將利用數學規劃方法探討鐵路產業之收益管理問題，討論如何在既有限制條件下，決策各起迄區間之最適座位配置量，並達到收益最大之目標。後續將結合即時售票資訊，規劃一鐵路動態座位調整模式，即時調整剩餘座位之配置。

本章節於 3.1 小節闡述相關基本研究假設，3.2 小節建構鐵路靜態座位配置模式，包含確定性需求模式及隨機性需求模式，3.3 小結為鐵路動態座位調整模式，而 3.4 小節即為動態調整模式之運量推估方法，最後 3.5 小節為本研究之分析步驟。

3.1 研究假設

建構模式之前，本研究根據文獻回顧之內容及臺鐵現行營運狀況做出以下假設：

1. 旅客潛在需求大於供給

旅客需求具有隨機性，即使是同一班次，在不同的期間亦有所差異，在規劃座位時，我們無法準確得知各起迄組合之實際需求，故本研究將利用交通部運輸研究所(2015)所整理之城際運輸資料進行旅客潛在需求推估，並假設一般情況下，旅客潛在需求大於供給。

2. 考量單一對號列車

本研究所建構之模式僅針對單一對號列車之座位配置問題，該模式並不考慮整體列車網路之交互影響，一次僅考量單一對號列車之收益。採單一車種與固定座位配置策略，且全車為對號座。

3. 售票週期

為配合本研究所規劃之動態座位調整模式，將平假日、連續假期之售票週期皆假定為發車當日之 n 天前至發車當日，且無提供「現場保留座位票」及「團體保留票」，亦沒有超額訂位之服務，票價皆以單一費率來計算，並無早鳥優惠、團體折扣等。

4. 臺鐵票務系統即時傳遞動態資訊

臺鐵提供數種購票方式，除了現場窗口購票外，還有網路購票、語音購票及超商媒體機臺購票等服務。不論何種管道，旅客成功購票後，票務系統立即傳遞動態資訊於中央，使管理者可以依據即時之座位資訊推估該班次總運量，給予尚

未賣出之座位適當的配置。

根據本研究所要探討之問題，將模式定義如下：

1. 採單一車種單一費率等級與固定座位配置策略，全車對號座，一班列車可視為一個車廂系統。
2. N 個停靠站。
3. m 段航程(legs)，兩相鄰之停靠站即為一段航程，每段航程之容量(座位數)為 $C_p, p=1, \dots, m$ 。
4. 共有 n 組 O-D 組合，且 $n \leq m(m+1)/2$ 。
5. 起站為 i ，迄站為 j 。
6. F 為所有可能起迄組合之集合，其公式如下：

$$F = \{(ij) : i = 1, \dots, N-1, j = i+1, \dots, N\} \quad (11)$$

下圖為列車起迄區間示意圖，假設列車僅停靠四個站點，每組相鄰站點即為一段航程(leg)，每段航程可販售座位數不得超過該航程座位容量限制 C_p ， $p=1, \dots, m$ 。例如， $Leg1$ (第一站至第二站之航程)包含了第一站至第二站之旅客數 x_{12} 、第一站至第三站之旅客數 x_{13} 及第一站至第四站之旅客數 x_{14} ；而 $Leg2$ 包含第一站至第三站之旅客數 x_{13} 、第二站至第三站之旅客數 x_{23} 及第二站至第四站之旅客數 x_{24} ，以此類推。

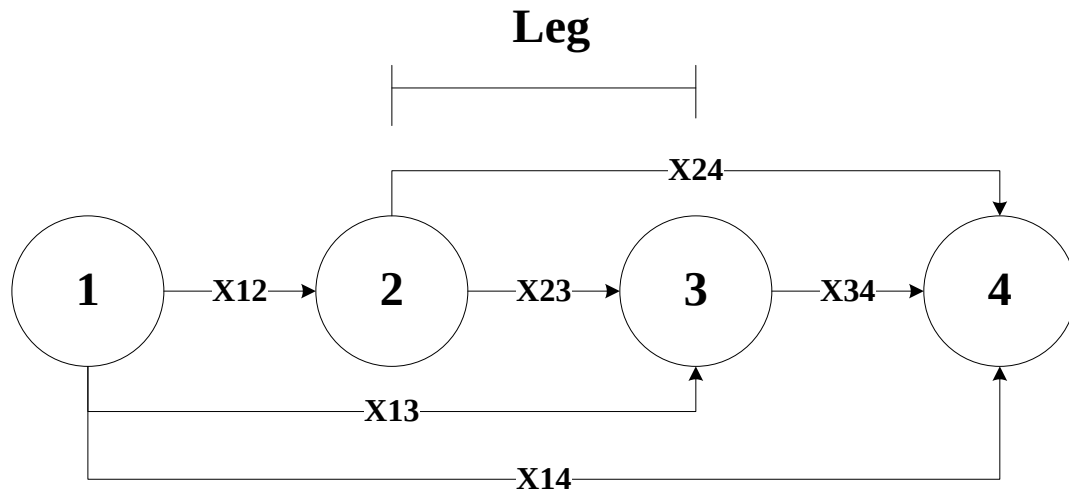


圖 3-1 起迄區間示意圖

3.2 鐵路靜態座位配置模式

鐵路靜態座位配置模式為列車發車前，根據各起迄區間之潛在需求進行座位配置之初步規劃，採固定配置策略，於整個售票週期皆不會進行調整。3.2.1 節為確定性需求模式，將旅客之潛在需求視為一定值進行配置，而 3.2.2 節則為隨機性需求模式，模式將考量旅客需求之不確定性。

3.2.1 確定性需求模式

於確定性需求模式中，假設各起迄區間之需求為一已知定值，其模式如下：

$$\text{Maximize} \quad R = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N f_{ij} \cdot x_{ij} \quad (12)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N x_{ij} \leq C_p, \forall p \quad (13)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq d_{ij}, \forall F \quad (14)$$

$$x_{ij} \in Z^+, \forall F \quad (15)$$

R : 列車總收益

f_{ij} : 起訖組合(i, j)之費率(票價)

x_{ij} : 決策變數, 起訖組合(i, j)之最適座位配置數量

C_p : 列車容量, $p = 1, \dots, m$

l_{ij} : 起訖組合(i, j)之座位配置下限

d_{ij} : 起訖組合(i, j)之潛在需求

式(12)為最大化收益之目標式，根據美國航空公司將收益管理定義為「在適當的時間，以適當的價格，將適當的座位配銷給適當的顧客，使航空公司收益最大化」，故收益最大化即為進行座位配置之首要目標。而臺鐵採單一費率之計費標準，並以里程計費，故最大化收益即為最大化座位利用率。式(13)為各航程(leg)之容量限制，各航程之配置數量不得大於列車容量。除了容量限制外，亦須考慮座位配置數量之最低及最高限制，各起迄區間之座位配置上限不得超過其需求，以免造成空位浪費，且進行座位配置規劃時，應保障部分座位數於偏遠或利潤較少之起迄區間，避免模式運算時，將全部座位數分配給期望收益較大之起迄組合，故設立 l_{ij} 為座位配置之下限，如式(14)所示。而最後式(15)為座位配置量必為非負整數之限制式。

3.2.2 隨機性需求模式

現實情況中，旅客需求會受到許多因素影響，導致不同的情況發生，不同於確定性需求模式，隨機性需求模式視旅客需求之為一隨機變數，並建構一隨機規劃模式，解決模式中含有不確定情況之問題。圖 3-2 為二階隨機規劃法之架構，以不確定事件發生的時間點 T 為界線，在事件發生前之決策變數不會受到隨機事件之情境影響，而在事件之後的決策變數則依照現實情況進行修正(P_i 為各情境對應機率， Y_i 為各情境之修正量)。

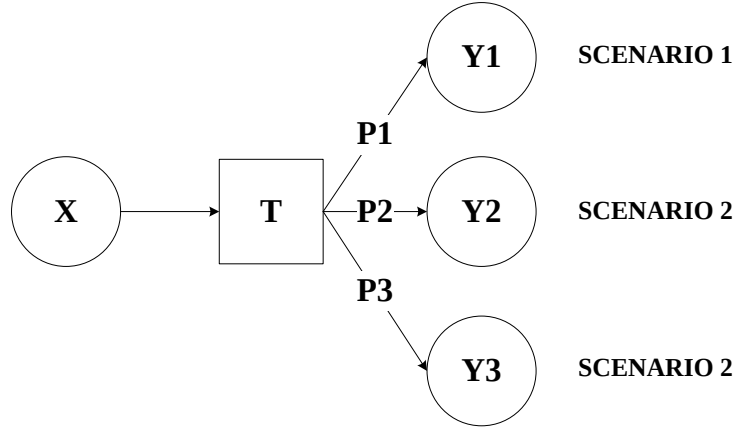


圖 3-2 兩階段隨機規劃模式

本研究之隨機性需求模式如下：

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N f_{ij} \cdot E[\min\{x_{ij}, d_{ij}\}] \quad (16)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N x_{ij} \leq C_p, \forall p \quad (17)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij}, \forall F \quad (18)$$

$$x_{ij} \in Z^+, \forall F \quad (19)$$

利用兩階段隨機規畫法求解上述之隨機規劃問題，根據 Higle and Sen(1991) 之研究所述，其確定性等價模式如下：

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N f_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N p_{ij}^k \cdot f_{ij} \cdot y_{ij}^k \quad (20)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_i \sum_{j=i+1}^N x_{ij} \leq C_p, \forall p \quad (21)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij}, \forall F \quad (22)$$

$$x_{ij} - y_{ij}^k \leq d_{ij}^k, \forall F, k \quad (23)$$

$$x_{ij}, y_{ij}^k \in Z^+, \forall F, k \quad (24)$$

f_{ij} : 起訖組合(i, j)之費率(票價)

x_{ij} : 決策變數, 起訖組合(i, j)之最適座位配置數量(隨機事件發生前)

p_{ij}^k : 起訖組合(i, j)之隨機事件發生機率, k 為隨機事件, $k = 1, \dots, K$

y_{ij}^k : 決策變數, k 隨機事件發生時之起訖組合(i, j)座位修正量

C_p : 列車容量, $p = 1, \dots, m$

l_{ij} : 起訖組合(i, j)之座位配置下限

d_{ij}^k : 各隨機事件對應之各起訖區間(i, j)需求量

式(20)為兩階段隨機規劃模式之目標式，前半部為未受隨機事件影響之期望收益，後半部為隨機事件調整量之成本期望值。式(21)為容量限制，式(22)為座位配置數之下限限制式。式(23)為各隨機事件發生之座位配置調整限制式，其中 x_{ij} 為未受隨機事件影響時的座位配置數量， y_{ij}^k 為各隨機事件發生時，座位配置之修正量。而式(24)即為座位配置數必為非負整數之限制式。

3.3 鐵路動態座位調整模式

本研究所提出之鐵路動態座位調整方法將利用售票期間已知銷售數量，推估未來銷售趨勢，根據所預測之發車當日總運量進行重新規劃，動態控管剩餘座位(尚未售出座位)之規劃，整體調整方法於 3.5 小節詳細介紹。

其中，動態座位調整模式如下：

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N f_{ij} \cdot (s'_{ij} + x'_{ij}) \quad (25)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (s'_{ij} + x'_{ij}) \leq C_p, \forall p \quad (26)$$

$$l_{ij} \leq s'_{ij} + x'_{ij} \leq TS'_{ij}, \forall F \quad (27)$$

$$y'_p \leq C_p - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (s'_{ij} + x'_{ij}), \forall p \quad (28)$$

$$x'_{ij}, y'_p \in Z^+, \forall F \quad (29)$$

f_{ij} : 起訖組合(i, j)之費率(票價)

s'_{ij} : 起訖組合(i, j)已知銷售量

x'_{ij} : 決策變數, 剩餘座位(未售出)中, 起訖組合(i, j)之保留座位數量

y'_p : 每段航程(leg)未被配置之座位數(彈性座位數), $p = 1, \dots, m$

C_p : 列車容量, $p=1, \dots, m$

TS'_{ij} : 起訖組合 (i, j) 之發車當日總運量

l_{ij} : 起訖組合 (i, j) 之座位配置下限

式(25)為最大化收益之目標式， s'_{ij} 為起迄區間 (i, j) 已售出之座位數量，而 x'_{ij} 為尚未被售出之剩餘座位中，起迄區間 (i, j) 之保留座位數量，故 $(s'_{ij} + x'_{ij})$ 即為總座位配置量， y'_p 為未被配置至指定區間之彈性座位量。式(26)為容量限制式，僅針對尚未售出之座位數進行重新規劃，且各起迄區間之已售出座位量加未售出座位之配置量需小於各航程(leg)之容量。式(27)為各起迄區間之總保留座位配置量之上、下限限制式，設立一下限保護水準保障偏遠地區之權益，而其上限不得大於該區間之推估運量，避免造成空位浪費。式(28)之目的旨在計算各航程(leg)中，未被配置至指定起迄區間之座位數，作為彈性控制座位數，當 $y'_p = 0$ 代表該航程(leg)無可供彈性控制之座位；當 $y'_p \neq 0$ 代表該航程(leg)存在未被配置至指定起迄區間之座位數量，當購票需求超過各起迄區間之座位保留量時，若其起迄區間所包含之所有航程(leg)皆存在彈性座位數 y'_p ，方可接受此次訂位，而彈性座位配置方法採先到先得(First Come First Serve, FCFS)之方式進行。

以圖 3-3 為例，假設該車次包含四個站點、三段航程，座位容量為 200 個，經動態調整後，各起迄區間之總座位配置量(已銷售座位+保留座位數)如圖所示，而各航程尚存之彈性座位數量如圖右表。倘若區間 (1, 2) 之購票需求大於其配置量 100 時，判斷航程 1 存在可供彈性控制之座位數量 60 個，故接受此次訂位；反之，區間 (1, 4) 之購票需求超過其座位配置量時，因航程 3 無可供彈性控制之座位量，故系統拒絕此次購票需求。

鐵路靜態座位配置模式中，確定性需求模式及隨機性需求模式為兩個不同之模式，其求解之各起迄區間最適座位配置數量結果亦不相同。

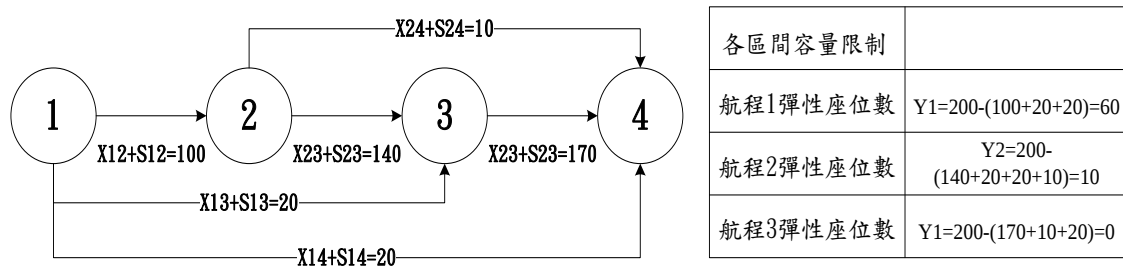


圖 3-3 彈性座位控制範例

3.4 運量推估模式

為配合本研究之鐵路座位動態調整模式，本小節將研擬一套運量推估方法，於銷售期間，利用已知之銷售資訊進行發車當日之總運量推估，作為鐵路座位動態調整模式之保留座位數規劃依據。基於前述文獻回顧整理，本研究將以類神經網路(Neural Network, NN)進行運量推估。

