

運輸計劃

第四十四卷・第四期

季刊

TRANSPORTATION
PLANNING JOURNAL

QUARTERLY VOL. 44, NO.4

ISSN 1017-7159



9 771017 715003

GPN : 2006000012
定價 100 元

105-008-5432

運輸計劃季刊

第四十四卷・第四期

TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

VOL. 44, NO. 4

ISSN 1017-7159

本刊榮獲科技部人文社會科學研究中心「臺灣社會科學引文索引資料庫(TSSCI)」收錄並補助編輯費用

運輸計劃

第四十四卷・第四期

季刊

TRANSPORTATION
PLANNING JOURNAL

QUARTERLY VOL. 44, NO. 4



交通部運輸研究所
INSTITUTE OF TRANSPORTATION, MOTC

運輸計劃季刊

第四十四卷 第四期

中華民國一〇四年十二月三十日出版

(本卷共計四期，預定出版時間為一〇四年三月三十日、六月三十日、九月三十日及十二月三十日)

TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

Quarterly, Vol. 44, No. 4

December 30, 2015

(Publish dates for Vol. 44: March 30, June 30, September 30, and December 30, 2015)

本季刊內容不代表本所意見

The views expressed in the Journal are not necessarily those of the Institute of Transportation.

目錄 Table of Contents

中小型鄉鎮接駁公車之路線設計方法	蘇昭銘、王張煒、何文基	313
The Route Design of Feeder Bus in Small and Medium Township	Jau-Ming Su, Chang-Wei Wang and Wen-Ji Ho	
隨機派翠網路應用於臺鐵捷運化之運行調度模擬模式建構與分析	陶冶中、洪敏琛	333
Simulation Modelling and Analysis of Taiwan Railway Administration’s MRT-Type Operations by Using Stochastic Petri Nets.....	Chi-Chung Tao and Min-Ching Hung	
應用多目標規劃法於低碳運輸計畫之預算分配	陳正杰、馮正民、劉庭豪	373
A Multi-Objective Programming Model of Budget Allocation in Low Carbon Transportation Projects.....	Cheng-Chieh (Frank) Chen, Cheng-Min Feng and Ting-Hau Liou	
基隆港區服務因素如何影響郵輪旅客滿意度	江勁毅、黃明居、謝昌邑	401
How Factors of Port Areas Services in Keelung Harbor Affect Cruise Passengers’ Satisfaction	Chin-I Chiang, Ming-Jiu Hwang and Chang-Yi Hsieh	
運輸計劃季刊第四十四卷第一期至第四期分類目錄索引	運輸計劃季刊編輯室	431
Index to Classified Contents, Vol. 44, No. 1-4		

運輸計劃季刊
TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

中華民國六十年十一月創刊

發行人：林信得

審查者：運輸計劃季刊審查委員會

第四十四卷審查委員：丁吉峯 方志文 王晉元 王棟華 王穆衡 石豐宇 吳木富 吳宗修 吳榮貴 吳繼虹 李宇欣 李克聰 李威勳 汪進財 卓裕仁 周明道 周恆志 林良泰 林楨家 邱永和 邱裕鈞 邱榮和 洪鳴丰 胡凱傑 范俊海 翁順泰 張玉君 張立言 張勝雄 曹承礎 曹勝雄 莊翰華 許哲嘉 許鉅秉 郭旻鑫 陳文俊 陳秀育 陳春益 陳昭華 陳高村 陶冶中 曾 亮 曾文貴 曾平毅 曾萬存 游明敏 馮正民 黃承傳 黃明居 黃昱凱 楊鈺池 溫傑華 賈凱傑 廖彩雲 蔡政言 蔡智發 蔡耀全 鄧振源 鄭永祥 戴輝煌 謝尚行 顏進儒 魏健宏 龐雅文 羅孝賢 蘇昭銘 蘇雄義

編輯者：運輸計劃季刊編輯指導會

召 集 人：林信得

編輯委員：張家祝 曹壽民 馮正民 林大煜 黃德治 吳榮貴 曾國雄 顏上堯

主 編：曹瑞和

副 主 編：廖美容

編 輯：洪銘揚

出版者：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號 6 樓

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>運輸計劃季刊)(本書同時登載於本所網站)

電話：(02)23496882

印刷所：萬達打字印刷有限公司

地址：106 臺北市新生南路 3 段 84-1 號 2 樓

電話：(02)23639367・23627718

本期印製 920 冊

經銷處：國家書店

104 臺北市松江路 209 號 1 樓・電話：(02)26579211

五南文化廣場

400 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

交通部運輸研究所運輸資訊組

電話：(02)23496880

每冊售價 100 元

中華郵政臺北誌字第 420 號執照登記為雜誌交寄

截至 104 年 12 月 25 日運輸計劃季刊稿件處理統計：審查及修改中 15 件，待刊登 3 件。

本刊參與科技部人文社會科學研究中心「補助期刊審查專書書稿」業務，並因應 TSSCI 資料庫建置需求，授權科技部人文社會科學研究中心進行期刊論文之中英文摘要與全文數位化、重製等加值流程，以電子形式透過單機、網際網路、無線網路或其他公開傳輸方式，提供用戶進行檢索、瀏覽、下載、傳輸、列印等行為。

Publisher：Transportation Planning Journal Quarterly

Editors：Editorial Board of Transportation Planning Journal Quarterly

Chairman：Mr. Lin, Shinn-Der

Address：Institute of Transportation

Ministry of Transportation and Communications

中小型鄉鎮接駁公車之路線設計方法¹

THE ROUTE DESIGN OF FEEDER BUS IN SMALL AND MEDIUM TOWNSHIP

蘇昭銘 Jau-Ming Su²

王張煒 Chang-Wei Wang³

何文基 Wen-Ji Ho⁴

(102 年 12 月 25 日收稿，103 年 10 月 23 日第 1 次修改，104 年 4 月 16 日第 2 次修改，
104 年 12 月 10 日定稿)

摘 要

在追求社會永續與大眾運輸無縫服務環境思維下，政府積極規劃接駁公車路線以填補大眾運輸縫隙，然中小型鄉鎮於交通分區上即為一交通分區，無法得知內部之運輸需求，故如何在規劃過程中，取得在地民眾運輸需求，以設計出符合民眾實際需求並能填補目前大眾運輸服務縫隙之接駁公車路線將是一項重要課題。雖然交通部公路總局在民國 102 年之研究中已針對臺灣偏鄉地區提出考量社區居民意識之大眾運輸路線規劃之方法，但該方法中之路線規劃分析仍屬於專家主觀判斷層面，缺乏一套完整之客觀分析方法。

本研究結合運用越野競賽問題觀念，依據社區民眾所提出預設站點之重要性，提出在時間限制下能夠滿足最大服務需求接駁公車路線設計模式，並整合地理資訊系統與基因演算法發展兩階段之求解方法。經以新竹

-
1. 本研究承蒙科技部經費補助，特此致謝。
 2. 中華大學運輸科技與物流管理學系教授（聯絡地址：300 新竹市香山區五福路 2 段 707 號 中華大學運輸科技與物流管理學系；電話：03-5186587；E-mail: jmingsu@chu.edu.tw）。
 3. 中華大學運輸科技與物流管理學系碩士。
 4. 中華大學科技管理博士學位學程博士候選人。

縣橫山鄉為應用案例，設計出以鄉公所為發車地點之 4 條接駁公車路線，不僅可提升 14% 之大眾運輸服務涵蓋家戶數，且該路線亦經過各主管機關代表之認可，顯示本研究所建立之路線設計方法可做為未來中小型鄉鎮接駁公車路線設計時之參考。

關鍵詞：無縫運輸服務；路線設計；基因演算法

ABSTRACT

In order to increase the utilization of public transportation, the government actively planned feeder bus system to fill the gap of public transportation services. However, in the traditional transportation planning analysis, small and medium sized towns usually is a single traffic zone, so is unable to obtain internal transportation demand. Therefore, how to get the transport demand in the planning process and designed feasible feeder bus routes to satisfy actual demand and fill the gap of public transport services will be an important issue. This study combined the concepts of orienteering problem, geographic information systems and genetic algorithms to design the shuttle bus route. Using the concept of orienteering problem control point (score), give each stop a score to represent different importance. Application of the spatial analysis functions in geographic information system to build data and analysis the public transportation accessibility. Use of genetic algorithms to solving bus route design problem, and each route must to satisfy the time limit and the maximum score. In the real test case, the proposed method could increase the 14% public transportation service accessibility of Hengshan Township in Hsinchu County.

Key Words: Seamless transit service; Transit route design; Genetic algorithms

一、前言

近年政府在追求社會永續發展及建構大眾運輸無縫服務環境思維下，於近 3 年施行「公路大眾運輸發展計畫」推動大眾運輸服務，並計畫於民國 102 年至 105 年再次施行「公路大眾運輸提升計畫」，以全面改善大眾運輸發展環境，提高大眾運輸系統之可及性以及保障偏遠與服務性路線地區的基本民行需求與權利。因此各縣市也開始思考如何妥善應用所分配到的有限資源，在資源有限的情況下提供符合民眾實際需求的最後一哩接駁服務。在資源有限與中小型鄉鎮之交通分區因人口稀少常被劃分為單一交通分區，而無從得知中小型鄉鎮內部運輸需求無法進行路線規劃，因此以交通分區為基礎推估旅次需求之傳統路線評估方式並無法適用在偏遠地區路線設計。本研究探討之中小型鄉鎮，多屬於人口規模小、密度低、居住分布較分散、地區人口年齡以學齡和高齡為主，且鄉鎮內道路密集度低之偏遠鄉鎮，在交通部運輸研究所^[1]之研究中已將 348 鄉鎮市區依人口密度將鄉鎮市區劃分為 5 類地區，其中人口密度符合第 1 類（高偏遠地區）標準之 5~127 人／平方公里、第

2 類(低偏遠地區) 標準之 128~421 人/平方公里與第 3 類(郊區) 標準之 422~968 人/平方公里，即為本研究所探討之中小型鄉鎮。該些鄉鎮之聯外大眾運輸系統大都僅藉由少數大眾運輸場站聯結，而鄉鎮內部的大眾運輸路網僅集中於少數幹道上，具有大眾運輸服務涵蓋率偏低、可及性較差之特性。交通部公路總局^[2]曾經以屏東縣為例，研擬偏鄉公共運輸計畫之具體推動機制，研究中認為鑒於偏鄉地區大眾運輸需求調查不易，故除蒐集道路、大眾運輸供需等基本資料外，應透過鄉、鎮長及民意代表之座談與調查、地方客運業者訪談，納入地方意見後，進行路線方案之設計與營運班次之規劃；在完成路線設計後，亦應藉由實地會勘與當地民眾意見之彙整，確認規劃之大眾運輸路線確實符合民眾需求。該研究雖以屏東縣牡丹鄉進行實例測試，確認分析方法之可行性，並在營運班次規劃中確認每日營運以往返 4 班為最低基本民行需求之原則，但對於大眾運輸路線之設計則仍僅是藉由專家學者之主觀意識形成，較缺乏客觀嚴謹之公車路線設計方法，本研究旨在以該研究所提出由當地民意提出需求之概念為基礎，將當地鄉村長及意見領袖所提出之民眾潛在需求點作為候選公車點位，建構中小型鄉鎮內部之接駁公車路線設計模型與演算法，以設計出能減少空間服務縫隙，同時又兼具服務效率之接駁公車路線。

二、文獻回顧

彭舒淳^[3]曾從永續運輸觀點建構公車路線調整與規劃之多目標數學規劃模式，該研究以服務人口數之最大化衡量社會公平、以營運者利潤最大化及使用者成本最小化衡量經濟效率、以私人運具所節省的外部成本最大化衡量環境保護，其中服務人口數係以公車沿線 500 公尺範圍內可服務的人口數作為衡量標準，然在該研究中並未說明如何推估 500 公尺範圍內可服務的人口數。王惠吟^[4]曾以路線涵蓋問題 (link covering problem, LCP) 為基礎，以路線長度最小化、行駛時間最大值之最小化及服務人口最大化等 3 個目標，構建模糊多目標二元整數規劃數學模式，並以 TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) 方法進行模式之求解，研究中亦提到路線服務人口越多代表可及性越高，該研究以臺中捷運線 G9 站作為模式應用對象，進行接駁公車路線之規劃，研究結果顯示所提供之模式可作為未來其他單一場站接駁路線設計之參考。Szeto 與 Wu^[5]鑒於香港天水圍地區內部公車路線缺乏整體規劃，導致民眾因為旅行時間增加或轉乘不便而怨聲載道，因此建立一個使用於單一轉乘中心且可同時求解公車路線與班次之數學規劃模式，該模式以最小轉乘次數與乘客總旅行時間 (包括車上時間及等車時間) 的最小化為目標。研究中並發展一套複合式基因演算法 (hybrid genetic algorithm, HGA)，在基因演算法中納入考量漢明距離 (Hamming distance) 的多樣性控制 (diversity control) 機制以縮小求解規模，研究結果利用該演算法可減少 5.05% 之轉乘次數與 4.39% 之旅行時間。雖然該研究所構建模式可同時求解公車路線與班次規劃問題，但因 TSW 地區之人口數仍達 30 萬，且公車需求量大，故模式中仍是以傳統之 OD 需求為規劃基礎。

在上述文獻中，除彭舒淳^[3]之研究以路線涵蓋人口數為分析基礎，非利用 OD 資料進行分析外，大多數之公車路線設計研究仍是以 OD 資料為基礎，囿於中小型鄉鎮 OD 資料不易取得之現況，交通部公路總局^[2]之研究中即參考 Wu 和 Hine^[6]、Zhu 和 Liu^[7]、Matisziw 等人^[8]、Yigitcanlar 等人^[9]、Manaugh 和 El-Geneidy^[10]、Biba 等人^[11]、Mavoa 等人^[12]、Delmelle 和 Casas^[13]、Tribby 和 Zandbergen^[14]、Dharmadhikari 和 Zheng^[15]從空間公平性 (spatial equity) 觀點，及近年來在國外廣泛被應用在偏遠地區運輸規劃程序之社區參與 (community participation) 方式，提出擴大服務涵蓋率，減少大眾運輸空間服務縫隙之公車路線設計方法，由鄉鎮之行政首長與民意代表提出具有潛在需求之設站位置，再由專家學者依據該些位置設計出不同方案之路線方案後，藉由各路線方案的綜合評估，決定出最佳路線方案。然該研究中之路線設計仍是以國內實務界普遍應用的路線方案評估方式進行^[16,17]，此種設計方式，雖可透過各項指標的評估，從所提出的方案中評選出最佳方案，但是若專家學者所提出之方案不完整時，即可能會影響到所設計公車路線方案之良窳。

吳東怡等人^[18]曾利用團隊越野尋蹤問題 (team orienteering problem, TOP) 概念進行新竹縣新豐鄉之接駁公車路線設計，將路線之成本效益概念納入中小型鄉鎮接駁公車之設計中，以單位成本所能服務之人口數作為成本效益衡量基礎，同時利用窮舉法評估專家所設計 6 條候選公車路線衍生之 63 種路線組合之最佳方案。然在該研究中並未真正建立公車路線設計之數學模型，且所採取之窮舉法當候選路線增多時，將因組合數增加而增加求解之困難度。

三、路線設計方法與模式構建

3.1 問題特性

本研究探討中小型鄉鎮，除人口密度低、居住分散、年齡分布以學齡、高齡為主且道路密集度低等，其聯外交通僅藉由少數大眾運輸場站聯結，且鄉鎮內部的大眾運輸路網僅集中於少數幹道上，以圖 1 之新竹縣橫山鄉為例，主要聯外運輸節點為臺鐵內灣線 5 個火車站與 6 條公車路線，鄉民可搭乘火車或公車前往新竹市與竹東。然在橫山鄉 11 個村中，目前共有 5 個村之家戶涵蓋率為 0%，而由於目前在新竹都會區整體運輸規劃模式中^[19]，橫山鄉為單一交通分區，僅能了解周邊其他行政區域的運輸需求量，無法得知橫山鄉內部 11 個村之運輸需求，為解決此一運輸需求無法取得之限制，蘇昭銘等人^[20]曾參考國外社區居民參與方式，邀集最了解當地民意需求之鄉村長討論出應提供公車服務之 14 個候選站點 (如圖 2)，且以橫山鄉公所為接駁公車發車點之共識，雖然無法確認各需求點是否真的存在實際需求，但在實際訪查過程中，發現該些候選點已將道路幾何條件、民眾聚集等特性予以納入。故本研究所探討之問題即在探討如何在兼具成本效益及服務最多家戶原則下，設計出適宜之接駁公車路線，茲就該問題之假設彙整歸納如下：

1. 需提供公車服務之候選站點位置為已知，並可依據各候選站點所聯結之場站數、所能服

務之家戶數設定各站點分數，作為公車路線設計時服務站點篩選之依據，至於各候選站點位置所服務之家戶數越多，是否就具有較高之潛在需求，則非本研究之探討範疇。

2. 考量中小型公車路線營運之經營形態及使用者接受度，所設計之公車路線應有最長服務時間的限制，以避免公車路線過長，造成業者車輛、駕駛調度不易，或使用者無法接受之現象。
3. 基於前述之限制及成本效益之考量，避免因為營運成本過高造成財務負擔，故候選站點的選擇需滿足成本效益前提，亦即當候選站點之距離過遠且服務價值不高時，可能會因為不符合營運效益而無法提供服務。



圖 1 新竹縣橫山鄉大眾運輸路線圖

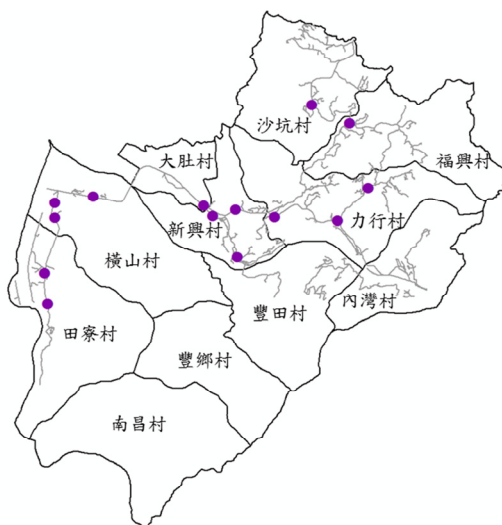


圖 2 新竹縣橫山鄉接駁公車候選站點位置圖

3.2 模式構建

綜合前述中小型鄉鎮接駁公車路線問題之特性與假設，可知本研究所探討之問題，係在多個具有服務價值差異之候選站點中，在有限時間內決定服務路線，本質上與團隊越野尋蹤問題 (team orienteering problem, TOP) 特性相似，TOP 係由 Chao 等學者加以定義：問題特性為由多位競賽者組成之團隊從指定的地點出發，在規定時間內拜訪許多具有不同分數之控制點，如何能在有限時間內規劃出適當之拜訪路徑，以便能讓團隊分數最高。因該問題具有時間限制之特性，團隊可能無法拜訪所有控制點，而控制點之分數又有所差異，故 TOP 問題中需同時思考控制點之空間分布及分數值大小，具備控制點篩選及路徑規劃兩種特性。

目前並無將 TOP 問題應用在接駁公車路線設計之文獻，本研究以 TOP 問題之數學模式為基礎，納入中小型鄉鎮之接駁公車路線特性後，建構之模式如下：

$$\text{Max } \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{k=1}^K S_i y_{ik} + w * \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{i < j} \sum_{k=1}^K \frac{\Delta h_{ik}}{c_{ij} x_{ijk}} \quad (1)$$

St.

$$\sum_{i=2}^{n-1} \sum_{i < j} t_{ij} x_{ijk} \leq T_{\max}, \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} \leq 1, \quad \forall i \in \{2, \dots, n-1\} \quad (3)$$

$$\sum_{i < j} x_{ijk} + \sum_{i > j} x_{jik} = 2y_{ik}, \quad \forall j \in \{2, \dots, n-1\}; \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (4)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in (0, 1), \quad \forall i, \forall j \in \{2, \dots, n-1\}; \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (5)$$

模式之決策變數分別為 y_{ik} 及 x_{ijk} 兩個二元決策變數，當 y_{ik} 為 1 時，表示公車路線 k 服務候選站點 i ；若未提供服務時，則為 0。 x_{ijk} 為公車路線 k 是否經過候選站點 i 與候選站點 j 路段之決策變數，該值為 1 時，表示公車路線 k 經過候選站點 i 與候選站點 j 路段；若公車路線 k 未經過候選站點 i 與候選站點 j 路段，則 x_{ijk} 即為 0。式(1)為模式之目標式，該是由兩個部分所組成，第 1 部分為服務站點分數的最大化，該值為公車路線 k 所服務站點分數 (S_i) 之總和；第 2 部分為所有路線單位成本服務效益的最大化，其中服務效益之衡量方式為單位成本所能新增服務的家戶數，係公車路線 k 因為服務候選站點 i 後所新增家戶數 Δh_{ik} 與公車路線 k 聯結候選站點 i 所需增加之營運成本，目標式中可依據兩者之重要性差異設定權重值 w 。模式限制式部分除式(5)之二元決策變數外，尚包括式(2)至式(4)等 3 條限制式，式(2)為各路線 k 之最長服務時間限制式，亦即路線 k 所經過所有候選站點所必須花費之時間 ($t_{ij} x_{ijk}$) 必須小於服務時間上限值 T_{\max} ，其中 t_{ij} 為候選站點 i 與候選站點 j 路段之旅行時間；式(3)則為每一個候選站點 i 最多只能被一條公車路線服務之限制式；式(4)則為當候選站點 i 被公車路線 k 服務時，必須同時有進出路段銜接之限制式，亦即當 y_{ik} 為 1 時； x_{ijk} 與 x_{jik} 必須同時為 1。

3.3 求解演算法

團隊越野尋蹤問題為一複雜之組合最佳化數學問題，Tang 和 Miller-Hooks^[21]曾提出禁忌搜索演算法、Bouly 等人^[22]曾提出彌集演算法、Dang 等人^[23]曾提出粒子群演算法、Lin^[24]曾提出模擬退火法等方法進行求解，本研究考量中小型城鎮的接駁公車路線設計問題特性後，亦以基因演算法 (genetic algorithms, GA) 為基礎發展出一套包含候選路線產生及基因演算法之兩階段求解演算法。

1. 候選路線產生

由於中小型鄉鎮之道路路網結構通常較為單純，在確定站牌候選點位後，其組合數可能會因為路網結構而減少，茲舉圖 3 之案例加以說明，假設圖 5 中之黑色實線為公車可行駛之道路，而實心原點則為 5 個候選點位，若假設編號 4 的點位為接駁公車發車站，今若選取其中 4 個候選點未進行路線設計時，在歐基里德平面上將會有 (4,1,2,3)、(4,1,3,2)、(4,1,2,5)、(4,1,5,2)、(4,1,3,5)、(4,1,5,3)、(4,2,3,5)、(4,2,5,3)、(4,2,3,1)、(4,2,1,3)、(4,2,5,1)、(4,2,1,5)、(4,3,2,1)、(4,3,1,2)、(4,3,2,5)、(4,3,5,2)、(4,3,1,5)、(4,3,5,1)、(4,5,2,1)、(4,5,1,2)、(4,5,3,1)、(4,5,1,3)、(4,5,2,3) 及 (4,5,3,2) 等 24 種組合，但在實際公車路線設計上則可能受限於路網結構，僅產生 (4,3,2,1) 或 (4,5) 等 2 種組合，因此候選路線產生演算邏輯即在考量路網空間結構，縮減候選路線之規模。

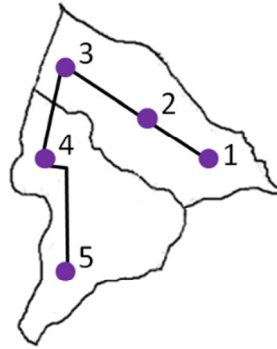


圖 3 候選路線產生範例示意圖

本研究所構建之候選路線產生流程如圖 4 所示，該流程係依據公車路線連結候選站位數之多寡，依序產生候選路線，再分別利用順道路線及服務時間限制，檢核路線之可行性，其中順道路線的檢核係利用地理資訊系統之空間拓樸關係 (topology) 建立候選點位之順道路線矩陣，在該矩陣中若兩點間存在其他順道通過點位，則其矩陣值即為 1，否則即為 0，若以圖 3 之範例而言，其順道路線矩陣即可表示如表 1 所示，今若假設產生兩條候選公車路線分別為 1→2 與 1→4，由於從候選點位 1 到候選點位 4 過程中，一定會經過點位 2 及 3，該路線即可被路線 1→2→3→4 所取代，故當該起迄點位之順道矩陣值為 1 時，表示該候選路線為不可行，即予以刪除。

表 1 範例之順道路線矩陣

預設站點	1	2	3	4	5
1	—	0	1	1	1
2	0	—	0	1	1
3	1	0	—	0	1
4	1	1	0	—	0
5	1	1	1	0	—

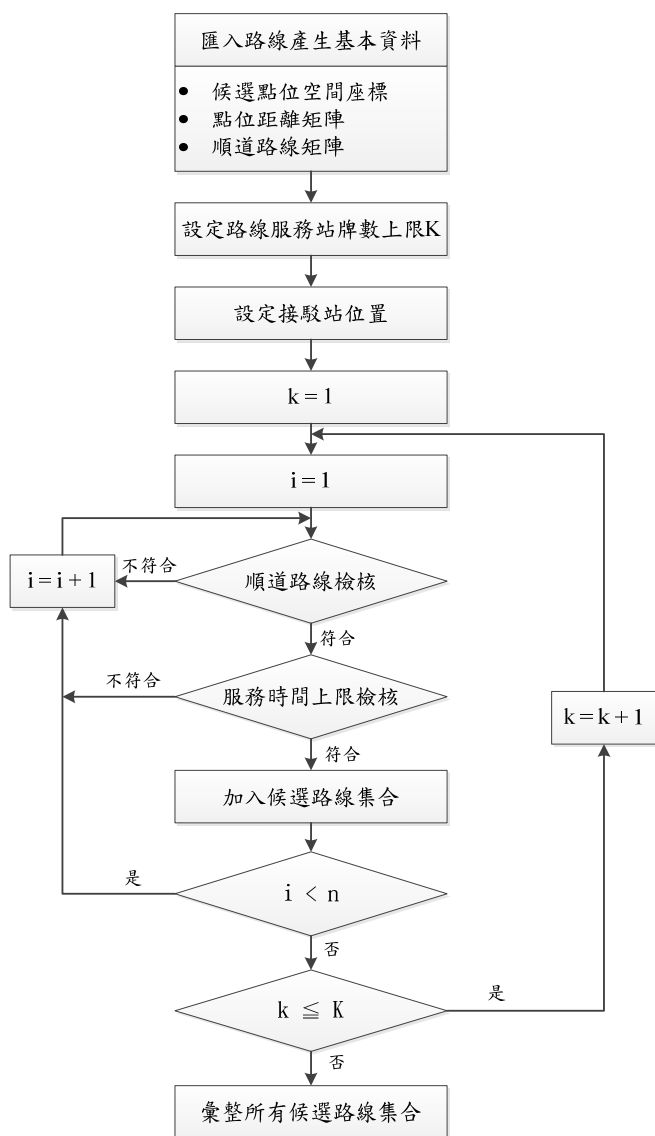


圖 4 候選路線產生流程

2. 基因演算法

第 2 階段的基因演算法主要是進行本研究所構建接駁公車路線設計數學模式之求解，從前一階段所產生之候選路線中，篩選出公車路線設計之最佳路線組合，其演算流程如圖 5 所示，茲就其中重要步驟說明如下：

- (1) 為避免重複挑選路線與編碼和解碼過於繁瑣，本研究採用 0-1 整數編碼，每一條染色體基因值個數為候選路線總數，例如：有 30 條候選路線時，每一條染色體即有 30 個基因值，每一個基因值即代表一條候選路線，當基因值為 1 時，即代表該候選路線被選取；否則為 0。每一世代之染色體個數則設定為 100。
- (2) 利用隨機方式產生起始解，並以路線設計模式中之目標式計算適應值，其中新增家戶數 Δh 的係透過地理資訊系統的服務區域 (service area) 與疊圖 (overlap) 等空間分析功能加以計算。
- (3) 採用輪盤式複製策略，依據適應值大小決定染色體被保留至下一世代的機率大小，適應值越高之染色體被保留的機率越大。由於母體個數較大，為確保每一世代中最佳的染色體能夠被保留，因此採取強制複製適應值最高染色體之策略。
- (4) 採用雙點交配方式，亦即隨機產生兩個交配點，在兩交配點範圍內兩條染色體之所有基因值均進行交配，交配率設定為 0.9。
- (5) 為避免在求解過程中，過早的收斂因而落入局部最佳解，本研究採取位元突變方式，以期能跳脫局部最佳解之現象。執行方式為在每一世代中將篩選適應值最差的前 10 條染色體進行突變，希望能藉由突變改善適應值，其中突變率設定為 0.3。

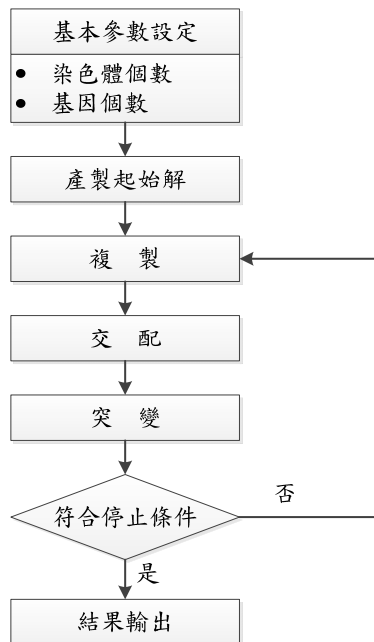
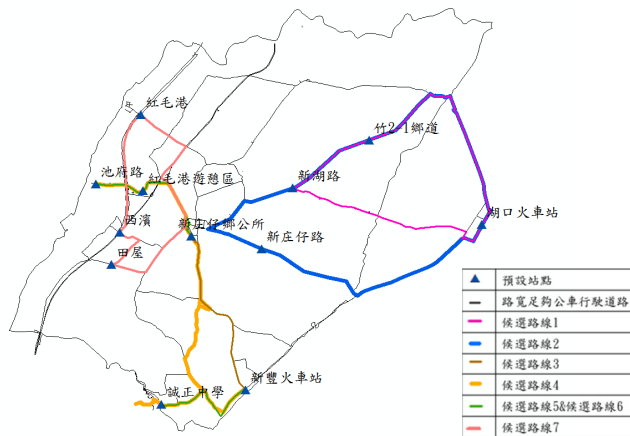


圖 5 基因演算法流程

3. 演算法驗證

為驗證前述接駁公車路線設計演算法之求解效果，本研究應用吳東怡等人^[18]針對新竹縣新豐鄉接駁公車路線設計時，以專家判斷方式所研擬如圖 6 所示之 7 條候選路線為基礎，進行模式求解，經基因演算迭代 1,000 次，並重複求解 100 次後，發現在 100 次求解中均可求得如表 2 與圖 7 之路線組合，與該研究中利用窮舉法求解之最佳路線組合相同，顯示本研究所構建之求解演算法可有效產生中小型鄉鎮之接駁公車路線。

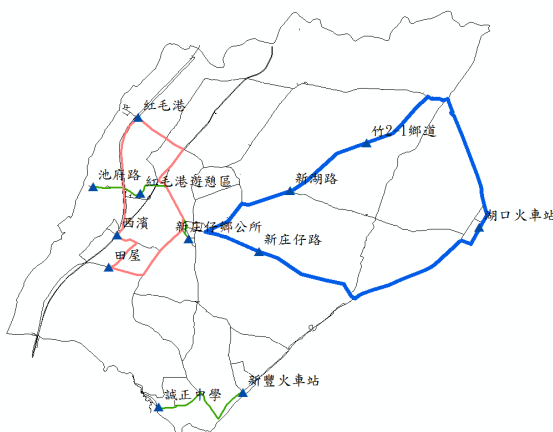


資料來源：參考文獻[18]。

圖 6 驗證案例之候選路線圖

表 2 驗證案例之最佳路線組合

最佳路線組合解				適應值
2	5	6	7	52.2464



資料來源：參考文獻[18]。

圖 7 驗證案例之公車路線設計最佳解

四、實例應用

為測試前述演算法在實務上應用能力，本研究選定新竹縣橫山鄉作為實例應用對象，進行接駁公車路線的設計，後續茲就案例背景、路線設計結果、路線評估及敏感度分析等方面加以說明。

4.1 應用案例背景說明

橫山鄉位於新竹縣的中心位置 (如圖 8 所示)，東側及南側分別緊鄰尖石及五峰兩個腹地廣大的原住民鄉，西鄰竹東鎮，北接芎林鄉及關西鎮。截至 103 年 9 月底人口總數為 13,859 人，在 13 個鄉鎮中排名第 9，鄉鎮內有知名的旅遊景點－內灣。

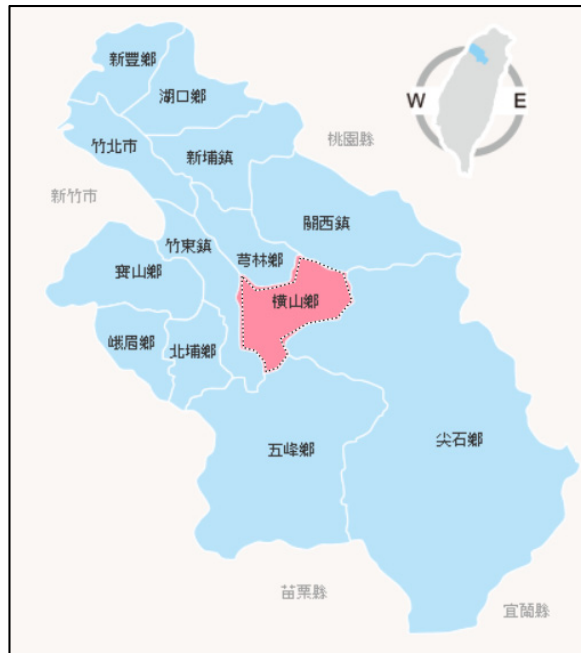


圖 8 橫山鄉空間位置圖

橫山鄉的聯外大眾運輸系統主要有包括：鐵路內灣支線及 6 條公路汽車客運路線，其路線分布如圖 1 所示，可發現目前之大眾運輸主要集中在臺三線及縣道 120 沿線的大肚村等 6 個村，大眾運輸門牌服務涵蓋比例為 68.11%，其中田寮村、南昌村、豐田村、豐鄉村與福興村等 5 個村完全沒有大眾運輸服務，各村之服務涵蓋率資料如表 3 所示，透過門牌涵蓋率分析可發現橫山鄉各村的大眾運輸路網存在兩極化現象，在 6 個家戶門牌數較多且有大眾運輸系統服務的村，服務涵蓋率可達 70% 以上；而 5 個無大眾運輸系統服務之村，其家戶門牌數均未達 200 戶。其中田寮鄉原本有公路客運行駛，但在停駛後對許多當地居

民的基本民行產生很大的不便，鄉民在 2011 年向新竹縣政府針對提出增闢公車路線的要求，希望能達到村村有公車的目標。

表 3 新竹縣橫山鄉現有大眾運輸服務涵蓋率

村 名	家戶門牌數	500公尺服務家戶門牌數	服務涵蓋率 (%)
力行村	368	262	71.20
大肚村	477	477	100.00
內灣村	441	411	93.20
田寮村	178	0	0.00
沙坑村	270	231	85.56
南昌村	148	0	0.00
新興村	606	479	79.04
福興村	196	0	0.00
橫山村	1,413	1,089	77.07
豐田村	92	0	0.00
豐鄉村	141	0	0.00
總 計	4,330	2,949	68.11

蘇昭銘等人^[20]曾利用社區居民參與方式，透過服務科學的模式，邀集當地民眾及鄉村長從在地需求角度，討論出橫山鄉應提供公車服務之 14 個候選站點（請參閱圖 2），並在考量車輛調度管理前提下，以橫山鄉公所為接駁公車之發車點，本研究即將以此 14 個候選站點進行接駁公車路線設計，其中鄉村長所建議之候選點位並未行經豐田村、豐鄉村與南昌村，主要因素為該三村落家戶分布較分散，且豐鄉村與南昌村道路狀況較差，大客車行駛較為困難所致。14 個候選點位之基本資料彙整如表 4 所示，其中有 6 個候選站點與既有之公路客運站牌重複，故其不會因為接駁公車路線的新增而增加涵蓋家戶數，另外從表中資料可得知各候選點位所鄰近之重要機關（如學校、政府機構）個數及連接之重要交通節點（如火車站、臺三線），並依此得到各候選點位資料之評分，14 個點位中，以新庄與田洋街及大肚國小之評分最高，該分數即為本研究所構建路線設計模式中之服務站點分數（ S_i ）。

4.2 路線設計分析

在利用本研究所構建之模式與演算法進行橫山鄉接駁公車路線之設計時，模式中所設定之參數值與各項基本假設如下：

1. 由於橫山鄉距離最遠之候選站點約為 10 公里，經與當地客運業者從車輛使用效率角度

加以探討，建議路線之最長行駛時間為 30 分鐘。

2. 考量部分道路較為狹窄，設定大客車之行駛速率為每小時 30 公里。
3. 每車公里之大客車營運成本採用交通部公路總局補貼各縣市公共運輸計畫之標準，為每公里 39.716 元。

表 4 候選站牌點位基本資料

點位編號	點位名稱	鄰近重要機關個數	連接重要交通節點個數	新增涵蓋家戶數	是否為既有站牌	點位評分
1	田寮國小	1	0	80	—	3
2	砵子	0	0	71	—	2
3	新庄與田洋街	1	0	200	—	6
4	新庄街	0	1	27	—	2
5	橫山火車站	1	2	0	○	3
6	大肚國小	2	2	33	—	5
7	橫山國中	1	1	0	○	3
8	福興活動中心	0	0	88	—	3
9	沙坑國小	1	1	0	○	2
10	合興火車站	0	2	0	○	2
11	橫山鄉公所	2	1	0	○	3
12	增昌橋前	0	0	52	—	2
13	力行 1.3 公里	0	0	47	—	2
14	富貴火車站	0	2	0	○	2

在候選路線產生階段，若要以窮舉法產生所有可能候選方案將達數億種組合，將耗費許多時間，經以本研究所構建之兩階段演算法進行路線設計，總求解時間為 2.66 秒，其中第 1 階段產生如表 5 所示之 35 種候選路線組合；第 2 階段所設計出之最佳路線組合如表 6 所示，模式之最小目標值為 43.82，該組合係由 4 條路線所組合，分別是服務新興村增昌橋前聚落的編號 3 路線；服務福興村福興活動中心及沙坑村沙坑國小的編號 13 路線；服務新興村橫山國中，力行村合興火車站、富貴火車站與力行 1.3 公里處的編號 26 路線；服務橫山村大肚國小、新庄與田洋街，田寮村砵子及田寮國小的編號 33 路線，4 條路線之空間分布如圖 10 所示，14 個候選站點均可完全被涵蓋。

4.3 分析結果檢討

經以蘇昭銘等人^[20]從民眾角度所提之候選站牌點位資料為基礎，結合本研究所構建之

接駁公車路線設計模式，在新竹縣橫山鄉設計出接駁公車路線組合，未來可進一步從該組合中規劃合適之班次，以滿足民眾之基本通勤需求。若從無縫運輸服務涵蓋率角度加以分析，其結果如表 7 所示，從表中資料可知新增路線後，可將橫山鄉的服務涵蓋率從目前的 68.11% 提升到 81.92%，除南昌村、豐田村及豐鄉村因為鄉村長並未提出設站需求，尚無路

表 5 橫山鄉候選公車路線彙整表

編號	服務站點	編號	候選路線
1	11→6	19	11→6→7→8→10
2	11→7	20	11→6→7→10→8
3	11→12	21	11→6→7→10→14
4	11→6→5	22	11→7→6→5→4
5	11→6→7	23	11→7→8→9→10
6	11→7→6	24	11→7→8→10→14
7	11→7→8	25	11→7→10→8→9
8	11→7→10	26	11→7→10→14→13
9	11→6→5→4	27	11→6→5→4→3→1
10	11→6→7→8	28	11→6→7→8→9→10
11	11→6→7→10	29	11→6→7→8→10→14
12	11→7→6→5	30	11→6→7→10→8→9
13	11→7→8→9	31	11→6→7→10→14→13
14	11→7→8→10	32	11→7→6→5→4→3
15	11→7→10→8	33	11→6→5→4→3→1→2
16	11→7→10→14	34	11→7→6→5→4→3→1
17	11→6→5→4→3	35	11→7→6→5→4→3→1→2
18	11→6→7→8→9		

表 6 橫山鄉最佳接駁公車路線方案彙整表

候選路線 編號	路線服務站點	路線服務站點 分數總和	路線 距離	新增服務 家戶數	目標值
3	11→12	2	1.19	52	43.82
13	11→7→8→9	8	5.95	88	
26	11→7→10→14→13	9	4.20	47	
33	11→6→5→4→3→1→2	21	7.02	411	

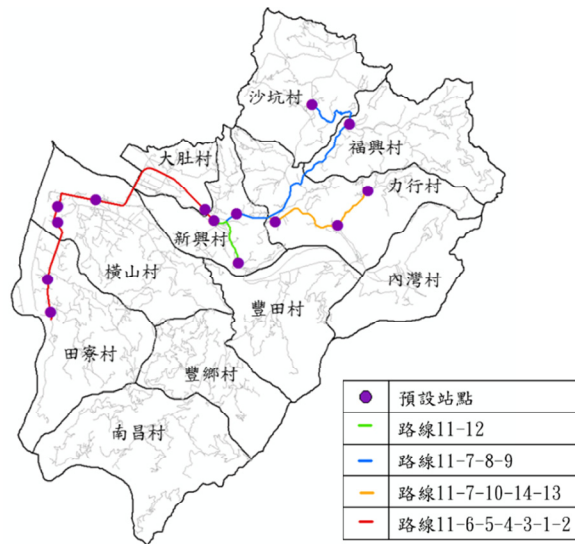


圖 10 最適候選路線空間分布圖

線可服務三村之 381 個家戶外，總計有 5 個村的服務涵蓋率有所提升，分別是田寮村由無涵蓋增加到 84.83%、福興村由無涵蓋增加到 44.90%、橫山村從 77.07%增加到 93.14%、力行村從 71.20%增加到 84.24%及新興村從 79.04%增加到 92.9%，總計可增加 598 個家戶之服務，服務涵蓋率可提升 13.81%，顯示利用本研究所設計之接駁公車路線可提升大眾運輸之空間無縫服務比例。

雖然從服務涵蓋率的提升角度確認本研究路線設計方法的有效性，但所規劃的路線是否真的能夠吸引民眾搭乘，仍有待進一步探討。惟經過公路總局、新竹縣政府及橫山鄉公所多次的會勘探討，確認該結果具有可行性且可滿足當地民眾需求後，已於 2014 年 11 月正式通車，頗獲當地民眾肯定，然其長期之經營效率仍需定期追蹤檢討。從公共運輸無縫服務環境的角度而言，目前橫山鄉尚有約 800 個家戶無法在 500 公尺步行範圍內可搭乘到大眾運輸，此主要是聯絡該些家戶之道路條件不適合大客車行駛或家戶過度分散，不符合經營效率所致，再與鄉村長溝通過程中，亦獲得認同。

