

淡江大學運輸管理學系運輸科學碩士班碩士論文

指導教授：羅孝賢 博士

公共自行車分區及運補策略最佳化模型之研究

Location Routing Model of Public Bike-Sharing System

研究生：柯召璇 撰

中華民國 104 年 06 月

誌謝

回想起研究所的兩年，真的學到很多東西。碩一時在修課期間慢慢掌握到做簡報的訣竅，一次次的上台報告都增強自己的膽量與報告口條。在研習學業與撰寫論文過程中最感謝的是 羅孝賢教授與 王中允教授，羅老師常常提出一些創新的點子，提供論文的走向並讓我自己思考與評估可行性，偶爾我的想法偏離論文主軸時，羅老師能及時拉回來，收斂所欲達成的目標。老師也常常督促、鼓勵我，並分享自己的故事，讓我除了課業之外還學習到為人處事的原則。這段期間也非常感謝王老師的指導，王老師不嫌棄我每週去煩他，每次都很用心的指導，老師腦筋動得很快，總是馬上想到關鍵字讓我回家做功課，或是指示論文的細部規劃與研究方向。跟老師聊天很愉快，最後總是會說聲加油，覺得很暖心！此外也謝謝 黃台生教授於口試時給予寶貴的意見，讓我的論文更趨完整。感謝系上所有老師：陶冶中老師、劉士仙老師、陳菟蕙老師、許超澤老師、邱顯明老師、張勝雄老師、范俊海老師、溫裕弘老師、鍾智林老師、董啟崇老師、許心萍老師、在大學與研究所上課和撰寫論文期間的教導，也謝謝瑋珊助教與麗徽助教幫忙張羅系上的大小事，辛苦你們了。

我的研究所同學們，心眉總是很照顧大家，像研究室的媽媽一樣，帶東西給我們吃、揪團購物，還是 word 排版高手，有事情請教你總是很熱心的解答。寫論文期間偶爾會和宜欣一起出去閒晃聊天放鬆一下，每次一聊就停不下來，但結束後又會督促對方要加快腳步，不能落後。祐辰常常陪我一起奮鬥到天明，我們對著電腦唉聲嘆氣的，抱怨一下後抓起食物狂吃(好像只有我)，但也是因為這樣的拼命我的論文才能如期完成。大叔雖然常常喊超標，但還是會走路陪我們吃飯，怕我們漏掉重要訊息還會特地通知我們。昆儒嗓門超大而且聲音很有穿透力，每次一來研究室就會變得很吵，但也因此變得很熱鬧。同樣做 YouBike 的晏珊都會提供我重要訊息，找你幫我看簡報的時候也是很認真的給予我意見，真的很感謝你的用心與幫助！去年暑假和欣緯、竹年一起去同濟大學參加暑期學習營時留下了很多美好的回憶，百寶袋欣緯來研究室的時候總是被我煩，一直對你問東問西的，可是我看你也回得很開心。家禎總是很用心的規劃我們每個人的生日，而且很熱心的幫助我們。在碩一接兩堂助教課忙碌的日子裡，謝謝依珊提供我交工答案讓我好省事。拼論文的這段期間，大家一起在研究室努力，並且互相督促、鼓勵，在 903 有好多好笑的事，也常常一起討論八卦，在我寫程式寫到崩潰的時候會各位試著幫我想辦法、安慰我，如果沒有妳們的陪伴，寫論文的這條路一定艱辛很多。想到以後不能再像這樣拼論文、吃飯、拼論文，就覺得很感傷嗚嗚，但是能順利畢業更開心！

還有大學同窗四年現在變成學弟的大葉老是跑來我們研究室閒晃，從剛開始關心我的論文進度，到後來自己也被課業逼到每天苦瓜臉，不知道為什麼每次看到都覺得好笑。貼心的學弟洪瀚(Hamber)原本只是問助教課的事，後來變成常常來閒聊，感謝你幫我各種掩護，讓我白髮少好幾根。奕緯自己也很忙，但程式有問題去找你時總是很有耐心的幫我解決，讓我踏出國防實驗室時都覺得論文快要完成了。鈞閔常常在我等待的空檔陪我聊天，恭喜你今年也順利畢業。

最後感謝我的家人，姐姐雖然是寫 Matlab，但程式有問題去煩你時雖然總是嫌棄，也是想盡辦法幫我研究，充分的感覺到姐姐好罩！爸爸媽媽在我求學生涯中不斷鼓勵我往上進修，也因此我才能在研究所學到這麼多東西，並且認識這群好朋友。除此之外爸媽也很體諒念研究所的辛苦，回家後總是用笑容跟大餐迎接我，更忍受我突如其來的壞脾氣。

在寫論文期間一直很想打誌謝，要感謝的人實在太多，但現在卻無法充分運用文字表達內心的感受。真的很謝謝這段期間每個幫助我、鼓勵我、陪伴我的人，雖然很老梗，但真的覺得沒有你們就沒有現在的我！

民國 104 年 7 月 于淡水 柯召璇 謹誌



論文名稱：

頁數：118

公共自行車分區及運補策略最佳化模型之研究

校系(所)組別：淡江大學 運輸管理學系 運輸科學碩士班

畢業時間及提要別：103 學年度 第 2 學期 碩士學位論文提要

研究生：柯召璇

指導教授：羅孝賢 博士

論文提要內容：

隨著公共自行車路網的擴大與使用人數增加，熱門時段容易出現缺車缺位狀況。因此，如何在一區域內進行適切的調度，並在最低運輸成本或最少供需失調的狀況下滿足用路人的需求即為一個重要課題。

過去公共自行車調度相關研究多為混合不同巨集啟發式演算法，以同時具收送貨問題之車輛途程方式求解。本研究提出公共自行車調度分區之概念，結合區位途程問題，同時決定最少調度分區、最少運補車輛數與最小途程成本。規劃之數學模型因限制式中存有最佳化問題且結果相互影響，故分為三階層並使用模擬退火法求解。

由第三層數學模型之測試範例可得知，在各租借站總需求為正的情況下，以缺車數最多之需求作為起始載運量有最少行駛距離；各租借站總需求為負的情況下，運補車滿載出發有最少行駛距離。

本研究以台北市 YouBike 實際路網及座標資料作為數值範例，探討調度中心設置、運補車輛配置及運補途程成本間之權衡(trade-off)，尋求最佳解。考量調度中心最長服務時間限制、運補車容量與最長服務時間限制、時窗限制與懲罰成本等因素，分別設計 5 個情境，進行分析並探討對於調度分區、運補車配置數以及車輛途程之影響。結果顯示，違反時窗限制雖可以減少派遣車輛數，但因服務品質下降致產生龐大的懲罰成本；增加運補車容量會提高車輛購置成本，但服務租借站數的增加可減少派遣車輛數而降低車輛購置成本；擴大調中心服務範圍雖會增加運補車輛的配置，但可減少調度中心之建置成本。藉由實證分析結果驗證模型具可操作性，測試範例展現不同需求下之最佳起始載運車輛數。研究之成果可供相關營運者在規劃方面以系統化角度進行調度策略之研擬，提升運補效率。

關鍵字：公共自行車、區位途程問題、模擬退火演算法

表單編號：ATRX-Q03-001-FM030-02

Title of Thesis :
Location Routing Model of Public Bike-Sharing System

Total pages : 118

Keywords :
Public Bicycle-Sharing System, Location Routing Problem, Simulated Annealing Algorithm

Name of Institute :
Graduate Institute of Transportation Science, Tamkang University
Graduate Date : June 2015 Degree Conferred : Master Degree

Name of Student : Chao-Hsuan Ko Advisor : Dr. Shiaw-shyan Luo
柯召璇 羅孝賢 博士

Abstract :

The expanding network of public bike-sharing system and increasing number of users leads to imbalances in the distribution of bikes causing full or empty station, especially during peak hours. Hence, bike sharing systems need to be properly rebalanced to meet the demand of users and to operate successfully.

Literatures showed several hybrid meta-heuristics to solve Vehicle Routing Problem with Simultaneously Pickup and Delivery. In this study, we present a concept of bike distribution area and combine Location Routing Problem, for determining the least number of distribution centers and vehicles, as well as minimum routing cost simultaneously. The proposed model have an optimization problem in each constraint, each results are interdependence, hence is decomposed into three sub-problems and solved by Simulated Annealing Algorithms.

The test example in model level three shows that if the total demand for each stations is positive, the minimum demand as the vehicle initial carry bikes cause minimum routing distance. If the total demand for each station is negative, the loaded vehicles result in minimum routing distance.

In this study, we use the reality network and coordinate of Taipei YouBike as a numerical example, discussing the trade-off between location of distribution centers, number of vehicles and routing cost. Crucial factors are longest service time of distribution centers and vehicles, vehicles capacity, time window and penalty cost. It is therefore we design five scenarios respectively, discussing the effect on distribution centers, number of vehicles and routing cost. The result shows that it can decrease vehicles by breaking time window, but resulting in lower service level and huge penalty cost. Enhance vehicle capacity leads to a higher vehicle purchase cost, but the

increasing numbers of service stations can decrease the number of vehicles. Enlarge distribution centers service scale can increase the number of vehicles, though reducing building cost of distribution centers. The test example shows the optimal vehicle initial carry bikes on different demand, and the proposed model is proved to be operable, therefore can be used by relevant operators for planning dispatch strategy systematically to improve operation efficiency.

表單編號：ATRX-Q03-001-FM031-01



目錄

第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與對象.....	4
1.4 研究流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 國內有關公共自行車之研究.....	6
2.2 國外對於自行車運補之研究.....	8
2.2.1 單一貨物的收送貨車輛路徑問題.....	8
2.2.2 靜態平衡.....	9
2.2.3 動態平衡.....	10
2.3 土方平衡之定義與研究.....	11
2.3.1 土方平衡定義.....	11
2.3.2 國內土方平衡相關之研究.....	11
2.3.3 國外土方平衡相關之研究.....	12
2.4 區位途程.....	13
2.4.1 設施區位與最大涵蓋區位問題.....	14
2.4.2 車輛途程問題.....	16
2.4.3 區位途程問題.....	19
2.5 模擬退火法.....	25
2.6 文獻小結.....	26
第三章 模式建構.....	28
3.1 問題描述.....	28
3.2 模型建立.....	30
3.2.1 第三層數學模型.....	33
3.2.2 第二層數學模型.....	35
3.2.3 第一層數學模型.....	36
第四章 求解演算法.....	37
4.1 模型演算與求解步驟.....	37
4.2 第三層模型求解策略.....	40
4.2.1 節省法.....	40
4.2.2 測試範例.....	43
4.2.3 小結.....	45
4.3 第二層模型求解策略.....	46

4.3.1 測試範例.....	48
4.3.2 小結.....	51
4.4 第一層模型求解策略.....	51
4.4.1 模擬退火法.....	52
4.4.2 測試範例.....	54
4.4.3 小結.....	55
第五章 數值範例.....	56
5.1 路網基本資料.....	56
5.1.1 範例假設.....	56
5.1.2 測試範例之控制變數參數值.....	58
5.2 執行結果.....	60
5.2.1 分區數.....	60
5.2.2 運補車輛數與途程分析.....	62
5.3 敏感度分析.....	69
5.3.1 情境 2.....	69
5.3.2 情境 3.....	74
5.3.2 情境 4.....	81
5.3.3 情境 5.....	84
5.4 小結.....	91
第六章 結論與建議.....	93
6.1 結論.....	93
6.2 建議.....	95
參考文獻.....	97
附錄一 租借站資料.....	102
附錄二 程式碼.....	108

表目錄

表 2-1 2007-2013 年每年有關區位途程問題主要研究方向的論文數.....	13
表 2-2 常見設施區位整理表	16
表 2-3 區位途程問題分類	20
表 2-4 土方平衡與公共自行車調度之關係	27
表 4-1 測試範例座標與需求	43
表 4-2 各範例不同起始車輛數設定之途程計算結果	44
表 4-4 各分區之服務租借站	49
表 4-5 初始途程	49
表 4-6 計算最少車輛數	50
表 4-7 確定車輛數後之途程	50
表 4-8 途程改善	50
表 4-9 各區計算過程總成本比較	51
表 4-10 迭代 5 次之分區結果	55
表 5-1 各情境參數設定	60
表 5-2 情境 1 執行模擬退火法之分區數與最小總成本	61
表 5-3 情境 1 各溫度層最佳目標值	64
表 5-4 情境 1 分區狀況	65
表 5-5 情境 1 車輛途程	66
表 5-6 情境 1 總成本	69
表 5-7 情境 2 車輛途程	71
表 5-8 情境 2 總成本	74
表 5-9 情境 1 與情境 2 綜合比較	74
表 5-10 情境 3 車輛途程	76
表 5-11 情境 3-1 總成本	79
表 5-12 情境 1 與情境 3-1 綜合比較	79
表 5-13 情境 3-2 違反時窗總成本	79
表 5-14 情境 3 是否違反時窗綜合比較	80
表 5-15 情境 2 與情境 3-2 綜合比較	80
表 5-16 情境 4 車輛途程	82
表 5-17 情境 4 總成本	84
表 5-18 情境 1 與情境 4 綜合比較	84
表 5-19 情境 2 各溫度層最佳目標值	86
表 5-20 情境 5 分區狀況	87
表 5-21 情境 5 車輛途程	88

表 5-22 情境 5 總成本	90
表 5-23 情境 1 與情境 5 綜合比較	91
表 5-24 情境綜合比較	92



圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	5
圖 2-1 節省法示意圖	18
圖 2-2a 設施區位問題(決定場站位置).....	21
圖 2-2b 區位途程問題(決定場站位置與車輛途程).....	21
圖 2-2c 雙階段設施區位問題(決定製造廠與倉儲位置).....	21
圖 2-2d 雙階段設施區位途程問題(決定製造廠、倉儲位置與車輛途程).....	22
圖 3-1 設施區位、車輛數與路線的關係圖	29
圖 3-2 多場站車輛途程示意圖	30
圖 3-3 區位途程示意圖	30
圖 4-1 模型演算流程圖	37
圖 4-2 模型求解流程圖	38
圖 4-3 求解前後對照圖	40
圖 4-4 節省法法演算流程	42
圖 4-4 路線調整演算流程	48
圖 4-5 分區演算流程	53
圖 4-6a 模擬退火法演算分區示範圖	54
圖 4-6b 模擬退火法演算分區示範圖	54
圖 5-1 情境 1 執行模擬退火法之分區數與最小總成本變化圖	62
圖 5-2 各情境最適分區數	62
圖 5-3 情境 1 個溫度層總成本變化圖	63
圖 5-4 情境 2 各溫度層總成本變化圖	85

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

近年來能源問題一直是全球共同關心的焦點，由於私人運具的持有率高，導致石油短缺以及碳排放量過高而造成環境汙染。在此背景下，各國政府除了努力提倡綠色運輸，利用低碳、無汙染的方式推動交通外，同時積極發展大眾運輸，並將轉乘服務水準提高，希望吸引更多民眾搭乘，抑制使用私人運具的機會。另一方面，全世界也興起樂活的新生活概念，提倡回歸自然的運動，簡約的生活，公共自行車系統(Bike-Sharing System, BSS)應運而生，在多運具選擇中越來越普及，改變傳統轉乘方式，不僅有接駁服務，更兼具休閒與娛樂，達到降低噪音與減少環境汙染之目的。相較於擁有私人自行車，公共自行車不用擔心停車與維修之相關問題，有免費或費率低的特性，若廣遍設置站點，有時甚至不需依靠快速軌道系統或公車即可到達目的地，更具備甲租乙還或者甲租甲還的服務。

如今各國大都市皆努力推動公共自行車，像是法國巴黎的 Vélib'、西班牙巴塞隆納的 Bicing、美國紐約的 CitiBike、中國杭州等。台北市自 2009 年開始在信義計畫區試辦微笑單車(YouBike)，由台灣本土知名自行車龍頭業者捷安特(Giant)公司取得此 BOT 案，負責建置、營運、設計並提供自行車，採用自助式租賃系統。初期在台北市信義計畫區試營運時只有 11 個站點與 500 輛自行車，由市府主導機關建置營運，團隊秉持著「路網越大越便利」的精神，利用前 30 分鐘免費使用的方式來吸引民眾，如今台北市各行政區皆設有 YouBike。紐約交通發展政策研究所(2013)更在全世界擁有公共自行車系統的 600 個城市當中，將台北市 YouBike 列入所選出的 7 個世界級系統之一。

隨著 YouBike 使用者的增加與設置的場站數越多，尤其在較熱門的站點會發生無車可借或無位可還的狀況。相較之下，缺位情形比缺車情形還要嚴重，若無法還車，將迫使民眾延長還車時間，除了支付額外的費用，更可能耽誤到使用者的時間並影響使用心情，降低對此系統的信任及觀感，因此車輛的調度策略就顯

得格外重要，好的運補策略不僅能減少運送及人力成本，更能增加使用者對於系統的認同感，建立良好形象。

目前的運補作業由捷安特公司負責，採取動態、靜態相輔之運補策略。主要藉由後台監控並依據經驗機動性地進行動態車輛調度，調度作業人員手上皆持有平板電腦與控制中心連線，以不同顏色表示不同水準下的缺車缺位情況，方便調度人員做出判斷，在尖峰時段若運補車來不及配送，則安排人員於租借站旁即時補充事先放置的車輛；靜態調度方面則依據過去的資料預先配置車輛，例如晚上事先清空住宅區之車輛，讓使用者回家停車。相關的調度策略雖能運作，但仍有極大改善空間。現行的調度派遣作業缺乏系統性的考量，以系統偵測車輛情況為主，調度人員經驗判斷為輔，未能有效處理缺車或缺位的問題。

同此，如何在一區域內進行適切的調度，並在最低運輸成本或最少供需失調的狀況下滿足用路人的需求即為一個重要課題。在解決問題的過程中，需考慮車輛途程問題(Vehicle Routing Problem, VRP)，以最少的運補車輛數滿足各場站之需求。目前國內外有關於公共自行車運補之相關研究皆以車輛途程解決，將平衡公共自行車系統視為一個單一貨物的收送貨車輛路徑問題(One-Commodity Pickup and Delivery Problem, 1-PDP)，平衡研究範圍內之自行車輛數，有些更要求需在固定的時間內完成運補，為有時間窗限制的收送貨問題(Vehicle Routing Problem with Time Windows Constraints, PDPTW)，屬於 NP-hard 問題。雖然傳統啟發式可以快速求解，但容易陷入區域最佳解，因而無法求得更好的近似解，許多學者因而使用巨集啟發式演算法(Meta-Heuristics)，以較長的計算時間求得較佳的解。上述研究皆未考慮將研究範圍劃分數個調度區塊，在實務應用上並不理想，加之 YouBike 路網擴大，需以系統化角度處理缺車缺位熱點。本研究擬針對台北市 YouBike 預先調度作業劃定最佳調度劃分區及提供車輛路徑組合，並依此建構數學模式，期望能加入分區之概念解決車輛平衡問題，並減少運補作業之成本與路程。

1.2 研究目的

現實情況下，營運者較無法掌握公共自行車騎乘者之騎乘時間及流向，可能造成某區塊缺車或缺位情況嚴重，因而需建立調度中心提供穩定的自行車輛數以解決各站供需失調的狀況，平衡調度區域內之車輛。本研究以營運者角度出發，期望能達到以下目的：

1. 劃定適當的調度區域

本研究將研究範圍劃分數個調度分區，並於各分區下配置最佳運補車輛數，規劃路線調派計劃，探討不同調度中心服務範圍、運補車容量與時窗限制所對應之最佳調度組合。

2. 建構公共自行車調度分區與路線調派規劃模型

本研究以區位途程問題為基礎，建立公共自行車調度分區與路線調派規劃模型，考慮最少總支出成本，規劃的數學模型同時決定最少分區數與最少運補車輛數，並管理車輛途程問題，將目標分為三個子問題求解。因其結果相互影響，依此規劃三階層之數學模型，進行調度中心建置成本、運補車輛購置成本與運輸成本之求解。

3. 研擬運補策略

本研究建立數值解析範例並進行模式求解，根據模式分析結果可得到最佳最度中心位置與分區數、運補車輛數及路線規劃。透過不同情境假設，分別探討在不同調度情況下之最佳調度組合，以驗證求解結果能反映實際狀況，研擬公共自行車運補調度策略。

1.3 研究範圍與對象

目前台北市、新北市、台中市、彰化市皆設有 YouBike。其中，台北市的 YouBike 在 12 個行政區皆有設立，且緊鄰住宅、租借站、公司行號及熱鬧商圈，不論於站位、車輛數以及使用人數皆為最多。由於台北市屬於住商混合型態，因此缺車缺位可能發生在任何一個租借站，加上台北市人口密集，道路狹窄且複雜，若能成功執行調度計畫，其他地區之相關問題必然能迎刃而解。故，本研究針對大台北都會地區為研究範圍，並以台北市 YouBike 為研究對象。然，實際營運狀況難以掌握，且相關營運資料不易取得，加上目前尚未有研究對於 YouBike 歷史資料做深入分析與探討，因此本研究僅以台北市實際路網和租借站座標作為實例，並未處理歷史資料。

1.4 研究流程

本研究首先定義問題及界定範圍，考慮公共自行車調度分區之主要問題包括：調度中心位置、調度分區數、各分區配置之運補車輛數、車輛途程問題。藉由回顧國內外公共自行車研究相關文獻掌握發展現況和趨勢，針對調度分區運補方法參閱土方平衡與區位途程相關研究，確定研究方法建構數學規劃模型，模型欲達成最少分區數、最少運補車輛數與最少路線成本，而後設立模型之求解模式。進一步，本研究透過以台北市現有之 YouBike 196 個站點(2015)為實際案例，利用路網資料與座標為數值範例進行模式分析求解，並模擬營運者對於不同調度計劃下之假設情境分析，求解不同情境下之調度中心位置、調度分區數、配置之運補車輛數與各分區車輛途程問題，最後依據實證結果提出結論與建議，期望能提供相關營運者於調派計劃方案策略之參考與決策支援基礎。

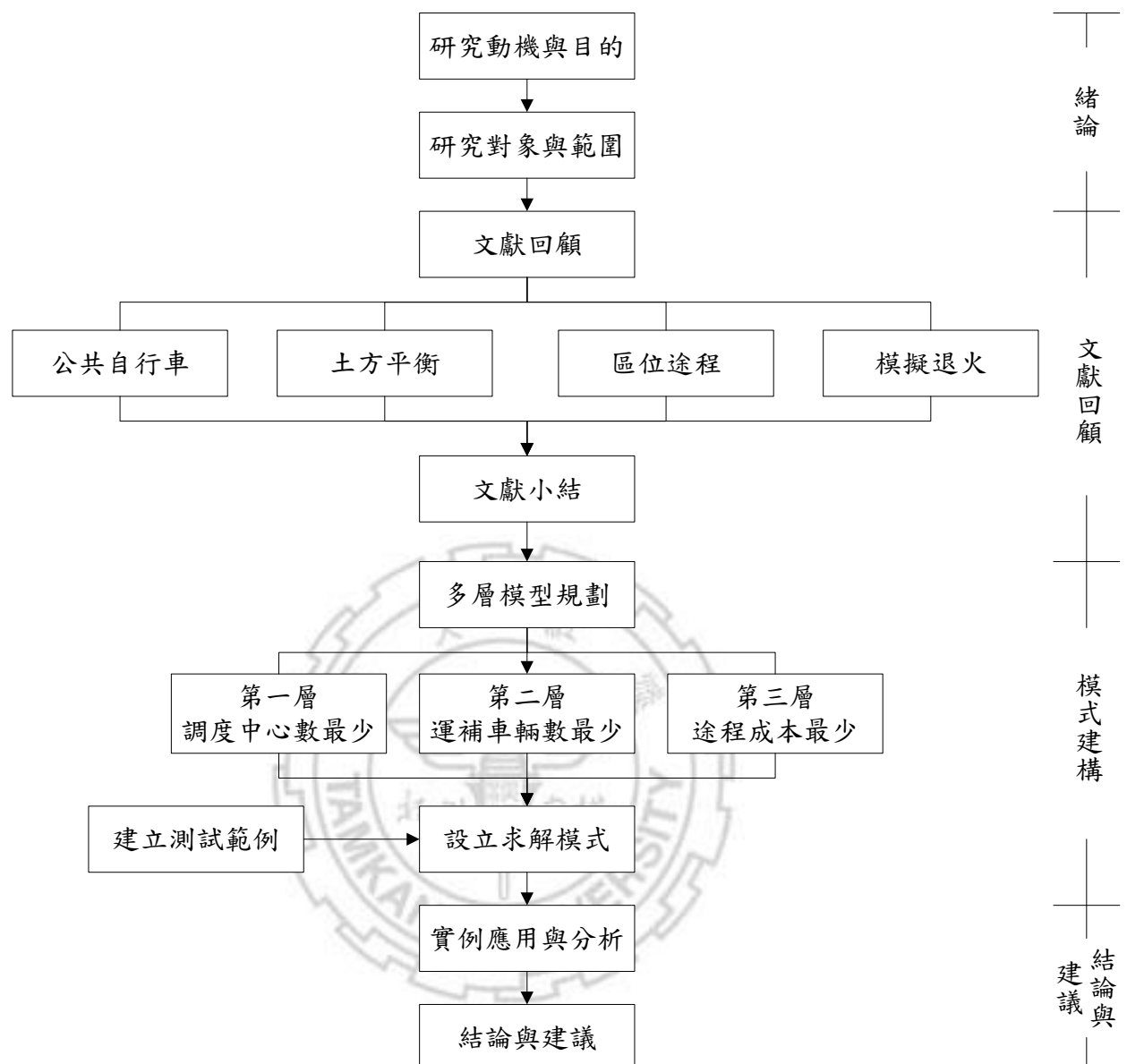


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章文獻回顧分為四部分。第一節掌握國內有關公共自行車的研究，蒐集自行車運補相關研究與探討方向，找出研究尚未考量的因素。第二節針對國外有關公共自行車系統(BSS)之研究，探討在車輛平衡上使用的研究方法與成果，作為研究參考方向。此外，在工程設施中常常需要將缺少的土方運入，多餘土方運出，進行的調派作業牽涉運輸成本與作業時間，因而歷年來有諸多學者進行相關研究，求得最少調派成本與最佳調度路線。公共自行車之租借站亦有缺車缺位狀況，運補作業中於少位租借站取車、缺車租借站補車，每個租借站的狀況影響該租借站之運補順序並決定運補路線，而公共自行車運補熱門議題即為使運輸成本最小，與土方平衡之觀念契合，因此第三節本研究參考土方平衡相關研究，加強建構數學模型考量因素。本研究需建立調度中心以平衡分區內的車輛，第四節將彙集區位途程問題之理想相關研究，掌握使用方法、研究方向，與公共自行車議題做一統整，確定使用方法。

2.1 國內有關公共自行車之研究

在場站配置方面，趙文(2014)以高雄公共自行車為例，於初期規劃時即依土地特性與設置條件設定需求點與場站之候選區位，使用不同覆蓋率模型的配置結果進行比較。結果顯示在需求較鬆散的地區以集合覆蓋問題(Set Covering Problem)模型平均設置場站，較集中的地方則使用最大覆蓋區位問題(Maximal Covering Location Problem)模型。

白詩榮(2012)以台北公共自行車為研究對象，透過問卷調查發現民眾對公共自行車系統認知較好，而有較差的友善環境認知，且租借地點影響民眾使用意願。透過個體選擇模式則發現民眾利用公共自行車通勤及休閒的使用因素不同，並指出友善環境應從系統友善經營、社會友善引導發展與環境友善規劃三個層面共同出發。