類神經網路是一種模擬人類實際神經運作之過程，由許多個別神經元(Neuron)構成一網路，並透過此網路解決問題。如圖 3-4 所示，當神經網路接受刺激或訊號後(輸入值)，會經由神經軸傳輸至神經核進行轉換處理，輸入訊號之加權乘積大於門檻值，才會輸出新的脈波訊號(輸出值)傳送至其他人工神經元，而神經節為連結神經樹之節點，表示兩個細胞間之連結強度，在人工神經網路上以加權值表示。

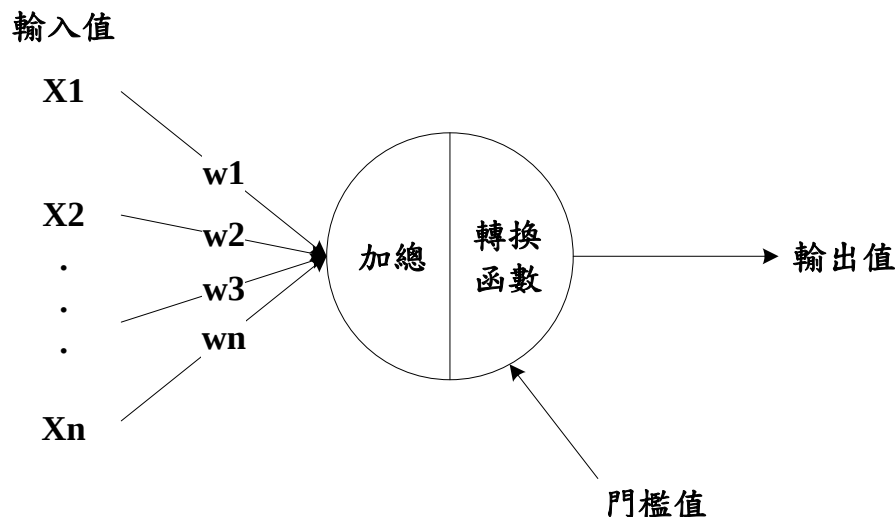


圖 3-4 人工類神經網路示意圖

類神經網路之應用範圍極為廣泛，舉凡醫學、環境監督、管理、工程及交通領域皆有其相關研究，將此方法用於分類(Classification)、預測(Prediction)及最佳化(Optimization)等方面，根據蔡宗憲(2006)之研究，大致上可以分為四個種類，監督式學習網路(Supervised Learning Network)、非監督式學習網路(Unsupervised Learning Network)、聯想式學習網路(Associate Learning Network)及最適化應用網路(Optimization Application Network)等，內容如下表所示：

表 3-1 類神經網路種類

網路類型	模式
監督式學習網路	感知器網路(Perceptron Network)
	倒傳遞網路(Backpropagation Network)
	反傳遞網路(Counterpropagation Network)
	機率神經網路(Probabilistic Neural Network)
非監督式學習網路	自組織應設網路(Self Organization Feature Mapping)
	自適應共振理論(Adaptive Resonance Theory Network)
聯想式學習網路	霍普菲爾網路(Hopfield Neural Network)
	雙向聯想記憶網路(Bidirectional Associative Memory)
最適化應用網路	霍普菲爾-坦克網路(Hopfield-Tank Neural Network)
	退火神經網路(Annealed Neural Network)

(參考來源：蔡宗憲(2006)整理)

本研究將以倒傳遞網路模式進行總運量之推估，以 Riedmiller and Braun(1993)所提出之彈性反向傳播演算法(Resilient Backpropagation, RPROP)進行模式訓練。以下將簡述倒傳遞網路模式之網路架構、轉換函數、學習及回想、運算過程及績效評估方法：

1. 網路架構

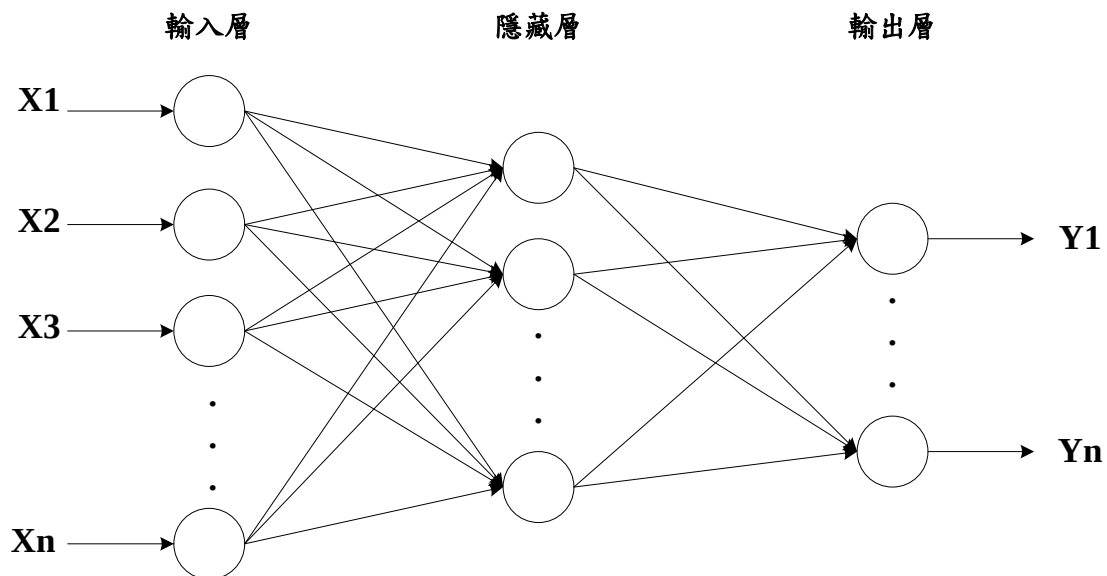


圖 3-5 單層隱藏層類神經網路架構圖

本研究之目標輸出值為發車當日各起迄區間之總運量，參考 Freisleben and Gleichmann(1993)、Tsai et al.(2009)及 Celebi et al.(2009)之研究進行投入之參數選取，選定星期特性、連續假期特性、已開賣天數及各起迄區間之已知銷售量作為

輸入變數。如上圖，投入輸入值經由輸入層、隱藏層至輸出層，得到預測之輸出值，層與層之間之神經元相互連結。文獻顯示，單層隱藏層即有很好的預測績效，而較複雜之問題可採取雙層隱藏層進行規劃。

目前隱藏層之神經元個數並無訂定標準，通常以試誤法求得個數，亦可以經驗法則做為參考，根據葉怡成(2001)之整理，有以下三種方法：

- (1) 平均法：隱藏層神經元個數=(輸入層神經元個數+輸出層神經元個數)/2
- (2) 總合法：隱藏層神經元個數=(輸入層神經元個數*輸出層神經元個數)^{0.5}
- (3) 加倍法：隱藏層神經元個數=(輸入層神經元個數+輸出層神經元個數)*2

2. 轉換函數

輸入解釋變數(輸入值)於倒傳遞網路模型，模式會將該數值乘上其權重後進行加總，將加權總數與門檻值相互比較，若此數大於門檻值，則會透過轉換函數(Transfer Function)進行數值轉換並輸出反應。轉換函數分為兩種型態，一為連續型轉換函數，如雙曲線正切函數(Hyperbolic Tangent Function)、雙曲線函數(Sigmoid Function)；另一則為離散型轉換函數(如：線性函數 Linear Function)。而本研究選擇以雙曲線函數進行運算，此函數可將數值轉換為 0 或 1 之間。其數學式如下：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (30)$$

3. 學習及回想

類神經網路透過不斷的學習，使網路訓練之輸出值(Real Output)與實際之輸出值(Desired Output)誤差達到某一可忍受之範圍內，倘若網路未達標準，根據學習法則來更新權重之大小及方向，如此重複值至誤差滿足條件方可停止。其誤差函數如下：

$$E = \frac{\sum (\text{實際輸出值} - \text{模式輸出值})^2}{2} \quad (31)$$

4. 模式運算過程

倒傳遞演算法可分為以下八步驟，各步驟之詳細調整內容可參閱蔡宗憲(2006)之介紹：

- (1) 決定網路層數及各層神經元個數。
- (2) 以均部隨機亂數設定網路初始加權值及門檻值。
- (3) 輸入訓練樣本及目標輸出值。
- (4) 計算出網路輸出值。
- (5) 計算輸出層及隱藏層之差距量。

- (6) 計算各層間之權重修正量及門檻值修正量。
- (7) 更新各層加權值及門檻值。
- (8) 重複步驟 3 至 7 直至收斂。

3. 模式績效評估方法

本研究將採取平均絕對比例誤差(Mean Absolute Percent Error, MAPE)及均方根誤差(Root Mean Squared Error, RMSE)做為評估指標，評估該運量推估模式之預測績效，MAPE 與 RMSE 之值越小，代表此模式之預測能力越佳。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\text{預測值} - \text{實際值})^2}{n}} \quad (32)$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|\text{預測值} - \text{實際值}|}{\text{實際值}}}{n} \times 100\% \quad (33)$$

根據 Lewis(1982)將 MAPE 分為四種等級，分別為極佳、優良、合理及不正確，如下表所示：

表 3-2 MAPE 值尺度表

MAPE 值	預測能力
<10%	極佳
10%~20%	優良
20%~50%	合理
>50%	不正確

(參考來源：Lewis(1982)整理)

3.5 分析步驟

本研究將分為兩個階段進行分析，第一階段將參考交通部運輸研究所(2015)所公布「第 5 期整體運輸規劃研究系列」之城際運輸旅次資料推估單一班次各起迄區間之平均潛在需求，利用 R 語言撰寫最佳化模式，進行售票前各起迄區間之最適座位配置之初步規劃。根據 De Boer et al.(1999)、Chen et al.(2014)、及 Wang et al.(2016)之研究，將旅客潛在需求視為一隨機變數，並服從常態分配(Normal Distribution)，依此規劃隨機事件之情境，比較確定性需求模式及隨機性需求模式之配置結果，並以完全資訊解(The Expected Value of Perfect Information, EVPI)及隨機解價值(The Value of the Stochastic Solution, VSS)評估隨機模型之適用性，進一步以敏感度分析分析不同參數變動對模式所造成之影響。

第二階段將考量特定車次之特性，以鐵路動態座位調整方法進行控管。首先根據特定車次之歷史運量資料模擬每日購(退)票需求，以鐵路靜態座位配置模式

所規劃之各起迄區間座位配置量作為售票第一天之限制並進行販售，訂定每日調整時間點，並結算各起迄區間累積之銷售量來推估發車當日之總運量，以此作為後續鐵路動態座位調整模式之保留座位數規劃依據，重複每日調整步驟至發車前一日，最後總計該列車之收益及其座位利用率。

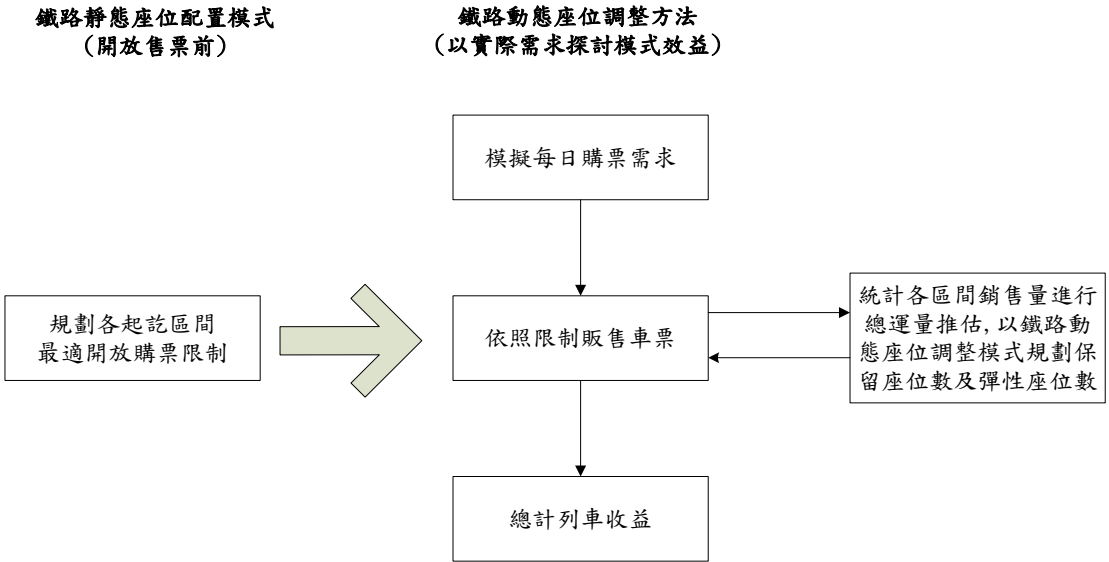


圖 3-6 分析步驟

第四章 實例驗證

本研究主要以臺灣東部鐵路進行個案分析，探討鐵路靜態座位配置模式及鐵路動態座位調整方法對列車收益之影響。4.1 小節為臺鐵現行營運介紹及相關資料蒐集，4.2 小節為運量推估模式之結果分析，4.3 及 4.4 小節分別為鐵路靜態座位配置模式及鐵路動態座位調整方法之結果分析及各模式之比較。

4.1 資料蒐集



圖 4-1 臺鐵營運路線圖
(參考來源：交通部鐵路管理局網頁)

上圖為臺灣環島鐵路營運路線圖，為配合整體運輸市場之變化，臺鐵逐步轉型以服務西部中短程旅次為主，並將臺灣東部鐵路視為主要市場。於西部鐵路之直達車增設停靠站、調整班次及時刻表等，並推動電子票證整合服務，吸引旅客搭乘；而於東部鐵路方面，提升其運輸服務之軟硬體設施，修繕花東鐵路、增設普悠瑪號及太魯閣號，改善服務品質，並增加東部鐵路之運能。

根據交通部鐵路管理局之臺灣鐵路統計年報表示，臺鐵年運量逐年成長，自民國 92 年的 161,426,023 人次攀升至民國 106 年的 232,805,994 人次，日平均約為 629,412 人次。