4.4 營運費用影響分析

經由前述分析中將接駁公車路線設計方法應用在新竹縣橫山鄉的公車路線設計上，估計每年之營運費用約為 160 萬元，由於未來政府可能囿於預算限制限縮營運費用的投入，投入營運費用的多寡將可能影響到服務之績效，為進一步了解營運費用的投入金額對路線設計結果之影響，本研究將每年可投入的營運費用假設為 10 萬至 160 萬元，其對目標值、服務站點數及新增家戶數之影響結果彙整如圖 11 至圖 13 所示。從圖中資料可發現，在投入 160 萬元營運費用時，模式目標值為 43.82，可連結之候選站點個數為 14 處，總計可增

加服務 598 個家戶，隨者投入營運費用的下降，不論是目標值、服務站點數及新增家戶數均隨之下降，其中當營運費用由 50 萬元下降至僅有 40 萬元時，可發現目標值由 28.16 下降至 18.69；服務之候選站點數由 7 個下降至 5 個；所增加之家戶數更由 312 戶驟降至 85 戶，顯見其經營效率將急速下降。

表 7 新竹縣橫山鄉大眾運輸可及性分析

項目 村名	家戶數	服務家戶門牌數			服務涵蓋率(%)		
		現況	新增路線後	增加值	現況	新增路線後	增加值
力行村	368	262	310	48	71.20	84.24	13.04
大肚村	477	477	477	0	100.00	100.00	0.00
內灣村	441	411	411	0	93.20	93.20	0.00
田寮村	178	0	151	151	0.00	84.83	84.83
沙坑村	270	231	231	0	85.56	85.56	0.00
南昌村	148	0	0	0	0.00	0.00	0.00
新興村	606	479	563	84	79.04	92.90	13.86
福興村	196	0	88	88	0.00	44.90	44.90
橫山村	1,413	1,089	1,316	227	77.07	93.14	16.07
豐田村	92	0	0	0	0.00	0.00	0.00
豐鄉村	141	0	0	0	0.00	0.00	0.00
總戶數	4,330	2,949	3,547	598	68.11	81.92	13.81

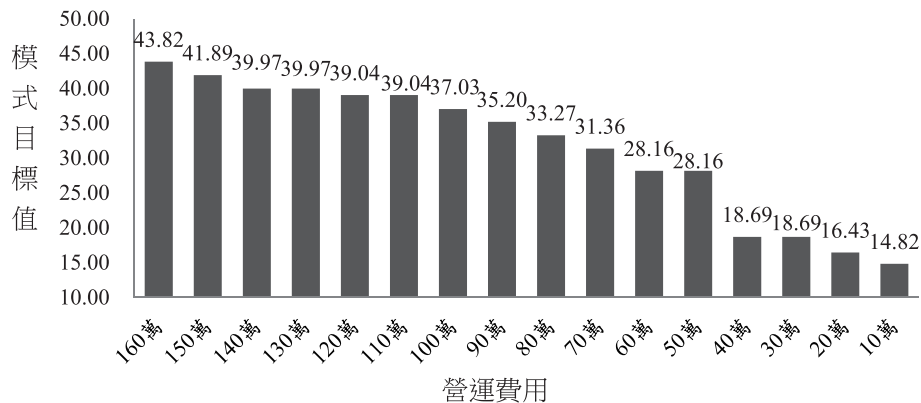


圖 11 不同營運費用對目標值之影響分析結果

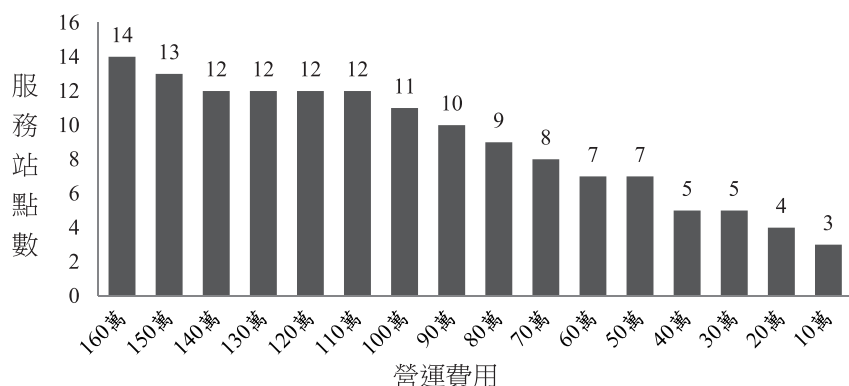


圖 12 不同營運費用對服務站點數之影響分析結果

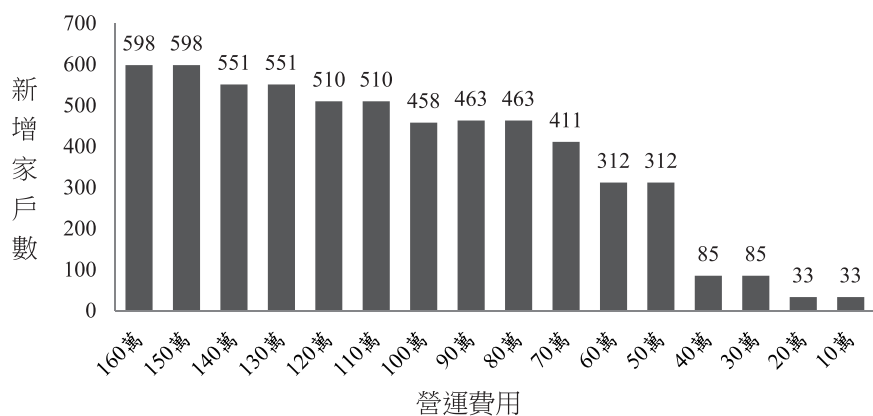


圖 13 不同營運費用對新增家戶數之影響分析結果

藉由前述營運費用對新增家戶數之影響分析探討，亦可推估在不同營運費用投入下，每增加一個家戶每年所需增加之單位營運成本如圖 14 所示，由圖 14 可發現當投入金額小於 50 萬元時，家戶之單位營運成本明顯的上升，其中以投入 50 萬元營運費用之單位營運成本最低，每年僅有 1,603 元。雖然營運費用由 70 萬元增加到 160 萬元時，單位營運成本會由 1,703 元增加到 2,676 元，但新增家戶數亦會由 411 戶增加到 598 戶，故未來主管機關可視經費額度，利用本研究所構建方法評估適當之營運費用規模，以提升路線營運效益。

五、結論與建議

在逐漸邁向少子化、高齡化社會與年輕人口都市化的臺灣，中小型鄉鎮之居民多半為交通弱勢之學童與高齡者，因此中小型鄉鎮接駁公車將為建構我國無縫運輸環境重要課

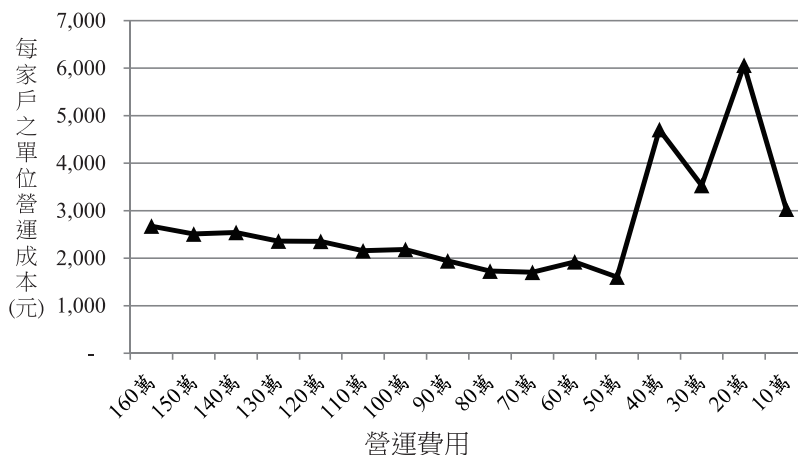


圖 14 不同營運費用對每家戶單位營運費用之影響分析結果

題。本研究延續蘇昭銘等人^[20]利用服務科學概念，由具有民意基礎之鄉長與村長提出預設大眾運輸服務站點之資料為基礎，以 TOP 問題觀念建構接駁公車路線設計之模式，並整合應用地理資訊系統與基因演算法建立兩階段求解演算法。經以新竹縣橫山鄉為實例應用對象，進行接駁公車路線設計，從鄉村長選定之 14 個預設站點產生 35 條候選路線，最後求解得到以 4 條候選路線作為接駁公車路線組合，該組合可增加橫山鄉 598 個家戶之服務，服務涵蓋率可從目前的 68.11% 提升到 81.92%，該路線已經中央及各級主管機關之會勘，確認可行性，並在 2014 年 11 月營運通車，顯見本研究所提出接駁公車路線設計結果具有相當之實用性，可有效滿足民眾需求並降低空間服務縫隙，將可作為未來中小型鄉鎮接駁公車路線設計之參考。

本研究所構建之接駁公車路線設計模式除可進行路線設計外，經由投入營運費用之金額限制，亦可從每增加一個家戶所需之單位營運成本大小，了解投入營運費用之適宜性，以橫山鄉為例，當每年營運費用從 50 萬元下降至 40 萬元時，家戶之單位營運成本將明顯的由 1,603 元增加到 4,706 元，顯示路線之經營將不具效益。

本研究針對中小型城鎮進行接駁公車路線之設計結果已確認可提升空間服務涵蓋率，但空間服務涵蓋率的提升是否代表著實際運輸需求的增加，仍是一個值得深入探究之課題，以避免路線營運後因為運量不足而產生營運虧損。此外，除定線、定班之大眾運輸服務型態外，未來在中小型鄉鎮亦可評估利用公共自行車或需求反應式運輸服務，填補大眾運輸空間服務縫隙之可行性，冀望藉由更完整之分析，建構出兼具服務效率及財務可行性之公共運輸服務模式。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，因應公路客運業市場環境與結構改變政府之輔導轉型策略與管理技術研究，民國 101 年 12 月。
2. 交通部公路總局，偏鄉公共運輸計畫之具體推動機制－以屏東縣為例，民國 102 年 12 月。
3. 彭舒淳，「由永續運輸觀點建構市區公車路線方案之最佳組合」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 97 年。
4. 王惠吟，「捷運接駁公車路線規劃模式之設計與應用」，臺北大學都市計劃研究所碩士論文，民國 100 年。
5. Szeto, W. Y. and Wu, Y., "A Simultaneous Bus Route Design and Frequency Setting Problem for Tin Shui Wai, Hong Kong", *European Journal of Operational Research*, Vol. 209, No. 2, 2011, pp. 141-155.
6. Wu, B. M. and Hine, J. P., "A PTAL Approach to Measuring Changes in Bus Service Accessibility", *Transport Policy*, Vol. 10, No. 4, 2003, pp. 307-320.
7. Zhu, X. and Liu, S., "Analysis of the Impact of the MRT System on Accessibility in Singapore Using an Integrated GIS Tool", *Journal of Transport Geography*, Vol. 12, 2004, pp. 89-101.
8. Matisziw, T. C., Murray, A. T., and Kim, C., "Strategic Route Extension in Transit Networks", *European journal of operational research*, Vol. 171, No. 2, 2006, pp. 661-673.
9. Yigitcanlar, T., Sipe, N., Evans, R., and Pitot, M., "A GIS-Based Land Use and Public Transport Accessibility Indexing Model", *Australian Planner*, Vol. 44, No. 3, 2007, pp. 30-37.
10. Manaugh, K. and El-Geneidy, A., "Who Benefits from New Transportation Infrastructure? Evaluating Social Equity in Transit Provision in Montreal", 57th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, North American Regional Science Council, 2010, pp. 1-24.
11. Biba, S., Curtin, K. M., and Manca, G., "A New Method for Determining the Population with Walking Access to Transit", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 3, 2010, pp. 347-364.
12. Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T., and O'Sullivan, D., "GIS Based Destination Accessibility via Public Transit and Walking in Auckland", *Journal of Transport Geography*, Vol. 20, No. 1, 2012, pp.15-22.
13. Delmelle, E. C. and Casas, I., "Evaluating the Spatial Equity of Bus Rapid Transit-Based Accessibility Patterns in a Developing Country: The Case of Cali, Colombia", *Transport Policy*, Vol. 20, 2012, pp. 36-46.
14. Tribby, C. P. and Zandbergen, P. A., "High-Resolution Spatio-Temporal Modeling of Public Transit Accessibility", *Applied Geography*, Vol. 34, 2012, pp. 345-355.
15. Dharmadhikari, N. and Zheng, Z., *Study of The Public Transit System Accessibility Based on the Average Opportunity Accessibility Measure: A Case Study of Fargo*, URISA, North Dakota, 2011.

16. 臺南市政府交通局，**臺南市市區公車路線與公車票價制度檢討**，民國 103 年。
17. 新竹縣政府交通旅遊處，**新竹縣整體公共運輸規劃（含市區公車路線檢討與民眾旅次需求調查）**，民國 103 年。
18. 吳東怡、何武軒、張靜方，「整合社區民眾意識與地理資訊系統之接駁公車路線設計方法－以新竹縣新豐鄉為例」，中華大學運輸科技與物流管理學系學士專題研究，民國 102 年。
19. 臺灣省政府交通處，**新竹都會區運輸系統整體規劃：規劃技術報告書(初稿)**，民國 87 年。
20. 蘇昭銘等人，「橫山地區服務系統整合與創新計畫－子計畫二社區居民意識為基礎之橫山鄉公車路線規劃計畫」，臺灣服務科學學會研究報告，民國 101 年。
21. Tang, H. and Miller-Hooks, E., "A Tabu Search Heuristic for the Team Orienteering Problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 32, No 6, 2005, pp. 1379-1407.
22. Bouly, H., Dang, D. C., and Moukrim, A., "A Memetic Algorithm for the Team Orienteering Problem", *4OR*, Vol. 8, No 1, 2010, pp. 49-70.
23. Dang, D. C., Guibadj, R. N., and Moukrim, A., "An Effective PSO-Inspired Algorithm for the Team Orienteering Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 229, No 2, 2013, pp. 332-344.
24. Lin, S. W., "Solving the Team Orienteering Problem Using Effective Multi-Start Simulated Annealing", *Applied Soft Computing*, Vol. 13, No 2, 2013, pp. 1064-1073.

隨機派翠網路應用於臺鐵捷運化之 運行調度模擬模式建構與分析

SIMULATION MODELLING AND ANALYSIS OF TAIWAN RAILWAY ADMINISTRATION'S MRT-TYPE OPERATIONS BY USING STOCHASTIC PETRI NETS

陶冶中 Chi-Chung Tao¹
洪敏琛 Min-Ching Hung²

(103 年 7 月 3 日收稿, 104 年 3 月 13 日第 1 次修改, 104 年 4 月 29 日第 2 次修改,
104 年 7 月 8 日第 3 次修改, 104 年 12 月 16 日定稿)

摘 要

近年來臺灣鐵路管理局鐵推動「臺鐵捷運化」政策, 其目的在於將臺鐵運輸系統轉變為具有近似「大眾捷運系統」的特性。本研究採用可提供具可視化描述功能與系統動態活動描述功能的隨機派翠網路(stochastic Petri nets) 為基礎之資訊系統開發方法組合(set of information system development method, SISDM), 作為軌道運輸運行調度模擬模式建構與分析之開發方法。首先, 蒐集與彙整臺鐵路提供之相關資料與自行調查之分析結果, 然後建構以隨機派翠網路為基礎之臺鐵捷運化列車運行調度模擬模式, 並以基隆—中壢段為模擬模式之驗證案例, 再藉由發車間距、列車組成與調度等情境分析, 研析臺鐵捷運化之運行調度策略。經由模擬分析結果顯示, 臺鐵捷運化後之列車發車間距, 在系統車輛數允許之情況下, 以間距 240 秒最能發揮整體運輸效率。在列車組成部分, 當慢車與快車之列

-
1. 淡江大學運輸管理學系副教授 (聯絡地址: 25137 新北市淡水區英專路 151 號 淡江大學運輸管理學系; 電話: (02) 26215656 Ext. 2983; E-mail: cctao@mail.tku.edu.tw)。
 2. 淡江大學運輸科學研究所碩士。

車組成比例為 1:1 且為交錯組成時，較適合發車間距較長之列車運轉；當慢車與快車組成比例為 2:1 時，無論發車間距多寡，皆能發揮最佳之整體運輸效率；當慢車與快車組成比例達 3:1 時，則較適合發車間距較密集之列車運轉。在調度策略部分，採用特開列車策略對於因延誤發生而受影響之列車運行時間雖無明顯改善，但卻能有效回復受影響之發車間距，減少延誤所產生之影響。

關鍵詞：臺鐵捷運化；隨機派翠網路；資訊系統開發方法組合

ABSTRACT

To transform the railway transportation system into the system with MRT's characteristics, Taiwan Railways Administration(TRA) has promoted a policy called "Transformation of the Taiwan Railway into a MRT-type railroad" for the past few years. This study presents the SISDM based on Stochastic Petri Nets (SPN) describing visualized functions and system dynamic activity functions which can be regarded as a toolkit of railway operations simulation modeling and analysis. First, related data provided by TRA and results of own surveys are collected and summarized. Then, a simulation model based on the SPN is developed to analyze TRA's train operations and dispatching strategies similar to MRT-type operations. By taking Keelung-Chungli southbound line as the empirical study, numerous simulations are performed with various scenarios including different headways, train types, timetable delays. Having implemented transformation of the Taiwan Railway into a MRT-type railroad policy, the simulation results indicate the total system efficiency will be optimal with the average headway 240 s if train cars are assumed to be available. Longer headway operations are suitable when the proportional combination between slow and express train types is 1 to 1. No matter how long or short the headway is, the total system efficiency will be optimal when the proportional combination is 2 to 1. Nevertheless, shorter headway operations are preferred when the proportional combination is 3 to 1. Although the strategy of increasing special frequency to reduce timetable delay is not significant to eliminate propagation impacts of timetable, it is still very effective to maintain regular headways.

Key Words: Transformation of the Taiwan Railway into a MRT-type railroad; Stochastic Petri nets; Set of information system development method

一、前言

早期國內無論城際、區域的軌道運輸服務提供者僅依賴臺鐵，自民國 96 年高鐵通車營運後，即明顯提高城際軌道運輸旅次的比重，另一方面，民國 93 年以來軌道運輸次類

別之預算首度超越公路，迄今仍居高不墜，且隨著臺北與高雄都會區大眾捷運系統相繼通車營運，加上臺中都會區大眾捷運系統與高雄、淡海、安坑輕軌等各類軌道計畫的規劃與興建，預計未來數年軌道運輸的投資金額將更為龐大，此一趨勢顯示我國已邁入以軌道運輸為主的運輸新世代。

不同的軌道運輸系統，在路網、服務屬性、設備、場站月台、行車制度、列車組成等特性皆有差異，因此應有各自的系統功能定位與市場分工。依據交通部運輸研究所「軌道運輸系統總體規劃-我國軌道運輸系統發展政策之研究」^[1]指出，軌道運輸系統的基本功能可定位為：由高鐵主司城際長程運輸（150 公里以上），城際中程運輸（50-150 公里）以臺鐵為主並與高鐵合作分工，都會區域內部中短程（30-50 公里與 30 公里以下）則以臺鐵、捷運以及輕軌系統為主，如表 1 所示。

近年來臺灣鐵路管理局積極推動「臺鐵捷運化」政策，嘗試轉變以中短程運輸旅次為主，將原本西部幹線劃分幾個主要都會區段，在原本的車站之間，尋找適當地點，增設簡易型車站，以停靠短程列車，並藉由增加班次與停靠站，以近似於捷運的車站密集、班次密集、票種單純營運方式，來提昇臺鐵的中短程客運量。根據 2012 年臺灣鐵路統計年報^[2]指出，臺鐵客運人數結構之運輸距離以短程運距臺北至楊梅最多占 72.2%，多數為短程距離，其中自強號列車多為中長程旅客所搭乘，占 54%，莒光號多為中程旅客利用，復興號及區間車則多為短程旅客，顯示臺鐵漸逐步邁向捷運化。

表 1 我國軌道運輸市場發展定位

運輸型態		旅次類型	旅行距離(公里)	適用軌道運具	運輸市場定位
城際		長程	150-500	高鐵、臺鐵	高鐵
		中程	50-150	臺鐵、高鐵	臺鐵、高鐵
都會區	市郊及郊區	中程	30-50	臺鐵、(捷運)	臺鐵
	核心區	短程	30 以下	臺鐵、捷運／輕軌	臺鐵、捷運／輕軌

資料來源：交通部運研所^[1]。

雖然臺鐵捷運化在班次、站距、車種、運行方式等仍與「大眾捷運系統」不盡相同，但若善加整合都會區內「大眾捷運系統」或輕軌與「市區－郊區－市區」之臺鐵，再整合中長距離城際運輸之高鐵，而形成一無縫的 (seamless) 軌道運輸系統，則更能提供民眾最完整之軌道運輸服務。過去國內對於臺鐵捷運化之相關研究，多偏重市場定位、票價訂定與國內軌道運輸系統之整合發展相關課題^[3-5]，對於臺鐵捷運化後之列車運行、運轉整理、延誤調度等課題之研究，尚需更多的投入，因此本研究擬針對後者提出理論與實務兼具之研究成果，期能成為此研究領域重要參考案例之一；再者，考量模擬模式相較於解析模式及最佳化模式，具有可進行號誌閉塞系統、列車性能及路線條件等複雜因素交互作用之分析功能，分析結果亦較有高精確性。

鑒於常見的模擬系統開發方法各有優缺點，本研究經由相關文獻彙整結果，擬採用可提供具可視化 (visualized) 描述功能與系統動態活動描述功能的隨機派翠網路 (stochastic Petri nets, SPN) 為基礎之資訊系統開發方法組合 (set of information system development method, SISDM)，作為軌道運輸運行調度模擬系統開發方法。首先，本研究將蒐集與彙整臺鐵管理局提供之相關資料與自行調查之分析結果，然後建構以隨機派翠網路為基礎之臺鐵捷運化列車運行調度模擬模式，並以基隆－中壢段為模擬模式之驗證案例，最後藉由發車間距、列車組成與調度等情境分析，提出臺鐵捷運化之運行調度策略。

二、文獻回顧

2.1 軌道運輸列車運行控制系統

從列車運行控制系統發展的歷程來看，可分為機械裝置控制、電氣控制與電子控制 3 個階段。以地面號誌為基礎的固定自動閉塞區間系統 (fixed automatic-block system, FAS) 係當前應用最為廣泛的閉塞系統。然而隨著列車運行速度與密度不斷提高，傳統的三顯示固定閉塞已無法因應需求的變化，部分國家已採用四顯示固定閉塞制以縮短行車間隔或者裝設列車自動停車 (ATS)、列車自動防護 (ATP) 與列車自動運行 (ATO) 等系統。從 FAS 的運作原理可看出，其閉塞分區長度與列車追蹤間隔並非依照最適化條件而設計，是一種較為保守的列車運行控制方法，特別是針對多車種 (客貨車、快速與慢速) 混合的軌道運輸系統而言，FAS 往往導致列車調度不靈活與運輸能力易浪費的結果。直到近十幾年，先進國家相繼研發出移動自動閉塞區間系統 (moving automatic-block system, MAS) 且成功應用在都市捷運與輕軌，MAS 才成為現代列車運行控制系統的發展方向與新興重點。

FAS 與 MAS 之根本差異在於閉塞分區之形成方式。FAS 之區間劃分係考慮區間內之列車運行參數、牽引類型、制動能力、區間坡道、彎道等因素，再根據列車號誌顯示方式 (例如二顯示、三顯示、多顯示) 來決定閉塞分區長度，並使用與軌道電路連鎖之通過號誌機作為區間分隔標誌。區間一經劃分，便無法任意更動，因此即便提升列車性能而增加列車運行速度，FAS 之固定閉塞分區長度仍將限制發車間隔而無法有效提升運行效率。MAS 因取消軌側號誌機及其他軌側設施，依照自身列車與前方列車之即時運行速度、列車位置、車輛載重、列車節數、車廂長度、牽引能力、制動性能、坡度、彎道、天候…等列車及路線之特性與參數而透過車載設備決定閉塞區間長度，並可由本身列車車頭至前行列車之車尾或進站號誌機決定，因此除了無固定之閉塞分區劃分外，車站區間內之閉塞區間數亦非一固定值。MAS 具有相當的優越性，不僅可取消軌道電路，號誌系統的造價因而降低，亦可提高行車密度與區間容量。

在相關文獻^[6,7]可一窺國內外先進的軌道運輸列車運行控制系統，例如：歐盟 ETCS 系統、德國 LZB 系統、法國 TVM 系統、日本新幹線 ATC 系統、中國大陸 CTCS 系統、臺北捷運文湖線 CITYFLO650 系統等。

2.2 列車運行模式、調度策略與建構方法

回顧當前軌道列車運行相關文獻^[8-10]可知，欲建構列車運行模式之前，宜先確認研究對象採用何種閉塞系統，然後再以行車動力學為基礎，依據不同閉塞系統加入列車牽引力、運行阻力、制動力等縱向力的計算特點及其對列車運行過程的限制式。所謂的行車限制式即是在 FAS 或 MAS 閉塞系統下建立前行與後行列車在站間與站內之最小安全時距或間距公式，以避免列車發生追撞。

由於軌道運輸列車運行與調度流程具有等候理論 (queuing theory) 與隨機過程 (stochastic process) 特性，在計算前述列車間之最小安全間距或時距時，皆需應用導以數學為基礎的形式化規範方法 (formal normative method)。近年來隨著人工智慧 (artificial intelligence, AI) 方法之日新月異，軌道運輸系統 (鐵路、地鐵、輕軌、高鐵) 應用細胞自動機 (cellular automaton, CA)、遺傳演算法、派翠網路 (Petri nets)、類神經網路等方法於區間通過能力分析、追蹤行車間隔、列車速度與間隔控制、追蹤列車運行、列車調度最適化等課題，已成為軌道運輸研究之重要方向。其中又以細胞自動機與派翠網路兩種方法的應用最為廣泛，茲列舉若干文獻如下：Tomoeda 等人^[11]應用細胞自動機建構東京地鐵路網之旅客需求起迄模式，在發生重大事件之情境下，運用以多重代理人為基礎之即時列車模擬系統，因應不同旅客需求量而重新指派列車到站時刻，以避免車站發生旅客嚴重擁擠的情形。Zhang 與 Chen^[12]應用細胞自動機建構 MAS 閉塞系統下之列車運行追蹤模擬模式，並在列車故障或失效的情境下，測試全部列車提高速度與某一區段列車提高速度之兩種改善策略的績效，模擬結果顯示兩種策略之組合最能疏解軌道交通擁擠狀況。

中國大陸的相關文獻亦與時俱增^[13-19]，例如周華亮^[14]根據軌道交通的特點建立固定閉塞及各種移動閉塞模式的細胞自動機 (CA) 模擬模式，並在此基礎上進行各種移動閉塞模式下列車運行延誤之傳播規律及影響延誤傳播因素之比較。付印平^[15]應用一維 NaSch 細胞自動機建構北京地鐵 2 號線之列車追蹤模式，並結合遺傳演算法進行列車節能最適化之研究。蔡晶^[18]則根據細胞自動機原理建立固定閉塞、準移動閉塞與移動閉塞系統之列車運行模式，並進行列車發車間隔、發車策略、混合列車比例、混合發車次序對不同閉塞系統下列車延誤影響研究，同時亦針對多股道車站的列車運行行為建構出車站細胞自動機模式。相對而言，國內在此領域之細胞自動機相關文獻仍為鳳毛麟角。

傳統的派翠網路雖曾廣泛應用於軌道運輸安全、車站容量、列車通訊與列車調度等課題，但其已不足以呈現真實環境下複雜系統的動態、不確定、隨機、多樣化等特性。因此近年來許多學者發展出衍生特性的高階派翠網路 (high level Petri nets)，如時間派翠網路 (timed Petri nets, TPN)、模糊派翠網路 (fuzzy Petri nets, FPN)、彩色派翠網路 (colored Petri nets, CPN)、隨機派翠網路 (stochastic Petri nets, SPN) 等，研究課題還可依據所屬特性而結合不同之高階派翠網路而成為混合派翠網路 (hybrid Petri nets, HPN)。因此近 20 年來應用高階派翠網路於軌道運輸相關課題的國內外文獻數量亦漸漸增多。

Van Der Aalst 與 Odijk^[19]針對鐵路車站內列車延誤時間之上下限，提出彩色時間之派

翠網路模式。Fay^[20] 利用模糊派翠網路建立視覺傳達的鐵路運輸控制系統，並利用 IF-THEN 的形式呈現專家處理鐵路運輸調度的知識，IF-THEN 形式係呈現模糊的知識和履行不確定性的情況，例如利用歸屬函數（membership function）可呈現列車延誤程度、列車間距、列車運行距離及旅客流量。Burkolter^[21] 發展出可衡量鐵路車站容量的隨機派翠網路模式，首先依據班表建構初階列車路線與班次順序，然後再依據高階的營運策略進行符合車站容量的列車班表最適化。Fanti 等人^[22] 針對鐵路車站內列車營運作業流程，提出包括軌道設備（號誌、道岔、股道）、列車設備（鳴笛、煞車器）、列車運行（進站、離站、錯車）與決策（增班、趕點）之彩色派翠網路模式。Daamen 等人^[23] 針對鐵路路線區段內列車衝突狀態與瓶頸區段延誤之衡量，發展出一套彩色派翠網路分析工具。Milinković 等人^[24] 則針對鐵路路線交會站產生之列車延誤與車站容量等課題，提出一模糊派翠網路模擬模式，並以貝爾格勒車站為驗證案例，確認該模式之有效性。

關於此領域的中國大陸相關文獻數量甚多^[25-33]，例如杜彥華與劉春煌^[25] 為有效解決鐵路車站通過能力中各項時間指標問題，以擴展模糊時間派翠網路為基礎，提出層次擴展模糊時間派翠網路（hierarchical extended fuzzy timing Petri net, HEFTPN）的模式，然後以某一鐵路車站為例，進行模式建構並採用模擬工具 CPN Tools 進行模擬分析並驗證其有效性。李曉艷^[29] 應用彩色派翠網路建構出在通信列車運行控制（communication based train control, CBTC）系統下都市軌道列車運行系統模式。該模式不僅可模擬正常情況下列車運行，對於列車故障情況亦可真實反映列車運行過程。通過對模型進行仿真可以在已知當前列車運行狀況的條件下對未來一段時間內列車的運行情況進行預測，為提早制定調整策略提供參考依據。梁楠^[30] 則針對中國高鐵 CTCS-3 級列車控制系統得運作機制，以無線電閉塞中心（radio block center, RBC）為分析對象，應用隨機派翠網路之分層技術，分別建立 RBC 系統週期性訊息與非週期性訊息之隨機派翠網路模式，可在不同系統週期參數與列車交互數量參數下得出 RBC 系統平均延時時間曲線。

國內在此領域的研究仍處於起步階段。楊立安^[34] 於「臺灣鐵路運轉整理之研究」中，利用派翠網路具備平行、分散、及不確定性處理的能力，以 IF-THEN 的形式規則建構列車調度流程與知識規則，建構出列車運轉整理調度的模型與 7 種不同事故的類別，最後藉由矩陣方程式與可達樹驗證列車運轉整理調度模式的可行性。鄭永祥^[35] 於「軌道系統列車延誤、乘客處理與營運應變模式之研究」中，認為為排除誤點或事故所造成列車延誤，調度員必須進行列車的運轉整理調度，但臺鐵並未利用一套有系統的知識來解決大規模且複雜的營運調度問題，因此，該研究藉由派翠網路具備平行處理和圖形化呈現其類似流程圖的特性，建構出鐵路運轉整理調度模式。林琮欽^[36] 於「移動閉塞區間制下混合派翠網路應用於捷運列車運轉整理策略之模擬研究」中，將模糊跟車規則之推論過程以模糊派翠網路進行呈現，再以時間派翠網路架構車站內旅客之上下車行為，並將二者混合以描述列車運行與停站時旅客行為之切換。同時營運者可分別透過改變模糊派翠網路之模糊指標及時間派翠網路之時間區間影響列車與旅客行為。

另外在列車調度策略方面，一般採用站內趕點、站間趕點、縮短發車班距與加派備用

車上線等策略來抑制延滯擴散。Li 等人^[37]在總延滯時間為最小之目標下，以調整列車離站的時間與順序為策略，借助基因演算法模仿生物演化的過程，以全域搜尋演算法進行求解。李治綱等人^[38]則以站間趕點、月台趕點、調整前車（後車）間距、刪除列車等策略進行情境模擬。D'Ariano 等人^[39]提出一套電腦化的列車調度系統 ROMA (railway traffic optimization by means of alternative graphs) 的架構，該系統首先使用分支限定法計算列車的運行順序，再經由禁忌搜尋法選擇所有運行序列的解集中延滯最小的方案。為分析比較不同調度策略對連鎖延滯之改善程度，黃承傳與劉昭榮^[40]則針對臺鐵提出站間趕點與站內趕點之 4 種組合情境，經模擬模式產生共計 172,032 筆連鎖延滯之資料進行關聯分析，其結果顯示站內趕點之調度策略優於站間趕點，而同時採取該 2 種趕點策略對連鎖延滯之改善效果又優於採取任何單一調度策略。

2.3 文獻評析與小結

回顧前述相關文獻可知，軌道列車運行研究方法大致可分為兩大類，一為數學規劃法，二為電腦模擬法，前者如基因搜尋法、分支限定法、禁忌搜尋法等；後者則以電腦強大的計算功能來處理，目前較常見的軌道列車模擬軟體有^[41]：RAILSIM、RAILSYS、OPENTRACK、DYNAMIS...等。

然而，開發軌道運輸運行調度模擬系統是一個複雜的技術過程，須針對不同的問題提供不同的解決方法與手段。目前常見的模擬系統開發方法有結構化分析與設計方法、快速原型方法、物件導向 (object-oriented) 方法與電腦輔助軟體工程方法等四種，各個方法皆有優缺點。根據相關文獻研究結果顯示^[42-44]，資訊系統開發方法組合 (SISDM) 是一種在系統論思維下，運用各種系統工程方法，集合多種開發工具為一體的綜合性系統開發方法。SISDM 與前述 4 種方法最大的不同在於引進了通用圖論 (generalized graph theory) 中的模式建構與分析工具，建立以派翠網路為基礎之資訊系統資源配置模式。SISDM 有別於現存資訊系統開發方法如 SA/SD 法、ISD 法及 O-O 法，其優勢在於以隨機派翠網路為理論基礎的通用圖論工具，可針對資訊系統模型的系統結構（靜態）特性與系統行為（動態）特性進行分析與評估。靜態特性分析包括：(1) 結構複雜性分析；(2) 節點特性與系統可擴展性分析；(3) 核心層網路與系統可靠性分析。動態行為分析則包括：(1) 建構資訊系統的隨機派翠網路模型；(2) 建立與該隨機派翠網路模型的馬可夫隨機過程；(3) 以馬可夫隨機過程的穩定狀態機率對系統行為特性進行分析，如圖 1 所示。

如前所述，傳統的派翠網路已不足以呈現真實環境下軌道運輸複雜系統的動態、不確定、隨機、多樣化等特性，因此近年來許多學者發展出衍生特性的高階派翠網路，如 TPN、FPN、CPN、SPN 與 HPN 等。TPN 可用來描述具有固定執行時間的系統，依據每一個轉移節點 (transition) 延遲時間的不同，為系統排程規劃的工具。SPN 具有隨機的觀點：待發 (enable) 的轉移節點可依據統計分配來決定其延遲時間。CPN 則排除傳統標記 (token) 的 0 與 1 之區別而賦予標記不同的顏色，將可應付日趨複雜的系統。FPN 則是於節點上加入模糊歸屬函數值來決定標記取得與否，此一判斷機制的加入，使派翠網路能更合理的推

論系統並行、同步、衝突時的狀態轉移，提供最佳轉移路徑與推論邏輯。每個軌道運輸研究課題亦可依據所屬類型結合兩種以上之高階派翠網路而成為混合派翠網路。經由相關文獻^[21-24]得知，車站內列車進出站與旅客流動、平交道區域內動態行為或路線某瓶頸區間列車運行等模式建構，皆可採用通用圖論之派翠網路系列為建模工具。

以往列車運行公式中的加減速常簡化為定值，並未考量列車司機在站間與站內進出的隨機操作行為，因此本研究選擇能求解馬可夫隨機過程的隨機派翠網路，藉由實際資料來建立列車運行加減速之隨機觸發機率，以呈現實際列車運行時之不同加減速操作行為。另一方面，目前國內應用高階派翠網路於軌道運輸運行調度方面的研究亦不多見，若能拋磚引玉，先建立具有可視化與系統動態活動描述功能之隨機派翠網路為基礎的軌道運輸運行調度模擬模式原型 (prototype)，再視其他研究課題屬性，逐漸引進 TPN、CPN、FPN 或 HPN 等求解工具，將更能呈現真實環境下軌道運輸複雜系統的動態、不確定、隨機、多樣化等特性。此為本研究何以採用隨機派翠網路為基礎之系統開發方法的緣由。

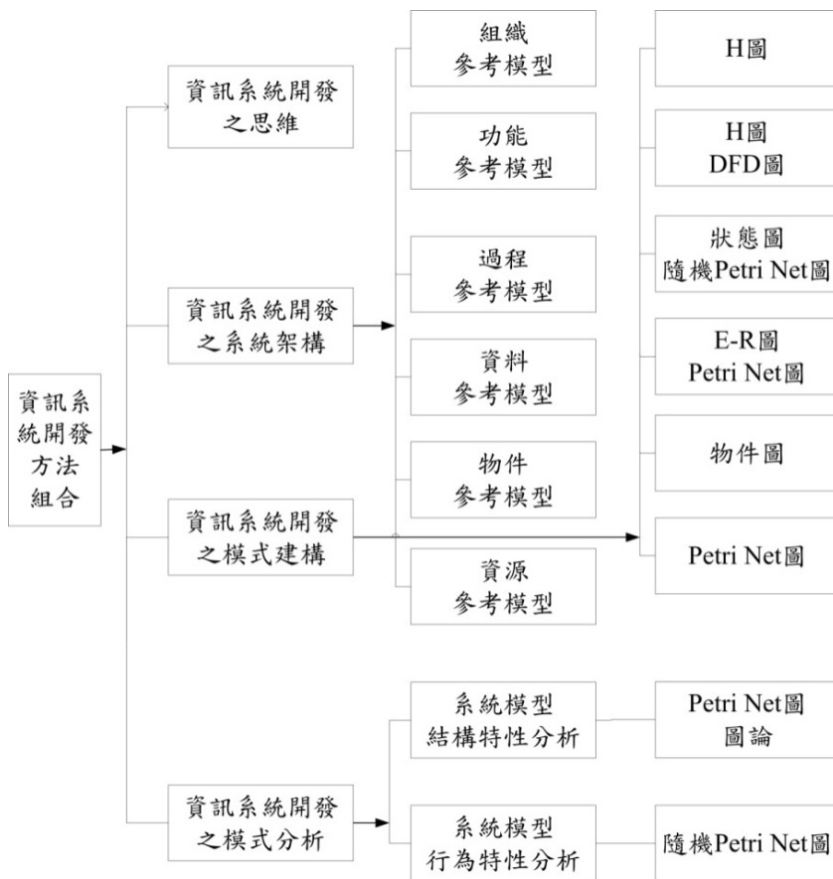


圖 1 以隨機派翠網路為基礎之資訊系統開發方法組合 (SISDM) 系統架構

本研究模擬程式之 SISDM 設計與開發係運用包含列車、車站、路線等資料庫來描述整個列車運行之各種狀態，同時針對列車運行過程所對應的隨機狀態變化，藉由不斷更新電腦記憶體中的變數來完成系統模擬之任務，最後則輸出重要變數結果，以利後續的績效評估。程式設計係採物件導向設計中的類別 (class) 設計，並以事件 (event) 導向的方式進行，一開始將所有列車的第一個事件加入事件列表，經時間排序後每次依序執行第一個事件，共計有進站、通過與離站 3 種事件；當所有的事件均處理完成後，事件列表沒有任何事件，即完成模擬。SISDM 之系統設計係基於可支援微軟 NET Framework 類別庫的 C++ 作業環境。

三、研究方法

3.1 派翠網路

派翠網路是由德國數學家 Carl Adam Petri 博士於西元 1962 年在其博士論文中所提出，為一種兼具堅強數學基礎、狀態導向 (state-oriented) 與圖形化 (diagrammatic) 的模型化系統分析與發展工具，用以描述平行系統的動態行為。除了可用來定義描述事件與條件存在關係的圖形表示及表達同步與共時的系統行為之外，亦可用於分析系統的績效。

3.1.1 基本元素與建置

基本派翠網路圖中是以一些簡單的圖形符號去描述系統中之程序的邏輯關係，表現物件存在及其關聯有兩種基本的元件，一是節點，另一個是連結線。不同的節點由連結線相連結，以表現節點間的關聯性。一個網路圖中又包含兩種節點分別稱為位置節點 (places) 及轉移節點 (transitions)，其以有方向性的線段 (arc) 連接位置節點到轉移節點及轉移節點到位置節點的流向關連。派翠網路中以標記 (token) 作為事件之註記，其中位置節點內可含有或不含有標記，且限制每個位置節點內所含的標記數目最多為 1 個。典型的派翠網路圖基本元素包括：(1) 位置節點 (place)，通常以圓圈來表示之。(2) 轉移節點 (transition)，通常以粗直線 (或是矩形) 來表示之。(3) 連結線 (arc)，通常以單方向之箭頭表示之。(4) 標記 (token)，以點狀表示之。

若系統以派翠網路進行建構時，位置節點表示系統中關於程序或資源的狀態，轉移節點表示在系統中的事件或活動。一個轉移節點會有數個不等的輸入位置節點和輸出位置節點，代表此事件的事前條件及事後條件。派翠網路的規則只有一個轉移節點的致能與激發，當一個轉移節點的所有輸入位置節點均含有標記時，轉移節點具備致能的條件。藉由標記不斷的向前傳遞，當標記傳遞至代表最終目標之位置節點時，即完成派翠網路整個推論過程。

在派翠網路圖形中，主要有 5 種基本型態，藉由此 5 種型態間之交叉連結，即可建構某一系統之派翠網路圖，如圖 2 所示。此 5 種基本型態說明如下：

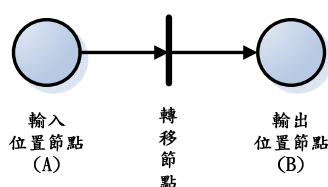
型態 a：若 A 則 B 。當左側的 A 條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發之後，標記向前傳遞，亦即此時系統狀態由左側的 A 改變至右側的 B ，同程式設計中「If...Then...」之概念。

型態 b：若 A_1 且 A_2 且... A_n ，則 B 。當左側的 $A_1 \sim A_n$ 條件滿足並均取得標記時，轉移節點被致能激發之後，標記向前傳遞，亦即此時系統狀態改變至右側的 B ，同程式設計「If...and...Then...」之概念。

