

國立臺灣大學工學院土木工程學系



碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

復康巴士場站區位之最佳化研究

Location Model for Handicapped and  
Disabled Bus Service Allocation

游珮暄

Pei-Hsian Yuo

指導教授：張學孔 博士

陳柏華 博士

Advisors: S.K. Jason Chang, Ph.D.

Albert Y. Chen, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

July 2013



國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書  
復康巴士場站區位之最佳化研究  
Location Model for Handicapped and  
Disabled Bus Service Allocation

本論文係游珮暄 (R00521529) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 102 年 07 月 04 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

張學孔

(指導教授)

陳柏華

(指導教授)

魏健宏

黃寬丞

朱致遠

系主任

呂良正

張學孔

陳柏華

魏健宏


黃寬丞

朱致遠

呂良正

(簽名)

## 誌謝



誠心感謝兩位指導教授，首先是張學孔博士，老師細心教導並且撥空討論，引導學生正確的方向，使我在這兩年獲益匪淺，也由於老師才能出國參加研討會，增廣見聞；還有陳柏華老師，謝謝老師對我的耐心與包容，經由與老師溝通才能發現許多研究上的癥結，也謝謝老師一路的鼓勵和安慰，才能有能量得以讓我順利獲取學位，只要看到老師就非常安心，有靠岸的感覺。所有的一切都非常感謝兩位老師！

感謝陳德紹學長從碩一就不厭其煩的指導，總能在我迷惘時為我解惑，從學長那學習到的能力使得論文更完整而嚴謹。感謝陳雅雯學姊在台南研究計畫案中的協助，學到很多不同領域的新知識，感謝學姊的教導與幫助。

碩士兩年期間內，特別感謝有蔡欣芸學姊於學業上與生活上等各方面的鼎力幫忙，並感謝李騏、蔡依靜、林沛灃、呂瑋學姊們，與你們一起打球和共同娛樂讓我在碩一時增添許多色彩，也得到許多寶貴的經驗。也感謝鍾艾蓉學姊與方翊翔學長的陪伴，感謝你們總是能把我的負面情緒帶走，並給予我莫大的信心！

在台大的兩年感謝張祐榕不離不棄的陪伴，謝謝妳在我人生最低潮的時候，持續的鼓勵我。感謝林奕辰小天使，在艱辛的路途中能與你互相扶持是我的榮幸。感謝張耘禎總是懷抱正面想法也激勵我要懷抱上進心，有妳一起討論交換學生和打羽球是一件幸福的事情。感謝賴怡儒與曾鈺瑛在我心情不好能夠分擔我的憂愁，與妳們在一起總是能拋開煩惱且大聲說笑。感謝偶像劉晉瑋用最溫暖的笑容化解了我負面的想法。感謝我可愛的室友黃麗文學妹，當我疲勞時陪我說話解悶，每起床桌上意外的驚喜都讓我感動萬分。感謝古宇翔學長時不時都會關心我，縱使我們不常見面卻也給予心情上的穩定與安慰。

另外亦感謝各位朋友，吳瑄俞、黃俊評、林婷媛、施宇宸、王紹安、劉宸邑、李榕芳、陳建青、戴文華、吳庭碩、宋康德、陳梵宇、Alex、Jeff、唐達言、呂柏

緯、陸翰勳、張志予、許凱翔.....等，曾經為我加油過的每一個人，無論是言語上的支持或實際上的協助都讓我相當感謝！

最後謝謝親愛的家人，這兩年家裡非常波折又坎坷，感謝您們在困苦之中，還要體諒和包容我的任性與哭鬧，有您們的支持，才讓我順利獲得這得來不易的學位，謝謝您們。

游珮暄 謹誌 於台大  
民國一百零二年 七月



## 摘要

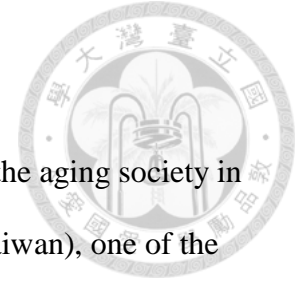
台灣已經邁入高齡化社會，人民對於無障礙運輸的需求日益增加，復康巴士即是基於此一思維而提供的公共運輸服務。復康巴士係屬於「需求反應式公共運輸系統」(DRTS)，其服務對象除特定之身障人士外，將來亦可能包括非特定對象的其他乘客。需求反應之撥召系統提供每位需求客製化運輸服務，然而由於路線、班次及站位皆不固定，所以在經營之規劃角度與一般運輸系統有所不同。

復康巴士場站區位選擇不僅影響運輸路徑，甚至影響車隊最適規模；因此，如何權衡場站成本、車隊成本、運輸成本以及乘客服務品質以選擇良好場站設置區位，實為重要之課題。本研究主要目的係針對復康巴士場站之區位選擇問題，利用二元整數規劃模式建構一包含使用者旅行時間成本、營運成本與場站成本之總成本函數，期能在總成本最小化目標下求解最佳場站區位和車隊規模。

研究中並以台北市復康巴士進行數值實例以驗證模式之適用性，其結果顯示，在台北市總需求人數為每小時92人情形下，所需車輛數為37輛，場站需建置5個，分別為北投區、士林區、內湖區、萬華區及文山區。敏感度分析顯示決策變數受需求人數、車輛乘載人數、車小時成本之影響相當顯著。本研究建立之模式及分析結果，可作為規劃階段復康巴士及DRTS場站區位最佳化設計之參考。

**關鍵詞：**需求反應運輸服務、復康巴士、區位選擇問題、二元整數規劃法

## Abstract



The demand of barrier free transportation has increased due to the aging society in Taiwan. Handicapped & Disabled Bus (named as Fu-kang Bus in Taiwan), one of the Demand Responsive Transit Service (DRTS), can provide a more convenient transport service for people moving with difficulty, enhancing their quality of life. As Fu-kang Bus has features of dial-a-ride system operating in shared-ride mode and providing door-to-door services according to passenger's needs, it is necessary to consider its system planning and design from a different point of view to compare it with conventional public transit systems having fixed route and frequency.

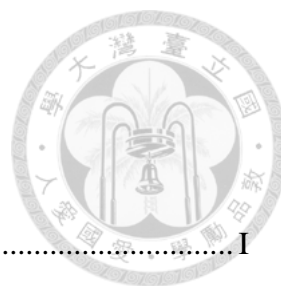
The allocation of depot location not only affects the travel distances but also fleet size of the Fu-kang bus operation. Therefore, it is essential to include depot cost, operation cost and passenger cost simultaneously when determining the optimal depot location. This study aims to develop a binary integer programming model to analyze optimized location and fleet size of Fu-kang Bus while minimum total system cost is considered as the objective function.

Taipei City is used as the numerical example to verify the applicability of the model developed. The numerical results show that the optimal scale of depots is five and the fleet size is 37 given the current operational environment and demand. Sensitive analysis is also conducted to evaluate the effects of important parameters on the decision variables and system design. It is shown that demand density, vehicle load factor and vehicle hourly cost are most sensitive to the total cost. The model and analysis results of this study could be used as a guideline for design and planning of DRTS and handicapped and disabled transportation services.

Keywords: Demand Responsive Transit Service, Handicapped & Disabled Bus Service,

Location Allocation Problem, Binary Integer Programming





## 目 錄

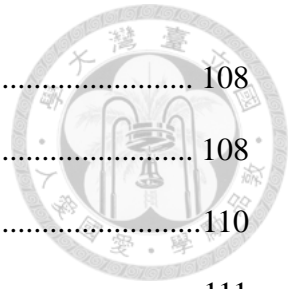
誌謝 .....	I
摘要 .....	III
Abstract.....	IV
圖 目 錄.....	IV
表 目 錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	2
1.4 研究方法.....	3
1.5 研究內容與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 復康巴士.....	6
2.1.1 復康巴士系統發展背景與定義.....	6
2.1.2 復康巴士市場範疇.....	8
2.1.3 復康巴士營運型態.....	14
2.1.4 國內外復康巴士案例.....	17
2.2 研究方法.....	29
2.2.1 區位問題.....	29
2.2.2 運輸系統規劃設計.....	33
2.2.3 數學規劃法.....	38
2.3 文獻綜合評析.....	40
第三章 模式構建.....	43





3.1 模式基本假設 .....	43
3.2 符號說明 .....	46
3.3 復康巴士總營運成本模式建構 .....	48
3.3.1 復康巴士總營運各項成本分析 .....	48
3.3.2 營運總成本模式 .....	51
3.4 復康巴士系統總成本模式建構 .....	52
3.4.1 復康巴士系統總各項成本分析 .....	52
3.4.2 系統總成本模式 .....	54
第四章 實例分析 .....	56
4.1 台北市實際情況 .....	56
4.2 服務範圍分區需求密度變化之分析 .....	64
4.3 場站設施數量限制 .....	72
4.4 總需求變化之分析 .....	78
4.5 大型路網之分析 .....	80
第五章 敏感度分析 .....	85
5.1 敏感度分析-需求人數 .....	86
5.2 敏感度分析-整備時間間隔 .....	89
5.3 敏感度分析-車輛行駛速率 .....	91
5.4 敏感度分析-幹線集散行駛速率比率 .....	93
5.5 敏感度分析-車輛乘載人數 .....	95
5.6 敏感度分析-場站固定成本 .....	98
5.7 敏感度分析-車輛相關變動成本 .....	100
5.8 敏感度分析-車小時成本 .....	103
5.9 敏感度分析-乘客車內旅行時間價值 .....	105
5.10 討論 .....	107

第六章 結論與建議.....	108
6.1 結論.....	108
6.2 建議.....	110
參考文獻.....	111



## 圖目錄

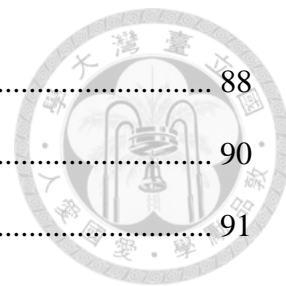


圖 1.1 研究內容與流程 .....	5
圖 2.1 各種公共運輸方式班表及路線彈性程度比較 .....	9
圖 2.2 接駁式 DRTS 示意圖 .....	11
圖 2.3 替代式 DRTS 示意圖 .....	12
圖 2.4 完全式 DRTS 示意圖 .....	12
圖 2.5 特定目的式 DRTS 示意圖 .....	13
圖 2.6 單點對單點示意圖 .....	14
圖 2.7 單點對多點示意圖 .....	15
圖 2.8 多點對單點示意圖 .....	15
圖 2.9 多點對多點示意圖 .....	15
圖 2.10 權責關係圖 .....	20
圖 2.11 台北市小型復康巴士預約訂車與臨時叫車時間 .....	28
圖 2.12 邊長為 D 之具有網格網絡正方形區域 .....	36
圖 2.13 矩形內車輛行駛示意圖 .....	36
圖 2.14 不同車輛容量路線比較示意圖 .....	37
圖 2.15 車輛行駛距離 .....	38
圖 3.1 復康巴士醫療接駁運輸服務區示意圖 .....	44
圖 3.2 復康巴士服務形式示意圖 .....	45
圖 3.3 復康巴士整備次數示意圖 .....	45
圖 3.4 營運成本示意圖 .....	49
圖 3.5 使用者車內時間成本示意圖 .....	54
圖 3.6 使用者車內時間成本計算 .....	54
圖 4.1 臺北市行政區域圖 .....	56
圖 4.2 臺北市行政區域圖 .....	57