陳柏僑(2014)分析公共自行車的使用需求。以高雄市公共自行車為研究對象，深入了解場站需求現況及周邊環境設施，結合地理環境與土地使用資訊，分析場站的區位特性，並應用逐步迴歸法建立預測模式，使營運者與決策者更精確的掌握地區需求量。

車輛配置部分，楊瑞宇(2012)以時空路網描述系統中公共自行車流動，構建確定性車輛配置模式，並考慮需求不確定情況，探討穩健價格與避險值兩個指標，以穩健最佳化建構穩健車輛配置模式，瞭解追求穩健解對於原模式最佳解之影響，與穩健解在不確定需求情境下的效益。張勻威(2011)考量確定性與隨機性需求之影響，以時空路網流動技巧，建構自行車佈署營運模式，並使用 CPLEX 數學規劃軟體求解，幫助決策者能有效地規劃自行車佈署與營運相關問題。

林緯帆(2013)提出將激勵機制建立於運補系統作業中，透過激勵租借者在有限時間內將自行車歸還至特定租借站減少運補作業。研究成果顯示可以顯著改善運補車輛的總路徑距離，使用者也能順利租借車輛，提升服務水準。此外，周荻傑(2012)結合地理資訊，將車輛途程方法應用於台北微笑單車以及高雄 C-bike。

此外，亦有公共自行車之綜合性研究。楊大輝等人(2015) 首次提出自行車專用道路線鋪設納入建置成本之觀點，並將使用者的旅行成本和營運者之建置成本做出綜合性考量，兼顧兩方面之成本，依此建構一數學模型，同時決定自行車租借位置、數量以及專用道路網，利用自行設計之案例進行分析，此模型可供未來新的研究方向參考。張立蓁(2010)利用兩類粒子群演算法求解有區位問題之租借站數目、地點及所需車柱數，並發展有最佳運補車數的運補車模式，提供建議予以營運者於不同時期下運補之配置方式，最後以多元商品網路流模式探討有無張貼廣告之影響，以增加額外的廣告營收。

2.2 國外對於自行車運補之研究

公共自行車系統對於現在許多大城市來說是重要的議題，為了維持使用者滿意度，營運者必須維持各租借站的自行車數量，遏制有缺車缺位的情況發生。在此背景下即衍生出自行車重新平衡問題(Bike Rebalancing Problem, BRP)，使用一有容量限制的車隊，以最小成本的方式將公共自行車輛重新配置。而各學者將此一問題以單一貨物的收送貨車輛路徑問題(1-PDP)處理。在求解策略上亦分為靜態平衡和動態平衡。

2.2.1 單一貨物的收送貨車輛路徑問題

Hernández-Pérez, H., & Salazar-González (2004)利用分枝切割法解決有收送貨的旅行銷售員問題(TSPPD)，每一個顧客與場站只能到訪一次，使總旅行距離最小。對傳統 TSPPD 提出一個全新概念，即 1-PDTSP。單一貨物在顧客收送貨時使用新的 0-1 數學規劃模型以同時解決 TSPPD 與 1-PDTSP。

Christian and Bettina (2013)以普瓦松(Poisson)、負二項(Negative Binomial)和 Hurdle 模式利用歷史數據預測需求量。結果發現天氣與氣溫會影響公共自行車的使用，此外，鄰近租借站的車輛數狀況也會影響使用需求。在短期預測上，負二項模式比普瓦松模式有較好的解。

Taha Benarbia et al. (2013)是第一個在公共自行車運輸模式運用中考慮在警告系統採用的三個控制水準，分別為 E_i (Engorgement Alert Level)、 P_i (Penury Alert Level)和 R_i (Desired Level Point)，供車輛配置策略使用。

Mauro Dell'Amico et al. (2013)將公共自行車運補視為特別的 1-PDVRP，提出四個混合整數線性規劃方程式，考慮不同皆含有指數的變數與限制式，為此發展特定的分枝切割法來解決此問題，並應用在義大利的城市上。

Mladenović, N. et al. (2012)使用一般變數鄰域搜索法(GVNS)解決 1-PDTSP，目標是使總旅行距離最小，每個顧客只能訪問一次，引進二元索引數的數據結構，有效的檢查與更新解決方案。而模型分析結果顯示變數鄰域搜索法在解的質量比

知名的演算法好。

Hernández-Pérez, H. et al. (2009)提出變數鄰域搜索法(Variable Neighborhood Search, VNS) 與 GRASP 的混合法, 結果顯示比 Hernández-Pérez, H., & Salazar-González (2004)提出的 1-PDTSP 之啟發式要好。GRASP 的本地搜索階段由 VNS 兩個鄰域結構取代, 其中包括 2-opt 以及 3-opt 的營運者。

2.2.2 靜態平衡

Petrina Papazek et al. (2013)將迭代貪心啟發架構應用在靜態的公共自行車輛平衡問題, 其概念為將 PILOT 和 GRASP 使用在變數鄰域下降(Variable Neighborhood Descend, VND)做為一個當局的改善, 以維也納 700 個租借站為例。計算結果顯示此 PILOT/GRASP 的混合法應用在非常大例子時, 比先前提出的變數鄰域搜索法(VNS)有更好的結果。只計算一個迭代, PILOT 結構啟發式非常快速的提供一個好的解決方案, 可被應用在較急迫的案例中。

Petrina Papazek (2014)解決靜態變量問題, 目標為使所有租賃站目標水準與最終車輛填補水準的絕對誤差最小。其將先前提出的 GRASP 混合法分別與路徑重新連接(Path Relinking, PR)和營運商重組混合, 應用在維也納的路網中。實驗結果顯示路徑重新連接能顯著地改善結果。

Erdoğan et al. (2014)提出一個有需求區間的靜態自行車重新定位問題(Static Bicycle Relocation Problem with Demand Intervals, SBRP-DI), 是 1-PDTSP 中的一個變量, 為第一個學者研究車輛路徑固定時產生的子問題。以路網流量為基礎發展整數規劃公式、分枝切割法和 Benders 分解法。於 1-PDTSP 例子的計算結果指出, 因 SBRP-DI 在需求區間的彈性比 1-PDTSP 還要容易解決, 分枝切割法可以解決最多 50 個租借站, 然而以 Benders 為基礎的演算法有更短的計算時間且可以解決更多例子。

2.2.3 動態平衡

Claudio Contardo et al. (2012)第一個提出並定義動態公共自行車平衡問題 (Dynamic Public Bike-Sharing Balancing Problem, DPBSBP), 為有效地解決問題, 使用分解技術將困難的變量及限制成為子問題。同時使用 Dantzig-Wolfe 和 Benders 兩種分解, 是第一次使用在收送貨問題的兩種方法。計算結果指出此法可有效的快速產生上、下限, 但會產生較大的間距。

Leonardo Caggiani et al. (2012)之研究目標為使車輛重新配置的營運成本最小, 提出的模型考慮動態的需求變化, 使用微觀模擬呈現公共自行車重新配置的結果。此外, Leonardo Caggiani (2012)提出動態自行車重新配置模型。模型中考慮動態需求變量, 在時空上決定最佳重新配置流量、分配型態以及時間間隔等, 產生最佳載運車輛路徑以及需重新配置的自行車輛數, 使公共自行車營運者載車輛重新配置的成本最小。提出的決策支援系統可同時應用在策略設計或實際的管理, 決定公共自行車系統的最佳規劃。最後進行微觀模擬, 檢查方法的實用性。

Leonardo Caggiani (2012)提出一個具有更大彈性的模糊決策支援系統, 共同決定重新配置的時間窗、最佳運補車輛路徑以及自行車輛數, 並應用於一個模擬的公共自行車系統之單一區域。初步結果顯示就找到可借車輛或可停站位的機率而言, 調度管理讓使用者的滿意度增加。

Patrick Vogel et al. (2014)於動態服務路網設計模式中, 提出一個混合整數規劃(mixed integer programming, MIP), 目標是決定場站的最佳滿意度水準, 將預期重新配置車輛需求的成本最小化。研究中加入一個混合型巨集啟發式, 整合大鄰域搜索工具與求解工具提供確切解決方法。應用於維也納公共自行車的結果顯示, 混合型巨集啟發式較 CPLEX 有更好的結果。

Christian Kloimüller (2014)將之前研究過的靜態公共自行車平衡, 延伸貪心法、PILOT 架構啟發式、變數鄰域搜索法(VNS)和 GRASP, 解決更複雜的動態變量, 使用的目標方程式可輕易調整滿足使用者需求和目標運補量的權重。同樣應用於維也納的實際例子中, 貪心或 PILOT 架構啟發式能以快速的計算時間得

到解決方案，而 VNS 在較長的計算時間上有最好的解。

2.3 土方平衡之定義與研究

2.3.1 土方平衡定義

土方平衡是通過土方平衡圖計算出場內高處需要挖出的土方量和低處需要填進的土方量，瞭解計畫外運進、出的土方量，此為場內平衡工作。在計劃基礎開挖施工時，盡量減少外運進、出土方的工作，這不只關係土方費用，對現場平面布置亦造成很大的影響。其調配原則為就地取土、場內平衡、不足土方量外進，若有多餘的土則安排適當路線作棄土動作。

調配方案是根據土方的施工標高、挖填區面積、挖填區土方量，並考慮各種變更因素(如：土的鬆散率、壓縮率、沉降量等)進行調整後，對土方進行綜合平衡調配。土方平衡調配工作是土方施工中的一項重要內容，目的是使土方運輸量和土方運輸成本最低的條件下，確定填挖區的調配方向與數量，從而達到縮短工期和提高經濟效益的目的。進行土方平衡調配必須綜合考慮工程和現場情況，與技術資料、工程進度要求、土方施工方法以及分期分批的土方堆放和調運問題有關。經過全面研究、確定業主平衡調配原則後，才可著手進行土方平衡調配工作，包括劃分土方調配區、計算土方的平均運具、單位土方的運價、確定最佳的土方調配方案。

2.3.2 國內土方平衡相關之研究

傳統探討土方調配運輸問題，因缺乏演算法的技術，故大多只探討平衡土方運輸問題。楊秉蒼等人(2000)以實數型自我學習神經網路(SLNN)解決資源受限土方調配運輸問題，相較於隨機搜索的解答，此法能有效改善解答品質。

顧梓承(2002)針對土方工程個別需求與條件，加入敏感分析機制，利用線性規劃模式求出每日各料源，依各工程不同時段之施工需求及條件訂定各限制條件之參數，輸入 LINGO 套裝軟體得出最經濟之排程，並利用 EXCEL 軟體計算各材料運至需求區之成本，做為排程者輸入單價之參考。應用於台灣北部某濱海特

定工業區開發工程的測例顯示較傳統方法之績效要好，適合短期之土方調派。

簡德和(2004)利用整數線性數學模式，先按工程施工計畫劃分土石調度區塊，再按施工條件建構目標式與限制式，加入敏感度分析，藉由 LINGO 套裝軟體以快速時間求解最佳調派模式。實際應用上可依施工條件調整限制式或參數，求得最佳調派排程，並供管理者做成本控管之參考。陳俊良(2008)則加入實務土方資源調派中未被深入探討土方配合施工重覆搬運與堆置所耗費之成本。

賴怡君(2006)將派遣作業結合基因演算法，考慮傾卸卡車往返棄土場時間、棄土場收取土質性質與收費成本、機具數量與相關費用等，在時間與成本雙目標權衡下，建立最佳配送土方模式，得到即時土方工程派遣作業之派送順序表單。

2.3.3 國外土方平衡相關之研究

Said M. Easa et al. (1988) 提出一個二次規劃模型，包含挖填土坑之線性單位成本，依據先前的研究，假設運輸單位成本、取土坑的壓實、從填挖方以及棄土場的各種單位成本為常數。只有當線性單位成本非遞減時才能保證全部最小成本。此模型補充現有土方平衡之最佳模式。

最短路徑挖填問題(Shortest Route Cut and Fill Problem, SRCFP)屬於 NP-hard 離散最佳化問題，目標是找到土方車於填補位置間的車輛路徑之最小總距離。Darrall Henderson (2003)將模擬退火法(Simulated Annealing Algorithms, SA)使用在最短路徑挖填問題上，並建構貪心法來計算上限，Held-Karp 1-tree lower bound 用來計算下限。

多位研究者試圖解決不同類型的土石方調配問題，然而典型的土方調配問題公式不考慮設備及移動順序，限制實際可運作的搬運計畫。Khaled Nassar et al. (2012)利用最低成本路徑挖填問題(Least-Cost Route Cut and Fill Problem, LCRCFP)解決上述限制。主要目標是決定特定路線以及土的質量。最低成本路徑挖填問題以混和二元最佳問題組成，並用傳統的分枝界線法和粒子群優化技術(Particle Swarm Optimization, PSO)同時解決設施建設中常見的線性變化問題。

2.4 區位途程

區位途程問題(Location Routing Problem, LRP)由區位與車輛途程兩個問題發展而來，剛開始學者將此問題分為兩個獨立階段，求出最佳區位後再找每個區位下的車輛路徑，但不一定能得出最佳解。因此後來的學者將此問題改為相互影響的兩階段，得出設施建置與車輛途程總成本最佳的答案。為瞭解近年來區位途程研究狀況，本研究參考 Prodhin and Prins (2014)整理出 2007-2013 年有關區位途程問題主要研究方向的論文數，如表 2-1 所示。

表 2-1 2007-2013 年每年有關區位途程問題主要研究方向的論文數

區位途程問題種類	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	總計
沒有容量限制的車輛 (LRP with uncapacitated vehicles)	1	0	0	1	0	1	1	4
沒有容量限制的場站 (LRP with uncapacitated depots)	0	1	0	0	1	1	2	5
有容量限制的區位途程 (Capacitated LRP, CLPR)	2	1	1	2	4	2	6	18
二階段區位途程 (Two-echelon LRP)	1	0	1	1	1	4	0	8
卡車和拖車途程問題 (Truck and Trailer Routing Problem, TTRP)	0	0	2	2	3	1	3	10
有特殊或多目標的區位途程 (LRP with special or multiple objectives)	1	1	0	1	1	3	0	7
節點和車輛的附加屬性 (Additional attributes on nodes and vehicles)	1	1	1	0	1	1	1	6
多週期區位途程 (Multiple-period LRP)	0	1	0	1	1	1	0	4
存貨區位途程 (Inventory LRP)	1	0	0	1	1	0	1	4
不確定數據的區位途程 (LRP with uncertain data)	0	0	0	1	1	1	3	6
總計	7	5	5	10	14	15	16	72

資料來源：Prodhin and Prins, 2014

2.4.1 設施區位與最大涵蓋區位問題

設施區位問題是一個空間資源分配與合理配置的問題(Margaret et al. ,1989) 。選擇設施建置位置為一長期決策問題，設施的建置成本龐大，營運者於初期需投入大量的固定成本，因此如何在許多可行的設施位置中選擇長期運輸成本最小之最佳位置，為營運者所考量的關鍵要素之一。設施型態可分為：非緊急性設施、緊急性設施、鄰避性設施。設施區位依其特性可分為靜態確定區位問題(Static and Deterministic Location Problem)、隨機區位問題(Stochastic Location Problem)與動態區位問題(Dynamic Location Problem)三類，其中動態區位問題因地區隨外在環境變化存在不確定的情況，地區資源有限，未必能滿足使用者需求，且需求會依時間變動而有突發性變化；靜態區位則不考慮依時性和突發性問題。隨機區位因為不易掌握與評估影響設施區位的因素，因此亦無固定區位。建置車輛調度中心為一巨大成本，又，本研究欲計算出最佳分區數與各分區之設施位置，且經由資料分析可得不同時段下租借站需求狀況，故不考慮隨機區位與動態區位問題。決定靜態設施位置常見的分析模式如下：

1. P-中位問題(P-median Problem)：

考慮不同需求點之需求變化，設施與各需求點間的總加權旅行距離和最小，決定 p 個候選設施數目中最佳佈署位置，使每個需求點皆可被其中一個設施點服務。

2. P-中心問題(P-center Problem)：

研究範圍內有 m 個需求點，求解節點與各設施之最短距離，並計算至最近設施中心的最大距離，利用最小極大準則(Minimax criterion)處理集合覆蓋問題下有多組解的問題，並反覆評選最佳解，最後以設立 m 個設施且覆蓋半徑最小者為最佳解(Minieka, 1970)。

3. 集合覆蓋問題(Set Covering Location Problem, SCP)：

給定設施最大覆蓋距離，以最小設施建置數需服務所有顧客點(Toregas et al. , 1971)。加以考慮設施成本並選擇較低成本位置，則為權

重集合覆蓋問題(Weighted Set Covering Problem, WSCP)。

4. 最大覆蓋區位問題(Maximal Covering Location Problem, MCLP)：

此模型於候選設施中尋求在一定距離內服務人數最多的最佳區位。由於資源不足，預先設置的服務範圍無法覆蓋所有需求點，因而調整服務距離，使其在可接受的服務範圍內涵蓋最大需求總量。簡言之，其目標為如何設置最少的設施且每一需求點至少被一個設施服務。

5. 區位集覆蓋性問題(Location Set Covering Problem, LSCP)：

此問題預先設定設施服務距離上限，不考量各點需求的差別，以最小設施數目為目標，使所有需求點能在距離限制下接受設施服務，滿足所有需求點。

其他區位問題依據問題特性、不同需求變化而有特殊的區位模式，較常見的設施區位問題整理如表 2-2 所示。

Liao and Guo (2008)對於有容量限制的設施區位問題(Capacitated Facility Location Problem, CFLP)發展一個以群集分析為基礎的設施指派方法，決定不同容量限制的設施位置其涵蓋的服務範圍。方法包含：(1) 指派需求點給設施時同時考慮設施的容量限制與最小成本，(2) 使用調整過的 K-means 得到最佳的迭代設施位置。

Murray and Gerrard (1998)考量候選設施之地區條件，不同地區的設施負荷能力不同，若配置過多需求點則有較差的服務水準，因此提出地區性有容量限制的 P-中位問題(Capacitated Regionally Constrained P-median Problem, CRCPMP)，結果顯示在大範圍的問題分析中可用較少的計算時間獲得結果。

在多場站的問題中，會出現顧客不只可以被一個設施服務的情況，Keinosuke and Robert (1978)將群集技術應用在服務範圍交集上，利用機率空間將顧客指派至最佳的設施，同時滿足每個設施的服務水準。

表 2-2 常見設施區位整理表

區位模式名稱	理論探討與分析	適用設施
P-中位問題 (P-median Problem)	該模式目的在尋求設施與需求點間最小化的總加權旅行距離，進而求解出預設之設施數目與其最適座落區位	非緊急設施
P-中心問題 (P-center Problem)	目的在尋求設施與需求點間最大距離最小化，以求取預定之設施數及區位點，意旨目標在最小化時任何需求點與其最近設施之最大距離	緊急設施
區位集覆蓋性問題 (Location Set Covering Problem)	目的在以最小化設施配置的成本為目標，尋求最少設施數的最適區位，使所有需求點都在設施服務範圍內，另外不考量各需求點於需求量上的差別，且各需求點均被包含在特定的設施服務距離範圍內	非緊急設施 緊急設施
最大覆蓋問題 (Maximal Covering Location Problem)	該問題目的在求取設施最大化服務範圍內的需求數量，並滿足已知配置數量的設施	非緊急設施 緊急設施
反中位問題 (Anti-Median Problem)	該模式與 P-中位問題的差異點在於本模式主要尋求設施與需求點間最大化的總加權旅行距離，再求解設施數目與最適分布區位	鄰避設施
反中心問題 (Anti-Center Problem)	此模式與 P-中心問題相反，其目標主要尋求最大化的服務設施與需求點的最小距離	鄰避設施
反區位集覆蓋性問題 (Anti-location set covering Problem)	以目標函數求設施數為最大值，意旨以最多設施數來服務需求	分緊急設施 具必要性

資料來源：林千琪，2003

2.4.2 車輛途程問題

車輛途程問題自 1960 年開始便被廣泛的研究，主要由旅行銷售員問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) 衍生。典型的問題定義為：由數個收送中心 (depots) 指派一組容量已知的車輛，服務已知需求且確定位置的顧客集，並返回收送中心 (Dantzig and Ramser, 1959)。目標通常為以最小成本路徑服務所有顧客，其他尚有品質提升等其他服務目標，服務時須不違反限制條件，如：所有顧客皆須被服務、車輛不可違反需求點限制、時間成本、距離成本與容量限制。而依據問題特性，又可細分為以下問題 (Bodin et al., 1983)：

1. 旅行銷售員問題
2. 多重旅行銷售員問題
3. 單一場站、多路線問題(Single-Depot/Multiple Vehicle Routing Problem)
4. 多重場站、多路線問題(Multiple-Depot/Multiple Vehicle Routing Problem)
5. 隨機性車輛途程問題(Stochastic Vehicle Routing Problem)

其中，因在每一需求點皆有服務時間的限制，產生運補車輛服務時間的上限與下限而衍生出含時窗限制之車輛途程問題，時窗分類如下：

1. 硬時窗(Hard Time Windows)

在硬時窗車輛途程問題中，車輛必須於客戶要求的時間內抵達且完成服務，若提早於時間下限前抵達(早到)，則須等待至到達時窗下限才能進行服務，若於時間下限外到達(遲到)則客戶拒收，無法完成該客戶之服務。

2. 軟時窗(Soft Time Windows)

在軟時窗問題中，可允許車輛不一定要在顧客指定的時間內(時窗內)到達，但若於時窗外到達，亦即不管是提前在時窗下限開始時到達(早到)，或於時窗上限關閉後到達(遲到)都可對顧客進行服務，但必須加入懲罰成本，一般來說晚到的懲罰成本較早到的懲罰成本高。此項懲罰成本為與硬時窗最大不同之處。

車輛途程屬於 NP-hard 問題，因此於求解問題時較其他問題困難許多。至目前為止相關的求解研究相當多，大致可分為下數幾類(Bodin and Golden, 1981)：

1. 精確解(Exact Procedures)

以動態規劃(Dynamic Programming)、整數規劃法(Integer Programming)與分枝界限法(Branch and Bound)等方法於小型例子中可取得最佳解，但於超過 30 或 50 個節點以上較大型的路網問題時，較不易求出最佳解。因此在大型問題上仍以啟發式解法為主。

2. 啟發式解法

此法於求解過程中資料輸入與計算較簡易，且模式具擴張性。一般而言又可分為以下幾類：

(1) 路線建立法(Tour-Building Method)

a. 節省法(Saving Algorithm)

於現實生活中路線長度、需求點數量、車輛時間等的限制可以容易的加入模型中，因此節省法在建構路線與求解實務問題中最常被使用。其假設每個客戶由一輛車滿足需求，計算每個顧客間的節省值，並依照節省值大小將顧客安排於同一路線上。數學式為： $s_{oi} + s_{io} + s_{oj} + s_{jo} - (s_{oi} + s_{ij} + s_{jo}) = s_{io} + s_{oj} - s_{ij}$

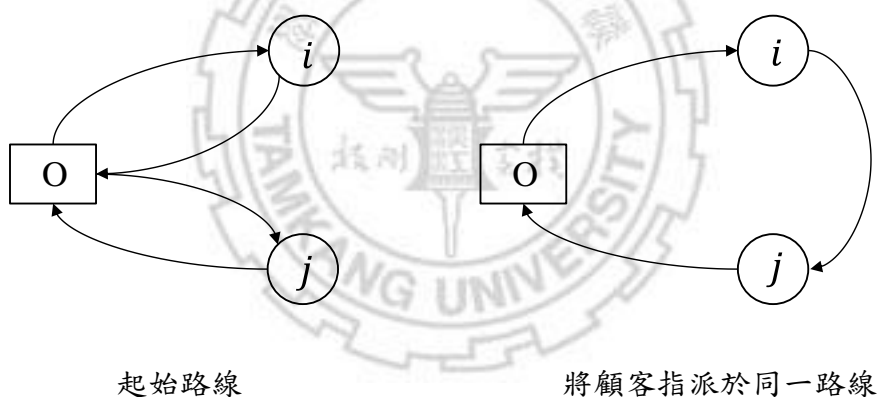


圖 2-1 節省法示意圖

b. 最鄰近點插入法(Nearest Neighbor Search)

c. 最遠插入法(The Farthest Insertion Method)

d. 掃描法(Sweep Approach)

隨機選取一點作為起點，依順時針或逆時針方向掃描，在容量限制下的需求點加入同一路線，直到符合容量限制。此法先將需求點指派給車輛，然後排出車輛行駛順序，且每個區域內需求數量符合車輛容量限制。

(2) 路線改善法：如 K-opt、Or-opt、Swap 節點交換法等。

3. 數學規劃法

Fisher and Jaikumar (1981)將車輛途程分為兩部分：旅行銷售員問題與車輛指派問題。也就是先利用數學規劃法將需求點分群，再指派車輛服務區域，並針對各區域規劃單一旅行銷售員問題。此為針對較複雜的問題將限制條件鬆弛後來求解，因此所求得的為近似解。

4. 先分群後排路線(Cluster-first Route-second)

先將顧客分群，再將各分群作路線的安排。

5. 先排路線後分群(Router-first Cluster-second)

先找出所有顧客最佳車輛行駛路線，在依車輛容量限制拆為單獨路線。

6. 人機互動法

在問題的決策過程中，利用導入人為的主觀因素交互影響來幫助做決策。最佳化模型中加入有經驗的決策者之主觀評估進行參數設定，使模型更具可靠性。

2.4.3 區位途程問題

區位途程問題結合設施區位與車輛途程問題，蔡輝昇(1985)定義其為有 N 個服務點且每個服務點需求為已知，有 R 個候選設施位置，只有 M 個設施可設立 ($M \leq R$)，同時決定設施位置與每個設施服務的需求點並排定車輛路線，目標為使設施建置費用、營運成本及車輛運輸費用總合最小。有關車輛途程問題的分類如表 2-3 所示。

區位途程階段性問題分單階段或雙階段(多階段)，於單階段問題中只決定設施位置與數量，及各設施的配送路線。雙階段問題之場站可能為一倉儲，運送物品從製造廠運送至倉儲，再藉由倉儲分派給顧客。設施區位問題可細分為：設施

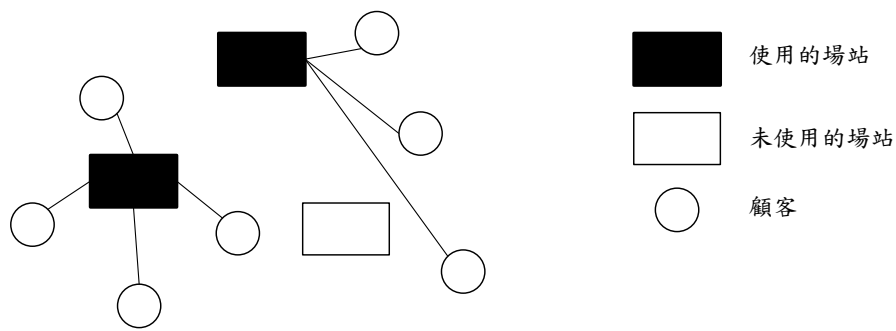
區位問題、區位途程問題、雙階段設施區位問題與雙階段設施區位途程問題。

圖 2-2a 為單階設施區位問題，在所有候選設施中選擇最佳設施數量與位置，並在需求點間往返配送，圖 2-2b 決定需求點的配送順序，以巡迴作為運輸方式。圖 2-2c 為雙階段設施區位問題，於所有候選設施中決定最佳設施位置與數量，並於所有候選需求點中選擇最佳倉儲數量與位置。此問題可分為：先決定倉儲再確定設施與先決定設施再決定倉儲。圖 2-2d 於車輛配送部分改為車輛途程方式，問題較為複雜。