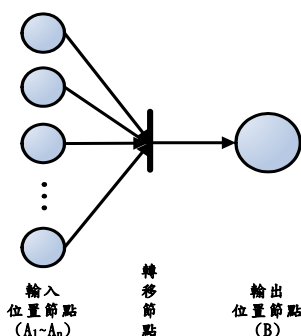
型態 c：若 A 則 B_1 且 B_2 且... B_n 。當左側的 A 條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發之後，標記向前傳遞至 $B_1 \sim B_n$ ，亦即此時系統狀態改變至右側的 B_1 及 B_2 及... B_n ，同程式設計「If...Then...and...」之概念。

型態 d：若 A_1 或 A_2 或... A_n ，則 B 。當左側的 $A_1 \sim A_n$ 其中只要有一個條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發之後，標記向前傳遞，亦即此時系統狀態改變至右側的 B ，同程式設計「If...or...Then...」之概念。

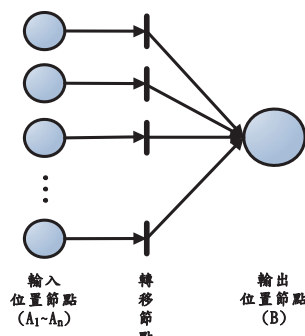
型態 e：若 A 則 B_1 或 B_2 或... B_n 。當左側的 A 條件滿足並取得標記時，轉移節點被致能激發之後，標記向前傳遞至 $B_1 \sim B_n$ 其中一個，端視各轉移節點的守衛函數 (guard function) 而定，同程式設計「If...Then...or...」之概念。



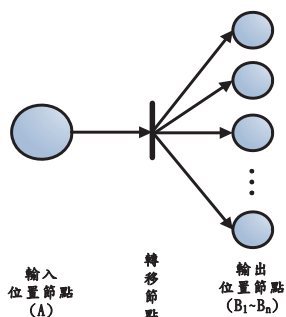
派翠網路圖形型態 a



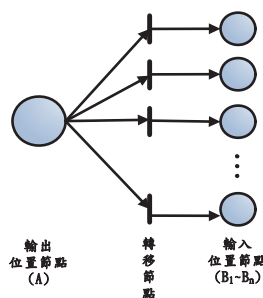
派翠網路圖形型態 b



派翠網路圖形型態 c



派翠網路圖形型態 d



派翠網路圖形型態 e

圖 2 派翠網路圖形 5 種型態

3.1.2 派翠網路之數學特性

一個典型的派翠網路是由 7 個元素所構成的集合，即 $PN = (P, T, I, O, A, M, W)$ ，其正式定義分析如下：

1. $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$ 為一個有限位置節點所構成的集合， m 表示在派翠網路中位置節點的個數， $m \geq 1$ 。
2. $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}$ 為一個有限轉移節點所構成的集合， n 表示在派翠網路中轉移節點的個數， $n \geq 1$ 。且 P 和 T 為互斥，亦即 $P \cap T = \emptyset$ ，且 $P \cup T \neq \emptyset$ 。
3. A 代表 $(P \times T) \cup (T \times P)$ 為方向性線段所成的集合，即代表派翠網路的流向關連。
4. I 為輸入位置節點所形成的集合。
5. O 為輸出位置節點所形成的集合。
6. $M: P \rightarrow N$ 為標記集合，從位置節點映射至非負整數。 $M(P)$ 表示在位置節點 P 中在標記 M 情形時的數量， M_0 表示初始標記。
7. $W: A \rightarrow N^+$ 為指定給每一個方向性線段的權重值， N^+ 為正自然數所構成的集合。

3.2 隨機派翠網路

隨機派翠網路 (SPN) 是由 Florin 及 Natkin 在 198 年提出，此方法可接受由上往下 (top-down) 或是由下往上 (bottom-up) 的模組圖形化複雜系統介面^[45]。與基本派翠網路的差異在於加入了「機率概念」，因為不同的轉移節點會有不同的反應速率，轉移節點內的標記要進入觸發階段時，必須要等待一段時間，且通常為非固定時間 (隨機時間) 長度。隨機派翠網路比基本派翠網路與時間派翠網路更符合現實運作時所可能發生的狀況。隨機派翠網路由 $SPN = (P, T, A, M, \lambda)$ 表示，其中 (P, T, A, M) 與基本派翠網路的定義相同，而 $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ 是定義每個轉移節點激發的時間是隨著隨機的方式進行，如圖 3 所示。

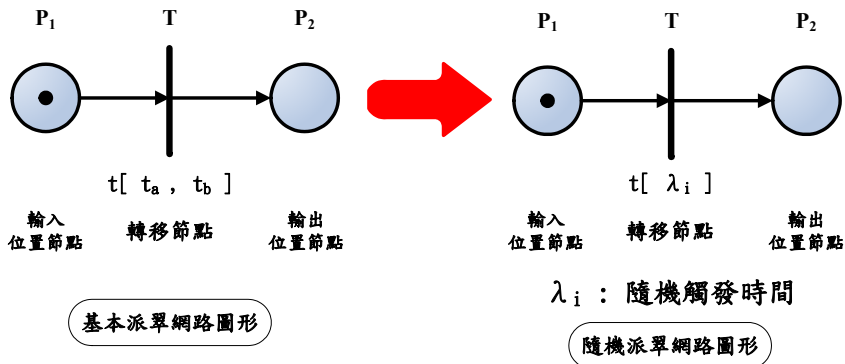


圖 3 隨機派翠網路示意圖

隨機派翠網路一開始被應用在轉移節點上之隨機觸發時間，但後有學者又將其應用在隨機觸發機率上。學者認為基本派翠網路型態「If... Then...or...」之路網結構，輸入節點之標記經由每個轉移節點觸發至不同輸出節點之情況，標記選擇不同觸發路徑之選擇機率皆不相同，因此，其在轉移節點上加入每個不同觸發路徑之隨機觸發機率，期望表達出系統於真實狀況下之隨機路徑選擇，如圖 4 所示。每個不同觸發路徑之觸發機率可由歷史資料分析得出，於系統建置時加入路徑之觸發機率，以控制標記在選擇觸發路徑之機率大小 [46]。

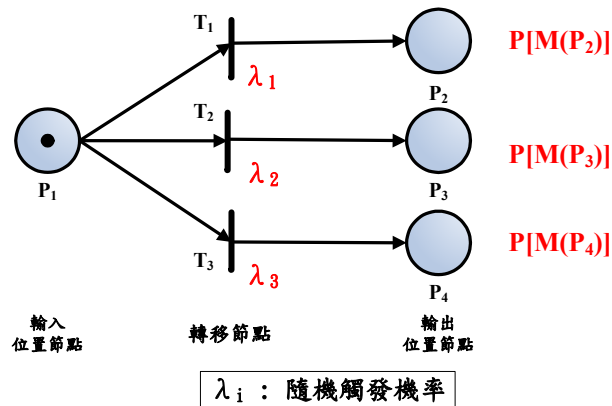


圖 4 隨機觸發機率之派翠網路示意圖

本研究係藉由隨機派翠網路之觸發機率，來設定列車運行過程中可能之動態運行行為，其中以列車運行加減速度最為常見，亦即以隨機派翠網路之觸發機率表示列車運行過程中在號誌燈號不同時之可能速度變化而改善以往列車模擬模式僅以單一速度值代入行車動力學公式的問題。

3.3 模擬模式之模組化

經由前述相關文獻歸納得知，軌道運輸列車運行調度之研究方法大致可分為數學解析法與電腦模擬法，數學解析法主要用數學模式建立分析架構以進行列車運行調度問題求解，而模擬法則是以模擬程式來進行分析，然而無論是採用數學解析法或電腦模擬法，列車運行過程之分析架構皆極為相似。

若進行列車運行延誤、列車班表最適化、軌道路線容量或運行調度策略等相關課題研究，皆以列車運轉時隔為關鍵變數，因列車運轉時隔之多寡將影響列車發車間距，進而影響軌道運輸之整體容量與列車排班調度，故列車運行過程分析之首要目標在於確認列車運轉時隔。影響列車運轉時隔之因素有很多，在此分為五個層面，包括車輛性能、路線特性、運行特性、運行控制與旅客特性等，各層面之說明如下：

1. 車輛性能：列車之車輛性能主要為列車牽引能力、列車制動能力、列車加速度、列車最

大運行速度、列車阻力等，車輛性能之優劣直接影響列車之運行，性能越好則越能縮短整體運行時間，反之則會加長運行時間。

2. 路線特性：路線特性主要為路權型態、車站位置、站間軌道數、月台股道配置、列車折返點、調度場位置、平交道位置、待避軌位置等，路線特性不僅影響列車之運行時間與調度外，同時亦影響車輛性能之發揮。
3. 運行特性：運行特性主要為列車組成、列車種類、編組、運行方向及停站方式等，不同之運行特性可能會影響列車運行調度策略，進而會影響整體的系統運行時間。
4. 運行控制：運行控制主要為列車運行加減速控制、閉塞區間控制、站間號誌控制及進出站號誌控制等，不同的列車運行控制會影響整體之列車運行時間。
5. 旅客特性：旅客特性主要為各站之運輸需求量、旅客到站時間分布、運輸需求特性等，不同之旅客特性不僅影響整體之列車調度與排定，亦影響了列車之停站時間與運行時間。

列車運行之相關研究，通常會考慮上述之各項影響因素，因為每項影響因素之差異，都有可能在排班、調度與運行上無法發揮出最佳運輸服務，故進行模式建構時，必須先針對每個環節進行細部分析，以了解整體系統之運作。

為使模擬模式轉換為可因應不同情境之運算流程，需藉助電腦化之模擬程式，使其能朝向可操作的應用軟體而發展。本研究係以模組化概念進行模擬程式設計，模擬程式分為三大模組，包括資料輸入、內部處理及結果輸出等，亦即經由外部資料輸入，經由內部處理之路線限制、列車控制、車站月台與調度運轉等模組之內部處理與分析，最後輸出各列車之相關資料，如圖 5 所示。

3.3.1 資料輸入模組

資料輸入包括「車站」、「路線」及「車輛」等。內容如下：

1. 車站

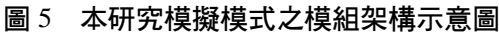
即研究範圍內之所有車站之位置分佈，本研究將以「距離」來建構一條虛擬路線，供虛擬列車運行。研究範圍內的車站則包括舊有路線上車站之外，還包括臺鐵捷運化後新建完成之簡易通勤站，如百福、三坑、浮洲與汐科車站等。

2. 路線

臺鐵具有環島路線特性，路線之線形變化包括水平彎曲度變化與垂直坡度變化，此亦導致臺鐵列車運行速度受限的條件之一。因此，本研究將在列車運行模式中納入路線變化之影響因素，不同路線線形變化將會影響列車之最大速度、加速度與制動能力等。

3. 車輛

臺鐵為服務長、中及短程等不同旅次特性之旅客，在車種等級上依性能可分為自強號、莒光號、復興號與區間車等 4 種，各車種之列車最大速度、列車加速度、列車減速度將納入車輛之基本輸入資料。



由於路線線形變化有很多因素，包括水平曲度變化、車站位置、運行股道數或垂直坡度變化，任何因素皆可能影響列車之運行，本研究將藉由此模組，納入上述影響因素而在模擬路線上產出各路段之速限包絡線及停站包絡線，以控制列車運行之速度限制。本研究基於資料可獲得性之考量，僅將路線坡度與曲線、號誌系統以及車輛與相關設備等因素納

入計算公式。其中，路線坡度與曲度影響分析如下：

1. 路線坡度對列車加減速性能之影響

軌道運輸之坡度通常是以 ‰ 為單位，坡度將會影響列車之加減速性能，可用公式 (1) 估計：

$$a(G) \approx \frac{M_e a(0) - Mg \frac{G}{1000}}{M_e} = a(0) - \frac{g \times G}{1000\rho} \quad (1)$$

式中， $a(G)$ = 列車在坡度 G ‰ 的加速度 (m/s^2)；

$M_e = \rho M$ 即列車之等效質量 (equivalent mass)；

$a(0)$ = 列車在坡度等於 0 之條件下加速度 (m/s^2)；

ρ = 等效質量係數，表示列車運動過程中，轉動零件如車輪、車軸吸收的能量之等效質量；

M = 列車編組質量 (kg)；

g = 重力加速度 (m/s^2)， $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ；

G = 路線坡度 (‰)。

等效質量係數 ρ 一般介於 1.04 ~ 1.10 之間。臺鐵機車牽引之列車採用 1.06，電聯車採用 1.088。若將等效質量係數 ρ 及重力加速度 g 代入式(1)，則可以公(2)式趨近之：

$$a(G) \approx a(0) - 0.009G \quad (2)$$

若為減速度，由於坡度之阻力相反，則以公式 (3) 表示：

$$b(G) \approx b(0) + 0.009G \quad (3)$$

臺鐵對於列車在下坡路段有表訂之速限值，如表 2 所示。

表 2 臺鐵下坡坡度－速限對照表

下坡路段坡度值	速限(km/h)
坡度 ‰ 5 以下	120
坡度 ‰ 10 以下	115
坡度 ‰ 15 以下	110
坡度 ‰ 20 以下	105
坡度 ‰ 25 以下	100

2. 線形曲線對列車加減速性能之影響

當列車行駛於彎道時，由於鋼軌為剛性物體，因此在彎道因內外軌長度不同，產生鋼輪縱向及橫向之滑動、摩擦；又因列車行駛於彎道時離心力產生作用，使得外側鋼輪與外側鋼軌會產生運轉摩擦。另外鋼軌長期磨損，曲線變形、軌距不正確、軌道保養不良等原因亦均為造成彎道阻力之主因。臺鐵對彎道阻力計算公式之計算如公式 (4) 所示。若非精密計算或半徑較小之彎道處，通常均會忽略彎道之阻力。本研究之資料輸入模組包括彎道半徑資料，若面臨彎道半徑小於 100 公尺以下情形，則不計彎道阻力。臺鐵局對於列車運行中路線線形曲度變化之速度限制依照其曲線半徑有其固定之速線表定值，如表 3 所示。

$$T_k(v, r) = \frac{600}{\gamma} \times W \quad (4)$$

$T_k(v, r)$ ：彎道阻力 (kg/ton)；

γ ：彎道半徑 (m)；

W ：列車重量 (ton)。

表 3 臺鐵曲線半徑－速限對照表

曲線半徑(m)	速限(km/h)
>800	125
800~700	120
700~600	110
600~500	100
500~450	90
450~400	85
400~350	80
350~300	75
300~250	70
250~225	65
225~200	60
200~150	55
150~125	50
125~100	45
100 以下	40

3. 車輛與相關設備對列車加減速性能之影響

軌道列車有兩個較常見的績效指標，分別為能源消耗與旅行時間。對於單一車種之軌道運輸系統（如捷運、輕軌）而言，由於列車性能相同，運行速度可保持一致，在牽引計

算上係尋求最短之列車運行時分。在確定列車時刻表之後，如何尋求節省能源消耗的控制方式即為列車控制的重點。然而對於像臺鐵具有多車種的運輸系統而言，則需考量不同列車的特性，包括機車牽引、列車重量、長度、號誌條件、停站原則、電力供應…等，因此重點在於各列車間之最小運行間隔。目前臺鐵列車種係以自強號與區間車為主，莒光號、復興號與區間快車則作為離峰時刻輔助之用，由於復興號將面臨汰換，且其在尖峰時刻並未提供服務，因此不列入本研究範圍。在列車性能設定上，自強號以推拉式自強號 (PP 車) 為主，其最大營運速度為 130 km/h，加減速度為 1.008 m/s^2 ；莒光號最大營運速度為 100 km/h，加減速度為 0.2744 m/s^2 與 0.42 m/s^2 ；區間車則以 EMU600 型為設定對象，其最大營運速度為 110 km/h，加減速度為 0.8064 m/s^2 ，如表 4 所示。區間快車所採用之的車型與區間車相同，兩者的差異在於停靠方式的不同，區間車係每站皆停，區間快車則屬於跳蛙式停靠，因此在列車車種設定上與區間車一致。

表 4 臺鐵各車種列車運行性能

車種	自強號 (E1000)	莒光號	區間車 (EMU600)
最大營運速度 (km/h)	130	100	110
服務加速度	1.008 m/s^2	0.2744 m/s^2	0.8064 m/s^2
服務減速度	1.008 m/s^2	0.42 m/s^2	0.8064 m/s^2

3.3.3 列車控制模組

臺鐵列車運行係採「固定閉塞區間制」(FAS)，FAS 控制方式是將列車運行路線劃分為數個閉塞區間，每個區間皆有固定位置，不因列車運行而變動，並以號誌控制列車進出車站內外，防止列車追撞及對撞。目前臺鐵使用三位式號誌系統，主要作為站間運轉、列車進站及出站操作控制之用。另外，臺鐵列車運行因不同車種等級而產生追越情形，因此錯車控制即用於設定列車間之待避或追越行為，藉由判斷邏輯來控制錯車流程。

1. 站間運轉控制

臺鐵列車運行間隔係以閉塞分區長度為單位，各閉塞區間長度約為 1~3 公里不等。臺鐵列車運行以三位式閉塞號誌機為主，在正常運行情況下，列車受制於綠燈 (通行)、黃燈 (慢行) 與紅燈 (停止)，如有維修、事故等事件發生時，則搭配閃黃 (緩行)、全紅閃黃 (低速) 及全紅全黃 (警戒) 燈號控制。本研究則採用「紅、黃、綠」之號誌控制，作為站間列車運行控制操作之用。

2. 站內運轉控制

站內運轉控制係探討安全進站間距、錯車控制與最小離站時隔，說明如下：安全進站間距之設定，可分為一股道同一股道進站、二股道同一股道進站及二股道不同股道進站等 3 部分，其控制方式係基於同向列車進站號誌安全時距之原理，故分為同一股道進站與不

同股道進站 2 部分。由於本研究設定之站內股道數最大值為 2，因此同一站內無法同時容納 3 輛車及 3 輛車以上之列車，若發生此一情形，則系統會出現錯誤警告。

由於只有在車站內有多餘之股道供列車進行錯車，因此本研究設定錯車行為皆發生於車站內。錯車之判斷邏輯為當前列車之等級較後車為低，且前車進站停靠時，若前後車之距離少於門檻值，則必須進行錯車，令等級較高之列車優先通行，同時亦進行前後車資料交換的程序，重新計算等級較低列車之停站再出發時間。

離站時隔之設定與安全進站間距之設定類似，主要亦以同向列車離站號誌安全時距之原理進行操作，故亦分為同一股道出站與不同股道出站 2 部分。號誌安全時距乃指受制於號誌系統所得之列車最小運轉時間間隔。若以臺鐵三位式號誌系統為例，停站等待後行列車通過之列車通常等級較後行列車為低，速度亦較慢。本研究係引用文獻^[47]中有關 FAS 安全時距的公式，分別計算列車進／出站與停靠同一／不同軌道之號誌安全時距，如公式(5)至公式(9)所示，惟本研究將針對站間與站內不同狀況，運用隨機派翠網路之觸發機率而自行導出不同車種列車之加減速度以及錯車控制邏輯，茲說明如下：

(1) 同向列車進站號誌安全時距－站內停靠同一軌道

車站內僅有一軌道，後行列車必須等待前行列車淨空月台並離站方能進入，以避免發生事故。若是在前行列車離開車站通過出發號誌機後，經過解除閉塞及清除號誌時間，進站號誌機由於車站區間清空，因此進站號誌由黃燈注意轉為綠燈可通行時，後行列車正好以原巡航速度到達距離進站號誌機一個號誌視距的長度時，由於並未因號誌而減速，因此前後兩列車之運轉時隔可達到最小。

$$T_{s,AI} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x)}{a_i}} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_i} \quad (5)$$

式中，

$T_{s,AI}$ ：同一股道進站之號誌安全時距 (sec)；

t_{d_i} ：前行列車之停車時間 (m/s)；

t_r ：車站離站出發號誌顯示綠燈後，關閉列車車門以及列車司機員確認出發號誌的反應時間 (sec)；

t_o ：前行列車車尾通過出發號誌機後，解除閉塞及清除號誌的時間 (sec)；

s_x ：列車於車站停車時車頭與出發號誌機之距離 (m)；

B_1 ：車站前第一閉塞區間之長度 (m)；

B_s ：列車所在之閉塞區間長度 (m)；

v_j ：後行列車之巡航速度 (m/s)；

v_y ：注意號誌的容許速度，臺鐵規定為 16.67 (m/s)；

b_j ：後行列車之服務減速度 (m/s^2)；

a_i ：前行列車之加速度 (m/s^2)；

L_i = 前行列車列車長度 (m)。

(2) 同向列車進站號誌安全時距－站內停靠不同軌道

車站內有兩股以上之軌道供列車停靠，使前行列車及後行列車可於站內停靠不同軌道，只要轉轍器及號誌設定完成，後行列車即可進站。當前行列車停於車站後，車站之進站號誌機會隨著轉轍器之扳轉而由紅燈不可進入區間燈號轉為閃黃燈注意燈號，進站號誌機前一個號誌將會隨之轉為綠燈可通行燈號。號誌安全時距需以道岔完成前行列車服務後扳至正確股道開始計算，但列車進站時隔是以列車停車後之時間來計算，其公式如下：

$$T_{s,A2} = \frac{v_j}{b_j} - \sqrt{\frac{2s_e}{b_i} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j}} + \frac{B_2 + B_1 + B_s - s_x}{v_j} + t_p + t_r \quad (6)$$

式中，

$T_{s,A2}$ ：不同股道進站之號誌安全時距 (sec)；

t_p ：前行列車通過道岔後，解除第一股道進路、扳轉轉轍器、鎖定第二股道進路，以及號誌變換的整體作業時間 (sec)；

s_e ：先行列車停車後車尾與道岔之距離 (m)；

B_2 ：車站前第二閉塞區間之長度 (m)；

b_i ：前行列車之服務減速度 (m/s^2)。

(3) 同向列車離站號誌安全時距－站內停靠同一軌道

當後行列車欲停靠車站，與前行列車停靠同一軌道時，須待前行列車車尾通過離站號誌機，並且經過解除閉塞即清除號誌的時間。當進站號誌機顯示為綠色可通過時，後行列車方得以進入車站停靠。當後行列車司機員以巡航速度行駛至進站號誌前一個號誌視距之位置時恰好與進站號誌轉為綠燈同時，則可使前後兩列車之運轉時隔達最小。綜合整理可得以下兩種情況之列車最小運轉時隔計算公式：

$$L_i + s_x + B_n > \frac{v_i^2}{2a_i}$$

$$T_{s,D1} = \frac{v_i}{2a_i} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{L_i + s_x + B_n}{v_i} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j} \quad (7)$$

$$L_i + s_x + B_n \leq \frac{v_i^2}{2a_i}$$

$$T_{s,D1} = \sqrt{\frac{2(L_i + s_x + B_n)}{a_i}} + \frac{v_j}{b_j} - \frac{v_y^2}{2b_j v_j} + \frac{B_s - s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j} \quad (8)$$

式中，

$T_{s,D1}$ ：同一股道離站之號誌安全時距 (sec)；

t_{d_j} ：後行列車之停車時間 (m/s)；

B_n ：車站前第 n 個閉塞區間之長度 (m)；

v_i ：前行列車之巡航速度 (m/s)。

(4) 同向列車離站號誌安全時距－站內停靠不同軌道

當同向之列車於站內停靠不同軌道時，只要前行列車離站後，列車車尾通過出發號誌機的下兩個號誌機，則車站之出發號誌機將會由黃燈轉為綠燈（由於臺鐵為三位式顯示號誌機），此時後行列車方能離站進入下個閉塞區間。與前述同向列車停靠站內同一軌道之最大不同在於後續追蹤列車不必等候前行列車離站後才可進入車站內停靠，因此可縮短運轉時隔。綜合整理可得以下公式：

$$T_{s,D2} = \frac{v_i}{2a_i} + \frac{L_i + s_x + B_n + B_{n-1}}{v_i} + t_o + t_r \quad (9)$$

式中，

$T_{s,D2}$ ：不同股道離站之號誌安全時距 (sec)；

B_{n-1} ：車站前第 $n-1$ 個閉塞區間之長度 (m)。

3. 錯車控制

錯車行為為一列列車在軌道上超越另一輛同向列車之列車運行行為，故錯車判斷主要內容為決定列車在系統中錯車之時間及地點；而在錯車判斷中所必須依據之錯車條件，必須為有一股或多股側線始列車能進行追越之指令，因此錯車行為大多發生於車站中或於特定擁有側線或袋型軌之路段，而側線之佈設位置、側線長度以及側線數量將直接影響到列車待避時之速度及停等時間。

發生列車錯車行為有其須遵照之錯車判斷準則，當前行列車抵達車站，並完成停靠任務時，會先判斷後行列車之列車等級，如後行列車等級較先行列車等級為低，亦或是與先行列車等級相同時，先行列車即毋需錯車，可順利出發；反之，若後行列車等級較先行列車高時，則達到發生錯車行為之條件之一。而需要進行錯車行為的另一個條件，則必須判斷先行列車與後形列車之間距與錯車門檻值之關係，若前後車之間距小於門檻值時，則達到進行錯車行為之所有條件；反之，則先行列車仍可順利出發。

當先行列車 (A) 已完成錯車行為時，並非後行列車 (B) 通過車站且以達安全間距，先行列車 (A) 即可順利出發，其必須再次向後方列車進行錯車判斷，如當後方列車 (C) 之等級較先行列車 (A) 為低，亦或是與先行列車 (A) 等級相同時，先行列車則可順利出發，如圖 6 所示；反之，後方列車 (C) 等級較先行列車高時，則必須再次判斷門檻值與前後車間距之關係，如前後車之間距仍小於錯車門檻值時，則必須再次進行錯車行為，如圖 7 所示。本研究對於模擬系統內之錯車行為控制，即是以如此反覆地準則判斷，直到條件皆符合才可以順利出發。

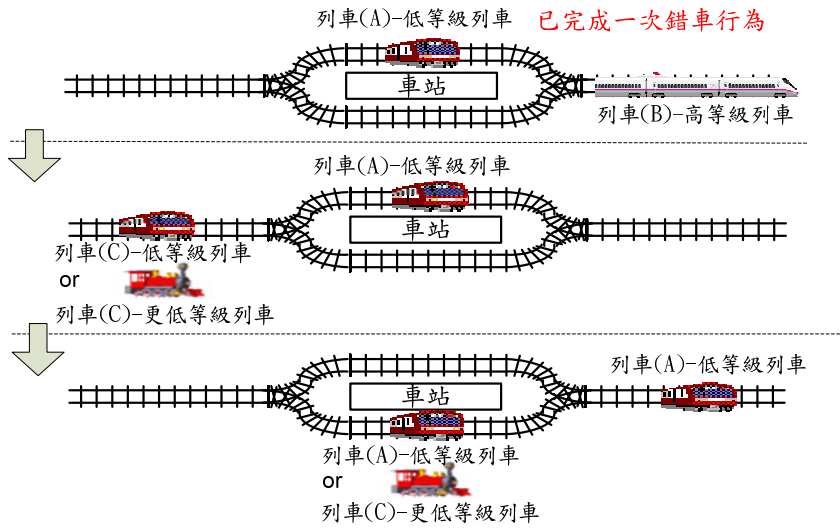


圖 6 第二次錯車行為之判斷程序示意圖

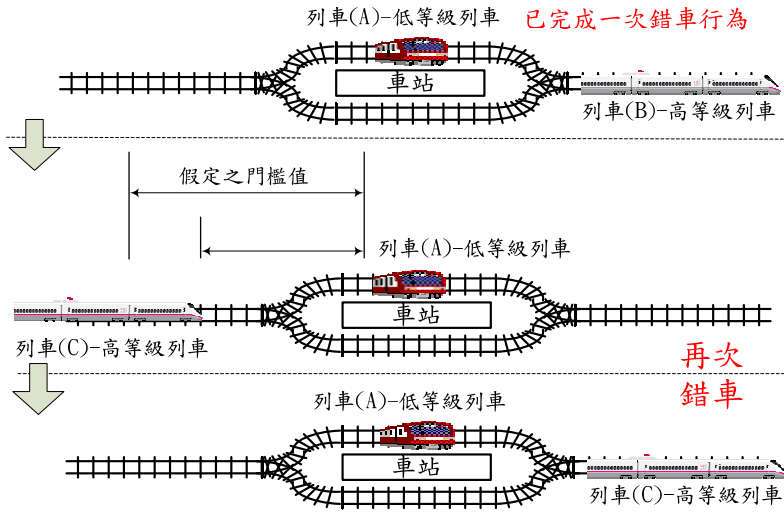


圖 7 執行第二次錯車程序示意圖

本研究對於前述錯車程序之處理係在撰寫模擬程式時，加入一個列車序轉換的副程式，主要在設定程式中較細微部分，包括錯車行為發生後，前後車資料類別 (class) 以及該列車所屬站間與站內資料類別如何轉換；列車運行中之停站包絡線、速限包絡線等限制如何產生；列車於站間與站內運行時，如何加速、減速或是等速前進之設定。本研究係以

時間推進的方式撰寫模擬程式，程式內即須分辨「前車、後車」的先後次序。當列車於車站內，必須進行錯車行為之時，等級較低之前車 (A) 必定須在車站內讓等級較高之後車 (B) 先行通過，而後再行出發；故此時之前車 (A) 已因錯車行為轉變為後車 (A)，後車 (B) 亦轉變為前車 (B)。

3.3.4 車站月台模組

此模組係用於控制月台之駐站股道數配置。月台駐站股道數之多寡可決定該車站是否可執行列車之待避追越調度。若駐站股道數僅有一軌時，後行列車並無法追越；若駐站股道數為二軌時，當站內僅有一列列車停靠，則可追越，若二軌皆有列車停靠，列車則無法追越；同理，當駐站軌道數為三軌時，若一軌有車或二軌有車則可追越，反之，三軌皆有車則無法追越。不同車站之月台配置會影響各車站之駐站股道數，在本研究範圍內之各車站月台股道配置數大致為 1 ~ 3 股道，因此可根據各車站之駐站股道數來決定列車是否可追越。

再者，每列列車因等級不同而在不同車站之停靠時間亦有所差異，故本研究決定針對各車種列車於各停靠車站之停靠時間進行實際調查，以統計配適度綜整出各車種於各車站之停站時間隨機分配函數，進行列車運行模擬時係以該隨機分配函數產出亂數來表示該列車於該站之停靠時間。

3.3.5 調度運轉模組

列車運行過程中，往往因停站時間、待避追越、設備損壞、天災或事故等因素而導致延誤，當延誤發生時，為回復原排定班表，將採用調度策略進行修正，以維持服務品質。一般常見適用於臺鐵之調度策略包括列車趕點、縮短停站時間、變更到發股道、變更行車順序、特開列車、待避追越等。

3.3.6 結果輸出模組

各項外部資料輸入，經由內部處理模組，可得出列車運行之相關輸出結果，包括列車於各車站之停靠時間、總運行時間、系統績效等，而後可依情境設定參數，產生相對應之輸出結果。

3.3.7 隨機派翠網路為基礎之模式建構

如前所述，隨機派翠網路可為系統行為之動態特性分析與評估，提供具有可視化與系統動態活動之描述功能。以列車進站為例，以往模擬模式係無論何種狀況均採相同的加減速度，但因各車站之月台駐站股道數不同且司機員之反應行為亦有所差異，因此本研究納入隨機派翠網路，可針對不同進站情況，執行不同列車加減速度操作方式。因限於篇幅，本研究乃以站內運轉控制為例，針對下列站內 9 種狀況而設定不同車種列車之加減速度：(1) 站內三股道無停車；(2) 站內三股道停一列車；(3) 站內三股道停二列車；(4) 站內三股

道停三列車；(5) 站內二股道無停車；(6) 站內二股道停一列車；(7) 站內二股道停二列車；(8) 站內一股道無停車；(9) 站內一股道停一列車。

本研究將各等級列車之減速度分為 4 種不同比例，包括 80%、60%、40%與 20%等，如圖 8 所示。圖 9 為七堵站月台三駐車軌狀況下各不同減速度之觸發機率。

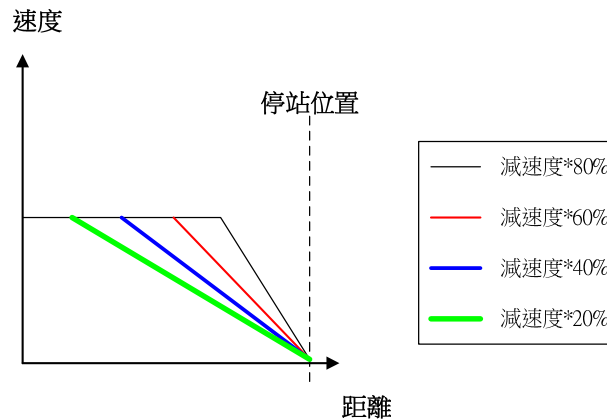


圖 8 臺鐵各等級列車減速度之差異比例圖

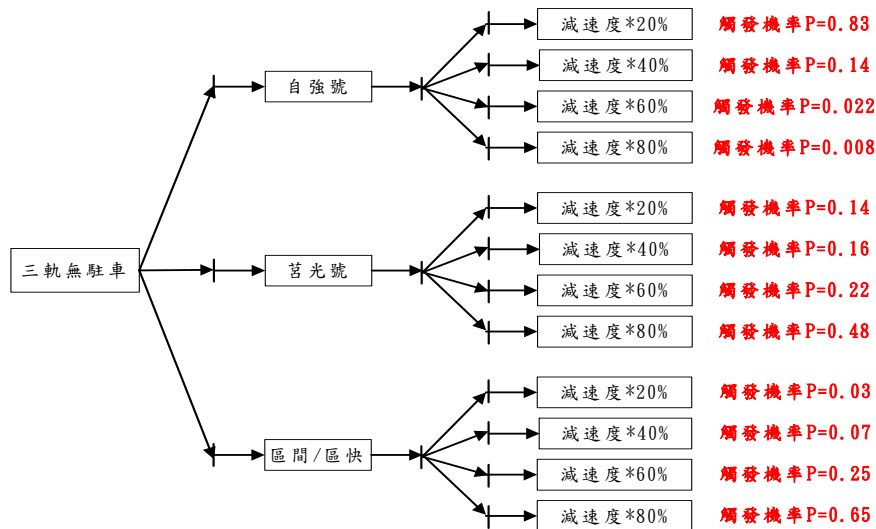


圖 9 七堵站月台三駐車軌狀況下各不同減速度之觸發機率示意圖

綜合上述，以隨機派翠網路建構之站內運轉控制處理流程可如圖 10 所示。其他如站間待避控制與站間運轉控制亦參照圖 10 以隨機派翠網路建構其處理流程，並依據其觸發機率而產生列車加減速度行為，此將更能表現列車運行之實際特性。本研究係使用 C++語

言進行模擬程式之撰寫，程式結構是由相關變數及副程式宣告、主程式、副程式及資料輸出等所組成，如圖 11 所示。首先對於程式內之變數與副程式進行宣告，然後應用各分析模式與控制理論建立主程式與副程式之處理流程，最後再將所需之分析資料完成輸出存檔。

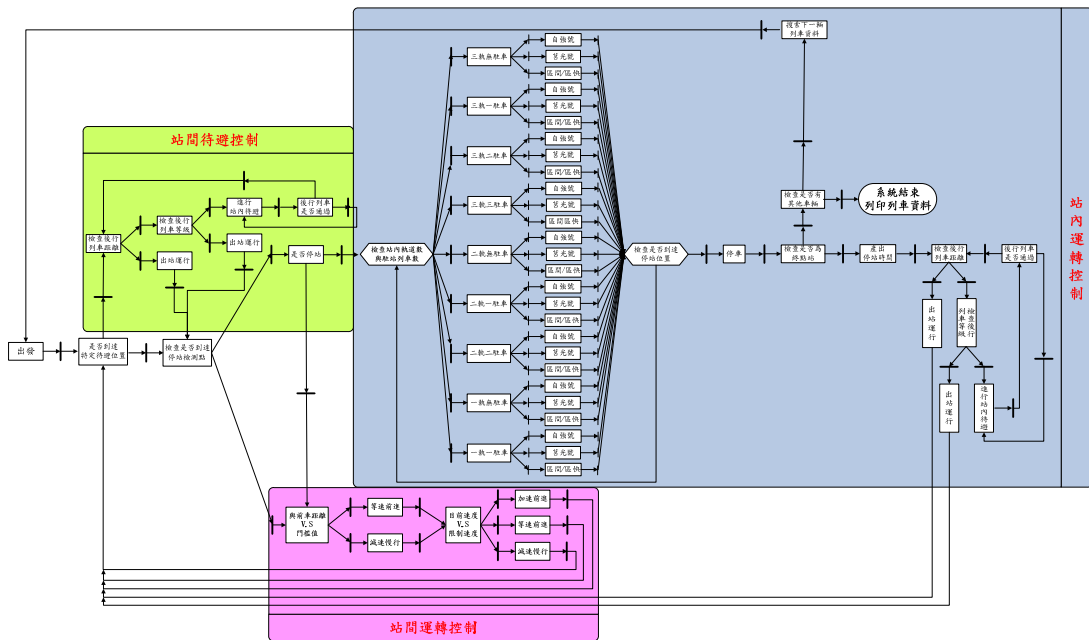


圖 10 以隨機派翠網路建構之站內運轉控制處理流程

四、實證分析

4.1 案例說明

本研究之實證分析對象為臺鐵基隆站至中壢站南方向之捷運化路線，除了臺鐵管理局提供車站位置、車種與實際列車運行資料之外，為取得本研究模擬模式所需之輸入資料，本研究尚於 2013 年 5 月 1 日至 31 日，選擇星期一至星期四早上 06:00 ~ 10:00 之尖峰通勤時段進行實際調查。經由調查，共取得 25 列列車之實際運行資料，包括 17 列區間車、7 列自強號列車與 1 列莒光號列車。另外，本研究亦針對各車種列車於各站之停靠時間進行調查，藉由統計配適度 (goodness of fit) 得出各車種於各車站之停站時間隨機分配函數，如表 5 所示。

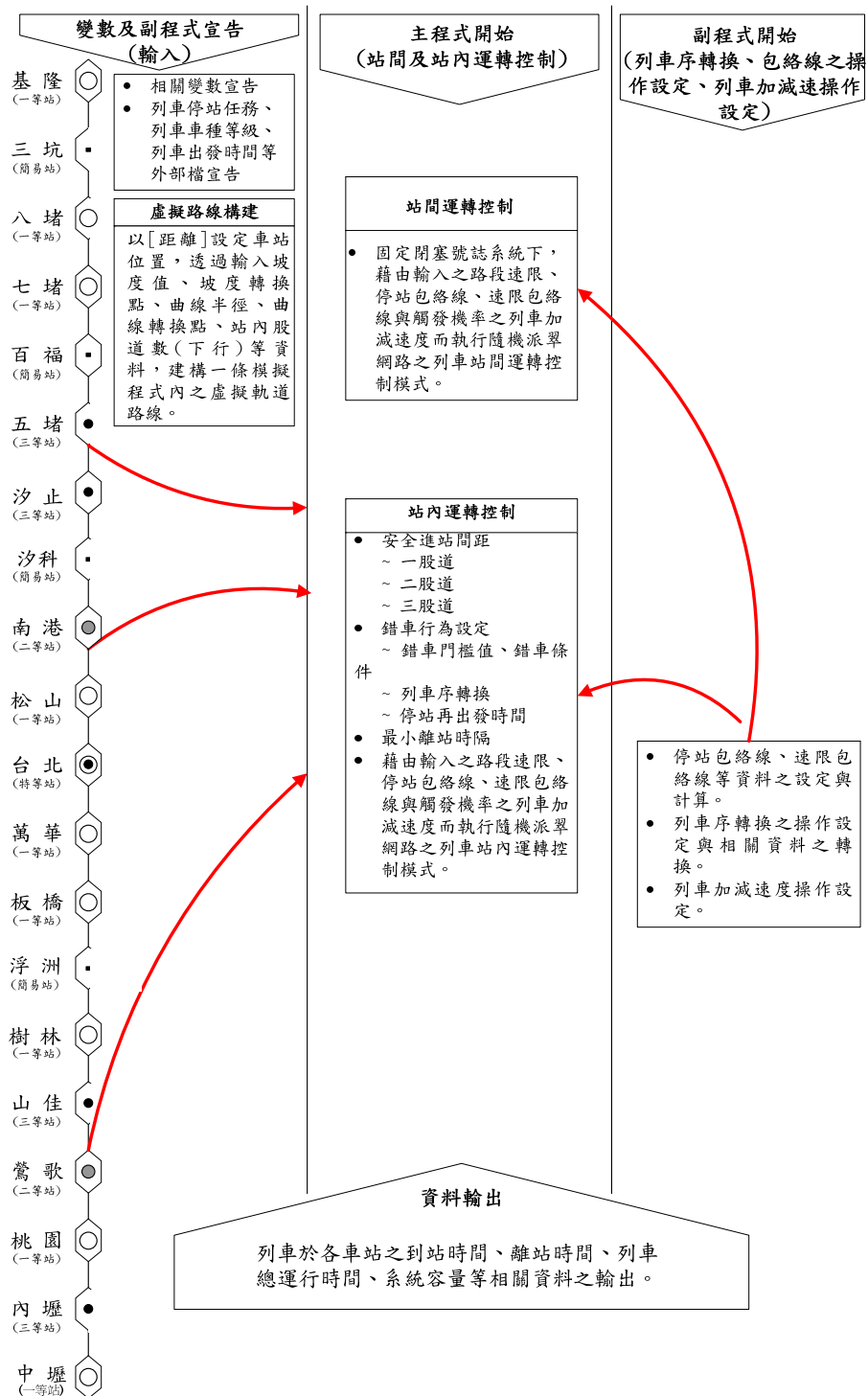


圖 11 以隨機派翠網路建構之模擬程式結構圖

表 5 各車種於臺鐵基隆站至中壢站之停站時間隨機分配函數

站名	基隆	三坑	八堵	七堵	百福	五堵	汐止	汐科	南港	松山
自強號	韋伯分配	—	—	—	—	—	—	—	—	常態分配
莒光號	韋伯分配	—	常態分配	常態分配	—	—	韋伯分配	—	常態分配	韋伯分配
區間車	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配
站名	臺北	萬華	板橋	浮洲	樹林	山佳	鶯歌	桃園	內壢	中壢
自強號	常態分配	—	常態分配	—	—	—	—	常態分配	—	韋伯分配
莒光號	韋伯分配	常態分配	韋伯分配	—	韋伯分配	—	常態分配	韋伯分配	—	韋伯分配
區間車	常態分配	常態分配	常態分配	韋伯分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配	常態分配

註：部分車站的停站時間分配係與停站列車數之多寡有關，區間電聯車列車數最多，其次為自強號，莒光號最少，因此在此停站時間分配之配適度檢定上呈現韋伯 (Weibull) 分配。

4.2 模式驗證

模式驗證 (validation) 之目的即是確認各參數校正後之模擬模式輸出值是否與內含隨機狀況之實際值盡可能符合，如驗證通過，則代表模擬模式可描述真實狀態，反之，則須重新校正若干參數，直到驗證通過為止。本研究係採用 95%信心水準雙尾 t 檢定，驗證模擬模式之平均值與實際列車運行平均值是否存在顯著差異，選擇之檢驗點為列車於停靠站之進站時間 (列車完全停止於月台股道上之時刻，亦即速度為 0 時) 與離站時間 (列車完成停靠任務後，列車啟動之時刻，亦即速度大於 0 時)。經由實際調查，可得知各車種列車皆可於 5,200 秒之時間內完成運行。本研究為擷取模擬系統達穩定狀態下之輸出結果，因此選定 5,200 秒作為系統熱機切除時間而得出 11 列車輛之運行資料。各列車運行之模擬平均值與實際平均值之比較如圖 12 所示，圖中「2712 平」代表實際運行之平均值，「2712 上」代表實際運行平均值上限，「2712 下」代表實際運行平均值下限，「2712 模」代表模擬運行之平均值。