圖 4.3 復康巴士場站位置及面積 .....	63
圖 4.4 各項成本比例比較圖 .....	64
圖 4.5 臺北市行政區域密度改變圖 .....	65
圖 4.6 需求集中下復康巴士場站位置及面積 .....	67
圖 4.7 需求集中下各項成本比例比較圖 .....	68
圖 4.8 需求分散下復康巴士場站位置及面積 .....	69
圖 4.9 需求分散下各項成本比例比較圖 .....	70
圖 4.10 需求密度變化下總成本與車輛數比較圖 .....	71
圖 4.11 復康巴士場站位置及面積(設施限制=1) .....	73
圖 4.12 各項成本比例比較圖(設施限制=1) .....	73
圖 4.13 復康巴士場站位置及面積(設施限制=2) .....	74
圖 4.14 各項成本比例比較圖(設施限制=2) .....	74
圖 4.15 復康巴士場站位置及面積(設施限制=3) .....	75
圖 4.16 各項成本比例比較圖(設施限制=3) .....	76
圖 4.17 設施數目限制下場站變化圖 .....	76
圖 4.18 設施數目限制下各項成本比例比較圖 .....	77
圖 4.19 設施數目限制下總成本與車輛數比較圖 .....	78
圖 4.20 需求成長兩方案之總成本曲線比較圖 .....	80
圖 4.21 大路網區域劃分圖 .....	81
圖 4.22 場站區位圖 .....	82
圖 4.23 各項成本比例比較圖 .....	82
圖 4.24 路網間隔比較圖 .....	83
圖 4.25 場站區位圖 .....	83
圖 4.26 各項成本比例比較圖 .....	84
圖 5.1 需求人數敏感度分析 .....	88

圖 5.2 需求人數敏感度分析場站區位圖 .....	88
圖 5.3 整備時間間隔敏感度分析 .....	90
圖 5.4 整備時間間隔敏感度分析場站區位圖 .....	91
圖 5.5 車輛行駛速率敏感度分析 .....	92
圖 5.6 幹線集散行駛速率比率敏感度分析 .....	94
圖 5.7 車輛乘載人數敏感度分析 .....	96
圖 5.8 車輛乘載人數敏感度分析場站區位圖 .....	97
圖 5.9 場站固定成本敏感度分析 .....	100
圖 5.10 車輛相關變動成本敏感度分析 .....	102
圖 5.11 小時成本敏感度分析 .....	104
圖 5.12 車小時成本敏感度分析場站區位圖 .....	105
圖 5.13 乘客車內旅行時間價值敏感度分析 .....	106



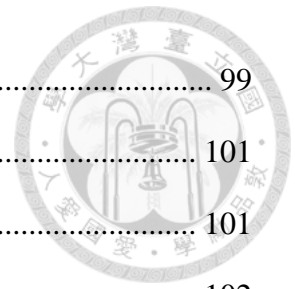
## 表 目 錄



表 2.1 目標式與限制式之導向分類 .....	8
表 2.2 復康巴士與一般公車、計程車之比較 .....	9
表 2.3 表服務對象類別等級（以身心障礙手冊為認定基礎） .....	14
表 2.4 La Verne DRTS 服務範圍基本資料 .....	19
表 2.5 La Verne DRTS 服務細則資料 .....	19
表 2.6 服務統計表 .....	21
表 2.7 DRTS 示範計畫提供使用者之運輸服務 .....	23
表 2.8 公共機關團體在 DRTS 示範計畫之角色定位 .....	24
表 2.9 香港復康巴士電召服務搭乘費用 .....	27
表 2.10 區位問題-依目標式與限制條件之分類 .....	31
表 2.11 區位問題-一依問題特性分類 .....	31
表 2.12 區位問題之分類 .....	32
表 3.1 參數參考表 .....	50
表 4.1 臺北市身心障礙人數統計表 .....	57
表 4.2 臺北市復康巴士每小時平均趟次 .....	58
表 4.3 復康巴士其餘場站成本計算表 .....	59
表 4.4 臺北市場站固定成本表 .....	60
表 4.5 臺北市車位租金行情表 .....	61
表 4.6 台北市實係情況參數表 .....	61
表 4.7 系統總成本分析表 .....	64
表 4.8 臺北市復康巴士需求密度變化表 .....	65
表 4.9 支線需求固定實例試算參數表 .....	66
表 4.10 需求集中下系統總成本分析表 .....	68
表 4.11 需求分散中下系統總成本分析表 .....	69

表 4.12 需求密度變化下各區需求人數分析表 .....	70
表 4.13 需求密度變化下各項成本比較表 .....	71
表 4.14 系統總成本分析表(設施限制=1) .....	73
表 4.15 系統總成本分析表(設施限制=2) .....	74
表 4.16 系統總成本分析表(設施限制=3) .....	75
表 4.17 設施數目限制下各項成本比較表 .....	76
表 4.18 支線需求線性實例試算參數表 .....	78
表 4.19 需求變化下系統總成本比較表 .....	79
表 4.20 系統總成本分析表 .....	82
表 4.21 系統總成本分析表 .....	84
表 4.22 求解時間比較表 .....	84
表 5.1 參數表 .....	85
表 5.2 場站固定與車輛相關變動成本參數表 .....	85
表 5.3 需求人數敏感度分析 .....	86
表 5.4 需求人數各項成本比較表 .....	87
表 5.5 整備時間間隔敏感度分析 .....	89
表 5.6 整備時間間隔各項成本比較表 .....	89
表 5.7 車輛行駛速率敏感度分析 .....	91
表 5.8 車輛行駛速率各項成本比較表 .....	92
表 5.9 幹線集散行駛速率比率敏感度分析 .....	93
表 5.10 幹線集散行駛速率比率各項成本比較表 .....	94
表 5.11 車輛乘載人數敏感度分析 .....	95
表 5.12 車輛乘載人數各項成本比較表 .....	96
表 5.13 場站固定成本敏感度變動參數表 .....	98
表 5.14 場站固定成本敏感度分析 .....	99

表 5.15 場站固定成本各項成本比較表 .....	99
表 5.16 車輛相關變動成本敏感度變動參數表 .....	101
表 5.17 車輛相關變動成本敏感度分析 .....	101
表 5.18 車輛相關變動成本各項成本比較表 .....	102
表 5.19 車小時成本敏感度分析 .....	103
表 5.20 車小時成本各項成本比較表 .....	104
表 5.21 乘客車內旅行時間價值敏感度分析 .....	105
表 5.22 乘客車內旅行時間價值各項成本比較表 .....	106





# 第一章 緒論



## 1.1 研究背景與動機

台灣已經邁入高齡化社會，人民對於無障礙運輸的需求日益增加，隨著現今社會對「人本交通」的認識，提供身心障礙者、行動不便者與高齡者友善的交通環境也逐漸受到重視。復康巴士即基於此一思維而提供的公共運輸服務。雖然現階段復康巴士限制服務對象為領有身心障礙手冊或重度下肢體障礙者，但就運輸功能而言，復康巴士係需求反應式公共運輸(DRTS)之系統，其服務對象除特定之身障人士外，將來亦可能包括非特定對象的其他乘客。

因此，就需求反應之撥召系統而言，復康巴士服務能於需求產生時，依照乘客希望之起迄點與搭乘時間適時地提供服務，提供一個針對個別需求而客製化之運輸服務，在未來勢必成為公共運輸不可缺少的一環。然而此種撥召服務因路線、班次及站位皆不固定，在經營之規劃角度與一般運輸系統有所不同。

復康巴士營運之規劃包含場站位置選擇、車隊規模、以及車輛派遣規劃。區位問題的良窳每每影響其發展，其涉及不僅是場站設施固定成本，亦需同時考量運輸成本。就長期而言，如何規劃復康巴士場站之區位以及最適車隊規模實為重要之課題；就短期而言，車輛途程問題則會影響乘客服務水準，而實際上場站位置與乘客間之距離產生之路徑長度亦會影響業者營運成本。換言之，場站區位選擇會影響與乘客之間的運輸距離，相對之下場站與乘客之運輸距離成本也會導致區位的決定，兩者之間有著相互權衡之關係，整體情況必須一併在規劃時就予以考量。如果業者缺乏完整的計畫，將導致復康巴士車輛無法作高效率的使用，乘客服務品質亦無法確保。除此之外，位置不僅影響運輸路徑，甚至影響車隊最適規模；因此，如何權衡場站成本、車隊成本、運輸成本以及乘客服務品質，以選擇良好場站設置區位，實為重要之課題。



## 1.2 研究目的

本研究之目的係針對復康巴士場站之區位選擇問題，利用數學模式建構一包含使用者車內旅行時間成本、營運成本與場站成本之總成本函數，期能在總成本最小化目標下求解最佳場站位置。

## 1.3 研究範圍與限制

本研究係以規劃符合台灣需求之復康巴士系統為範圍，考量現行發展較健全之復康巴士以台北市經營規模最具代表性，因此本研究以台北市小型復康巴士為對象進行研究。此外，常見之撥召系統以需求起訖點特性，可分為以下四種型態：

- 一、多對多(Many-to-Many)：乘客可於營運範圍內任意地點上下車。
- 二、多對一或一對多(Many-to-One, One-to-Many)：乘客可於多個地點上車，但於同一地點下車。
- 三、多對少或少對多(Many-to-Few, Few-to-Many)：乘客可於多個地點上車，但下車地點數目相對較少之地點下車。
- 四、少對少(Few-to-Few)：乘客可於營運範圍內任意地點上下車，但其上下車地點數目有適當之限制。

本研究則考量復康巴士車輛容量之旅客特性，主要針對上述多對少「Many-to-Few」之需求服務型態進行探討與分析，模式中假設各行政分區內中心點為該區之社區醫院或乘客所需到達之醫療復健機構，而在服務區域內利用座標來代表場站位置之可能選擇，並假設場站足以提供服務範圍內所有使用者之醫療運輸需求，復康巴士並將其接駁至該行政區之醫療場所進行醫療服務，路線型態屬於多對少之型式，考慮此範圍內之營運者成本以及使用者成本。