表 2-3 區位途程問題分類

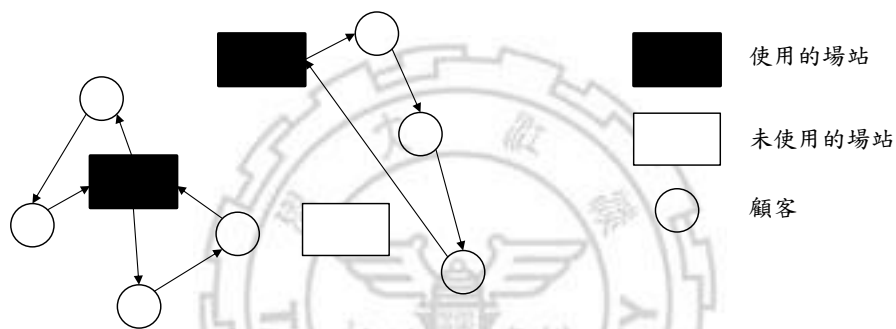
型態	總類
階段性	單一階段 雙階段
顧客需求	確定型 隨機型
場站數量	單一場站 多場站
車隊大小	單一車輛 多車輛
車容量	無容量限制 有容量限制
場站容量	有容樣限制 無容量限制
場站階級	主要 次要
規劃時間軸	單一時期(靜態) 多時期(動態)
時窗限制	無限制 軟時窗 硬時窗
目標式	單一目標式 多目標式
資料型態	假設的 真實的

資料來源：Hokey，1998



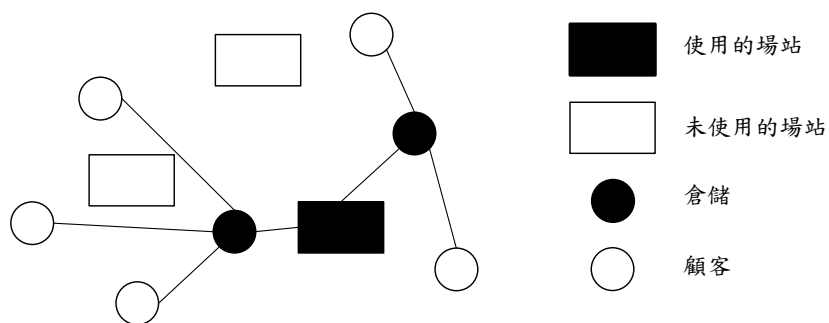
資料來源：池昆霖(2006)

圖 2-2a 設施區位問題(決定場站位置)



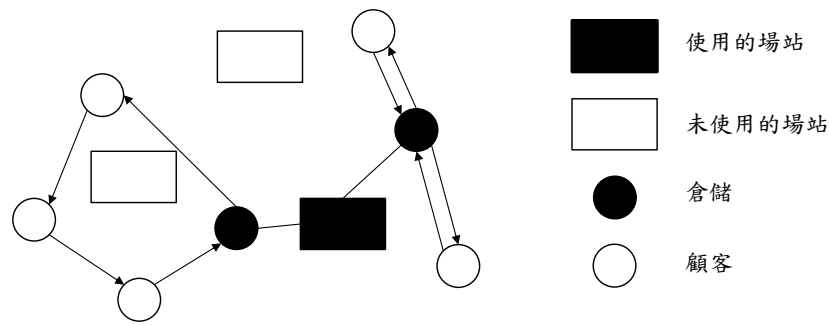
資料來源：池昆霖(2006)

圖 2-2b 區位途程問題(決定場站位置與車輛途程)



資料來源：池昆霖(2006)

圖 2-2c 雙階段設施區位問題(決定製造廠與倉儲位置)



資料來源：池昆霖(2006)

圖 2-2d 雙階段設施區位途程問題(決定製造廠、倉儲位置與車輛途程)

區位途程問題大致以循序求解法(Sequential Procedure)和反覆解法(Iterative Approach)兩種啟發式求解：

1. 循序求解法(Perl and Daskin, 1985、Wong et al., 1987、Webb, 1968)

可分為兩個步驟：確定場站位置再決定車輛途程問題。第一步驟是以傳統設施區位問題找出最佳設施配置再進行需求指派，在此主要考量設施與顧客間之最短距離，評估設施與顧客間的運輸路線距離成本總和；第二步驟求解每個設施之車輛途程。通常求得結果是次佳解(Suboptimal)。

2. 反覆解法(Wong et al., 1987、Perl and Daskin, 1985、Mole and Jameson, 1976)

求解策略為以需求指派問題為主，設施區位與車輛途程問題為輔，隨機產生一組設施，再進行需求指派，而後依指派結果計算車輛調派路線問題，產生最佳解後再一次隨機選取另一組設施，進行需求指派後再次求取車輛途程之最佳解，比較前後結果，若得到改善解則設施交替，反覆進行至所有設施皆測試過，或目標值無法再改善。大致來說此法得到的解較循序求解法佳，但於運算上也較複雜。

多場站車輛途程問題(Multi-Depot Vehicle Routing Problem, MDVRP)中須決定一個以上的設施位置，但顧客只由單一車輛服務，每輛車由從一場站出發，完

成服務後回到同一場站(Chao, 1993), 也就是顧客只由一個設施服務, 因此便產生顧客指派問題。通常會使用群集法(Clustering Method)進行分群, 將顧客指派給距離最近之設施。指派方式又可分為:

1. 緊急指派(Assignment Through Urgencies)
2. 循環指派(Cyclic Assignment)
3. 群聚指派(Assignment by Clusters)
4. 運輸指派法(Assignment Using the Transport Problem)

設施區位與車輛途程間會相互影響, 但過去文獻中鮮少有學者將兩者合併考慮, Perl and Daskin (1985)同時解決此二問題, 由於問題過於龐大複雜, 兩位學者將問題分為三個子問題求解:

- (1) 多場站車輛派遣問題(The Complete Mutli-Depot Vehicle-Dispatch Problem)
- (2) 區位指派問題(The Warehouse Location-Allocation Problem)
- (3) 多場站途程指派問題(The Multi-Depot Routing-Allocation Problem)

於階段一中找到所有可候選設施及其最少運輸成本, 第二階段則降低設施的固定成本, 第三階段確定每個使用設施的最少車輛途程, 每個子問題間的結果交互影響。

先前文獻只解決區位途程收貨與送貨的問題, Min (1989)為第一個提出區位途程中需求點亦有收送貨問題的學者, 也就是同時處理收送貨的區位途程問題(LRPSPD)。研究中以圖書館配送系統為探討對象, 用三階段程序解決, 類似於先群集後排路線的方式, 第一階段使用平均連結法先將客戶分群, 第二階段指派車輛給顧客群, 第三階段建立運補路線。Karaoglan et al. (2012)在LRPSPD問題中發展以節點為基礎(Node-Based)和以流量為基礎(Flow-Based)的數學式, 使用兩階段的模擬退火法求解。結果顯示所提出的兩個方法皆能有效地在合理計算時間中得到質量好的解, 在小範圍問題中, 以流量為基礎的數學式比以節點為基礎的

數學式能得到較佳質量的解以及計算時間；而在中型問題裡，以節點為基礎的數學式能有較低的下限值。

張易晟(2014)以國內知名 B2C 電商的訂單資料為研究對象，為 B2C 電商提出有配送系統的最適化設施數、設施位置與車輛數。建構二階段的區位途程問題，以分枝界線法尋求服務都會區的設施數最小化，並將設施設立在訂單數較多的區域，再用循序型節省法找出每個設施需要的最少車輛數。接著探討不同配送策略對最佳設施數量、位置、最少車輛數等的影響，調整參數以提出不同方案組合。

曾雅苓(2005)以台北市為研究範圍，建構移動式抽水機區位配送模型，以救災期間設施運作成本、設備成本、租用機具成本等為共同設定，利用樣本平均近似法得到最佳救災機具存放方案，達到最小總成本和總成本變異平緩。並對救災中心設施容量上限進行敏感度分析，結果發現於預期救災中心存放容量增加，可以降低總成本。

池昆霖(2005)為解決易腐性商品，在短期最佳化之下尋求長期成本的最小化，依此發展雙層混合整數規劃模型，將生產排程與車輛途程整合，考慮區位選擇和時窗限制。上層站時固定場站位置，下層生產排程部分用 Nelder-Mead 求解，車輛途程則用修正後的插入法建立初始解。

Branco and Coelho (1990)使用 Hamiltonian P-median Problem (HPMP)解決區位途程問題，結果顯示使用群集分析後再利用 3-opt 改善路線的效果最好。

Sérgio Barreto et al. (2007)考慮設施的容量限制，使用四個群集方法和六個近似衡量求得四個版本(V1-V4)的啟發式解法。用文獻中取得的 19 個例子來比較模型的效果，結果顯示 V1 較其他版本有稍好表現，其次是 V3。而在六個近似衡量中，群組平均衡量會有最好的結果，因此從結果來看應先挑選最好的求解法版本，再選最好的近似衡量法。

Mehrjerdi and Nadizadeh (2013)研究模糊需求的容量限制區位途程問題，並使用貪心群集法將問題分為四個階段，先用群集分析將顧客分群，再使用貪心搜尋法找出可建立的場站數與位置，接著指派每個場站的顧客，最後依據結果決定

途程問題。

Madsen (1983)將雙階段設施區位途程問題分為三個子問題：(1) 場站的數量與位置、(2) 工廠至場站的路線、(3) 場站至顧客的車輛途程。並提出(1) 先交替指派設施(Alternate Location-Allocation, ALA)，後節省法(SAV)決定路線、(2) 先用節省法決定場站配送路線，後用 Drop 程序決定場站位置。

2.5 模擬退火法

模擬退火法(Simulated Annealing, SA)以蒙地卡羅(Monte Carlo)演算法為基礎，隨機搜索算法並用迭代求解，是蒙地卡羅演算法之衍生。最早由 N. Metropolis 等人提出，而 Kirkpatrick 等人於 1983 年應用在組合最佳化問題中，類比統計學中的熱平衡問題。其概念為模擬一個金屬固體物質加熱的物理狀態，將此固體物質加熱至液態，使其粒子可自由活動，經過長時間緩慢降溫，粒子會逐漸形成低能態的晶體，在每個溫度下粒子會持續改變分布狀態，當溫度降到最低時粒子的結構會以波茲曼(Boltzmann)機率分布重新排列。

模擬退火法使用的 Metropolis 接受法則由一個控制參數 t 決定，此外需訂定一個退火策略(或降溫程序 Annealing Schedule)，決定每一溫度所停留的時降溫比例，如此能避免陷入局部最佳解。演算法反覆進行「產生→判斷→接受或捨棄」的迭代過程，基本理念是尋找起始解，並根據此解隨機產生另一個新解，若新解比現行解佳則接受，並移動過去；若新解較差，則依照給定的機率判斷是否接受，若不接受則回到現行解繼續搜尋。當接受的解達到一定數目時就需降溫，

一般研究中會希望模擬退火法具備兩個條件：

1. 當溫度夠高時，系統組態要能自由變化，即此系統的組態可以在能量表面自由的移動，或稱其隨機漫步(Random Walk)。
2. 當溫度變小時，系統的組態在能量表面的移動將受到限制，並慢慢向低能量的區域集中。

Vincent et al. (2010)介紹一個以模擬退火法為基礎的新解法。早期大多數關

於區位途程的文獻侷限在一些傳統的啟發式，精確解技術也被侷限在小規模的問題。而此研究提出編碼方案整合區位與途程決策，以擴大搜索範圍來得到較好的解，並應用在三個知名的測試範例上。結果顯示因為有較複雜的編碼程序，計算時間較其他方法要長，在解的質量上比其他文獻所提出的方法能產生相對較好的表現。因此建議可以應用在其他包含多階層的決策組合問題或非互相獨立的元素決策上，像是多階層區位問題、Hub-and-Spoke 路網設計和多運具運輸問題。

Vincent and Lin (2014) 提出多起始模擬退火法 (Multi-Start Simulated Annealing, MSA)，模擬退火法框架中合併多起始爬山策略。實驗結果表示可顯著增強傳統單一起始模擬退火法的表現，有效解決同時收送貨的區位途程問題。

Chao et al. (2015) 為第一個發展平行的模擬退火法 (Parallel Simulated Annealing, p-SA)，以剩餘容量和插入法為基礎的懲罰啟發式來解決 NP-hard 最佳問題，最主要的目標是使車輛數最少，並與從文獻中 65 個測驗問題之基因演算法相比較。結果證明 p-SA 在小規模與中規模問題裡，部分例子能得出比文獻更佳的解。

2.6 文獻小結

過去國內公共自行車相關文獻大多探討公共自行車場站配置、使用需求、車輛配置、使用特性、服務水準、接受度等因素，近年來開始較重視車輛運補問題。國外較多針對公共自行車系統運補之研究，使用車輛途程配合數學規劃或巨集啟發式(如：分枝切割法、鄰域搜索法等)計算最小成本與最短運輸距離之最佳運補路徑，其中，自行車運補為一收送貨問題，於此部分本研究發現用於建設工程中的土方平衡與自行車運補路線之觀念極為相似。

透過文獻回顧可發現土方平衡為一運輸問題，無途程與收送貨問題，但仍可參考土方平衡方法，分析場內及場外平衡研究概念，並考慮搬運時間、運補車旅行時間、作業效率與運輸距離等因素，尋找過去自行車運補方法中可能未考量變數，而土方工程亦有分區，與本研究之議題相似。有關於土方平衡與公共自行車調度作業間之關係如表 2-4 所示。

過去設施區位途程研究議題大多為商品貨物，如報紙、食品等，且對於車輛途程最短路徑距離、最少運補車輛數亦多有著墨。本研究以設施區位問題為主，將其應用在公共自行車運補問題上，決定最佳區位與最適分區，並建構最佳車輛途程。歸納上述關於公共自行車運補以及區位途程問題的研究文獻，可分析以下研究重點：

1. 就區位途程問題而言，追求最佳設施位置及各設施最佳車輛途程，本研究參考學者將問題簡化為三個子問題，同時決定最少設施數與位置、運補車輛數與途程成本。由於在現實世界中，營運者若未於一定時間內完成區域運補，則無法滿足使用者之需求，為使建構之模型貼近現實生活，本研究加入時窗限制，規定每輛運補車作業時間。
2. 發展模型中每一限制式下皆有最佳化問題，依此建構三層規劃數學模型，求解上相當困難，因此使用模擬退火法，避免陷入局部最佳解。
3. 本研究數值範例套用台北市 YouBike 設站位置及路網做測試，較能瞭解所發展模型的特性及實務上的應用性。

表 2-4 土方平衡與公共自行車調度之關係

		土方平衡	公共自行車調度
相同之處	區域平衡	施工地之場內平衡	劃分區內車輛平衡
	填補點	挖方土坑	缺位站點
		填方土坑	缺租借站點
相異之處	運具種類	單/多機(推土機、挖土機、卡車) 作業	單一種類之運補車輛
	車輛路徑	一填方與一挖方之直線運輸	拜訪各站點之途程
	回程	最終需考慮是否作棄土動作	運補車輛直接回到調度中心

資料來源：本研究整理

第三章 模式建構

公共自行車租借站有缺車缺位狀況時，若未恰當處理，將造成使用者對設施有負面的評價，對於營運者來說不僅損害品牌形象，另一方面因於建設初期已投入沉沒成本，若無善加經營則無法利用良好的營運減少成本支出。因此本研究規劃數學模型提供營運者參考，限制調度中心服務時間半徑與車輛最長服務時間使運補作業能在合理時間範圍內完成，同時解決缺車缺位狀況並符合營運者與使用者之期望。

3.1 問題描述

調度中心的區位決定分區範圍及服務之租借站，進一步影響到該分區所需配置的運補車輛數及途程路線規劃。每輛運補車有車輛途程問題，若各分區配置的運補車輛數較多，則每輛運補車行駛的路徑較短；配置的運補車輛數較少，則每輛運補車行駛的路徑較長。劃定分區時，將同時決定調度中心位置與分區範圍，不同的調度中心之間，因區位服務之範圍與租借站不同，將會影響需配置的運補車輛數，而不同的車輛數則會有不同的車輛途程。設施區位、運補車輛數以及車輛途程間的關係如圖 3-1 所示。本研究所建構之模型影響成本的主要因素有調度中心建置成本、運補車輛購置成本與每輛運補車之途程成本。主要目的為使三個成本加總後之總目標值最小，將要解決的目標有：1.尋求最適分區數 2.決定最少運補車輛數 3.計算最小收送貨途程成本。

為了降低設施成本，建立之調度中心數越少越好，但最少分區數不一定會有最小總目標值，因此劃分調度分區時，以決定最佳區位數為主要考量。其中，考慮到每個區位的路線成本，希望配置的運補車輛數最少，以減少購置運補車輛的開支，因此車輛數成本為區位成本的限制條件；此外，在多部車輛配置問題中，決定每輛車有最短的收送貨運補路徑，形成最佳車輛數的限制條件。換言之，在一輛運補車限制的最遠行駛距離下無法滿足此一調度中心分區內所有需求點，因而需要兩部以上運補車；在最佳車輛數的限制下，兩部以上的運補車無法服務研究範圍內所有需求點，則需要建立兩個以上的調度中心。雖為建構一個數學規劃

模型，但每一階層之結果相互影響，且每個限制條件中有最佳化問題，因此將問題分為三階層求解。

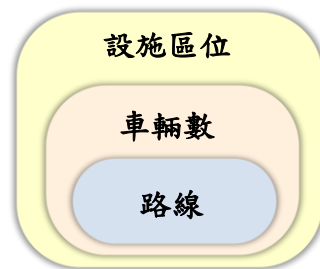


圖 3-1 設施區位、車輛數與路線的關係圖

規劃之三層模型所欲達到目標為：

- 第一層：求解設施最適區位與分區數
- 第二層：求解最小運補車輛數(路線數)
- 第三層：求解最小車輛收送貨途程問題

第三層決定一車之最遠距離與路徑順序，影響需使用多少運補車服務區內所有需求點，也就是第二層之最佳運補車輛數；而運補車輛數決定此分區大小，進而確定研究範圍內需設立幾個調度中心，也就是第一層之最佳分區數。三層模型之定式如下所示， $Z1$ 為第一層目標式區位總成本； $Z2$ 為第二層目標式車輛數總成本； $Z3$ 為第三層目標式途程總成本。其中，第三層模型引用土方平衡之概念，在收送貨途程中達到調度分區區內自行車輛平衡。

$$\begin{aligned}
 & \min Z1 \\
 & s.t \min Z2 \\
 & s.t \min Z3
 \end{aligned}$$

此外，本研究假設研究範圍所有租借站皆為候選調度中心，求解結果使用到部分租借站，並非使用全部租借站作為調度中心。第一層模型決定調度中心位置後，即以單場站方式求解，且調度中心間無共同服務之租借站，亦即每個租借站只被一個調度中心服務，因此為區位途程問題，並非多場站車輛途程問題。區位途程問題與多場站車輛途程問題之差異如圖 3-2 和圖 3-3 所示。

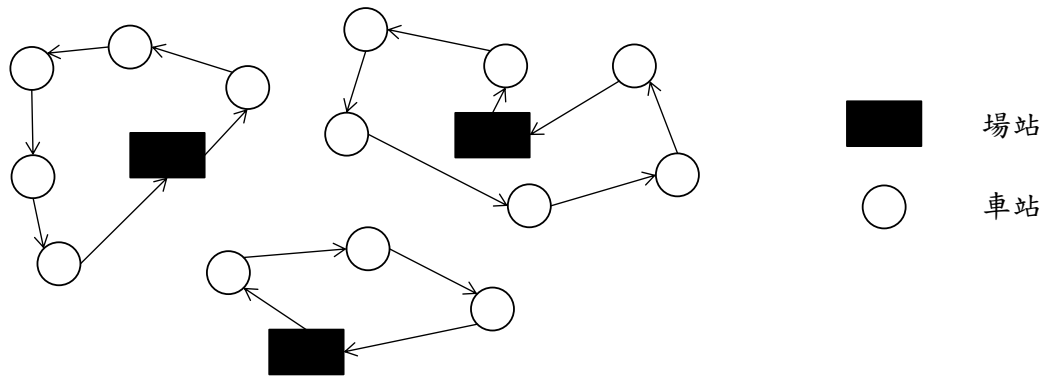


圖 3-2 多場站車輛途程示意圖

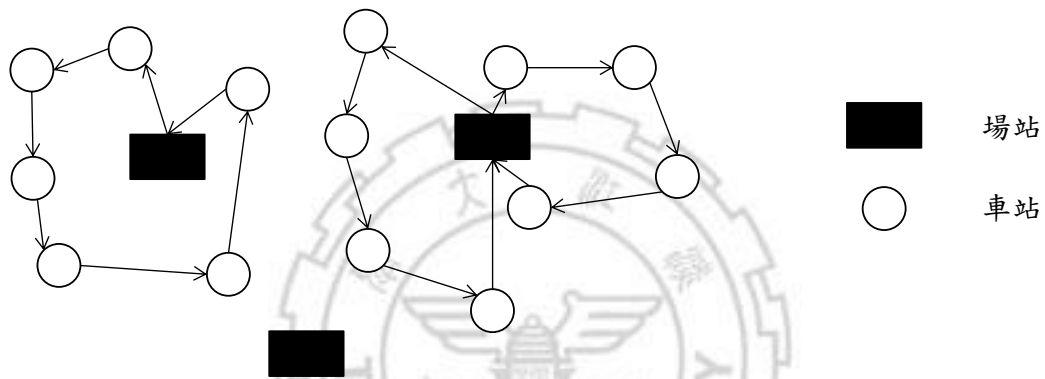


圖 3-3 區位途程示意圖

3.2 模型建立

硬時窗要求絕對不能違背時窗限制，若違反則不能進行服務，但自行車運補為必須進行之服務，因此本研究以軟時窗利用懲罰成本求解。每輛運補車亦有容量限制，且各租借站於不同時段下可能有不同收送貨需求，本研究將模型定位為：有容量與軟時窗限制之區位途程收送貨問題(Capacitated Location-Routing Problem with Pickup-Delivery and Soft Time Windows Constrains)。此外，因每輛運補車有容量限制與服務時間限制，影響需使用的車輛數，進一步決定調度分區數，故模型由第三層開始建構，研究假設如下：

調度中心	<ul style="list-style-type: none"> • 不考慮調度中心之容量限制 • 已知每個調度中心的最長服務時間 • 不考慮維修與折舊成本 • 具最長服務時間限制
運補車	<ul style="list-style-type: none"> • 車輛為單一車種，容量與成本皆相同 • 不考慮維修與折舊成本 • 可服務需求區域下的所有租借站 • 運輸成本與行駛距離、時間為線性關係 • 每輛車運只運送一次 • 不考慮車輛折舊及維修成本 • 購車、人力、路線成本均是決定是否增設車輛的考量因素
配送貨物	<ul style="list-style-type: none"> • 配送貨物為單一種類
租借站	<ul style="list-style-type: none"> • 已知每個時段下各租借站之需求狀況及服務時間 • 同一租借站只由同一運補車與調度中心服務 • 已知各租借站間的最短距離與時間

參數定義

N ：節點 $\{0, 1, \dots, n\}$ 的集合

\bar{N} ：除了原點外的節點集合 $\{1, 2, \dots, n\}$

O ：候選設施 $\{1, 2, \dots, n\}$ 的集合

K ：車輛 $\{1, 2, \dots, |K|\}$ 的集合

Q_k ：車輛 k 的容量

FC_o ：候選場站 o 的建造成本

DC_o ：候選場站 o 的容量

B_k ：車輛 k 的購置成本

β_k ：車輛 k 之每公尺運輸成本

d_{ij} ：點 i 和點 j 的旅行距離

t_{ij} ：點 i 到點 j 的旅行時間

C_i : 點 i 容量

M_i : 點 i 車輛數

p_i : 在點 i 的取車數

q_i : 在點 i 的送車數

U_i^k : 到達點 i 後, 車輛 k 的取車累計數

L_i^k : 到達點 i 後, 車輛 k 的送車累計數

ART_i^k : 車輛 k 到達點 i 的時間

s_i : 點 i 的服務時間

T_{max} : 運補車最長服務時間

FCT_{max} : 調度中心最長服務時間(服務半徑)

w_i : 點 i 違反時窗的懲罰成本

決策變數

$x_{ij}^k \begin{cases} 1, \text{路線 } i, j \text{ 由運補車輛 } k \text{ 服務} \\ 0, \text{其他} \end{cases}$

$Y_o \begin{cases} 1, \text{若設立候選調度中心 } o \\ 0, \text{其他} \end{cases}$

$V_k \begin{cases} 1, \text{若使用運補車輛 } k \\ 0, \text{其他} \end{cases}$

3.2.1 第三層數學模型

目標式：

$$\min Z_3 = \sum_{i,j \in \bar{N}} \sum_{k \in K} d_{ij} x_{ij}^k \quad (3.1)$$

限制式：

車輛出發

$$\sum_{k \in K} \sum_{i,j \in \bar{N}} x_{ij}^k = 1, \forall i \in \bar{N}, i \neq j \quad (3.2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i,j \in \bar{N}} x_{ji}^k = 1, \forall i \in \bar{N}, i \neq j \quad (3.3)$$

流量守恆限制式

$$\sum_{i \in \bar{N}} x_{ih}^k = \sum_{j \in \bar{N}} x_{hj}^k, \forall h \in \bar{N}, k \in K, i \neq j \quad (3.4)$$

運補車從調度中心起訖

$$\sum_{i \in \bar{N}} x_{oi}^k = 1, \forall k \in K \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in \bar{N}} x_{jo}^k = 1, \forall k \in K \quad (3.6)$$

租借站流量守恆限制式

$$M_i + q_i x_{ij}^k \leq C_j, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.7)$$

$$M_i - p_i x_{ij}^k \geq 0, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.8)$$

取車流量守恆限制式

$$U_j \geq U_i + x_{ij}^k p_j, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.9)$$

送車流量守恆限制式

$$L_j \geq L_i + x_{ij}^k q_j, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.10)$$

租借站流量限制式

$$U_i \geq L_i, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.11)$$

運補車容量限制式

$$q_i x_{ij}^k \leq Q_k, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.12)$$

$$p_i x_{ij}^k \leq Q_k, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.13)$$

$$U_i - L_i \leq Q_k, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.14)$$

$$U_i \leq Q_k, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.15)$$

$$L_i \leq Q_k, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.16)$$

$$p_i + q_i \leq Q_k, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.17)$$

服務時間限制式

$$ART_j^k \geq ART_i^k + s_i^k + t_{ij}^k, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.18)$$

$$ART_i^k + s_i^k + t_{ij}^k \leq T_{max}, \forall i, j \in \bar{N}, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.19)$$