再經由 95%信心水準雙尾 t 檢定檢驗此 11 輛列車模擬值與實際值之停靠站進站時間與離站時間，總計有 258 個檢驗點，檢定結果顯示，共有 29 個檢驗點與實際值存在顯著差異，其餘 229 個檢驗點則無顯著差異，此係歸因於實際調查時有兩班列車發生平均 5~15 分鐘之延誤，導致有 29 個檢驗點之模擬值超出實際平均值上下限。然而大部分列車之模擬平均值仍位於臺鐵容許延誤誤差範圍 5 分鐘之內，且模擬模式之總體信賴度達 88.76%，因此仍可推定本研究之模擬模式具有擬真性。

4.3 情境分析

本研究之情境分析係考量臺鐵捷運化之發車間距與車種組成等重要影響因素，期能針對各情境之模擬分析結果，提出最適之運行調度策略。

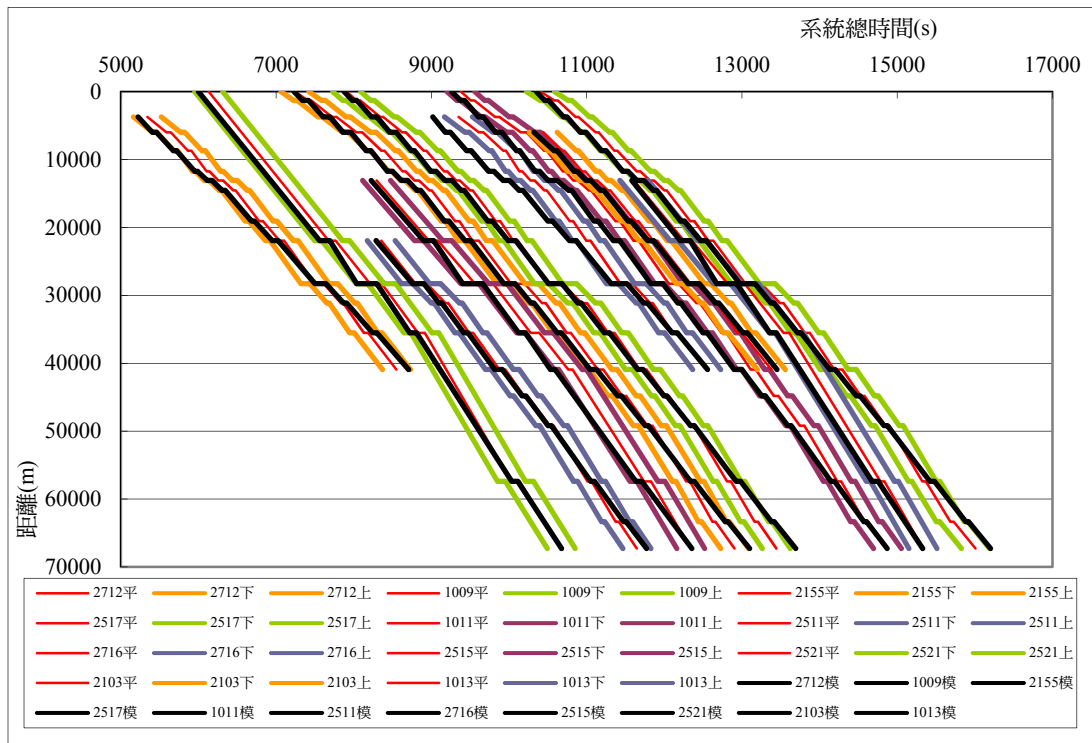


圖 12 臺鐵基隆站至中壢站南下方向捷運化路線之模擬模式驗證圖

4.3.1 不同發車間距之情境

臺鐵捷運化之目的即在於強化尖峰時刻臺鐵短程通勤之區間運輸，因此發車間距 (headway) 之長短將決定臺鐵捷運化之服務品質。然而發車間距並非愈密集，服務品質即愈佳，若發車間距之密集程度超過系統容量，反而會影響系統整體運行時間。此情境係在車種組成、排班方式與停靠方式等變數固定條件下，僅針對自 180 秒至 480 秒之發車間距增量，觀察不同發車間距之系統總旅行時間變化。經過模擬結果發現，當發車間距為 180 秒時，系統會發出錯誤警訊，此係在臺北車站之進站控制模組已無法處理 180 秒之發車間距，因此針對發車間距 200 秒、220 秒、240 秒、300 秒、360 秒、420 秒及 480 秒分別進行情境模擬分析。

由表 6 與圖 13 可看出，當發車間距從 480 秒逐漸縮短時，系統總運行時間亦會逐漸減少，尤其發車間距為 240 秒時，系統總運行時間為最短，應可達到最佳之運輸狀態；但當發車間距繼續縮短至 220 秒與 200 秒時，系統總運行時間反而增加，因此可推定臺鐵基隆站至中壢站南下方向捷運化路線之最適發車間距宜為 240 秒，此與臺北捷運系統於尖峰時段的發車間距 4 ~ 6 分鐘相近，顯示具有捷運系統的營運特性。

表 6 臺鐵基隆站至中壢站南方向捷運化路線在不同發車間距下之系統總運行時間比較表

發車間距 (秒)	200	220	240	300	360	420	480
所有列車完成之系統總運行時間 (秒)	12,348	11,848	11,532	12,373	14,268	15,708	17,148

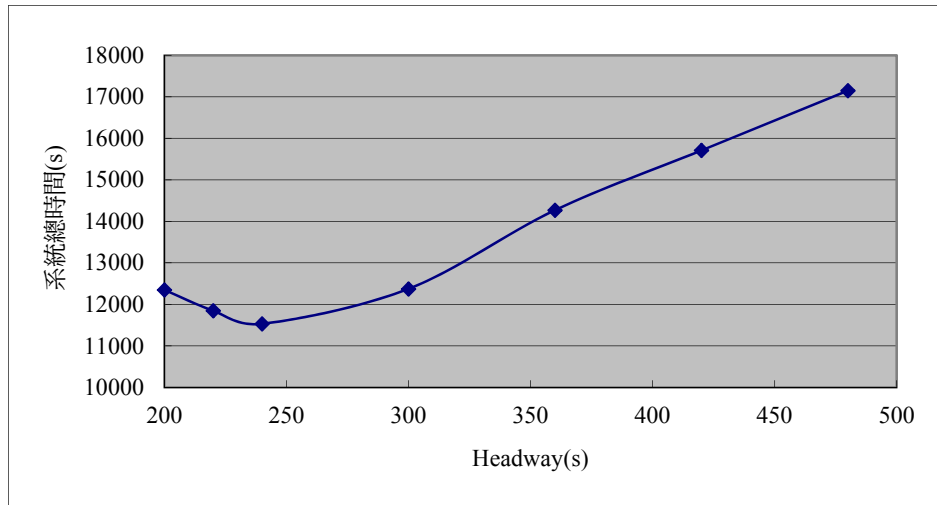


圖 13 臺鐵基隆站至中壢站南方向捷運化路線在不同發車間距下之系統總運行時間趨勢圖

4.3.2 不同車種組成之情境

臺鐵捷運化系統，除加長通勤列車搭載車廂數、加建通勤車站以及加長月台長度之外，還要簡化車種，亦即將自強號、莒光號、復興號、區間車、區間快車五種列車車種，短期內簡化為自強號、區間車、區間快車為主且莒光號為輔之列車組成，中長期則將簡化為以自強號、區間車為主，且區間快車為輔之列車組成。因此，本研究在排班方式與停靠方式等條件下，定義自強號、區間快車為快車車種，區間車則為慢車車種，並針對下列三種快慢車組成於不同發車間距（自 240 秒至 480 秒）之情境，觀察各情境之系統總旅行時間變化：

1. 列車組成 1 (快慢車比 1 : 1)：自強號－區間車－區間快車－區間車－自強號。
2. 列車組成 2 (快慢車比 1 : 2)：自強號－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－自強號。
3. 列車組成 3 (快慢車比 1 : 3)：自強號－區間車－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－區間車－自強號。

由表 7 與圖 14 得知，列車組成 2 之組合策略（自強號－區間車－區間車－區間快車－

區間車－區間車－自強號) 不論在何種發車間距下，系統總運行時間皆為最短，故可推斷列車組成 2 (自強號－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－自強號) 為最適之列車組成方式。此外，從圖表中亦可看出，列車組成 1 較適合較長之發車間距，而列車組成 3 則相反，較適合較密集之發車間距，但整體而言，列車組成 2 (快慢車比 1：2) 仍是最佳之列車組成方式。

表 7 臺鐵基隆站至中壢站南下方向捷運化路線在不同車種組成與發車間距下之結果分析表

發車間距(秒)	240	300	360	420	480
列車組成 1	11,527 (+409)	12,761 (+338)	13,921 (+232)	15,227 (+180)	16,593 (+108)
列車組成 2	11,118	12,423	13,689	15,047	16,487
列車組成 3	11,584 (+466)	12,924 (+501)	14,364 (+675)	15,804 (+757)	17,344 (+857)

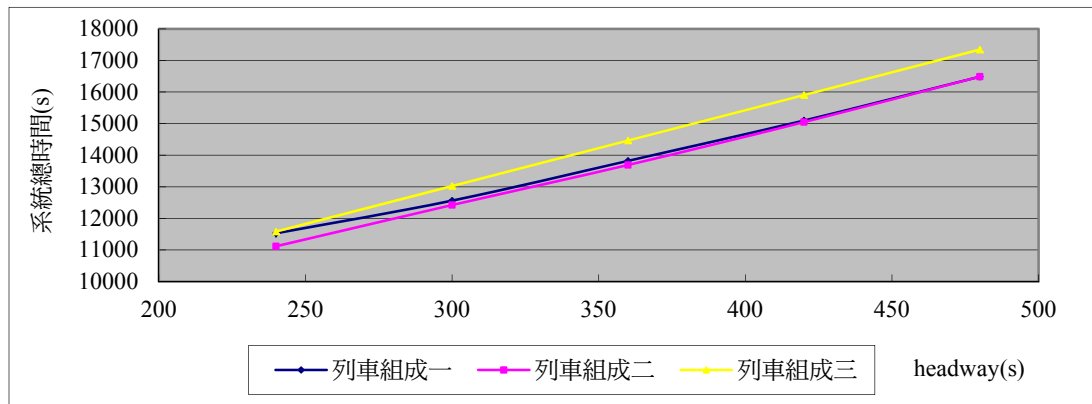


圖 14 臺鐵基隆站至中壢站南下方向捷運化路線在不同車種組成與發車間距下之系統總運行時間趨勢圖

綜合言之，經由模擬分析結果顯示，臺鐵捷運化之列車組成部分，當慢車與快車之列車組成比例為 1：1 且為交錯組成時，較適合發車間距較長之列車運轉，當慢車與快車之列車組成比例為 2：1 時，無論發車間距多寡，皆能發揮最佳之整體運輸效率；當慢車與快車之列車組成比例達 3：1 時，則較適合發車間距較密集之列車運轉。此一結果顯示臺鐵捷運化之快慢車組成與城際及區域通勤鐵路之旅運需求有關，城際旅運多為中長程旅客所搭乘的自強號與中程旅客所搭乘的莒光號，區域通勤旅運多為短程旅客所搭乘的復興號及區間電聯車。

4.3.3 延誤發生時運行調度策略之情境

本研究在進行實際調查時，發現臺鐵西部幹線下行路段較易發生延誤之車站為八堵站，平均延誤時間為 10 ~ 15 分鐘。探究其原因，八堵站位於臺鐵西部幹線與宜蘭線之交會處，由基隆站發車之列車與宜蘭線匯入西部幹線之列車皆停靠此站，又因八堵站與基隆站之間僅隔三坑站，且基隆站與三坑站之運輸量較不易導致在尖峰時刻於八堵站發生列車延誤情形，但宜蘭線匯入之列車，在前經車站已因運輸量較大而導致在八堵站發生延誤，因此本研究將以八堵站為對象，進行延誤發生時運行調度策略之情境分析。

在臺鐵運轉整理規章中，明定延誤 60 分鐘以上為重大延誤事件發生時，需對旅客賠償，本研究遂以 60 分鐘設定為重大延誤門檻值，並將延誤區分為 10、15、30、45、60 分鐘等 5 種等級，進行各等級延誤發生後之情境模擬分析。目前臺鐵常用之運行調度策略包括變更運轉時刻、變更到發股道、變更行車順序、變更運轉軌道、變更待避交會車站、臨時停車、趕點、變更停站時間與加發列車等，當延誤事件發生時，行控中心即運用上述各種策略之交互組合，以減少延誤而盡快回復原訂班表。一般捷運在列車調度策略上有「特開列車」與「停駛列車」2 種，但臺鐵為了顧及旅客權益，除非列車發生故障導致列車無法運行之外，不會實施「停駛列車」之策略，因此，本研究將針對「特開列車」之調度策略，進行延誤發生時運行調度策略之情境分析。

1. 特開列車之車站

特開列車調度策略係發生延誤時，在不影響原定班表情況下，額外增派其他列車提供疏運。八堵站附近有基隆調車廠與七堵調車廠，若有延誤發生，影響範圍則涵蓋八堵站下行之路段車站，八堵站至基隆站之路段並不受影響，因此選擇特開列車之車站為七堵站。

2. 特開列車策略之實施準則

因列車由八堵站至七堵站平均運行時間為 200 秒，當八堵站發生延誤情形達 5 分鐘時，模擬系統將檢視八堵站前 200 秒是否有列車離站，當前 200 秒並無列車離站，即於七堵站特開第 1 班列車，爾後每隔 480 秒檢視八堵站延誤是否終結，如是，則停止實施特開列車策略，若否，則特開第 2 班列車，然後重複上述操作直到延誤終結為止。若前 200 秒有列車離開，則會追蹤此列車，當此列車離開七堵站後 240 秒，再檢視八堵站延誤是否終結，若是，則停止實施特開列車策略，若否，則特開第 1 班列車；爾後每隔 480 秒檢視八堵站延誤是否終結，如是，則停止實施特開列車策略，若否，則特開第 2 班列車，然後重複上述操作直到延誤終結為止。

3. 特開列車策略之績效評估

本研究選定前述之最適列車組成與發車間距來進行情境模擬分析，即「自強號－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－自強號」之列車組成與「240 秒」之發車間距。為了解較長時間之延誤對系統整體運行時間之影響，總列車數將增為 50 列。特開列車策略之績效評估係針對發生不同等級延誤後，進行無調度、趕點與特開列車等 3 種策略之結果比較，包括：所有列車總運行時間、特開列車數、系統延誤回復率與臺北站平均發車間

距等。

系統延誤回復率則定義為：當有調度策略運用時可回復多少延誤時間。其計算式為：
 (無調度策略下之系統總延誤時間－有調度策略下之系統總延誤時間)／無調度策略下之系統總延誤時間。臺北站之平均發車間距係以發生延誤前一列車於臺北站之離站時間至延誤終結之後一列車於臺北站之離站時間內之平均發車間距。若發車間距愈短，則愈能疏運尖峰時刻之通勤旅客。

若以特開列車策略為例，當系統發生不同延誤等級時，在不影響原定班表情況下，各情境之列車運行結果如圖 15 至圖 19 所示：

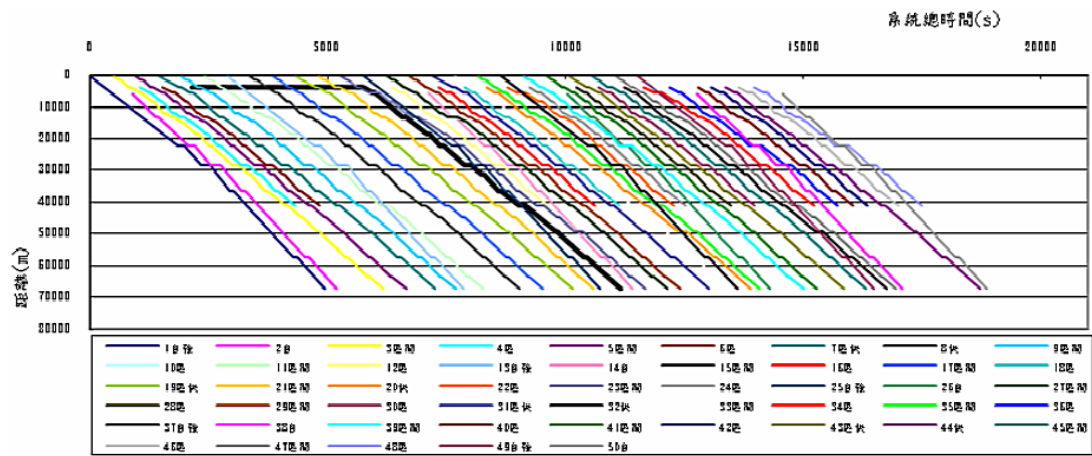


圖 15 延誤等級為 10 分鐘下實施特開列車策略之列車運行圖

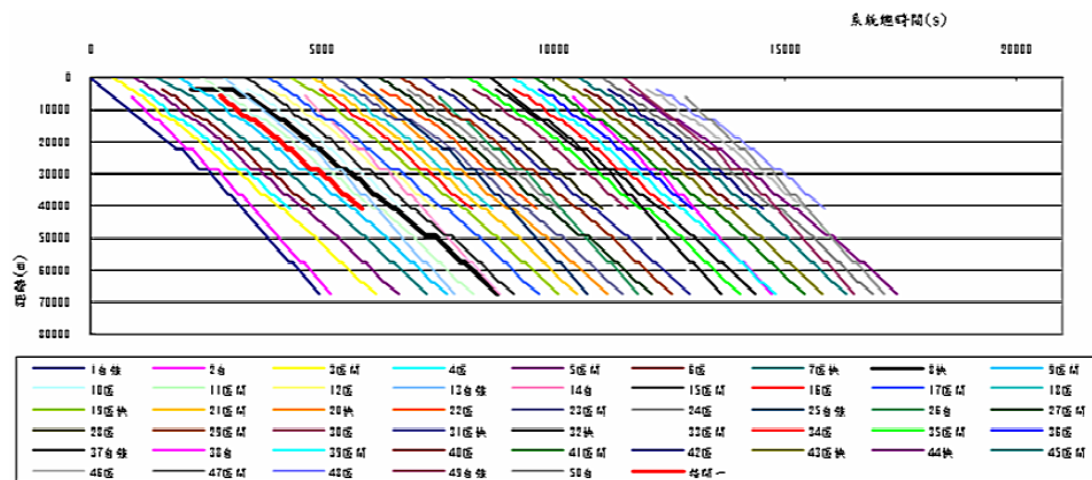


圖 16 延誤等級為 15 分鐘下實施特開列車策略之列車運行圖

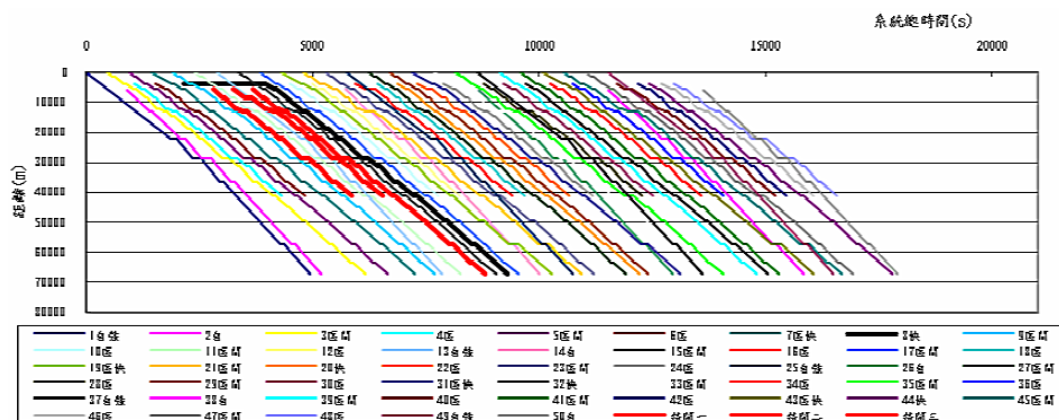


圖 17 延誤等級為 30 分鐘下實施特開列車策略之列車運行圖

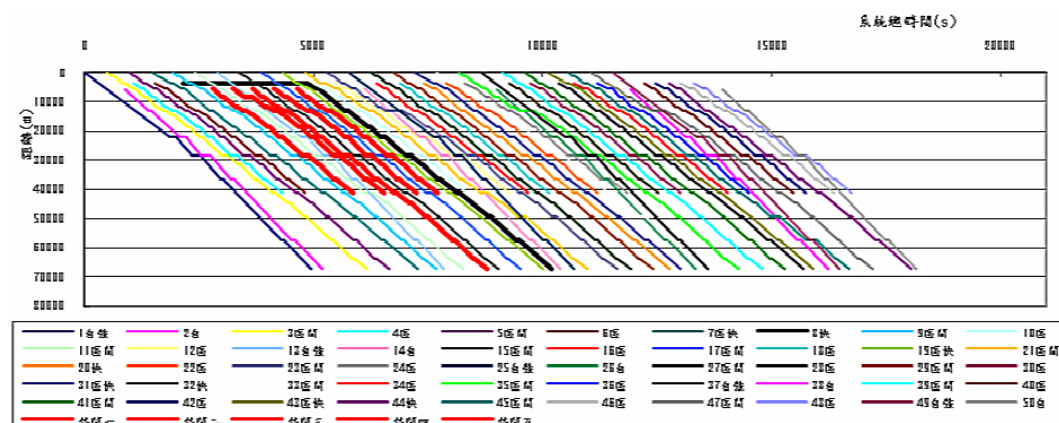


圖 18 延誤等級為 45 分鐘下實施特開列車策略之列車運行圖

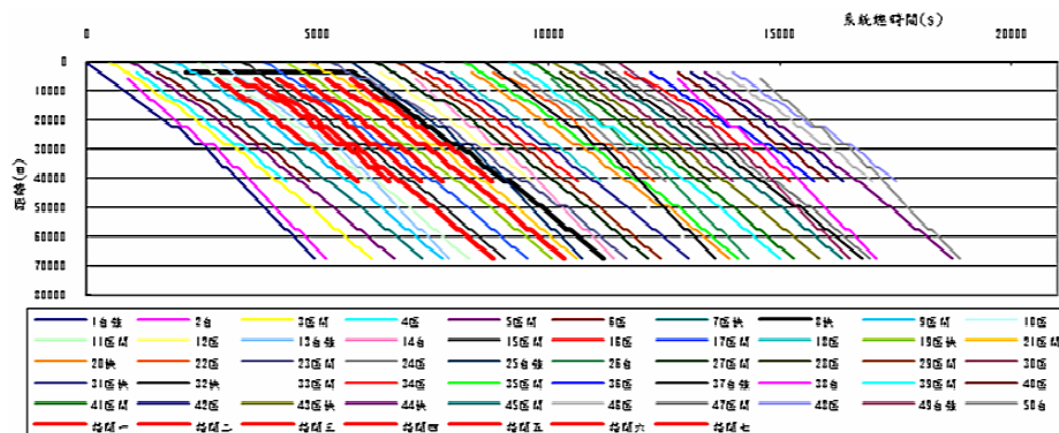


圖 19 延誤等級為 60 分鐘下實施特開列車策略之列車運行圖

上述 3 項策略之模擬結果可整理成圖 20、圖 21 與表 8。從圖表中可知，特開列車策略在「系統總運行時間」方面，延誤發生前後之總運行時間並無太大差異，亦即特開列車策略對於系統延誤回復率雖無助益，但從「平均發車間距」來看，特開列車策略實施後，確實可縮短目前因延誤發生所產生之平均發車間距。

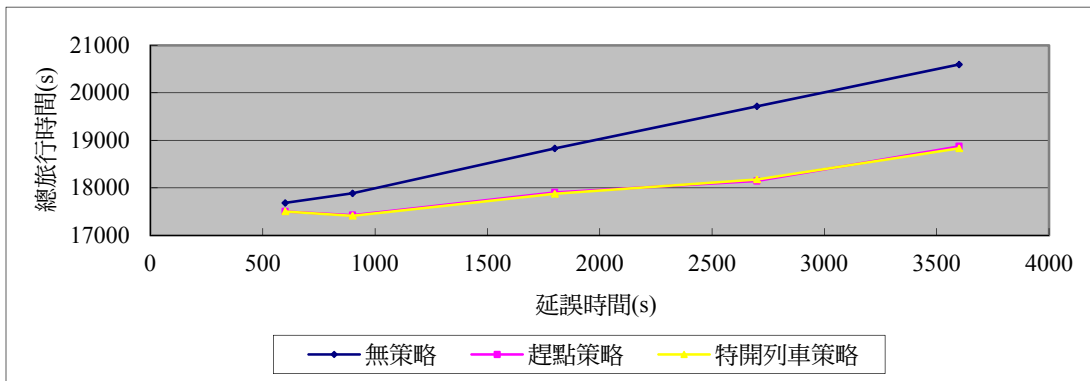


圖 20 3 種策略下之總運行時間比較圖

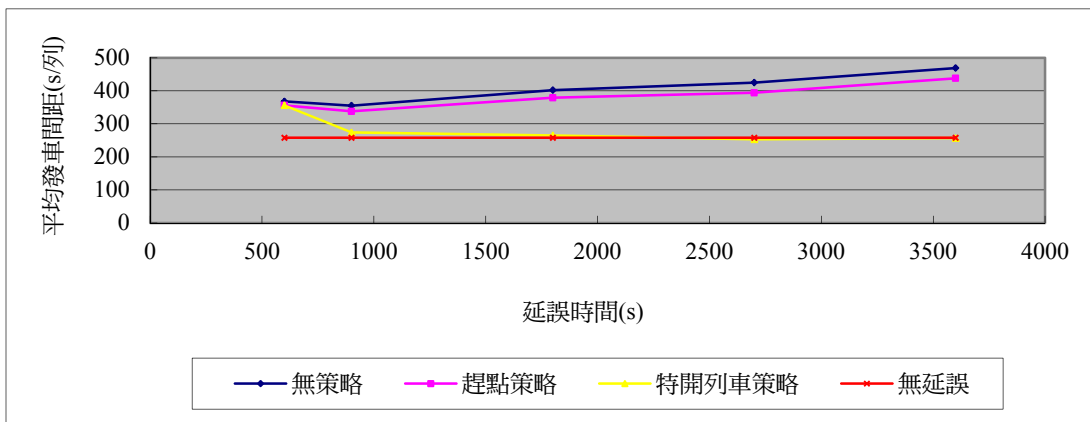


圖 21 3 種策略下之平均發車間距比較圖

五、結論與建議

本研究旨在應用隨機派翠網路以建構軌道運輸運行調度之模擬模式，特別之處在於採用集合多種開發工具為一體的綜合性系統開發方法-資訊系統開發方法組合 SISDM 並以具有多車種、月臺多股道之臺鐵捷運化路線基隆－中壢段為實證分析對象。

表 8 不同延誤等級發生時之 3 種策略實施結果比較表

延誤等級	10 分鐘	15 分鐘	30 分鐘	45 分鐘	60 分鐘
無策略					
總旅行時間 (秒)	17,682	17,884	18,830	19,716	20,598
臺北站平均發車時間 (秒/列)	368	355	402	425	469
趕點策略					
總旅行時間 (秒)	17,502	17,424	17,903	18,143	18,873
延誤回復率	28.57%	55.29%	52.14%	59.05%	48.65%
臺北站平均發車時間 (秒/列)	356	338	379	394	438
特開列車策略					
總運行時間 (秒)	17,502	17,411	17,874	18,175	18,832
延誤回復率	28.57%	56.85%	53.77%	57.85%	49.80%
特開列車數 (列)	0	1	3	5	7
臺北站平均發車時間 (秒/列)	356	274	265	253	257

註：無延誤時總運行時間：17,052 秒，平均發車時間：258 秒。

5.1 結論

- 回顧國內外軌道運輸研究之相關文獻，可發現以細胞自動機與派翠網路兩種方法應用於區間通過能力分析、追蹤行車間隔、列車速度與間隔控制、追蹤列車運行、列車調度最適化等課題，最為廣泛。SISDM 是一種在系統論思維下，引進了通用圖論中的模式建構與分析工具，建立以派翠網路為基礎之資訊系統資源配置模式。再回顧以往軌道列車運行公式得知，列車運行公式中的加減速常簡化為定值，並未考量列車司機在站間與站內進出的隨機操作行為，因此本研究選擇能求解馬可夫隨機過程的隨機派翠網路，藉由實際資料來建立列車運行加減速之隨機觸發機率，以呈現實際列車運行時之不同加減速操作行為。另一方面，目前國內應用高階派翠網路於軌道運輸運行調度方面的研究亦不多見，若能建立具有可視化與系統動態活動描述功能之隨機派翠網路為基礎的軌道運輸運行調度模擬模式原型，再視其他研究課題屬性，逐漸引進 TPN、CPN、FPN 或 HPN 等求解工具，將更能呈現真實環境下軌道運輸複雜系統的動態、不確定、隨機、多樣化等特性。此為本研究何以採用隨機派翠網路為基礎之系統開發方法的緣由。
- 本研究之實證分析對象為臺鐵基隆站至中壢站南方向之捷運化路線，經由實際平均值與模擬平均值之相互驗證後，模式信賴度達 88.76%，且超出範圍之檢驗點與實際班表比對下，仍然在臺鐵容許延誤 5 分鐘範圍內，因此可推定本研究之模擬模式能描述列車實

際運行狀況。

3. 在不同發車間距之情境下，經由模擬分析結果發現，在目前路網與系統設備條件下，臺鐵列車於上午尖峰時段南方向之捷運化路線，其發車間距若縮短至 240 秒，則可達到最佳之系統總旅行時間。此與臺北捷運系統於尖峰時段的發車間距 4 ~ 6 分鐘相近，顯示具有捷運系統的營運特性。
4. 在不同列車組成之情境下，經由模擬分析結果得知，「自強號－區間車－區間快車－區間車－自強號」之組成方式，較適合發車間距較長之列車運轉；「自強號－區間車－區間快車－區間車－區間快車－區間車－自強號」之組成方式，在發車間距 240 秒至 480 秒之情況下，系統總旅行時間皆為最佳；「自強號－區間車－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－區間車－自強號」之組成方式，則較適合發車間距較密集之列車運轉。此一結果顯示臺鐵捷運化之快慢車組成與城際及區域通勤鐵路之旅運需求有關，城際旅運多為中長程旅客所搭乘的自強號與中程旅客所搭乘的莒光號，區域通勤旅運多為短程旅客所搭乘的復興號及區間電聯車。
5. 針對發生延誤時之調度策略情境分析，本研究將延誤區分為 10、15、30、45、60 分鐘等 5 種等級，選定「自強號－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－自強號」之列車組成與「240 秒」之發車間距組合，並採用「無調度」、「趕點」與「特開列車」等 3 種策略，進行各等級延誤發生後之情境模擬分析。結果發現，特開列車策略雖可縮短目前因延誤發生所產生之平均發車間距。但對於延誤發生前後之總運行時間並無太大差異，亦即特開列車策略對於系統延誤回復率並無助益。此亦符合文獻^[35,38,40]有關調度方案之研究結果：以「變更運轉順序 (趕點、交會)」為優先考慮的調度方案，其次為實際列車運轉整理調度方案，「增開列車」則為排序最後的調度方案。
6. 針對發生延誤時之調度策略情境分析，本研究將延誤區分為 10、15、30、45、60 分鐘等 5 種等級，選定「自強號－區間車－區間車－區間快車－區間車－區間車－自強號」之列車組成與「240 秒」之發車間距組合，並採用「無調度」、「趕點」與「特開列車」等 3 種策略，進行各等級延誤發生後之情境模擬分析。結果發現，特開列車策略雖可縮短目前因延誤發生所產生之平均發車間距。但對於延誤發生前後之總運行時間並無太大差異，亦即特開列車策略對於系統延誤回復率並無助益。此亦符合文獻^[35,38,40]有關調度方案之研究結果：以「變更運轉順序」為優先考慮的調度方案，其次為實際列車運轉整理調度方案，「增開列車」則為排序最後的調度方案。
7. 在學術研究貢獻方面，過去國內相關臺鐵運行調度主要以模擬模式為主，但對於列車司機在站間與站內進出的隨機操作行為則尚未有文獻進行探討，本研究選擇能求解馬可夫隨機過程的隨機派翠網路，藉由實際資料來建立列車運行加減速之隨機觸發機率，以呈現實際列車運行時之不同加減速操作行為。在實務貢獻方面，臺鐵捷運化之後的列車延誤均仰賴專業人員的處理經驗，較缺乏一套操作便利的模擬系統來解決複雜的調度問題，本研究提出的隨機派翠網路為基礎的列車運行調度模擬系統，可藉由不同發車間距、不同列車組成與不同延誤等級的情境分析，產生臺鐵捷運化營運調度之較佳方案，

期能作為臺鐵綜合調度所與營運單位相關調度人員參考之用。

5.2 建議

1. 本研究因限於行車保安因素而無法取得臺鐵局完整之閉塞區間號誌控制系統資料，故無法將各閉塞號誌機所在位置納入列車站間運行之模擬模式，未來若能取得實際號誌系統資料而納入模擬模式，則更能描述實際列車運行情形。
2. 本研究僅考慮下行單一方向之列車運行，然而正常情況下之列車運行，大部分皆採上下行分軌，影響層面雖較小，但若同時考慮上下行之列車運行，並考慮整體月台配置之影響，在列車延誤調度上應可更真實與多樣化。
3. 本研究在進行實際調查時發現，基隆站至中壢站路線段，同時包含由基隆站、七堵站、汐止站、松山站及臺北站等發車起始站，再加上由八堵站匯入之宜蘭線列車，即有 6 個不同之發車起始站，此將嚴重干擾整體列車運行效率，建議未來應簡化發車起始站，減少排班之干擾因素。
4. 本研究因囿於經費人力，僅選取基隆－中壢段為臺鐵捷運化之實證案例並針對不同發車間距、不同列車組成模擬對於臺鐵捷運化該區段系統總旅行時間之影響，同時採用「無調度」、「趕點」與「特開列車」等 3 種策略，模擬其對於各等級延誤之影響分析，此一影響分析係屬於微觀、局部的概念。若欲針對臺鐵捷運化所帶來之巨觀、全面影響，則建議於日後增加實證範圍與擴充模擬模式功能，例如：針對車站或路線容量、列車延誤與控制策略等專門課題，應鼓勵國內學者參考文獻^[19,20,22-26,29]嘗試以典型的派翠網路為基礎，衍生使用彩色派翠網路、模糊派翠網路、時間派翠網路或混合派翠網路，以強化較佳之列車運行調度模式，增加模擬系統之深度與廣度。此亦呼應了鄭永祥^[35]之研究結論：「過去國內相關鐵路運轉整理調度主要以模擬為主，對於利用派翠網路或其他衍生高階派翠網路建構鐵路調度員執行運轉整理調度的流程，目前還甚為罕見。」。以本研究不同延誤等級（如：15、30、45、60 分鐘）為例，採用「無調度」、「趕點」與「特開列車」等 3 種策略係處理各延誤等級之決策方式，未來若針對不同調度員建立長期的歷史資料庫，則可應用隨機派翠網路建構各延誤等級之調度策略觸發機率，亦即不同調度員在選擇前述 3 種策略時，可表現出不同的決策行為。
5. 期望藉由以隨機派翠網路為基礎之資訊系統開發方法組合 (SISDM) 系統架構，可逐漸發展成描述具有多車種、月臺多股道之臺鐵營運特性的模擬系統，建議未來可導入使用者介面友善 (user interface friendly) 之整體流暢設計，以提升目前模擬程式中個別模組相互操作之無縫化與自動化程度。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，**軌道運輸系統總體規劃(2/2)－我國軌道運輸系統發展政策之研究**，民國 101 年。
2. 臺灣鐵路管理局，**臺鐵統計年報**，民國 101 年。
3. 楊濃代，「臺鐵捷運化營運分析探討」，成功大學土木工程學研究所碩士論文，民國 92 年。
4. 李忠遠，「高速鐵路通車後臺鐵客運最適定價之研究」，東華大學企業管理研究所碩士論文，民國 94 年。
5. 張桂林、馮輝昇，「建構臺灣都會區域整合性通勤鐵路之芻議」，**都市及住宅發展處空間規畫研究所彙編**，民國 97 年，頁 135~165。
6. 陶冶中、劉嵩瀚，「固定與移動自動閉塞區間制下多車種列車運行之模擬模式研究」，**運輸計劃季刊**，第 37 卷，第 3 期，民國 97 年，頁 293-330。
7. 魏曉東，**城市軌道交通自動化系統與技術**，第 2 版，電子工業出版社，北京，2011 年。
8. 交通部運輸研究所，**軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析(一)**，民國 94 年。
9. 交通部運輸研究所，**軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析(二)**，民國 95 年。
10. 交通部運輸研究所，**運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統(1/4)**，民國 96 年。
11. Tomoeda, A., Komatsu, M., Il Yun Yoo., Uchida, M., Takayama, R., Rui Jiang. and Nishinari, K., "Real-time Railway Network Simulation and Alleviating Congestion of Crowded Trains", ICROS-SICE International Joint Conference, Fukuoka International Congress Center, Japan, 2009, pp. 4932-4936.
12. Zhang, S. T. and Chen, Y. C., "Simulation for Influence of Train Failure on Railway Traffic Flow and Research on Train Operation Adjusting Strategies Using Cellular Automata", *Physica A*, Vol. 390, No. 21-22, 2011, pp. 3710-3718.
13. 寧濱，「軌道交通系統中的列車運行追蹤模型及交通流特性研究」，北京交通大學博士論文，2005 年。
14. 周華亮，「軌道交通列車運行的元胞自動機模型及交通流特性研究」，北京交通大學碩士論文，2006 年。
15. 付印平，「列車追蹤運行與節能優化建模及模擬研究」，北京交通大學博士論文，2009 年。
16. 張三同，「基于元胞自動機的城市軌道交通流特性研究」，北京交通大學碩士論文，2010 年。
17. 寧濱，「基于元胞自動機的軌道交通建模及其仿真研究」，蘭州交通大學碩士論文，2012 年。
18. 蔡晶，「基于列車運行仿真的調度研究」，北京交通大學碩士論文，2013 年。
19. Van Der Aalst, W. M. P. and Odijk, M. A., "Analysis of Railway Stations by Means of Interval Timed Colored Petri Nets", *Real-Time Systems*, Vol. 9, No. 3, 1995, pp. 241-263.

20. Fay, A., "Fuzzy Knowledge-Based System for Railway Traffic Control", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 13, No. 6, 2000, pp. 719-729.
21. Burkolter, D. M., "Capacity of Railways in Station Areas using Petri Nets", Ph.D Dissertation, ETH, Zurich, 2005.
22. Fanti, M. P., Giua, A., and Seatzu, C., "Monitor Design for Colored Petri Nets : An Application to Deadlock Prevention in Railway Networks", *Control Engineering Practice*, Vol. 14, No. 10, 2006, pp. 1231-1247.
23. Daamen, W., Goverde, R. M. P., and Hansen, I. A., "Non-Discriminatory Automatic Registration of Knock-on Train Delays", *Networks and Spatial Economics*, Vol. 9, No. 1, 2009, pp. 47-61.
24. Milinković, S., Veskovic, S., Markovic, M., Ivic, M., and Pavlovic, N., "Simulation Model of a Railway Junction Based on Petri Nets and Fuzzy Logic", 12th WCTR, Lisbon, Portugal, 2010.
25. 杜彥華、劉春煌，「層次擴展模糊時間 Petri 網及車站通過能力評定」，*系統仿真學報*，第 17 期，2005 年，頁 178-183。
26. 劉皓瑋，「行車指揮系統的 Petri 網建模與列車運行調整的遺傳優化的研究」，北京交通大學博士論文，2000 年。
27. 程磊，「基于 Petri 網模型的鐵路智能調度問題研究」，華中科技大學碩士論文，2002 年。
28. 鐘文燕，「鐵路信號系統的 Petri 網建模與分析研究」，西南交通大學碩士論文，2005 年。
29. 李曉艷，「基于 Petri 網模型的城市軌道交通列車運行調整方法研究」，北京交通大學碩士論文，2009 年。
30. 梁楠，「基於隨機 Petri 網的 CTCS-3 級 RBC 系統控車流程建模與分析」，北京交通大學碩士論文，2010 年。
31. 周青，「基于混合 Petri 網的列車運行系統中時間推理問題的研究」，鄭州大學碩士論文，2010 年。
32. 田釗，「基于一類混合 Petri 網的列車運行系統中衝突因素的分析」，鄭州大學碩士論文，2011 年。
33. 劉建昆，「基于 Petri 網的列控系統的一些關鍵問題的研究」，西華大學碩士論文，2013 年。
34. 楊立安，「臺灣鐵路運轉整理之研究」，國立高雄第一科技大學運籌管理所碩士論文，民國 96 年。
35. 鄭永祥，「軌道系統列車延誤、乘客處理與營運應變模式之研究」，成功大學交通管理科學系新進老師學術研究計劃成果報告，民國 98 年。
36. 林琮欽，「移動閉塞區間制下混合派翠網路應用於捷運列車運轉整理策略之模擬研究」，淡江大學運輸管理學系碩士論文，民國 98 年。
37. Li, P., Nie, A., Jia, L., and Wang, F., "Study on Intelligent Train Dispatching", *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, pp. 949-953.