許多區位選擇的問題會同時將車輛途程之問題加以考量，然而本研究則是考量在規劃階段決定場站區位，因此不涉及在營運設計所面臨之車輛實際行駛路線及接送順序問題。



## 1.4 研究方法

本研究以數學規劃法 (Mathematical Programming) ，根據復康巴士特性建構其二元整數規劃模式，同時以系統總成本最小化作為目標函數，在相關限制條件下進行求解。研究中並利用IBM ILOG CPLEX作為數學規劃模式之求解工具，實作之平台為MathWorks之MATLAB軟體。

一般對於求得最佳解之方法大致上可以分為兩種，一種為確實找出最佳解的確切解法 (Exact algorithm) ，另外一種則求得近似解的方法。CPLEX在此提供為確切解法中之分支切割演算法 (Branch and cut algorithm) ，確保求得之結果為最佳之選擇。

本研究之假設為復康巴士皆由場站開始，將服務範圍內之乘客接載至醫療場所，針對需求分佈情況與總成本函數之組成，分析最佳場站位置及服務範圍，期能提供復康巴士業者未來之規劃決策參考。

## 1.5 研究內容與流程

本研究之主要內容總共可分為六個工作項目：

### 一、研究目的與範圍之確立

確認本研究方向與目的後，在對於復康巴士相關特性進行了解的情況下，釐清並界定出研究範圍與考慮因素，以找出確切之方法以利研究後續之進行。

### 二、文獻蒐集與評析

基於問題特性及研究目的之需要，進行相關文獻之蒐集與探究，以奠定本研究建構模式之基礎。本研究分成以下兩個部分進行回顧與綜合評析，包含撥召問題 (dial-a-ride-problem, DARP) ，能夠對於復康巴士營運及服務之特性有一定程度之了解。另一部分則為本研究相關之研究方法文獻探討，蒐集各種關於區位選址問題、彈性運輸服務設計以及數學規劃法的相關文獻，藉此作為系統模式建構之參考，以利資料彙整與模式之啟發。



### 三、系統總成本模式之建構

根據上述之參考文獻以及合理之研究假設，建構二元整數規劃模式，以復康巴士總系統成本最小為目標，分析最佳化之復康巴士場站最佳區位及其服務範圍。

### 四、數值實例分析

藉由本研究所建立之模式，分別以合理之參數設定為考量，代入建構之模式，模擬並分析其結果，確認模式之可行性與適用性。

### 五、敏感度分析

此部分使用不同參數值進行敏感度分析，並根據結果之差異來確認成本項較具影響力之關鍵參數，以提供未來設定參數之參考。

### 六、結論與建議

綜合上述各點以及研究結果進行統整及歸納，提出具體結論，作為提供復康巴士業者在場站區位選擇營運方面之參考，並提出對於後續研究課題之具體建議。

本研究流程如圖1.1所示。

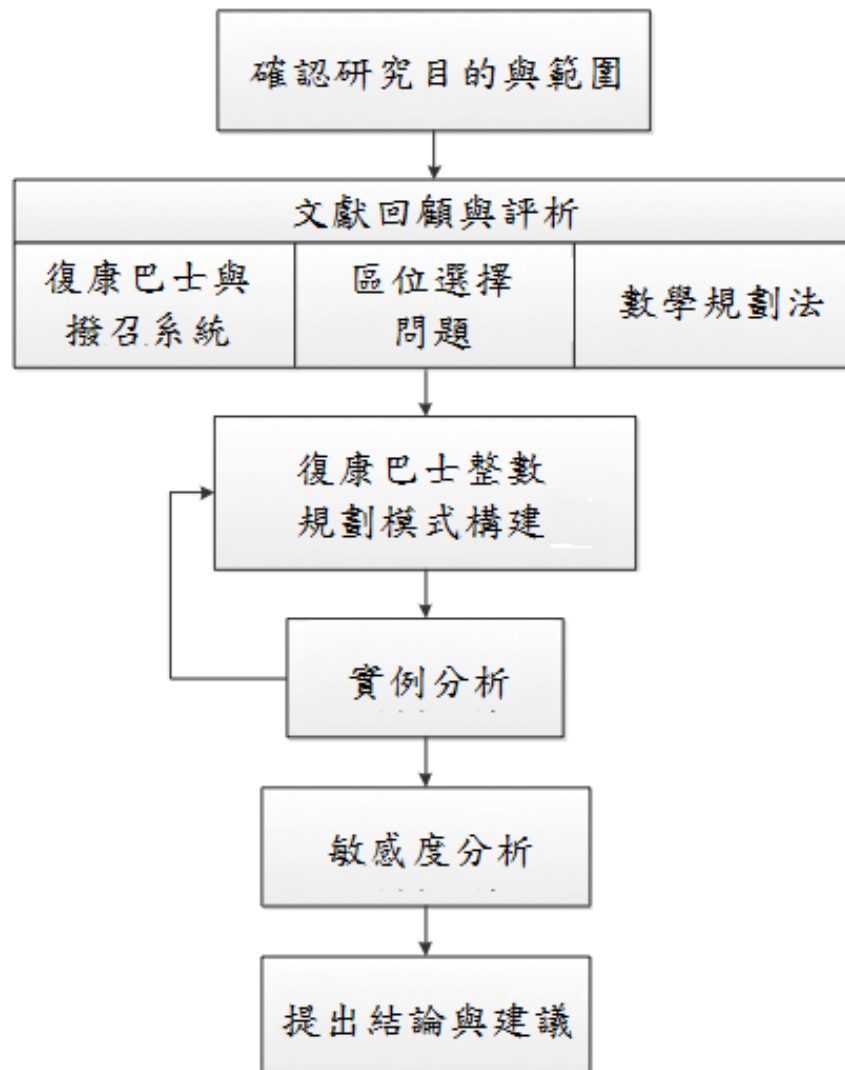


圖1.1 研究內容與流程

## 第二章 文獻回顧

本章節分為兩大部分，其中一部分概括了復康巴士的現況及其基本定義、服務對象、路線型態及操作特性等。另一部分則對於本研究相關之研究方法文獻探究，詳細內容將於下列小節分述。

### 2.1 復康巴士

#### 2.1.1 復康巴士系統發展背景與定義

身心障礙者或高齡者若僅以傳統公共運輸解決代步，對於他們行動較為不便，因此需要新的服務模式以改善現有問題，復康巴士即為因應而生之方案。

復康巴士一般被列於副大眾運輸（paratransit），更有其他文獻採用如撥召運輸系統(dial-a-ride)及需求反應式公共運輸服務(Demand Responsive Transit Service, DRTS)等名稱（Fu, 2002），此係復康巴士為有旅運需求時才供給運輸服務，並能針對行動能力不便者提供乘客彈性路線及時間，並具有共乘特性之運輸系統。

Stein（1978）早已提出撥召系統具有強大潛力，而其具體提出撥召系統為一個介於固定路線公車系統和計程車，而能夠提供大量乘客客製化的服務。而相較於傳統公車系統，撥召運輸系統使用較小車輛容量，並且透過彈性路線和排班等方式，提供共乘與及戶等服務。

Diana and Dessouky（2004）認為副大眾運輸如果在大都會地區服務，其系統需要計算的需求點數量多，因此通常都是在特殊地區或者身心障礙者或者高齡者特殊服務旅次目的。康書嫻（2005）則表示復康巴士為特定機構派遣專車提供之及門服務，屬於需求反應的特殊運輸服務，具有服務時間及路線彈性之優點。

辛孟鑫（2005）也針對復康巴士路線規劃問題進行研究，認為撥召運輸系統為一種使用者具有部分程度自主的副大眾運輸系統，其路線、班次及停站位置等均不固定，為了提高服務之效率，該研究也提及到台灣復康巴士需求皆以預約型

態為主，佔了90%以上，車輛乘客大於1人之部分也僅佔了10~15%，且其中大多為陪同人員而非共乘之結果。

Feuerstein (2001) 表示撥召運輸系統服務特性為每位需求都需包含起訖點，其困難在於將乘客指派到車輛中，而每台車輛也必須作路徑規劃以得到最佳化的結果。營運規劃涉及車輛規模、車輛容量大小、需求是否有時窗限制以及每個乘客的起訖點分佈等供需特性。

Cordeau and Laporte (2003) 定義撥召問題為，對 $n$ 為乘客以及其相對應出發與目的地有特定時窗需求來設計車輛行駛路線之問題，常見之撥召運輸系統則為運載高齡者及身心障礙者之運輸服務，並認為撥召問題的運輸成本和使用之便利性呈現相對的關係，難以從中找到平衡點。Attanasio et al. (2004) 則定義為針對 $n$ 位有特定起訖點以及時窗需求之乘客，在滿足限制下規劃出 $m$ 台車輛行駛路線及班表之問題。由於以下限制的關係導致求解撥召問題的困難度：

1. 每台車輛從同一場站出發接載乘客再回到同一場站
2. 在同一條路線上，先預約之乘客要比後預約的服務
3. 不得超過車輛服務容量
4. 繞行時間受到限制
5. 滿足乘客上下車時窗限制
6. 車輛可於任何起訖點停等
7. 所有車輛營運成本最小化

Fu and Tepley (1999) 表示目標式與限制式的制定方向分成顧客導向或是營運導向兩類，目標式和限制式也依照撥召系統的服務目的或者特性而有所改變，因此產生了各種之目標式與限制式。假設為顧客導向，其限制式與目標式要求達到乘客之成本最小化，探討之內容涵蓋乘客之搭乘時間與服務品質等；相對來說如為營運導向，則其限制式與目標式必須達到營業者之成本最小化，內容涵蓋車輛數量限制、總旅行時間與其車輛容量限制等成本，整理如表2.1所示



表 2.1 目標式與限制式之導向分類

目標式或 限制式	顧客導向或 營運導向	內容
目標式	顧客導向	顧客期望接送時間差最小化 顧客服務時間最小化
	營運導向	車輛數目最小化 車輛總旅行時間最小化
限制式	顧客導向	座位設備 最大搭乘時間 起訖時窗
	營運導向	車輛容量 車輛數目限制 車輛服務時間

資料來源：Fu, L. and S. Teply (1999)

### 2.1.2 復康巴士市場範疇

復康巴士主要是針對領有身心障礙手冊或重度以上肢體障礙者（撐雙拐或乘坐輪椅）之需要，將一般運輸載具加裝了輪椅升降梯等方便他們上下車之輔助器材的特殊交通工具，提供他們較完善方便的運輸服務，與一般公共運輸系統非屬相互競爭之關係，其多用以彌補公共運輸服務之不足或不適用之處，紓解身心障礙者之基本交通需求，進而消弭了他們的限制打造無障礙之交通廊道。