非負限制式

$$p_i, q_i \geq 0, \forall i \in \bar{N}, k \in K \quad (3.20)$$

$$ART_i^k \geq 0, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.21)$$

$$x_{ii}^k = 0, \forall i \in \bar{N}, \forall k \in K \quad (3.22)$$

目標式(3.1)為車輛途程最小；限制式(3.2)表示路線只有一輛運補車 k 從租借站 i 點出發；限制式(3.3)表示路線只有一輛運補車 k 進入租借站 i 點；限制式(3.4)係指同一租借站只由同一運補車服務，也就是保證路線的連貫性；限制式(3.5)、(3.6)係指同一運補車從同一調度中心出發，完成服務後回到同一調度中心；限制式(3.7)係指租借站的車輛數加上在同一租借站的送車數不超過該租借站容量；限制式(3.8)係指在租借站的取車數不超過該租借站的現有車輛數；限制式(3.9)係指前一站取車累計數加上此站的取車數不超過在此站的取車累計數；限制式(3.10)係指在前一站的送車累計數加上此站的送車數不超過在此站的送車累計數；限制式(3.11)係指在此站的送車累計數不超過同一租借站的取車累計數，也就是送車數不大於取車數；限制式(3.12)係指在租借站的送車數不超過運補車容量；限制式(3.13)係指在租借站的取車數不超過運補車容量；限制式(3.14)係指在同一租借站的取車累計數與送車累計數之差不超過運補車容量；限制式(3.15)係指在

租借站的取車累計數不超過運補車容量；限制式(3.16)係指在租借站的送車累計數不超過運補車容量；限制式(3.17)係指在同一租借站的取車數加上送車數不超過運補車容量；限制式(3.18)係指車輛到達前一站的時間加上在前一站的服務時間加上在兩站間的旅行時間不超過車輛到達此站的時間；限制式(3.19)係指運補車到達租借站的時間加上在租借站的服務時間加上在兩點間的旅行時間不超過限制的最長服務時間；限制式(3.20)、(3.21)、(3.22)為非負限制式。

3.2.2 第二層數學模型

目標式：

$$\min Z2 = \sum_{k \in K} B_k V_k + \sum_{i, j \in N} \sum_{k \in K} d_{ij} \beta_k x_{ij}^k + \sum_{i \in N} w_i \quad (3.23)$$

限制式：

第三層限制式

$$\min Z3 \quad (3.24)$$

服務時間限制

$$\max(Z_n) \leq T_{\max} \quad (3.25)$$

目標式(3.23)包含車輛購置成本、運輸成本與違反時窗限制的懲罰成本；限制式(3.24)係為第三層目標式；限制式(3.25)係指最大成本路徑不超過限定的最長服務時間。

3.2.3 第一層數學模型

目標式：

$$\min Z1 = \sum_{o \in O} FC_o Y_o + \sum_{k \in K} B_k V_k + \sum_{i, j \in \bar{N}} \sum_{k \in K} d_{ij} \beta_k x_{ij}^k + \sum_{i \in \bar{N}} w_i \quad (3.26)$$

限制式：

第二層限制式

$$\min Z2 \quad (3.27)$$

調度中心容量限制

$$\sum_{k \in K} Q_k \leq DC_o Y_o, \forall o \in O \quad (3.28)$$

調度中心流量守恆

$$DC_o - p_o x_{ij}^k \geq 0, \forall i, j \in \bar{N}, o \in O \quad (3.29)$$

目標式(3.26)包含設施建構成本、車輛購買成本、運輸成本以及違反時窗限制之懲罰成本；限制式(3.27)為第二層目標式；限制式(3.28)係指運補車容量不超過調度中心容量；限制式(3.29)係指在調度中心之取車數不超過調度中心容量。

第四章 求解演算法

本研究建構一數學規劃模型，將問題分成三部分，每一最佳化問題為另一問題之限制條件，因此分成三階層求解。以下將先介紹整個數學模型之演算與求解概念，再從第三層模型開始介紹各階層求解概念以及方法步驟，最後進行該階層之測試範例以驗證模型可行性。

4.1 模型演算與求解步驟

在規劃的模型中，第三層只需處理一車最佳途程，第二層只需處理一區最佳車輛數，第一層則處理研究範圍內最少分區數。每層計算結果的更動皆會相互影響，進而決定最終總成本。數學模型之求解流程如圖 4-1 所示，模型演算流程如圖 4-2 所示。

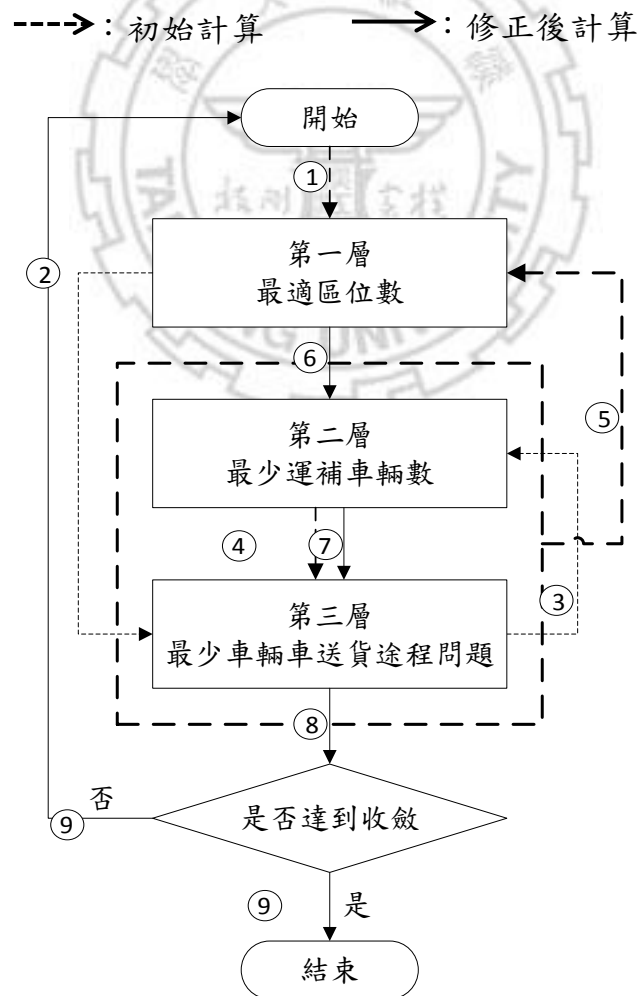


圖 4-1 模型演算流程圖

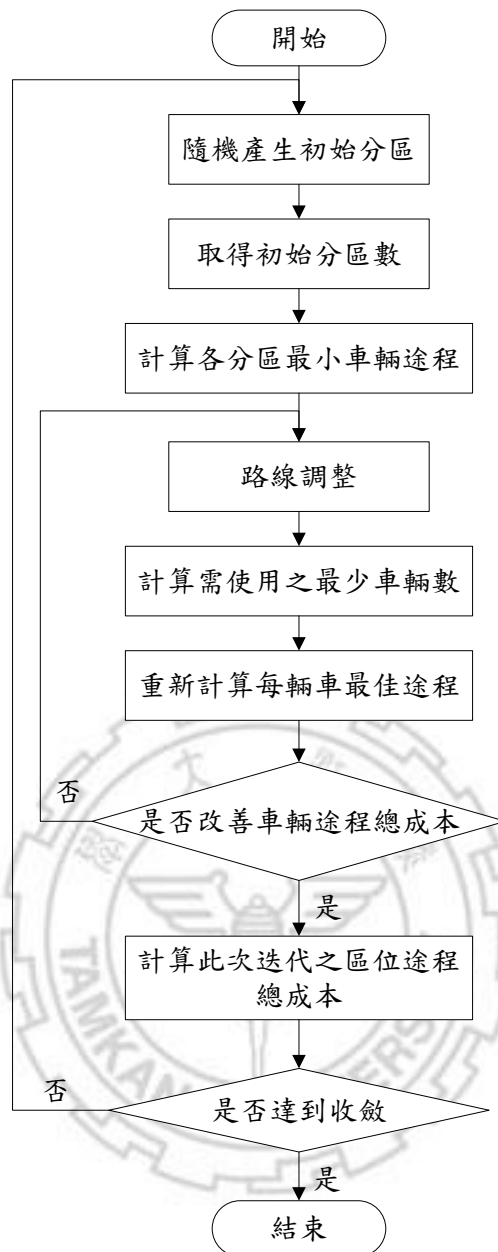


圖 4-2 模型求解流程圖

求解過程中先隨機產生一個調度中心位置，計算其服務半徑下涵蓋的租借站，重複上述步驟，直到所有租借站皆被搜尋完畢，接下來求解各分區下最佳車輛途程與運補車輛數。此次分區結果的總目標值不一定為最佳，故需不斷重複計算使目標值收斂，得到最佳調度中心位置與分區數，以及各分區下最適配置運補車輛數和最佳車輛途程。劃分服務租借站過程中，被搜尋過的租借站不列入計算內，因此無服務範圍交集或未交集之問題。求解步驟說明如下，圖 4-3 說明求解區位途程問題前後結果。

步驟 1：取得起始分區數

先隨機產生亂數，對應租借站編號作為調度中心，劃定各調度中心服務範圍並取得分區數。

步驟 2：各分區下須使用車輛數

計算各分區之車輛途程，在路徑不違反時窗限制下得到各分區需使用的運補車輛數。

步驟 3：計算最佳配置車輛數

調整路線，計算各分區包含違反時窗限制而產生的懲罰成本後，最適運補車輛數。

步驟 4：重新計算車輛途程

利用調整後的運補車輛數計算每輛車的最佳途程。

步驟 5：計算各設施成本

步驟 6：計算各區最適車輛配置成本

步驟 7：計算每車輛途程成本

步驟 8：加總各區成本，並計算此次迭代分區之總成本。

步驟 9：檢驗成本是否達到收斂

檢驗此次迭代的分區成本是否有收斂，若無則回步驟 1，重新給予亂數計算分區；若有則結束計算，以最低總成本為最終確定結果。

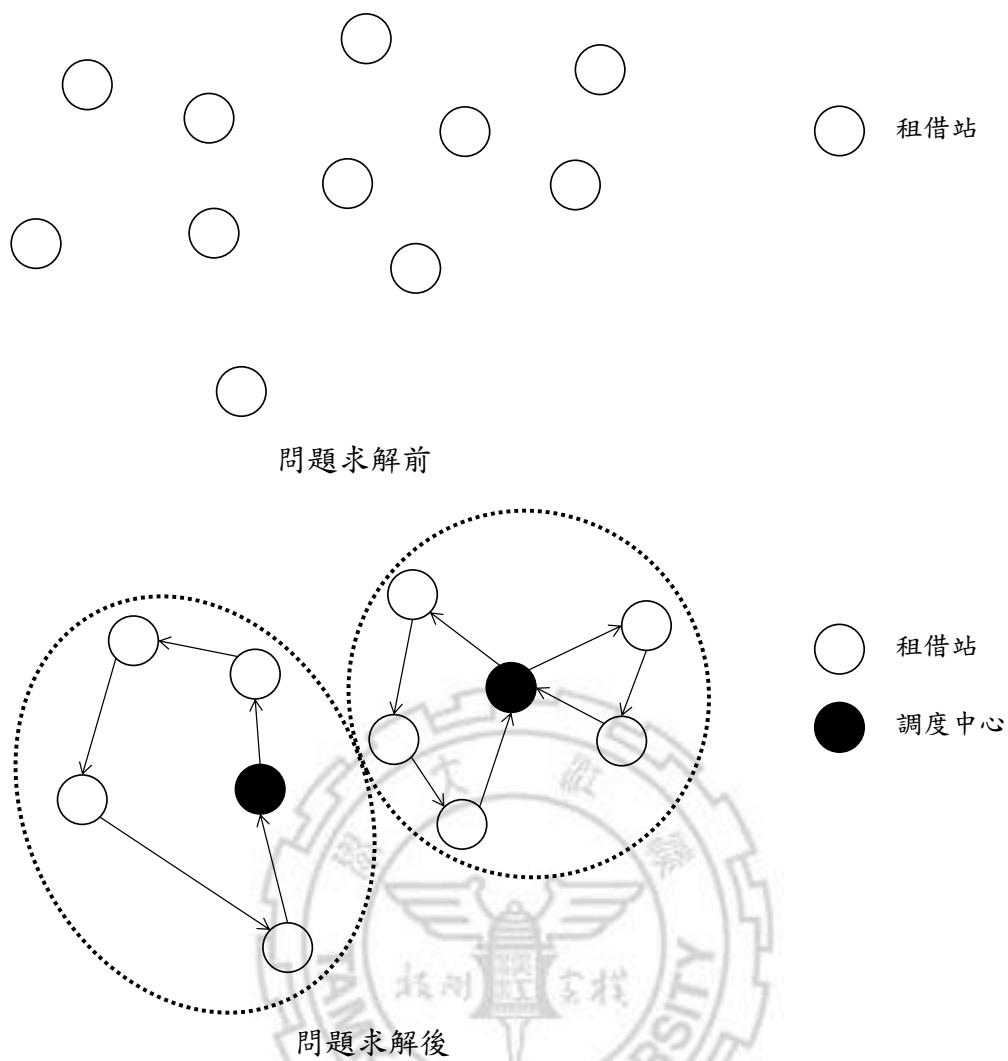


圖 4-3 求解前後對照圖

4.2 第三層模型求解策略

第三層模型中只需考量一輛運補車在服務時間限制下的運補路徑，本研究使用節省法先計算各租借站間距離與節省值，再以車輛平均時速換算旅行時間和時間節省值，作為服務時間限制參考依據。

4.2.1 節省法

符號說明：

d_{ij} ：兩租借站間的旅行距離

d_{oi} ：調度中心 o 至租借站 i 的旅行距離

S_{ij} ：兩租借站間的節省值

1. 對稱途程(Symmetric Route)

運補車輛皆從同一調度中心起訖，且路徑相同或無方向性。為計算方便，本研究將以對稱途程方式計算。

運補車路徑：調度中心→租借站 i →租借站 j →調度中心

$$S_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$$

2. 非對稱途程(Asymmetric Route)

運補車輛從不同調度中心起訖，或是不返回調度中心，路徑為單向或有方向性、往返路徑不同等特性。由於台北市較多單行道，於實際問題中，兩點間往返會有路徑不對稱的情況。基本上只需計算兩點間來回距離不同，其餘演算流程與對稱途程一致。本研究提供演算式予以決策者未來建置路網時使用。

運補車路徑：調度中心→租借站 i →租借站 j →調度中心

$$S_{ij} = d_{io} + d_{oj} - d_{ij}$$

運補車路徑：調度中心→租借站 j →租借站 i →調度中心

$$S_{ji} = d_{jo} + d_{oi} - d_{ji}$$

本研究以電腦語言 C++ 撰寫節省法程序，流程如圖 4-4 所示。其中亦有非對稱途程之算法，並考慮所有需求點是否只由一輛運補車完成服務(一車服務)，若為一車服務則於不需判斷選取下一尚未使用的節省值後之決策點。

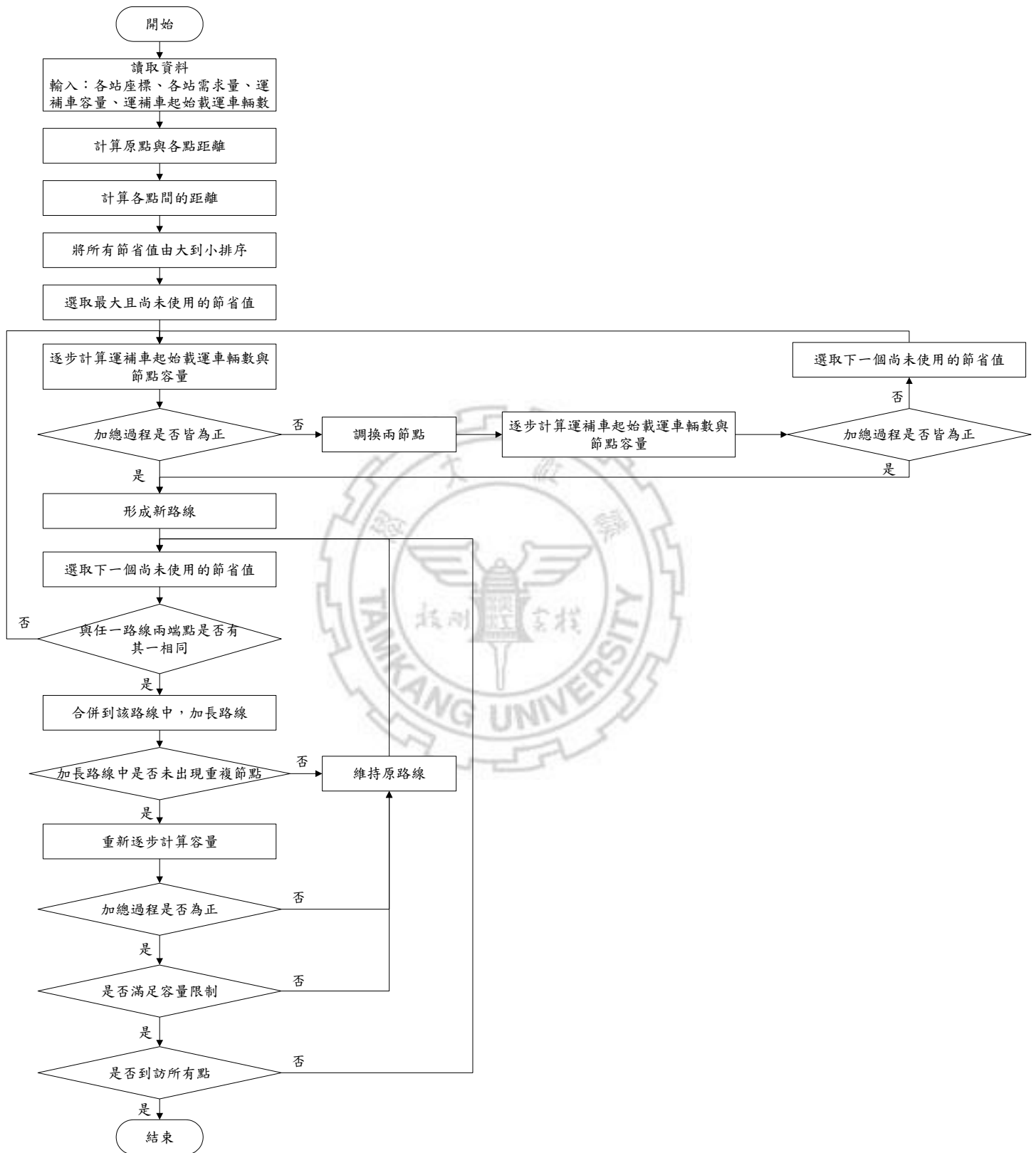


圖 4-4 節省法演算流程

4.2.2 測試範例

針對公共自行車運補問題可能面臨的情境分析設定如后：

1. 租借站之需求總和大於運補車容量，缺位情況嚴重。
2. 租借站之需求總和為正，但小於運補車容量，同屬於缺位情況。
3. 租借站之需求總和為負，小於運補車容量，為缺位狀況。

本研究針對上述 3 種情況，分別設立 3 個範例並建立 6 個租借站的簡單測試路網，假設運補車容量為 40 輛，有一起點 O 的座標為(0,0)，各站座標與需求如表 4-1 所示。因各租借站缺車缺位車輛供需不平衡，因此需求有正負關係，需求為正表示到租借站取車減緩缺位狀況；需求為負表示到租借站補車減緩缺位狀況。

表 4-1 測試範例座標與需求

	A	B	C	D	E	F
座標	(67,39)	(43,72)	(57,84)	(46,86)	(85,24)	(15,94)
範例 1	25	17	-15	7	-6	14
範例 2	20	-15	-5	-8	16	7
範例 3	16	10	-20	-5	-12	5

運補車從調度中心出發時會先配置須載運的起始自行車輛數，完成運補後將運補車上剩餘自行車輛載回調度中心。起始車輛載運數將影響到租借站運補順序，因有收送貨問題，起始服務之租借站可能為需要取車的租借站，若配置過多起始車輛可能因運補車容量達到上限而無法以最短路徑服務需求點；反之，若起始車輛數不足則需要配置額外的運補車輛來支援。在土方平衡中，運入之土方可經由事先計算場內土方而得知，減少外運土方不足或過剩所造成的成本，從而達到場內平衡之目的。為了解運補車起始載運車輛數對於距離造成的影響，並計算最佳的起始載運車輛數，本研究設計 3 種計算方式的情境，每一範例皆使用 3 種計算情境，以掌握不同需求下的最佳運補車起始載運數。計算情境設定條件與目的之說明如下：

1. 土方平衡限制：為了解公共自行車運補問題是否能利用土方平衡之運輸觀念而達到最小運輸成本，在此測試範例中將加入土方平衡的限制條件，事先計算各租借站之總需求。總需求為正表示多車狀態，運補車出發時不攜帶自行車；總需求為負表示缺車狀態，運補車出發時攜帶總需求缺少之車輛數。
2. 起始載運數為缺車最多(需求為負)之數量：至少能滿足缺車情況最嚴重之租借站。
3. 運補車滿載出發：不僅能服務缺車最嚴重的租借站，更能服務其他缺車租借站。

表 4-2 各範例不同起始車輛數設定之途程計算結果

	計算情境	起始車輛數	剩餘車輛數	車輛	路徑	距離
範例 1	土方平衡限制式	0	17	1	O-B-D-F-C-E-O	327.905
		0	25	2	O-A-O	155.048
	缺車數最多	15	32	1	O-F-C-D-B-E-O	315.965
		15	40	2	O-A-O	155.048
範例 2	土方平衡限制式	0	15	1	O-F-C-A-D-E-B-O	456.829
	缺車數最多	15	30	1	O-E-B-A-C-D-F-O	377.391
	滿載	40	39	1	O-C-D-B-F-A-O	315.835
		16	0	2	O-E-O	176.646
範例 3	土方平衡限制式	6	0	1	O-A-B-D-F-E-C-O	431.379
	缺車數最多	20	14	1	O-A-C-B-D-F-E-O	375.712
	滿載	40	34	1	O-E-C-D-B-F-A-O	368.856

計算之途程結果如表 4-2 所示。範例 1 之總需求為 42 輛自行車，為缺位狀態，加入土方平衡限制式計算時可得知運補車出發時不需攜帶自行車，因有運補

車容量限制，需使用 2 輛運補車。範例 1 缺車最多的數量為 15 輛車，以此為運補車起始載運數計算車輛途程，一樣須使用兩輛運補車，且其中一輛運補車只需服務 A 點。與土方平衡限制式之行駛距離相較之下減少 11.94 公尺。因範例 1 租借站之總需求超過運補車容量，因此不須計算運補車滿載的狀況。

範例 2 之總需求為 15 輛自行車，為缺位狀態，加入土方平衡限制式計算時運補車起始載運車輛數為 0 輛，行駛距離為 456.829 公尺；以缺車數最多的數量 (-15) 作為起始載運數可得到行駛距離為 377.391 公尺；運補車為滿載狀態出發則需使用兩輛運補車。總體來說，運補車以缺車數最多的數量作為起始載運數時可得到最小行駛距離，加入土方平衡限制式則有較長行駛距離。

範例 3 之總需求為 -6 輛自行車，為缺車狀態，加入土方平衡限制式計算時運補車起始載運數為 6 輛，行駛距離為 431.379 公尺；以缺車數最多的數量 (-20) 作為起始載運數可得到行駛距離為 375.712 公尺；運補車滿載發出之行駛距離為 368.856 公尺，是為所有計算情境中最低。

此外，在相同座標條件下，變動各租借站之需求，可以發現在相同計算情境中，3 個範例之行駛距離皆不同，且租借站運補順序亦有變更，指出不同需求會造成不同的運補路徑。

4.2.3 小結

由上述測試範例可歸納出以下結果，提供營運者針對不同需求情況時，決定運補車起始載運數之考量：

1. 加入土方平衡限制式有較長的行駛距離。
2. 在各租借站總需求為正的情況下(缺位狀況)，以缺車數最多作為起始載運量會有最少行駛距離；各租借站總需求為負的情況下(缺車狀況)，運補車滿載出發會有最少行駛距離。
3. 不同需求會影響行駛距離。其中，雖然各租借站的距離相同，但不同的需求將影響到運補距離與順序。

4.3 第二層模型求解策略

本研究限定每輛車的運補時間(時窗限制)，若超過時窗則進行懲罰，軟性規定於時窗內完成調度作業。第二層模型加入違反時窗限制之懲罰成本，就時窗懲罰而言，雖部分運補車違反時窗限制，但由於減少車輛購置成本而使目標值 $Z2$ 最少；另一方面，也有可能因懲罰成本或運輸成本過高，違反時窗限制之懲罰成本與路徑過長之運輸成本反而高於車輛購置成本，無法減少配置的車輛數，雖每輛運補車不違反時窗限制，但最終需使用的車輛數較多。在一分區下當然可以用極少的運補車進行調度，但如此將拉長運補時間，較無執行效率且可能導致高運輸成本，況且須考量到運補車容量限制；若配置過多運補車，雖能快速的完成服務，但對於營運者來說需要支出較多車輛購置成本。簡言之，上述可分為兩種情況：

1. 配置的車輛數較少，每輛車行駛路徑較長，與
2. 配置的車輛數較多，每輛車行駛路徑較短。

本研究期望能同時滿足營運者與使用者的需求，在合理的服務時間範圍內與配置車輛數間取得平衡。

本研究使用第三層之節省法，以路線調整方式取得加入懲罰成本後最佳配置的運補車輛數。演算流程如圖 4-4 所示，分區為第一層計算結果所給予。路線調整有以下兩種方式：

1. 路線合併：

經由第一次計算車輛途程後取得初始運補車輛數以及總成本 $Z2^1$ ，並進行以下步驟：

(1) 第一次路線合併，確定調整後的車輛數： $Z2^2$

將尚有剩餘服務時間之車輛進行路線合併。計算合併後之總成本 $Z2^2$ ，若 $Z2^2 \leq Z2^1$ 則調整車輛數。

(2) 計算調整後車輛數之途程： $Z2^3$

以調整後的車輛數再次計算車輛途程以及總成本 $Z2^3$ 。因前一次路線合併時，各車輛可能有運補時間差距過大的狀況，經由此次重新計算途程可平均分配服務租借站數量， $Z2^3 \leq Z2^2$ 。

(3) 將調整後的車輛數進行路線合併： $Z2^4$

為檢驗是否有最低總成本，用調整後的車輛數再次進行路線合併，此次計算過程中可以超過設定的車輛數，再將路線合併至設定的車輛數，檢驗是否 $Z2^4 \leq Z2^3$ ，若無則不合併路線。與前一次路線合併不同之處在於此次平均分配車輛服務租借站數。