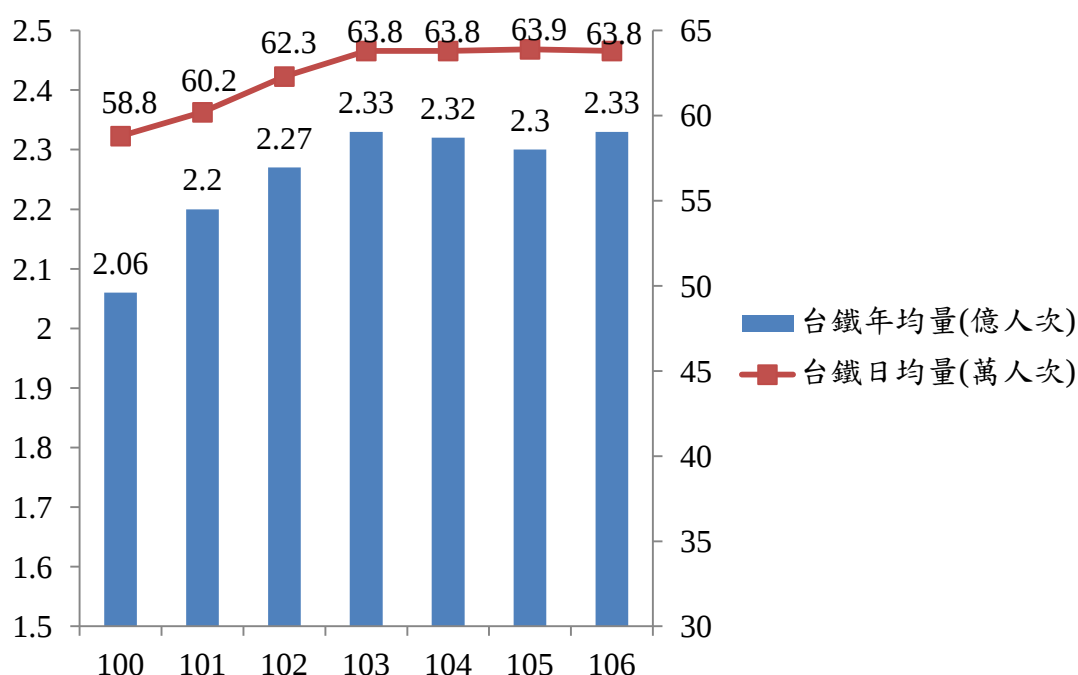


圖 4-2 臺鐵歷年年運量及日均量變化趨勢

(參考來源：交通部鐵路管理局-臺灣鐵路統計年報，本研究彙整)

如下表所示，臺鐵 2016 年座位利用率為 63.28%，較上年(2015)減少 1.22 個百分點，其中自強號之服務狀況最為優良，座位利用率達到約 0.70，而莒光號之座位利用率約為 0.43，而服務短程旅次之區間車為臺鐵供給大宗，日均供給約占整體之 80%，其座位利用率僅達到約 0.62。而本研究所要探討之東部鐵路線別(包含宜蘭線、北迴線及臺東線)，年運量分別為 10,635,713 人次、7,674,639 人次及 3,917,043 人次。

表 4-1 臺鐵 2016 年各車種座位利用率

項目		自強號	莒光號	區間車	普快車	總量
年運量	人次	37,453,205	7,849,563	185,034,497	27,705	230,364,970
	占比	16.26%	3.41%	80.32%	0.01%	100%
座位利用率		70.31%	42.89%	61.88%	11.44%	63.28%

(資料來源:交通部臺灣鐵路局網頁，本研究彙整)

本研究選定自強號(普悠瑪列車)作為研究對象，根據交通部臺灣鐵路管理局之網頁表示，普悠瑪列車於 2012 年引進，2013 年 2 月 6 日投入營運。初期行駛於北迴線，直至 2015 年花東鐵路電氣化完工，將行駛路線擴展至臺東車站。該

列車過彎傾斜，易使站立乘客發生危險，故實施全車強制對號入座，並無發售無座位票，且無票或不是持有該班次普悠瑪列車之旅客(持悠遊卡、一卡通等電子票證、定期票)不得搭乘，否則將依規定重新補票並加收 50%之票價。而普悠瑪列車基本性能資料表如下：

表 4-2 普悠瑪列車座位資訊表

車型	臺鐵 TEMU2000 型電聯車
列車車廂數	8 節列車車廂
列車座位數	372 席
車廂座位配置	2+2 單一等級座位(每排 4 個座位)

(資料來源:交通部臺灣鐵路局網頁)

根據交通部臺灣鐵路局網頁載明，臺鐵普悠瑪列車之訂(購)票、退(換)票規定如下：

1. 訂(購)票之方式有以下數種：車站現場窗口、超商、網路訂位及語音訂位等，乘車前二週（十四天）可開始預訂，即週一可預訂次週一內之乘車票，但每逢週五可多預訂二天至次週日之乘車票（即逢週五可預訂至次週五、六、日之乘車票），而車站現場窗口開放售票時間為乘車日前 12 日開始預售。訂票後需於列車開行前 30 分鐘付款取票。
2. 對號列車退票受理時間為列車開車前，根據不同之退票時間收取部分手續費（詳見交通部臺灣鐵路局網頁）。
3. 若要進行乘車變更需於列車發開行前 30 分鐘辦理，第一次申請免收手續費，第二次申請按變更後乘車日期計算手續費。
4. 團體購票(10 人以上)需於乘車日 20 日前至 2 個月內辦理，各級對號列車按乘車區間全票票價乘以團體人數，即為團體票總價（無折扣）。

而臺鐵訂位系統之座位配置方法簡述如下：

1. 對號列車採固定配座，並以長途及主要大站分配較多數量為原則，為避免同一起、迄站旅客於同一車廂上下車，影響列車停靠車站時間，會採同一起、迄站座位配額分散數個車廂配置的方式。
2. 若訂購同一車廂兩張(以上)之車票，優先安排座位相鄰，如訂票時間序位在前，則優先安排相鄰座位供旅客乘坐，但因旅客訂票數量不一，如相鄰座位已被其他旅客預訂，將僅剩個車廂零散座位，考量座位充分利用，零散座位仍會發售，故可能發生訂購兩張(以上)車票卻分散不同車廂之情形發生。
3. 因旅客購票後常有退票或部分退票之情形，將導致原預訂座位出現零散座位

之情形，基於不使座位閒置、虛耗，如有可滿足訂票旅客數量之座位，訂票系統仍會受理旅客訂票。

4. 為避免旅客偏愛特定座位型態(如靠窗)，致使座位趨於零散，不利於多人訂票相鄰座位之安排，且開放選位經實測，會降低訂票系統效能及增加訂票處理時間，故目前尚不考慮提供旅客訂票時選位功能。

本研究將以 438 號車次(樹林-臺東，每日行駛)作為主要探討對象，並提出以下幾點假設。

1. 為探討營收管理(座位配置)對鐵路產業營收之影響，且臺灣東部鐵路長期處於供不應求之情形，本研究假設該列車之潛在需求大於其供給。
2. 配合本研究所歸納之動態座位調整方法，將平假日、連續假期之購票售票週期皆假定為發車當日之 14 天前至發車當日 30 分鐘，票價皆以單一費率來計算(將團體購票視為個人購票)。
3. 旅客預訂車票即為購票需求，訂票 30 分鐘內付款完成購票動作，不提供訂票保留座位之服務，且本研究假設退票皆全數回歸訂票系統繼續販售。

下表為 438 車次之時刻表，其起迄組合共 66 組，為使模式更為簡單明瞭，本研究將站點合併為臺北、宜蘭、花蓮、玉里及臺東五個主要車站，根據這五個主要車站進行座位配置之規劃(如表 4-4)。

表 4-3 438 車次時刻表

站名	到達時間	開車時間
樹林		17：58
板橋	18：05	18：07
臺北	18：15	18：20
宜蘭	19：23	19：25
花蓮	20：21	20：25
光復	20：57	21：00
瑞穗	21：12	21：13
玉里	21：26	21：28
池上	21：42	21：43
關山	21：51	21：52
鹿野	22：02	22：04
臺東	22：16	

(資料來源:交通部臺灣鐵路局網頁)

表 4-4 438 車次站點合併情況

原始站點	合併站點
樹林	臺北
板橋	
臺北	
宜蘭	宜蘭
花蓮	花蓮
光復	
瑞穗	玉里
玉里	
池上	臺東
關山	
鹿野	
臺東	

本研究係以 2015/12/01 至 2016/12/31 之 438 車次歷史運量資料進行分析，扣除颱風天停駛及資料缺失部分，共 293 筆有效資料。表 4-5 為 438 車次 2016 年各起迄區間(合併站點後)之平均運量，其中臺北-臺東運量最大，其次是臺北-花蓮及花蓮-臺東，該結果也反映出臺鐵票務系統以長程區間配置較多數之原則。倘若購票數達到座位配額時，旅客將無法繼續購買，此時歷史運量資料將無法捕捉這些潛在需求，故在進行座位配置規劃時，我們應設法推估各起迄區間實際之潛在需求。

表 4-5 2016 年各起迄區間平均運量

起\迄	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	21.28	114.79	46.06	157.41
宜蘭	-	20.26	2.83	10.32
花蓮	-	-	50.10	56.35
玉里	-	-	-	12.98

根據陳淑珮(2006)及 Bao et al.(2014)之研究顯示，不同長度的旅運行為其售票曲線亦不相同。本研究以 438 車次 2016/03/27(日)及 2016/03/28(一)，臺北-宜蘭(短程)及臺北-臺東(長程)之購票曲線為例，如圖 4-3 可知，長程旅客購票前置時間較長，偏好提早購票，且假日時段，此種情況更為顯著；反之，短程旅客多於發車當日前往現場窗口進行購票。

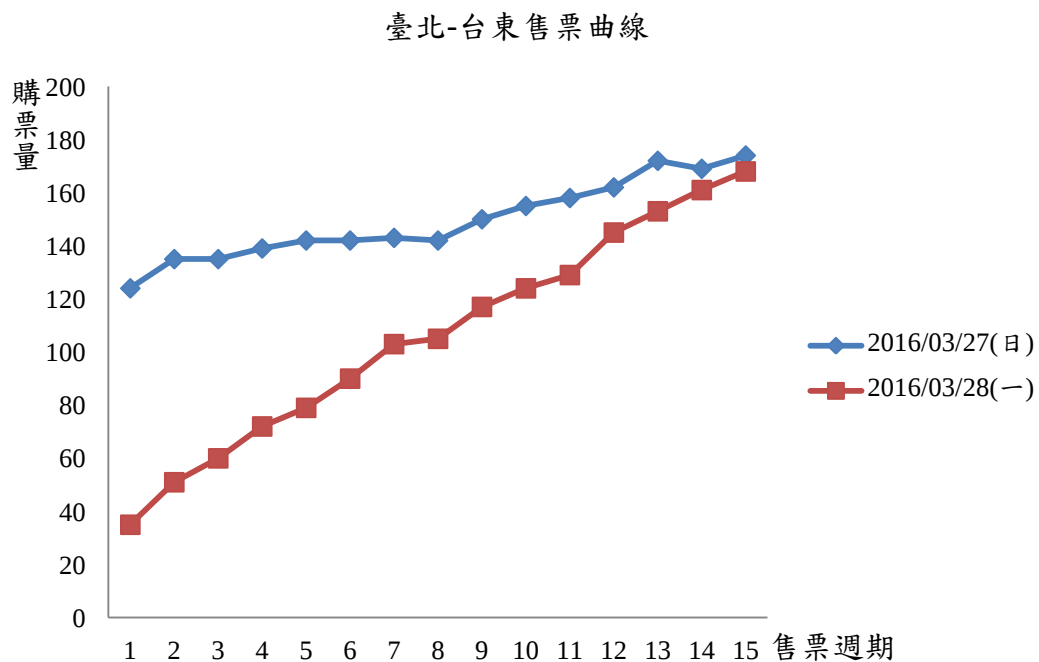
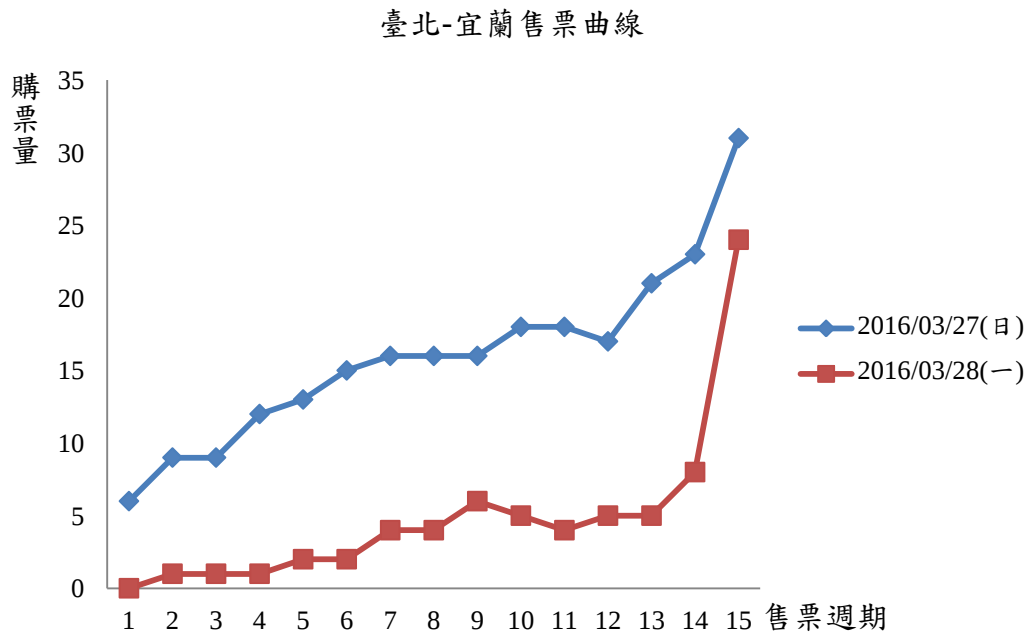


圖 4-3 438 車次每日(累積)售票曲線圖

本研究所需之資料包含臺鐵各起迄區間潛在需求、臺鐵各起迄區間票價、營運容量、座位配置下限等。以下列點詳述：

1. 臺鐵各起迄區間潛在需求

如前所述，歷史運量資料無法反映旅客真需求，故本研究將利用交通部運輸研究所(2015)所公布「第 5 期整體運輸規劃研究系列」之城際運輸旅次資料推估單一班次各起迄區間之平均潛在需求。

以臺鐵平、假日旅次起迄需求表為基礎(表 4-7、4-8)，規劃調查區間之潛在需求。本研究所探討之對象為單一對號列車，而該起迄需求表為每日總需求，故將各起迄區間之需求分配至各級對號列車，然而臺北-宜蘭及宜蘭-花蓮旅次，主要以區間車進行服務，故此兩組起迄區間需加入區間車班次進行分析，而同縣市之節點(花蓮與玉里)，則依照臺鐵 2016 年各車站平均日進出站人次進行比例分配。以下即為本研究所需之各起迄區間之平均潛在需求：

表 4-6 各起迄區間平均潛在需求

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	54	227	52	176
宜蘭	-	120	21	41
花蓮	-	-	75	112
玉里	-	-	-	48

下圖為 438 車次平均運量及其起迄區間之潛在需求對照圖，本研究所調查之潛在需求中，以臺北-花蓮佔最大宗，臺北-臺東為第二，其次是宜蘭-花蓮及花蓮-臺東；反觀 438 車次之平均運量，以臺北-臺東為最大，臺北-花蓮為第二，花蓮-臺東為第三，此現象顯示，臺鐵在進行各起迄區間之座位配置規劃時，以長程運輸需求優先為原則(臺北-玉里、臺北-臺東)，臺北-宜蘭之運具選擇較多(如國道客運、私人運具等)，故臺鐵主要以區間車服務為主；而臺北-花蓮之旅運需求，旅客常會分段轉乘，於臺北-宜蘭選擇國道客運，再從宜蘭轉乘區間車至花蓮，因此宜蘭-花蓮亦多以區間車進行服務。