黃書強、王穆衡等人（2006）認為撥召運輸系統因具有較高的可及性且可共乘，故其常被視為介於固定路線之公共運輸與計程車服務間的一種運輸服務，如圖2.1為例，在路線及班表的彈性上，撥召公車雖然不及計程車，但因其具有相對便宜的費率，使得撥召公車仍有其市場需求。



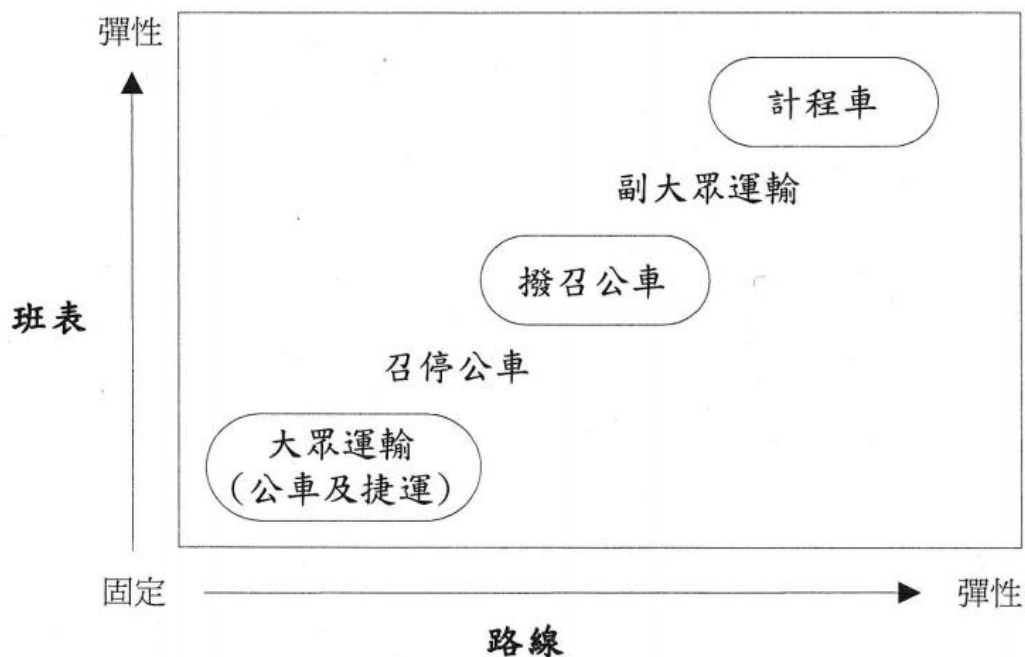


圖2.1 各種公共運輸方式班表及路線彈性程度比較

資料來源：黃書強、王穆衡等人（2006）

而由於復康巴士其路線、班次及停站位置等均不固定，根據辛孟鑫（2005）比較復康巴士與一般公車及計程車之營運特性分析，兩者考量因素仍有所差別如表2.2所示

表 2.2 復康巴士與一般公車、計程車之比較

營運形式 項目	一般公車	撥召系統(以台北市小型復康巴士為例)	計程車
乘載人數	20~70 位	最多 2 位輪椅座位及 3 位普通座位	最多四位
載客方式	定點搭乘	及門運輸	及門運輸
搭乘方式	至公車站	電洽、傳真、上網預約 後至特定地點搭乘	路邊攔車或電洽、 上網確認後至特定 地點搭乘
路線	固定	彈性	彈性
共乘	一律共乘	可	原則無共乘，特定

營運形式 項目	一般公車	撥召系統(以台北市小型復康巴士為例)	計程車
			路線可開放共乘
起訖點	固定	不固定	不固定
起訖點資料	有限	無限多(出現頻率高之起訖對)	無限多
旅行時間預估	採固定值	建立旅行時間資料庫並輔以人工方式判斷預估	不進行預估
排程特性	固定班表	著重預約排程	臨時叫車
服務對象	不限	滿足使用資格	不限
服務範圍	依核定路線	台北市聯營公車服務範圍	核定區域內
搭乘趟次限制	不限	某些狀況會有限制	不限
運價	低	計程車費率之三分之一	高

資料來源：依據辛孟鑫(2005)之研究修正而得

根據張學孔、王穆衡等人(2011)進行國外文獻之整理及歸納，其將DRTS區分為4大營運市場，分別為「接駁式DRTS」、「替代式DRTS」、「完全式DRTS」、「特定目的式DRTS」4類。而復康巴士營運方式類似完全式DRTS與特定目的式DRTS此兩類，分別於以下進行說明：

#### 一、接駁式DRTS (Interchange DRTS Composite Case)

接駁式DRTS主要提供偏遠地區或低密度地區與主要公共運輸如火車站、捷運站或者主要公車路線的連接服務，接駁區域主要為運輸需求較低的地區，通常需求分佈較為分散，且幅員較為廣大，不適合使用傳統定班、定線之公共運輸。透



過DRT接駁轉乘搭配主線運輸，可培養公共運輸運量，提供未來轉換為公共運輸定班、定線服務模式的基礎。接駁式DRTS服務在長程的旅次中具有成本效益，且可以幫助公共運輸的路網更加完善，圖2.2為其服務示意圖。

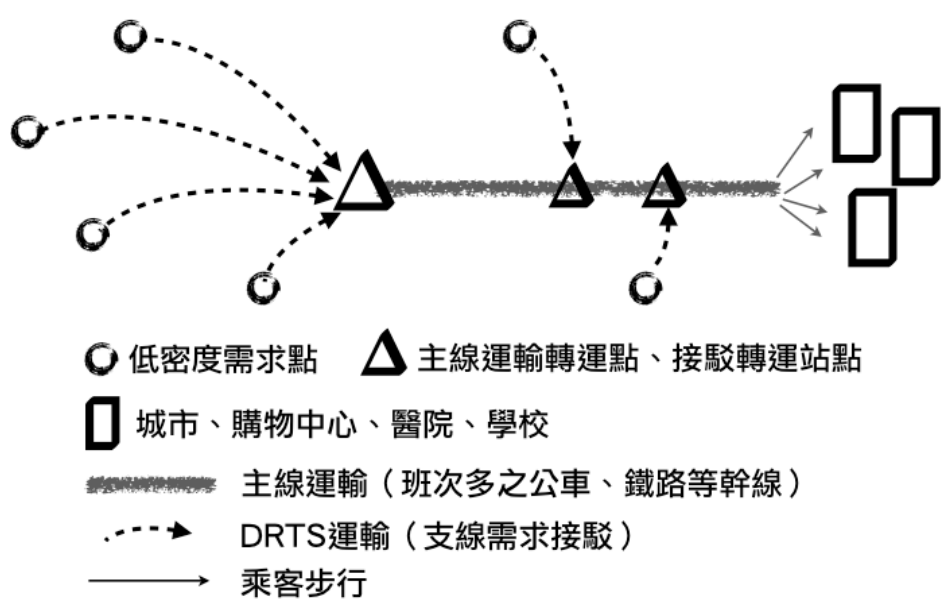


圖2.2 接駁式DRTS示意圖

## 二、替代式DRTS（DRTS Feeder Case）

替代式DRTS服務是在原有傳統公共運輸服務地區使用DRTS提供運輸服務，主要功能是在傳統公共運輸工具不適合服務情況下提供DRTS進行服務，例如郊區的運輸，白天有傳統公共運輸服務，晚上或深夜則可由DRTS服務方式來取代，亦或在市區交通離峰時段或非常偏遠地區提供DRTS服務，可提高公共運輸乘載率以及改善成本結構，提高服務品質。圖2.3為其服務示意圖。

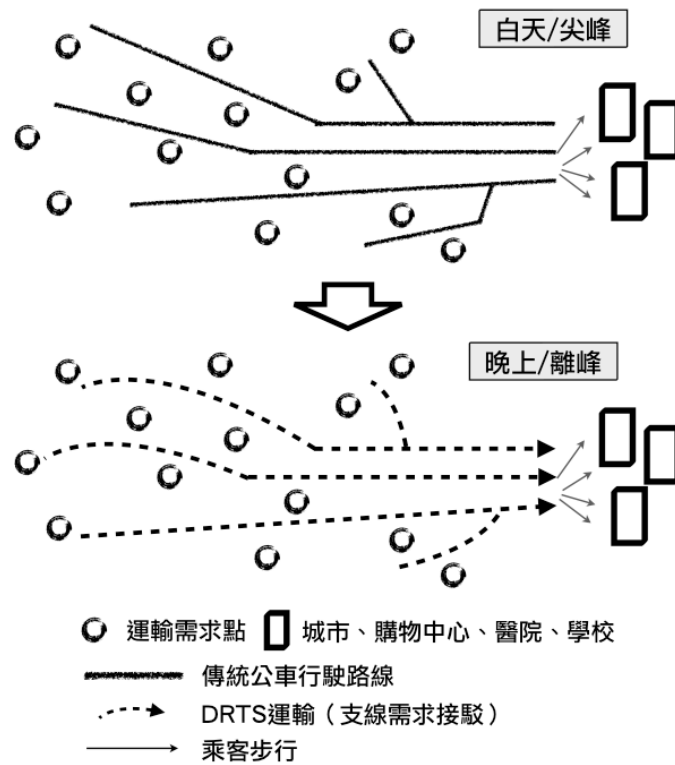


圖2.3 替代式DRTS示意圖

### 三、完全式DRTS (Stand-alone DRTS Case)

此種型態是完全以DRTS取代傳統公共運輸服務，基本上以偏遠地區、低密度、低運輸需求的地區為主要服務區域，圖2.4為服務示意圖。

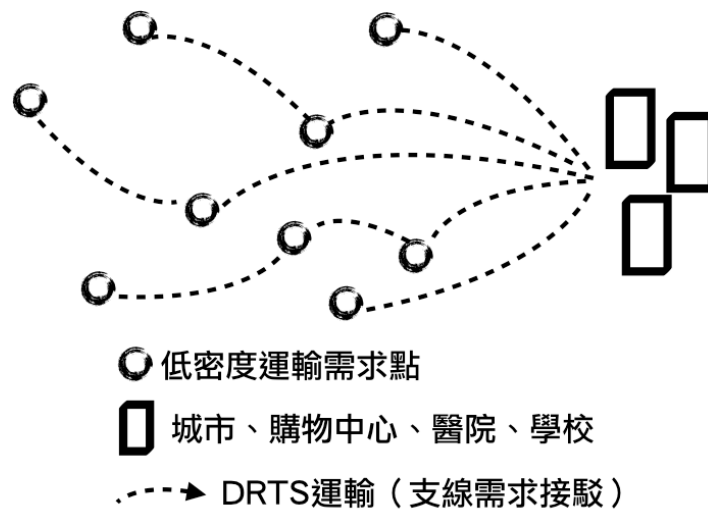


圖2.4 完全式DRTS示意圖



#### 四、特定目的式DRTS (Destination-specific DRTS Case)

針對特定目的地發展的DRTS服務型態，如機場、一般企業、醫院與學校等，取代一般公共運輸提供服務之不經濟及無效率。除此之外，亦可針對特定人士提供服務，如身心障礙者、學生等。最常見的應為復康巴士服務，而其他例如一般學生專車、機場接送巴士等等都可以是特定目的式DRTS之應用，示意如圖2.5。