綜言之，步驟(2)的目的在於平均分配每輛車之服務租借站數，而步驟(3)是為減少運輸成本。

2. 直接調整車輛數：

路線無法進行合併時，直接調整使用的車輛數並重新計算車輛途程，若總成本減少則繼續調整車輛數，此計算與路線合併的步驟(3)相同。



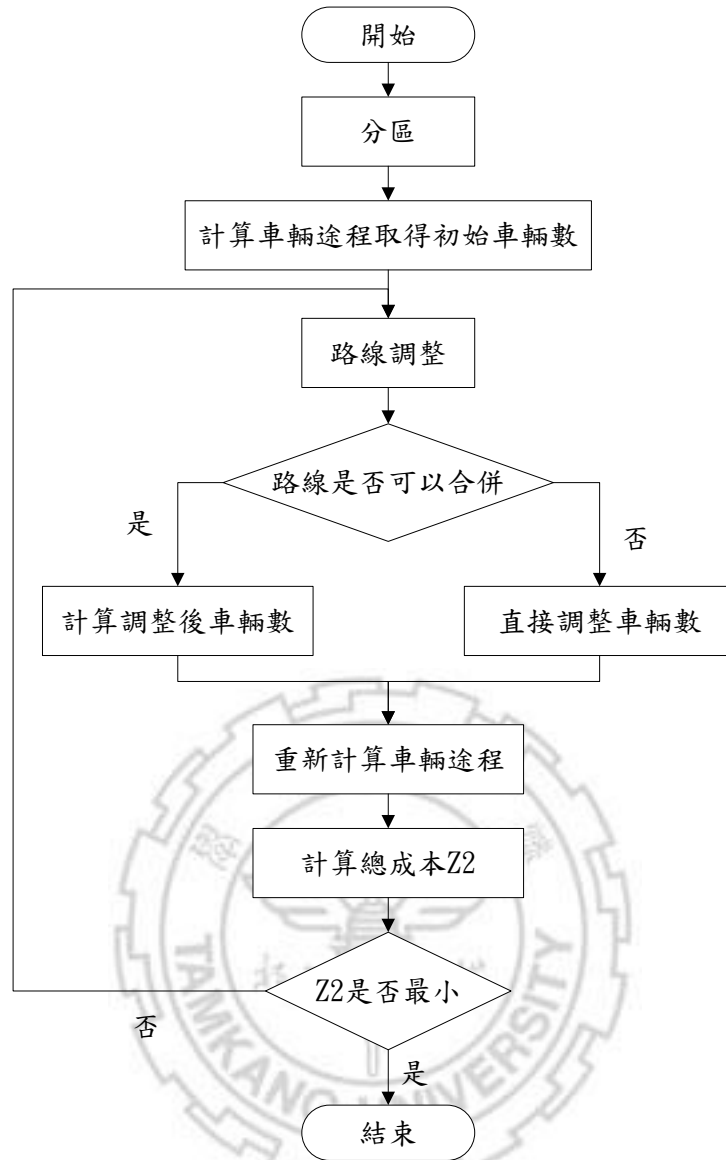


圖 4-4 路線調整演算流程

4.3.1 測試範例

為驗證路線調整可行性，本研究以台北市信義計畫區為例，共計 23 站。此範例暫不考慮各站需求和運補車容量限制。假設運補車平均時速為 36 公里/小時可獲得各租借站間之旅行時間，設有兩個起點，分別是編號 7 和編號 15(以下用數字簡稱)，其服務範圍內之租借站如表 4-4 所示，每輛車最大服務時間 T_{max} 為 60(分鐘)，各租借站服務時間 s_i 皆為 10(分鐘)，運輸成本 β_k 為 0.0035(元/公尺)，運補車購買成本 B_k 為 80(萬元)，違反時窗限制之懲罰成本 w_i 為 100(元/分)。

表 4-4 各分區之服務租借站

調度中心	租借站											
7	1	2	3	4	6	8	9	10	11	12	13	22
15	5	14	16	17	18	19	20	21	23			

表 4-5 為初始途程計算結果，可得知兩起點 7 和 15 皆使用 3 輛車進行服務，且每輛車不違反時窗限制。起點 7 的車輛 2 和車輛 3 尚有剩餘可服務時間，起點 15 的車輛 1 和 2 亦是如此，故將起點 7 的車輛 2 與車輛 3 路線合併、起點 15 的車輛 1 與車輛 2 路線合併，重新計算途程成本，結果如表 4-6 所示。可以發現在起點 7 的車輛 2 雖違反時窗限制，尚在可接受時間範圍內，且總成本因減少配置一輛運補車而降低；起點 5 兩台運補車皆不違反時窗限制，總成本亦降低。於是進一步使用兩台運補車計算各車途程，結果顯示於表 4-7，起點 7 兩台運補車皆違反時窗限制，但總成本較前一次只有一車違反時窗限制之成本減少 445.36 元；起點 5 兩台車皆符合時窗限制，但成本卻較上一次路線合併增加 2.5 元。故，以計算過程中可先違反配置車輛數再合併車輛路線，結果如表 4-8 所示，可以發現起點 7 與起點 5 的車輛 1 雖路徑未做更動，但車輛 2 順序稍有不同，而起點 7 的兩台車皆違反時窗限制，但相較於路線未改善前成本減少 85.773 元，起點 5 減少 2.5 元。起點 7 與起點 5 每一階段總成本之計算結果整理如表 4-9 所示。

表 4-5 初始途程

起點	車輛	路徑	距離	時間	總成本
7	1	7-12-6-11-22-7	2851.002	54.75	2,400,022.699
	2	7-4-10-9-7	2130.133	33.55	
	3	7-13-2-8-3-7	1495.906	42.49	
15	1	15-5-20-15	1728.062	22.88	2,400,023.082
	2	15-17-21-15	1946.219	23.24	
	3	15-14-23-16-19-18-15	2920.795	54.87	

表 4-6 計算最少車輛數

起點	車輛	路徑	距離	時間	總成本
7	1	7-12-6-1-11-22-7	2851.002	54.75	1,601,586.854
	2	7-4-10-9-13-2-8-3-7	3393.043	75.65	
15	1	15-14-23-16-19-18-15	2920.795	54.87	1,600,022.109
	2	15-17-21-5-20-15	3396.198	45.66	

表 4-7 確定車輛數後之途程

起點	車輛	路徑	距離	時間	總成本
7	1	7-8-12-6-1-11-22-7	3218.071	65.36	1,601,141.494
	2	7-2-4-10-9-13-3-7	3494.569	65.82	
15	1	15-14-23-16-19-18-15	2920.795	54.87	1,600,024.609
	2	15-17-5-20-21-15	4110.368	45.86	

表 4-8 途程改善

起點	車輛	路徑	距離	時間	總成本
7	1	7-8-12-6-1-11-22-7	3218.071	65.36	1,601,055.721
	2	7-4-10-9-7	2987.985	64.98	
		7-3-2-13-7			
		7-4-10-9-13-2-3-7			
15	1	15-14-23-16-19-18-15	2920.795	54.87	1,600,022.109
	2	15-5-20-15	3396.198	45.66	
		15-17-21-15			
		15-17-21-5-20-15			

表 4-9 各區計算過程總成本比較

起點	計算過程	車輛數	總成本
7	初始途程($Z2^1$)	3	2,400,022.699
	計算最少車輛數($Z2^2$)	2	1,601,586.854
	確定車輛數後之途程($Z2^3$)	2	1,601,141.494
	途程改善($Z2^4$)	2	1,601,055.721
5	初始途程($Z2^1$)	3	2,400,023.082
	計算最少車輛數($Z2^2$)	2	1,600,022.109
	確定車輛數後之途程($Z2^3$)	2	1,600,024.609
	途程改善($Z2^4$)	2	1,600,022.109

4.3.2 小結

以上案例示範車輛數之改善流程，此階段考量的懲罰成本影響車輛配置數與各車輛途程，利用合併路線方式改善最佳車輛數，調整車輛數後再次進行路線整合，確認是否有更低的總成本。結果顯示每一步驟的檢驗皆可得到較低的總成本，但由於此範例不考慮各站需求，路線合併的計算皆可得到較佳結果，然，實際問題中路線合併可能導致運補車加長行駛路線，反而有較高的總成本，因此也可直接調整車輛數，計算配置不同車輛數下總成本變動情況。

4.4 第一層模型求解策略

第一層主要考量區位數及調度中心位置，雖建置最少調度中心可減少設施建置成本，但可能因服務範圍過大而需配置較多運補車或付出較多運輸成本；反之，若建置過多調度中心，雖每個設施服務範圍小降低車輛與運輸成本，但設施建置成本過大，仍無法求得最佳目標值 $Z1$ 。由此得知劃分區域可分兩種情況：1. 分區多，每分區可配置較少車輛數，但設施費用高，與 2. 分區少，可節省設施成本，但須購置較多車輛以完成服務，車輛成本高。本研究使用模擬退火法求解在

分區數與車輛、運輸成本間取得平衡，得到最佳目標值 $Z1$ 。

4.4.1 模擬退火法

模擬退火法先隨機取得一個初始模型 m_0 ，其目標函數值為 $E(m_0)$ ，接著隨機擾動產生一個新的模型 m ，計算新的目標函數值 $E(m)$ ，得到： $\Delta E = E(m) - E(m_0)$ 。若 $\Delta E < 0$ ，則接受新解 $E(m)$ ，若 $\Delta E > 0$ ，則新解 $E(m)$ 按照機率 $P = \exp(-\Delta E / T_0)$ 被接受，其中 T_0 為目前溫度。在目前溫度 T_0 下，重複上述步驟直到所得目標值穩定後，就可進行降溫，多次降溫後目標值若仍呈現穩定，則表示答案得到收斂。

本研究假設研究範圍內每一租借站皆為調度中心候選設施，以模擬退火法隨機產生一個起點，計算此點分區後再重複上述步驟，直到研究範圍內所有租借站皆被搜尋完為止，接著計算各分區車輛數與運輸成本，加總此次分區結果的目標值。每次計算之分區數與調度中心位置皆不一樣，反覆隨機產生一組分區並比較目標值，採用降溫機制直達收斂停止，求出設施位置和分區數，以及各分區之配置車輛數與車輛途程規劃。演算流程如圖 4-5 所示，步驟為：

步驟 1：假設初始溫度 T_0 ，每一溫度重複計算三次，溫度調整係數 α 為 0.9，計算建置成本、車輛成本與運輸成本加總之目標值(起始目標值為 Z^n)。

步驟 2：進行搜索，利用隨機擾動法產生新的分區策略。比較新的分區(Z^{n+1})與原分區(Z^n)目標值。

步驟 3：若新的分區目標值(Z^{n+1})<原分區目標值(Z^n)，則令新的目標值(Z^{n+1})為最佳目標值。若 $Z^{n+1} > Z^n$ ，則計算機率 $P = \exp(-\Delta E / T_0)$ ，若機率介於 0-1 之間，則令 Z^{n+1} 之分區為最佳目標值；反之，則 Z^n 為分區最佳目標值，回到步驟 2 反覆計算，直到達到收斂次數後進入步驟 4。其中 T_0 為目前的溫度。

步驟 4：檢驗該溫度下是否達到收斂次數，若達到收斂次數則進行降溫，將

溫度調降為 $T_i = T_0 * \alpha$ ，以新的溫度(T_i)替代原始溫度(T_0)，回到步驟 2 反覆運算，直至目標值達到收斂後進入步驟 5。

步驟 5：檢驗目標值是否達到收斂，若目標值已達收斂則停止運算，若無，則回到步驟 2。

圖 4-6a 與 4-6b 為本研究利用模擬退火法計算分區之示範圖。圖 4-6a 起點 8、9、10 沒有服務之租借站，若作為調度中心將支出龐大費用，是為較差的計算結果；圖 4-6b 則無上述情況，是較好的結果。

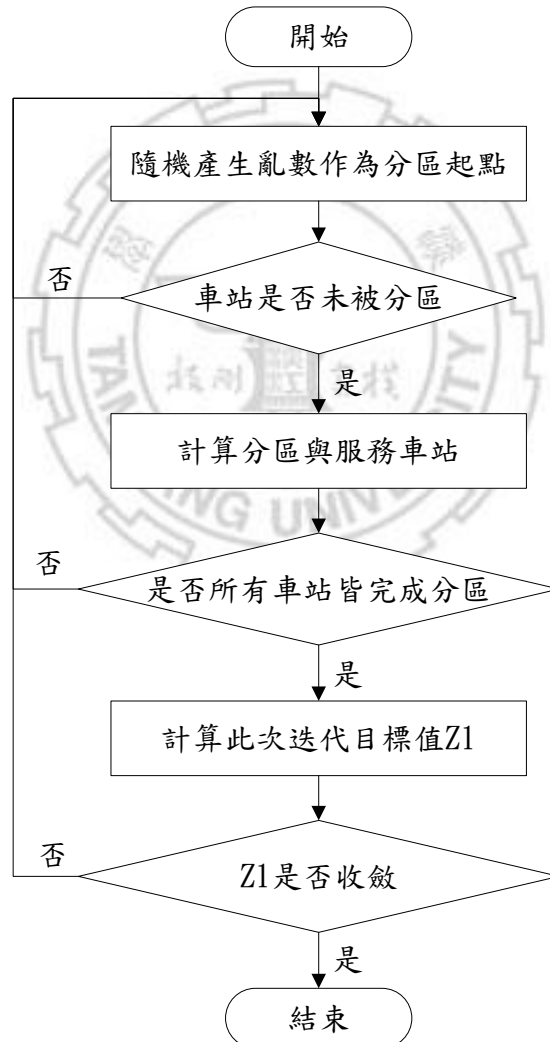


圖 4-5 分區演算流程

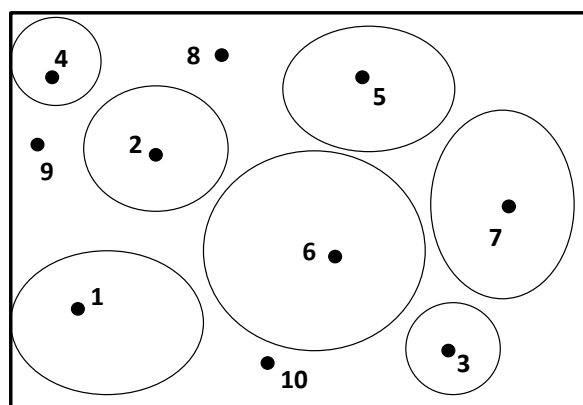


圖 4-6a 模擬退火法演算分區示範圖

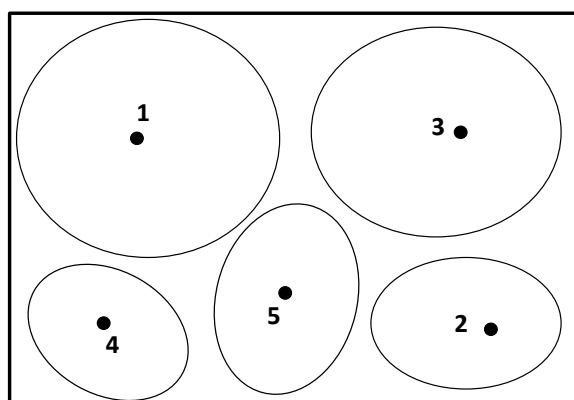


圖 4-6b 模擬退火法演算分區示範圖

4.4.2 測試範例

為驗證分區可行性，本研究以台北市信義計畫區為例，共計 23 站，以歐式距離計算各租借站距離。假設運補車平均時速為 28 公里/小時，調度中心服務時間半徑 FCT_{max} 為 2 分鐘，而每個調度中心建置成本相同，因此在此測試範例中只比較分區數量，也就是只考慮分區數，車輛成本和運輸成本不在探討範圍內。執行 5 次迭代結果如表 4-10 所示。可以發現在迭代第 4 次和第 5 次時皆劃分 3 個分區，有最少分區數，而第一個起點皆為租借站 15，因此服務租借站相同，雖然第三次選擇的起點同樣為租借站 10，但因第二次選擇的起點不同，租借站 10 所服務的租借站也不同。第 4 次迭代的起點租借站 13 與第 5 次迭代的起點租借站 1 相較之下服務的租借站數較多，使用的運補車輛數可能較起點租借站 1 多，因此雖然迭代 4 與迭代 5 之分區數相同，最後迭代 4 的總成本可能高於迭代 5。

表 4-10 迭代 5 次之分區結果

迭代次數	起點	分區租借站	分區數
1	5	15 20	4
	17	16 18 19 21	
	7	1 2 3 4 6 8 9 11 12 13 14 22 23	
	10		
2	6	1 2 3 7 8 11 12 13 14 23	5
	16	4 9 10 15 16 17 18 19	
	20	5	
	22		
	21		
3	5	15 20	4
	21	17	
	10	4 9 10 16 19 22	
	7	1 2 3 6 8 11 12 13 14 18 23	
4	15	5 14 16 17 18 19 20 21 23	3
	13	1 2 3 4 6 7 8 9 11 12 13 22	
	10		
5	15	5 14 16 17 18 19 20 21 23	3
	1	2 3 6 7 8 11 12 13 22	
	10	4 9	

4.4.3 小結

本研究以模擬退火法求解分區數與設施區位問題，由測試範例結果可以發現雖起始點為隨機選取，但第一個選取的起點將影響此次分區結果，而每一次隨機選取的起點皆會影響剩餘租借站之分區狀況，進一步決定此次迭代之總成本。然，此測試範例未考慮車輛與途程成本，最少的分區數不一定是最佳結果。有關於整合設施分區、車輛成本與運輸成本的範例將在下一章節實證分析展現。

第五章 數值範例

本章針對第四章區位途程建構模型與求解演算法步驟，以台北市 YouBike 路網資料為例，驗證模型之正確與實用性，並針對結果進行分析比較。本研究實證架構結合模擬退火法與節省法，利用 Borland C++5.02 版編輯器撰寫程式，在中央處理器 Intel(R) Core(TM) i5 2.50GHz 的個人電腦上進行測試及分析，最後進行模式求解及相關參數之敏感度分析。測試重點為在給定參數下求出最佳目標值，並比較不同參數設定下最佳目標值變化狀況，求取最適設定結果。

5.1 路網基本資料

本研究以台北市 YouBike 為研究案例，使用真實路網資料與座標作為輸入參數，共計 196 站(2015)。希望在所有租借站內選定調度中心，並決定各分區配置之運補車輛數與運補路線，每一租借站皆為候選調度中心。

5.1.1 範例假設

1. 調度中心

在決定最佳調度中心位置與數量時，不考慮調度中心土地取得成本，以及建置成本因數量而產生變化，亦即每個調度中心成本相同。因每一租借站皆為調度中心候選位置，計算後設為調度中心之租借站不考慮該租借站的需求(即忽略調度中心之需求)。各租借站之代號與站名可參閱附錄一。

2. 車輛途程

本模式在派車路線方案的擬定時，考慮車輛途程之時窗限制，且對每輛運補車之運補時間亦有限制。因本研究將各站座標利用歐氏距離計算各場站間直線距離，忽略現實世界中之障礙物，較實際路徑上縮短許多，且亦無路徑不對稱之狀況，故以尖峰時段平均車速計算運輸時間，貼近實際狀況。根據台北市交工處統計(2014)，尖峰時段台北市平均車速為 28 公里/小時，為使求解目標單位一致，將距離轉換為以分鐘/公尺

為單位表示旅行時間，約為 466 分鐘/公尺。因運補車服務最後一個租借站時即已完成運補，故不考慮運補車回程時間。

3. 服務租借站

在派車路線方案問題的擬定上，本研究考量各租借站之服務時間，假設各租借站服務時間不因需求變化而變動，亦即每個租借站服務時間相同。

4. 懲罰成本

懲罰成本在營運成本上為重要關鍵，影響需配置之運補車輛數，與時窗限制亦有關聯。缺車缺位狀況的出現對營運商來說是商譽的損失與顧客的流失，就政府而言則是施政品質的下降。為防止此一情況發生，營運商與政府可能盡量於某一時間內完成運補作業，維持服務品質，因此便有時窗限制問題。懲罰成本為機會成本的概念，若不考慮懲罰成本或設置金額過低，代表營運商不積極處理缺車缺位情況，犧牲服務品質，可能造成使用者對此系統需求降低、產生抱怨，以致營運商出現顧客不回頭成本。

懲罰成本為內生成本，實務上，罰款到了不敢違背限制的金額即為懲罰成本，理論上設了懲罰成本即不會違背時窗限制。而目前政府尚未訂定缺車缺位指標，亦無提出相關之懲罰機制，因此本研究自行訂定懲罰成本，探討成罰金額對於營運者之影響，以供作政府監督營運者參考。

5. 時窗

本研究將車輛途程距離以分鐘/公尺為單位轉換成旅行時間，並加上租借站的服務時間，即為運補車完成一次調度所需的服務時間。而本研究希望在固定時段下完成車輛調度，因此限制每輛運補車之最長服務時間作為時窗限制，與一般所探討之依時性時窗有差異。

程式輸入資料：

1. 租借站數與各租借站之座標、需求
2. 運補車容量與起始載運自行車輛數
3. 調度中心與運補車最長服務時間
4. 調度中心建置成本、運補車購置成本、違反時窗成本、每單位運輸成本

程式輸出資料：

1. 調度中心位置、服務之租借站與分區數
2. 各站間最短距離、旅行時間與節省值
3. 每輛運補車調度路線、旅行距離、旅行時間、服務時間
4. 調度中心建置成本、車輛購置成本、含懲罰成本之運輸成本

5.1.2 測試範例之控制變數參數值

因實際狀況資料取得困難，本研究除租借站之座標為真實數據外，其餘參數皆為合理設定。假設每個調度中心建置成本 FC_o 皆為 100 (萬元)，最長服務時間 FCT_{max} 為 10(分鐘)，每輛運補車購置成本 B_k 皆為 80(萬元)，容量 Q_k 皆為 100(輛)，每公尺運輸成本 β_k 皆為 0.0035(元/公尺)，最長服務時間 T_{max} 為 105(分鐘)，違反時窗之懲罰成本 w_i 為 1,000(元/分)，每租借站服務時間 s_i 皆為 10(分鐘)，需求為依照各租借站容量限制隨機亂數產生，可參閱附錄一。其中，由第四章第三層模型的測試範例中得知，若各租借站總需求為負的情況下，運補車滿載出發可得到最小行駛距離，因而在此假設每輛運補車載運之起始車輛數為 100 (輛)。為易於了解每次調度的總支出成本，本研究將支出成本分為營運成本與固定成本，營運成本為運補車輛之運輸成本、勞務成本以及懲罰成本；固定成本為調度中心建置成本以及運補車購置成本。輸出結果為運補車完成一次調度所需支付的總成本，計算之公式如下：

- $\text{營運成本} = \text{運補時間} \times \text{勞務成本} + \text{行駛距離} \times \text{運輸成本} + \text{總違反時窗時間} \times \text{懲罰成本}$
- $\text{固定成本} = \text{運補時間} \times \text{調度中心建置成本} \times \text{調度中心建置數} + \text{運補時間} \times \text{運補車購置成本} \times \text{配置運補車輛數}$

為使計算方便，調度中心建置成本與運補車購置成本以分鐘為單位攤提。假設運補車折舊年限為 8 年，攤提後 8 年內每分鐘支出費用為 0.19(元/分)，作為運補車輛購置成本之輸入值；另外假設調度中心折舊年限為 10 年，攤提後 10 年內每分鐘支出費用為 0.19(元/分)，作為調度中心建置成本輸入值。此外，本研究參考曾韋齊(2013)之平均勞務成本為 238.98(元/小時)，以 3.983(元/分)為輸入值。

本研究考量調度中心最長服務時間限制、運補車容量、運補車最長服務時間限制以及懲罰成本等，探討此四項要素對於分區結果、運補車配置數以及車輛途程之影響，變更參數並進行結果比較。本研究以情境 1 為參考基準，敏感度分析之不同情境設定如表 5-1 所示。情境 1 規定運補車須於規定時間內完成運補；情境 2 在相同條件下可以違反時窗限制，但需支付懲罰成本，瞭解違反時窗是否能減少運補車輛數。為探討懲罰成本對於車輛運補之影響，在情境 3 給予運補車較短服務時間，但降低懲罰成本；情境 4 增加運補車容量和最長服務時間，並提高運補車購置金額；情境 5 改變調度中心最長服務半徑，探討不同服務半徑下調度策略組合之變化。

因調整參數將改變分區結果，為能更明確瞭解運補車容量與最長服務時間，以及懲罰成本之影響，情境 2 至情境 4 將以情境 1 之分區結果為基礎，只計算運補車輛數與車輛途程；而情境 5 調整調度中心服務時間，本來就會造成不一樣的分區結果，因此情境 1 與情境 5 使用模擬退火法求解，情境 2 至情境 4 只使用節省法求解。

表 5-1 各情境參數設定

情境	1	2	3	4	5
調度中心服務時間	10	10	10	10	20
運補車購置成本	0.19	0.19	0.19	0.24	0.19
運補車容量	100	100	100	150	100
運補車最長服務時間	105	105	90	150	105
違反時窗成本	1,000	1,000	100	1,000	1,000
是否可以違反時窗	否	是	是	否	是

5.2 執行結果

本研究執行主要步驟分述如下：

步驟 1：輸入台北市 YouBike 共 196 站之座標與需求，計算各租借站間最短距離與節省值，並設定調度中心最長服務時間半徑、每輛運補車最長服務時間限制、運補車容量限制與載運之起始車輛數。

步驟 2：設定策略之模擬退火法的參數：

(1) 初始溫度假設 $T_0=1000$ 且每一溫度層數設定接受 3 次。

(2) 終止溫度：大於 10 度。

(3) 溫度調整函數 $T(t+1)=rT(t)$ ，調整系數設為 $\alpha=0.9$ 。

5.2.1 分區數

因模擬退火法為隨機選取起始點，每次執行之最適分區數、最佳配置運補車輛數、最小總成本與每輛運補車之車輛途程結果皆不同。為能更加掌握參數設定下之最小總成本分布情況，本研究將情境 1 執行 10 次模擬退火法，計算平均最小總成本並推估標準誤差。執行結果如表 5-2 所示，平均最小總成本為 28,572.7 元，標準差為 183.265 元，變異不大，可以驗證求得之結果具穩健性(robust)。

建置調度中心與購置運補車為長期投資，因此須確定各參數設定下之最適分

區數，尋求最佳建置之調度中心數。由表 5-2 可以看到，情境 1 執行 10 次模擬退火法中，第 10 次有最小的總成本 28,354 元，對應之最佳分區數為 5 個分區。為掌握其他情境之最適分區數，接下來將情境 2 至情境 4 使用模擬退火法各執行一次，計算之最小總成本分別為 98,994 元、47,634 元、25,513 元、28,460 元，與情境 1 之最適分區數彙整如圖 5-2 所示。情境 1 至情境 4 調度中心最長服務時間限制同為 10 分鐘，計算之最適分區數皆為 5 個分區；情境 5 調度中心最長服務時間限制為 20 分鐘，計算之最適分區數為 2 個分區。由此可推論調度中心最長服務時間限制為決定分區數之主要因素。

表 5-2 情境 1 執行模擬退火法之分區數與最小總成本

次數	分區數	情境 1 最小總成本
1	5	28,470
2	5	28,671
3	5	28,385
4	5	28,743
5	5	28,585
6	5	28,936
7	5	28,409
8	5	28,514
9	5	28,660
10	5	28,354
總平均		28,572.7