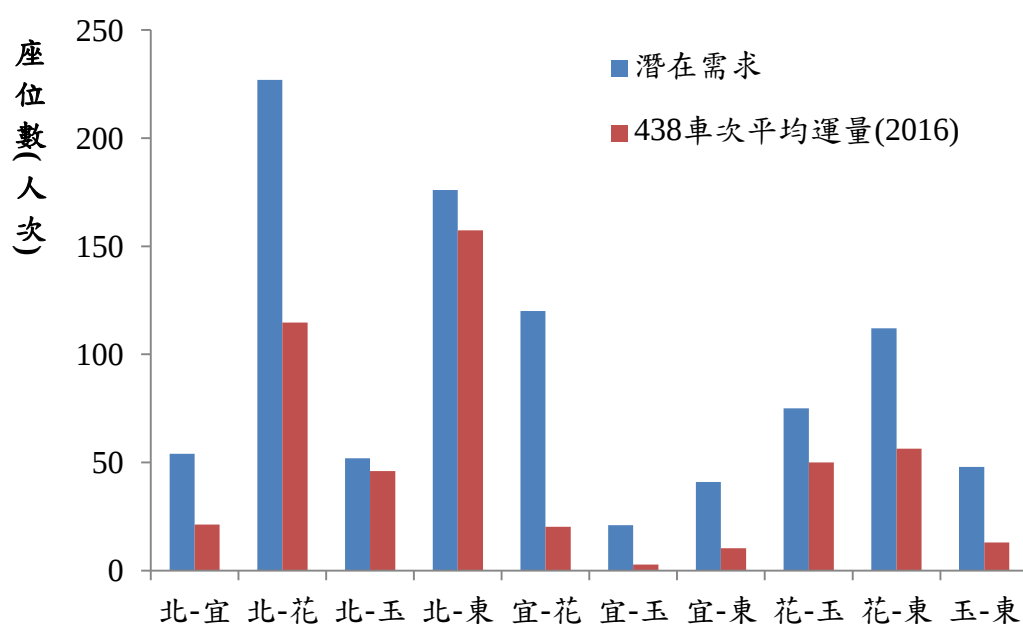


圖 4-4 438 車次平均運量及潛在需求對照圖

表 4-7 台鐵平日旅次起迄需求表

起/迄	基隆	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	南投	雲林	嘉義	台南	高雄	屏東	宜蘭	花蓮	台東	總和
基隆	0	10856	1663	473	104	146	39	0	23	8	22	24	2	334	243	31	13968
台北	10620	0	32166	9895	3266	3835	1086	0	469	374	405	281	23	2806	6890	934	73050
桃園	1326	30710	0	9903	2415	2856	853	0	341	299	327	201	39	235	282	8	49795
新竹	304	8540	8998	0	5938	3076	785	0	252	226	296	146	30	58	139	4	28792
苗栗	89	3729	2862	7186	0	6804	1259	2	226	238	374	266	26	10	37	0	23108
台中	117	4396	3382	4348	6183	0	14198	217	2960	1972	1867	990	76	67	248	37	41058
彰化	45	1329	1288	1317	1553	15201	0	469	1764	1767	2919	1492	138	21	93	24	29420
南投	0	1	0	0	0	164	324	0	61	46	9	1	0	0	0	0	606
雲林	26	549	355	317	246	3224	1341	17	0	2004	2206	1301	101	3	8	24	11722
嘉義	11	390	455	281	204	2118	1280	7	1710	0	5658	2902	246	1	5	22	15290
台南	20	596	485	349	325	1786	1638	2	1451	4718	0	18008	1610	2	39	152	31181
高雄	21	419	295	208	279	1042	1156	0	1108	2904	17909	0	8183	3	568	2238	36333
屏東	0	35	61	44	23	88	117	0	83	272	2032	8780	0	0	234	1048	12817
宜蘭	344	2864	293	74	20	130	32	0	9	5	2	7	1	0	4972	102	8855
花蓮	644	8719	471	163	39	297	98	0	10	6	134	745	226	8836	0	860	21248
台東	25	1232	27	6	1	64	32	0	19	28	150	2475	1136	114	1334	0	6643
總和	13592	74365	52801	34564	20596	40831	24238	714	10486	14867	34310	37619	11837	12490	15092	5484	403886

(資料來源：交通部運輸研究所-第 5 期整體運輸規劃研究)

表 4-8 台鐵假日旅次起迄需求表

起/迄	基隆	台北	桃園	新竹	苗栗	台中	彰化	南投	雲林	嘉義	台南	高雄	屏東	宜蘭	花蓮	台東	總和
基隆	0	12286	746	135	47	65	28	0	14	5	8	12	0	174	130	14	13664
台北	12269	0	29693	5135	1718	1825	548	0	281	194	221	183	21	1273	4361	674	58396
桃園	727	29269	0	7844	1100	1020	353	0	131	161	141	136	23	95	360	6	41366
新竹	139	5282	7806	0	5873	1565	336	0	120	91	133	112	13	30	81	3	21584
苗栗	54	1623	1157	6093	0	3484	453	4	85	67	108	103	10	11	26	0	13278
台中	68	1833	1024	1514	3165	0	8928	71	1301	732	519	357	32	41	238	48	19871
彰化	24	586	353	301	457	8674	0	487	887	634	523	424	31	21	81	26	13509
南投	0	0	0	0	0	42	172	0	8	14	1	0	0	0	0	0	237
雲林	17	278	142	113	99	1303	954	7	0	1442	648	401	22	0	4	4	5434
嘉義	10	188	162	101	103	807	696	9	1285	0	2807	1071	81	2	6	25	7353
台南	10	201	139	129	132	601	867	1	827	3397	0	11701	613	5	54	96	18773
高雄	12	170	134	97	122	359	400	0	378	1029	11431	0	6049	4	371	1196	21752
屏東	1	21	33	15	10	45	40	0	35	111	679	6186	0	2	150	507	7835
宜蘭	184	1367	141	34	11	54	36	0	7	1	10	8	0	0	3355	176	5384
花蓮	274	4510	232	112	24	161	52	0	4	13	53	357	201	7483	0	608	14084
台東	18	536	28	4	3	51	17	0	25	0	103	1379	525	76	646	0	3411
總和	13807	58150	41790	21627	12864	20056	13880	579	5388	7891	17385	22430	7621	9217	9863	3383	265931

(資料來源：交通部運輸研究所-第 5 期整體運輸規劃研究)

2. 臺鐵各起迄區間票價

本研究採取單一費率等級，無任何優惠之全額票價。普悠瑪列車為里程計費，每人每公里 2.27 元，不滿 10 公里以 10 公里計價，故最大化收益即為最大化座位使用率。

表 4-9 各起迄區間費率

起\迄(\$)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	218	440	629	783
宜蘭	-	223	411	565
花蓮	-	-	189	343
玉里	-	-	-	154

(資料來源:交通部臺灣鐵路局網頁)

3. 營運容量

本研究以單一普悠瑪列車進行探討，且全車皆為對號座，故每一段航程之營運容量即為列車總座位數 372 席。

4. 座位配置下限

為避免模式運算時，將全部座位數分配給期望收益較大之起迄組合，故應保障部分座位數於偏遠或利潤較少之起迄區間，並設法公平滿足各起迄區間之旅客需求。而座位配置下限可根據管理者之決策進行調整，本研究以平均潛在需求之二成作為各起迄區間之座位配置下限。

表 4-10 各起迄區間座位配置下限

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	11	45	10	35
宜蘭	-	24	4	8
花蓮	-	-	15	22
玉里	-	-	-	10

而第二階段鐵路動態座位調整模式所需之運量推估方法及每日需求模擬將分別於 4.2 小節及 4.4 小節詳細介紹。

4.2 運量推估模式之結果分析

配合本研究之鐵路動態座位調整模式，以類神經網路建構運量推估模式，進行發車當日之總運量預測。根據前述可知，不同旅次長度之旅客需求，其售票曲線亦不相同，藉由每日動態調整，方能使座位得到更有效的配置。4.2.1 小節將介紹資料之來源及處理，4.2.2 小節為該模式之相關參數設定，最後 4.2.3 小節為其結果與分析。

4.2.1 資料前處理

本研究蒐集 2015/12/01 至 2016/12/28 之 438 車次歷史運量資料進行探討，扣除颱風天停駛及資料缺失部分，共 293 天有效資料，以 2015/12/01 至 2016/11/30 之數據作為訓練資料，而 2016/12/01 日至 2016/12/28 之數據作為測試資料。

下表為該模式輸入層變數表，訓練資料共 3668 筆，測試資料為 392 筆。為配合倒傳遞類神經網路之轉換函數，故將各數據進行正規化處理，使數值介於 0 至 1 間，正規化公式如式(34)。

$$\text{正規化數據} = \frac{\text{實際數據} - \text{數據最小值}}{\text{數據最大值} - \text{數據最小值}} \quad (34)$$

表 4-11 為模式輸入層之變數表，投入之參數為星期特性、連續假期特性、開賣天數及已知銷售數量。星期特性參數變數為是某為星期五~星期日，而連續假期特性參數係根據臺鐵 105 年連續假期開放購票期程來判定是否為連續假期，根據前文所述，不同旅次長度及旅次發生時間，其購票型態亦有所差異，故本研究選擇此兩種參數投入模式進行預測；而開賣天數參數為進行調整時已開賣至第幾天，並假定所有購票方式之售票週期皆為 15 日；最後銷售數量即為各起迄區間已知之累積銷售總量。

表 4-11 類神經網路輸入層變數表

變數	內容	舉例
星期	是否為星期五~星期日	星期一~星期四：0 星期五~星期日：1
連續假期	是否為連續假期	連續假期=1 非連續假期=0
開賣天數	已開賣天數(售票週期為 15 日)	已開賣 5 日：0.3077
銷售數量	各起迄區間累積銷售座位數	已銷售 200 個座位：0.5376

4.2.2 模式參數設定

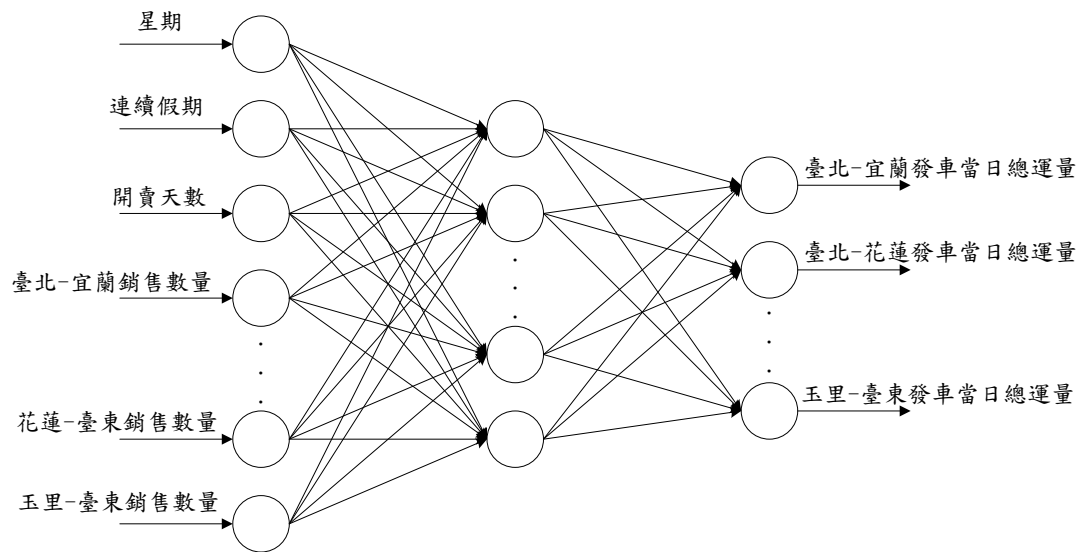


圖 4-5 類神經網路架構圖(運量推估模式)

圖 4-5 為本研究之類神經網路架構圖，並以 R 語言進行模式建構，故需設定輸入層、輸出層、隱藏層層數、隱藏層單元個數、訓練次數、門檻值、學習速率及學習函數等。

1. 輸入層與輸出層：輸入層與輸出層之單元個數分別為輸入變數(本研究為 13 項)與輸出變數(本研究為 10 項)之個數。
2. 隱藏層層數及單元個數：根據前述文獻回顧，隱藏層取一至二層之收斂效果最好，故本研究以單層隱藏層為基準，並以平均法決定隱藏層個數(12 個)。
3. 門檻值與訓練次數：兩者皆模式訓練終止條件，若達到其中之一，即停止訓練。本研究設定門檻值為 0.01，訓練次數為 50000 次。
4. 學習速率：學習速率之調整是依據前後兩筆網路輸出資料之誤差值進行修正，一般而言，介於 0 與 1 之間。本研究係以 0.01 作為該模式之學習速率。
5. 學習函數：本研究以雙彎曲函數 (Sigmoid Function)作為學習函數，其值域介於 0 和 1 之間。

4.2.3 結果分析

本研究使用 R 語言建構運量推估模式，以 Intel i5-6200U、8GB RAM，作業系統為 Microsoft WINDOWS 10 之個人電腦進行測試，模式建構所需運算時間約為 171.73 秒。

表 4-12 運量推估模式之績效結果

train-RMSE	train-MAPE	test-RMSE	test- MAPE
0.0211	24.86%	0.0247	25.92%

表 4-12 為運量推估模式之整體績效結果，其中 MAPE 值與 RMSE 值越小，代表模式績效越好。該模式訓練資料與測試資料之 MAPE 值皆於 Lewis(1982)提出 MAPE 四種等級中的合理範圍(20%~50%)中，且趨近於優良範圍(10%~20%)，依此判定本研究所提出之運量推估模式為可行之預測模式。而類神經網路是由歷史資料(訓練資料集)訓練模式，來預測實際未知之結果(測試資料集)，故其測試資料之 RMSE 值會略大於訓練資料之 RMSE 值。

由表 4-13 可知，開賣天數變數與發車當日總運量之關聯，愈靠近發車日，根據已知之累積銷售量進行發車當日總運量推估，愈可以精準掌握發車當日之總運量，亦反映鐵路旅客之前置時間較短之特性，旅客多於發車日前往現場購票。由每日之累積銷售量進行發車當日總運量之預測，調整各起迄區間之保留座位數及彈性座位數，達到提升座位利用率之目的。

表 4-13 開賣天數變數之績效結果

開賣天數(天)	train-RMSE	test-RMSE
1	0.0270	0.0296
2	0.0235	0.0268
3	0.0227	0.0266
4	0.0219	0.0262
5	0.0214	0.0253
6	0.0210	0.0252
7	0.0208	0.0249
8	0.0202	0.0244
9	0.0200	0.0239
10	0.0197	0.0235
11	0.0195	0.0233
12	0.0192	0.0227
13	0.0187	0.0217
14	0.0182	0.0212

4.3 鐵路靜態座位配置模式之結果分析

本小節將針對鐵路靜態座位配置模式之確定性需求模式與隨機性需求模式進行比較，4.3.1 為確定性需求模式之結果分析，4.3.2 為隨機性需求模式之結果分析。

4.3.1 確定性需求模式之結果分析

本研究以 R 語言建構確定性需求模式，以線性整數規劃方法進行求解，模式運算所需時間約為 0.03 秒。

表 4-14 確定性需求模式座位配置結果

起迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	54	132	10	176
宜蘭	-	24	4	26
花蓮	-	-	44	112
玉里	-	-	-	48
目標收益(\$)	288836			