圖2.5 特定目的式DRTS示意圖

除了上述之特性外，為了使身心障礙朋友都能享有公平的服務，復康巴士以緊急救援、就醫、就學、就業為優先。服務對象也嚴格作了規範，以避免身心障礙人士權益受損，以台北市地區之復康巴士為例，條列如下：

1. 領有臺北市身心障礙手冊且設籍於臺北市並實際居住臺北市者，或居住於臺北市領有臺北市政府發放榮譽市民證明之外籍身心障礙者。
2. 經相關團體邀請至臺北市進行公益性參訪活動確有需要，且報經臺北市公共運輸處核准之外籍及外縣市身心障礙者。
3. 領有其他縣市核發身心障礙手冊之植物人或重度以上肢體障礙者（撐雙拐或乘坐輪椅）。

符合上述條件之服務對象又分別依照障別等級區分為特A等級、A1等級、A2等級及B等級障別（以身心障礙手冊為認定基礎）。

表 2.3 表服務對象類別等級（以身心障礙手冊為認定基礎）

設籍及障別等級	身心障礙手冊類別
臺北市民特 A 等級	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 植物人</li> <li>· 重度以上肢體障礙者（撐雙拐或乘坐輪椅）。</li> </ul>
臺北市民 A1 等級	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 重度以上視覺障礙者（障礙等級註記重度以上者）</li> </ul>
臺北市民 A2 等級	不屬特 A、A1 等級之類別障礙（障礙等級註記重度者）
臺北市民 B 等級	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 所有類別障礙等級註記中、輕度障礙者</li> <li>· 身心障礙</li> </ul>
非臺北市民	同特 A、A1 等級。

### 2.1.3 復康巴士營運型態

撥召公車為提供符合使用者之運輸服務，可服務於特定的對象或地區。復康巴士即為提供身心障礙者在就醫、就業、就學、洽公、社會參與等為目的之運輸服務。對於復康巴士的營運型態，過去有針對起訖特性、預約方式、車輛種類進行分類，以下分別說明之。

#### 一、起訖特性

張學孔、王穆衡等人（2011）將DRTS營運模式以起訖點進行分類，共可分成以下四類（如圖2.6至2.9所示）。

##### 1. 單點對單點（One-to-One）

一般而言，多用於特定目的式DRTS。



圖2.6 單點對單點示意圖

##### 2. 單點對多點（One-to-Many）

主要適合運用於下午尖峰，自工作地點返家，可用於公共運輸場站集散旅客，



接駁式DRTS多屬於此種方式。

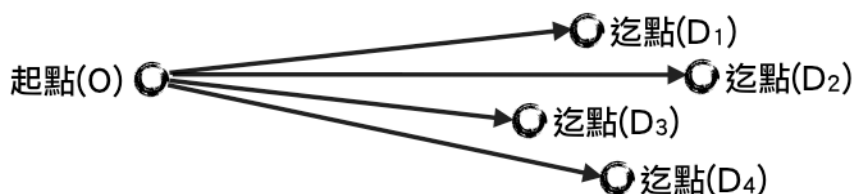


圖2.7 單點對多點示意圖

### 3. 多點對單點 (Many-to-One)

主要適合運用於上午尖峰，自家出發至工作地點，可用於公共運輸場站集散旅客，接駁式DRTS多屬於此種方式。

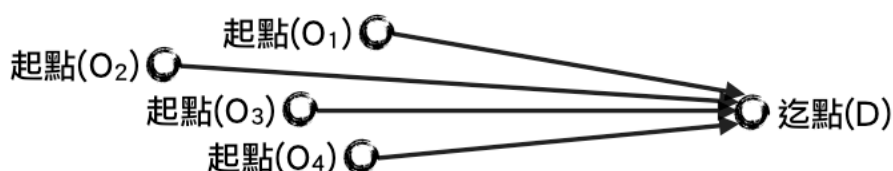


圖2.8 多點對單點示意圖

### 4. 多點對多點 (Many-to-Many)

多數旅次多屬於多點對多點，如購物及一般通勤。

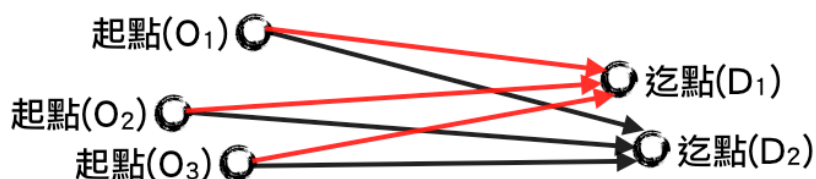


圖2.9 多點對多點示意圖

另黃書強、王穆衡等人(2006)則是將其分為「多對多點服務」、「多點對一」、「一對多點服務」、「多點對少點」、「少點對多點服務」(Many-to-Few; Few-to-Many)、「少點對少點」(Few-to-Few)等六類，其中前兩類與前述相同，而「少點對多點服務」與前所述之多點對多點服務類似，但在同一區內之上下車點較為稀少。少

點對少點則為在營運範圍內乘客可於任意地點上下車，但上下車數目有適當之限制。

旅次目的對於起訖特性也有影響，黃書強、王穆衡等人（2006）中提到就醫旅次大多為民眾由住宅區前往位於市區之各醫院，就特性而言屬於Many-to-One或Many-to-Few之型態，故對於上車地點相近之旅客，可採小型復康巴士以共乘式接駁至目的地。本研究則為採用多點對少點之復康巴士營運模式。

## 二、預約方式

一般而言，復康巴士為求派車之效率，均提供預約服務，Fu and Teply（1999）及Cordeau and Laporte（2003）皆提到撥召運輸系統預約方式包括預約訂車和臨時訂車兩類：

### 1. 預約訂車

表示要使用復康巴士所提供之運輸服務，需要於用車日之前先預約，以方便業者運作車輛調派相關營運事宜。而預約之開放時間順序會依據上述之服務對象等級來區分，可能是開放日期抑或時段較早。優勢為可使營運者於派遣車輛時可先進行最佳化路線規劃或乘客之間共乘的可能性，避免成本浪費，但相對而言即時之運輸需求則無法立即反應。

### 2. 臨時訂車

有時候身心障礙者可能臨時需要復康巴士之服務，此時會有即時需求產生，需要業者作立即處理。然而以公共資源共享為原則，如果臨時訂車時沒有閒置車輛能夠配合，此時民眾均需配合共乘模式，以充分發揮服務效益。臨時訂車如須完全發揮效用需仰賴資通訊設備及較高技術，特色為方便使用者可於任何時刻預約車輛，但需承擔其等待車輛到達之等車時間。

## 三、車輛種類

黃書強、王穆衡等人（2006）提及在復康巴士的服務中，以車輛型式可分「大復康巴士」和「小復康巴士」兩類：





## 1. 大復康巴士

大型復康巴士之營運乃依據「臺北市公共汽車管理處大型復康巴士租用服務辦法」，其營運性質類似遊覽車，必須由身心障礙朋友提出申請租用核准，乘客須於指定地點集合，由大型復康巴士載送乘客至目的地。一般多由身心障礙團體、學校或公益團體租用，多用於比賽、校外教學及參觀等用途。

大型復康巴士車身設計特色為後門附有昇降設備，可方便乘坐輪椅的肢體障礙市民上下車，同時車廂內設有固定器可固定6部輪椅，並提供10人座椅，但座位可視實際情況調整。一部大型復康巴士最多大約可容納20位乘客，其中輪椅座位最多可達到10位。

由於大型復康巴士之性質類似遊覽車，是由身心障礙者事先預約，在由駕駛至指定地點接送，所以無路線規劃、排班或派遣之問題，因此不在本研究之範圍內。

## 2. 小復康巴士

小型復康巴士一般多是由身心障礙者於就醫、就學、上班時使用，最大的特色則為及門服務之運送方式，身心障礙者不用到指定地點搭乘，直接由家門口載送至目的地，本研究之對象即為小型復康巴士。

現行小型復康巴士可同時容納2個輪椅座位及3個陪同人員座位，或1個輪椅座位及5個陪同人員座位，座位可視情況調整，但車上必須致使乘坐一位身心障礙者。視需求的多寡進行車輛的分配，需求較高時可使用較中型車輛，需求較低時則使用小型車輛提供服務。除此之外也可視特殊的需求提供不同的車輛，如復康巴士，可增加服務的多元性，增加服務品質，更能夠降低使用的成本。

### 2.1.4 國內外復康巴士案例

張學孔、王穆衡等人（2011）以及黃書強、王穆衡等人（2006）曾整理及歸納國外發展之復康巴士案例。而辛孟鑫（2005）也曾針對台北市復康巴士的現況進行分析，這些案例對於本研究之復康巴士最佳區位選擇與車隊規模設計均有參

考價值。以下針對加州、愛爾蘭、香港、台北之復康巴士作一比較與回顧。

## 一、加州La Verne市

La Verne為加州一城市，距離洛杉磯市中心東邊約35英哩，人口數約為33,000人。該城市擁有二種典型DRTS營運服務提供，包含撥召公車（Dial-a-Ride）以及當地的復康巴士服務（Get About），本案例研究主要針對復康服務Get About為主，內容包含其發展背景、服務提供方式、組織運作機制以及相關稽核指標等議題。

### 1. 發展背景

La Verne當地的DRTS服務主要分為二種類：撥召公車以及復康巴士（Get About）。復康巴士服務Get About緣起於1975年，1977年開始由當地Pomona Valley Transportation Authority (PVTA) 來接手經營管理，並且接受當地政府的財務補貼。由於PVTA僅擁有有限的車輛可提供服務，因此Get About在服務初期呈現供不應求的狀況，且當時並未有其他副大眾運輸服務的提供。為求改善服務品質，PVTA於1996年開始採用計程車加入Get About的服務，其主要希望能夠提升Get About的服務品質，也希望能夠引入當地既有的運輸業者Diversified Paratransit Services一起加入復康運輸服務，一方面增加運輸服務的供給量，另一方面由於其為撥召公車的主要經營業者，藉此降低其反彈壓力。至今Get About已經發展十餘年，其營運績效良好，且組織的體制運作確實發揮功效，主要歸功於整體機制的建立，以下為完整說明。