38. 李治綱、陳朝輝、簡聰裕，「捷運鐵路列車延滯事件發生後行車調度策略之模擬分析」，**運輸計劃季刊**，第 31 卷，第 2 期，民國 91 年，頁 299-321。
39. D'Ariano, A., Corman, F., and Hansen, I. A., "Evaluating the Performance of an Advanced Train Dispatching System", *Infrastructure Systems and Services : Building Networks for a Brighter Future (INFRA)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, pp.1-6.
40. 黃承傳、劉昭榮，「鐵路列車密度與初始延滯以及調度策略對連鎖延滯之影響分析」，**運輸計劃季刊**，第 40 卷，第 1 期，民國 100 年，頁 63-98。
41. GOV.UK, "Modelling and Simulation in Rail-Targeted Call for Knowledge Transfer Partnerships", <https://www.innovateuk.org/-/modelling-and-simulation-in-rail>, 2014.
42. Winter, M. C., Brown, D. H., and Checkland, D. B., "A Role for Soft Systems Methodology in Information Systems Development", *European Journal Information Systems*, No. 4, 1995, pp. 130-142.
43. Van Slooten, C. and Schoonhoven, B., "Contingent Information Systems Development", *Journal of Systems Software*, Vol. 33, No. 2, 1996, pp. 153-161.
44. Brinkkemper, S., "Method Engineering : Engineering of Information Systems Development Methods and Tools", *Information and Software Technology*, No. 38, 1996, pp. 275-280.
45. Goos, G., Hartmanis, J., and Van Leeuwen, J., *Lectures on Formal Methods and Performance Analysis : An Introduction to Stochastic Petri Nets*, Springer Verlag, Berlin, 2000.
46. 林闢，**隨機 Petri 網和系統性能評價**，第 2 版，清華大學出版社，北京，2005 年。
47. 鍾志成、李治綱、張仕龍、張恩輔、林國顯、劉昭榮，「臺鐵三位式號誌系統安全時距公式之建構與分析」，**運輸學刊**，第 18 卷，第 2 期，民國 95 年，頁 186-208。

應用多目標規劃法於低碳運輸計畫 之預算分配

A MULTI-OBJECTIVE PROGRAMMING MODEL OF BUDGET ALLOCATION IN LOW CARBON TRANSPORTATION PROJECTS

陳正杰 Cheng-Chieh (Frank) Chen¹

馮正民 Cheng-Min Feng²

劉庭豪 Ting-Hau Liou³

(103 年 10 月 6 日收稿，104 年 3 月 5 日第 1 次修改，104 年 7 月 8 日第 2 次修改，
104 年 12 月 16 日定稿)

摘 要

運輸部門的溫室氣體排放量為全球產業最大宗排放源之一，發展低碳運輸計畫以減少碳排放量已成為近年來公共運輸系統建設之目標。以往決策者在公共建設規劃時多採用質性評選方式來決定預算分配比例，缺乏較客觀的量化因素。本研究建構一多目標數學規劃模式，以追求低碳運輸策略效益最大與減少區域間預算分配差距，同時導入「計畫可調整性」及「最低可執行預算規模比例」等因素，進行低碳運輸計畫預算分配。

模式建構階段初始藉由典型背包問題 (0-1 Knapsack Problem) 發展整數規劃預算分配模型 (即模式 1)、考慮預算可調整性，將計畫分成連續型計畫及非連續型計畫之混合整數規劃預算分配模型 (即模式 2)、加入公平

-
1. 國立東華大學企業管理學系暨運籌管理研究所助理教授 (聯絡地址：974 花蓮縣壽豐鄉大學路 2 段 1 號 東華大學企業管理學系暨運籌管理研究所；電話：03-8633168；E-mail: frank542@mail.ndhu.edu.tw)。
 2. 國立交通大學運輸與物流管理學系教授 (聯絡地址：100 臺北市中正區忠孝西路 1 段 118 號 4 樓 交通大學運輸與物流管理學系；電話：02-23494956；E-mail: cmfeng@mail.nctu.edu.tw)。
 3. 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士。

性目標式、區域預算配給比例等參數與考慮各計畫之最低可執行預算比例，構建一多目標混合整數非線性規劃預算分配模型（即模式 3）。依據不同情境最佳化預算分配，並依據實例分析驗證模式之可行性。

從我國行政院環保署之「低碳城市建構計畫」實例分析結果可以得知，當總預算額度偏低時，模式傾向將預算優先分配予減碳能力較佳之區域；當預算額度較為充足時，本研究發展之公平性目標式會有助於減少區域間預算配給之差異。由於分配結果會隨著權重目標調整而改變，本研究透過多目標權衡分析針對不同權重組合求取最佳解，可作為決策者未來執行模式之參考依據。

關鍵詞：低碳運輸計畫；預算分配；公平性；多目標混合整數非線性規劃

ABSTRACT

Reducing greenhouse gas emissions is one major issue and challenge in transportation sections. To achieve this mission, various administrative divisions under the central government were asked to propose some low-carbon transport projects for annual budget planning and allocation.

Instead of arbitrarily evaluating the performance of those projects, this paper contributes a method for quantifying and jointly optimizing the results of project selections and budget allocations, while also considering the proportion and minimum required amount of each proposed budget. A basic model (Model 1) adapted from the typical 0-1 knapsack problem, an extended mixed integer programming model (Model 2), and a multi-objective mixed integer nonlinear programming model (Model 3) are developed in this study.

Models 1 and 2 are maximizing the total reduction of emissions based on selected projects and approved budget. Model 3 is further pursuing the equality issue by minimizing the variance of allocation results among administrative divisions. Through a series of numerical examples and sensitivity analysis, the models demonstrate their ability to maximize emissions reduction through budget allocating decisions. Different weight combinations between two objective functions are also examined.

Key Words: *Low-carbon transportation; Budget allocation; Equity; Multi-objective mixed integer nonlinear programming problem (MMINLP)*

一、前言

運輸為衍生性需求，文明演進勢必帶動運輸需求量的增加。根據國際能源總署研究報告 (International Energy Agency, IEA) ^[1] 指出，全球溫室氣體在 1970-2005 年間共增加

61%，2005 年全球大約排放 454 億噸的溫室氣體，而其中 59% 就來自於石化燃料的使用（見圖 1），尤以運輸部門產生之二氧化碳排放量占全球產業石化燃料總排放量約 23%（見圖 2）。Lee^[2]指出運輸部門 95% 之活動必須依賴石化燃料，顯示在交通運輸帶給人們便利的同時，運輸系統排放的大量溫室氣體不僅對環境產生衝擊，更導致全球氣候的暖化與異變（Koetse and Rietveld^[3]）。

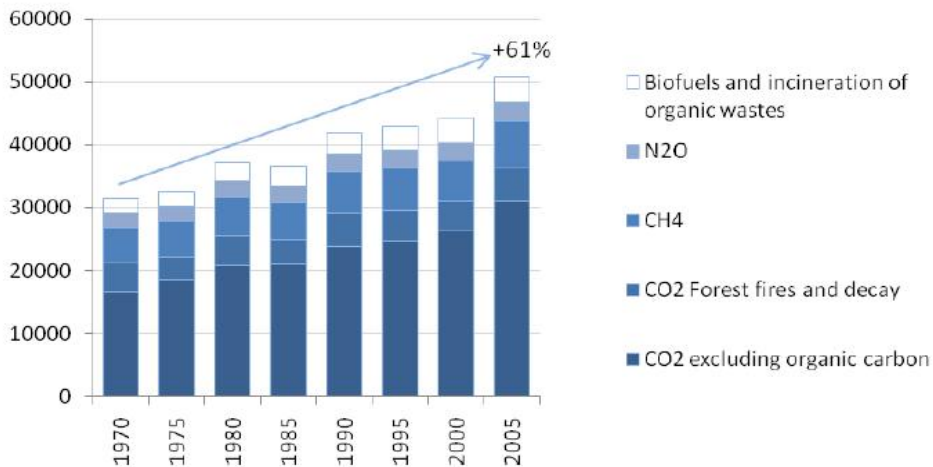


圖 1 1970 至 2005 年全球溫室氣體排放統計 (IEA^[1])

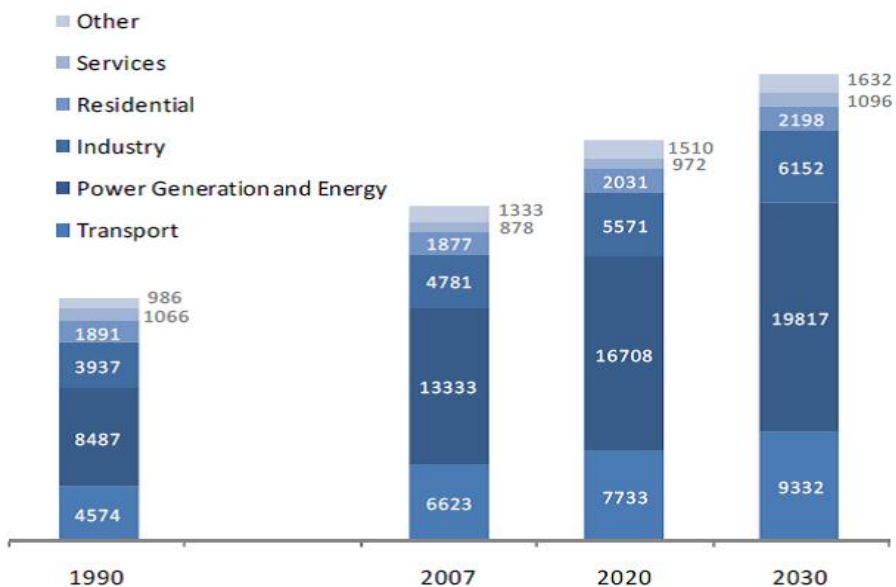


圖 2 全球各部門溫室氣體二氧化碳排放量 (IEA^[1])

面對全球暖化之問題，自 1997 年京都議定書通過後（2005 年生效，效期至 2020 年），各國紛紛提出低碳運輸計畫等實質行動響應。我國環保署於「低碳示範城市建構對象」會議中，要求各縣市針對低碳運輸提出計畫後加以評選，並編列年度預算投入其最終評選之計畫。

傳統公共建設之計畫評選與預算分配，並未明示或不易估計計畫目標、成本和效益（如本研究之低碳運輸計畫），大多由行政機關決策者依經驗、主觀制定，甚少嚴謹考量計畫之成本及實行之成效、缺乏以科學的方法進行系統性的分析、比較與評估。不僅造成計畫評選之過程難以客觀量化，計畫執行效率也不易評估與追蹤。除此之外，大部分文獻均側重於探討計畫之組合評選或預算分配最佳化，較少同時考量計畫評選與預算分配。

有鑑於此，本研究希望能以國內之低碳運輸計畫評選與預算分配為例，依照專家訪談之建議，導入「計畫可調整性」及「最低可執行預算規模比例」之概念，建構一多目標混合整數非線性規劃模式，期能兼顧低碳運輸策略效益最大化與提升區域預算分配公平性等目標。「計畫可調整性」即將傳統背包問題之離散變數改為連續變數，以提升預算投入之彈性及體現計畫分期投入的概念；後者「最低可執行預算規模比例」則因考量現實中計畫皆需最低執行成本，計畫投入不得小於該最低規模成本量，以避免計畫無法正常執行。同時將投入成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據。以避免真正有效率的計畫因為齊頭式的成本公平而被略過，使得預算分配更有效率。相關研究架構如圖 3 所示。

後續章節分述如下：第二節透過文獻回顧整理公共建設計畫資源分配之相關模型與架構，並以此為基礎建構本研究之預算分配模式。第三節介紹本研究所提出之模型與相關假設，包括依據典型背包問題發展整數規劃預算分配模型、考慮預算可調整性與最低可執行預算比例，將計畫分成連續型計畫及非連續型計畫之混合整數規劃模型、納入公平性目標式、區域預算配給比例等參數構建為多目標混合整數非線性規劃問題。第四節藉由數值分析結果驗證模式、敏感度與多目標權衡分析之可行性，第五節藉由我國行政院環保署之「低碳城市建構計畫」實例分析探討預算分配結果，期能提供政府分配預算之建議與參考。

二、文獻回顧

2.1 國內外低碳運輸計畫

Lenzen 等人^[4]曾針對經濟合作暨發展組織國家（Organization for Economic Cooperation and Development）之客貨運業各項運具能源消耗量進行分析，發現能源消耗量（括號內為年成長率）都持續成長（見表 1）。

Lee^[2]在其研究指出現今運輸部門全球二氧化碳排放量以私人運具、公路貨運與航空產業為前三名，文中並提出改善能源使用效率、發展替代能源、制訂低碳燃油標準等低碳運輸相關政策。

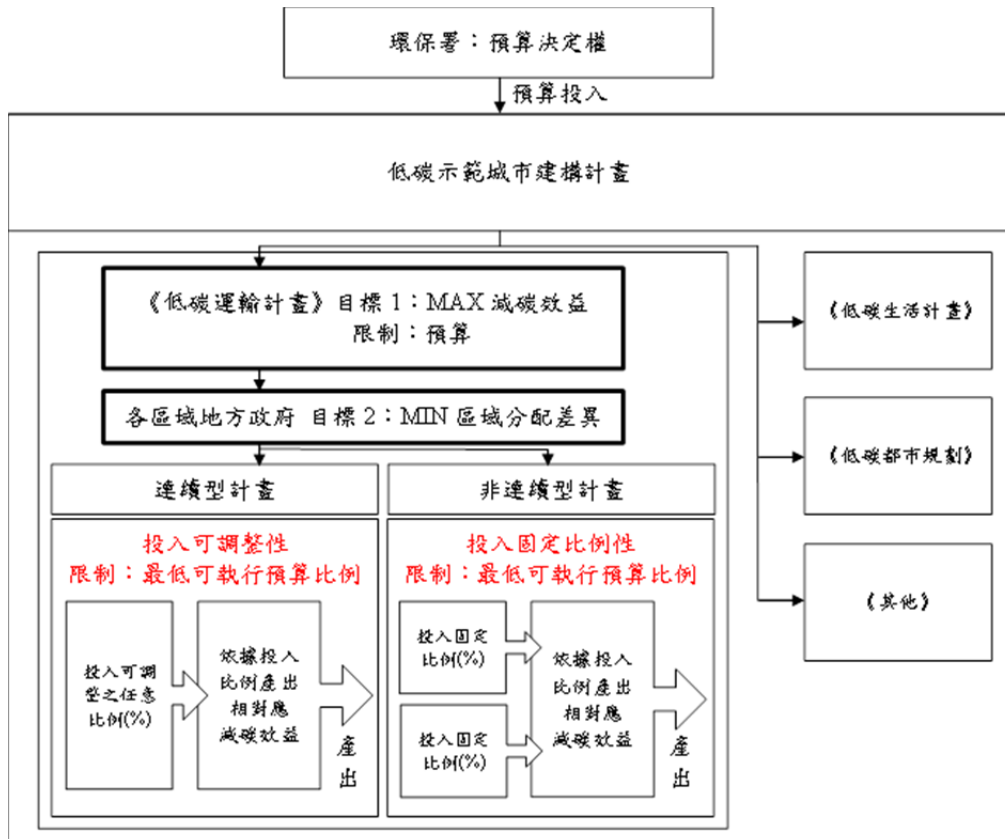


圖 3 研究架構圖

表 1 OECD 成員國各運具模式之能源消耗量(單位：百分比)

運具模式		北美區	歐洲區	太平洋區
客運	Cars	57 (+1.4)	54 (+1.7)	57 (+1.2)
	Buses	1 (+1.5)	3 (+1.3)	1 (+0.8)
	Railways	1 (+0.4)	1 (+1.0)	3 (+0.9)
	Aviation	8 (+2.3)	8 (+4.5)	5 (+3.3)
貨運	Trucks	24 (+2.0)	30 (+2.2)	25 (+1.9)
	Railways	7 (+1.6)	3 (+0.1)	3 (+1.8)
	Shipping	2 (-0.7)	1 (+0.1)	5 (+0.2)

資料來源：World Energy Outlook 2002, OECD Statistics Database。

在私人運具方面，美國運輸部針對溫室氣體減量提出 4 種計畫，包含：採用低碳燃油、增加車輛燃油經濟性、改善運輸系統效率以及減少碳密集旅次活動 (USDOT Report^[51])。

這些計畫具體執行方案包括：發展與採用替代燃料，如氫能源與電能；改善引擎效率、車體設計與輕量化材質減少油耗；鼓勵私人運具旅次移轉至大眾運輸、提升整體公共運輸系統的運作效率；改變旅次活動型態，提倡更具能源效率的運具、增加運具乘載率、與減少非必要旅次。歐盟從提高運具耗能標準方面著手，自 2012 年起限制汽車排放量應小於 100 公克／公里，並推廣省能運具及智慧型汽車。亞洲部分，日本因大眾運輸系統較其他亞洲國家發達，因此著重在節約能源。藉由節約能源法的規範，要求提高運具耗能標準、改善運具系統管理、推廣節能運具以及獎勵省能運具研發（交通部運研所^[6]）。

在替代運輸方面，部分文獻強調發展公共運輸有助於轉移私人運具旅次量，進而減少碳排放量（例：Waterson 等人^[7]；Chester 與 Horvath^[8]；Geels^[9]）。Li 與 Li^[10] 以日本為例說明人口規模較大的城市，公共運輸的減碳效率較高。同樣的，公共運輸系統的推行對於人口稠密的歐洲較容易受到民眾的支持，進而達到減少交通擁擠與減碳目的。反觀美國由於幅員廣闊、使用者習慣與燃油成本低廉，私人運具使用率仍居高不下（Greene 與 Wegener^[11]；Chester 與 Horvath^[8]；Geels^[9]）。Anderson 與 Karathodorou^[12] 針對捷運系統之場站、基礎設施、列車運轉與營運面等提出各項減碳建議（見圖 4）。

Lai 與 Ren^[13] 在其研究中也建議可採取政府、公共運輸及社會大眾三方互動的管理模式，促使大眾積極配合參與低碳計畫的發展。國際運輸論壇（ITF）則認為除發展低碳計畫，同時也必須考量大眾對減排計畫的接受度，以及執行時可能遭遇的障礙與效益評估的問題。因此提出 4 種運輸部門的低碳相關計畫：第一，在運輸需求部分，應盡量減少需求量，並利用重新規劃土地使用、提升乘載率、改變運輸需求型態與規模來減少私人運具之

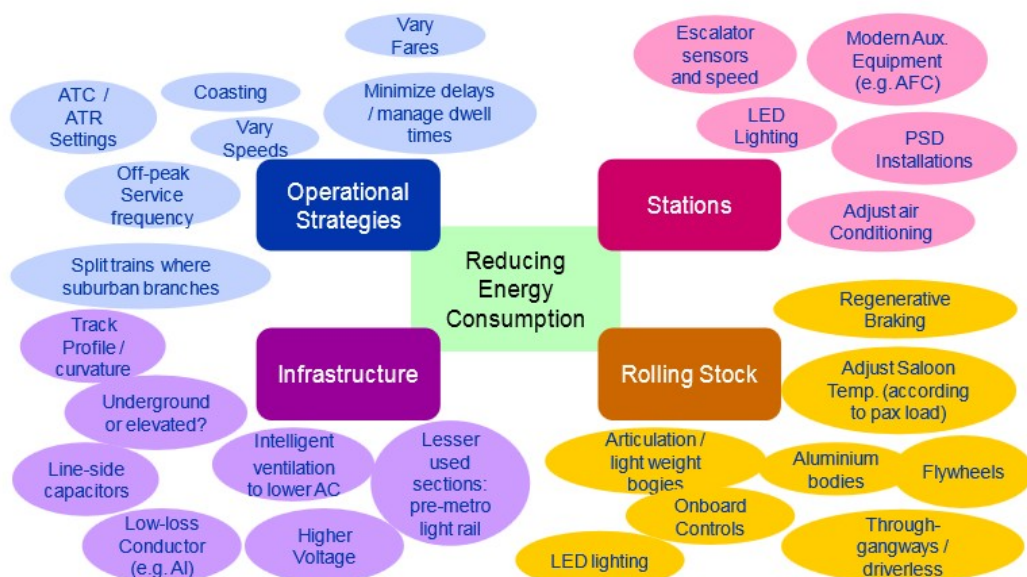


圖 4 捷運低碳計畫架構 (Anderson 與 Karathodorou^[12])

需求；第二，在運具使用方面，提倡使用高效能低污染的運輸工具，如大眾運輸工具或非燃油動力交通工具。第三點則是著重在燃油部分政府應協助發展新型替代燃油科技與車輛節能科技。最後，利用交通控制與管理手段，使車流更順暢以減少怠速所產生的碳排放量。

在公路貨運方面，Li 與 Gao^[14] 藉由成立低碳貨運網路，配合發展半掛式拖車運輸 (semi-trailer swap transportation)，不僅減少貨運物流業二氧化碳排放量，同時增加貨物運輸量與促進運輸網路之營運效率。

綜上所述，低碳運輸政策大部分需要政府機關協助推行才能達到實質效果。根據聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Programme) 估計，目前國際主要城市所產生之二氧化碳，占全球總排放量 80%，故都市政策制定者在推動減碳工作上扮演著相當重要的角色。本研究特別針對國際各大城市與我國減碳計畫之「運輸部門」部分整理，據以研析與比較我國和國際各城市之減碳計畫、目標與未來計畫趨勢，供政府相關部門未來施政參考。

表 2 國外主要城市運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施

國家	主要城市	溫室氣體排放量減量目標		運輸部門節能減碳政策措施
		城市級	國家級 (自訂／議定書目標)	
美國	舊金山	2012 年：排放量比 1990 年水準再降 20%	2002~2012 年：每單位經濟活動排放強度降低 18 % (2008~2012 年：排放量比 1990 年水準降 7%)	1.增加公眾運輸使用率 2.推廣共乘制 3.推廣腳踏車與步行代替開車
	西雅圖	2012 年：排放量比 1990 年水準降 7%		1.打造完善的自行車環境 2.採用生質燃油並推廣油電混合公車 3.大量使用電車 4.興建輕軌大眾運輸系統
	洛杉磯	2030 年：排放量比 2007 年水準降 35%，達到 1990 年的水準		1.提倡潔淨替代燃料與電力車 2.巴士運輸方案 3.建置自動交通監控系統 4.推廣通勤者行程削減計畫
	紐約	2030 年：排放量比 2005 年水準降 30%		1.擴建鐵路系統和改善巴士服務 2.試行道路收費計畫
英國	倫敦	1.2010 年：排放量比 1990 年水準降 20% 2.2050 年：排放量比 1990 年水準降 60%	2008~2012：排放量比 1990 年水準降 12.5%	1.「塞車稅」制度，根據 CO ₂ 排放水平，向進入市中心的車輛徵收費用 2.巴士汰舊換新
日本	東京	2020 年：排放量比 2000 年水準降 25%	2008~2012 年：排放量比 1990 年水準降 6%	制定有利於推廣使用省油汽車的規例。

資料來源：顏君聿^[15]。

表 3 國內運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施

	運輸部門 節能減碳目標	相關法規修訂	技術計畫	經濟誘因與社會宣導
1998年 第1次全國能源會議	2010年累計節約率為15.5%、2020年達23.7%，累計節約量為688萬公秉油當量	修訂「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」，增訂汽機車耗用能源標準	<ul style="list-style-type: none"> 提升汽機車耗用能源標準 推動採用省能運具 開發電動機車燃料電池 健全軌道大眾運輸系統 實施運輸系統管理計畫 發展智慧型運輸系統 降低運輸活動所衍生之環境衝擊 	(1)推動汽燃費改隨油徵收 (2)加強省油車輛宣導
2005年 第2次全國能源會議	2020年累計節約369萬公秉油當量，降低CO ₂ 排放量1,046萬噸，到2025年累計年節約622萬公秉油當量，降低CO ₂ 排放量1,430萬噸	逐步檢討提高汽機車能源效率標準(2009年6月完成「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」修正草案)	<ul style="list-style-type: none"> 健全完善的軌道運輸服務 提升公路及市區公車服務功能 提供民眾便利的交通轉乘服務 落實以綠色運輸系統為導向之土地使用規劃 合理化汽(機)車成長管理 強化私人運具使用管理 運用先進科技 強化運輸需求管理 提升貨物運輸之運作效率 辦理能源領域科技計畫 	(1)推廣低污染省能源運具或交通設施 (2)推廣與宣導綠色大眾運輸系統 (3)推廣節能活動
2008年 永續能源政策綱領	各部門行動計畫，應訂定部門節能減碳績效額度，以達成全國CO ₂ 排放減量目標(規劃於2016至2020年間回到2008年排放量，於2025年回到2000年排放量)	檢討修正道路照明標準降至合理範圍，並符合照明效率	<ul style="list-style-type: none"> 建構便捷大眾運輸網，紓緩汽機車使用與成長 建構「智慧型運輸系統」，提供即時交通資訊，強化交通管理功能 建立人本導向，綠色運具(腳踏車與人行步道)為主之交通環境 推廣電動機車應用 推動「整車自主工業技術建立計畫」，輔導業界發展自主車型之可充電式油電車(PHEV) 加強車輛節能創新技術研發計畫 計程車全面瓦斯化 	(1)推動油電混合動力汽車獎勵推廣措施 (2)鼓勵使用替代燃料運具 (3)加強低污染、低油耗車輛宣導
2009年 第3次全國能源會議	訂定部門節能減碳目標，並逐年檢討及調整，以最低成本規劃可行方案(全國CO ₂ 排放減量目標同永續能源政策綱領，並視後京都時期協議後續發展進行調整)	<ul style="list-style-type: none"> 落實道路管理法規 通盤檢討及修訂交通法令 	<ul style="list-style-type: none"> 發展公共運輸系統 建立友善自行車交通環境 推動共乘制度及資訊化派車系統 提升汽機車新車耗能標準 推動生質燃料 推動零件、系統及整車之輕量化 規劃「後鋰電池」之儲能技術 	(1)推動汽燃費隨油徵收 (2)提供適當措施與誘因，創造電動及燃料電池汽、機車市場 (3)獎勵研發與推廣省能低碳運具 (4)獎勵「後鋰電池」之儲能技術 (5)各種車輛應標示油耗率、年度購油費用 (6)推廣省能交通運具

資料來源：行政院環保署；顏君聿^[16]。

2.2 公共建設計畫評選、預算分配與公平性

近年來公共建設計畫因政府財政日趨艱困，如何在資源有限的情况下，最佳化預算分

配，以達成整體效用最大化，儼然成為一門重要的課題。與民間企業較不同，公營機關分配預算時除考慮政策執行績效，還要考量區域平衡與縮短城鄉差距等議題，同時兼顧計畫生產效益與分配的合理公平性 (Kaplan 與 Michael^[17])。

以往決策者在規劃運輸計畫的同時，成本投入及計畫所產生的價值效果之評估內容往往缺乏較客觀的量化因素，多以非量化等主觀評選方式來進行決策 (例：Meredith 與 Mantel^[18]；Huang 等人^[19]；Puthamont 與 Charoenngam^[20])。Puthamont 與 Charoenngam^[20]建議五大類計畫共 50 項計畫評選標準；Huang 等人^[19]研擬由政府補助之研發科技計畫評選機制，從計畫本身科技程度、計畫執行、效益評估、風險衡量等方面進行評選，發展出 29 項細項評估準則；Meredith 與 Mantel^[18]則從生產、行銷、財務、人力資源管理等方面建議共 44 項計畫評選參考準則。上述研究所羅列之評選準則雖然鉅細靡遺，但實務面卻往往造成評選過程不易聚焦且流於主觀等缺點。

事實上過往文獻不乏應用量化模式進行公共建設計畫評選或預算分配的例子，包含最佳化模型 (例：Wise 與 Perushek^[21]；Zayed^[22]；Anderson 等人^[23]；Gabriel 等人^[24]；楊有恆等人^[25])、模糊理論、多準則評量等計畫評選方式 (例：Huang 等人^[26]；Cristóbal^[27]；Ebrahimnejad 等人^[28])，但鮮少同時進行計畫評選與預算分配之相關研究。

Wise 與 Perushek^[21]在其圖書館收藏資源分配模式下，利用多目標規劃模式在有限總預算下維持館藏成長量、各學科出版量比例平均分配，同時考量專款最小和最大的限制。Zayed^[22]則以公部門角度對橋樑維護工程計畫進行來探討如何分配預算金額。Anderson 等人^[23]利用多目標規劃對一廢棄物焚燒廠進行最大化焚燒量、經濟發展與環境衝擊等評估，納入遺傳演算法求得柏拉圖最佳解。Gabriel 等人^[24]以背包問題為基礎建構預算分配模式，探討如何在有限預算 (即背包容量) 內選擇工程的計畫組合並求解最大化的總計畫價值，文中同時證明此為一 NP 問題，本研究之模型一即參考此模型發展而成。楊有恆等人^[25]在其研究中建構線性規劃預算分配模式，使各產業間貢獻度達到最大，同時使不同產業間之滿意度差距減小之雙目標最佳化模型。

Huang 等人^[26]運用模糊多目標方式來求解公共基礎設施項目的預算分配問題。Cristóbal^[27]運用多準則評量法結合層級分析法 (analytic hierarchy process)，搭配妥協排序法 (i.e. the VIKOR method)，考量社會、經濟、環境與科技等互相衝突之決策目標，來評選西班牙政府挹注之再生能源計畫。Ebrahimnejada 等人^[28]同樣結合妥協排序法與模糊網路分析法 (analytic network process) 來進行建設案之評選。

本研究因所評選之低碳運輸計畫均有各地方政府所提供之量化成本與效益資訊，故朝向發展最佳化模型之計畫評選與預算分配方式。未來若面臨部份計畫成本或效益難以量化估計時，或需要考慮計畫科技創新或風險等質化影響因素，建議可運用模糊理論結合質化與量化模型來進行後續研究。

由於公共建設預算分配之決策問題大部分屬於多目標資源分配最佳化問題，本研究擬藉由整數規劃背包問題構建基礎模式。然而背包問題在過往文獻中大部分應用於計畫選擇 (project selection) 組合問題或僅探討預算分配 (budget allocation) 額度之議題；前者只著重

在計畫的選擇與否，投資風險過高，後者僅探討分配的額度，卻可能造成若干計畫預算配額過少無法正常運作等問題。除此之外，低碳運輸計畫具有多年期、長時效等特性。因此近年來國外類似計畫案例多採用先投入部分預算金額，例如電動車前導、示範計畫等分期分部方法以降低投資風險。

過往談及公共建設計畫預算分配公平性議題的文獻較少。Berger 與 Nasr Bechwati^[29]、Reinartz 等人^[30] 與 Tsao^[31] 從私人產業界的觀點，探討如何分配有限預算來留住舊客戶與吸引新顧客，藉由縮小資源分配之差距，兼顧新舊客戶之間的公平性，達成市占率最大化之目標。

綜上所述，本研究擬導入「計畫可調整性」及「最低可執行預算規模比例」以建構多目標數學規劃模式來達到低碳運輸策略效益最大與提升區域預算分配公平性等兩大目標。「計畫可調整性」即將傳統背包問題之離散變數改為連續變數，以提升預算投入之彈性及體現計畫分期投入的概念；後者「最低可執行預算規模比例」則因考量現實中計畫皆需最低執行成本，計畫投入不得小於該最低規模成本量，以避免計畫無法正常執行。

在衡量分配公平性方面，有別於過往研究多著重於縮小資源（如本研究之預算金額）分配之差距，本研究將投入成本後所預期之效益一併列入公平性參考依據。以避免真正有效率的計畫因為齊頭式的成本公平而被略過，使得預算分配更有效率。

三、研究方法

3.1 問題描述與定義

本研究假設由中央政府行政機關（例如行政院環保署）執行預算分配動作，並希望透過不同的預算分配策略搭配不同的預算限制進行我國低碳運輸計畫評選與預算分配，據以提供中央政府機關規畫預算分配之決策參考。

以下分別定義計畫分配架構、計畫類型、預算分配策略：

（一）計畫分配架構

考量我國現行預算分配方式，本研究假設中央決策機關先依據資金運用方式將不同種類之低碳計畫分門別類（例如：營運型、補貼型、建設型、其他類）。每種計畫類型下涵蓋各地方政府所提出各區域未來減碳發展目標之子計畫，由中央政府進行計畫評選與預算分配。

（二）計畫類型

- （1）連續型計畫：即該計畫之投入不一定是固定量，具有可依比例調整性、可依比例變動性。例如推動宣導等無固定規模資產計畫。

- (2) 非連續型計畫：此種計畫類型預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用於有「不可分割性資產」的計畫。例如購買低碳運具等計畫，一輛運具相當於一「定量」投入，此種類型計畫投入須為「倍數」。

由於各項計畫之總減碳效益已知，為簡化計畫預算調整後之減碳效益估算，本研究假設各子計畫減碳效益及預算兩者為正相關（即投入預算越多，產出減碳效益亦隨之增加），各計畫之成本與減碳效益規模報酬固定，各計畫間也相互獨立；低碳計畫不具有加碳之負效益。

(三) 預算分配策略

- (1) 減碳效益極大化：考量總預算限制，最大化獲得預算分配之子計畫之總減碳效益（未考慮區域相關變數）。
- (2) 區域分配公平性：本研究與以往文獻之探討公平性不同，並非單純以分配到之資源做為衡量依據。因考慮到成本公平未必產出效率也公平，例如區域發展較完整之地區因減碳體質較優良，發展較落後之地區則較為劣勢，使得分配到之預算雖然相同，但也犧牲了些許減碳效益卻無法追求最大化。本研究擬參考各區域平均擬分配之預算，考量投入資源後所產出之減碳效益多寡，納入區域間成本效益比之最小變異數概念，做為投入預算前之預算分配策略。
- (3) 多目標權衡策略：將上述兩種策略依據不同權重加以組合。

模式主要涵蓋兩大類限制式：(1) 總執行預算限制：各區域分配到之預算款項不得超越政府總預算上限；(2) 最低可執行預算比例限制：執行成本需達到一定規模，計畫才得以正常執行。每個子計畫均設有「最低可執行預算比例」，倘若該計畫投入未達到一定標準，則該計畫將不入選也不投入預算。

3.2 模式構建

以下共介紹本研究所構建之三種模式，分別是應用背包問題所構建之整數規劃預算分配模型（即模式 1）、加入考慮預算可調整性與最低可執行預算比例，將計畫分成連續型計畫及非連續型計畫之混合整數規劃預算分配模型（即模式 2）、加入公平性目標式、區域預算配給比例等參數之多目標混合整數非線性規劃預算分配模型（即模式 3）。

3.2.1 變數與參數定義

模式 1 至 3 之相關變數與參數定義分述如下：

- (1) 模式集合符號

K ：計畫類型集合；

I ：計畫執行區域集合；

J_D ：非連續型計畫集合；

J_C ：連續型計畫集合。

(2) 模式參數

B ：可分配預算總額；

n ：區域總數， $i \in I, i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ；

m ：計畫類型總數， $k \in K, k = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ ；

P_D ：非連續型計畫總數， $j \in J_D, j = \{1, 2, 3, \dots, P_D\}$ ；

P_C ：連續型計畫總數， $j' \in J_C, j' = \{1, 2, 3, \dots, P_C\}$ ；

C_{ij}^k ：計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 執行所需成本；

$C_{ij'}^k$ ：計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 執行所需成本；

E_{ij}^k ：計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 預估產生之減碳量；

$E_{ij'}^k$ ：計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 預估產生之減碳量；

L_{ij}^k ：計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 最低可執行預算比例；

$L_{ij'}^k$ ：計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 最低可執行預算比例；

d_{ij}^k ：計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 每投入一單位增額之比例。

(3) 模式決策變數

x_{ij}^k ：模式 1 之決策變數。若計畫類型 k 區域 i 之計畫被挑選，則變數值為 1；反之為 0；

z_{ij}^k ：非連續型計畫配給單位乘數（非負整數）。代表計畫類型 k 區域 i 內非連續型計畫 j 最終所分配到之預算比例乘數；

$r_{ij'}^k$ ：連續型計畫預算分配比例。代表計畫類型 k 區域 i 內連續型計畫 j' 最終所分配到之預算比例；

α^k ：計畫類型 k 之預算分配比例；

β_i^k ：計畫類型 k 區域 i 之區域預算分配比例。

3.2.2 模式 1

為追求計畫執行之完整性，模式 1 假設預算分配必須全部投入或全盤放棄，屬於「all or nothing」的規劃方式。依據每項計畫與子計畫所估計需投入之預算成本與減碳效益，由決策者根據總預算限制挑選計畫（忽略區域相關變數），為典型 0-1 背包問題之應用（詳見式 1-3）。背包問題之相關文獻眾多，Merkle 與 Hellman^[32] 在密碼學之應用為近代較為經典之研究。背包問題是一種組合優化的 NP-Complete 問題。問題可以描述為：給定一組物品（即本研究之計畫案），每種物品都有自己的重量和價格，在限定的總重量內（即本研究之總預算），如何選擇才能使物品的總價格（即本研究之總減碳效益）最高。方程式(1)為最大化總減碳效益目標式，式(2)為總預算限制式，式(3)假設所有計畫執行變數均為 binary 變數（若該計畫被挑選，則變數值為 1；反之為 0）。

$$\max Z_1 = \sum_i \sum_{j \in J} \sum_k E_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_{j \in J} \sum_k C_{ij}^k x_{ij}^k \leq B \quad (2)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3)$$

3.2.3 模式 2

上述由背包問題為基礎發展之模式 1，雖然操作較為容易，但實務上卻可能因剩餘的資金無法再投入任何一項未被選中之計畫，在無法完全將預算用罄的情況下，造成預算分配缺乏彈性。本模式將計畫根據投入預算方式的不同分成連續型計畫與非連續型計畫，藉由將分配方式修正為可變動之比例，使預算分配可任意調整。

$$\max Z_2 = \sum_i \sum_{j \in J_D} \sum_k E_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_i \sum_{\substack{j' \in J_C \\ j \neq j'}} \sum_k E_{ij'}^k r_{ij'}^k \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_{j \in J_D} \sum_k C_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_i \sum_{\substack{j' \in J_C \\ j \neq j'}} \sum_k C_{ij'}^k r_{ij'}^k \leq B \quad (5)$$

$$z_{ij}^k d_{ij}^k \leq 1 \quad (6)$$

$$0 \leq d_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J_D, \forall k \in K \quad (7)$$

$$z_{ij}^k \in \text{non-negative integer} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_D, \forall k \in K \quad (8)$$

$$r_{ij'}^k \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j' \in J_C, \forall k \in K \quad (9)$$

方程式(4)表示計畫類型 k 區域 i 中，被選中之非連續型計畫和連續型計畫，總產出之減碳效益和。假設各子計畫產出之減碳效益與獲分配之預算成線性正比關係。式(5)為總預算限制式。

z_{ij}^k 為非連續型計畫配給單位乘數，為一正整數之決策變數；而欲輸入之參數 d_{ij}^k 則為每一單位增額之比例， $z_{ij}^k d_{ij}^k$ 則代表該非連續型計畫投入多少單位的增額比例（該比例介於 0-1 之間，詳見式(6)）。非連續型計畫因預算投入具「固定比例性」，即預算增加幅度須有一固定規模比例，適用在購置低碳公車等具有實質上「不可分割性資產」的計畫。例如每增購一部低碳公車必須將該計畫投入比例增加 0.2，購置兩部則增加 0.4 以此類推。連續型計畫則與模式 1 之決策變數雷同。

本研究在模式 2 中，試圖藉由決策變數性質的改變，提高預算分配時預算投入之效率及合理性。一般而言，現實層面的決策者在有預算限制情況下，會盡可能地將預算用罄，以增加總減碳效益。

3.2.4 模式 3

前開模式均屬於單一目標決策模式，主要考慮最大化減碳效益。然而政府機關在評估低碳運輸計畫預算分配時，為避免區域發展失衡，對於投入資源是否能兼顧區域均衡發展與公平性，儼然成為預算分配之新興課題。

各區域間之差異在於城鄉發展程度與社經背景條件不同，甚至影響各區域提出之減碳計畫規模與計畫執行效益。為避免只考慮減碳效益最大化目標，導致資源集中在某些發展程度較高之區域；另一方面，為避免當政策僅考慮區域公平性時，齊頭式平等地分配預算至某些減碳能力相對較弱勢之區域。有鑑於此，模式 3 加入「區域公平性」目標式，考量區域預算配給比例，運用最小變異數之概念，在追求減碳效益的同時，減少區域之間預算分配之差異性。

$$\max Z_3 = \sum_i \sum_{j \in J_D} \sum_k E_{ij}^k \omega_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_i \sum_{\substack{j \in J_C \\ j \neq j'}} \sum_k E_{ij}^k \omega_{ij}^k r_{ij'}^k \quad (10)$$

$$\min Z_4 = \sum_i \left[\frac{\frac{\sum_j E_{ij}^k \omega_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_{j', j \neq j'} E_{ij'}^k \omega_{ij'}^k r_{ij'}^k}{B\alpha^k} - \left(\frac{\sum_i \sum_j E_{ij}^k \omega_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_i \sum_{j', j \neq j'} E_{ij'}^k \omega_{ij'}^k r_{ij'}^k}{\sum_i \frac{B\alpha^k}{n}} \right) / n}{\sum_i \frac{B\alpha^k}{n}} \right]^2 \quad (11)$$

$$\text{if } \left(\frac{B\alpha^k \beta_i^k}{C_{ij}^k} \right) - L_{ij}^k = 0, \text{ then } \omega_{ij}^k = L_{ij}^k ; \text{ otherwise} \quad (12)$$

$$\omega_{ij}^k = \max(0, \left(\frac{B\alpha^k \beta_i^k}{C_{ij}^k} \right) - L_{ij}^k) \left(\frac{\left(\frac{B\alpha^k \beta_i^k}{C_{ij}^k} \right)}{\left(\frac{B\alpha^k \beta_i^k}{C_{ij}^k} \right) - L_{ij}^k} \right)$$

$$\text{if } \left(\frac{B\alpha^k \beta_{i'}}{C_{ij'}^k} \right) - L_{ij'}^k = 0, \text{ then } \omega_{ij'}^k = L_{ij'}^k ; \text{ otherwise} \quad (13)$$

$$\omega_{ij'}^k = \max(0, \left(\frac{B\alpha^k \beta_{i'}}{C_{ij'}^k} \right) - L_{ij'}^k) \left(\frac{\left(\frac{B\alpha^k \beta_{i'}}{C_{ij'}^k} \right)}{\left(\frac{B\alpha^k \beta_{i'}}{C_{ij'}^k} \right) - L_{ij'}^k} \right)$$

$$\sum_i \sum_{j \in J_D} \sum_k C_{ij}^k \omega_{ij}^k z_{ij}^k d_{ij}^k + \sum_i \sum_{\substack{j \in J_C \\ j \neq j'}} \sum_k C_{ij}^k \omega_{ij}^k r_{ij}^k \leq B \quad (14)$$

$$z_{ij}^k d_{ij}^k \leq 1 \quad (6)$$

$$0 \leq d_{ij}^k \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J_D, \forall k \in K \quad (7)$$

$$z_{ij}^k \in \text{non-negative integer} \quad \forall i \in I, \forall j \in J_D, \forall k \in K \quad (8)$$

$$r_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j' \in J_C, \forall k \in K \quad (9)$$

$$0 \leq \beta_i^k \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (15)$$

方程式(10)仍為最大化總減碳效益，其中 ω_{ij}^k 之分子項 $B\alpha^k\beta_i^k$ 為計畫類型 k 區域 i 下，該低碳子計畫最終分配到之預算，為各階層之分配比例乘上總預算額度。將 $B\alpha^k\beta_i^k$ 除以分母項 C_{ij}^k ，若該值大於或等於預算最低執行比例 L_{ij}^k ，代表可獲得該預算額度；若該值小於預算最低執行比例 L_{ij}^k ，代表計畫被執行比例與預算分配未達到一定可執行規模，為避免預算浪費而放棄該低碳計畫（ $\omega_{ij}^k = 0$ ，非連續型計畫； $\omega_{ij}^k = 1$ ，連續型計畫；詳見式(12) ~ (13)）。

方程式(11)表示將各區域之每單位投入成本所對應之產出效益與各區域平均單位投入成本所對應之產出效益之差距取變異數，並使其變異最小，目的在於縮短各區域之間分配之差異。式(14)仍為總預算限制式，式(6) ~ (9)與式(15)代表各決策變數之範圍。