經確定性需求模式求解後，所得各起迄區間配置結果如表 4-14 所示，臺北-宜蘭 54 席、臺北-花蓮 132 席、臺北-玉里 10 席、臺北-臺東 176 席、宜蘭-花蓮 24 席、宜蘭-玉里 4 席、宜蘭-臺東 26 席、花蓮-玉里 44 席、花蓮-臺東 112 席及玉里-臺東 48 席，目標收益為\$288836，而此配置結果之座位利用率為 99.46%。將此結果整理如圖 4-6，以各起迄區間配置占比進行討論。

根據圖 4-6 所示，臺北-臺東配置比例為 28%，其次是臺北-花蓮的 21%，而花蓮-臺東佔 18%為第三；而圖 4-7 為各起迄區間之潛在需求比例，臺北-花蓮為潛在需求最大宗，佔 25%，臺北-臺東為 19%，其次為宜蘭-花蓮的 13%及花蓮-臺東 12%。探究其原因，模式進行規劃時會優先將座位分配給期望收益最大之區間(臺北-臺東)，而臺鐵為里程計費，此結果亦符合臺鐵現行座位配置規劃之長途旅運需求分配較多數之原則。本研究僅考量特定區間之單一對號列車，故無法滿足所有起迄區間之需求，亦顯示臺鐵應設法提升臺北-花蓮之運能，方能解決供不應求問題。

而臺北-玉里、宜蘭-玉里本身潛在需求較少，模式進行求解時，僅分配本研究所規定之座位配置下限於這兩段起迄區間。而宜蘭-花蓮之潛在需求比例雖高達 13%，但於確定性需求模式之配置結果比例僅佔 4%，推測原因為臺北-花蓮、臺北-玉里、臺北-臺東、宜蘭-花蓮、宜蘭-玉里及宜蘭-臺東皆包含此段航程，競爭區間較多，於最大化收益之目標下，僅能滿足約兩成之旅客潛在需求。

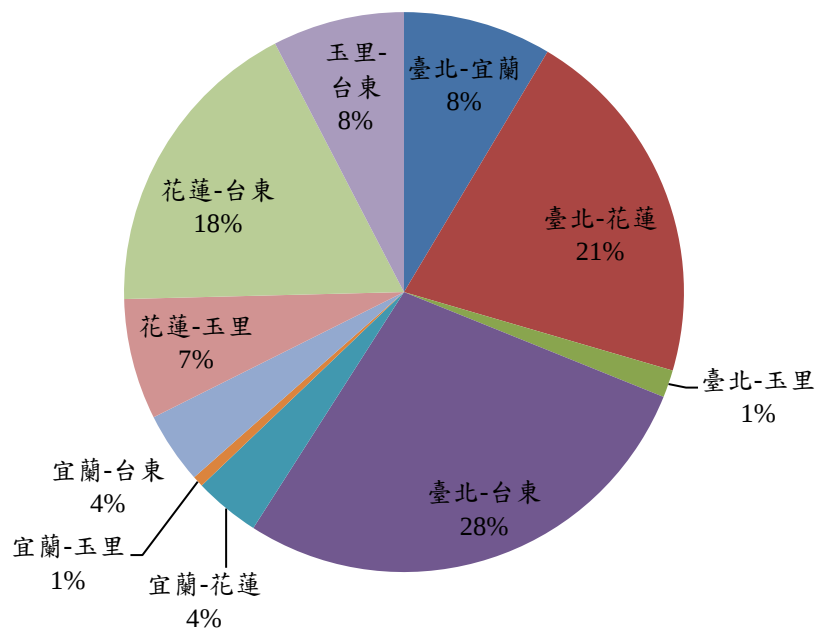


圖 4-6 確定性需求模式各起迄區間配置占比

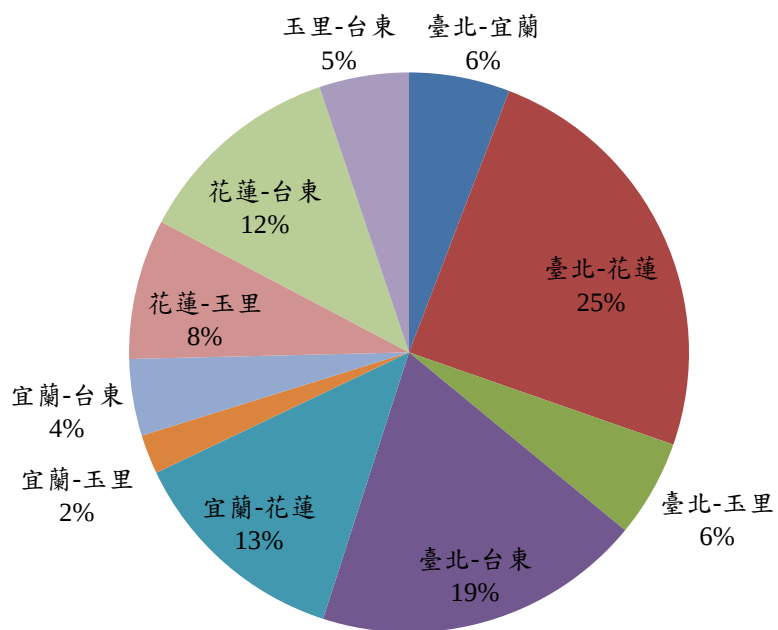


圖 4-7 各起迄區間潛在需求佔比

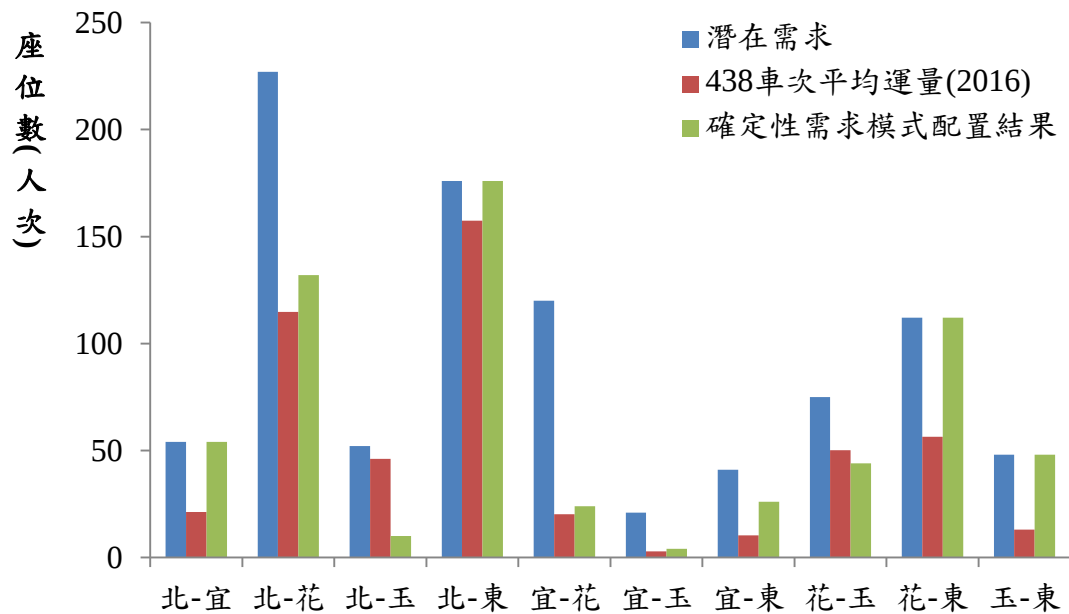


圖 4-8 438 車次平均運量及確定性需求模式配置結果對照圖

將各起迄區間之潛在需求、438 車次平均運量及確定性需求模式配置結果繪製成直方圖如上，由圖可知在最大化收益(最大化座位利用率)之目標下，其變化方向一致，僅在各區間之斜率上有所不同。其中，臺北-花蓮、臺北-玉里、宜蘭-花蓮、宜蘭-玉里、宜蘭-臺東及花蓮-玉里之配置結果與 438 車次平均運量差距不大，而臺北-宜蘭、花蓮-臺東、玉里-臺東之配置結果大於 438 車次平均運量，本研究推測其原因為臺北-宜蘭運具選擇較多，且屬於短程旅次，旅客多於發車當日前往現場購票，並不會事先查詢班次資訊，故旅客需求變化較大，其平均運量略小於推估之潛在需求；而花蓮-臺東及玉里-臺東之旅客平均運量遠少於潛在需求，但在最大化收益之目標下，模式會設法將資源全部分配於各起迄區間，因此造成此種配置情況發生。本研究僅考量單一對號列車，故無法滿足所有起迄區間之需求，亦無法判別列車與列車間之交互影響，也就是說，當潛在需求為一定值，且僅有這班車行駛時，在追求最大化收益(最大化利用率)之目標下，配置結果將會呈現此種分布。

4.3.2 隨機性需求模式之結果分析

旅客需求具隨機性，倘若進行座位配置規劃時，未將其特性納入模式中考量，可能會導致空位浪費。然而，於現實世界中，不太可能取得未發生之旅客需求資訊。故根據前述文獻回顧，本研究將旅客潛在需求視為一隨機變數，並服從其機率分配模型，利用卡方適合度檢定，檢查 438 車次之歷史運量資料滿足何種分配，並假設旅客潛在需求與歷史運量資料存在相同機率分布。

H_0 : 資料服從特定分配

H_1 : 資料不服從特定分配

$$\chi^2_{k-1} = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} < \chi^2_{k-1, 0.05}, \text{無法拒絕 } H_0$$

$$\chi^2_{k-1} = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} > \chi^2_{k-1, 0.05}, \text{拒絕 } H_0$$

k : 資料分群

o_i : 觀察次數

e_i : 期望次數, $e_i = np_i$, n 為總樣本數

上述為卡方適合度檢定方法，以此判定 438 車次歷史運量資料是否服從常態分配，結果顯示，無法拒絕虛無假設(H_0)，依此假設旅客潛在需求服從常態分配，並進行後續隨機性需求模式之情境規劃。

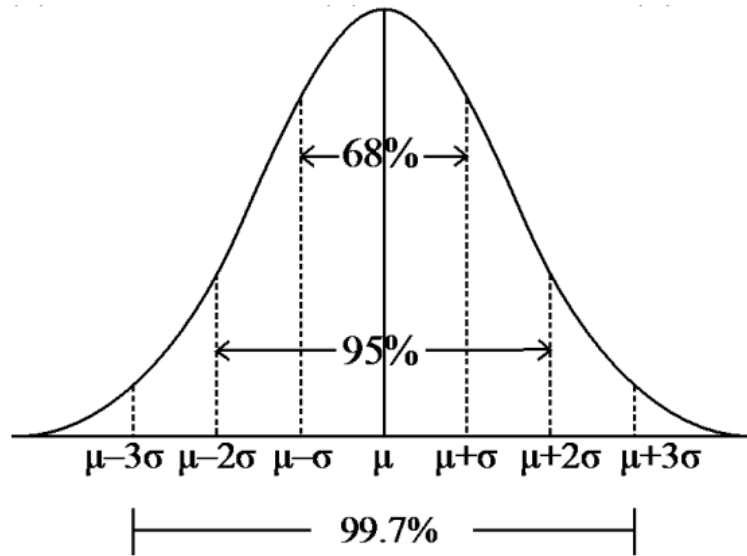


圖 4-9 常態分配分布圖

由常態分配機率分布圖可知，68%之資料分布落於平均值正負一個標準差間；95%之資料分布落於平均值正負兩個標準差；而 99.7%的資料分布落於平均值正負三個標準差，故本研究以此三種情況規劃旅客潛在需求之情境，利用隨機性需求模式求解需求範圍為 68%信賴區間、95%信賴區間及 99.7%信賴區間之配置結果。並以完全資訊解(The Expected Value of Perfect Information, EVPI)及隨機解價值(The Value of the Stochastic Solution, VSS)評估隨機模型之適用性及其價值。

1. 完全資訊解(The Expected Value of Perfect Information, EVPI)

$$EVPI = WS - RP$$

將各隨機事件以確定性需求模式求解，將所得目標值乘上對應發生機率，其總和即為完全資訊下隨機事件之期望值，稱為 WS(Wait-and-See)模式，而隨機規劃模型求出之目標值即為 RP 解。當 EVPI 值愈小，代表隨機規劃模型所求出之解愈接近完全資訊下所求出之解，亦表示隨機模型之適用性，方能反映實際情況。

2. 隨機解價值(The Value of the Stochastic Solution, VSS)

$$VSS = RP - EEV$$

本研究確定性需求模式之目標值即為 EV 解(The Expect Value Solution)，將 EV 結果代入各隨機事件所得之目標值乘以其對應機率之期望總和即為 EVV。當 VSS 趨近於 0，意旨隨機事件對研究問題影響越大；而 VSS 趨近於 0 時，則代表以確定性需求模式或是隨機性需求模式所求出之目標值差異不大。

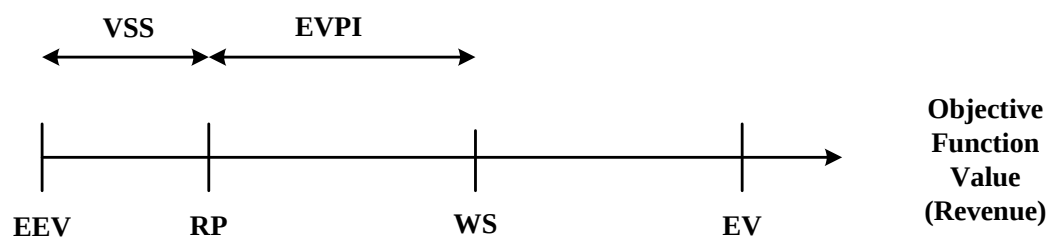


圖 4-10 EVPI 及 VSS 關係圖

將各隨機事件情境(需求範圍 68%信賴區間、95%信賴區間及 99.7%信賴區間分別為情境一、情境二及情境三)代入隨機性需求模式求解，所得之詳細配置結果如下表：

表 4-15 隨機事件情境一(68%)之座位配置結果

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	56	114	45	157
宜蘭	-	24	4	28
花蓮	-	-	31	107
玉里	-	-	-	52
目標收益(\$)	284831.06			
EVPI(\$)	3457.16			
VSS(\$)	2018.52			

表 4-16 隨機事件情境二(95%)之座位配置結果

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	59	113	37	163
宜蘭	-	24	4	31
花蓮	-	-	34	103
玉里	-	-	-	57
目標收益(\$)	282032.32			
EVPI(\$)	3994.36			
VSS(\$)	3830.36			

表 4-17 隨機事件情境三(99.7%)之座位配置結果

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	臺東
臺北	61	126	29	156
宜蘭	-	24	4	33
花蓮	-	-	52	98
玉里	-	-	-	61
目標收益(\$)	280597.97			
EVPI(\$)	4194.73			
VSS(\$)	5437.75			

將上述座位配置結果整理如圖 4-11，可以發現當需求變動越大，其配置結果會逐漸趨近於確定性需求模式之配置結果，如情境三，各起迄區間之需求變動較劇烈，故模式進行運算時，會將大部分之資源配置給期望收益較大之起迄區間，避免需求之不確定性造成收益損失。

其中，宜蘭-花蓮及宜蘭-玉里之配置結果並不會隨著需求變動幅度而有明顯差異，推測原因為此區間所包含之航程(leg)皆屬於多競爭航程(leg)，故在最大化收益之目標下，模式僅配置本研究所規定之配位下限，而將其他大部分資源分配給包含較少競爭航程(leg)之起迄組合。而臺北-花蓮、花蓮-玉里及花蓮-臺東區間，因該起迄組合本身之需求變異較大，故當潛在需求落於平均值正負三個標準差(99.7%信賴區間)時，對模式之影響較為顯著，其配置結果顯著與情境一及情境二之配置結果有所差異。