### 2. 服務形式

Get About主要結合專門服務車輛以及計程車的運輸服務。PVTA為主要負責經營管理的機構，基本運作方式為在地城市提出其希望提供給當地居民的運輸服務等級、規格等，再由PVTA提供一位主要負責人以及二位助理進行協助。以La Verne為例，復康巴士Get About服務主要由18輛專用於服務在地居民的車輛以及部分的計程車來提供及戶的運輸服務，對象為高齡者以及身心障礙者。



### 3. 服務區域

在地DRTS服務主要在四個城市提供：Claremont, La Verne, Pomona, and San Dimas，其中Claremont以及San Dimas為撥召公車；La Verne為復康巴士Get About的主要服務區域，其相關背景資料如表2.4所示。

表 2.4 La Verne DRTS 服務範圍基本資料

城市	人口數	土地面積(平方英哩)	每平方英哩人口數
Claremont	33,998	13.1	2,595
La Verne	31,638	8.3	3,812
Pomona	149,473	22.8	6,556
San Dimas	34,980	15.5	2,257

資料來源：Rodman (2006)

### 4. 服務細則

針對撥召公車以及復康巴士Get About的服務細節說明於表2.5所示。

表 2.5 La Verne DRTS 服務細則資料

	Get About	San Dimas Dial-a-Ride	Claremont Dial-a-Ride
預約機制	提前一天預約	提前一小時預約	提前一小時預約
服務對象	60歲以上高齡者以及身心障礙人士	一般大眾	一般大眾
服務時間	週一~五： 06:00~17:30 週六：08:30~17:00 週日：08:30~15:00	24小時	24小時
年服務旅次	106,562	8,855	22,769

資料來源：Rodman (2006)

### 5. 服務設計

Get About主要由私人民間機構所經營，主要由PVTA所擁有之18輛中型巴士委外由具備調度能力之Laidlaw Transit Services公司經營；另外PVTA將部分的服務委託給當地另一間經營計程車車隊的公司（Diversified Paratransit Services, DPI）來經營，並要求其至少每周需提供20輛計程車來提供服務。DPI亦為San Dimas及Claremont的撥召公車經營者。Get About在2004~2005年總共服務106,562旅次，其中有82%是由中型巴士來服務；18%是由計程車服務，整體關係如圖2.13所示。

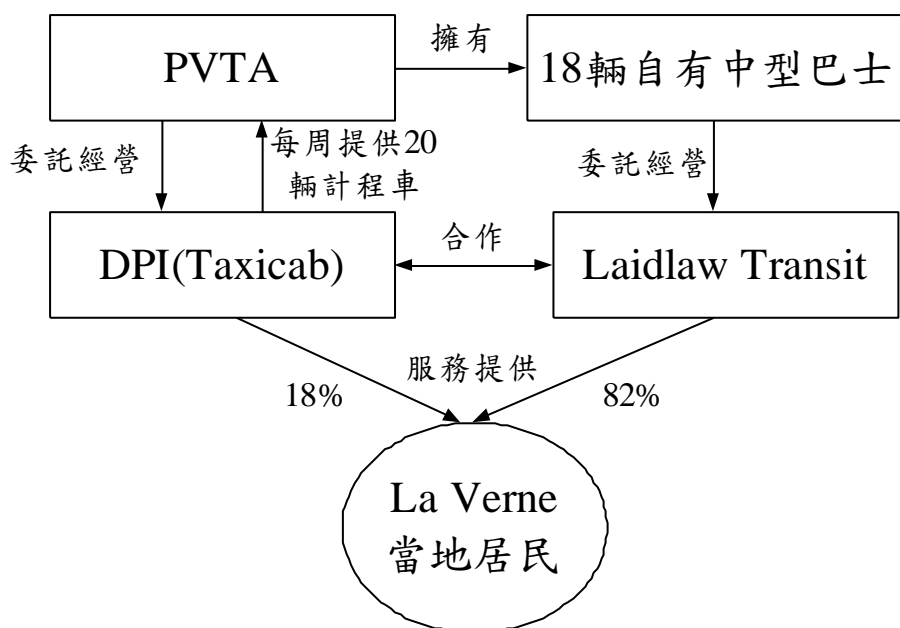


圖2.10 權責關係圖

資料來源：張學孔、王穆衡等人(2011)

### (1) 中型巴士運作說明

PVTA將18輛車輛委託給Laidlaw來經營，其司機員為部分全職、部分兼職性質，享有基本薪資以及相關勞健保保障。透過該機制的建立，在人員調度上能更有效率的應用。根據統計使用族群在尖峰主要集中在上午8點以及下午3點左右。

### (2) 計程車運作說明

計程車營運則透過DPI派遣中心進行調度，且每輛車上皆配有數位派遣系統（Digital Dispatch Systems, DDS）以及GPS定位，透過上述設備可與派遣中心即時相互聯繫，有效率的調派車輛。根據DPI經營部門的分析，若PVTA將自有的18輛



車亦委託給他們經營，相信其效率能夠更加提升。

## 6. 統計分析

將2005會計年度Get About的營運情況進行統計，包含基本營運項目以及成本分析，詳如表2.6所示。

表 2.6 服務統計表

	中型巴士	計程車	系統合計
服務旅次	86,919	19,643	106,562
服務里程	255,440	134,809	390,249
成本	\$ 1,099,911	\$ 344,976	\$ 1,444,887
每旅次平均里程	2.94	6.86	3.66
每小時平均旅次	3.92	--	--
每旅次成本	\$ 12.65	\$ 17.56	\$ 13.56
每小時成本	\$ 49.63	--	--
每英哩成本	\$ 4.31	\$ 2.56	\$ 3.70

資料來源：Rodman (2006)

根據上述的統計資料可發現中型車輛的每旅次成本為\$12.65；計程車每旅次成本為\$17.56，根據調查顯示，中型車輛的車公里成本遠高於計程車，因此在派遣任務時通常將距離較遠的乘客由計程車來接載。由此可發現PVTA經營相當良好，透過車輛混合使用使得總營運成本降低，根據估算若未採用計程車車隊加入營運，每年約會多出\$236,000的成本。

## 7. 系統特性

本案例對象為加州La Verne，該地區有幾項主要的DRTS服務，包含撥召公車以及復康巴士，於此主要針對復康巴士Get About來進行研究。其運輸服務經營主要透過當地公共運輸服務PVTA進行統籌，將自有的18輛中型車輛委外給Laidlaw Transit Services經營，另外為求服務品質的提升，另外招募了另一間計程車公司



Diversified Paratransit Services, DPI加入營運，一方面該公司亦為經營當地撥召公車的業者因此也希望能夠降低其反彈的阻力。透過相關的服務品質要求與稽核，該運輸服務的績效良好。

## 二、愛爾蘭

### 1. 計畫背景

位於愛爾蘭的Bealach城市，因區域面積幅員廣大，居民旅運需求較為分散，導致區域內運輸業者長久以來營運效率不彰。中央運輸部門將Bealach城市劃分為34個受補貼的偏遠地區，透過公共運輸計畫之補貼，於區域內實行DRTS服務，並藉由派遣中心整合協調民眾的旅運需求，提供彈性、預約派遣服務。

### 2. 區域特性

此示範計畫位於愛爾蘭境內的Bealach城市。區域內主要地形為丘陵與湖泊，鄰近大西洋，總面積約1,500平方公里，人口約12,120人，人口密度約為8人/平方公里，在此區域內共有20個郊區、1個市中心、4個離岸島嶼。

於Bealach城市內，主要經濟活動為農業與漁業，近幾年多元化發展之下，更有輕工業及旅遊等相關行業的興起，當地政府為滿足當地居民需求，陸續建設醫療、教育、金融以及公共休閒娛樂等基礎設施，進而也誘發出更多旅運需求。

### 3. DRTS營運模式

Bealach城市內約有1,042輛公共運輸營業用車輛，包含計程車、迷你巴士，在示範計畫推動期間依照區域內人口分佈與旅運需求，依據不同區域提供適當的運輸工具，每週提供約莫1~2次運輸服務，以下針對示範計畫中之營運規劃、路線、車輛、費率、預約過程與派遣中心等作相關介紹：

#### (1) 營運模式規劃

於2003年2月開始示範計畫，示範計畫於營運區域內，規劃提供高齡者、殘障人士、青少年以及無私人運具之民眾，可透過派遣中心商業運作模式，以預約派遣之方式，提供民眾彈性的運輸服務，此示範計畫之主要目的，是為了擴大民眾



使用公共運輸之範圍，並提供弱勢族群更為完善運輸服務，為確保此項服務能順利運行，規範當地使用者需於搭乘前預約服務。

## (2) 營運路線

根據人口社經特性分佈，人口密度較低處，因需求較為分散，為顧及運輸業者收支平衡，一週只提供一次運輸服務；人口密度較高處，需求較為集中，一週則提供兩次運輸服務；在營運路線安排上，運用迷你巴士於規範區域內巡迴載客，並規範運輸業者不得跨區營運；在路線設計上，為增加路線易達性，提供民眾及戶之運輸服務；在主要城市設有站牌匯集民眾需求提供運輸服務；另外，由於區域面積較大，故針對長途客運之乘客，於部分車站/站牌提供連結長途運輸之服務，並設有時刻表，以方便民眾查詢長途旅運資訊。

## (3) 不同區域內所提供之營運車輛：

除了在愛爾蘭Bealach城市實行示範計畫外，在其他較偏遠、低需求地區，為確保當地民眾也能享有此運輸服務，針對殘障人士提供迷你巴士，而一般民眾提供14人座巴士，作為接駁運輸之用。

## (4) 營運費率優惠

運輸部門制定一套簡單且彈性的費率，並秉持照顧弱勢之精神，針對65歲以上的高齡者與殘障人士發給免費通行證，且允許陪同搭乘之乘客，亦享有免費搭乘優惠措施。16歲以下之青少年則享有票價半票之優惠。