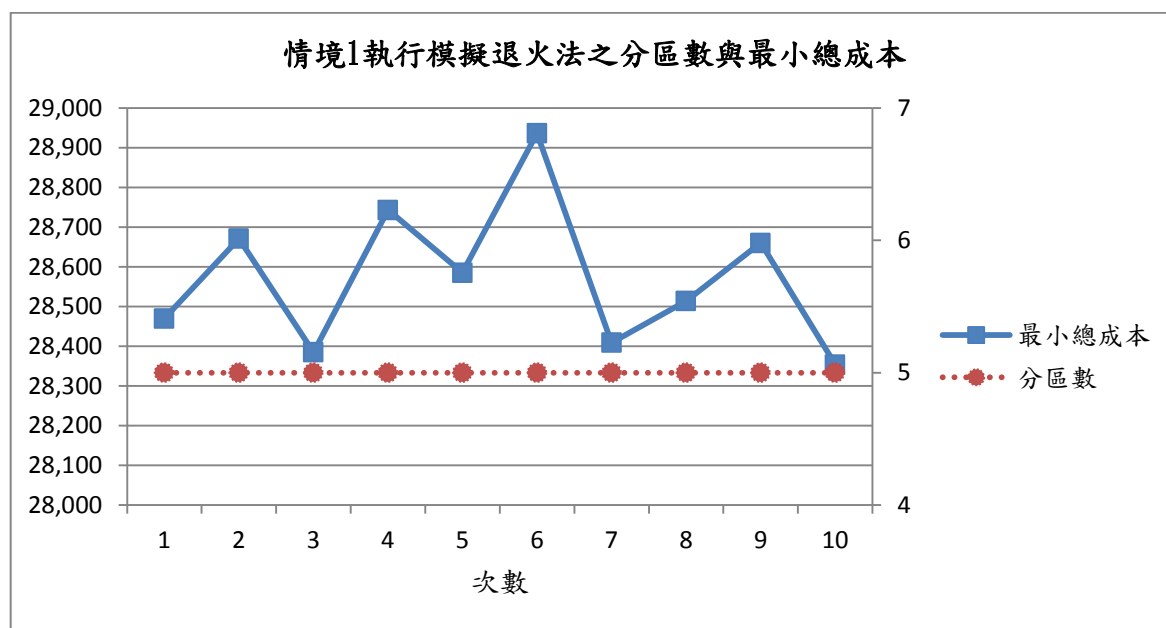


圖 5-1 情境 1 執行模擬退火法之分區數與最小總成本變化圖

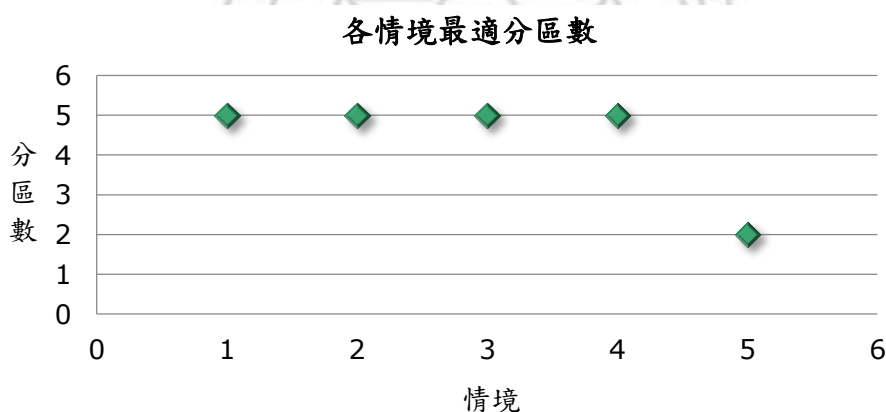


圖 5-2 各情境最適分區數

5.2.2 運補車輛數與途程分析

為了解不同參數設定在短期路線調派上的差異，接下來將以情境 1 之分區結果為比較基礎，比較各情境總目標值之差異。

溫度設定從 1,000 度到 10 度，共有 44 個溫度層，各溫度層之最佳目標值如表 5-3 所示，在溫度 18.2 度時得到最小總成本 28,470 元，各溫度層總成本之變化如圖 5-3 所示，計算出的分區結果如表 5-4 所示。結果顯示若設調度中心的最

長服務半徑為 10 分鐘，最佳分區數為 5 個，設為調度中心之租借站編號分別為：159、29、10、99、78，所服務的租借站數分別為：24、90、41、27、9。各分區下車輛途程如表 5-5 所示，總成本之計算如表 5-6 所示。情境 1 共需配置 33 輛運補車，營運成本為 10,702 元，固定成本為 17,768 元，支出成本共 28,470 元。分區 2 由於服務的租借站較多，共需使用 15 輛運補車。可以看到分區 1、2、4 皆有運補車只服務一個租借站的狀況，因購置車輛開支大，較不符合成本概念，從這三個分區其他運補車輛剩於車輛數與運補時間狀況來看，分區 1 的車輛 4 未到達時窗卻已完成運補，推算為容量不足所致；分區 2 的車輛 13、14 以及分區 4 的車輛 4 亦是此情況；分區 2 的車輛 4 尚有剩餘自行車可配送，但因滿足時窗而完成運補。由上述所知，運補車容量以及最長服務時間影響調度區域內所需配置的運補車輛數以及路線規劃，因此在情境設計上考量更改此二因素。

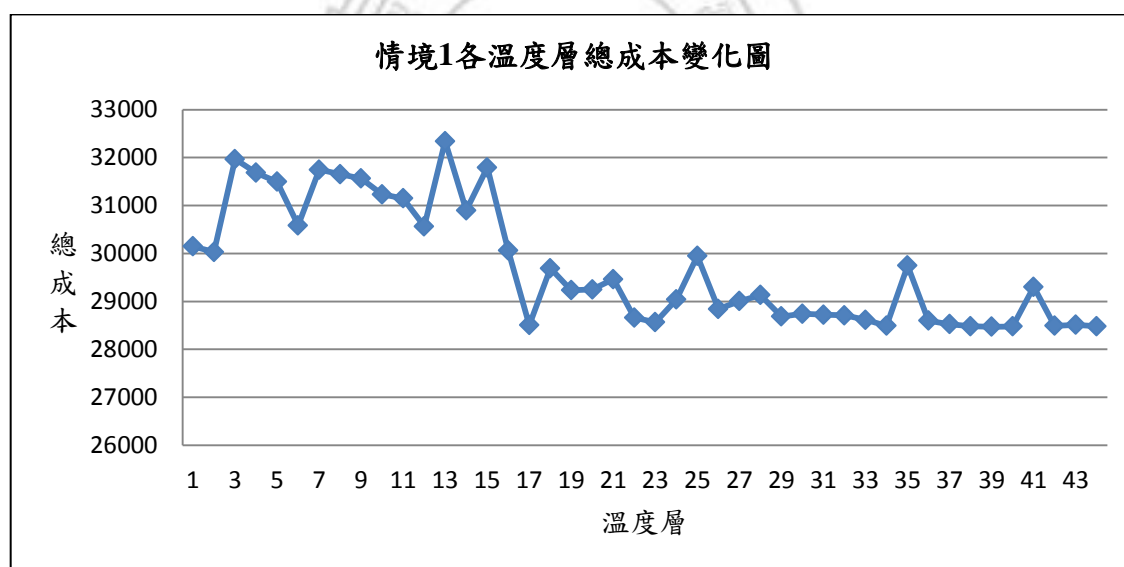


圖 5-3 情境 1 個溫度層總成本變化圖

表 5-3 情境 1 各溫度層最佳目標值

溫度層	溫度	最佳目標值	溫度層	溫度	最佳目標值
1	1000.0	30,146	23	98.5	28,563
2	900.0	30,032	24	88.6	29,043
3	810.0	31,967	25	79.8	29,946
4	729.0	31,684	26	71.8	28,843
5	656.1	31,495	27	64.6	29,004
6	590.5	30,586	28	58.1	29,132
7	531.4	31,745	29	52.3	28,684
8	478.3	31,653	30	47.1	28,743
9	430.5	31,563	31	42.4	28,722
10	387.4	31,232	32	38.2	28,707
11	348.7	31,148	33	34.3	28,615
12	313.8	30,563	34	30.9	28,490
13	282.4	32,342	35	27.8	29,748
14	254.2	30,899	36	25.0	28,598
15	228.8	31,793	37	22.5	28,523
16	205.9	30,063	38	20.3	28,482
17	185.3	28,505	39	18.2	28,470
18	166.8	29,689	40	16.4	28,477
19	150.1	29,234	41	14.8	29,301
20	135.1	29,250	42	13.3	28,491
21	121.6	29,462	43	12.0	28,512
22	109.4	28,662	44	10.8	28,481

表 5-4 情境 1 分區狀況

分區	起點	租借站										總計
1	159	43	46	48	49	50	55	58	61	132	133	24
		138	147	148	158	160	161	162	163	164	165	
		166	167	168	169							
2	29	1	2	4	5	6	7	8	11	12	13	90
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		24	25	26	27	28	30	31	32	33	34	
		35	36	37	38	39	106	114	117	118	119	
		120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	
		130	131	134	135	136	137	139	141	142	143	
		144	145	146	149	150	151	152	153	154	155	
		156	157	173	174	177	180	182	183	185	186	
		187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	
3	10	3	9	40	44	45	47	51	53	59	64	41
		66	68	69	70	73	76	77	83	88	103	
		104	105	107	108	109	110	111	112	113	115	
		116	140	170	171	172	175	176	178	179	181	
		184										
4	99	41	42	52	54	56	57	60	62	63	65	27
		67	71	72	75	90	91	92	93	94	95	
		96	97	98	99	100	101	102				
5	78	79	80	81	82	84	85	86	87	89		9

表 5-5 情境 1 車輛途程

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
1	159	1	159-61-48-46-55-58-50-133-158-159	0	10,809.556	103.196
		2	159-147-138-132-160-166-148-169-159	2	12,119.296	96.007
		3	159-162-43-49-165-159	1	11,504.149	64.687
		4	159-163-164-167-168-159	25	4,825.945	50.356
		5	159-161-159	65	955.647	12.050
總計		5			40,214.593	326.296
2	29	1	29-177-173-183-174-182-128-131-135-29	1	9,382.913	100.135
		2	29-1-5-125-106-114-127-8-29	0	9,972.719	91.400
		3	29-16-6-18-180-20-7-122-195-29	9	11,235.287	104.110
		4	29-142-129-136-157-150-143-153-141-29	29	9,756.407	100.936
		5	29-117-12-13-19-2-38-134-14-29	5	11,348.565	104.353
		6	29-146-137-151-155-149-130-22-23-29	4	8,963.100	99.234
		7	29-126-119-123-120-124-29	1	5,661.900	62.150
		8	29-156-11-15-121-29	2	5,525.168	51.856
		9	29-27-33-35-139-152-144-145-154-29	0	7,009.057	95.040
		10	29-37-118-4-17-39-29	2	4,025.699	58.638

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
2	29	11	29-34-196-189-191-194-188-29	2	4,890.824	70.495
		12	29-187-32-24-26-21-28-30-29	4	5,656.316	82.138
		13	29-186-190-192-193-185-29	20	3,539.878	57.596
		14	29-25-36-29	35	1,981.782	24.252
		15	29-31-29	54	764.24	11.164
總計		15			99,713.855	1,113.497
3	10	1	10-47-51-45-40-140-44-171-170-10	0	10,833.854	103.248
		2	10-105-116-115-83-88-111-113-10	0	10,863.710	93.312
		3	10-175-53-59-176-70-178-77-10	1	13,771.926	99.553
		4	10-181-73-74-66-64-76-68-10	0	9,896.729	91.237
		5	10-109-69-172-184-179-110-10	1	18,281.678	99.231
		6	10-3-108-103-104-107-112-9-10	4	8,449.135	88.131
總計		6			72,097.032	574.712
4	99	1	99-41-52-42-57-90-54-99	0	12,865.721	87.608
		2	99-63-67-71-72-65-97-94-96-99	20	8,818.795	98.924

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
4	99	3	99-91-102-92-95-100-75-99	1	8,254.050	77.712
		4	99-101-60-56-62-98-99	17	4,555.544	59.775
		5	99-93-99	78	898.448	11.928
總計		5			35,392.558	335.947
5	78	1	78-84-80-81-87-82-89-78	16	6,407.286	73.749
		2	78-85-86-79-78	36	3,168.468	36.799
總計		2			9,575.754	110.548

表 5-6 情境 1 總成本

分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)	
1	5	40,215	326	1,440	372	1,812	
2	15	99,714	1,113	4,784	3,384	8,168	
3	6	72,097	575	2,541	765	3,306	
4	5	35,393	336	1,462	383	1,845	
5	2	9,576	111	474	63	537	
總計	5	33	256,994	2,461	10,702	17,768	28,470

5.3 敏感度分析

為進一步瞭解時窗限制、懲罰成本、運補車途程時間限制、運補車容量限制與調度中心最長服務時間限制對設施位置、數量、車輛數與車輛途程的影響，本節將分別調整 1. 可違反時窗、2. 懲罰成本 w_i 為 100(元/分)、3. 運補車途程時間上限 T_{max} 為 150(分)、4. 運補車容量限制 Q_k 為 150(輛)與 5. 調度中心最長服務時間限制 FCT_{max} 為 20(分)，進行敏感度分析，探討 YouBike 運補策略組合。

5.3.1 情境 2

為檢驗是否可以利用違反時窗限制進行路線合併，降低車輛成本，情境 2 參數設定皆與情境 1 相同，差異為允許違反時窗但需支付懲罰成本 1,000(元/分)。以情境 1 之分區結果為基礎，代入相同參數再次計算運補車輛數及車輛途程，結果如表 5-7 所示，表 5-8 為總成本計算。

可以發現分區 1 的車輛 1、分區 2 的車輛 1 到車輛 4、分區 3 的車輛 1 與車輛 2，以及分區 4 的車輛 1 與車輛 2，共計 9 輛運補車違反時窗限制，需支付懲罰成本 71,915 元，營運成本為 82,270 元，由此推算運補車運輸成本及勞務成本共 10,355 元，此外，固定成本為 16,724 元，總成本為 98,994 元。從表 5-9 可以看到，情境 2 的行駛總距離與總運補時間皆分別較情境 1 減少 5,844 公尺與 82 分鐘。因情境 2 多了懲罰成本，在營運成本上較情境 1 多 71,568 元，情境 2 若

未加入懲罰成本，因為行駛總距離最短，較情境 1 少 347 元。此外，情境 2 之總派遣車輛數較情境 1 少 1 輛運補車，因此固定成本相差 1,044 元。總體來看，雖然情境 1 的總派遣車輛數、行駛總距離、總運補時間以及固定成本皆較情境 2 高，但因情境 2 需支付懲罰成本，因此總成本高出 70,524 元。



表 5-7 情境 2 車輛途程

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
1	159	1	159-61-48-46-55-58-50-133-158-148-159	9	12,767.876	117.398
		2	159-147-138-132-160-166-165-159	2	9,445.827	80.270
		3	159-164-168-169-43-49-159	1	8,537.446	68.320
		4	159-163-162-167-159	16	5,360.866	41.504
		5	159-161-159	65	955.300	12.050
總計		5			37,067.315	319.542
2	29	1	29-177-173-183-174-182-128-131-135-153-29	16	10,161.471	111.805
		2	29-1-5-125-106-114-127-8-141-29	8	13,041.110	107.985
		3	29-16-6-18-180-20-7-122-134-29	17	13,084.561	108.078
		4	29-137-142-129-136-157-150-143-22-152-29	8	11,987.056	115.723
		5	29-126-119-123-120-124-29	1	5,661.900	62.150
		6	29-139-151-155-146-149-29	0	5,535.133	61.877
		7	29-39-14-11-15-17-29	2	4,323.741	59.278
		8	29-27-154-145-23-130-144-156-35-29	1	7,248.572	95.554
		9	29-26-28-4-118-121-29	3	3,506.733	57.525

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
2	29	10	29-33-196-189-191-194-188-29	2	5,812.247	72.472
		11	29-34-24-25-185-29	5	2,970.731	46.374
		12	29-30-37-186-190-187-32-29	7	5,453.274	71.702
		13	29-31-192-193-29	23	2,302.808	34.941
		14	29-36-29	73	489.670	11.050
總計		14			91,579.007	1,016.514
3	10	1	10-47-51-45-40-140-44-171-170-178-10	5	11,472.537	114.619
		2	10-105-116-115-83-88-111-113-112-103-10	1	13,151.398	118.221
		3	10-175-53-59-176-70-179-77-10	1	14,928.219	102.056
		4	10-181-73-74-66-64-76-68-10	0	9,896.729	91.237
		5	10-9-172-184-69-19	5	8,996.840	59.306
		6	10-109-104-110-107-108-10	6	6,893.838	64.793
		7	10-3-110-10	80	2,908.211	26.240
總計		7			68,247.772	576.472

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
4	99	1	99-41-52-42-57-90-54-72-99	8	17,786.370	108.168
		2	99-91-96-94-97-65-71-67-63-75-99	0	11,611.813	114.918
		3	99-92-101-60-56-62-98-99	6	9,102.707	79.533
		4	99-100-95-102-93-99	2	6,179.215	53.260
總計		4			44,680.105	355.879
5	78	1	78-84-80-81-87-82-89-78	16	6,407.286	73.749
		2	78-85-86-79-78	36	3,168.468	36.799
總計		2			9,575.754	110.548

表 5-8 情境 2 總成本

總計	分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	懲罰成本 (元)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
	1	5	37,067	320	12,398	13,802	365	14,167
	2	14	91,579	1,017	23,591	27,962	2,898	30,860
	3	7	68,248	576	22,840	25,373	876	26,249
	4	4	44,680	356	13,086	14,660	338	14,998
	5	2	9,576	111	0	476	63	539
	5	32	251,150	2,379	71,915	82,270	16,724	98,994

表 5-9 情境 1 與情境 2 綜合比較

情境	總派遣 車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	33	256,994	2,461	10,702	17,768	28,470
2	32	251,150	2,379	82,270	16,724	98,994

5.3.2 情境 3

由情境 1 與情境 2 得知，利用違反時窗限制增加運補車服務時間可減少需使用的車輛數，同時減低行駛總距離以及總運補時間，但懲罰成本造成較高的總成本。為探討懲罰成本對於車輛途程之影響，情境 3 將車輛最長服務時間縮減至 90 分鐘，違反時窗限制之懲罰成本調降至 100(元/分)，以情境 1 分區結果為基礎重新計算車輛路徑與總成本，並將情境 3 分為 3-1 與 3-2 兩個子情境。情境 3-1 探討運補車最長服務時間對於調度計劃組合之影響，假設不可違反時窗限制，運補車最長服務時間由 105 分限縮至 90 分，與情境 1 結果進行比較與分析。情境 3-2 探討懲罰成本金額對於總成本之影響，以情境 2 之途程結果為基礎，因運補車服務時間限縮，違反時窗的總時間將會增加，但給予較低的懲罰成本；情境 2 則是有較少違反時窗總時間，但有較高懲罰成本。最後與情境 2 之結果做一綜合

比較分析。

- **情境 3-1**

由表 5-10 未違反時窗之途程計算可以看到各分區沒有出現運補車只服務一個租借站即回到調度中心的情況，但就剩餘車輛數而言，相較於情境 1 與情境 2，情境 3 部分運補車上剩餘較多的自行車，但因到達時窗而無法配送。總成本如表 5-11 所示，共需使用 34 輛運補車，營運成本為 10,482 元，固定成本為 17,947 元，總成本共 28,429。表 5-12 為情境 1 與情境 3-1 的綜合比較，因情境 3-1 運補車的最長服務縮短，使用的車輛數較情境 1 多 1 輛車，行駛總距離少 18,255 公尺，總運補時間少 39 分鐘。因行駛總距離較短，營運成本少 220 元，但因總派遣車輛數較多，固定成本多 179 元，然而總成本仍較情境 1 少 41 元。由此得知，雖然縮短運補車最長服務時間可能會增加需派遣的車輛數而增加固定成本，但有較低的營運成本，就長期來而言可以有較少總支出成本。

- **情境 3-2**

情境 3-2 利用情境 2 之途程結果為基礎，以時窗限制 90 分鐘計算需支付的懲罰成本，總成本如表 5-13 所示，懲罰成本為 20,692 元，營運成本為 31,047 元，固定成本為 16,724 元，總成本為 47,771 元。將情境 3-1 與情境 3-2 相互比較，結果如表 5-14 所示。情境 3-2 中，分區 2 與分區 4 比情境 3-1 各少 1 輛派遣運補車，因此總共少 2 台運補車，固定成本亦相差 1,223 元，雖行駛距離增加 12,411 公尺，但總運補時間少 43 分鐘。總體來說，雖然違反時窗限制有較少的固定成本，但因需支付懲罰成本，總成本相差 19,342 元。從表 5-15 得知在行駛總距離與運補時間不變下，情境 3-2 違反時窗之總時間多出 134 分，但懲罰成本卻較情境 2 少 51,223 元，總成本亦相差 51,223 元。由此推估懲罰成本的金額影響總支出成本，若有緊急調派情況但亦需保留運補車彈性的調度時間，或政府想給予營運者相關限制時，可加重懲罰成本軟性逼迫營運者於時窗限制內完成調度作業。

表 5-10 情境 3 車輛途程

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
1	159	1	159-61-48-46-55-58-50-159	10	7,583.879	76.274
		2	159-138-132-160-158-166-133-159	33	9,369.831	80.106
		3	159-147-43-49-148-169-159	9	9,784.510	70.996
		4	159-168-162-167-165-164-159	0	7,798.447	66.734
		5	159-161-163-159	41	1,409.533	23.024
總計		5	35,946.200			317.134
2	29	1	29-177-173-183-174-182-128-131-29	16	8,685.501	88.638
		2	29-1-5-125-106-114-127-29	4	7,988.556	77.142
		3	29-16-6-18-180-20-7-8-29	3	9,054.328	89.429
		4	29-146-135-136-157-150-129-153-29	22	8,310.067	87.832
		5	29-12-13-19-143-141-134-139-29	10	8,838.089	88.965
		6	29-2-142-149-155-137-151-22-29	18	8,746.750	88.769
		7	29-122-126-119-123-120-195-117-29	3	8,013.985	87.197
		8	29-14-38-39-144-130-152-154-29	19	5,968.766	82.808
		9	29-11-15-121-124-29	4	5,622.724	52.065

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
2	29	10	29-27-24-35-156-23-145-33-29	18	5,947.427	82.762
		11	29-28-4-17-118-37-29	0	3,396.492	57.288
		12	29-34-196-189-191-194-188-29	2	4,890.824	70.495
		13	29-21-32-185-187-193-192-29	0	4,936.788	70.593
		14	29-25-36-26-30-186-29	7	3,983.469	58.548
		15	29-131-190-29	42	1,347.195	22.890
總計		15			95,730.961	1,105.421
3	10	1	10-47-51-45-40-140-44-175-10	4	9,305.108	89.968
		2	10-105-116-115-83-88-111-10	9	9,159.587	79.655
		3	10-171-53-59-176-70-178-10	8	11,005.882	83.617
		4	10-73-74-66-64-76-77-68-10	1	7,432.173	85.948
		5	10-69-181-172-184-170-179-10	45	8,395.263	78.015
		6	10-107-110-104-103-113-109-112-10	12	6,004.210	82.884
		7	10-3-108-9-10	27	5,387.268	41.560
總計		7			56,689.491	541.647

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
4	99	1	99-41-52-42-57-90-54-99	0	12,865.721	87.608
		2	99-63-67-71-72-65-97-94-99	42	8,225.478	87.651
		3	99-91-102-96-95-75-99	4	7,880.715	66.911
		4	99-92-101-60-56-62-98-99	6	9,102.707	79.533
		5	99-93-100-99	64	2,721.606	25.840
總計		5			40,796.227	347.543
5	78	1	78-84-80-81-87-82-89-78	16	6,407.286	73.749
		2	78-85-86-79-78	36	3,168.468	36.799
總計		2			9,575.754	110.548

表 5-11 情境 3-1 總成本

總計	分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
	1	5	35,946	317	1,388	361	1,749
	2	15	95,731	1,105	4,736	3,359	8,095
	3	7	56,689	541	2,357	824	3,181
	4	5	40,796	347	1,529	397	1,926
	5	2	9,576	110	476	63	539
	5	34	238,739	2,422	10,482	17,947	28,429

表 5-12 情境 1 與情境 3-1 綜合比較

情境	總派遣 車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	33	256,994	2,461	10,702	17,768	28,470
3-1	34	238,739	2,422	10,482	17,947	28,429

表 5-13 情境 3-2 違反時窗總成本

總計	分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	懲罰成本 (元)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
	1	5	37,067	320	2,740	4,144	365	4,509
	2	14	91,579	1,017	8,359	12,730	2,898	15,628
	3	7	68,248	576	5,284	7,817	876	8,693
	4	4	44,680	356	4,309	58,83	338	6,221
	5	2	9,576	111	0	476	63	539
	5	32	251,150	2,379	20,692	31,047	16,724	47,771

表 5-14 情境 3 是否違反時窗綜合比較

是否違反時窗	分區	車輛數	總派遣車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
否	1	5	34	238,739	2,422	10,482	17,947	28,429
	2	15						
	3	7						
	4	5						
	5	2						
是	1	5	32	251,150	2,379	31,047	16,724	47,771
	2	14						
	3	7						
	4	4						
	5	2						

表 5-15 情境 2 與情境 3-2 綜合比較

情境	總派遣車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	違反時窗 總時間(分)	懲罰成本 (元)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
2	32	251,150	2,379	72	71,915	82,270	16,724	98,994
3-2	32	251,150	2,379	206	20,692	31,047	16,724	47,771

5.3.2 情境 4

情境 1 到情境 3 之途程皆有運補車只服務一個租借站的狀況，從結果推測車輛途程有兩種情形：1. 運補車雖有尚餘可配送的自行車，但因到達時窗而完成運補作業，與 2. 雖未到達時窗，運補車因尚餘可配送的自行車不足或容量已達上限而返回調度中心。即運補車因時窗限制以及容量限制而決定途程路線與運補車輛數。情境 3 已調整時窗時間，因此情境 4 以情境 1 之分區結果為基礎，調整運補車容量至 150 輛，因容量增加，可服務的租借站變多，運補時間限制拉長至 150 分，藉由提升運補時間限制減少所需使用的運補車輛。每輛運補車購置成本變為 100 萬元，假設運補車折舊年限為 8 年，為方便計算，將 8 年攤提為每分鐘，得到輸入值 0.24 元/分，且須在時窗內完成服務。所計算之車輛途程如表 5-16 所示，總成本如表 5-17。

從表 5-17 可以看到分區 5 僅需使用 1 輛運補車即可進行調度作業，總共需使用 22 輛運補車，行駛總距離為 239,988 公尺，總運補時間為 2,435 分，營運成本為 10,539 元，固定成本為 15,170 元，總成本共計 25,965 元。而表 5-18 顯示就總派遣車輛數而言，情境 4 較情境 1 少 11 輛運補車，行駛總距離少 17,006 公尺，總運補時間少 26 分，因行駛總距離以及派遣車輛數皆較低，營運成本與固定成本分別少 163 元與 2,598 元，總成本少 2,761 元。就結果而言，建議營運者增加運補車容量並增長車輛服務時間，然而此次計算並未考量增加容量後配置人力的變化，也就是沒有變更勞務成本，且實際狀況中，容量越大的運補車車型越大，在停車以及存放車輛上尚有疑慮，因此營運者需再做出權衡。

表 5-16 情境 4 車輛途程

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
1	159	1	159-49-61-43-48-46-55-58-50-133-158-148-	9	13,849.911	139.720
		2	159-147-138-132-160-166-162-169-159	4	9,043.046	89.405
		3	159-163-165-167-168-164-161-159	30	7,554.469	76.211
總計		3			30,447.426	305.336
2	29	1	29-177-173-180-183-174-182-128-131-135-153-146-134-29	16	12,377.514	146.561
		2	29-6-5-119-125-106-114-127-18-14-141-35-29	1	16,818.670	146.091
		3	29-152-142-129-136-157-150-143-19-22-7-21-29	20	15,450.719	143.156
		4	29-2-11-20-12-13-1-16-8-15-195-38-29	3	12,694.778	137.242
		5	29-39-144-130-149-155-137-151-139-154-29	1	7,093.493	105.222
		6	29-124-117-126-120-123-121-122-17-4-29	2	6,024.126	102.927
		7	29-186-28-34-27-156-23-145-33-25-24-26-29	3	9,592.255	130.584
		8	29-188-36-30-37-118-31-192-29	5	6,944.075	84.901
		9	29-32-185-196-189-191-194-193-29	2	3,488.225	77.485
		10	29-190-187-29	65	1,600.196	23.433
總計		10			92,084.051	1,097.602