由於非線性目標式與限制式使模式成為混合整數非線性規畫問題，此一類型問題不太容易求得全域最佳解，不似一般混合整數規劃問題能透過線性規畫鬆弛 (linear programming relaxation) 或拉式鬆弛 (Lagrangian relaxation) 求取解之界限值；部分目標式與限制式亦無法滿足 Karush - Kuhn - Tucker conditions。同時為避免非劣解、偏好函數所帶來之複雜性，本研究採用加權多目標之方式 (Fateme 與 Tarokh^[33]，詳見式(20))，將原模式簡化為單目標規劃模式後運用最佳化軟體 Lingo 內建 Global Solver 作全域搜尋引擎與運算求解，當參考解收斂至一定值且連續數回合無法改善即停止 (until no further improvement then stop)。同時為探討所設定之權重與最佳解之關係，本研究將雙目標式分別標準化後再進行多目標權衡分析，瞭解權重變化對最佳解值之影響。

$$\min \left(\sum_{i=1}^k w_i^p \left| \frac{z_i(x) - z_i^*}{z_i^{\max} - z_i^*} \right|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (20)$$

四、應用例說明

配合文獻回顧方法、專家訪談及現實資料，本節擬透過應用例來驗證模式可行性，同時探討不同參數設定之敏感度分析與多目標權衡分析之應用結果。假設中央政府決定於計畫類型 k 投入 280 百萬元 (範例 1) 與 400 百萬元 (範例 2) 之預算，共有 3 個區域地方政府各自提出 3、4、2 個連續型與非連續型之低碳計畫 (如圖 5)，相關參數設定如表 4，所有成本單位均為百萬元，所有減碳效益單位均為萬噸，應用本研究所構建之 3 種模式之計畫選擇與預算分配之數值分析結果。各項計畫之預算與減碳效益均為已知，由各區域地方政府委請顧問公司估算提供。

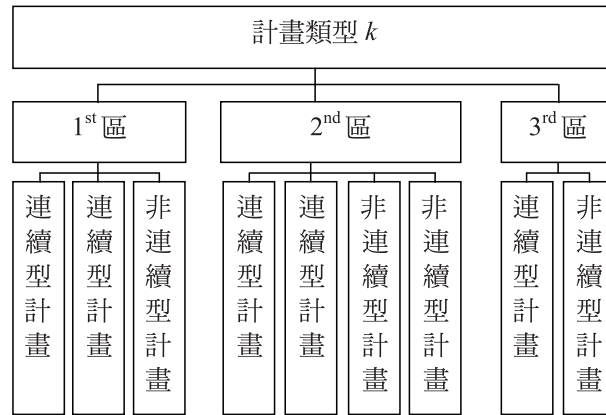


圖 5 範例關係結構圖

表 4 參數設定一覽表

符號	B	n	C_{11}^k	C_{12}^k	C_{21}^k	C_{22}^k	C_{31}^k	C_{32}^k	$C_{11'}^k$
數值	400	3	85	—	98	150	85	—	80
符號	$C_{12'}^k$	$C_{21'}^k$	$C_{22'}^k$	$C_{31'}^k$	$C_{32'}^k$	d_{11}^k	d_{12}^k	d_{21}^k	d_{22}^k
數值	94	83	110	60	—	0.25	—	1/3	1/3
符號	d_{31}^k	d_{32}^k	E_{11}^k	E_{12}^k	E_{21}^k	E_{22}^k	E_{31}^k	E_{32}^k	$E_{11'}^k$
數值	0.2	—	92	—	97	149	89	—	85
符號	$E_{12'}^k$	$E_{21'}^k$	$E_{22'}^k$	$E_{31'}^k$	$E_{32'}^k$	L_{11}^k	L_{12}^k	L_{21}^k	L_{22}^k
數值	95	83	99	72	—	0.2	—	0.4	0.4
符號	L_{31}^k	L_{32}^k	$L_{11'}^k$	$L_{12'}^k$	$L_{21'}^k$	$L_{22'}^k$	$L_{31'}^k$	$L_{32'}^k$	—
數值	0.2	—	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	—	—

其中各低碳計畫最低可執行預算比例之參數設定部分，為區分相對較大規模計劃與相對較小規模計畫，假設若該計畫之成本大於各區域成本平均數，即歸類於大型計畫；反之，小於各區域成本平均數，則歸類於小型計畫。本研究並假設兩目標之間重要程度相同，意即代表著中央決策者對於兩目標同樣重視，因此設定初始兩目標權重比 1：1。假設中央決策單位之總預算為 280 百萬元（範例 1），依據本研究所構建之 3 種模式分配結果如表 5-1 至表 5-3。

表 5-1 總預算 280 百萬元，模式 1 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	0	30.4%	85
		2'	0		
	非連續型	1	100%		
2	連續型	1'	0	39.3%	110
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
		2	0		
3	連續型	1'	0	28.6%	80
	非連續型	1	100%		
投入預算：275 百萬元；減碳量／減碳效益：334 萬噸。					

表 5-2 總預算 280 百萬元，模式 2 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	0	33.6%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	55%	154
		2'	3.64%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	0	11.4%	32
	非連續型	1	40%		
投入預算：280 百萬元；減碳量／減碳效益：359.2 萬噸。					

表 5-3 總預算 280 百萬元，模式 3 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	0	33.6%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	44.2%	37.9%	106
		2'	0		
	非連續型	1	0		
		2	47.2%		
3	連續型	1'	0	28.5%	80
	非連續型	1	100%		
投入預算：280 百萬元；減碳量／減碳效益：355.3 萬噸。					

由範例 1 之總預算分配結果顯示，以背包問題分配（見表 5-1），結果可能會發生預算未用罄，無法發揮減碳效益最大化之情況。模式 2（表 5-2）因解除 0-1 整數規劃限制之緣故，於 3 種情境模式下有最高之減碳效益，但可能會使某區域內計畫被分配到少量預算，造成執行無效率或是無法正常執行該計畫。而模式 3（表 5-3）除藉由公平性目標式來兼顧各區域間每單位成本所產生之減碳效益，同時考慮計畫最低可執行預算比例，即每個計畫最低可執行之規模下限，以避免預算投入無法滿足該計畫最低執行成本。範例 2 之總預算提高為 400 百萬元，3 種模式分配結果如如表 6-1 至表 6-3 所示，其餘參數均與範例 1 相同。

表 6-1 總預算 400 百萬元，模式 1 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	0	0%	0
		2'	0		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	65%	260
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	100%	35%	140
	非連續型	1	100%		
投入預算：280 百萬元；減碳量／減碳效益：355.3 萬噸。					

表 6-2 總預算 400 百萬元，模式 2 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	0	23.5%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	56.5%	226
		2'	69.1%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	0	20%	80
	非連續型	1	100%		
投入預算：400 百萬元；減碳量／減碳效益：506.2 萬噸。					

表 6-3 總預算 400 百萬元，模式 3 分配結果

區域	計畫		決策變數值		
			計畫被執行比例(%)	區域預算配給比例(%)	區域獲得總預算(百萬元)
1	連續型	1'	34.5%	30.4%	112
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	49.6%	198
		2'	60.1%		
	非連續型	1	0		
		2	88.2%		
3	連續型	1'	0	20.0%	80
	非連續型	1	100%		
投入預算：400 百萬元；減碳量／減碳效益：504.7 萬噸。					

由範例 2 之數值分析結果發現，預算額度提高後，所選擇之計畫與範例一不盡相同。雖然模式 1 (應用背包問題) 在本範例恰巧將預算用罄，但區域 1 之子計畫完全未獲分配任何預算，且總減碳效益在 3 種模式裡為最差。模式 3 之計畫選擇與預算分配結果不但能兼顧各區域間預算分配之公平性，其減碳效益與模式 2 在上述兩個範例中並無明顯之差距(約 0.3~1.1%)。

本研究提出 3 種模式以比較不同決策環境、不同目標下的預算分配方。3 種模式彼此

之間並無絕對之優劣，僅提供決策者於面對不同決策環境之決策支援系統。

4.1 敏感度分析

敏感度分析之作用在於探討當個別參數有增減變化時，對於模式優化結果之影響。本研究擬探討下列兩項參數之敏感度分析，據以作為決策者設定相關參數之參考。

4.1.1 預算水準

經由上述範例之數值分析結果可發現，不同預算額度對於各區域計畫選擇之結果會產生影響。本節以總預算 400 百萬元為基礎，每 5%之幅度為一區間，增減至前後 30%，應用模式 3 來進行預算分配，觀察各區域獲得預算分配之變化情形 (如圖 6)。

由於區域 2 計畫之減碳能力較高 (其次是區域 1，最後是區域 3)，當總預算水準不足時，模式會優先分配預算予減碳能力較佳之區域 2。當總預算逐漸增加，跨越過某一預算水準門檻時 (如 380 百萬元至 400 百萬元)，模式會因為公平性目標式之影響，減少優勢區域之預算轉而投入其他區域。最後，當預算到達第 2 個預算水準門檻 (即 460 百萬元至 480 百萬元) 時，減碳能力相對較弱之區域 3 也開始增加預算。因此本研究推論當預算相對充裕時，中央決策者較能針對公平性目標來調整預算分配。

4.1.2 最低可執行預算比例

最低可執行預算比例為模式 3 另一項重要參數設定。範例數值分析部分所採用之預算最低下限分別為「相對小型規模計畫 20% / 相對大型規模計畫 40%」之限制條件，大小型規模之劃分則以所有低碳運輸計畫成本之平均數為標準：大於平均數則歸類為相對大型計

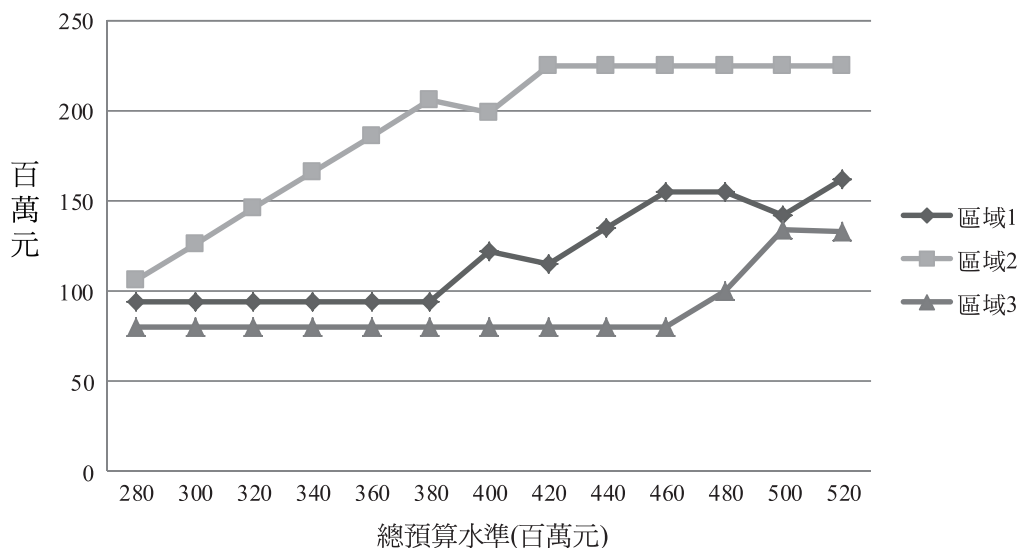


圖 6 不同預算水準對各區域預算分配結果之敏感度分析

畫；反之，則為相對小型規模計畫。本研究將最低可執行預算比例由原本下限之「20%/40%」並以其為基準向上及向下延展區間為-50%至+150%，即「10%/20%」、「30%/60%」、「40%/80%」、「50%/100%」，結果如表 7。

表 7 最低可執行預算比例之敏感度分析

最低可執行預算比例		10/20	20/40	30/60	40/80	50/100
總效益(萬噸)		504.67	504.67	504.67	501.97	500.57
公平性指數 [*]		20200	20200	20200	14325	5212
區域 1 預算分配結果(%)	1-1(小)	34.5%	34.5%	34.5%	40%	50%
	1-2(大)	100%	100%	100%	100%	100%
	1-3(小)	0	0	0	0	0
區域 2 預算分配結果(%)	2-1(小)	0	0	0	80%	93%
	2-2(大)	60.1%	60.1%	60.1%	0	0
	2-3(大)	0	0	0	0	0
	2-4(大)	88.2%	88.2%	88.2%	86%	100%
區域 3 預算分配結果(%)	3-1(小)	0	0	0	0	0
	3-2(小)	100%	100%	100%	100%	50%

註：為方便比較，本研究表中之「公平性」指數為多目標之計畫評選及預算分配規劃模式中第 2 目標式之值，並以倒數表示，為一相對數值。若公平性指標越高，即表示第 2 目標式之值越小，公平性目標分配越均衡。

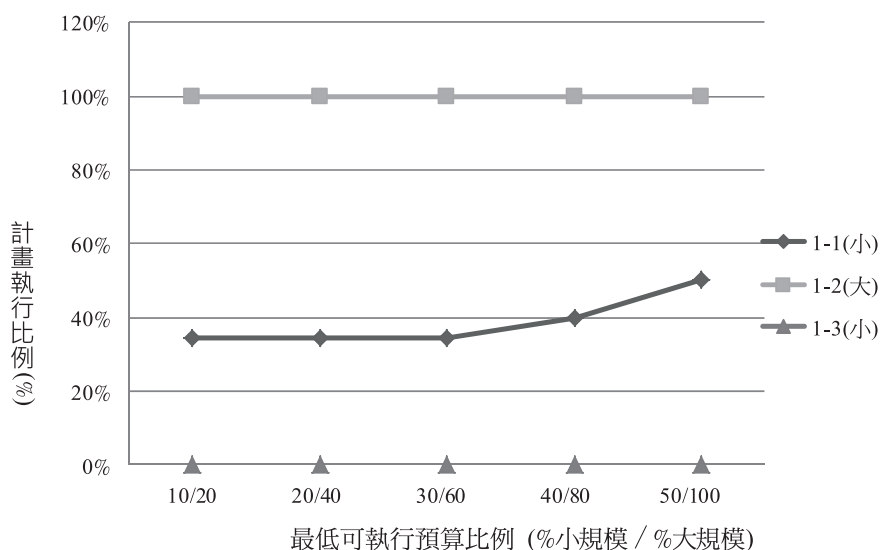


圖 7 最低可執行預算比例對區域 1 內計畫之敏感度分析

表 7 顯示當最低可執行預算比例越高時，代表計畫投入預算限制越嚴苛，總減碳效益呈現逐漸降低之趨勢，分配之公平性同樣會受限於最低可執行預算比例，較難以進行不同區域計畫之預算分配。

以區域 1 為例，由圖 7 可以發現，計畫 1-1 原本在下限 10%/20% 至 30%/60% 時計畫執行比例為 34.5%，但當最低可執行預算比例提升至 40%/80% 時，因下限高於以前面所求出之解臨界值 34.5%，因此模式會自動使計畫 1-1 之預算增加以滿足其下限值。而原本就投入全額預算之計畫 1-2 與完全未分配預算之計畫 1-3 則不受影響。

4.2 權衡分析

範例分析初始假設雙目標之權重為 1:1，即假設雙目標之重要程度視為同等水準。但現實決策環境下因考量因素不同，往往在目標之間會有所權衡。本研究接著探討 9 種總減碳效益極大化目標式與公平性差異極小化目標式之權重比組合（由 5:1 至 1:5）對於模式 3 最佳化結果之影響。為因應兩目標式單位不同，本研究先將模式值予以標準化，再設定兩目標之權重比。

圖 8 顯示在不同權重組合之下總減碳效益變動情形。當公平性目標權重越高（超過 1:3）時，總減碳效益會由 505.5 萬噸減少至 501.5 萬噸，但不同區域得以發展各自的低碳運輸計畫。若一味追求總減碳效益最大化，最終可能導致預算分配過度集中於某些區域。

圖 9 顯示在不同權重組合之下，區域預算分配比例之變動情形。當中央政府越重視減碳效益（即目標式 1 權重越高），則減碳能力相對較高之區域預算配給比例會逐漸升高，造成區域間預算分配嚴重失衡。若中央政府越重視公平性目標（即目標式 2 權重提高），各區域間預算分配差異會逐漸地減少。當雙目標式之權重比趨於某臨界值後，模式總目標值會收斂至一定值。

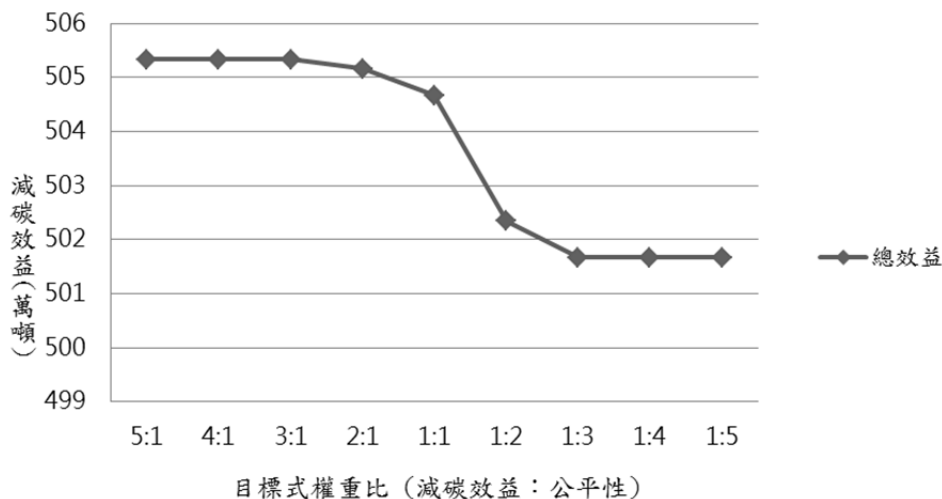


圖 8 不同目標權重比例對總減碳效益之影響

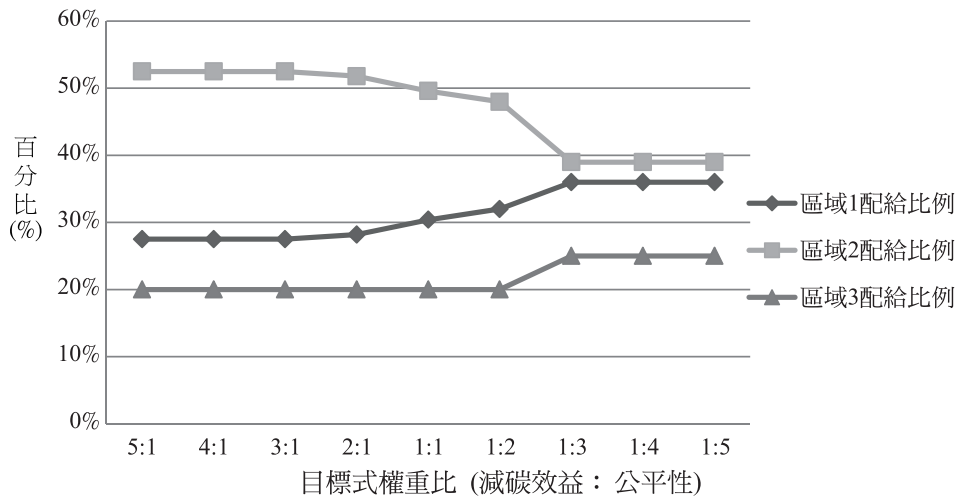


圖 9 不同目標權重比例對區域預算配給比例之影響

五、實證分析

本研究以環保署之「低碳城市建構計畫」進行實例分析，資料數據乃透過各地方政府所提供之計畫報告書而得。部分較為敏感之參數，如環保署之總預算與最低可執行預算比例等原始數據，本研究則使用假設性數據來取代，並藉由第四節之敏感度分析來呈現不同參數設定對於模式最佳化結果之影響。由於該專案計畫目前仍在執行，本研究僅能在不揭露地區名稱下，盡量提供充分資訊（如加註各區域之人口數）。

表 8 列舉各地方政府所提案之部分低碳運輸計畫，其中本研究之實例部分以「電動運具示範計畫」之類型進行相關探討分析。各地區之命名代號以北(N)、中(M)、南(S)三區表示；而各區計畫總數（含連續型與非連續型）分別為 4、3、3。

表 8 國內各縣市運輸部門之低碳計畫部分提案實例

區域別	地方政府	低碳運輸計畫提案
北(N)	A	<ul style="list-style-type: none"> 發展智慧型運輸系統 更新 LED 號誌 健全大眾運輸網路 設置海博館轉運站
	B	<ul style="list-style-type: none"> 推廣大眾運輸 促進運具低碳化，發展替代燃料
	C	<ul style="list-style-type: none"> 自行車租借系統 鼓勵共乘制 鼓勵使用低碳運具(電動機車)

表 8 國內各縣市運輸部門之低碳計畫部分提案實例 (續)

區域別	地方政府	低碳運輸計畫提案
	D	<ul style="list-style-type: none"> • 建構大眾運輸路網 • 建構自行車道系統 • 推廣低碳綠色運具 • 建置即時路況資訊
	F	<ul style="list-style-type: none"> • 推廣低汙染車輛 • 推廣自行車及步行 • 鼓勵共乘制 • 推廣低碳駕駛行為
	G	<ul style="list-style-type: none"> • 健全大眾運輸網 • 規劃自行車道系統 • 規劃行人徒步區 • 推動綠色交通運具 • 推廣低碳駕駛行為
中(M)	H	<ul style="list-style-type: none"> • 興建公車捷運系統 • 發展大眾捷運系統 • 客運業者車輛汰舊換新 • LNG 清潔車隊計畫 • 規劃自行車道系統 • 更新 LED 交通號誌
	I	<ul style="list-style-type: none"> • 建置 LED 交通號誌 • 提倡綠色交通運具
	J	<ul style="list-style-type: none"> • 更新 LED 號誌 • 發展自行車道 • 發展觀光綠能遊艇、纜車系統
	K	<ul style="list-style-type: none"> • 發展公車捷運系統 • 建置電動自行車路網 • 觀光農業低碳路網建置 • 再生能源發電場示範計畫
南(S)	L	<ul style="list-style-type: none"> • 發展低碳運輸觀光 • 提倡低汙染載具
	O	<ul style="list-style-type: none"> • 發展綠色交通 • 改善人行環境
	P	<ul style="list-style-type: none"> • 規畫停車收費差別費率 • 規劃低碳排放區
	Q	<ul style="list-style-type: none"> • 汰換 LED 交通號誌 • 推動綠色運具
東(E)	U	<ul style="list-style-type: none"> • 發展自行車道、鼓勵共乘系統 • 發展智慧型交通控制系統 • 推廣低碳運具
	V	<ul style="list-style-type: none"> • 建構交通串連網絡 • 自行車步道
	W	<ul style="list-style-type: none"> • 更新 LED 交通號誌 • 發展綠色運具 • 推廣共乘制度

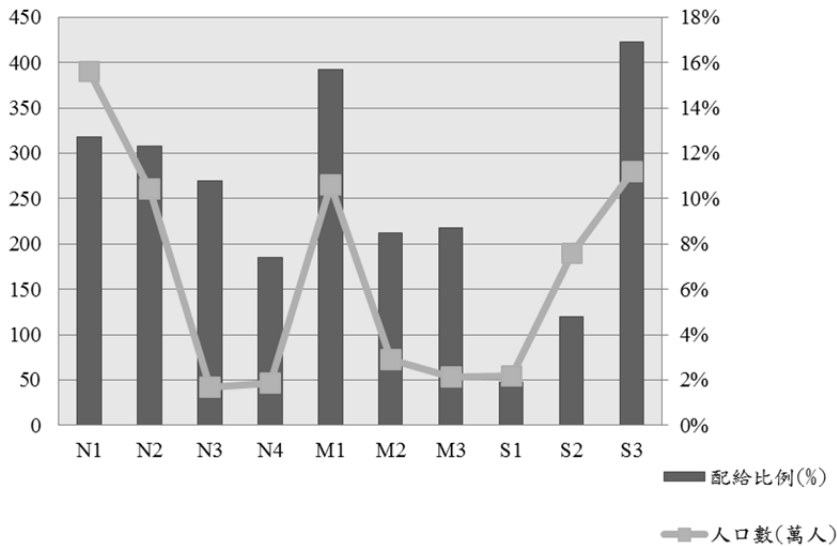


圖 10 「電動運具示範計畫」之實例分配結果

綜觀圖 10 之實例分析結果，北(N)、中(M)、南(S)三區中，人口數相對較多之區域所獲分配之預算較多。推估可能是人口數多之區域在預期減碳效益較高之原因。然而區域 N3 與區域 S2 在人數上差距相當大，但在分配到之預算額度卻剛好呈現與上述觀察之相反趨勢，以人數較低的 N3 區分配到之資源為高。究其原因發現區域 N3 雖然戶籍登記人口數較低，但該區域內設有多所國立大學與數個工業、科技園區，實際居住人口較區域 S2 多，反映在所推出減碳計畫之預期效益也相對較高。其餘區域雖然在預算分配比例較少，但所提出之電動運具計畫之執行比例卻能得到較為完整之預算，因為較弱勢之區域在大眾運具發展仍未完善成熟，因此在電動運具建置方面仍屬於示範型推動計畫，預算總執行成本也相對較低。

本研究所提供之人口數資料僅供參考，模式構建與實例分析仍舊以各地方政府與顧問公司所提供之數據進行分析，未納入區域人口數作為相關變數或參數。值得注意的是各地方政府所提供之數據是否依據戶籍人口數、區域活動人口數或計畫影響之人口數來進行評估，值得中央政府相關單位進行後續追蹤與評核。而本研究之公平性目標式也因而暫不考慮將人口數納入區域公平性之考量參數／變數。

六、結論與建議

本研究以環保署之「低碳城市建構計畫」為例，透過 3 種最佳化模式：應用背包問題之 0-1 整數規劃預算分配模型（即模式 1）、考慮預算可調整性，將計畫分成連續型計畫及非連續型計畫之混合整數規劃預算分配模型（即模式 2）、加入公平性目標式與考慮各計畫

之最低可執行預算比例，所構建之多目標混合整數非線性規劃模型（即模式 3），進行最佳化計畫選擇與預算分配。

由文獻回顧發現過去預算分配多為 0-1 整數規劃議題或是僅探討預算額度如何分配，造成分配彈性不佳。藉由整合兩種分配方法之概念，加入可調整性與最低可執行預算比例之要素，既同時能評選計畫與否與可自由調整投入比例，以增加預算分配之彈性。相較於以往公平性目標多為縮小「分配資源差距」，本研究將投入成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據，避免較有效率的計畫因為齊頭式的成本公平而被忽略，提升預算分配效率。

透過實例分析除驗證模式之可行性，同時可做為日後政府相關公共建設計畫應用於現實決策環境之參考。本研究亦發現各行政區域登記戶籍人口數與實際居住和活動人口數有所差距，甚至部分減碳計畫可能會產生跨區移動之現象，建議未來應建立更嚴謹之計畫投入成本與減碳效益之評估準則，以利後續績效評估與檢核。

模式可依決策者之偏好目標、計畫執行狀況反映於未來計畫執行之參數調校與設定，如權重的搭配組合以及計畫最低限度之規模比例的再調整。當計畫需要重新審視或檢討上年度成本投入之效果時，可利用本模式進行預算重分配。

針對上述研究發現與結果，本研究進一步提出未來研究方向與改善建議，條列如下：

1. 本研究受限於時間、人力及實際資料之完整程度，僅能就低碳城市專案計畫所提供之資料及徵詢專家學者意見而假設之數據進行模式之驗證與測試。建議後續相關研究能蒐集更為完整之資訊以利更完整分析之進行。
2. 因近年來地方共同生活圈之觀念已形成，各區域政府所提審之計畫未必只會影響該行政區域內之戶籍人口數。建議後續未來研究可針對計畫實際可能產生影響之活動人口數再行估計較具體之計畫減碳效益。
3. 為避免未來各區域政府為爭取預算而浮報計畫之減碳效益，建議政府決策單位應建立一公平客觀之計畫評估標準、換算衡量公式與評選機制。同時應針對前一年預算執行狀況與實際減碳效益進行相關評估，不僅可減少提審計畫之單位浮報數據，同時有助於落實政府預算分配之公平正義。

參考文獻

1. IEA (International Energy Agency), *World Energy Outlook 2009*, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) / IEA, Paris, France, 2009.
2. Lee, C., "Transport and Climate Change: A Review", *Journal of Transport Geography*, Vol. 15, 2007, pp. 354-367.
3. Koetse, M. J. and Rietveld, P., "The Impact of Climate Change and Weather on Transport: An Overview of Empirical Findings", *Transportation Research Part D*, Vol. 14, 2009, pp. 205-221.
4. Lenzen, M., Dey, C., and Hamilton, C., *Climate Change, Handbooks in Transport*, Vol. 4, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2003.

5. USDOT Report, "Transportation's Role in Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions", Center for Climate Change and Environmental Forecasting, U.S. Department of Transportation, 2010.
6. 交通部運輸研究所, 運輸設施節能減碳整體發展計畫規劃與資訊平台建置, 民國 99 年。
7. Waterson, B. J., Rajbhandari, B., and Hounsell, N. B., "Simulating the Impacts of Strong Bus Priority Measures", *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, 2003, pp. 642-647.
8. Chester, M. V. and Horvath, A., "Environmental Assessment of Passenger Transportation Should Include Infrastructure and Supply Chains", *Environmental Research Letters*, Vol. 4, No. 2, 2009, pp. 1-8.
9. Geels, F. W., "A Socio-Technical Analysis of Low-Carbon Transitions: Introducing the Multi-Level Perspective into Transport Studies", *Journal of Transport Geography*, Vol. 24, 2012, pp. 471-482.
10. Li, Q. and Li, Q. "Low Carbon Transportation in Japan and Its Developmental Analysis", IET Conference Proceedings, Institution of Engineering and Technology, No. 573, 2010, pp. 142-143.
11. Greene, D. L. and Wegener, M., "Sustainable Transport", *Journal of Transport Geography*, Vol. 5, 1997, pp. 177-190.
12. Anderson, R. J. and Karathodorou, N., "Maximizing the Potential for Metros to Reduce Energy Consumption and Deliver Low Carbon Transportation in Cities", Proceedings of Rail Power Europe Conference, Berlin, Germany, 2012, pp. 1-13.
13. Lai, F. and Ren, J., "On the Necessity and Governance Model of the Construction of China's Low Carbon Transportation System", *Energy Procedia*, Vol. 5, 2011, pp. 1502-1507.
14. Li, H. and Gao, H., "Founding Low Carbon Highway Freight Transportation Networks: An Example Study on Shandong Province", IET Conference Proceedings, Institution of Engineering and Technology, Vol. 2010, No. 573, 2010, pp. 132-137.
15. 顏君聿, 「邁向永續城市, 建構低碳社會: 探討我國城市推動節能減碳策略」, *臺灣經濟研究月刊*, 第 31 卷, 第 8 期, 民國 97 年, 頁 40-49。
16. 顏君聿, 「探討我國城市推動節能減碳計畫」, *臺灣經濟研究月刊*, 第 32 卷, 第 6 期, 民國 97 年, 頁 43-49。
17. Kaplan, E. H. and Michael, H. M., "Allocating HIV-Prevention Resources: Balancing Efficiency and Equity", *American Journal of Public Health*, Vol. 92, No. 12, 2002, pp. 1905-1907.
18. Meredith, J. R. and Mantel, S. J., *Project Management – A Managerial Approach*, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2009.
19. Huang, C. C., Chu, P. Y., and Chiang, Y. H., "A Fuzzy AHP Application in Government-Sponsored R&D Project Selection", *Omega*, Vol. 36, Issue 6, 2008, pp. 1038-1052.
20. Puthamont, S. and Charoenngam, C. "Strategic Project Selection in Public Sector: Construction Projects of the Ministry of Defense in Thailand", *International Journal of Project Management*, Vol. 25, 2006, pp. 178-188.
21. Wise, K. and Perushek, D. E., "Goal Programming as a Solution Technique for the Acquisitions Allocation Problem", *Library and Information Science Research*, Vol. 22, No. 2, 2000, pp. 165-183.

22. Zayed, T. M., "Budget Allocation for Steel Bridge Paint Maintenance", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 18, No. 1, 2004, pp. 36-46.
23. Anderson, S. R., Kadirkamanathan, V., Chipperfield, A. J., Sharifi, V., and Swithenbank, J., "Multi-Objective Optimization of Operational Variables in a Waste Incineration Plant", *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 29, No. 5, 2005, pp. 1121-1130.
24. Gabriel, S. A., Faria, J. A., and Moglen, G. E., "A Multi-Objective Optimization Approach to Smart Growth Inland Development", *Socio-Econ Planning Science*, Vol. 40, 2006, pp. 212-248.
25. 楊有恆、虞孝成、劉宜欣，「資源配置最適化二階層線性規劃模型之研究－以科技專案計畫預算分配為例」，*科技管理學刊*，第 12 卷，第 2 期，民國 96 年，頁 93-124。
26. Huang, W., Teng, J., and Li, M., "The Budget Allocation Model of Public Infrastructure Projects", *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 18, No. 5, 2010, pp. 697-708.
27. Cristóbal, J. R. S., "Multi-Criteria Decision-Making in the Selection of a Renewable Energy Project in Spain: The Vikor Method", *Renewable Energy*, Vol. 36, Issue 2, 2011, pp. 498-502.
28. Ebrahimnejada, S., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemic, H., and Vahdani, B., "A Novel Two-Phase Group Decision Making Approach for Construction Project Selection in A Fuzzy Environment", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 36, Issue 9, 2012, pp. 4197-4217.
29. Berger, P. D. and Nasr Bechwati, N., "The Allocation of Promotion Budget to Maximize Customer Equity", *Omega*, Vol. 29, No. 1, 2001, pp. 49-61.
30. Reinartz, W., Thomas, J., and Kumar, V., "Balancing Acquisition and Retention Resources to Maximize Customer Profitability", *The Journal of Marketing*, Vol. 69, No. 1, 2005, pp. 63-79.
31. Tsao, H. Y., "Budget Allocation for Customer Acquisition and Retention While Balancing Market Share Growth and Customer Equity", *Market Letters*, Vol. 24, Issue 1, 2013, pp. 1-11.
32. Merkle, R. and Hellman, M. E., "Hiding Information and Signatures in Trapdoor Knapsacks", *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 24, Issue 5, 1978, pp. 525-530.
33. Fatemeh, B. and Tarokh, M. J., "A Fuzzy Approach for Multi-Objective Supplier Selection", *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, Vol. 21, No. 1, 2010, pp.1-9.

基隆港區服務因素如何 影響郵輪旅客滿意度

HOW FACTORS OF PORT AREAS SERVICES IN KEELUNG HARBOR AFFECT CRUISE PASSENGERS' SATISFACTION

江勁毅 Chin-I Chiang¹
黃明居 Ming-Jiu Hwang²
謝昌邑 Chang-Yi Hsieh³

(103 年 11 月 7 日收稿，104 年 3 月 11 日第 1 次修改，104 年 11 月 18 日第 2 次修改，
104 年 12 月 20 日定稿)

摘 要

基隆港為臺灣首要的國際型客輪港，近年來積極朝著轉型為觀光遊憩港的方向發展，在亞洲郵輪市場持續成長帶動下，使得郵輪旅運人次逐年攀升。因此，如何在有限的資源下因應目前基隆港區大量的郵輪旅客人潮，使港區所提供之設施服務能符合旅客之需求，是發展郵輪觀光的重要課題。本研究藉由 Tetraclasse 模式探討港區內之相關服務作業及旅客設施等因素對郵輪旅客滿意度之影響程度，據以分類成基本型、關鍵型、加分型以及次要型 4 類因素。本研究建議在資源有限之情形下，可先排除次要型因素，而其他 3 類因素之改善優先順序為：基本型、加分型、關鍵型；即先確保維持基本品質，再以行銷方式創造特色擴大顧客，最後持續優化關鍵要素。

-
1. 玄奘大學餐旅管理學系助理教授兼系主任 (聯絡地址：300 新竹市香山區玄奘路 48 號 玄奘大學餐旅管理學系；電話：03-5302255 分機 1263；E-mail: chinichi Chiang@gmail.com)。
 2. 國立交通大學運輸與物流管理學系教授兼圖書館副館長。
 3. 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士。

關鍵詞：基隆港；郵輪旅客；Tetraclasse 模式；滿意度

ABSTRACT

Keelung Harbor is Taiwan's primal international port of the passenger ship. The current policy "inside for passenger, outside for freight" has been set as the two development directions for Keelung Harbor; however the cruise visitors in Keelung Harbor have steadily increased because of the transformation being towards the tourism and recreation port and growth of Asia's cruise market. Thus how to enhance the Keelung Harbor's facilities and services towards the quality standards of international cruise port under the limited resources circumstances so as to meet the needs of cruise visitors is a vital issue of developing tourism in Keelung Harbor. This study aims to explore how factors of services and facilities provided by Keelung Harbor affect cruise visitors' satisfaction. By using the Tetraclasse model proposed by Llosa (1997), the factors can be categorized into four types, basic, key, plus and secondary, based on their influence degree on satisfaction. Then we suggest that under the circumstances of limited resources, the secondary factors could be ignored, and allocate the resources according to the priority as follows: basic, plus and key. In other words, the basic factors must be maintained to meet quality standards, then focusing on the plus factors to attract visitors by marketing mix, followed by continually optimizing key factors.