愛爾蘭郊區需求反應式運輸服務示範計畫中，參與者與其負擔職責說明如後：

### (一) 使用者

對於高齡者、殘障人士、青少年（12-19歲）與家管提供運輸服務（如表 2.7 所示），其說明如下：

表 2.7 DRTS 示範計畫提供使用者之運輸服務

需求反應式運輸服務	說明
提供多樣化運輸服務	● 高齡者與殘障人士雖為這個社會較弱勢一群，但藉由多樣化運輸服務之提供，例如：發行通

需求反應式運輸服務	說明
	<p>行證，免費使用需求反應式運輸服務。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 此運輸政策之推動，擴大其服務範圍，使這些社會較弱勢的一群不會被孤立。</li> </ul>
連結長途巴士服務	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 於巴士站牌提供轉乘資訊，且可連結區域內的鐵、公路運輸服務。</li> </ul>
營運車輛之設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 給予殘障人士無障礙設施服務，如上、下車升降設備。</li> </ul>
改善並提供公共運輸資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 藉由派遣中心整合偏遠地區較為分散需求，並提供更為完善旅運資訊，以確保使用者能獲得穩定之運輸服務。</li> </ul>

資料來源：European Union (2002)

## (二) 營運者

區域內有3條主要幹線，共19台迷你巴士負責營運，並以契約之方式提供給學校與衛生單位運輸服務，於示範計畫後，營運者若有意願續營，須提出路線申請，對於有意續營該路線之運輸業者，以契約之方式保障路線營運之權益，且其營業用車輛須為殘障人士提供無障礙設施便利上下車。

## (三) 公共機關團體

在愛爾蘭示範計畫中，其相關主管機關主要功能與所扮演的角色彙整如表2.5所示，其主要功能與角色定位說明如下

表 2.8 公共機關團體在 DRTS 示範計畫之角色定位

機關團體	主要功能	示範計畫所扮演之角色
運輸部門	負責所有鐵、公路與航空運輸。	對於郊區運輸服務提供財政上支持
戈爾韋郡發展單位	在戈爾韋郡，制定一個綜合發展計畫，並整合區域內示範計畫之執行績效。	在財政預算限制下，提供規劃並發展管理運輸服務。
西區	負責在戈爾韋郡、梅奧郡和羅斯康	在財政預算限制下，提供規劃並



機關團體	主要功能	示範計畫所扮演之角色
衛生單位	芒郡提供運輸與醫療保健之活動。	發展管理運輸與醫療保健之服務。

資料來源：European Union（2002）

#### (5) 預約過程

乘客可在10:00-13:00亦或是欲使用運輸服務之前1天，以打電話、mail或傳真等方式向派遣中心提出預約服務。

#### (6) 派遣中心

派遣中心位於於Bealach的Cashel衛生醫療中心，並聘用人員為當地民眾提供服務，其派遣中心營業時段為09:00-17:00，而提供需求反應式運輸服務預約時段為10:00-13:00，此派遣中心藉由一套整合性系統，透過相關軟體技術，以傳真或電子郵件等方式，針對區域內乘客之所在位置於電子地圖上作標示連結，致使運輸業者清楚知道民眾之所在位置，其派遣中心並扮演民眾與運輸業者溝通之橋梁。

### 4. 營運成果

一整年約服務2,232旅次，其旅次型態大多為從事購物（佔總旅次60%）與醫療需求等服務（佔總旅次24%），其營運成果獲得當地民眾相當好評。此服務關鍵成功因素為在人口數少、低密度地區，透過派遣中心整合需求後，提供及戶運輸服務，民眾無需到大城市即可在住家附近站牌搭乘公共運輸工具，並藉由運輸業者營業區域之規範，以確保於區域內業者服務之獨立性，並藉此發掘潛在乘客。

## 三、香港復康巴士營運模式規劃

### 1. 發展背景

香港復康會之復康巴士服務自年開始，為傷殘人士提供按戶接送之交通服務。凡不能使用公共交通工具或使用時有困難之傷殘人士，均可選乘復康巴士，所需費用由衛生福利局資助。

### 2. 服務對象

香港復康巴士服務對象包括乘坐輪椅者、使柺杖或腳架者、多項傷殘者、失

明者、年長者以及陪同者，凡不能使用公共交通工具之殘疾人士均享有優先乘坐權。



### 3. 服務類型

#### (1) 固定路線服務

專為殘疾人士提供四條固定路線的交通服務，採用月票收費方式，目的是幫助不能使用公共或其他交通工具之傷殘人士，使他們能藉此服務往返工作地點與學校。為了避免影響其他乘客，乘客須按照約定的時間和地點等候車輛，如等候超過半小時，需自行改乘其他交通工具。

#### (2) 電召服務

電召服務為殘疾人士提供更有彈性的交通接送服務，乘客只要預約用車地點和時間，復康巴士便會接送乘客往返指定的地點。

#### (3) 穿梭巴士服務（巡迴巴士服務）

此項服務專為傷殘人士、長者、行動不便人士及其陪同者而設，其服務方式與一般專線小巴一樣，以循環路線形式行駛，乘客可於復康穿梭巴士途經之任何地點上下車，採按次計費方式，上車時只需將車資投入錢箱即可。

#### (4) 聯載服務

聯載服務係專為行動不便之人士而設，但使用者每星期須有固定的用車時間及上下車地點，而且能配合現有的路線和時間。

### 4. 電召服務規則

(1) 專為傷殘及行動不便人士所設。

(2) 以電話預約形式提供交通接送服務。

(3) 若目的地的位置屬於香港運輸署所訂的禁區，復康巴士只會停靠在最近目的地的地點。

(4) 乘客須於七個工作天前致電預約，預約不成功者可於用車前一個工作天查詢是否有臨時空為遞補。



- (5) 乘客須於用車前一個工作天以電話索取車牌號碼與司機姓名，以便於緊急情況下與車長聯絡。
- (6) 搭乘費用如表2.9所示。

表 2.9 香港復康巴士電召服務搭乘費用

幣別:港幣

	1~3 位乘客收費	4~12 位乘客收費	13~30 位乘客收費
收費標準	每小時 24 元 每公里 1.2 元	每小時 38 元 每公里 1.9 元	每小時 58 元 每公里 2.9 元
平日	收費按時數(最少以 1 小時計算)和里程數計算,另加上每次服務費 5 元,某些案例會再加上停車費或隧道費。		
假日	收費按時數(最少以 4 小時計算)和里程數計算,另加上每次服務費 5 元,某些案例會再加上停車費或隧道費。		
非香港居民	半日服務為 4 小時 600 元;全日服務為小時 1,000 元,其後每小時 150 元(不足 1 小時算作 1 小時)。某些案例會再加上停車費或隧道費。		

資料來源：香港復康會巴士服務網站

#### 四、台北小復康巴士營運

為了使身心障礙朋友能夠順利就醫以及就學，台北市目前提供240輛復康巴士接載民眾，其最大特色為可以進行及門運輸方式。台北市復康巴士共有大型復康巴士以及小型復康巴士兩種，由於大型復康巴士之性質類似遊覽車，係由身心障礙朋友事先預約，再由司機至指定地點載送乘客至目的地，因此不再本研究之範圍內。故本段僅針對小型復康巴士來加以說明。

##### 1. 發展歷史

小型復康巴士於1989年11月1日由台北市政府社會局以自用牌照領照並委託伊甸社會福利基金會經營，囿於營運虧損，所以該基金會無法負擔，1990年7月1日由台北市政府社會局委推台北市公共汽車管理處代為經營管理，收支差額由社會局補助。1995年7月1日配合「身心障礙者保護法」公佈實施，社會局將該業務移交予交通局，相關補助亦由交通局編列但仍委託公車處經營管理，車輛改領營業牌照。由於公車處實施人員精簡政策且營運調度不如民間團體機動彈性，經評



估後改將業務委託民間經營，1999年9月後由台北市公共汽車管理處經公開招標委託40輛小型復康巴士予伊甸基金會經營，之後隨著民眾需求增加，乃陸續公開招標給民間經營，達到現在的規模。

## 2. 管理辦法

過去復康巴士之主管機關為台北市公車處，現公車處已經民營化，目前小型復康巴士由台北市政府交通局負責管理監督，適用之法規為「台北市身心障礙者小型冷氣車乘客服務須知」。

### (1) 座位容量

現行台北市小型復康巴士可同時容納2個輪椅座位加上3個陪同人員座位，或1個輪椅座位加5個陪同人員座位，座位可視情況調整，但車上至少必須乘坐一位身心障礙朋友。

### (2) 預約服務

台北市小型復康巴士載送乘客方式為司機至乘客指定地點，載送乘客抵達目的地，屬於及門運輸服務，一般多是由身心障礙朋友於就醫、就學、上班時使用，其預約時間為特A等級障別自五天前起、A等級障別自四天前起、B等級障別自三天前起，如圖2.11所示。預約方式以專線電話、傳真或網路訂車方式進行預約，若是預約不到理想預定時段之身心障礙朋友，可於當日臨時叫車方式嘗試搭乘。

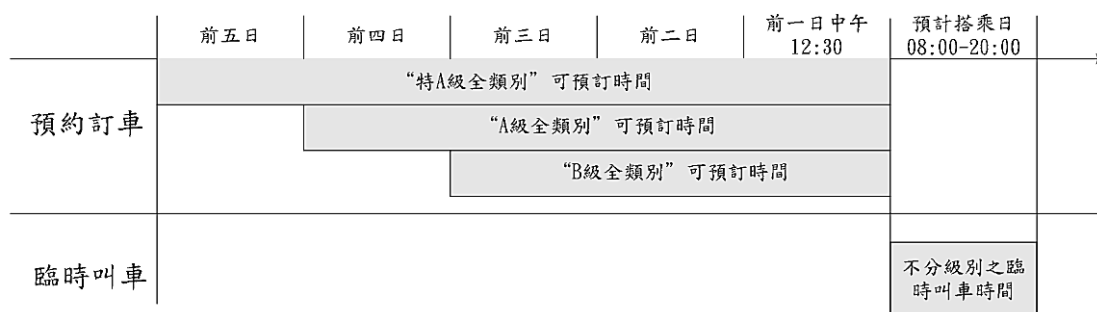


圖2.11 台北市小型復康巴士預約訂車與臨時叫車時間

資料來源：辛孟鑫(2005)

### (3) 費率計算

台北市小型復康巴士之費率較台北市計程車費率的三分之一計算，小數點以下無條件進位，若是以共乘方式搭乘，則位於共乘雙方而言，該共乘趟次全程皆屬共乘優惠里程，以66%優惠計之。



## 2.2 研究方法

### 2.2.1 區位問題

區位理論不論在作業研究、經濟學、數學以及地理學等各個領域均有許多學者研究，應用範圍相當廣泛，如工廠、倉庫、大賣場、急救中心、消防站、物流中心的選址等，其數學模式包括決定一個或是多個設施設址來滿足某些目標區位理論。最早是由Weber於1909年所提出。從此理論提出之後，區位理論也隨著學者的重視而發展出許多不同情況下解決的方法。