隨機事件情境一、情境二及情境三之座位利用率分別為 98.12%、98.39%及 98.39%，由此可知，隨機事件情境二及情境三之配置結果使資源得到較充分之利用。

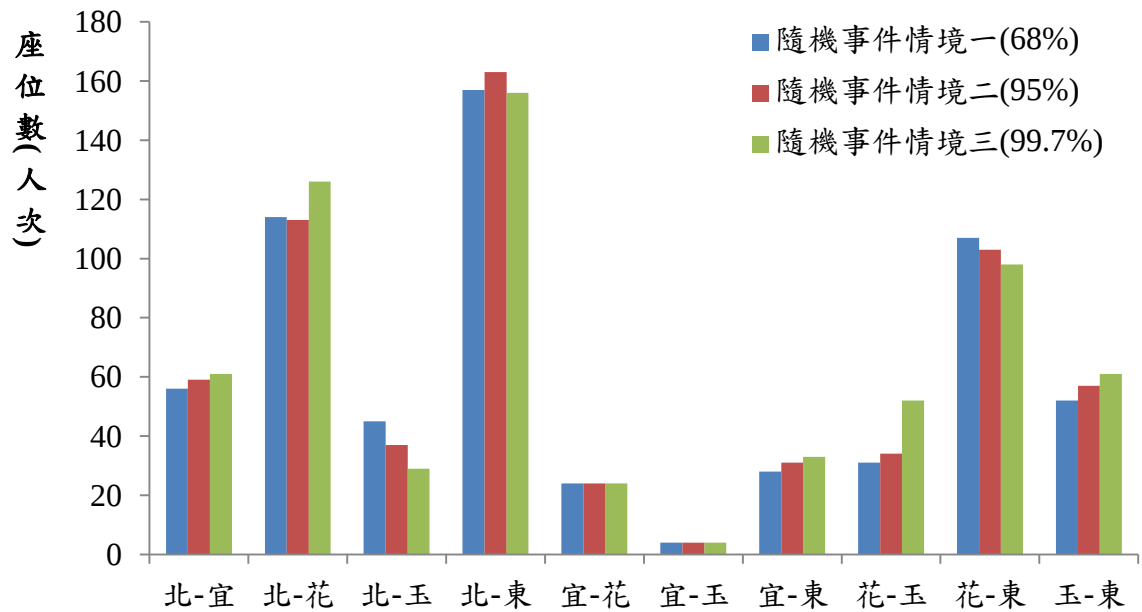


圖 4-11 隨機性需求模式配置結果

圖 4-12 為需求幅度變化之敏感度測試，當各起迄區間之需求落於 68%信賴區間(情境一)時，其目標值為\$284831.06，與確定性需求模式之目標值相差\$4928.94；而各起迄區間之需求落於 95%信賴區間(情境二)時，目標值為\$282032.32，與情境一之目標值相差\$2798.74；情境三之目標值與情境一之目標值相差\$4233.09，與情境二之目標值相差\$1434.35。由此可知，需求變化幅度對模式存在顯著影響，需求變化愈劇烈時，其配置結果則愈趨近於確定性需求模式之配置結果，代表該情境對模式之影響程度逐漸縮小。

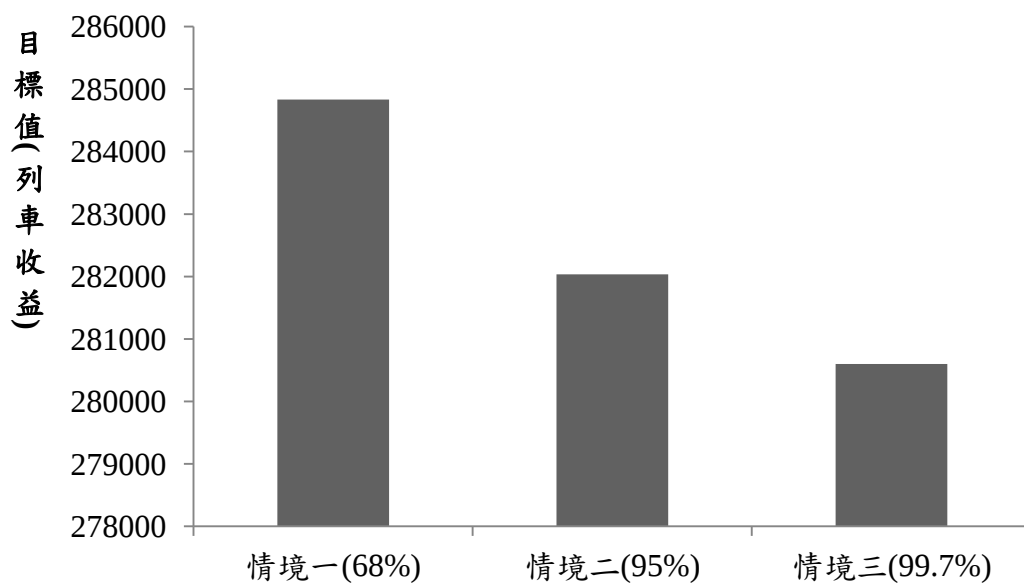


圖 4-12 敏感度測試

由圖 4-13 可知，當需求變化幅度越大時，完全資訊解(EVPI)亦逐漸增加，完全資訊解(EVPI)為隨機性需求模式所求出之解與完全資訊所求出之解的差異，EVPI 愈大，則隨機規劃模型愈無法反映真實情況。而情境一、情境二及情境三之隨機解價值(VSS)皆>0，表示旅客需求(隨機事件)對研究問題具有一定之影響力，當需求變化幅度越大時，以隨機性需求模式所求出之解及確定性需求模式所求出之目標值差異逐漸增加。

隨機性需求模式比確定性需求模式更能反映需求變動的情況，倘若旅客需求與預期情況接近時(潛在需求平均值)，使用確定性需求模式即有很好之效益，然而於現實情況中，旅客需求具高度不確定性，此時以隨機性需求模式方能解決此問題，亦可考慮多種需求發生情況之最佳座位配置問題。

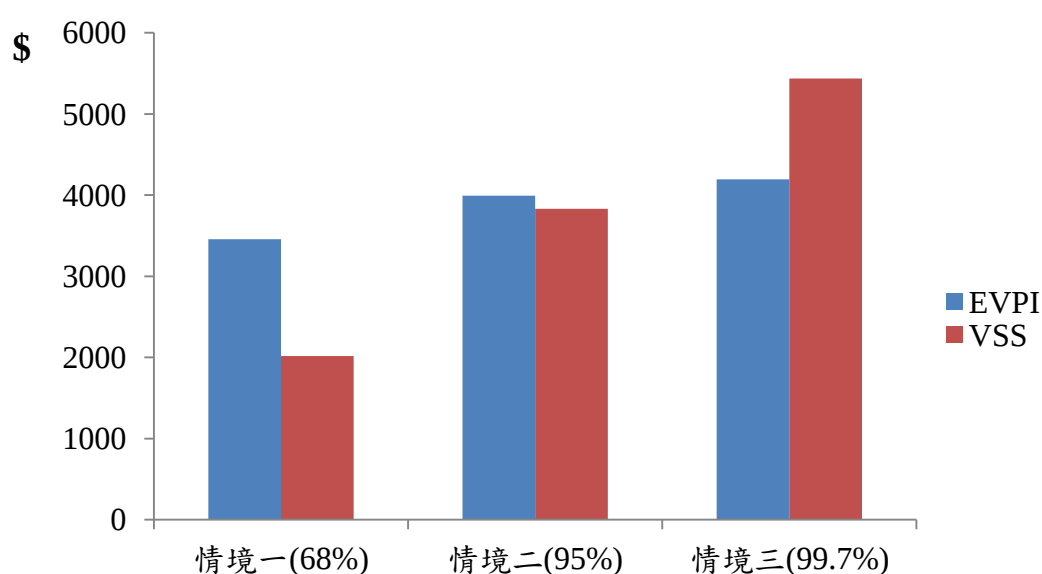


圖 4-13 完全資訊解及隨機價值解比較圖

根據常態分布之特性，本研究假定真實世界之旅客需求落於平均值正負兩個標準差間，即 95%信賴區間，以此情境代入隨機性需求模式進行求解，所得之座位配置結果作為隨機性需求模式之代表。將各起迄區間之潛在需求、438 車次平均運量、確定性需求模式配置結果及隨機性需求模式配置結果繪製如圖 24。隨機性需求模式之配置結果較能公平滿足各起迄區間之需求，不會將所有資源皆規劃於期望收益較大之起迄組合，以避免當需求變化較大時，空位浪費所導致之收益損失。

由圖 4-14 亦可得知，隨機性需求模式之配置結果與 438 車次之平均運量較為吻合，由此可見，隨機性需求模式較能反應旅客需求變化，後續進行第二階段分析時，將以隨機性需求模式之配置結果作為開賣第一天各起迄區間之開放購票限制。

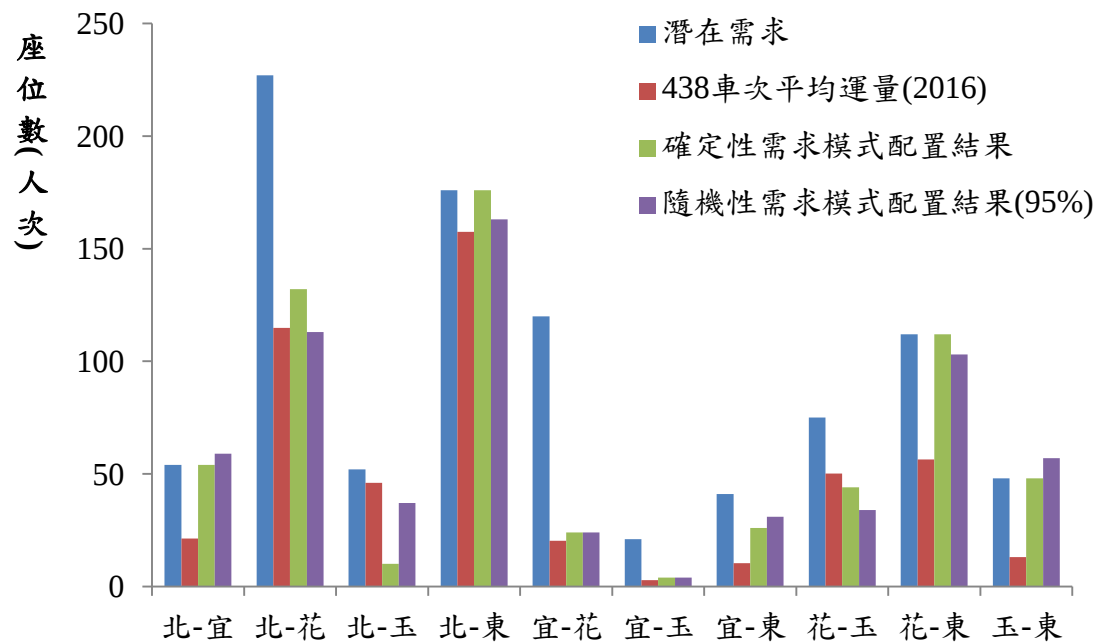


圖 4-14 各模式配置結果比較

4.4 鐵路動態座位調整方法之結果分析

於現實世界中，鐵路旅客需求變動是很劇烈的，隨機性需求模式之配位結果亦無法滿足此種特性。本研究研擬以每日已知銷售量進行銷售趨勢推估，藉此動態調整剩餘座位的配置，使其得到最有效之安排，並改善臺鐵於整個售票周期未依據現實銷售情況進行調整之配置策略。

根據前述鐵路動態座位調整模式之介紹，此方法將鐵路座位區分為兩種，一為保留座位，另一為彈性座位，保留座位意指各起迄區間之固定配置數量，即使某段 OD-pair 之座位仍有剩餘，票務系統仍拒絕將此區間切割販售；而彈性座位則無指定給特定 OD-pair，當需求發生時，票務系統確認該起迄需求所包含之所有航程(leg)是否仍有彈性配置量，判定接受或是拒絕。

票務系統運作流程如圖 4-15，當旅客需求發生時，系統將判斷此為購票需求還是退票需求，倘若為購票需求則進入下一階段，判別此 OD-pair 之保留座位區是否有所剩餘，尚有空位即接受此次訂位；假使保留座位區已無票可販售，便進入彈性座位區進行分析，彈性座位區採先到先服務法(First-Come First-Served, FCFS)，先到之起迄需求優先服務，沒有特定起迄區間之保留票，若彈性座位亦無座位可販售即拒絕此次購票需求。反之，若為退票需求，則即時退回票務系統之彈性座位區，供系統進行後續銷售。

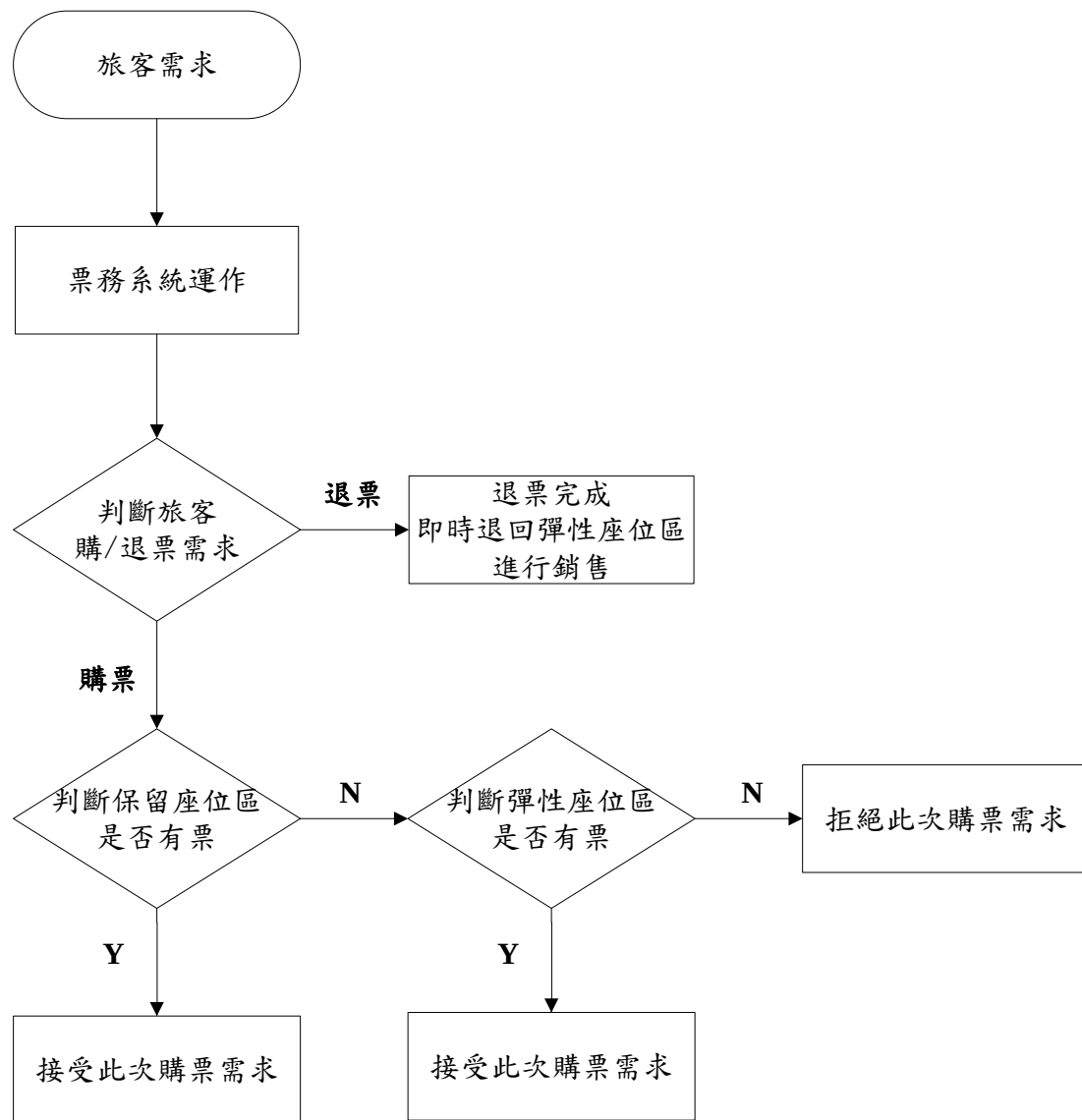


圖 4-15 票務系統運作流程

本方法之實例驗證需進行每日需求之模擬，方能進行結果探討，故分為以下四個小節進行闡述。4.4.1 為實際需求模擬，4.4.2 為鐵路動態座位配置方法之結果分析，4.4.3 運量推估模式準確度對鐵路動態座位調整方法之影響，最後 4.4.4 小節為配位公平性指標。