Key Words: Keelung harbor; Cruise passenger; Tetraclasse model; Satisfaction

一、前言

郵輪旅遊的旅客在過去僅占全球休閒活動旅客的 2%，但近年來旅客人次迅速的成長。1990 年時選擇郵輪假期的旅客約有 400 萬人次，到了 2009 年則有超過 1,400 萬的郵輪旅客人次^[1]。根據國際郵輪協會^[2]的資料(如圖 1)顯示，北美地區從 2007 年的 1,003 萬人增加至 2014 年的 1,200 萬人，總成長率達 16.5%，平均每年成長 2.36%；歐洲地區從 2007 年的 400 萬人增加至 2014 年的 650 萬人，總成長率達 62.5%，平均每年成長 8.93%；最驚人的是其它地區的旅客成長，從 2007 年的 160 萬人增加至 2014 年的 650 萬人，總成長率達 106.25%，平均每年成長 15.18%。

另外根據英國海運研究機構^[3]推估，亞洲旅客人數占全球郵輪市場的 8%至 9%，亞洲市場預計在 2015 年旅客人次達到 202 萬人次，成長率約為 31.2%，平均年成長率為 6.24%。特別是東亞地區的統計顯示，2015 年相較於 2010 年旅客人次成長了 28 萬人次，成長率約為 38.89%，平均年成長率約為 7.78%。以目前全球郵輪公司將發展重心逐步轉移亞洲，積極開發亞洲郵輪市場來看，亞太區郵輪市場前景相當可觀。亞洲地區郵輪市場除了發展東亞短程航線外，日本、韓國、香港、泰國、新加坡及馬來西亞，及未來中國大陸

的北京、上海及廈門港，均已發展成為歐美郵輪市場全球旅程中海空旅遊 (fly-cruise) 的重要轉運點。其中，大陸更積極發展郵輪市場，打造上海成為亞洲最大國際郵輪母港^[4]。

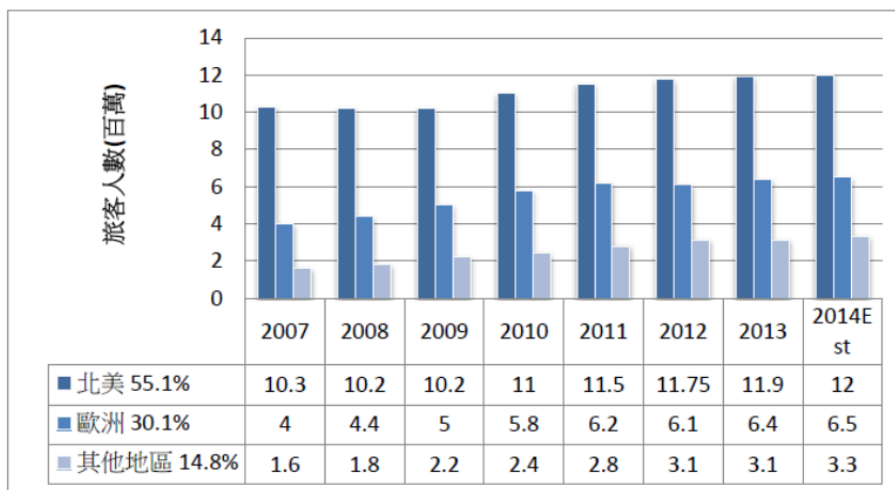


圖 1 2007 至 2014 全球郵輪旅客人次成長^[2]

臺灣係屬海島型國家，位處東北亞及東南亞的交會點，地理位置佳，在港埠功能應多元化發展的今日，發展郵輪產業除了可增進港埠功能外，又可帶動周邊極大的經濟效益。由於船舶大型化以及亞洲消費市場崛起之趨勢，各郵輪公司投入亞洲市場、指派大型郵輪至亞洲營運，因此，臺灣若擬加入郵輪市場，則臺灣各港宜提早檢視碼頭條件是否能夠迎接大型郵輪的到來。亞太地區郵輪產業相對於歐美地區郵輪市場發展相對較晚，且在亞太地區現有港口已經成形的情況下，使得亞洲港口的郵輪停泊作業所需的設施、岸上的旅客設施服務與親水休憩空間等較為不足，因此勢必會影響到郵輪旅客的整體滿意度。

關於影響郵輪旅客滿意度因素的研究，主要可分為船上 (on-board) 因素 (Qu 與 Ping^[5], Petrick^[6], Teye 與 Leclerc^[7]) 和岸上 (on-shore) 因素 (Andriotis 與 Agiomirgianakis^[8], Brida 等人^[9], Chase 與 McKee^[10], Gabe 等人^[11], Seidl 等人^[12], Silvestre 等人^[13]) 的探討。船上的因素包括郵輪上之住宿、餐飲、娛樂、休閒活動等，至於岸上的因素則多數集中在停靠港城市的相關旅遊景點。然而有關影響郵輪旅客滿意度之岸上因素，過去的研究缺乏探討港埠對郵輪旅客所提供服務與滿意度間的關係。港口所提供之服務是整體郵輪旅程產品的一部分，因此其品質與傳遞服務之方式會對郵輪旅客之整體滿意度，與對停靠港城市之旅遊景點的印象產生一定的影響。事實上，對停靠港而言，港口所提供之服務是旅客對所造訪城市岸上活動的第一次體驗，對從其他母港登船之旅客而言，可能未必曾經旅遊過停靠港當地的景點，因此停靠港口所提供之服務會使旅客對當地城市和港口的第一印象有重大的影響。此外，母港的港口服務是郵輪旅客整趟遊程中最先接觸的部分，所以旅程起始點的接觸印象勢必對後續旅程的評價造成影響，進而關係到整體滿意度。

根據 Edvardsson 等人^[14]的研究所言，旅客對港口服務的經驗可視為「關鍵時刻 (moments of truth)」，對其整體滿意度有關鍵的影響。因此近年來許多郵輪產業的利害關係人，包括港務管理當局、港口所在城市政府、或是商業團體等也都積極作為，希望能為郵輪旅客創造價值並提高滿意度，而這些利害關係人所推動之工作成果主要便是經由港口軟、硬體之提升與改善呈現在郵輪旅客面前。然而，這些郵輪產業之利害關係人對港口軟、硬體之資源投入會對郵輪旅客之滿意度會產生何種影響？又影響程度到底有多大？那些因素是郵輪旅客最關切的？那些因素卻是較不具急迫性的？截至目前為止，就研究者所知並無相關的研究進行探討。

Satta 等人^[15]將港口提供之服務分為 6 類不同活動；郵輪港口設施：包括基礎設施、使旅客舒適登船或下船的設施、現代化旅客大樓、適當的空間容量等；接待櫃檯：提供郵輪旅客登船或下船時所需之協助；觀光資訊：包括城市旅遊局處、觀光局等單位提供觀光旅遊手冊；購物區：例如港區內的精品店或紀念品店等；運輸系統：包括港區內的運輸服務、計程車、公車站、接駁巴士站、租車等；安檢：旅客登船或下船時之保安檢查等。本研究主要係探討基隆港現有設施與服務對旅客滿意度的影響，並依影響之差異進行因素分類，進而針對影響旅客滿意度之不同性質因素提出改善建議，以提升郵輪旅客對基隆港整體上的觀感，並進而強化基隆港區郵輪市場在亞太地區上的競爭優勢。

本文章節結構如下：第二節為相關文獻之探討，分別從郵輪觀光港相關設施與服務、郵輪船舶旅客滿意度、郵輪岸上觀光旅客滿意度、港口服務旅客滿意度、以及顧客滿意度與影響因素等面向進行討論；第三節為本研究主要分析法 Tetraclasse 模式概念與理論的說明；第四節主要說明問卷之設計與調查程序，以及調查樣本屬性之敘述統計分析；第五節則為郵輪旅客滿意度影響因素之 Tetraclasse 模式分析，將影響郵輪旅客的因素進行分類；最後則是結論與建議。

二、文獻回顧

2.1 郵輪觀光港相關設施與服務

目前世界上郵輪港口長期規劃的方向，著重於永續使用的發展，而大尺度的郵輪航站設置，在規劃方案時有更嚴謹的成本與效益估算，以找出郵輪經濟與環境衝擊的平衡點^[16]。另外在探討郵輪港設置地點是否適當時，主要還是以交通、航道、環境及土地使用等因素作考量。郵輪產業之相關利害關係人，如港務公司、當地政府、旅客等，普遍認為郵輪港口可以透過改善現有的設施，來持續吸引旅客的來訪^[17]。因此開發新的郵輪航站中心、加強海濱地區沿岸設施的服務，除可成為海港新地標外更能刺激旅遊業及郵輪產業發展。

McCalla^[18]將郵輪港口分成「郵輪母港 (homeport)」、「停泊港 (port of call)」以及「混和港 (hybrid port)」等 3 種郵輪港。Fogg^[17]則將郵輪港口只分成「郵輪母港」及「停

泊港」兩類，並將郵輪母港定義為：靠近郵輪市場，具空陸運支援，可進行郵輪維護與補給，滿足旅客住宿及觀光需求；而停泊港者主要係以觀光為目的、航程約 3 到 7 天的郵輪港口。由於郵輪母港與停泊港的使用目的不同，故其設施及提供的服務便有所差異，依據 Fogg^[17] 的研究，郵輪港的規劃可分成「郵輪母港」以及「停靠港」兩部分來討論：

(一) 郵輪母港的相關設施

郵輪母港內部提供的服務包括：旅客上下船、燃料、食物、補給品的補給，並提供郵輪足夠的停泊位及設備電力的連結補給，而外部則應提供旅客完整的空陸運運輸系統，使旅客得以快速進出郵輪，或進行陸上觀光行程。最後則需提供足夠的國際觀光旅館，使旅客可停留在區內觀光或等候郵輪或客機的航次。

(二) 停靠港 (destination port) 的相關設施

由於停靠港口只有短暫的停留，故不需要如郵輪母港般的複雜設施，大部分的設施與母港郵輪的需求相似。停靠港雖然實質設施服務需求不高，但卻能因為本身特殊地理人文資源或是天然資源而吸引郵輪前來。其原因是郵輪觀光仍是以娛樂休憩為主，港口地區本身若有豐富人文資源當然會是吸引旅客前來的主因。

各郵輪公司其所屬的郵輪多以各公司所制定之國際客輪港為母港，對於郵輪本身而言並無定期以及不定期之分，但對於港口而言，因船期的因素通常將郵輪區分為定期以及不定期。例如對基隆港而言，以基隆港為母港之麗星郵輪，在郵輪航行的旺季，麗星郵輪的寶瓶星號通常於週三、週五、週六以及週日航行，因船期固定，故稱為定期郵輪。而不定期郵輪，係指以基隆港為彎靠港之郵輪。本研究參考基隆港客輪發展作業，針對國際定期郵輪與不定期郵輪的作業屬性，整理出郵輪旅客的相關服務設施需求差異，如表 1。

表 1 定期與不定期郵輪特性及服務設施需求

類別	國際定期郵輪	國際不定期郵輪
旅客設施&港區服務	旅客需要登記報到、候船及通關作業，停留時間較長，候船空間需求大。	停留時間短，對於設施服務需求較少，僅需兌換外幣或相關諮詢服務。
交通接駁&停車場	部分旅客使用大眾運輸前往基隆港區。 小型停車場使用機率低，但需提供旅客接送暫時的停車空間。	少數背包客使用大眾運輸系統。 對於大型遊覽車的停車空間需求大。
親水都市空間	停留基隆港區候船時間長，對於親水空間的需求較大。	停留時間短，大多郵輪岸上觀光行程時間長，需求小。
通關作業	需提供完整的 CIQS 通關設施。	因旅客人次達 2,000 以上已進行登船查驗，需求小。

對於定期的麗星郵輪而言，係以基隆港為郵輪母港，旅客來源大部分為臺灣旅客，隨身行李多、候船及對於旅客服務設施的需求較大，但對於停車場需求較小，此類旅客通常會提早前往東岸旅客中心辦理登記報到手續。反觀國際不定期郵輪旅客來自於其它國家，因該類郵輪係以基隆港為停泊港，旅客以搭乘遊覽車進行岸上觀光或是自由行居多，隨身攜帶的行李較少，通常為了節省通關的時間，旅客人次在 2,000 以上的國際不定期郵輪已先進行證照登船查驗，故對於岸上的 CIQS (海關、移民署、檢疫及安檢) 等服務空間較小，而對於遊覽車停車場空間需求較大。

2.2 郵輪船舶旅客滿意度

阮聘茹^[19] 研究中認為不同旅客的整體滿意度與其重遊意願具有差異性，而旅客的重遊意願明顯受到旅客整體滿意度的影響且為中度正相關，意即旅客對於郵輪旅遊的整體滿意度越高，其重遊意願亦越高。Kwortnik^[20] 在探討郵輪休閒的服務環境影響旅客情感以及在船上的行為研究中，認為郵輪環境對於旅客而言是最基本的因素。Yarnal 與 Kerstetter^[21] 研究分析一群郵輪旅客在郵輪空間中的社交互動，可能創造出富有意義的乘客體驗，提出有關在郵輪上的遊憩空間相關建議，以提升郵輪旅客滿意度。

Duman 與 Mattila^[22] 建議提供具有強烈體驗的設施服務，使得旅客的感知價值與情感反應有直接相關的特性。Hosany 與 Witham^[23] 則認為郵輪公司應提供旅客具有愉快以及難忘的旅遊經驗，以創造出更高的滿意度水準。孟祥民^[24] 研究結果發現遊客的郵輪意象顯著影響滿意度與知覺價值，遊客的知覺價值顯著影響滿意度與購後行為意圖，遊客的滿意度顯著影響購後行為意圖，以及遊客的郵輪意象沒有直接影響購後行為意圖，但滿意度與知覺價值在二者之間具有中介的效果。

2.3 郵輪岸上觀光旅客滿意度

王文賢^[25] 研究認為臺灣郵輪旅遊市場缺乏多樣性，而目前基隆港大樓空間太小、功能不足，且政府對於郵輪經營的法令規定限制過多並且缺少彈性。Andriotis 與 Agiomirgianakis^[8] 研究認為郵輪旅客重遊希臘的伊拉克利翁可能性與旅客本身的動機以及滿意度有關，其中高度影響滿意度的因素包括個人安全性、當地居民友善、商家的態度等。Gabe 等人^[11] 則認為郵輪旅客所居住的地點，會對於重遊港口的可能性產生負面影響，且在港口旅遊的可用時間亦會影響旅客的滿意度。

Eusébio 與 Vieira^[26] 分析葡萄牙地區郵輪旅客認知觀感、滿意度及意圖行為中，結果顯示旅客觀感會直接影響整體滿意度及重遊行為，其整體滿意度與重遊行為會直接影響旅客推薦郵輪行程與否。Brida 等人^[27] 在探討哥倫比亞卡塔赫納港郵輪旅客的滿意度研究中認為，政府應重視城市的基礎設施 (交通、噪音、清潔和基礎設施) 以及當地的購物體驗，結果也顯示旅客對於街頭小販的觀感最差。另 Brida 等人^[9] 在卡塔赫納港郵輪市場分析中認為，當地法規能確保旅客的安全性、臨時行銷策略提供旅客相關服務、以及延長旅客在

港口的可用時間，可能使旅客產生局部的乘數效應。

2.4 港口服務旅客滿意度

Lekakou 等人^[28] 探討郵輪公司選擇郵輪母港時考量之因素，以及因素之重要性排序。透過對先前相關文獻的整理，作者共找出 34 項影響選擇郵輪母港之因素。作者發現，過去關於郵輪旅客整體滿意度的研究都忽略了與港口服務相關的因素。接著作者組成專家小組，透過腦力激盪方式，從港口的競爭力、港口的管理、港口的空間分析、港口在複合運輸中角色、以及政治情勢與法律規範 5 個面向總共列出 81 個因素，分屬於 12 個類別，這 12 個類別分別是：

1. 對郵輪所提供之港口服務 (port services to cruise ships)
2. 港口的天然條件 (natural port characteristics)
3. 對郵輪旅客提供之港口服務 (port services to passengers)
4. 港口設施 (port infrastructure)
5. 觀光景點 (attractive touristic areas-touristic activities)
6. 港口服務之成本 (port services cost)
7. 港口效率 (port efficiency)
8. 港口管理 (port management)
9. 複合運輸之提供 (provision of intermodal transports)
10. 政治狀況與規範 (political conditions & regulatory framework)
11. 城市的機能 (city amenities)
12. 郵輪旅客接觸市場的 (proximity to markets of cruise passengers)

作者將設計之問卷以電子郵件寄送給 24 位受訪者，分別是郵輪公司與郵輪港人員，接著再以電話追蹤，調查期間為 2009 年 1 月 15 日至 2 月 15 日，總共回收 22 份，回收率為 91.67%。調查結果顯示在 12 類因素中，對郵輪所提供之港口服務的重要性最高，平均分數為 4.5 且標準差與偏態係數都低，顯示受訪者的意見非常一致且趨向平均值；其次為港口的天然條件，平均分數為 4.41；第三則是對旅客提供之港口服務與港口的設施，平均分數則為 4.36。排序第五則是旅遊景點與活動。

Satta 等人^[15] 以結構化問卷調查皇家加勒比海郵輪 (Royal Caribbean Cruise Line, RCCL) 的旅客，關於其停靠之 3 個義大利港口 (Genoa, Bari, and Messina) 所提供之港口服務對於旅客整體滿意度之影響，以及整體滿意度是否影響口碑。作者總共發出 1,200 份問卷，每個港口 400 份，最後回收 669 份，剔除不完整之問卷後，有效問卷回收率為 55.75%。研究結果顯示，規劃良好的購物區以及便利的運輸系統顯著地影響旅客的整體滿意度，而整體滿意度與口碑態度間存在正相關。

2.5 顧客滿意度與影響因素

過去的文獻中對滿意度的定義不盡相同，部分學者認為滿意度為一種情緒的反應或是情緒和認知過程中的結果^[29,30]，而這取決於何種相關的研究，因為研究方法會對滿意度的結論造成影響。顧客滿意度 (customer satisfaction) 的概念是源自於『期望不一致理論』 (expectation-disconfirmation theory)，在早期的顧客滿意度的研究主要應用在有形的產品^[31]。但此理論偏重顧客滿意程序而忽略顧客的滿意結構，因而未能建構明確的操作性定義與量表^[32]。Patterson^[33]認為顧客滿意度對於企業與顧客之間建立彼此長久性的關係具有關鍵性的因素。而顧客滿意度在企業行銷策略上是非常重要的議題^[34]。

滿意度的層面可分為「經濟」與「心理」兩方面討論，從「經濟」層面的角度探討，若顧客在購買產品時所花費的「機會成本」或「會計成本」，可由顧客在使用產品服務後的「效益」得到補償時，則顧客對該產品或服務得到滿意結果，反之為不滿意^[33]；而從「心理」層面探討，若顧客感受的「實際結果」較「事先預期」為佳，則顧客產生滿意的結果，反之為不滿意^[35]。

本研究所考慮的顧客滿意度為 Garbarino 與 Jonhson^[36]所定義之綜合觀點，顧客在使用產品服務後立即判斷其評價或是對最近的交易過程中所產生的情緒反應，是為認知與情感兩方面的判斷過程，因此顧客滿意度可視為影響到某產品或服務之各種要素 (elements) 或屬性 (attributes) 的績效的總體評量。更精確地說，滿意度是對一項產品或服務的初始期待 (initial expectation) 和其績效的事後感受 (posteriori perception) 之間的主觀比較的結果^[36]。

許多的研究證實滿意度的增加可以提高顧客的忠誠度，正面的口碑，使顧客不流失，進而使企業的獲利增加^[37]。因此，對於服務產業而言，業者必須了解到底什麼要素或屬性會影響到顧客滿意度，以及其影響之程度究竟為何。透過了解各種屬性對於滿意度之影響程度，業者便可以決定何種服務屬性必須改善以提高滿意度或獲利；而對於需要花費高成本或者對於滿意度之提升有限的屬性則可以忽略。

Robin 與 Giannelloni^[38]整理過去有關滿意度之研究，歸納出 3 種不同的研究觀點：第 1 種觀點是認為其組成要素或者屬性是對滿意度的影響是線性的，換言之，某項產品或服務在滿意度形成過程中，要素屬性的影響權值是固定不變的；因此滿意度和不滿意度是位在同一連續軸的兩個極端。而第 2 類觀點的研究則認為滿意度和不滿意度不是位在同一軸上，也就是影響滿意度的要素或屬性，和影響不滿意的要素或屬性彼此是獨立的。第 3 類觀點則是結合前述兩種，認為滿意度是單一軸向，但有些要素或屬性對滿意度之影響權值是非線性的；例如乾淨的餐廳環境不必然會使顧客滿意，但是骯髒的環境必然引起顧客的反感；又例如提供免費的飲料會給顧客帶來意外的驚喜，但是不提供免費飲料沒有理由就會造成不滿意。以第 3 種觀點為基礎的研究方法，常見有以下 4 種：模擬方法 (simulation method, SM)^[39]、懲罰獎勵對比分析 (penalty reward contrast analysis, PRCA)^[40]、對偶重要度相關圖 (dual importance mapping, DIM)^[41]、以及 Tetraclass 模式^[42]。

有關這些方法的特性，江勁毅，游育杰^[43]歸納出以下結論：DIM、Kano、與 PRCA 都屬於影響權值隨要素的表現結果而變動；DIM 法除直接詢問受訪者主觀宣稱的重要度外，還需推導出要素對滿意度的影響度。PRCA 由於使用複迴歸模式，因此使用上需注意符合相關假設前提；至於最常使用的 Kano 模型，因為 Kano 模型的調查方式需就同一問項以正面形式和負面形式請受訪者各填答一次，當研究的要素數目較大時，可能會造成受訪者的負擔，使得調查資料的精確性受到影響。另外，上述這 3 種方法都無法以視覺化方式呈現分類結果。Clerfeuille 等人^[44]研究指出，當分析複雜的服務時，即包含許多服務要素或屬性，Tetraclasse 模式是衡量服務要素或屬性對滿意度影響的有效工具；此外 Tetraclasse 模式相較於其他要素屬性分類之方法而言，也較為簡單且容易解釋。

有鑑於 Tetraclasse 模式具有上述特點，因此本研究採用 Tetraclasse 模式來對影響郵輪顧客滿意度之港口設施服務因素進行分類。有關 Tetraclasse 模式之應用研究，歐洲方面已有不少研究結果，然而國內則僅江勁毅與游育杰^[43]、張凱涵^[45]、黃明居與高誌宏^[46]分別應用於旅館住宿滿意度、郵政窗口服務滿意度、與自由貿易港區廠商滿意度之研究。

三、Tetraclasse 模式概念與理論

3.1 Tetraclasse 模式概念

Tetraclasse 模式主要是結合對應分析 (correspondence analysis) 的技巧，求得要素對滿意度之影響程度，然後進行分類^[47]。Tetraclasse 模式將要素分成以下 4 種類型：

1. 基本型 (basic)：當顧客對該項要素評價不佳時，會嚴重地導致顧客的不滿意度，然而當顧客對該評價很好時，卻只輕微地增加顧客的整體滿意度。屬於對滿意度影響程度會變動的類型；
2. 加分型 (plus)：當顧客對該項要素評價很好時，會明顯地增加顧客的整體滿意度，然而當顧客對該評價不佳時，也只輕微地導致顧客的不滿意度。屬於對滿意度影響程度會變動的類型；
3. 關鍵型 (key)：無論顧客對要素的評價如何，都會明顯地影響顧客整體滿意或不滿意的程度。屬於對滿意度影響程度不變的類型；
4. 次要型 (secondary)：無論顧客對要素的評價如何，都不會明顯地影響顧客整體滿意或不滿意的程度，屬於對滿意度影響程度不變的類型。

Tetraclasse 模式的應用程序分成 3 個步驟：

1. 使用量表衡量消費者的整體滿意度，接著利用驗證性因子分析 (confirmatory factor analysis) 驗證問項的一致性，如果具一致性則可加總所有問項的分數得到代表消費者感認之整體滿意度的滿意度指標 (satisfaction index)。
2. 建立列聯表，如表 2 所示；表中每一個要素有兩列，一列表達正面評價，另一列則表達

負面評價。直欄則有兩欄，一欄為低滿意度，另一欄則為高滿意度。表 2 形式之列聯表的產生乃是依影響因素表現之問卷調查結果區分成正面與負面評價兩類；接著將整體滿意度之問卷調查結果區分成高、低滿意度兩類，最後再進行交叉分析即可得到。

表 2 Tetraclasse 模式的列聯表

要素評價 \ 滿意度	低滿意度	高滿意度
要素 F_1 正面評價 (F_1^1)		
要素 F_1 負面評價 (F_1^2)		
\vdots		
要素 F_n 正面評價 (F_n^1)		
要素 F_n 負面評價 (F_n^2)		

3. 針對表 2 列聯表中的各要素進行對應分析即可得到各要素正、負向評價及高、低滿意度類別在單一軸向（對滿意度之影響）上的代表數值；當要素之座標愈偏向軸的兩端，則對滿意度影響程度愈強（正向或負向）；而介於高、低滿意度座標中間則對滿意度影響程度弱（正向或負向），如圖 1 所示。

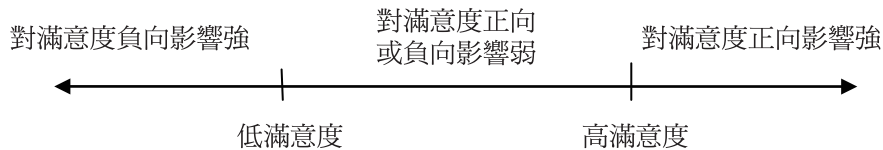


圖 1 對滿意度影響程度之判定

為了以圖形顯示 4 種分類要素的二維空間位置，取圖 1 中低滿意度與高滿意度之區間長度的一半為中心位置，然後將圖 1 中左邊射線 180 度向右邊翻轉，使低滿意度代表數值與高滿意度代表數值重疊，如圖 2 所示。則此重疊位置（圖 2 中虛線垂直線）即為此軸向之座標參考原點，原點右邊為正座標值表示高影響度區，而原點左邊為負座標值表示低影響度。圖 2 中之 d_A 表示 A 點經翻轉後與參考原點之距離。

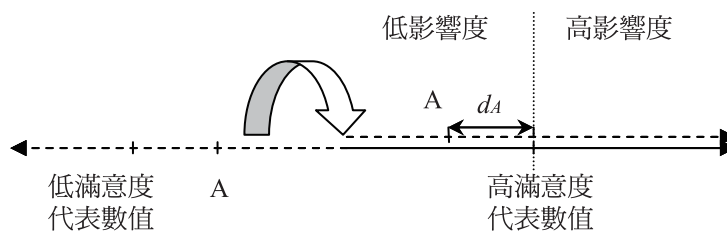


圖 2 Tetraclasse 模式要素空間座標之決定

4. 各要素經由上述 3 步驟的分析可以得知在 x 軸向以及 y 軸向上之影響度強、弱之歸屬，因此各要素可清楚標示於圖 3。

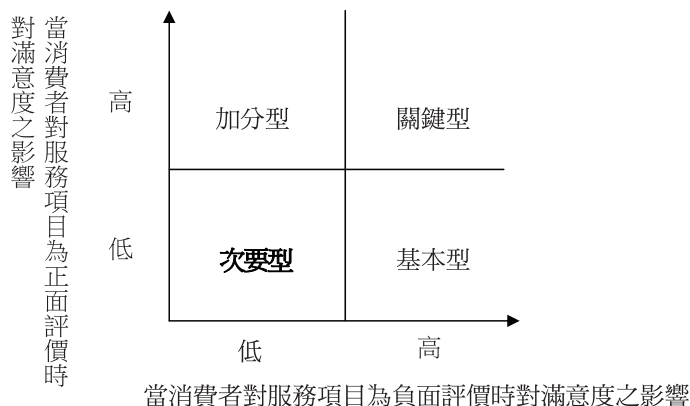


圖 3 Tetraclasse 模式二維空間分類示意圖

3.2 Tetraclasse 模式理論

前一小節主要敘述 Tetraclasse 模式的操作概念，本小節將詳細說明其數學型式。假設有 n 個影響滿意度之因素，分別表示為 F_l ， $l \in \{1, \dots, n\}$ 。我們以 F_l^k ， $k \in \{1, 2\}$ ，表示第 l 個因素的第 k 種服務表現，例如 F_l^1 表示第 l 個影響因素的正面評價，而 F_l^2 表示第 l 個影響因素的負面評價。滿意度則是分成 j 種類型，以符號 S_j 表示，若滿意度僅分成高滿意度與低滿意度兩類，則以 $j \in \{1, 2\}$ ，表示。

在因素的表現類型與滿意度分類所形成的列聯表，如表 2，以 f_{ij} ， $i \in \{1, \dots, 2n\}$ ， $j \in \{1, 2\}$ ，表示對第 i 列因素表現其滿意度屬於 j 類別下所觀測到次數。特別注意，由於每一種因素區分成兩種表現結果，即正面評價與負面評價，因此列聯表會有 $2n$ 列。同時令 $f_{i\cdot} = \sum_j n_{ij}$ ， $f_{\cdot j} = \sum_i n_{ij}$ ，和 $f_{\cdot\cdot} = \sum_i f_{i\cdot} = \sum_j f_{\cdot j}$ 分別為各橫列之總和、各直欄之總和、以及全部之總和。

令 $P = [p_{ij}]$ 為具有 i 橫列與 j 直欄的相對次數表格，其中：

$$p_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_{\cdot\cdot}}, i \in \{1, \dots, 2n\}, j \in \{1, 2\}; \text{ 並且 } p_{i\cdot} = \frac{f_{i\cdot}}{f_{\cdot\cdot}}, p_{\cdot j} = \frac{f_{\cdot j}}{f_{\cdot\cdot}}.$$

接著令 $D_I = \text{Diag}(p_{1\cdot}, \dots, p_{i\cdot})$ 、 $D_J = \text{Diag}(p_{\cdot 1}, \dots, p_{\cdot j})$ ，且 $X = [x_{ij}] = D_I \cdot P \cdot D_J^{-1} - 1_{IJ}$ ，其中 $x_{ij} = \frac{f_{ij}}{p_{i\cdot} \cdot p_{\cdot j}} - 1$ 。

令向量 u_1 （第一主軸）為在 R^J 空間中符合下列方程式的解： $X^T D_I X D_J u_1 = \lambda u_1$ ，同時 $u_1^T D_J u_1 = 1$ ，其中 λ 為最大之特徵值。

因此高、低滿意度相對應於第一主軸的座標位置向量為：

$$Z(S) = XD_J u_1 \quad (1)$$

滿意度座標向量 $Z(S)$ 中各元素以 $z(S_j)$ ， $z(S_j) \in R$ ，表示，此值代表第 j 種滿意度類別經對應性分析後所得到之相對位置數值。

同樣地，令 v_1 為 R^I 空間中符合下列方程式的解： $XD_J X^T D_I v_1 = \lambda v_1$ ，同時 $v_1^T D_I v_1 = 1$ ，其中 λ 為最大之特徵值。

因此各要素表現相對應於第一主軸的座標位置向量為：

$$Z(F) = X^T D_I v_1 \quad (2)$$

因素座標向量 $Z(F)$ 中各元素以 $z(F_l^k)$ ， $z(F_l^k) \in R$ ，表示此值代表第 l 個因素 k 種服務表現結果經對應性分析後所得到之相對位置數值。

Tetraclasse 模式之分類方法最大好處可以視覺化呈現分類結果，以下即說明如何繪製因素分類結果。

定義 $a \equiv \min\{z(S_1), z(S_2)\}$ ，以及 $b \equiv \max\{z(S_1), z(S_2)\}$ 。透過(3)和(4)式的轉換，可以得到各因素 l 的二維座標 (d_{x_l}, d_{y_l}) 。

$$d_{x_l} = \begin{cases} a - z(F_l^2), z(F_l^2) \leq a \\ \min\{z(F_l^2) - a, b - z(F_l^2)\}, a < z(F_l^2) < b \\ z(F_l^2) - b, z(F_l^2) \geq b \end{cases} \quad (3)$$

$$d_{y_l} = \begin{cases} a - z(F_l^1), z(F_l^1) \leq a \\ \min\{z(F_l^1) - a, b - z(F_l^1)\}, a < z(F_l^1) < b \\ z(F_l^1) - b, z(F_l^1) \geq b \end{cases} \quad (4)$$

此座標代表各因素相對於影響程度判斷門檻 (a, b) 之相對距離，例如 d_{x_l} 表示因素 l 的負面表現之對應性分析數值相對於影響程度判斷門檻之距離；而 d_{y_l} 表示因素 l 的正面表現之對應性分析數值相對於影響程度判斷門檻之距離。相對距離座標軸的 4 個象限與 4 種分類類型之對照關係如表 3 所示。

表 3 相對距離座標軸的 4 個象限與 4 種分類類型之對照

$F_l^2 \backslash F_l^1$	$d_{y_l} > 0$	$d_{y_l} < 0$
$d_{x_l} > 0$	關鍵型	基本型
$d_{x_l} < 0$	加分型	次要型

四、問卷設計與調查

本研究首先探討過去相關研究所篩選郵輪旅客對於港區設施與服務之滿意度的影響因素，接著於 2014 年 3 月期間與目前具有郵輪旅遊行程服務的國內旅行社業者進行訪談。目前國內代理郵輪之業務分為兩種，第 1 種為主要服務母港郵輪旅客，國內旅行社與母港郵輪公司進行合作而代替郵輪公司提供給母港郵輪行程的售票行為；第 2 種為主要服務彎靠郵輪旅客，國內旅行社與彎靠郵輪公司合作，在郵輪靠港後依照旅客所選擇的岸上旅遊觀光行程，經由旅行社業者提供岸上旅遊行程之服務。因此本研究訪談業者包括以母港郵輪業務為主之業者兩家，以及彎靠郵輪業務為主兩家，訪談形式係採開放式。

與旅行業者之訪談主要是了解郵輪旅客之活動，藉以釐清旅客之服務需求。從訪談內容整理得知，旅客出發至基隆港區的運具選擇有所不同，大部分旅客會搭乘大眾運輸，而少部分旅客經由旅行社所安排的遊覽車來搭程前往基隆港區，也有部分的旅客會自行開車前往港區。自行開車與搭乘遊覽車的郵輪旅客需要港區提供停車空間，而搭乘大眾運輸的旅客沒有停車空間的問題。旅客到達港區後可體驗都市環境以及港區的親水空間，一般而言，郵輪船舶停靠後有充足的時間讓旅客在港區進行其它的活動後再離港，而旅客在進入的港區親水空間後依照個人偏好可在港區進行購物，在登船前於基港大樓內兌換外幣以及至旅行社櫃台辦理登記報到。通常郵輪登船時間有限制，旅客大多會在旅客大廳內等候通關，在這期間內旅客對於港區的旅客設施與服務的有大量的需求。通常旅客的通關時間會定在郵輪離港前的一小時至兩小時之間，可讓郵輪旅客陸續開始進行通關程序作業，海關檢查行李、動植物檢疫、證照查驗等程序，旅客可在通關後大樓內的免稅商店區進行購物，最後進行登船作業。

接著本研究另於 2014 年 4 月期間前往基隆港務公司與郵輪業務人員進行訪談作業，以了解目前基隆港區針對郵輪旅客所提供設施服務種類，以及港區周遭環境。根據訪談結果，瞭解目前基隆港區客輪營運作業區分為東、西兩岸，東岸主要為國際航線郵輪業務相關作業，西岸則為國內航線以及兩岸航線為主。東、西兩岸碼頭旁均設有一座旅客中心，提供旅客設施、相關服務及進行通關作業等，其中包括船期提供、客輪相關業務諮詢、提供旅遊觀光資料、兌換外幣、置物櫃、免稅商店、廁所、座位等，而其中西岸旅客中心依照船期會不定期的在碼頭設攤，來滿足大陸旅客的消費習性，東岸則無提供碼頭小販之服

務；但對於東岸的外籍旅客則在基港大樓提供計程車諮詢服務處，可供國外旅客相關導覽服務，西岸碼頭則無提供此項服務。

4.1 問卷設計

本研究關於衡量影響「要素評價」與「整體滿意度」的標準，主要係根據過去文獻 Bida 等人^[27]所構建的問項內容作為參考依據。根據文獻所構建的問項內容，本研究實際參訪基隆港區之東西岸旅客中心，了解基隆港區岸上設施服務和鄰近都市環境是否符合 Bida^[27]所構建的問項內容，進而作為本研究在郵輪旅客對於基隆港的岸上設施「要素衡量」與「顧客滿意度」的指標。

(一) 郵輪港滿意度衡量

在整體滿意度問項方面則分為整體表現與服務價值兩個面向設計，按照各別面向設計出基隆港區郵輪旅客之「整體滿意度」量表，如表 4 所示。

表 4 整體滿意度問項設計

衡量之變數	問項內容
整體表現 ^[47]	Q1 整體上我對基隆港區所提供的服務滿意度良好。 Q2 整體上我對基隆岸上設施的觀感良好。
服務價值 ^[19]	Q3 有機會我還會想再搭乘經基隆港的郵輪旅遊行程。 Q4 我會想推薦有基隆港的郵輪行程給親友。

(二) 影響郵輪港區服務要素衡量

本研究經由與旅行社與港務公司郵輪業務訪談後，了解目前基隆港區針對郵輪旅客的設施服務種類以及兩種類型郵輪旅客之需求後，將郵輪旅客所使用之港區設施與服務主要分為 5 個衡量構面，包含了「港區服務」、「交通接駁」、「旅客設施」、「親水都市空間」及「通關作業流程」5 個面向進行問卷設計。由於問卷 5 個構面下之影響因素皆是與郵輪業務相關之業者和主管單位深入訪談所獲致之結果，因此本研究認為具有一定之專家效度。

4.2 問卷調查

本研究首先發放前測問卷並運用信度分析來確認問卷之各問項是否需要刪減。根據 Hair 等人^[48]建議檢測 Cronbach's α 係數是否達到 0.7 以上，作為第 2 階段正式問卷問項更改的依據。本研究所採用的抽樣方法為「便利抽樣」(convenience sampling) 中的空間抽樣法來選取樣本，於 2014 年 4 月 18 號至 2014 年 4 月 23 號進行第 1 次前測問卷發放，直接至基港大樓內的旅客候船大廳現場 (東 2 碼頭) 對郵輪旅客發放問卷，以及至東 3、4 碼頭岸上進行發放問卷。發放前測問卷總共 100 份，回收份數 100 份，總回收率為 100%。本研究設定問卷填答完整才視為有效問卷，而回收問卷中有 28 份問卷未填答完整，故有效問卷的比例為 72%。

接著本研究將所回收的有效前測問卷進行信度分析，得到整體的 Cronbach's Alpha 值為 0.966，以及對整體滿意度問項進行信度分析後得到整體的 Cronbach's Alpha 值為 0.906。本研究以回收的前測問卷為依據，將問項中郵輪旅客不經常使用的設施及服務之相關問項剔除，並且從旅客所關心的設施服務中加入其問項內容，作為本研究的影響因素參考依據，增減要素過後的 35 個影響因素作為第二階段正式問卷的問項，請參見附錄 A。母港郵輪問卷與彎靠郵輪問卷之因素差異如表 5 所示。

表 5 不同郵輪型態之影響因素差異

衡量之構面	母港郵輪影響因素	彎靠郵輪影響因素
旅客設施	增設親子空間、增設數位化系統	—
港區服務	—	船期提供、工作人員溝通能力
交通接駁	聯外可及性	司機親切度
親水都市空間	海洋廣場安全性	旅館品質、附近旅遊景點
通關作業流程	登記報到、動線規劃、需另設置外籍旅客之通關設備、實施快速通關	通關流暢度、通關作業安全性、海關人員的親切度、海關人員的溝通能力

本研究於 2014 年 5 月 9 號至 2014 年 5 月 18 號期間進行正式問卷的發放，期間內係以 5 艘隸屬麗星郵輪公司的「寶瓶星號」的母港郵輪旅客為對象，以及 3 艘隸屬公主郵輪公司的「鑽石公主號」和「藍寶石公主號」的彎靠郵輪為對象。對「寶瓶星號」旅客共發放中文問卷 250 份問卷，由於「公主郵輪」旅客來源以日本旅客為大宗，且旅客年齡層大多為年長的旅客，具語言隔閡問題，故對於「公主郵輪」旅客發放英文問卷僅有 35 份。母港郵輪問卷回收 250 份中文問卷，彎靠郵輪則回收 35 份英文問卷，回收率為 100%；其中母港郵輪有效問卷 200 份，彎靠郵輪問卷為 30 份，有效問卷比例分別為 80%與 85.7%。信度分析顯示母港郵輪與彎靠郵輪正式問卷整體的 Cronbach's Alpha 值分別為 0.922 與

0.734。雖然相較於前測問卷的 0.966 來的低，但仍符合 Hair 等人^[48]建議達 0.7 以上，故正式問卷仍為高信度。母港與彎靠調查樣本之屬性分布則分別如表 6 及表 7 所示。

母港郵輪問卷調查樣本中以女性居多 (56.5%)，年齡層以 18-29 歲約占三成較多，職業類別則是以服務相關產業占多數 (35.5%)，所得區間以 4 萬至 6 萬比例較高 (32.0%)，大專以上教育程度約占八成，而港區停留時間則以 2 至 3 小時占 1/3 以上。彎靠郵輪問卷調查樣本中以男性居多 (70.0%)，日本籍旅客占五成以上，年齡層以 30-50 歲者居多合計占六成，職業類別則是以商業占多數 (56.7%)，年收入以 4 萬美金以上比例較高 (46.7%)，大專以上教育程度約占九成，而港區停留時間也是以 2 至 3 小時最多 (63.3%)。

表 6 母港樣本屬性次數分配表

屬性項目		人數	比例
性別	男性	87	43.5%
	女性	113	56.5%
年齡	18 歲以下	6	3.0%
	18-29	61	30.5%
	30-39	44	22.0%
	40-49	42	21.0%
	50-59	29	14.5%
	60-69	13	6.5%
	70 歲以上	5	2.5%
職業	學生	24	12.0%
	軍公教人員	6	3.0%
	商／服務／金融	71	35.5%
	工／製造／營造	40	20.0%
	農／林／漁／牧	1	0.5%
	家管 (退休)	27	13.5%
	自由業	17	8.5%
	其他	14	7.0%
月所得	無	32	16.0%
	20,000 以下	12	6.0%
	20,000~39,999	57	28.5%
	40,000~59,999	64	32.0%
	60,000~79,999	12	6.0%
	80,000~99,999	7	3.5%
	100,000 以上	16	8.0%

屬性項目		人數	比例
教育程度	小學	2	1.0%
	國中	4	2.0%
	高中 (職)	36	18.0%
	大學 (專)	134	67.0%
	研究所	24	12.0%
港區停留時間	1~2 小時	33	16.5%
	2~3 小時	71	35.5%
	3~4 小時	59	29.5%
	4~6 小時	29	14.5%
	6 小時以上	8	4.0%

表 7 灣靠樣本屬性次數分配表

屬性項目		人數	比例
性別	男性	21	70.0%
	女性	9	30.0%
國籍	中國	12	40.0%
	日本	17	56.7%
	歐洲	1	3.3%
年齡	18-29	1	3.3%
	30-39	9	30.0%
	40-49	9	30.0%
	50-59	7	23.3%
	60-69	4	13.3%
職業	商業	17	56.7%
	工業	9	30.0%
	家管	4	13.3%
年收入(美元)	8,000 以下	4	13.3%
	16,000~23,999	6	20.0%
	24,000~31,999	4	13.3%
	32,000~39,999	2	6.7%
	40,000 以上	14	46.7%
教育程度	小學	1	3.3%
	高中	27	6.7%
	大學	134	90.0%
港區停留時間	1~2 小時	4	13.3%
	2~3 小時	19	63.3%
	3~4 小時	6	20.0%
	4~6 小時	1	3.3%

五、郵輪旅客滿意度影響因素之分類

本研究將郵輪旅客分為兩類進行研究，第 1 類為以基隆港為郵輪母港之麗星郵輪旅客，第 2 類為以基隆港為停泊港之郵輪的郵輪旅客。因兩類旅客對於岸上服務設施需求不同，且旅客來源亦不同，故本研究分別對兩類郵輪旅客進行分析 Tetraclasse 模式，將影響郵輪旅客的因素進行分類。

本研究係以李克特五尺度量表，「非常同意」、「同意」、「普通」、「不同意」及「非常不同意」，來衡量郵輪旅客對於各影響因素表現的評價，若對影響因素的表現高度肯定則判定該要素為「非常同意」，依此類推；因此，若對影響因素的表現極度不滿則判定為「非常不同意」。

接著將旅客對各要素的評價，分為正面評價與負面評價。一般而言區分的方式有兩種，第 1 種是將「非常同意」與「同意」歸類於正面評價，而「不同意」與「非常不同意」歸類於負面評價；第 2 種是直接用平均值為劃分標準，將所有旅客對於某要素的評價加總後取平均值，以該平均值做為基準，低於平均值為負面評價，高於平均值為正面評價。而本研究採用平均值的方法，因採用第 1 種方式會排除掉「普通」的選項，使用平均值法才能將所有樣本值考慮進去。

衡量郵輪旅客整體滿意度的問項共有 4 題，因此使用 4 題問項之總和代表旅客之整體滿意度。同樣使用平均值法來區分旅客的整體滿意度為「高滿意度」或是「低滿意度」，若旅客整體滿意度加總後數值低於總平均值，則為「低滿意度」，反之為「高滿意度」。

根據上述將所有郵輪旅客對於整體滿意度以及個別要素區分過後，則可建立要素評價項目與滿意度之列聯表後，進行對應性分析，即可得到各別要素之對應分析結果與其分類所屬之區域，如表 8 至表 11 所示，以下依序分別說明關鍵型、基本型、加分型及次要型分類之因素。

表 8 中的要素歸類為「關鍵型」，「關鍵型」要素的特性為郵輪旅客對要素的評價不論是正面或是負面時，對於影響郵輪旅客的整體滿意度影響程度大，也就是說當此類設施完善或服務品質高，可使郵輪旅客的整體滿意度可大幅提升；反之，若此類設施不夠完善或服務品質低導致郵輪旅客的整體滿意度會大幅下降，故位於「關鍵型」內的要素對於郵輪旅客而言是相當重要且有感的，且要素在二維空間圖中越靠近右上的位置越為敏感。從表 8 可看出，對於母港郵輪旅客而言有 10 個因素屬於關鍵型，主要與港區服務和通關流程相關有關；對於彎靠郵輪旅客而言有 8 個因素屬於關鍵型，主要與親水空間有關。

表 9 中的要素歸類為「基本型」，「基本型」的要素特性為當郵輪旅客對要素的評價為正面評價時，對於郵輪旅客整體滿意度的影響程度僅有些許的影響；而當郵輪旅客對要素的評價為負面評價時，對於郵輪旅客整體滿意度具有強烈的影響程度。也就是說「基本型」要素為郵輪旅客認為基隆港區內的該類型的設施服務，具有一定的品質僅是達成基本要求。故當此類型設施完善或服務品質高時，對於郵輪旅客的整體滿意度並不會有太大

的影響；反之，若此類設施不夠完善或服務品質低時，會導致郵輪旅客的整體滿意度大幅下降。「基本型」要素對於郵輪旅客而言是基隆港區所必須提供的設施與服務，此類要素影響旅客的觀感甚大，故對於這類型的設施服務，基隆港區須具有相當足夠的品質來服務郵輪旅客。從表 9 可看出，對於母港郵輪旅客而言有 5 個因素屬於基本型，主要與交通安全有關；對於彎靠郵輪旅客而言有 2 個因素屬於基本型，主要與服務態度與廁所清潔有關。

表 8 關鍵型要素分類表

類 別	構 面	要 素
母港郵輪	旅客設施	F1. 基港大樓的內部空間規劃設計良好。
		F9. 旅客中心內提供的無障礙設施完善。
	港區服務	F12. 旅客中心有提供的良好設施資訊給旅客使用。
		F13. 旅客中心有良好的客輪相關業務的諮詢服務。
		F15. 我覺得旅客中心內人員的親切度高。
	親水空間	F23. 我認為基隆港的海洋廣場休憩區設計良好。
		F25. 我認為基隆港的附近綠地空間充足。
	通關作業流程	F28. 我認為基隆港務大樓與都市的景觀良好。
		F31. 我在櫃檯辦理登記報到時非常順暢。
		F32. 基隆港區通關時的動線規劃良好。
彎靠郵輪	港區服務	F6. 工作人員的溝通能力。
	交通接駁	F10. 停車空間。
		F11. 道路規劃設計。
	旅客設施	F13. 基港大樓的內部空間規劃設計。
		F21. 提供無障礙設施服務。
	親水空間	F22. 海洋廣場休憩區。
		F25. 旅館品質。
		F29. 基隆港區整體購物體驗。

表 9 基本型要素分類表

類 別	構 面	要 素
母港郵輪	旅客設施	F2. 基港大樓有寬敞明亮的候船及通關的空間。
	港區服務	F16. 旅客中心內的免稅商店多元且商品眾多。
	交通接駁	F21. 我認為基隆港區道路規劃設計良好。
		F22. 在基隆港區附近的交通安全性高。
彎靠郵輪	港區服務	F5. 工作人員的親切度。
	旅客設施	F19. 廁所空間與清潔度。