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
3	10	1	10-176-59-53-47-51-45-40-44-171-170-178-179-10	10	13,295.404	148.530
		2	10-105-116-115-83-88-109-113-104-112-110-181-10	1	16,773.185	145.993
		3	10-175-69-68-73-77-74-66-76-64-70-184-10	11	14,506.074	141.128
		4	10-111-140-172-9-108-10	23	19,612.4486	92.086
		5	10-3-103-107-10	111	4,197.930	39.008
總計		5			68,385.0416	566.745
4	99	1	99-98-54-41-52-42-62-57-56-90-99	8	9,043.738	109.407
		2	99-75-63-67-71-72-65-97-94-96-95-92-99	15	12,876.471	147.631
		3	99-93-91-102-100-60-101-99	36	9,323.094	80.006
總計		3			31,243.303	337.044
5	78	1	78-85-86-82-84-80-81-87-89-79-78	2	17,828.203	128.257
總計		1			17,828.203	128.257

表 5-17 情境 4 總成本

總計	分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
	1	3	30,447	305	1,321	278	1,599
	2	10	92,084	1,098	4,696	2,844	7,540
	3	5	68,385	567	2,498	788	3,286
	4	3	31,243	337	1,452	307	1,759
	5	1	17,828	128	572	55	627
	5	22	239,988	2,435	10,539	15,170	25,965

表 5-18 情境 1 與情境 4 綜合比較比較

情境	總派遣 車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	33	256,994	2,461	10,702	17,768	28,470
4	22	239,988	2,435	10,539	15,170	25,965

5.3.3 情境 5

劃分調度區域時，若區域範圍大，所需建立之調度中心數少，設施建置成本較低，但各分區需派遣的運補車輛數多；若區域範圍小，所需建立的調度中心多，設施成本高，而各分區配置之運補車輛數少。決定分區大小的因素即為調度中心最長服務時間，為瞭解調度中心服務時間對於分區數以及運補車輛數之影響，情境 5 擴大調度分區範圍，將調度中心最長服務時間調整為 20 分鐘，重新計算調度中心位置、數量與服務租借站。

溫度設定從 1,000 度到 10 度，共有 44 個溫度層，各溫度層之最佳目標值如表 5-19 所示，在溫度 14.8 度時得到最小總成本 28,460 元，各溫度層總成本之變

化如圖 5-4 所示。分區結果如表 5-20 所示，僅須建立兩個調度中心即可服務，分別為租借站 71 與租借站 122，服務的租借站數分別為 101 與 93。

接續以對稱途程求解單一場站車輛途程問題，各分區之車輛途程如表 5-21 所示，總成本如表 5-22 所示。兩區所派遣的車輛數分別為 17 輛與 15 輛，雖兩區所服務之租借站總數差異不大，但配置車輛數上相差 2 台，共需使用 32 輛運補車，行駛總距離為 316,967 公尺，總運補時間為 2,619 分，營運成本為 11,541 元，固定成本為 16,421 元，總成本需 28,460 元。與情境 1 之比較如表 5-23 所示，調整服務時間後所需配置的總車輛數較情境 1 少 1 輛車，但行駛總距離與運補時間皆較多出 59,973 公尺與 158 分鐘，因此營運成本多出 839 元。然而情境 5 少了 3 個調度中心建置成本與 1 輛運補車購置成本，在固定成本方面較情境 1 少 849 元，最後總成本亦較低，相差 10 元。

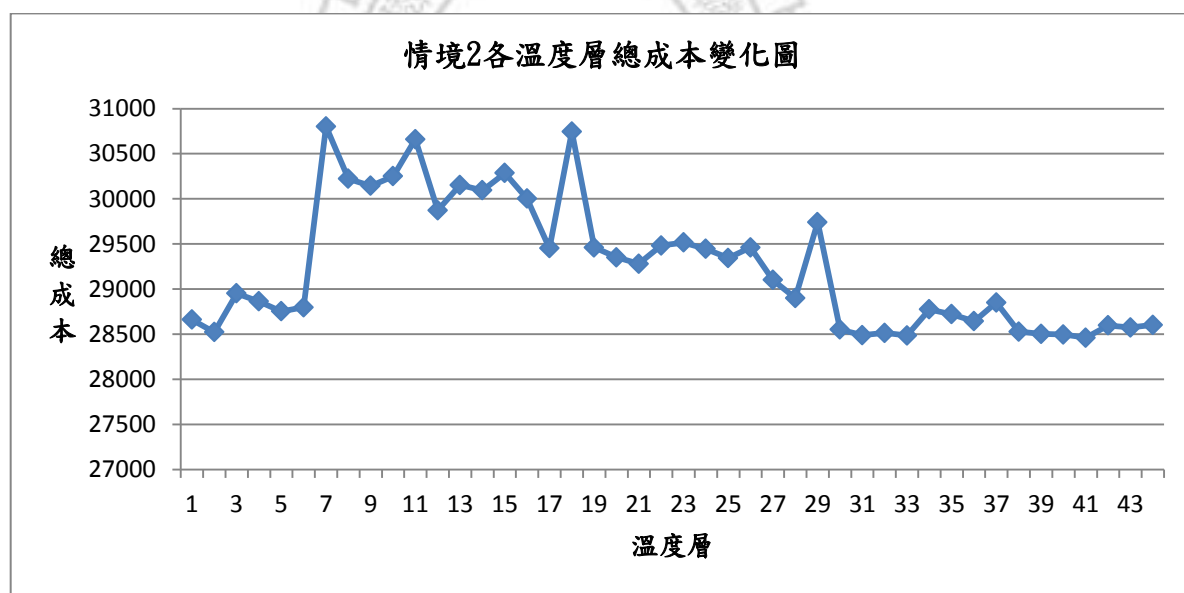


圖 5-4 情境 2 各溫度層總成本變化圖

表 5-19 情境 2 各溫度層最佳目標值

溫度層	溫度	最佳目標值	溫度層	溫度	最佳目標值
1	1000.0	28,662	23	98.5	29,516
2	900.0	28,523	24	88.6	29,446
3	810.0	28,952	25	79.8	29,345
4	729.0	28,863	26	71.8	29,462
5	656.1	28,753	27	64.6	29,102
6	590.5	28,798	28	58.1	28,901
7	531.4	30,803	29	52.3	29,742
8	478.3	30,222	30	47.1	28,552
9	430.5	30,145	31	42.4	28,490
10	387.4	30,251	32	38.2	28,514
11	348.7	30,661	33	34.3	28,486
12	313.8	29,873	34	30.9	28,774
13	282.4	30,153	35	27.8	28,721
14	254.2	30,095	36	25.0	28,644
15	228.8	30,286	37	22.5	28,851
16	205.9	30,003	38	20.3	28,529
17	185.3	29,452	39	18.2	28,504
18	166.8	30,745	40	16.4	28,497
19	150.1	29,462	41	14.8	28,460
20	135.1	29,351	42	13.3	28,598
21	121.6	29,281	43	12.0	28,574
22	109.4	29,482	44	10.8	28,602

表 5-20 情境 5 分區狀況

分區	起點	租借站										總計
1	71	1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	101
		13	16	18	19	20	39	40	41	42	43	
		44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	
		54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	
		64	65	66	67	68	69	70	72	73	74	
		75	76	77	90	91	92	93	94	95	96	
		97	98	99	100	101	102	112	128	129	130	
		131	135	136	138	140	142	143	144	146	147	
		148	150	152	157	161	163	170	171	172	173	
		174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	
		184										
2	122	4	5	14	15	17	21	22	23	24	25	93
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
		36	37	38	78	79	80	81	82	83	84	
		85	86	87	88	89	103	104	105	106	107	
		108	109	110	111	113	114	115	116	117	118	
		119	120	121	123	124	125	126	127	132	133	
		134	137	139	141	145	149	151	153	154	155	
		156	158	159	160	162	164	165	166	167	168	
		169	185	186	187	188	189	190	191	192	193	
		194	195	196								

表 5-21 情境 5 車輛途程

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離(公尺)	運補時間(分)
1	71	1	71-144-130-152-146-135-148-138-71	30	12,476.252	96.773
		2	71-1-12-11-39-2-7-18-71	16	13,163.126	98.247
		3	71-10-3-16-8-13-6-20-71	0	13,267.603	98.471
		4	71-161-163-147-131-61-128-71	3	16,065.842	94.476
		5	71-157-129-142-143-150-173-179-71	9	11,975.297	95.698
		6	71-140-40-50-136-52-44-171-71	4	12,748.767	97.357
		7	71-183-19-177-112-178-45-71	2	19,723.179	102.324
		8	71-180-174-182-41-57-90-71	6	15,207.421	92.633
		9	71-55-43-48-49-58-72-92-71	0	15,219.065	102.658
		10	71-42-46-51-47-71	2	7,572.752	56.250
		11	71-59-53-62-54-71	2	7,337.556	55.745
		12	71-73-68-9-69-77-71	3	8,428.456	68.086
		13	71-101-56-176-184-172-181-170-175-71	13	9,736.604	100.894
		14	71-93-60-98-99-70-71	0	8,833.640	68.956

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離	運補時間
1	71	15	71-97-100-75-64-66-74-76-63-71	2	10,249.457	101.994
		16	71-65-94-95-91-102-71	2	4,984.231	60.695
		17	71-67-96-71	66	3,141.636	26.741
總計		17			190,130.884	1,417.998
2	122	1	122-169-167-168-159-164-165-133-122	22	15,222.610	102.666
		2	122-84-80-81-87-82-89-88-122	8	12,758.185	97.378
		3	122-124-78-85-86-79-195-122	7	17,673.619	97.926
		4	122-160-162-166-158-153-137-35-122	2	11,582.073	94.854
		5	122-104-103-113-83-115-105-116-122	1	8,460.5548	88.155
		6	122-149-155-132-151-139-134-141-154-122	6	8,991.805	99.295
		7	122-185-196-189-191-188-22-190-122	7	10,471.268	92.470
		8	122-110-108-109-111-114-122	1	8,337.938	67.892
		9	122-156-27-33-24-25-32-122	3	5,213.328	71.187
		10	122-38-29-187-193-194-192-122	0	5,795.577	72.436

分區	起點	車輛	路徑	剩餘車輛數	運補距離	運補時間
2	122	11	122-186-36-21-23-145-34-26-30-122	4	7,490.360	96.073
		12	122-5-125-107-106-127-123-120-122	1	6,829.065	84.654
		13	122-15-17-14-4-28-37-122	1	2,839.647	66.093
		14	122-118-31-117-120-122	10	4,410.546	49.464
		15	122-121-126-122	38	760.555	21.632
總計		15			126,837.131	1,202.175

表 5-22 情境 5 總成本

分區	車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	17	190,130	1,417	6,309	4,846	11,156
2	15	126,837	1,202	5,231	3,654	8,886
總計	5	32	316,967	2,619	11,541	16,919
						28,460

表 5-23 情境 1 與情境 5 綜合比較

情境	分區數	總派遣 車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	5	33	256,994	2,461	10,702	17,768	28,470
5	2	32	316,967	2,619	11,541	16,919	28,460

5.4 小結

影響分區與車輛調度結果之主要因素為調度中心最長服務時間、運補車容量限制與最長服務時間、時窗限制與懲罰成本。本研究提供 5 個情境進行分析與探討，給予營運者做不同決策時參考，為詳細掌握不同情況下總成本變化情形，本節將綜合敘述各情境之優劣，所彙整之資訊如表 5-24 所示，茲說明如下：

1. 在分區數量方面，情境 5 調度中心之服務半徑為 20 分鐘，範圍較其餘情境廣。服務範圍擴大，劃分調度區域數相對較少，且並未因範圍的擴大而有最多派遣車輛數，總運補時間與行駛總距離皆最高，但也可能因運補時間最高，雖然只需 2 個分區，固定成本並未因此而最低。
2. 就總派遣車輛數而言，情境 3-1 規定不能違反時窗限制且運補車有最少的服務時間，因此使用的車輛數最多，但有最短的行駛總距離；情境 4 提昇運補車容量並延長車輛最長服務時間，因而增加每輛運補車可服務之租借站。雖規定不能違反時窗，所使用的車輛數仍為最少，行駛總距離以及營運成本為第二低。總派遣車輛數大量減少，即使車輛購置成本較高，固定成本仍為所有情境中最低。
3. 懲罰成本中，雖情境 3 有較多的總違反時窗時間，但因懲罰成本低，總體來說情境 2 需支付較多懲罰成本，故總成本為情境中最高。

4. 最後，就成本而言，情境 3-2 有最少營運成本，情境 4 有最少固定成本，兩者之行駛總距離及總運補時間差異不大，但情境 4 大量減少所需派遣之總車輛數，故總成本為所有情境中最低。

綜上所述，藉由 5 個情境可得知：

1. 在分區數相同情況下，違反時窗限制增加每輛車運補時間與服務之租借站可減少派遣車輛數，但可能支付龐大的運輸費用。其中，懲罰成本的定價影響到營運者的決策，若訂定過低的懲罰成本，可能無法有效約束營運者於時窗內完成運補作業。
2. 雖因運補車容量加增而導致提高車輛購置成本，但提昇最長服務時間可增加每輛運補車服務之租借站數，進一步減少派遣車輛數，降低固定成本。
3. 提升調度中心服務時間可使其服務範圍擴大，增加可服務之租借站。在總配置車輛數上可能差異不大，但能減少調度中心建置成本，有效降低總支出成本。

表 5-24 情境綜合比較

情境	分區數	總派遣車輛數	行駛總距離 (公尺)	總運補時間 (分)	懲罰成本 (元)	營運成本 (元)	固定成本 (元)	總成本 (元)
1	5	33	256,994	2,461	無	10,702	17,768	28,470
2	5	32	251,150	2,379	71915	82,270	16,724	98,994
3-1	5	34	238,739	2,422	無	10,482	17,947	28,429
3-2	5	32	251,150	2,379	20692	31,047	16,724	47,771
4	5	22	239,988	2,435	無	10,539	15,170	25,965
5	2	32	316,967	2,619	無	11,541	16,919	28,460

第六章 結論與建議

6.1 結論

由於公共自行車路網的擴大與使用人數的增加，公共自行車租借站出現缺車缺位的熱點，為解決此一問題，研擬一個良好的調度策略顯得格外重要。公共自行車兼具接駁與休閒之目的，往往不易掌握使用者借還起訖與騎乘時間，無法預估流向，因此在擬定運補路線時，只能以租借站在某時段下之缺車缺位狀況做參考。

本研究結合區位途程問題提出調度分區之概念，將研究範圍內的租借站劃分數個調度區域，建立調度中心提供足夠的自行車輛數以解決分區內可能缺位嚴重的情形，規劃各分區下車輛調度路線並配置適當的運補車輛數。決定長期的區位選擇與配置運補車輛數問題下，考量短期運輸成本最小化問題，即探討決定最佳調度中心位置與分區數量下，各分區配置最佳運補車輛數與車輛途程問題，並以系統化之運輸規劃方法為基礎，進行問題分析、模型建構、設計求解演算法以及測試實際範例並驗證，希望提供營運者與規劃調度策略時，可經由本研究模型建構與求解方案提升運補之效率，且更有系統性的規劃相關策略。根據本研究可獲得以下結論：

1. 區位途程問題結合設施區位與車輛途程問題，以往研究建構成一單層模型並分成三個子問題求解，或規劃一雙層數學模型。本研究雖為一區位途程問題，但最佳調度中心位置與數量、分區配置最適車輛數和最佳途程問題間之關係相互依賴且結果相互影響，在選定調度中心後進行區域劃分，計算每個分區下車輛途程與運補車輛數，而每輛運補車之最長服務時間限制又會影響到車輛途程結果，進一步決定需使用的車輛數以及調度分區數。每個限制式下存有最佳化問題，故本研究將此區位途程問題分為三階層問題求解。
2. 第一層問題決定調度中心最長服務時間半徑下，調度中心位置、數量及服務之租借站，亦即分區數與區域大小；第二層問題配置各分區最適運補車輛數；第三層問題計算運補車容量限制與最長服務時間限制下，每輛運補車之收送

貨途程，引用土方平衡之概念，完成調度分區區內車輛平衡。

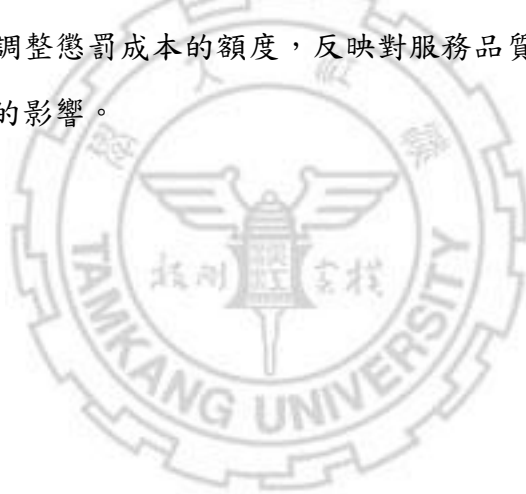
3. 由第三層模型之測試範例可得知，土方平衡限制式導致運補車有較長的行駛距離；在各租借站總需求為正的情況下(缺位狀況)，以缺車數最多作為起始載運量會有最少行駛距離；各租借站總需求為負的情況下(缺車狀況)，運補車滿載出發會有最少行駛距離。
4. 本研究以節省法決定該分區運補路徑與使用之運補車輛數，利用路線合併或違反時窗限制增加運補時間，進行路線改善並求解最適運補車輛數。藉由模擬退火的機制有效求得調度中心位置、數量、服務之租借站，以及分區下最佳車輛數與途程之目標值，使模型的應用上更具操作性，並藉由模型計算的調度運補資訊，提供營運者決定長期性的調度區域中心、購置車輛數，以及短期的車輛調度運輸計劃。
5. 計算車輛途程時，考量租借站缺車缺位狀況與各租借站旅行時間，由模型輸出的分區與車輛調度計劃，透過本研究之成果，在規劃方面可供相關營運者系統化的研擬調度策略，有助於提升運補效率。

6.2 建議

本研究在將區位途程問題應用至公共自行車運補的相關課題研究已具初步成果，主要為針對模型建立與求解演算法的應用，但在實務的應用層面仍有許多課題需多加努力，故提出相關的後續可能發展，期望使模型更符合實際情況，茲說明如下：

1. 本研究使用研究範圍內各租借站之座標，以歐式距離計算各站間最短距離，忽略實際生活中可能存在之障礙物，而導致估計距離過短且路徑皆對稱。但現實生活中車速受尖、離峰與號誌影響，租借站間之旅行時間有變動性，加上台北市有許多單行道，有路徑不對稱的情況。因此營運者可建立各車站旅行距離與時間完整路網資料，更貼近實際狀況。
2. 本研究假設每個車站之服務時間相同，但現實生活中，需求越大的車站需要越多的服務時間，載運及搬卸自行車之作業時間亦有所不同，因此未來在參數設定上可依需求不同而調整每車站應服務的時間。此外，運補車隨著載運之車輛數不同，有不同的油耗以及運輸成本，此載車成本可加入後續研究。
3. 本研究依照調度中心服務時間限制劃定調度分區，建立多個調度中心，與土方平衡計算場內平衡與場外調度之方法略有不同。未來可研究若只建立一個調度中心且分區已確定的情況下，使用土方平衡計算車輛途程並進行車輛調度，達到區內平衡。此外，本研究之數值範例為符合台北市 YouBike 實際狀況，各租借站之需求大部分為缺車狀況，總需求為負，後續研究可分析租借站總需求為缺位之狀況，進行詳細的比較分析。
4. 本研究之模型同時決定調度中心位置、數量、運補車輛數與車輛途程，其中，調度中心建置與車輛購置成本為長期投資，建議營運者可經由分析歷史資料，以過去長期資料為輸入值，決定調度中心位置、分區數以及各分區需配置之運補車輛數，再以天或小時為單位，分析時段下租借站缺車缺位狀況，將參數代入模型決定短期之車輛途程。

5. 本研究之模型解決某一時段下各租借站需求問題，為求解靜態問題。但租借站需求因時間變動而影響整個車輛路徑，可能發生運補車無法滿足實際變動需求的情形，因此未來研究建議考慮依時性問題。
6. 實際資料取得困難，廠商對於提供資料尚有疑慮，難以掌握詳細的調度狀況，因而無法就現況作業程序分析優劣。本研究之參數設定以合理假設方式進行，並透過敏感度分析瞭解模式運作的可行性，建立之模型亦可應用於其他領域上。未來開放資訊，取得資料後即可進行實際應用。
7. 缺車缺位為造成懲罰成本的主要原因。時窗限制關係到缺車缺位率，實際狀況上會訂定合理缺車與缺位率，因而影響到時窗的彈性。目前政府尚未訂定指標，因此沒有懲罰機制。未來若能取得更多營運資訊，可將懲罰成本依缺車缺位率分級，調整懲罰成本的額度，反映對服務品質的要求，合理指出懲罰成本對於營運的影響。



參考文獻

1. 白詩榮(2012),「臺北公共自行車使用行為特性分析與友善環境建構之研究」, 國立政治大學地政研究所學位論文。
2. 池昆霖(2006),「區位途程與易腐性商品排程之研究」, 中央大學土木工程學系學位論文。
3. 周荻傑(2012),「應用地理知悉與車輛途程技術之公用自行車調度系統」, 逢甲大學資訊電機工程碩士在職專班碩士論文。
4. 林緯帆(2013),「探討激勵機制設計對多站點自行車租賃服務系統的影響」, 屏東科技大學工業管理系所學位論文。
5. 張勻威(2011),「自行車租賃佈署暨調度最佳之化之研究」, 中央大學土木工程學系學位論文。
6. 張立蓁(2010),「都會區公共自行車租借系統之設計與營運方式研究」, 成功大學工業與資訊管理學系學位論文。
7. 張易晟(2014),「B2C 電子商務下都會區配送模型之研究」, 臺灣大學工業工程學研究所學位論文。
8. 陳俊成(2008),「營建工地土石方調派最佳化模式之研究」, 中央大學土木工程學系碩士在職專班學位論文。
9. 陳柏僑(2014),「公共自行車租賃站使用需求之研究-以高雄市公共自行車為例」, 臺灣大學土木工程學研究所學位論文。
10. 楊大輝、林振榮、顏亞琪(2015),「公共腳踏車租借站點及路網之設計」, 運輸學刊, 第二十七卷第一期, 頁 29-48。
11. 楊秉蒼、呂淑鈴(2000),「以類神經網作資源受限營建土方調配最適化之研究」, Journal of Cheng-Shiu Institute of Technology(正修學報)Vol.13, pp.69-78
12. 楊瑞宇(2012),「穩健公共自行車租用系統車輛配置模式」, 臺北科技大學資

訊與運籌管理研究所學位論文。

13. 趙文(2014),「公共自行車租賃站區位配置-以高雄市為例」,國立高雄第一科技大學運籌管理研究所學位論文。
14. 賴怡君(2006),「土方運輸卡車車隊安排模式之研究」,朝陽科技大學營建工程系博碩士論文。
15. 簡德和(2004),「開發區域內土方工程最佳調派決策模式之研究」,中央大學土木工程學系在職專班博碩士論文。
16. 顧梓承(2002),「土石方工程調派最佳決策模式之研究」,中央大學土木工程學系在職專班博碩士論文。
1. Branco, I. M., & Coelho, J. D. (1990). The Hamiltonian p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 47(1), 86-95.
2. Contardo, C., Morency, C., & Rousseau, L. M. (2012). Balancing a dynamic public bike-sharing system (Vol. 4). CIRRELT.
3. Rudloff, C., & Lackner, B. (2013). Modeling demand for bicycle sharing systems—neighboring stations as a source for demand and a reason for structural breaks. Tech. rep, Austrian Institute of Technology, Vienna, Austria.
4. Kloimüller, C., Papazek, P., Hu, B., & Raidl, G. R. (2014). Balancing bicycle sharing systems: An approach for the dynamic case. In *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation* (pp. 73-84). Springer Berlin Heidelberg.
5. Henderson, D., Vaughan, D. E., Jacobson, S. H., Wakefield, R. R., & Sewell, E. C. (2003). Solving the shortest route cut and fill problem using simulated annealing. *European Journal of Operational Research*, 145(1), 72-84.
6. Fukunaga, K., & Short, R. D. (1978). Generalized clustering for problem localization. *Computers, IEEE Transactions on*, 100(2), 176-181.
7. Erdoğan, G., Laporte, G., & Calvo, R. W. (2014). The static bicycle relocation

- problem with demand intervals. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 451-457.
8. Hernández-Pérez, H., & Salazar-González, J. J. (2004). A branch-and-cut algorithm for a traveling salesman problem with pickup and delivery. *Discrete Applied Mathematics*, 145(1), 126-139.
 9. Hernández-Pérez, H., Rodríguez-Martín, I., & Salazar-González, J. J. (2009). A hybrid GRASP/VND heuristic for the one-commodity pickup-and-delivery traveling salesman problem. *Computers & Operations Research*, 36(5), 1639-1645.
 10. Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I., & Dengiz, B. (2012). The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach. *Omega*, 40(4), 465-477.
 11. Nassar, K., & Hosny, O. (2011). Solving the Least-Cost Route Cut and Fill Sequencing Problem Using Particle Swarm. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(8), 931-942.
 12. Caggiani, L., & Ottomanelli, M. (2013). A dynamic simulation based model for optimal fleet repositioning in bike-sharing systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 87, 203-210.
 13. Caggiani, L., & Ottomanelli, M. (2012). A modular soft computing based method for vehicles repositioning in bike-sharing systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 675-684.
 14. Liao, K., & Guo, D. (2008). A Clustering-Based Approach to the Capacitated Facility Location Problem. *Transactions in GIS*, 12(3), 323-339.
 15. Dell'Amico, M., Hadjicostantinou, E., Iori, M., & Novellani, S. (2014). The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances.

Omega, 45, 7-19.

16. Madsen, O. B. (1983). Methods for solving combined two level location-routing problems of realistic dimensions. *European Journal of Operational Research*, 12(3), 295-301.
17. Mehrjerdi, Y. Z., & Nadizadeh, A. (2013). Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 75-84.
18. Min, H. (1989). The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5), 377-386.
19. Murray, A. T., & Gerrard, R. A. (1997). Capacitated service and regional constraints in location-allocation modeling. *Location Science*, 5(2), 103-118.
20. Mladenović, N., Urošević, D., & Ilić, A. (2012). A general variable neighborhood search for the one-commodity pickup-and-delivery travelling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 270-285.
21. Papazek, P., Raidl, G. R., Rainer-Harbach, M., & Hu, B. (2013). A PILOT/VND/GRASP hybrid for the static balancing of public bicycle sharing systems. In *Computer Aided Systems Theory-EUROCAST 2013* (pp. 372-379). Springer Berlin Heidelberg.
22. Vogel, P., Saavedra, B. A. N., & Mattfeld, D. C. (2014). A hybrid metaheuristic to solve the resource allocation problem in bike sharing systems. In *Hybrid Metaheuristics* (pp. 16-29). Springer International Publishing.
23. Papazek, P., Kloimüller, C., Hu, B., & Raidl, G. R. (2014). Balancing Bicycle Sharing Systems: An Analysis of Path Relinking and Recombination within a GRASP Hybrid. In *Parallel Problem Solving from Nature-PPSN XIII* (pp. 792-801). Springer International Publishing.