4.4.1 實際需求模擬

鐵路動態座位調整方法需模擬各起迄區間之每日購(退)票需求，方能進行後續結果分析。本研究以 438 車次之歷史運量資料作為基礎，模擬兩種情境，平日情境為非假日且非連續假期之購(退)票需求；假日情境為假日且連續假期之購(退)票需求。

臺灣東部鐵路呈現供需不平衡之情形，鐵路運能無法滿足旅客之潛在需求，為模擬此特性，本研究將 2016/12/29(四)及 2016/12/30(五)各起迄區間之歷史運量

資料放大 1.2 倍，以此情境探討模式之效益。情境之模擬結果如下表所示。

表 4-18 平日情境需求模擬

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	台東
臺北	51	159	48	167
宜蘭	-	17	3	25
花蓮	-	-	45	93
玉里	-	-	-	20

表 4-19 假日情境需求模擬

起\迄(人次)	宜蘭	花蓮	玉里	台東
臺北	26	133	121	145
宜蘭	-	22	2	9
花蓮	-	-	73	82
玉里	-	-	-	70

4.4.2 鐵路動態座位配置模式之結果分析

以 4.4.1 所模擬之平日情境及假日情境，進行確定性需求模式、隨機性需求模式及鐵路動態座位調整方法之銷售模擬，每日旅客需求到達順序以亂數模擬產生，所得結果如表 4-20。

表 4-20 銷售模擬結果

列車收益(\$)			
情境\模式	確定性需求模式	隨機性需求模式	鐵路動態座位調整方法
平日	268693	272294	277268
假日	238220	246399	271014
平均	253456.5	259346.5	274141
座位利用率(%)			
情境\模式	確定性需求模式	隨機性需求模式	鐵路動態座位調整方法
平日	91.47	92.61	94.22
假日	81.25	84.07	92.27
平均	86.36	88.34	93.25

其中，鐵路動態座位調整方法所得之平均列車收益為\$274141，與確定性需求模式之差異為 8.16%；其次是隨機性需求模式的\$259346.5，較確定性需求模式多出 5.70%之收益。由此可知，即使旅客需求存在高度不確定性，鐵路動態座位

調整方法皆有不錯之控管結果；而確定性需求模式於旅客需求與預期情況(潛在需求)接近時(如平日)，具有不錯之效益，但當需求旅客遠高於或低於預期情況(潛在需求)時，需以隨機性需求模式方能因應此種情形。

座位利用率為延人公里除以客座公里之百分比，於各個情境當中，鐵路動態座位調整方法之座位利用率皆高達 90%以上，而確定性需求模式之座位利用率變化較大，代表該模式無法應付旅客需求之變動。隨機性需求模式之平均座位利用率較確定性需求模式之平均座位利用率提升 1.98 個百分點，鐵路動態座位調整方法相較於確定性需求模式提升 6.89 個百分點，代表該方法的確具有顯著效益。

而各鐵路座位配置模式之平均列車收益及平均座位利用率整理如圖 4-16，係以直方圖及折線圖呈現，由圖可知，鐵路動態座位調整方法於列車收益及座位利用率上明顯優於其他二者。

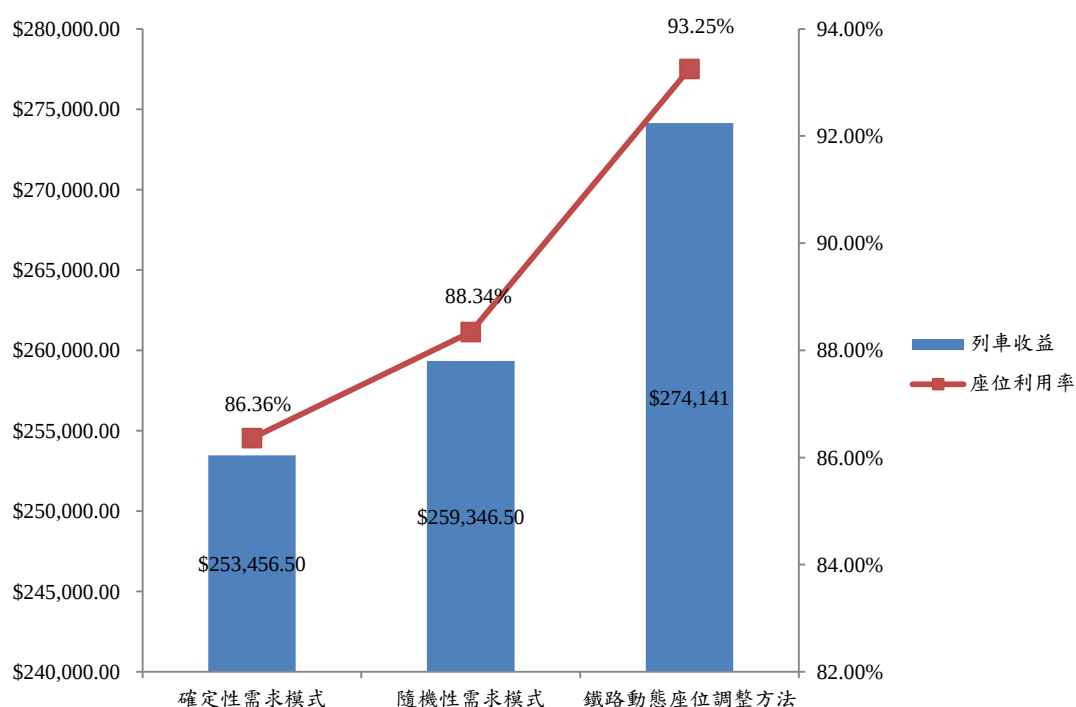


圖 4-16 各座位配置模式之列車收益及座位利用率

4.4.3 運量推估模式準確度對鐵路動態座位調整方法之影響

本小節為探討運量推估模式準確度對鐵路動態座位調整方法之影響，於本研究之鐵路動態座位調整方法中，各起迄區間之保留座位數係以運量推估模式之結果進行規劃，藉由歷史購票資料建立推估模式，利用已知銷售數量預測銷售趨勢，推估結果即為各起迄區間之保證購票數。故運量推估模式之準確度影響著各起迄區間之保留座位數量，倘若我們能精準推估該區間之保證運量，在模式進行座位配置規劃時，便能避免空位浪費，降低收益損失。

基此，本研究將以完全資訊模式、運量推估模式 1(隱藏層單元個數 12)及運量推估模式 2(隱藏層單元個數 2)進行分析討論。

1. 完全資訊模式：假設在進行座位配置規劃時，決策者能百分之百掌握需求發生情況，意旨各起迄區間之需求已知。
2. 運量推估模式 1：於現實情況中，旅客需求是無否掌握的，故利用本研究所提出之運量推估模式進行推估，相關參數設定如 4.2.2，而隱藏層單元個數為 12 個。
3. 運量推估模式 2：同運量推估模式 1，僅將隱藏層單元個數改為 2 個。

下表為運量推估模式 1 及運量推估模式 2 之預測績效比較圖：

表 4-21 預測績效比比較圖

運量推估模式 1		運量推估模式 2	
test-RMSE	test- MAPE	test-RMSE	test- MAPE
0.0247	25.92%	0.0306	34.08%

如表 4-21，運量推估模式 1 之預測績效較運量推估模式來得更為準確，亦代表類神經網路中，隱藏層單元個數之重要性，藉由試誤法決定適當之隱藏層單元個數，避免隱藏層單元個數過少無法有效描繪問題型態或隱藏層單元個數過多造成過度配適(Overfitting)之情形發生。以完全資訊模式、運量推估模式 1 及運量推估模式 2 結合鐵路動態座位調整模式，進行鐵路動態座位調整方法之結果分析，其需求情境同樣以前述所介紹之平日情境及假日情境進行銷售模擬。

表 4-22 運量推估模式準確度對鐵路動態座位調整方法之影響

列車收益(\$)			
情境\模式	完全資訊模式	運量推估模式 1	運量推估模式 2
平日	280975	277268	267530
假日	279672	271014	257005
平均	280323.5	274141	262267.5
座位利用率(%)			
情境\模式	完全資訊模式	運量推估模式 1	運量推估模式 2
平日	95.50	94.22	90.59
假日	95.09	92.27	87.63
平均	95.30	93.25	89.11

表 4-22 為各模式之銷售模擬結果，運量推估模式 1 之平均列車收益為 \$274141，與完全資訊模式之平均列車收益差 2.21%，而運量推估模式 2 之平均列車收益為 \$262267.5，與完全資訊模式相差 6.44 個百分點，由此可知，運量推估模式之準確度對鐵路動態座位調整方法確有影響，當各起迄區間之需求變化較大時，影響情形更為顯著，如假日之結果，運量推估模式 1 之列車收益與完全資訊模式下之列車收益相差 3.10%，反觀運量推估模式 2 與之差異高達 8.32%，可見運量推估模式準確度之重要性。

而座位利用率部分，完全資訊模式之平均座位利用率為 95.30%，其次為運量推估模式 1 之 93.25%，而運量推估模式 2 之 89.11% 為第三。倘若在進行列車座位規劃時，決策者皆能完全取得需求變化之情形，便能使座位得到最有效之安排，然而於現實世界中，這是件難以達成之目標，故我們僅能以歷史購票資料建立一預測模式，提升模式之準確度，使列車座位配置更符合實際需求情況。本研究係將各模式之平均列車收益及座位利用率繪製如圖 4-17，分別以直方圖及折線圖呈現，以利明確看出模式間之差異。

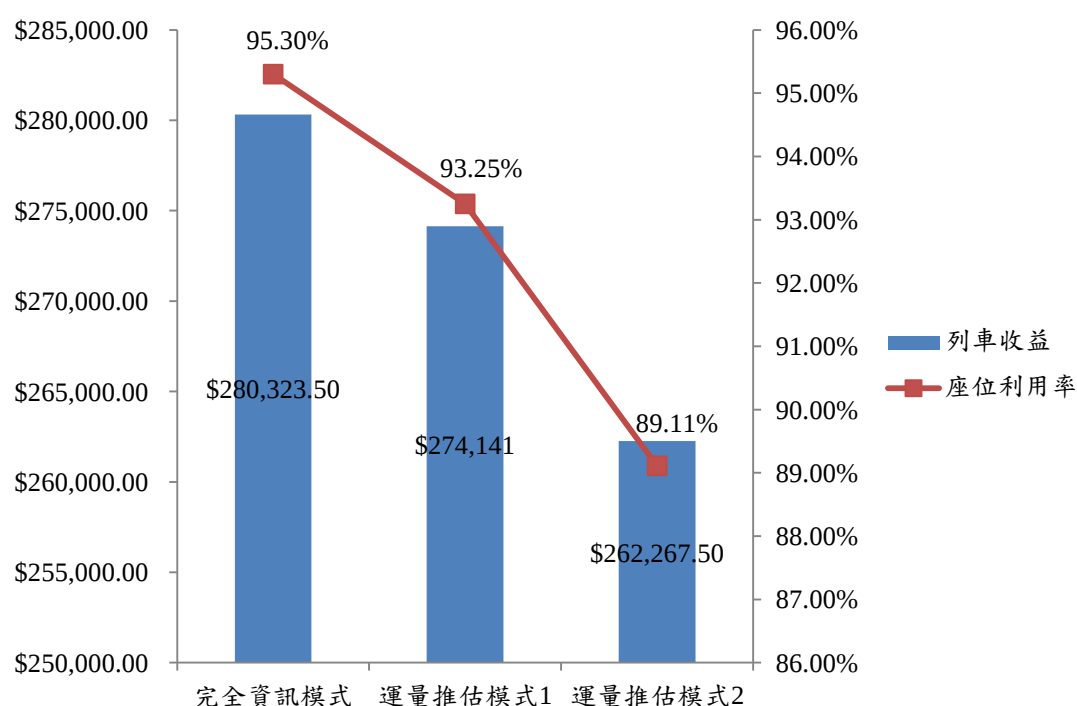


圖 4-17 平均列車收益及座位利用率比較圖

4.4.4 配位公平性指標

本研究將鐵路動態座位調整方法與先到先服務(First-Come First-Served, FCFS)控管模式進行比較，FCFS 模式僅有各航程(leg)之容量限制，對於各 OD-pair 並無提供保留座位，意即先到之旅客需求優先服務，到達容量限制時方拒絕此次購票需求。

一般而言，FCFS 模式具有較高之座位利用率，根據前述之介紹，長程旅運需求之購票前置時間較長，通常選擇於售票週期頭幾日進行購票，而短程旅運需求多選擇發車當日前往現場購買，因此，在沒有提供各起迄區間之保留座位情況下，大部分之長程旅運需求皆可以被滿足，座位利用率亦顯著提升。然臺灣鐵路屬於公營產業，除了追求利潤最大化外，亦須考慮「公平性」之問題。就 FCFS 模式來說，雖可使列車收益最大化，卻犧牲了短程旅客之需求，無法公平滿足各起迄區間之旅客需求，故本研究提出一配位公平性指標，探討模式之配位均衡。

本研究所提出之配位公平性指標如下：

$$\text{需求滿足率}(r_{ij}) = \frac{\text{起迄區間}(i, j)\text{銷售量}}{\text{起迄區間}(i, j)\text{需求量}} \quad (35)$$

$$\text{配位公平性指標}(f) = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_i (r_{ij} - \bar{r})^2}{\text{起迄組合數}(n)}} \quad (36)$$