表 10 中的要素歸類為「加分型」，「加分型」的要素特性為當郵輪旅客對要素的評價為正面評價時，對於郵輪旅客的整體滿意度會有強烈的影響；而當郵輪旅客對要素的評價為負面評價時，對於郵輪旅客的整體滿意度僅有些許的影響。當此類型的設施服務品質不佳時，對於郵輪旅客的整體滿意度不會有太大的影響；反之，若該類型的設施服務品質良好時，對於郵輪旅客的整體滿意度具有強烈的影響，對於郵輪旅客而言具有加分的效果。從行銷觀點來看，倘若基隆港區中「基本型」的設施服務能確保一定的品質，此時若針對「加分型」的要素作為行銷訴求，會使得郵輪旅客對於基隆港區觀感更為提升，進而擴大客群。從表 10 可看出，對於母港郵輪旅客而言有 5 個因素屬於加分型，主要與港區空氣品質、環境安全和商家數有關；對於彎靠郵輪旅客而言有 3 個因素屬於加分型，主要與旅遊資訊與上網服務有關。

表 10 加分型要素分類表

類 別	構 面	要 素
母港郵輪	港區服務	F17.旅客中心有提供充足的當地旅遊資訊給外籍旅客。
	親水空間	F24.我認為基隆港的海洋廣場有足夠的安全性。
		F26.基隆港區附近的空氣品質良好。
		F29.我在基隆港區整體購物體驗是良好的。
		F30.基隆港區附近商家的商品種類很齊全。
彎靠郵輪	港區服務	F2. 旅遊資訊提供。
	旅客設施	F15.港區內的 WiFi 熱點服務。
	通關作業	F32.通關作業安全性。

表 11 次要型要素分類表

類 別	構 面	要 素
母港郵輪	旅客設施	F3. 基隆港區內的 WiFi 熱點服務充足且連線品質良好。
		F4. 我認為基隆港區提供給旅客的公用電腦非常方便。
		F5. 我覺得基港大樓內的廁所空間充足且清潔度高。
		F6. 在旅客候船大廳的座位非常足夠。
		F7. 置物櫃的數量充足且容量夠大。
		F8. 旅客中心內的飲水機品質良好且數量足夠。
		F10.我認為旅客中心需增設親子空間。
		F11.我認為需增設數位化系統避免旅客等待時間過長。
	港區服務	F14.在旅客中心內兌換外幣方便且快速。

類 別	構 面	要 素
	交通接駁	F18.基隆港區附近的交通接駁系統完善。
		F19.基隆港區的聯外系統可及性高。
		F20.基隆港區內停車位是足夠的。
	親水空間	F27.基隆港區內的海域清潔度高。
	通關作業流程	F33.我認為登船查驗是非常方便的。
		F34.我認為需另設置外籍旅客之通關設備。
		F35.比照機場所實施的快速通關是迫切的。
彎靠郵輪	港區服務	F1. 旅客中心船期提供服務。
		F3. 客輪相關業務的諮詢服務。
		F4. 兌換外幣。
		F7. 免稅商店。
	交通接駁	F8. 司機友善度。
		F9. 大眾運輸系統。
		F12.交通安全性。
	旅客設施	F14.提供公用電腦的服務。
		F16.候船及通關的空間。
		F17.候船大廳內的座位數量。
		F18.置物櫃數量。
		F20.飲水機品質。
	親水空間	F23.空氣品質。
		F24.海域清潔度。
		F26.附近旅遊景點。
		F27.港區都市景觀。
		F28.港區綠地空間。
		F30.基隆港區附近商家的商品種類。
	通關作業流程	F31.通關流暢度。
		F33.海關人員的親切度。
		F34.海關人員的溝通能力。

「次要型」要素的特性為郵輪旅客對要素的評價不論是正面或是負面時，對於郵輪旅客整體滿意度僅有些微的影響，表示說不論此類設施服務品質完善與否對於郵輪旅客的整體滿意度不會有太大的影響，故位於「次要型」內的要素對於港務公司而言，此類要素不須急迫於改善。

Tetraclasse 模式除了可以得到上述之分類結果，最大的好處就是可以二維座標圖標示出各分類因素的相對位置，以視覺化方式呈現分類結果。圖 4 與圖 5 分別是母港郵輪與彎靠郵輪之 Tetraclasse Model 二維空間座標圖。

圖 4 與圖 5 中之橫座標為：當因素被評價為負面時，其對滿意度的影響程度，往右影響程度大，往左影響程度小；縱座標則表示當因素被評價為正面時，其對滿意度的影響程度，往上影響程度大，往下影響程度小；座標原點則為影響度判斷基準值。所以圖 2 或 3 的第 1 象限即表示不管因素表現被評為正面或負面，對滿意度影響程度都大，也就是關鍵型影響因素。因此，依逆時針方向則分別為加分型（第 2 象限）、次要型（第 3 象限）、與基本型（第 4 象限）。在第 1 象限中，落在 45 度角射線方向之因素，是最典型之關鍵型因素，在 45 度角射線下方之因素，性質會較偏向第 4 象限之因素；而 45 度角射線上方之因素，性質則較偏向第 2 象限之因素。

從圖 4 與 5 可以看出，母港郵輪被歸為關鍵型的影響因素可以找出相對典型者為 F1 基隆港的內部空間規劃設計良好，與 F15 旅客中心內人員的親切度；至於彎靠郵輪則為 F13 基隆港大樓的內部空間規劃，與 F21 提供無障礙設施服務。落在第 2 象限（加分型）因素之相對優先性則主要以縱座標為主，因此從圖 2 與圖 3 可找出相對典型之加分型因素：母港郵輪為港區整體購物體驗、港區附近商家商品種類齊全，與提供充足當地旅遊資訊；彎靠郵輪為旅遊資訊提供與港區內 Wifi 熱點服務。而落在第 4 象限（基本型）因素之相對優先性則主要以橫座標為主，因此從圖 2 與圖 3 可找出相對典型之基本型因素：母港郵輪為旅客中心內免稅商店多元商品眾多、港區附近交通安全性高，與道路規劃設計良好；彎靠郵輪為廁所空間清潔與工作人員的親切度。

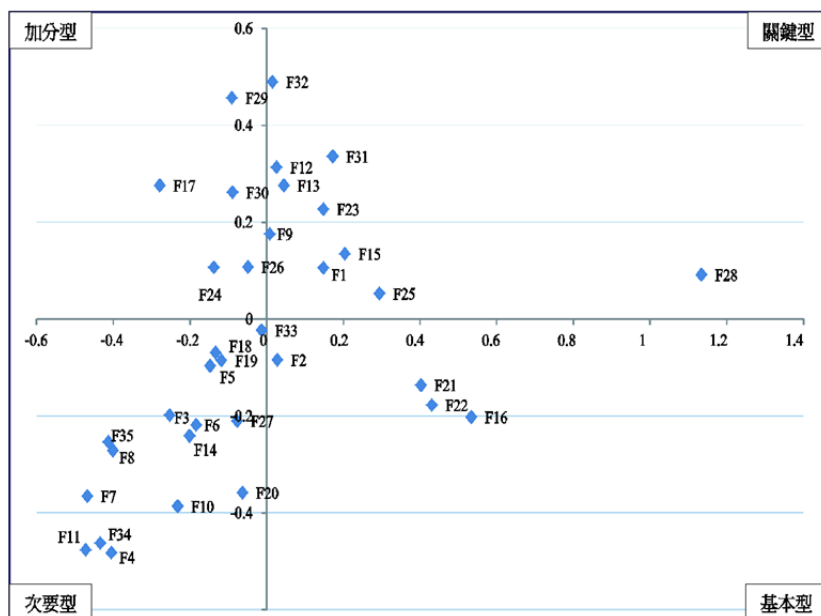


圖 4 母港郵輪 Tetraclasse Model 二維空間座標圖

總結上述之因素分類結果，在資源有限之情形下，建議基隆港管理營運當局可先排除次要型因素，而其他三類因素之改善優先順序為：基本型、加分型、關鍵型；即先確保維持基本品質，再以行銷方式創造特色擴大顧客，最後持續優化關鍵要素。而利用分類因素之二維座標圖可以更進一步找出各分類中相對優先之改善因素，因此，對於基隆港朝向郵輪港之發展，本研究提出以下建議做法：首先遊客中心大樓內之廁所一定要維持清潔，人員服務的態度要親切，而除了通關等應有設施外，大樓內可以增設免稅商店與其他商品販賣處，滿足旅客購物需求與慾望，同時將大樓鄰近的交通動線規劃好，作好交通安全。此外，大樓內應有豐富旅遊資訊與 Wifi 熱點服務的提供；最後大樓應持續依需求與作業流程調整內部空間規劃，作好無障礙設施，持續優化服務人員之態度。

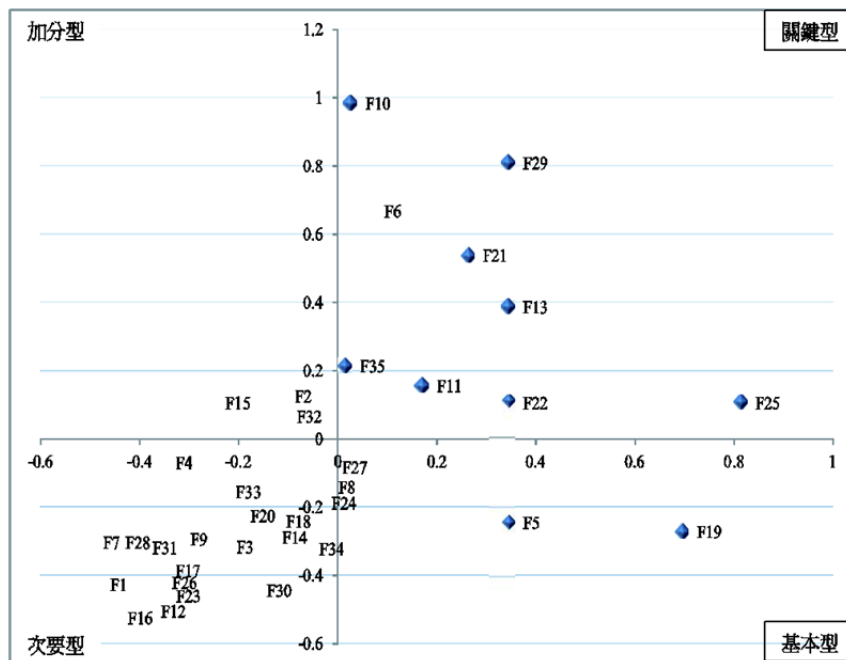


圖 5 彎靠郵輪 Tetraclasse Model 二維空間座標圖

六、結論與建議

國內、外過去關於郵輪顧客滿意度的研究，較偏重於郵輪船上（包括住宿、餐飲、娛樂、休閒活動等）或岸上（例如停靠港城市的相關旅遊景點）因素對滿意度影響的探討，然而卻少有研究特別去探討港區服務對旅客滿意度的重要性。由於港口所提供之服務是整體郵輪旅程產品的一部分，因此其品質與傳遞服務之方式會對郵輪旅客之整體滿意度造成影響。Satta 等人^[15]的研究已經證實港口相關之設施與服務對郵輪旅客之整體滿意度有正向影響，本研究則進一步將港口相關的影響因素，依其對整體滿意度之影響效果進行分

類，使基隆港務公司能針對分屬於不同類型之影響因素，提出各種因應對策，使投入資源能做最佳之配置。

經由進行 Tetraclasses 模式將各別郵輪型態旅客之影響要素作歸類後，本研究針對不同類型之影響因素提出改善設施服務的優先順序及相關作法。基隆港務公司應最優先應對於「基本型」要素確保其設施與服務的要能達成必要的品質水準，以穩定郵輪顧客。本研究建議基隆港區改善母港郵輪旅客之基本型要素策略為「豐富大樓功能」，活化使用港區大樓空間，增加商品販售以符合目前基隆港郵輪旅客的購物需求；而在彎靠郵輪旅客方面則為「維持大樓品質」，主要指廁所地清潔與人員服務態度，使目前設施服務達到國際郵輪港的服務水平，以確保基隆港區在國際上的郵輪市場地位。

其次則應規畫資源，針對「加分型」要素擬定各種行銷組合，以擴大郵輪旅客的客群。建議基隆港區改善母港郵輪旅客之加分型要素策略為「打造休憩空間、提升商圈購物體驗」，由於目前港區之親水休憩空間並不完備，同時周遭商圈也較缺乏整體營造，使旅客之旅遊體驗仍未臻完美，若是政府不僅是優化大樓設施服務，且能整體營造港區完善的休憩與購物空間，則可使母港旅客更為有感。而在彎靠郵輪旅客方面則為「增添大樓特色」，提供臺灣各景點之旅遊資訊，以及無線上網服務，藉此提升與國際郵輪港之差異性。

在市場擴張之後則必須針對「關鍵型」要素，持續進行優化，使郵輪旅客滿意度能不斷提升；本研究建議基隆港區改善母港郵輪旅客之關鍵型要素策略為「優化航站大樓」，由於母港郵輪旅客中關鍵型要素大多為基港大樓本身內部設施服務，故建議政府持續優化整個大樓，包括內部空間的使用規畫與人員服務態度，以有效提升母港旅客對於港區整體的觀感。而在彎靠郵輪旅客部分亦同，必須盡快提供彎靠旅客航站大樓空間讓旅客能使用應有的設施服務，以創造基隆港在亞洲郵輪市場的競爭優勢。至於「次要型」要素則可作為未來精進郵輪旅客滿意度的努力方向。

參考文獻

1. Brida, J. G., Aguirre, S. Z., and Velásquez, C. M. G., "Análisis del Perfil y Satisfacción de los Pasajeros de Cruceros que Visitan el Puerto de Cartagena de Indias", *TURyDES*, Vol. 3, No. 8, 2010, pp. 1-16.
2. Cruise Lines International Association, "Global Passenger Growth", <http://www.cruising.org/>, 2014.
3. Ocean Shipping Consultants, "Prediction of the Asian Cruise Passenger", <http://www.maritime-rh.com/osc-home.html>, 2014.
4. 蔣昭弘，「臺灣發展郵輪產業的可行性及策略之評估分析」，<http://www.npf.org.tw/post/2/12512>，民國 102 年。
5. Qu, H. and Ping, W., "A Service Performance Model of Hong Kong Cruise Travelers' Motivation Factors and Satisfaction", *Tourism Management*, Vol. 20, No 2, 1999, pp. 237-244.

6. Petrick, J., "The Roles of Quality, Value, and Satisfaction in Predicting Cruise Passengers' Behavioral Intentions", *Journal of Travel Research*, Vol. 42, No. 4, 2004, pp. 397-407.
7. Teye, V. and Leclerc, D., "Product and Service Delivery Satisfaction among North American Cruise Passengers", *Tourism Management*, Vol. 19, No. 2, 1998, pp. 153-160.
8. Andriotis, K. and Agiomirgianakis, G., "Cruise Visitors' Experience in a Mediterranean Port of Call", *International Journal of Tourism Research*, Vol. 12, No. 4, 2010, pp. 390-404.
9. Brida, J. G., Pulina, M., Riaño, E., and Zapata-Aguirre, S., "Cruise Visitors' Intention to Return as Land Tourists and to Recommend a Visited Destination", *Anatolia*, Vol. 23, No. 3, 2012, pp. 395-412.
10. Chase, G. and McKee, D., "The Economic Impact of Cruise Tourism on Jamaica", *The Journal of Tourism Studies*, Vol. 14, No. 2, 2003, pp. 16-22.
11. Gabe, T. M., Lynch, C. P., and McConnon, J. C., "Likelihood of Cruise Ship Passenger Return to a Visited Port: The Case of Bar Harbor, Maine", *Journal of Travel Research*, Vol. 44, No. 3, 2006, pp. 281-287.
12. Seidl, A., Guiliano, F., and Pratt, L., "Cruise Tourism and Community Economic Development in Central America and the Caribbean", *Pasos, Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, Vol. 4, No. 12, 2006, pp. 213-224.
13. Silvestre, L., Santos, C., and Ramalho, C., "Satisfaction and Behavioural Intentions of Cruise Passengers Visiting the Azores", *Tourism Economics*, Vol. 14, No. 1, 2008, pp. 169-184.
14. Edvardsson, B., Gustafsson, A., and Roos, I., "Service Portraits in Service Research: A Critical Review", *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 16, No. 1, 2005, pp. 107-121.
15. Satta, G., Parola, F., Penco, L., and Persico, L., "Word of Mouth and Satisfaction in Cruise Port Destinations", *Tourism Geographies: An International Journal of Tourism Space, Place and Environment*, Vol. 17, No. 1, 2015, pp. 54-75.
16. McCarthy, J., "The Cruise Industry and Port City Regeneration: The Case of Valletta", *European Planning Studies*, Vol. 11, No. 3, 2003, pp. 341-350.
17. Fogg, J. A., "Cruise Ship Port Planning Factors", Doctoral Thesis, Florida International University, Miami, 2001.
18. McCalla, R. J., "An Investigation into Site and Situation: Cruise Ship Ports", *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, Vol. 89, No.1, 1998, pp. 44-55.
19. 阮聘茹, 「郵輪遊憩參與影響因素之研究」, 朝陽科技大學休閒事業管理研究所碩士論文, 民國 90 年。
20. Kwortnik, R. J., "Shipscape Influence on the Leisure Cruise Experience", *International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research*, Vol. 2, No. 4, 2008, pp. 289-311.
21. Yarnal, C. M. and Kerstetter, D., "Casting off: An Exploration of Cruise Ship Space, Group Tour Behavior, and Social Interaction", *Journal of Travel Research*, Vol. 43, No.4, 2005, pp. 368-379.
22. Duman, T. and Mattila, A. S., "The Role of Affective Factors on Perceived Cruise Vacation Value", *Tourism Management*, Vol. 26, No.3, 2005, pp. 311-323.

23. Hosany, S. and Witham, M., "Dimensions of Cruisers' Experiences, Satisfaction, and Intention to Recommend", *Journal of Travel Research*, Vol. 49, No. 3, 2009, pp. 351-364.
24. 孟祥民, 「臺灣郵輪遊客之郵輪意象、知覺價值、滿意度與購後行為意圖之關聯性研究」, 國立臺灣海洋大學航運管理研究所博士論文, 民國 100 年。
25. 王文賢, 「影響國人參加郵輪海上旅遊因素之研究」, 國立臺灣海洋大學航運管理研究碩士論文, 民國 100 年。
26. Eusébio, C. and Vieira, A. L., "Destination Attributes' Evaluation, Satisfaction, and Behavioural Intentions: A Structural Modelling Approach", *International Journal of Tourism Research*, Vol. 15, No. 1, 2013, pp. 66-80.
27. Brida, J. G., Garrido, N., and Devesa, M. J. S., "Cruise Passengers' Satisfaction: Cartagena de Indias", *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 19, No. 1, 2012, pp. 52-69.
28. Lekakou, M. B., Pallis, A. A., and Vaggelas, G. K., "Which Homeport in Europe: The Cruise Industry's Selection Criteria", *Tourismos: An International Multidisciplinary Journal of Tourism*, Vol. 4, No. 4, 2009, pp. 215-240.
29. Cronin Jr, J. J. and Taylor, S. A., "Measuring Service Quality: A Reexamination and Extension", *The Journal of Marketing*, Vol. 56, No. 3, 1992, pp. 55-68.
30. Woodruff, R. B., Cadotte, E. R., and Jenkins, R. L., "Modeling Consumer Satisfaction Processes Using Experience-Based Norms", *Journal of Marketing Research*, Vol. 20, No. 3, 1983, pp. 296-304.
31. Singh, J. and Widing, R. E., "What Occurs Once Consumers Complain? A Theoretical Model for Understanding Satisfaction/Dissatisfaction Outcomes of Complaint Responses", *European Journal of Marketing*, Vol. 25, No. 5, 1991, pp. 30-46.
32. 郭德賓, 「服務業顧客滿意評量模式之研究」, 國立中山大學企業管理研究所博士論文, 民國 88 年。
33. Patterson, P. G., "Expectations and Product Performance as Determinants of Satisfaction for a High-Involvement Purchase", *Psychology & Marketing*, Vol. 10, No. 5, 1993, pp. 449-465.
34. Yang, Z. and Peterson, R. T., "Customer Perceived Value, Satisfaction, and Loyalty: The Role of Switching Costs", *Psychology & Marketing*, Vol. 21, No. 10, 2004, pp. 799-822.
35. Howard, J. A. and Sheth, J. N., *Theory of Buyer Behavior*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1969.
36. Garbarino, E. and Johnson, M. S., "The Different Roles of Satisfaction, Trust, and Commitment in Customer Relationships", *The Journal of Marketing*, Vol. 63, No. 2, 1999, pp. 70-87.
37. Szymanski, D. M. and Henard, D. H., "Customer Satisfaction: A Meta-Analysis of the Empirical Evidence", *Journal of the Academy of Marketing Service*, Vol. 29, No. 1, 2001, pp. 16-35.
38. Robin, E. and Giannelloni, F. L., "Do Hotels' Green Attributes Contribute to Customer Satisfaction", *Journal of Services Marketing*, Vol. 24, No. 2, 2010, pp. 157-169.
39. Kano, N., Seraku, N., Tahahashi, F., and Tsuji, S., "Attractive Quality and Must-be Quality", *The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, Vol. 40, No. 2, 1984, pp. 39-48.

40. Brandt, R. D., "How Service Marketers Can Identify Value-Enhancing Service Elements", *The Journal of Services Marketing*, Vol. 2, No. 3, 1988, pp. 35-41.
41. Jaworski, B. J. and Kohli, A. K., "Market Orientation: Antecedents and Consequences", *The Journal of Marketing*, Vol. 57, No. 3, 1993, pp. 53-70.
42. Llosa, S., "L'analyse de la Contribution des Éléments du Service à la Satisfaction: Un Modèle Tetra-classe", *Décision Marketing*, No. 10, 1997, pp. 81-88.
43. 江勁毅、游育杰，「旅館業顧客滿意度影響要素之分類：Tetraclasse 模式之應用」，**餐旅暨觀光**，第 8 卷，第 4 期，民國 100 年，頁 269-290。
44. Clerfeuille, F., Poubanne, Y., Vakrilova, M., and Petrova, G., "Evaluation of Consumer Satisfaction Using the Tetra-class Model", *Research in Social and Administration Pharmacy*, Vol. 4, No. 3, 2008, pp. 258-271.
45. 張凱涵，「郵政服務滿意度影響因素之研究」，玄奘大學企業管理學系碩士論文，民國 102 年。
46. 黃明居、高誌宏，「改善自由貿易港區廠商滿意度關鍵因素之研究-以基隆港自由貿易港區為例」，中華民國運輸學會 102 年年會暨學術論文研討會，中華民國運輸學會，宜蘭：淡江大學，民國 102 年。
47. Ganesh, J., Arnold, M. J., and Reynolds, K. E., "Understanding the Customer Base of Service Providers: An Examination of the Differences between Switchers and Stayers", *Journal of Marketing*, Vol. 64, No. 3, 2000, pp. 65-87.
48. Hair, J. F. Jr., Anderson, R. E., Tatham, L., and Black, W. C., *Multivariate Data Analysis*, Macmillan Analysis, New York, 1998.

附錄 A

表 A1 母港郵輪問卷衡量構面之影響因素

衡量之構面	影響因素
旅客設施	F1.基港大樓的內部空間規劃設計良好 F2.基港大樓有寬敞明亮的候船及通關的空間 F3.基隆港區內的 WiFi 熱點服務充足且連線品質良好 F4.我認為基隆港區提供給旅客的公用電腦非常方便 F5.我覺得基港大樓內的廁所空間充足且清潔度高 F6.在旅客候船大廳的座位非常足夠 F7.置物櫃的數量充足且容量夠大 F8.旅客中心內的飲水機品質良好且數量足夠 F9.旅客中心內提供的無障礙設施完善 F10.我認為旅客中心需增設親子空間 F11.我認為需增設數位化系統避免旅客等待時間過長
港區服務	F12.旅客中心有提供的良好設施資訊給旅客使用 F13.旅客中心有良好的客輪相關業務的諮詢服務 F14.在旅客中心內兌換外幣方便且快速 F15.我覺得旅客中心內人員的親切度高 F16.旅客中心內的免稅商店多元且商品眾多 F17.旅客中心有提供充足的當地旅遊資訊給外籍旅客
交通接駁	F18.基隆港區附近的交通接駁系統完善 F19.基隆港區的聯外系統可及性高 F20.基隆港區內停車位是足夠的 F21.我認為基隆港區道路規劃設計良好 F22.在基隆港區附近的交通安全性高
親水都市空間	F23.我認為基隆港的海洋廣場休憩區設計良好 F24.我認為基隆港的海洋廣場有足夠的安全性 F25.我認為基隆港的附近綠地空間充足 F26.基隆港區附近的空氣品質良好 F27.基隆港區內的海域清潔度高 F28.我認為基隆港務大樓與都市的景觀良好 F29.我在基隆港區整體購物體驗是良好的 F30.基隆港區附近商家的商品種類很齊全
通關作業流程	F31.我在櫃檯辦理登記報到時非常順暢 F32.基隆港區通關時的動線規劃良好 F33.我認為登船查驗是非常方便的 F34.我認為需另設置外籍旅客之通關設備 F35.比照機場所實施的快速通關是迫切的

表 A2 彎靠郵輪問卷衡量構面之影響因素

衡量之構面	影響因素
港區服務	F1.旅客中心船期提供服務 F2.旅遊資訊提供 F3.客輪相關業務的諮詢服務 F4.兌換外幣 F5.工作人員的親切度 F6.工作人員的溝通能力 F7.免稅商店
交通接駁	F8.司機友善度 F9.大眾運輸系統 F10.停車空間 F11.道路規劃設計 F12.交通安全性
旅客設施	F13.基港大樓的內部空間規劃設計 F14.提供公用電腦的服務 F15.港區內的 WiFi 熱點服務 F16.候船及通關的空間 F17.候船大廳內的座位數量 F18.置物櫃數量 F19.廁所空間與清潔度 F20.飲水機品質 F21.提供無障礙設施服務
親水都市空間	F22.海洋廣場休憩區 F23.空氣品質 F24.海域清潔度 F25.旅館品質 F26.附近旅遊景點 F27.港區都市景觀 F28.港區綠地空間 F29.基隆港區整體購物體驗 F30.基隆港區附近商家的商品種類
通關作業流程	F31.通關流暢度 F32.通關作業安全性 F33.海關人員的親切度 F34.海關人員的溝通能力 F35.登船查驗的方便性

運輸計劃季刊第四十四卷第一期至第四期

分類目錄索引

INDEX TO CLASSIFIED CONTENTS, VOL. 44, NO. 1-4

作	者	篇	名	卷期	起迄頁碼	出版日期
運輸管制與政策類						
郭仕堯、陳淑娟		多準則決策模式於運輸政策制定之應用—以花蓮為例		44 : 1	25-44	2015 • 3
Shih-Yao Kuo and Shu-Chuan Chen		Transportation Policy Making Using MCDM Model: The Case of Hualien				
鐵路運輸類						
陳光華、楊政樺、 林祈宏		服務便利性與企業信譽對高鐵 APP 使用意圖影響探討—兼論企業信譽的調節角色		44 : 3	289-312	2015 • 9
Kaung-Hwan Chen, Cheng-Hua Yang and Chi-Hung Lin		Study on the Effects of Service Convenience and Corporate Credibility on the Intention to Use Taiwan High Speed Rail App: Moderating Role of Corporate Credibility				
陶冶中、洪敏琛		隨機派翠網路應用於臺鐵捷運化之運行調度模擬模式建構與分析		44 : 4	333-372	2015 • 12
Chi-Chung Tao and Min-Ching Hung		Simulation Modelling and Analysis of Taiwan Railway Administration's MRT-Type Operations by Using Stochastic Petri Nets				

作	者	篇	名	卷期	起迄頁碼	出版日期
---	---	---	---	----	------	------

公路運輸類

許書耕、邱裕鈞 Shu-Keng Hsu and Yu-Chiun Chiou	連續流車流模式的有限差分近似解法 On the Approximation of Finite Difference Methods for Continuum Traffic Flow Models	44 : 1	69-98	2015 • 3
許書耕、邱裕鈞 Shu-Keng Hsu and Yu-Chiun Chiou	線性及非線性跟車模式漸近安定性之 模擬分析 A Simulation Analysis on the Asymptotic Stability of Linear and Nonlinear Car-Following Models	44 : 2	169-186	2015 • 6
郭奕姝 Yi-Wen Kuo	小汽車駕駛人對高速公路電子收費 eTag 服務之使用意願分析 Analyzing Drivers' Adoption Intentions of eTag Service of Electronic Toll Collection System on the Freeways	44 : 3	215-242	2015 • 9

海運與港埠類

陳秀育、盧華安、 張榕峻 Shiou-Yu Chen, Hua-An Lu and Rong-Jyun Jhang	軸心區位與配置模式應用於定期貨櫃 航線規劃之探討 Application of Hub Location and Allocation Models in Route Planning for Container Liner Services	44 : 3	243-270	2015 • 9
江勁毅、黃明居、 謝昌邑 Chin-I Chiang, Ming-Jiu Hwang and Chang-Yi Hsieh	基隆港區服務因素如何影響郵輪旅客 滿意度 How Factors of Port Areas Services in Keelung Harbor Affect Cruise Passengers' Satisfaction	44 : 4	401-430	2015 • 12

空運與機場類

顏上堯、郭俊志 Shang-Yao Yan and Jyun-Jhih Guo	隨機進廠及維護時間下航機年度維護 排程調整最佳化之研究 Optimal Adjustment of Annual Aircraft Maintenance Schedule under Stochastic Aircraft Check-In and Maintenance Times	44 : 2	99-144	2015 • 6
---	--	--------	--------	----------

作	者	篇	名	卷期	起迄頁碼	出版日期
---	---	---	---	----	------	------

都市運輸類

- | | | | | |
|--|--|--------|---------|-----------|
| 曾平毅、林豐博、
楊信毅、張筱瑜
Pin-Yi Tseng,
Feng-Bor Lin, Hsin-Yi
Yang and Siao-Yu
Chang | 中央實體分隔路型停等車疏解能力之
坡度調整因素
The Grade Adjustment Factor of Queue
Discharge Behavior on Divided Urban
Streets | 44 : 2 | 145-168 | 2015 • 6 |
| 蘇昭銘、王張煒、
何文基
Jau-Ming Su,
Chang-Wei Wang and
Wen-Ji Ho | 中小型鄉鎮接駁公車之路線設計方法
The Route Design of Feeder Bus in
Small and Medium Township | 44 : 4 | 313-332 | 2015 • 12 |

運輸規劃類

- | | | | | |
|---|---|--------|---------|----------|
| 顏上堯、盧宗成、
徐鶴倫
Shang-Yao Yan,
Chung-Cheng Lu and
Guan-Lun Hsu | 考慮護運風險下保全運鈔車路線與排
程模式暨演算法之研究
A Model with an Algorithm for Cash
Transportation Vehicle Routing and
Scheduling Problems Considering
Conveyance Risks | 44 : 1 | 45-68 | 2015 • 3 |
| 黃昱凱、馮正民、
許紋綺
Yu-Kai Huang,
Cheng-Min Feng and
Wen-Chi Hsu | 兩岸店配物流服務擴散過程
Diffusion Process of Cross-Strait
Retailing Delivery Services | 44 : 2 | 187-214 | 2015 • 6 |

運輸安全類

- | | | | | |
|--|---|--------|---------|----------|
| 鄭永祥、田蕙寧
Yung-Hsian Cheng
and Hui-Ning Tian | 騎乘自行車之潛在風險分析
Analysis of Potential Risks for Bicyclist | 44 : 3 | 271-288 | 2015 • 9 |
|--|---|--------|---------|----------|

作	者	篇	名	卷期	起迄頁碼	出版日期
---	---	---	---	----	------	------

運輸能源類

陳正杰、馮正民、 劉庭豪	應用多目標規劃法於低碳運輸計畫之 預算分配	44 : 4	373-400	2015 • 12
Cheng-Chieh (Frank) Chen, Cheng-Min Feng and Ting-Hau Liou	A Multi-Objective Programming Model of Budget Allocation in Low Carbon Transportation Projects			

其 他

李家儂、謝翊楷	以空間型構法則及步行導向理念檢視 TOD 區內土地使用配置的合理性	44 : 1	1-24	2015 • 3
Chia-Nung Li and Yi-Kai Hsieh	Using Space Syntax and Pedestrian-Oriented Design Concepts to Examine the Rationality of the Land Use Configuration of TOD Districts			
運輸計劃季刊編輯室	運輸計劃季刊第四十四卷第一期至第 四期分類目錄索引	44 : 4	431-434	2015 • 12
	Index to Classified Contents, Vol. 44, No. 1-4			

運輸計劃季刊稿約

- 一、本刊歡迎國內外有關運輸之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之中、英文研究論著；已刊登者，雖使用語文不同、題目更改、或內文經改寫，均不接受投稿。已於國內外會議發表之論文，不論有無收錄於其會議資料中，除經大幅修改者外，均請作者提附該會議主辦者之同意書，並於論文中加註說明。論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部分或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。交通部運輸研究所同仁擬投稿件如屬所內已結案或未結案之計畫者，應依照本所出版品管理作業要點第 11 條之規定辦理。凡由本刊主動邀稿者，不受上述各項限制。
- 二、為便於一次刊出，來稿以 25,000 字為限，其中應包括 300 字以內之摘要 1 篇及 3 至 8 個關鍵詞，並請註明姓名、身分證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 三、中文稿之題目、作者姓名、摘要及關鍵詞均請附英文。文稿中需註釋處，請標明上標無括號序碼，並請從題目、作者介紹開始，往下連續編號，再於引註當頁下方加橫線排印註釋。文稿中之數學式，函數請排正體字，變數請排斜體字。圖及表中之中文字請排細明體，英文字請排 Times New Roman 體，圖原則上不加框，表之框線均採細線。
- 四、參考文獻請按出現序排列，文稿中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻必須是文稿所引用者始得列入，且參考文獻內容必須依本刊規定格式完整無缺列入。參考文獻中，英文之逗點、句點均採英國式排於引號外。本刊參考文獻編排規定格式及範例如下：
 1. 期刊論文：作者姓名（姓在前名在後），論文篇名，期刊名稱，卷期，出版日期，起迄頁碼。
中文例：林楨家、李家儂，「用於都市地區活動分布之灰色 TOD 規劃模式」，**運輸計劃季刊**，第 34 卷，第 1 期，民國 94 年，頁 63-91。
英文例：Cervero, R. and Kockelman, K., "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research A*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp.199-219.
 2. 圖書單行本：作者姓名，書名，版次（無則免列），出版社，出版地，出版日期。
中文例：黃芳銘，**結構方程模式：理論與應用**，第 5 版，五南圖書出版股份有限公司，臺北，民國 96 年。
英文例：Nunnally, J. C., *Psychometric Theory*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1978.
 3. 研討會論文：作者姓名，論文篇名，研討會/論文集名稱，冊別（無則免列），舉辦單位，出版日期，起迄頁碼。
中文例：溫傑華、藍武王、趙國婷，「國道客運車輛下層設置座位或卧鋪接受之研究」，中華民國運輸學會第 16 屆學術論文研討會論文集，第 1 冊，中華民國運輸學會，民國 90 年，頁 221-230。
英文例：Eberhart, R. C. and Kennedy, J., "Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. IV, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995, pp.1942-1948.
 4. 博、碩士論文：作者姓名，論文名稱，學校系所，出版日期。
範 例：陳勝智，「以大眾運輸導向發展理念進行車站地區都市再發展之探討」，成功大學都市計劃研究所碩士論文，民國 90 年。
 5. 政府出版圖書/規範：政府機關名，圖書/規範名，出版日期。
範 例：交通部統計處，**中華民國交通統計年鑑**，民國 94 年。
 6. 網頁資料：作者姓名/網頁機關名，文章篇名/連結主題名，網址，網頁下載日期。
範 例：交通部運輸研究所，「全國路況資訊中心」，<http://e-traffic.iot.gov.tw/>，民國 97 年。
 7. 與以上所列文獻格式不同者，請改以註解方式列出。
- 五、來稿請備一式三份，打印清楚；照片、圖片請附寄原本，凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 97（含以上）版本可讀檔案格式之電子檔。
- 六、運輸計劃季刊編輯室對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權；其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本所同意，並註明出處。
- 七、來稿請附本刊保證及授權書寄：10548 臺北市敦化北路 240 號 6 樓 交通部運輸研究所運輸計劃季刊編輯室。

Transportation Planning Journal Quarterly GUIDELINES FOR THE SUBMISSION OF PAPERS

1. The Journal welcomes the submission of previously unpublished research papers from all countries, which are related to engineering, economics, planning, management, and information processing of transportation systems. Previously published papers, even if published in a different language, with a different title, or modified contents, will not be accepted. Unless drastically revised since conference presentation, papers which have been previously presented in domestic or international conferences, regardless of whether they had been included in the conference proceedings or not, must be submitted with a letter of consent from the conference organizer, and such a presentation must be duly noted in the paper itself. Papers which duplicate or contain portions of study reports of research projects, edited versions thereof, or funded by government agencies or private organizations, should be submitted with a letter of consent from the funding agency, and this must be duly noted in the paper itself. Papers submitted by the staff of the IOT should comply with its "Guidelines for Publications". The above terms do not apply to invited papers and articles.
2. The length of submitted papers should not exceed 25,000 characters/words, and should include an abstract of no more than 300 characters/words, as well as 3 to 8 key words, and the author's name and position, institution, contact address, and telephone number.
3. Papers written in Chinese should also carry an English version of the abstract, including the title of the paper, the name of the author, and key words of the paper. Notes should be numbered consecutively in the order in which they first appear in the text and should be started with the title and the introduction of the author(s). References listed should be limited to all those mentioned and quoted in the text, and should be numbered consecutively in the order in which they have been mentioned in the text. The Times New Roman font should be used for the English version. Print all the mathematical equations and functions. And variables should be typed in italics.
4. The guidelines of reference formats are as follows:
 - (1) Journal: authors (beginning with the last name), article title, journal title, volume number, publish date, and page numbers.
 - (2) Book: authors, book title, edition number, publisher, place of publication, publish date.
 - (3) Conference paper: authors, paper title, conference title, sponsor, publish date, and page numbers.
 - (4) Doctoral dissertation or master thesis: author, title of the dissertation/thesis, department, college, and publish date.
 - (5) Government publication: government authority, name of the publication, and publish date.
 - (6) Web page: author or authority, article title or related link, URL, date of downloading.
5. Papers should be submitted with three copies of manuscript typed in a clearly legible form and an electronic file accessible by the Microsoft Word 97 (and above). All graphs and photographs should be submitted in originals. No illegible submissions will be accepted.
6. The Editor's Office of the Transportation Planning Journal Quarterly (TPJ Quarterly) reserves the right to edit and make any changes to the submitted papers, provided that such editing changes do not alter the paper's original content. The TPJ Quarterly reserves the copyright on all of its published papers, and all reproductions of such papers must receive a prior permission of the author and this journal, and meanwhile indicate the sources.
7. All submissions should be sent to the following address:

The Editor's Office
Transportation Planning Journal Quarterly
Institute of Transportation
6F., No. 240, Dunhua N. Rd.,
Taipei City 10548, Taiwan (R.O.C.)

保證及授權書

茲保證本人著作「
符合運輸計劃季刊稿約之規定，刊登後並授權中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）得以重製、公開傳輸、散佈方式利用本著作，且得授權第三人為相同之利用，並同意得提供予其他資料庫進行刊載及相同之利用，本人並承諾對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）或其再授權利用之人不行使著作權。本人保證本著作無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情事負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此筆致之損害負賠償責任。本人承諾本著作經貴刊刊登後，不再以同一稿件，或將題目更改，或將內容改編，轉投其他國內、外刊物登載，如有違反，同意貴所得公布本人姓名並永不再接受本人投稿。此致
中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
立保證及授權書人（所有作者均請簽章，姓名後註明身分證字號）：

中 華 民 國 年 月 日

LETTER OF GUARANTEE

This letter serves to guarantee that my paper entitled ' _____', conforms to the "Guidelines for the Submission of Papers" of the Transportation Planning Journal Quarterly, and that I hereby authorize the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) and any third party to reproduce、public transmission、distribution my paper. I also agree my paper could be exchanged to the other database and to abandon the author's copyright to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) and users from the database. I guarantee that I did not infringe upon the copyright of the paper of any other person. If I violated this rule, I should take on the responsibility for compensation to the author and to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) accordingly. I guarantee that once this paper is published in the TPJ Journal, I will not make redundant or duplicate publication (i.e., submission of the same article, or with a different title, or modified content) to other journals or periodicals in the Republic of China or any other countries. I agree that in the event of any violation of the stated terms on my part, the IOT may announce my name in public and shall reject all my papers afterwards.

This guarantee is provided to the Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.

Signature (both author's and co-authors'):

Date: _____

運輸計劃季刊

TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

中華民國六十年十一月創刊

發行人：林信得

審查者：運輸計劃季刊審查委員會

第四十四卷審查委員：丁吉峯 方志文 王晉元 王棟華 王穆衡 石豐宇 吳木富 吳宗修 吳榮貴
吳繼虹 李宇欣 李克聰 李威勳 汪進財 卓裕仁 周明道 周恆志 林良泰
林楨家 邱永和 邱裕鈞 邱榮和 洪鳴丰 胡凱傑 范俊海 翁順泰 張玉君
張立言 張勝雄 曹承礎 曹勝雄 莊翰華 許哲嘉 許鉅秉 郭旻鑫 陳文俊
陳秀育 陳春益 陳昭華 陳高村 陶冶中 曾亮 曾文貴 曾平毅 曾萬存
游明敏 馮正民 黃承傳 黃明居 黃昱凱 楊鈺池 溫傑華 賈凱傑 廖彩雲
蔡政言 蔡智發 蔡耀全 鄧振源 鄭永祥 戴輝煌 謝尚行 顏進儒 魏健宏
龐雅文 羅孝賢 蘇昭銘 蘇雄義

編輯者：運輸計劃季刊編輯指導會

召集人：林信得

編輯委員：張家祝 曹壽民 馮正民 林大煜 黃德治 吳榮貴 曾國雄 顏上堯

主編：曹瑞和

副主編：廖美容

編輯：洪銘揚

出版者：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號 6 樓

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>運輸計劃季刊) (本書同時登載於本所網站)

電話：(02)23496882

印刷所：萬達打字印刷有限公司

地址：106 臺北市新生南路 3 段 84-1 號 2 樓

電話：(02)23639367・23627718

本期印製 920 冊

經銷處：國家書店

104 臺北市松江路 209 號 1 樓・電話：(02)26579211

五南文化廣場

400 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

交通部運輸研究所運輸資訊組

電話：(02)23496880

每冊售價 100 元

中華郵政臺北誌字第 420 號執照登記為雜誌交寄

截至 104 年 12 月 25 日運輸計劃季刊稿件處理統計：審查及修改中 15 件，待刊登 3 件。

本刊參與科技部人文社會科學研究中心「補助期刊審查專書書稿」業務，並因應 TSSCI 資料庫建置需求，授權科技部人文社會科學研究中心進行期刊論文之中英文摘要與全文數位化、重製等加值流程，以電子形式透過單機、網際網路、無線網路或其他公開傳輸方式，提供用戶進行檢索、瀏覽、下載、傳輸、列印等行為。

Publisher：Transportation Planning Journal Quarterly

Editors：Editorial Board of Transportation Planning Journal Quarterly

Chairman：Mr. Lin, Shinn-Der

Address：Institute of Transportation

Ministry of Transportation and Communications

6F., No. 240, Dunhua N. Rd.,

Taipei City 10548, Taiwan (R.O.C.)