24. Perl, J., & Daskin, M. S. (1985). A warehouse location-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19(5), 381-396.
25. Easa, S. M. (1988). Earthwork allocations with linear unit costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 114(4), 641-655.
26. Benarbia, T., Labadi, K., Darcherif, A. M., Barbot, J. P., & Omari, A. (2013, October). Real-time inventory control and rebalancing in bike-sharing systems by using a stochastic Petri net model. In *Systems and Control (ICSC), 2013 3rd International Conference on* (pp. 583-589). IEEE.
27. Vincent, F. Y., Lin, S. W., Lee, W., & Ting, C. J. (2010). A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), 288-299.
28. Vincent, F. Y., & Lin, S. W. (2014). Multi-start simulated annealing heuristic for the location routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Applied Soft Computing*, 24, 284-290.
29. Wang, C., Mu, D., Zhao, F., & Sutherland, J. W. (2015). A parallel simulated annealing method for the vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 111-122.

附錄一 租借站資料

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
中山區	1	中山行政中心	-22	25.064317	121.533487
	2	八德市場	-10	25.044781	121.536609
	3	劍潭社區	-12	25.084759	121.537892
	4	市民林森路口	-21	25.047958	121.524388
	5	市立美術館	-12	25.070629	121.523268
	6	建國農安街口	-33	25.065031	121.536775
	7	建國長春路口	7	25.054761	121.536925
	8	捷運中山國小站(4 號出口)	-4	25.062924	121.527720
	9	捷運劍南路站(2 號出口)	-47	25.084180	121.555116
	10	捷運大直站(3 號出口)	-5	25.079278	121.546683
	11	捷運松江南京站(7 號出口)	-44	25.052181	121.533211
	12	捷運行天宮站(1 號出口)	-13	25.058369	121.532934
	13	捷運行天宮站(3 號出口)	-22	25.059978	121.533302
	14	新生長安路口	-10	25.048611	121.529346
	15	新生長春路口	-11	25.056387	121.527522
	16	林安泰古厝	-9	25.071606	121.530805
	17	林森公園	-23	25.052227	121.525805
	18	榮星花園	8	25.064240	121.540370
	19	興安華城	-46	25.055997	121.542318
	20	龍江南京路口	-15	25.052980	121.540568
中正區	21	仁愛林森路口	-5	25.038954	121.522334
	22	信義杭州路口 (中華電信總公司)	18	25.035851	121.523987
	23	信義連雲街口	-17	25.033817	121.530547
	24	南昌公園	-24	25.026827	121.520258
	25	和平重慶路口	-38	25.027323	121.516385
	26	國家圖書館	-6	25.037773	121.517029
	27	捷運古亭站(2 號出口)	-8	25.025300	121.523537
	28	捷運善導寺站(1 號出口)	-12	25.045267	121.522200
	29	捷運小南門站(1 號出口)	-22	25.036402	121.509422
	30	捷運臺大醫院(4 號出口)	-12	25.042973	121.516428
	31	捷運西門站(3 號出口)	-46	25.041778	121.508693
	32	植物園	-14	25.030015	121.509813
	33	河堤國小	-6	25.022880	121.522855

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
中正區	34	羅斯福寧波東街口	-6	25.031445	121.519411
	35	臺北市客家文化主題公園	-7	25.020430	121.525322
	36	臺北市立大學	-27	25.035414	121.514218
	37	臺北轉運站	-22	25.048222	121.520526
	38	華山文創園區	-4	25.043668	121.528487
	39	金山市民路口	-10	25.045753	121.530697
信義區	40	三張犁	-21	25.034937	121.557620
	41	世貿三館	-12	25.035213	121.563688
	42	世貿二館	-38	25.034736	121.565658
	43	中強公園	-20	25.028630	121.569810
	44	五常公園	9	25.048140	121.574670
	45	仁愛逸仙路口	-15	25.037724	121.561178
	46	信義廣場(台北 101)	-34	25.033038	121.565619
	47	台北市政府	-4	25.037797	121.565169
	48	台北市災害應變中心	-23	25.028661	121.566116
	49	吳興公車總站	-30	25.023877	121.569836
	50	基隆光復路口	8	25.030055	121.557841
	51	市民廣場	-22	25.036036	121.562325
	52	捷運台北 101/世貿站	-41	25.032752	121.561645
	53	捷運市政府站(3 號出口)	-72	25.040857	121.567904
	54	捷運永春站(2 號出口)	-8	25.040558	121.575372
	55	捷運象山站	-13	25.032835	121.571274
	56	松山家商	-14	25.036084	121.579135
	57	松德公園	-7	25.036568	121.573430
	58	松德站	-11	25.031590	121.574353
	59	永吉松信路口	-5	25.045430	121.572050
	60	福德公園	-29	25.038090	121.583670
	61	臺北醫學大學	-17	25.026679	121.561747
	62	興雅國中	-13	25.036563	121.568663
內湖區	63	捷運大湖公園站(2 號出口)	-6	25.083945	121.601854
	64	捷運文德站(2 號出口)	-17	25.078292	121.585264
	65	捷運東湖站	-9	25.066635	121.613505
	66	捷運港墘站(2 號出口)	-19	25.079681	121.575458
	67	捷運葫洲站(1 號出口)	-12	25.072485	121.607955
	68	捷運西湖站(1 號出口)	-12	25.082866	121.566695

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
內湖區	69	文湖國小	-15	25.086376	121.560888
	70	新湖國小	-5	25.068744	121.589233
	71	東湖國中	-10	25.073277	121.619521
	72	東湖國小	8	25.068409	121.615938
	73	洲子二號公園	-17	25.079322	121.568688
	74	瑞光港墘路口	-12	25.076193	121.575050
	75	福華商場	-5	25.068770	121.592654
	76	金瑞公園(金龍路)	-16	25.087848	121.587821
	77	麗山國小	-6	25.082703	121.571467
北投區	78	北投運動中心	-31	25.116665	121.509621
	79	國立臺北護理健康大學	-15	25.118049	121.517512
	80	國防大學	-5	25.137976	121.493066
	81	大業大同街口	-14	25.136929	121.499152
	82	大豐公園	-16	25.131143	121.503768
	83	振華公園	-26	25.115863	121.518163
	84	捷運北投站	-45	25.132581	121.498618
	85	捷運唎哩岸站(2 號出口)	-19	25.120788	121.505693
	86	捷運奇岩站	-30	25.126286	121.500801
	87	捷運新北投站	-14	25.137456	121.503124
	88	捷運明德站	-8	25.110331	121.518316
	89	捷運石牌站(2 號出口)	10	25.114513	121.515677
南港區	90	中研公園	6	25.047425	121.613706
	91	凌雲市場	-7	25.035639	121.614154
	92	南港世貿公園	-11	25.058000	121.614220
	93	南港公園	-22	25.041278	121.590885
	94	南港國小	-20	25.056460	121.611027
	95	南港租借站	-32	25.052470	121.608202
	96	捷運南港展覽館站 (5 號出口)	-22	25.054690	121.616690
	97	捷運南港軟體園區站 (2 號出口)	-9	25.059730	121.616187
	98	捷運後山埤站 (1 號出口)	-15	25.044310	121.581740
	99	捷運昆陽站 (1 號出口)	-29	25.050142	121.592375

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
南港區	100	東新國小	-14	25.055074	121.602798
	101	玉成公園	-12	25.042870	121.586400
	102	舊莊區民活動中心	-30	25.041277	121.619350
士林區	103	中正基河路口	-10	25.093396	121.519867
	104	士林運動中心	-7	25.089175	121.521814
	105	天母運動公園	-11	25.116325	121.534136
	106	延平國宅	-10	25.078908	121.510306
	107	捷運劍潭站(2 號出口)	-17	25.082825	121.524721
	108	捷運士林站(2 號出口)	-14	25.092546	121.526556
	109	捷運芝山站(2 號出口)	-48	25.103360	121.522629
	110	百齡國小	-8	25.085210	121.519175
	111	社子國小	-10	25.090293	121.501890
	112	福林公園	11	25.096122	121.530215
	113	臺北市立天文館	-9	25.095714	121.518046
	114	葫蘆國小	-19	25.082538	121.507495
	115	蘭興公園	-15	25.111839	121.525888
	116	蘭雅公園	-21	25.109908	121.530386
大同區	117	圓環站	-5	25.053884	121.514549
	118	捷運中山站(4 號出口)	-22	25.053082	121.520290
	119	捷運圓山站(2 號出口)	-41	25.071824	121.519287
	120	捷運大橋頭站(2 號出口)	-17	25.063404	121.512909
	121	捷運民權西路站(3 號出口)	-36	25.061285	121.520205
	122	捷運雙連站(2 號出口)	-5	25.057866	121.520711
	123	樹德公園	-10	25.066688	121.516149
	124	永樂市場	-5	25.054501	121.510549
	125	臺北孔廟	-20	25.073306	121.515843
	126	蔣渭水紀念公園	-26	25.059885	121.516299
	127	酒泉延平路口	-13	25.072228	121.510195
大安區	128	仁愛延吉街口	-5	25.037465	121.555769
	129	仁愛醫院	-28	25.037569	121.545632
	130	信義建國路口	-11	25.032930	121.537470
	131	信義敦化路口	15	25.033362	121.549110
	132	台灣科技大學	-10	25.013100	121.539723
	133	基隆長興路口	18	25.017054	121.544352
	134	建國和平路口	15	25.025850	121.537383

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
大安區	135	成功國宅	-15	25.026808	121.546726
	136	捷運信義安和站	-9	25.032985	121.554204
	137	捷運公館站(2 號出口)	-6	25.014760	121.534538
	138	捷運六張犁站	-14	25.023884	121.553161
	139	捷運台電大樓站(2 號出口)	-20	25.020547	121.528552
	140	捷運國父紀念館站 (2 號出口)	-37	25.041000	121.556945
	141	捷運大安森林公園站	8	25.033156	121.535161
	142	捷運大安站	-18	25.033078	121.543057
	143	捷運忠孝復興站(2 號出口)	-12	25.040184	121.543497
	144	捷運忠孝新生(3 號出口)	-15	25.041924	121.533862
	145	捷運東門站(4 號出口)	-13	25.033700	121.529166
	146	捷運科技大樓站	-14	25.025896	121.543293
	147	捷運麟光站 2 號出口	-31	25.018097	121.559279
	148	敦化基隆路口	9	25.022073	121.548336
	149	新生和平路口	-15	25.026217	121.535190
	150	瑠公公園	-8	25.042342	121.546050
	151	羅斯福新生南路口	-36	25.016030	121.533175
	152	臺北市立圖書館(總館)	-10	25.028798	121.538073
	153	臺大資訊大樓	15	25.021010	121.541530
	154	臺灣師範大學(圖書館)	-21	25.026650	121.528890
文山區	155	辛亥新生路口	-15	25.022413	121.534560
	156	金山愛國路口	-7	25.031640	121.526550
	157	龍門廣場	-19	25.040901	121.548252
	158	台北花木批發市場	-28	25.004023	121.540740
	159	國立政治大學	-16	24.988363	121.576536
	160	師範大學公館校區	-18	25.007528	121.537188
	161	捷運動物園站(2 號出口)	-35	24.997659	121.578752
	162	捷運景美站	-39	24.993254	121.541059
	163	捷運木柵站	-24	24.997747	121.574214
	164	文山行政中心	-10	24.989902	121.569984
	165	文山運動中心	-10	24.996842	121.559651
	166	羅斯福景隆街口	-15	24.999378	121.540197
	167	考試院	-21	24.987507	121.549827
	168	臺北市立景美女中	-20	24.980602	121.556177

行政區	編號	站名	需求	座標(X,Y)	
文山區	169	興豐公園	-19	24.999837	121.547778
	170	三民公園	-5	25.061567	121.566558
	171	中崙高中	-5	25.048780	121.560870
	172	捷運南京三民站(1 號出口)	-19	25.051518	121.563785
	173	捷運南京復興站(5 號出口)	-11	25.051618	121.544847
	174	捷運小巨蛋站(5 號出口)	-13	25.051702	121.553057
	175	新東公園	-6	25.059245	121.568883
	176	松山租借站	-10	25.048616	121.578095
松山區	177	民權復興路口	-21	25.062344	121.545138
	178	民權運動公園	5	25.062002	121.560186
	179	民生光復路口	5	25.058400	121.555040
	180	民生敦化路口	-51	25.057985	121.548982
	181	民生活動中心	-7	25.059147	121.562970
	182	社教館	-17	25.048268	121.552278
	183	臺北田徑場	-32	25.049505	121.549408
	184	饒河夜市	-14	25.049845	121.571885
萬華區	185	國興青年路口	-27	25.025865	121.506536
	186	峨嵋停車場	-10	25.044412	121.505409
	187	復華花園新城	-23	25.029705	121.502899
	188	捷運龍山寺站(1 號出口)	-7	25.035479	121.500260
	189	東園國小	-15	25.023393	121.497679
	190	老松國小	-12	25.037783	121.501708
	191	華江高中	-23	25.027510	121.495869
	192	華西公園	-9	25.038609	121.498495
	193	萬大興寧街口	-22	25.031974	121.500474
	194	西園艋舺路口	-20	25.032932	121.497674
	195	開封西寧路口	7	25.046618	121.507169
	196	青年公園 3 號出口	-27	25.022725	121.502708

附錄二 程式碼

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#define fctmax 20
#define N 6
#define NN 11
#define K 100
#define C 100
#define cost 0.0035
#define fr0 100
#define Vtime 90

void main(void)
{
    int i,j,l0,l,b,c,rnd,i1,ars,ars0,rnd1,i2,rnds,i10,index;
    int s[N]={0},s0[N]={0};
    int ar[100]={0};
    int cr[]={-2,-2,-2,-2,-2};
    double x0[N],y0[N],x02,y02;
    double x[N],y[N],a[N],A,ti[N],temp;
    int i,j,n=0,l=0,Q,Q0,Q1,k,m,r,p,t,i1,i2,q0,q1,g,k2,m2,nm=0,ki,kj,hn,si,hN,sI,index;
    int
s[N]={0},fr[N],d[NN]={0},e[NN]={0},q[N]={0},p0[200]={0},p1[200]={0},h2[100]
={0},h22[100]={0};
    int h[]={0};
    double x0=25.057985,y0=121.548982;
    double
x[N],y[N],a[N],b[N][N],c[N][N],f[NN],b0[NN],A=0,temp,f1=0,b1=0,B1,bb0,a1=0,A
1,Z,time[NN],ti[N],T1,timeS;

    l0=0;
    //讀檔
    printf("座標:\n");
    FILE *fptr1, *fptr2, *fptr3, *fptr4, *fptr5, *fptr6, *fptr7, *fptr8;
    fptr1=fopen("Coordinate.txt","r");
    for(i=1;i<N;i++)
        {   fscanf(fptr1,"%lf,%lf",&x[i],&y[i]);
            l0++;
        }
```

```

        s0[l0]=i;
        printf(" %d      %lf , %lf      %d\n",s0[i],x[i],y[i],ar[i]);
    }
    printf("\n\n");
    fptr2=fopen("sort.txt","w");
    fptr3=fopen("ar.txt","w");
    fptr4=fopen("Coordinate.txt","r");
    for(i=1;i<N;i++)
    {   fscanf(fptr4,"%lf,%lf",&x[i],&y[i]);
    }
    fptr5=fopen("demand.txt","r");
    for(i=1;i<N;i++)
    {   fscanf(fptr2,"%d",&q[i]);
    }
    Fptr6=fopen("saving.txt","w+");
    Fptr7=fopen("timeOD.txt","w+");
    Fptr8=fopen("time.txt","w+");

    for(i=N-1;i>0;i--)
    { for(j=1;j<i;j++)
        { if(s0[j]>s0[j+1])
            { temp=s0[j];s0[j]=s0[j+1];s0[j+1]=temp;
              temp=ar[j];ar[j]=ar[j+1];ar[j+1]=temp;
              temp=x[j];x[j]=x[j+1];x[j+1]=temp;
              temp=y[j];y[j]=y[j+1];y[j+1]=temp;
            }
        }
    }

    srand((unsigned)time(NULL));
    for(i2=1;i2<2;i2++)
    {
        for(i1=1;i1<1000;i1++)
        {
            index=0;
            do
            {
                rnd=rand()%196+1;
                for(i=1;i<N;i++)
                {
                    if(rnd==s0[i] && ar[i]<0)

```



```

        { printf("%d",rnd);
          fprintf(fp4,"%d,\n",rnd);
          x0[i1]=x[i];
          y0[i1]=y[i];
          index=1;
        }
      }
    }while(index!=1);
    //計算距離
    A=0;
    l=0;
    for(i=1;i<N;i++)
    { l++;
      a[i]=(sqrt((x0[i1]-x[i])*(x0[i1]-x[i])+(y0[i1]-y[i])*(y0[i1]-y[i])))*
        100000;
      s[l]=i;
      ti[i]=a[i]/466;
    }
    //距離排序
    for(i=N-1;i>0;i--)
    { for(j=1;j<i;j++)
      { if(s0[j]>s0[j+1])
        {
          temp=s0[j];s0[j]=s0[j+1];s0[j+1]=temp;
          temp=a[j];a[j]=a[j+1];a[j+1]=temp;
          temp=ti[j];ti[j]=ti[j+1];ti[j+1]=temp;
        }
      }
    }
  }
  fprintf(fp4,"第%d 次\n",i1);
  printf("\n");
  for(i=1;i<N;i++)
  {
    if (ti[i]<fctmax && ar[i]<0)
    { ar[i]=0;
      fprintf(fp4,"%d    %d    %lf,%lf    %lf\n",s[i],s0[i],x[i],y[i],a[i],ti[i]);
      fprintf(fp4,"%d    %lf,%lf    \n",s0[i],x[i],y[i]);
    }
  }
}

```

```

    ars0=0;
    for(i=1;i<N;i++)
    {
        ars=ars0+ar[i];
        ars0=ars;
        fprintf(fp5,"%d,%d\n",s0[i],ar[i]);
    }
    printf("%d\n",ars);
    if(ars==0)
    {
        fprintf(fp4," 分區完成，共%d 個分區\n",i1);
        break;
    }
}
for(i=1;i<N;i++)
{
    if(ars==0)
    {
        ar[i]=-1;
    }
}
}
fclose(fp4);
printf("\n-----\n");
//計算距離
for(i=1;i<N;i++)
{
    l++;
    a[i]=(sqrt((x0-x[i])*(x0-x[i])+(y0-y[i])*(y0-y[i]))) * 100000;
    A=A+a[i];
    s[l]=i;
    ti[i]=a[i]/466;
    fprintf(fp4,"%lf  (%d)  %lf\n",a[i],s[i],ti[i]);
}
fclose(fp4);
printf("%lf\n",A);
printf("\n");
for(i=1;i<N-1;i++)
{
    for(j=i+1;j<N;j++)
    {
        n++;
        a[i]=(sqrt((x0-x[i])*(x0-x[i])+(y0-y[i])*(y0-y[i]))) * 100000;
        a[j]=(sqrt((x0-x[j])*(x0-x[j])+(y0-y[j])*(y0-y[j]))) * 100000;
        b[i][j]=(sqrt((x[i]-x[j])*(x[i]-x[j])+(y[i]-y[j])*(y[i]-y[j]))) * 100000;
    }
}

```

```

        c[i][j]=a[i]+a[j]-b[i][j];
        d[n]=i;
        e[n]=j;
        f[n]=c[i][j];
        b0[n]=b[i][j];
        time[n]=b0[n]/466;
    }
}
for(i=1;i<NN;i++)
{
    fprintf(fp5,"%lf  (%d,%d)      %lf\n",b0[i],d[i],e[i],time[i]);
}
fclose(fp5);
//節省值排序
for(i=NN-1;i>0;i--)
{
    for(j=1;j<i;j++)
    {
        if(f[j]<f[j+1])
        {
            temp=f[j];f[j]=f[j+1];f[j+1]=temp;
            temp=b0[j];b0[j]=b0[j+1];b0[j+1]=temp;
            temp=time[j];time[j]=time[j+1];time[j+1]=temp;
            temp=d[j];d[j]=d[j+1];d[j+1]=temp;
            temp=e[j];e[j]=e[j+1];e[j+1]=temp;
        }
    }
}
fprintf(fp3,"          節省值          (座標)          需求          時間 n");
for(i=1;i<NN;i++)
{
    //printf("%lf  (%ld,%ld)  (%ld)-(%ld)\n",f[i],d[i],e[i],q[d[i]],q[e[i]]);
    fprintf(fp3,"%lf  (%ld,%ld)  (%ld)-(%ld)
(%lf)\n",f[i],d[i],e[i],q[d[i]],q[e[i]],time[i]);
}
fclose(fp3);
//選起始點
for(i=1;i<N;i++)
{
    Q=K+q[d[i]]+q[e[i]];
    if(K+q[d[i]]>=0 && Q>=0)
    {
        printf("0--(%d,%d)--0  (%d)\n",d[i],e[i],Q);
        break;
    }
}

```

```

else
{
    temp=d[i];
    d[i]=e[i];
    e[i]=temp;
    if(K+q[d[i]]>=0 && Q>=0)
    {
        printf("0--(%d,%d)--0  (%d)\n",d[i],e[i],Q);
        break;
    }
else
{
    temp=d[i];
    d[i]=e[i];
    e[i]=temp;
}
}
}
//選插入點
h[50]=d[i];
h[51]=e[i];
k=50;
m=51;
for(j=i+1;j<NN;j++)
{
    if(h[k]==d[j])
    {
        h[k-1]=e[j];
        r=k-1;
        p=m;
    }
    if(h[k]==e[j])
    {
        h[k-1]=d[j];
        r=k-1;
        p=m;
    }
    if(h[m]==d[j])
    {
        h[m+1]=e[j];
        p=m+1;
        r=k;
    }
    if (h[m]==e[j])
    {
        h[m+1]=d[j];

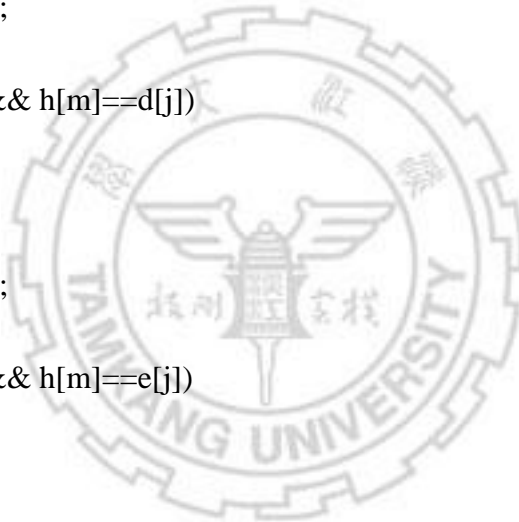
```



```

        p=m+1;
        r=k;
    }
    //前後相同
    if(h[k]==d[j] && h[m]==d[j])
    { r=k;
      p=m;
      h[k-1]=-1;
      h[m+1]=-1;
    }
    if(h[k]==d[j] && h[m]==e[j])
    { r=k;
      p=m;
      h[k-1]=-1;
      h[m+1]=-1;
    }
    if(h[k]==e[j] && h[m]==d[j])
    { r=k;
      p=m;
      h[k-1]=-1;
      h[m+1]=-1;
    }
    if(h[k]==e[j] && h[m]==e[j])
    { r=k;
      p=m;
      h[k-1]=-1;
      h[m+1]=-1;
    }
    //重複的不要
    for(i1=r;i1<p+1;i1++)
    { for(i2=i1+1;i2<p+1;i2++)
      { if(h[i1]==h[i2])
        { r=k;
          p=m;
          h[k-1]=-1;
          h[m+1]=-1;
          break;
        }
      }
    }
}

```



```

n=0;
for(i=r;i<p+1;i++)
{
    n++;
    h2[n]=h[i];
}

for(kj=1;kj<101;kj++)
{
    if(h2[kj]==0)
    {
        hn=kj-1;
        break;
    }
}
si=hn*10;
bb0=0;
for(i=r;i<p+1;i++)
{
    p0[i]=h[i];
    p1[i]=h[i+1];
    for(kj=1;kj<NN;kj++)
    {
        if(p0[i]==d[kj] && p1[i]==e[kj])
        {
            b1=bb0+b0[kj];
        }
        temp=d[kj];
        d[kj]=e[kj];
        e[kj]=temp;
        if(p0[i]==d[kj] && p1[i]==e[kj])
        {
            b1=bb0+b0[kj];
        }
    }
    bb0=b1;
}
for(i=1;i<N;i++)
{
    if(h[k]==s[i])
    {
        a1=a[i];
    }
}
A1=a1+b1;
T1=(A1/466)+si;

```

```
printf("%lf, ",T1);
```

```
//需求限制
```

```
q0=0;
for(i=r;i<p+1;i++)
{ q1=q0+K+q[h[i]];
  if(q1<0 || q1>C || T1>Vtime)
  { r=k;
    p=m;
    h[k-1]=-1;
    h[m+1]=-1;
    break;
  }
  q0=q1-K;
```

```
k=r;
```

```
m=p;
```

```
}
```

```
//列印結果
```

```
printf("\n");
```

```
printf("路線：");
```

```
printf("0-");
```

```
for(i=1;i<101;i++)
```

```
{ if(h[i]>0)
  { printf("%d-",h[i]);
  }
}
```

```
printf("0\n");
```

```
printf("hn:%d,\n",hn);
```

```
n=0;
```

```
for(i=k;i<m+1;i++)
```

```
{ n++;
  h22[n]=h[i];
}
```

```
printf("\n");
```

```
for(j=1;j<101;j++)
```

```
{ //printf("%d,",h22[j]);
  if(h22[j]==0)
  { hN=j-1;
    break;
  }
}
```



```

    }
}
printf("hN:%d,\n",hN);
sI=hN*10;
printf("sI:%d\n",sI);
q0=0;
for(i=r;i<p+1;i++)
{ Q1=q0+K+q[h[i]];
  q0=Q1-K;
}
printf("Q1:%d\n",Q1);
printf("b1:%lf\n",b1);
printf("a1:%lf\n",a1);
printf("A1:%lf\n",A1);
printf("\n");
bb0=0;
for(i=k;i<m+1;i++)
{ p0[i]=h[i];
  p1[i]=h[i+1];
  for(kj=1;kj<NN;kj++)
  { if(p0[i]==d[kj] && p1[i]==e[kj])
    { B1=bb0+b0[kj];
    }
    temp=d[kj];
    d[kj]=e[kj];
    e[kj]=temp;
    if(p0[i]==d[kj] && p1[i]==e[kj])
    {
      B1=bb0+b0[kj];
    }
  }
  bb0=B1;
}
printf("\n");
printf("B1:%lf\n",B1);
for(i=1;i<N;i++)
{ if(h[k]==s[i])
{
  a1=a[i];
}
}

```



```
    }  
    printf("a1:%lf\n",a1);  
    printf("\n");  
    A1=a1+B1;  
    timeS=(A1/466)+sI;  
    printf("旅行距離： %lf\n",A1);  
    printf("timeS:%lf\n",timeS);  
  
    getchar();  
}
```