各起迄區間之需求滿足程度是否公平，係以各起迄區間需求滿足率與平均需求滿足率之偏差平方值之平均開根號來評斷各起迄區間之配位公平性，需求滿足率即為各起迄區間之銷售量除以該起迄區間之需求量。其想法來自於統計中標準差之概念，標準差用以判別資料之分散程度，其值越大，表示資料越分散，用於本研究則代表模式中各起迄區間之需求滿足程度相差甚大；反之，其值越小則代表該配位結果較符合配位公平性，並不會將所有座位全部配置於特定區間，造成某些起迄需求無法滿足之情形發生。舉例來說，假設一班列車共三組起迄組合，模式 1 之各起迄區間需求滿足率分別為 0.8、0.8、0.8，而模式 2 各起迄區間之需求滿足率為 0.7、0.8、0.9，雖然平均需求滿足率皆為 0.8，然而模式 1 之配位公平性指標值為 0，模式 2 之配位公平性指標為 0.0815，依此判定模式 1 較模式 2 具有較好之配位公平性。

表 4-23 配位公平性指標

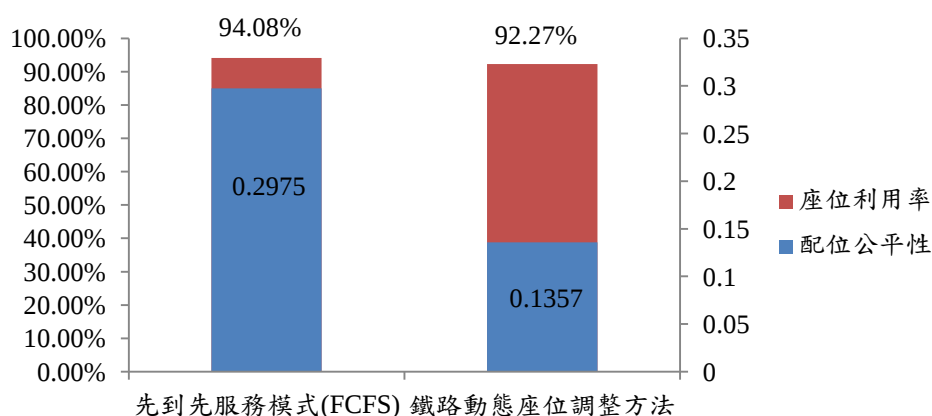
情境\模式	先到先服務模式(FCFS)	鐵路動態座位調整方法
平日	0.1767	0.0858
假日	0.2975	0.1357
平均	0.2371	0.1108

表 4-23 即為 FCFS 模式及鐵路動態座位調整方法之配位公平性指標結果，可以發現，平日及假日之結果皆為鐵路動態座位調整方法之配置公平性較佳，FCFS 模式之配位公平性指標約為鐵路動態座位調整方法之兩倍，此結果亦顯示，使用鐵路動態座位調整方法進行鐵路座位配置規劃較能達到「配位公平」之目標，各起迄區間之需求滿足程度較為公平，不會將所有資源配置給期望收益較大之區

間，而犧牲偏遠地區或是期望收益較小之旅客需求。將各模式之配位公平性指標平均得到之結果，可以發現 FCFS 模式較鐵路動態座位調整方法多 12.63 個百分點。

權衡配位公平性與座位利用率如圖 4-18，以 FCFS 模式與鐵路動態座位調整方法進行比較，於平日時，鐵路動態座位調整方法之座位利用率為 94.22%，較 FCFS 模式之結果更為優良，且其配位公平性表現顯著優於 FCFS 模式，推測因不同起迄區間之需求發生時間不盡相同，若使用 FCFS 模式，未保留部分座位數於各個起迄區間，易造成各起迄區間之需求滿足程度不同之情況，倘若短途旅運需求之旅客亦於發車頭幾日購票，FCFS 模式會使座位趨於零散，使部分起迄區間之需求不易被滿足，造成空位損失之情形發生。假日部分，使用 FCFS 模式雖能提高座位利用率約 1.81 個百分點，卻要犧牲約 2.19 倍之配位公平性，使各起迄區間之需求滿足程度差異擴大。基此，本研究判定鐵路動態座位調整方法為一較佳之鐵路座位配置模式，既能提升列車收益，亦可以達到台鐵「公平性」之目標。

假日



平日

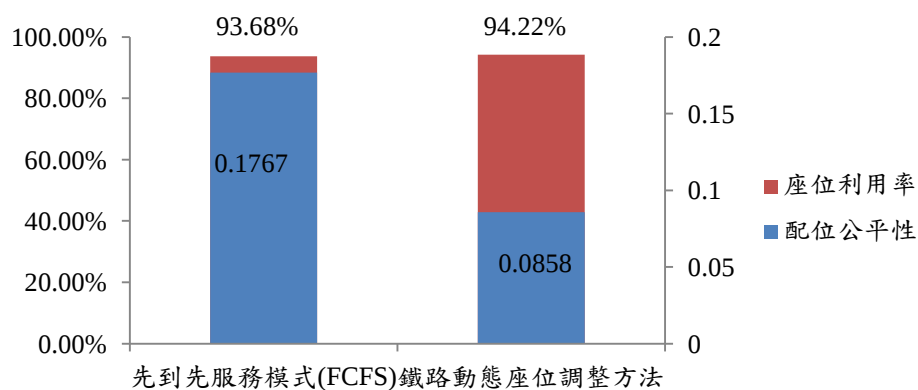


圖 4-18 FCFS 模式與鐵路動態座位調整模式比較圖

第五章 結論與建議

本研究欲探討如何規劃列車各起迄區間之最適配置數量，以達到最大化收益(最大化座位利用率)之目標，然而旅客需求具有隨機性，倘若未將此特性考量於模式中，其配置結果將不適用於現實狀況。故本研究提出鐵路靜態座位配置模式及鐵路動態座位調整模式進行比較，鐵路靜態座位配置模式分為確定性需求模式及隨機性需求模式，確定性需求模式將旅客需求視為一定值，而隨機性需求模式將旅客需求之不確定性考量於模式當中，藉此分析旅客需求波動對於配置結果之影響。而鐵路動態座位調整模式即利用臺鐵 438 車次之歷史運量資料進行發車當日之總運量推估，根據即時之銷售資料動態調整剩餘座位數，並分為保留座位及彈性座位進行銷售模擬。根據本研究之實例驗證結果，整理歸納出以下之結論與建議。

5.1 結論

根據本研究之結果，提出以下幾點結論：

1. 鐵路靜態座位配置模式中，隨機性需求模式較確定性需求模式更能因應需求波動之情況，倘若旅客需求與預期情況相仿時，以確定性需求模式之配置結果進行銷售即有不錯之效益，而現實情況中，旅客需求變動是很劇烈的，故以隨機性需求模式之配置結果進行規畫為較佳之選擇。需求變化幅度越大時，完全資訊解(EVPI)亦逐漸增加，表示隨機規劃模型愈無法反映真實情況。而隨機解價值(VSS)皆 >0 ，表示旅客需求(隨機事件)對研究問題具有一定之影響力。
2. 以本研究所提出之運量推估模式進行發車當日總運量推估，其 MAPE 值為 25.92%，代表該模式具有一定之預測能力，而運量推估模式之準確度亦會影響鐵路動態座位調整方法之效益，故選擇適當之隱藏層單元數為重要的課題。
3. 根據本研究模擬銷售之結果，可以發現鐵路動態座位調整方法之平均列車收益較確定性需求模式之平均列車收益提高約 8.16%，與隨機性需求模式之平均列車收益多出 5.70%，由此可知，即使旅客需求存在高度不確定性，鐵路動態座位調整方法仍有不錯之控管效果，且各情境之座位利用率皆高達 90% 以上。
4. 最後提出一配位公平性指標探討各起迄區間需求滿足程度是否公平，並以先到先服務模式(FCFS)與鐵路動態座位調整方法進行比較，就一般情況而言，FCFS 模式具有較高之座位利用率，卻會犧牲多於發車當日前往現場購票之起

迄區間之需求。實例驗證之結果顯示，鐵路動態座位調整方法較能公平滿足各起迄區間之需求，其配位公平性指標較 FCFS 模式小約 2 倍。

5.2 建議

探討本研究之結果分析，歸納下列幾點建議，供後續研究進行參考。

1. 潛在需求調查：本研究調查區間之潛在需求係以交通部運輸研究所(2015)所公布之「第 5 期整體運輸規劃研究系列」進行推估，並未另外使用更嚴謹之調查方法建立選擇行為模式，若能以問卷調查、實際訪談或是信令資料(CVP)等方式得到所需之資料，使配置結果更貼近現實。
2. 多列車間相互影響：本研究僅探討單一系列車之配置問題，並未考量多列車間相互影響之情形，於現實情況中，旅客若買不到特定班次之座位時，除了選擇其他運具外，亦可能查詢前後班次是否有座位可供訂購，故後續研究可將研究方向從單一系列車延伸至多列車之規畫問題。
3. 超額訂位、定價策略：於鐵路座位配置問題當中，較少利用超額訂位策略來進行座位配置規劃，後續研究可以深討論該方法之可行性，使列車座位得到更有效之利用。而本研究僅以單一費率進行探討，後續可將其拓展至多種費率之規畫問題。
4. 旅客選擇行為：本研究並未考量旅客選擇行為之問題，在旅運市場中，可供旅客選擇之運具有許多種，建議可以將旅行時間、旅行成本及服務水準等建立一效用函數，探討旅客選擇行為對列車座位配置問題之影響。
5. 運量推估模式之參數選取：本研究之運量推估模式僅納入開賣天數、連續假期、星期特性及銷售量進行推估，未來可考慮加入其他影響變數，例如：天氣、月份、人口及大型活動等。亦可以發展更有效率之類神經網路訓練模式演算法。
6. 配位公平性指標：本研究所提出之配位公平性指標為探討列車於各起迄區間之配置公平性，亦可將其以多目標規畫進行列車座位配置，探討最大化收益及最大化配位公平性之目標權衡分析。

參考文獻

1. Abe, I. (2007). *Revenue Management in the railway industry in Japan and Portugal: a stakeholder approach* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
2. Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A., & Modarres, M. (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 129-138.
3. Belobaba, P. P. (1987). Survey Paper—Airline yield management an overview of seat inventory control. *Transportation science*, 21(2), 63-73.
4. Beraldi, P., Bruni, M. E., & Conforti, D. (2004). Designing robust emergency medical service via stochastic programming. *European Journal of Operational Research*, 158(1), 183-193.
5. Ciancimino, A., Inzerillo, G., Lucidi, S., & Palagi, L. (1999). A mathematical programming approach for the solution of the railway yield management problem. *Transportation science*, 33(2), 168-181.
6. Celebi, D., Bolat, B., & Bayraktar, D. (2009, July). Light rail passenger demand forecasting by artificial neural networks. In *Computers & Industrial Engineering*, 2009. CIE 2009. *International Conference on* (pp. 239-243). IEEE.
7. Chen, L., Sun, D., Chiang, W. C., & He, S. (2014). Purposeful underestimation of demands for the airline seat allocation with incomplete information. *International Journal of Revenue Management*, 8(1), 34-55.
8. De Boer, S., Freling, R., & Piersma, N. (1999). *Stochastic programming for multiple-leg network revenue management* (No. EI 9935/A).
9. Freisleben, B., & Gleichmann, G. (1993, January). Controlling airline seat allocations with neural networks. In *System Sciences, 1993, Proceeding of the Twenty-Sixth Hawaii International Conference on* (Vol. 4, pp. 635-642). IEEE.
10. Glover, F., Glover, R., Lorenzo, J., & McMillan, C. (1982). The passenger-mix problem in the scheduled airlines. *Interfaces*, 12(3), 73-80.
11. GOSAVII, A., Bandla, N., & Das, T. K. (2002). A reinforcement learning approach to a single leg airline revenue management problem with multiple fare classes and overbooking. *IIE transactions*, 34(9), 729-742.
12. Higle, J. L., & Sen, S. (1991). Stochastic decomposition: An algorithm for two-stage linear programs with recourse. *Mathematics of operations research*, 16(3), 650-669.
13. Hetrakul, P., & Cirillo, C. (2013). Accommodating taste heterogeneity in railway

- passenger choice models based on internet booking data. *Journal of choice modelling*, 6, 1-16.
14. Kraft, E. R., Srikar, B. N., & Phillips, R. L. (2000). Revenue management in railroad applications. In *Journal of the Transportation Research Forum* (Vol. 39, No. 1).
 15. Littlewood, K. (1972). Forecasting and control of passenger bookings. *Airline Group International Federation of Operational Research Societies Proceedings*, 1972, 12, 95-117.
 16. Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. Butterworth-Heinemann.
 17. Li, C., Song, X., & Li, X. (2010, August). Seats Allotment Optimization for China Railway Operation Management. In *Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
 18. Luo, H., Nie, L., & He, Z. (2016, July). Modeling of multi-train seat inventory control based on revenue management. In *Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), 2016 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
 19. Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT press.
 20. McGill, J. I., & Van Ryzin, G. J. (1999). Revenue management: Research overview and prospects. *Transportation science*, 33(2), 233-256.
 21. Milne, R. J., & Salari, M. (2016). Optimization of assigning passengers to seats on airplanes based on their carry-on luggage. *Journal of Air Transport Management*, 54, 104-110.
 22. Richter, H. (1982). The differential revenue method to determine optimal seat allotments by fare type. In *AGIFORS PROCEEDINGS*.
 23. Riedmiller, M., & Braun, H. (1993). A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm. In *Neural Networks, 1993., IEEE International Conference on* (pp. 586-591). IEEE.
 24. Tsai, T. H., Lee, C. K., & Wei, C. H. (2009). Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3728-3736.
 25. Wang, K. (1983). Optimum seat allocation for multi-leg flights with multiple fare types. In *AGIFORS PROCEEDINGS--*.
 26. Weatherford, L. R., & Bodily, S. E. (1992). A taxonomy and research overview of perishable-asset revenue management: Yield management, overbooking, and pricing. *Operations research*, 40(5), 831-844.
 27. Wang, X., Wang, H., & Zhang, X. (2016). Stochastic seat allocation models for passenger rail transportation under customer choice. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 96, 95-112.

28. Yen, J. W., & Birge, J. R. (2006). A stochastic programming approach to the airline crew scheduling problem. *Transportation Science*, 40(1), 3-14.
29. You, P. S. (2008). An efficient computational approach for railway booking problems. *European Journal of Operational Research*, 185(2), 811-824.
30. 游鵬勝(2001)。兩航段基礎的航空公司訂位管理---容許需求相依。
31. 葉怡成(2001)。類神經網路模式應用與實作，第七版，儒林圖書，台北。
32. 陳淑佩(2006)。列車服務訂票曲線之預測分析。成功大學交通管理科學系學位論文，1-125。
33. 蔡宗憲，李治綱，魏健宏(2006)。短期列車旅運需求之類神經網路預測模式建構與評估。運輸計劃季刊，35(4)，475-505。
34. 張有恆(2007)。航空運輸學，二版，臺北華泰文化事業股份有限公司。
35. 楊仕欣(2009)。鐵路列車多停站網路超額訂位之座位配置模式。成功大學交通管理科學系學位論文，1-93。
36. 陳政豪(2010)。多站停靠座位配置問題。國立高雄第一科技大學-運籌管理研究所，1-49。
37. 蘇振維，楊幼文，呂怡青，張益城，李宗益，鍾慧諭，鄭正元，李思葦，莊沅融，李德全，葉文雅，沈柏緯(2015)。第 5 期整體運輸規劃研究系列—城際旅次特性調查及初步分析。交通部運輸研究所。
38. 交通部鐵路管理局網頁(<https://www.railway.gov.tw/tw/>)