根據林世昌（2007）物流中心區位選址之研究指出在物流的過程中運輸所花費的成本是占決定大部分的，因此要降低物流的運輸成本，對於物流中心區位之選擇適當與否非常重要。若位置選擇洽當，不僅可以大幅降低運輸成本更可以提高生產效率，對於減少生產成本有非常大的影響。

根據Owen and Daskin（1989）關於區位問題之文獻中提到，區位問題可分為以下三大類：（1）靜態確定性區問題（2）動態區位問題（3）機率性區位問題。

洪子盛（2003）將靜態確定性區問題詳細定義為假設當需求點需要被所屬設施服務時，設施則依定可滿足其需求，其並不考慮設施無法滿足需求的不確定情況。陳穎萱（2007）將屬於靜態確定性區位模式整理為較常見的為集合涵蓋問題（Set Covering Model）、中心問題、中位問題（P-Median Problem）、設施固定成本區位問題等四種，之後學者所發展出的模式大多也是由這四種基本模式所延伸出來。

#### 一、集合涵蓋問題:

集合涵蓋問題是設施問題中最簡單的一類，主要是以服務範圍的觀點來求解緊急設施區位問題，此模式假設設施點及需求點皆有數目上的限制，且設施點必須



要在特定的距離或時間中服務每個需求，在期望所有服務範圍內的設施都被服務的狀況下找出最小的設施數量。

集合涵蓋問題嘗試用最少的設置設施成本，讓全部需求點的需求至少被涵蓋一次，但在實際應用上，常產生設置的設施點數過多的現象，且沒有考慮到不同需求點上的需求可能是相異的。

## 二、中心問題

中心問題在需求同樣會被完全服務到的條件下，可以修正集合涵蓋問題的某些缺點，在此以在節點上設置 $P$ 個設施的模式(Vertex P-center Formulation)為此類區位問題的基本代表。集合涵蓋問題和中心問題主要以需求  $i$  點和設施  $j$  點之間的服务範圍或距離為考量，但有時候距離和成本可能存在線性或是非線性的關係。

## 三、中位問題

中位問題中所探討的成本和設施，與需求點的運輸距離通常為線性關係，假設在已知設施點的個數及各個需求點均被一個設施服務下，找出最適合的設施配置使設施點與需求點的加權距離最小化。而此問題在實務上應用廣泛，Berlin et al. (1976) 曾將設施和需求點的距離改用時間來轉換，並將救護車由場站出發到需求點及需求點到醫院的時間因素考量到模式中，以求出最好的救護站配置方式。

## 四、設施固定成本區位問題

這類區位問題中，以無容量限制性設施區位問題(Uncapacitated Fixed Charge Facility Location Problems)最為基本，此模式考量設施固定成本和運輸成本，目標為追求兩者的總成本最小。

由以上文獻發現其實區位問題根據不同的目的所求解方式會跟著改變，上述之內容為四大類型區位問題中最基本的，由這些基本模式發展出複雜度較高的區位模式不計其數。簡單的解釋為設置一個或多個設施，以服務分佈於空間中的需求點。而根據陳惠國等(2001)依照不同目標函數與限制式、問題特性分類如表2.10及表2.11。

表 2.10 區位問題-依目標式與限制條件之分類



類 型	目標函數		限制式		問題類型
	固定成本	運輸成本	設施 容量 限制	設施 數量 限制	
I	-	Minisum	否	是	中位問題
II	-	Minimax	否	是	中心問題
III	-	Minimin	否	是	厭惡性設施區位問題
IV	Minisum	-	否	否	集合涵蓋問題
			否	是	最大涵蓋問題
V	Minisum	Minisum	是	否	容量限制性設施區位問題
			否	否	無容量限制性設施區位問題
			否	是	數量限制無、容量限制設施區位問題
VI	Minisum	Minimax	否	是	考量固定成本之中心問題
VII	Minisum	Minimin	否	是	考量固定成本之厭惡性設施區位問題

資料來源：陳惠國（2001）

表 2.11 區位問題-依問題特性分類

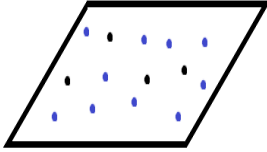
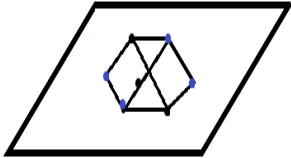
問題特性	網路區位問題之分類
輸入值是否隨時間改變	靜態/動態區位問題
需求是否確定	確定性/機率性區位問題
商品種類多寡	單元/多元商品區位問題
目標多寡	單目標/多目標區位問題
有無容量限制	容量限制性/無容量限制性區位問題
有無層級性	單層/多層區位問題
需求是否具有彈性	彈性需求/無彈性需求之區位問題

問題特性	網路區位問題之分類
設施屬性	非厭惡性設施/厭惡性設施區位問題


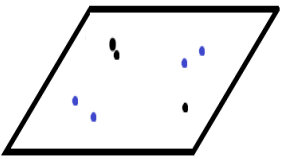
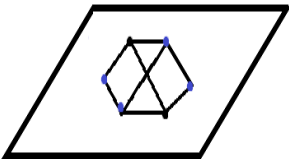
資料來源: 陳惠國 (2001)

除此之外，設施之區位問題，依照其後選區位及被服務之需求點數量是否被限制，可分為連續性區位問題(Continuous Location Problem)與離散性區位問題(Discrete Location Problem)。而如果按照候選區位及需求點是否位於網路上，又可分為平面區位問題(Planar Location Problem)與網路區位問題(Network Location Problem)。因此，依連續性/離散性以及平面/網路等兩大分類，可將區位問題分為如表2.12所示之四類問題。

表 2.12 區位問題之分類

依後選區位是否有數量限制	依候選區位及需求點位於網路或平面上	特性	圖形示意
連續性 區位問題	連續性平面 區位問題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 候選設施區位與需求點可位於平面上的任何位置</li> <li>2. 設施(需求點)與需求點之間距離為歐氏距離或任意距離</li> </ol>	
	連續性網路 區位問題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 候選設施區位與需求點僅位於網路的節點或節線上</li> <li>2. 設施(需求點)與需求點之間距離為網路之最短距離</li> </ol>	



依後選區 位是否有 數量限制	依候選區位 及需求點位 於網路或平 面上	特性	
		離	
離散性 區位問題	離散性平面 區位問題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 候選設施區位與需求點僅位於平面上有限特定点上</li> <li>2. 設施(需求點)與需求點之間距離為歐氏距離或任意距離</li> </ol>	
	離散性網路 區位問題	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需求點與候選區位僅限制於網路的節點上</li> <li>2. 設施(需求點)與需求點之間距離為路徑之最短距離</li> </ol>	

(●:表示選設施區位 ●:表需求點)

資料來源: 陳惠國 (2001)

### 2.2.2運輸系統規劃設計

根據周義華(1995)年所提出的公車路線最佳車種組合與車隊規模研究中,在限定的公車服務水準下,由已知的旅客起訖站資料,以系統總成本最小為目標函數,求解在一週中各時段之最佳公車車種組合、車輛數及其班次數。並且在進一步綜合考慮全週中各日、各時段之運量變化。並表示在國內外對於車輛容量求解模式主要應用分析性數學法及模擬法,其所建立的目標函數依照假設之不同大致可分為:業者營運成本最小化、使用者成本最小化、系統總成本最小化,或社會

福利最大化四種不同之目標函數，在此目標函數下來求解決策變數之最佳值。

根據張學孔（1980）年所進行最小社會成本與最大社會福利兩個公共運輸系統最佳化目標研究中，影響營運者成本的因子包含行車班距、服務範圍、公車單位營運成本以及公車往返時間。

黃書強、王穆衡等人（2006）在撥召公車營運管理之計畫中分析探討臺北市復康巴士之最適車隊規模，表示車隊規模是指業者能在尖峰時間提供正常服務所需要車輛數。車隊規模越大，所提供的服務運量也越大。影響車隊規模之主要因素包含旅次需求、服務水準以及政府政策。而研究中也指出身心障礙者的旅次需求特性與一般民眾有所不同。

黃漢瑄（2006）在撥召服務最佳化指派作業之研究中說明由於車輛派遣次數越多所造成之派車成本越多，為了有效減少操作成本，撥召服務必須引入車輛共乘之特性於一條路線中服務多名乘客，於乘客之起迄點路線間穿插其他乘客之起迄點以減少實際之派車次數。經過共乘路線排程之撥召服務雖然能有效減少所派出之車次，然而車輛在行駛時所產生之成本將會隨著路線距離與時間長度增加，所有車輛亦具有最大行駛長度限制，故撥召服務在路線規劃時亦必須考慮最小化繞徑距離或時間長度，亦或是必須遵守車輛於此方面之相關限制。

根據康書嫻（2005）之需求反應運輸營運模式之模擬分析研究中，以當時臺北市公車營運環境為成本分析之依據，進行業者成本分析，業者成本包含營運成本、車輛成本與行駛成本，研究指出車輛成本與行駛成本與總行駛距離有關，影響業者成本最大的為車輛成本。車輛成本計算方式為單位車輛成本乘以每條路線所需之車輛數所得。行駛成本一般以單一路線上藉由班次行駛成本乘以每日發車班次來計算，包含燃料、附屬油料、輪胎、修車材料等。計算方式為單位行駛成本乘上模擬各行駛路線之車輛行駛總距離，再乘以各路線所需要的車輛數得之。

根據張學孔（1991）之比較一般傳統公車與彈性路線公車成本的最佳化模式中，模式皆能夠決定最佳彈性路線公車之容量以及服務範圍大小，在彈性路線公

車模式方面，車隊規模計算將服務範圍與車輛容量一併考慮進來，結果顯示出車輛容量在一般傳統公車與彈性路線公車的模式中皆為重要之影響因素。

根據Daganzo (1978) 之多點對多點需求反應式運輸服務研究中，提供了模式能計算出乘客之平均等待與行駛時間，提到彈性路線營運模式服務於A面積之正方形或圓形區域，假設A面積正方形或圓形區域中需求呈現均勻分布，則乘客與任一其他乘客之間距離計算如下：

$$d_n \approx 0.5 \sqrt{\frac{A}{n}}$$

而Diana et al. (2006) 之需求反應運輸研究中，由於需求反應式運輸服務每位需求路線長短的不確定性之下所以沒辦法定義出班距，因此傳統運輸系統之模式無法使用。而此研究在給定最大彎繞距離以及滿足乘客在起訖點等待的時間下解決最佳車輛數的問題，乘客必須有特定的起迄點以及期望的接送時間，由於起訖點為從同一個機率分配產生，因此每個乘客之平均旅次長度可以估算出來為L。則在正方形面積A以及車輛有m個起點及迄點的情況下，每個乘客之平均旅次長度計算方式如下：

$$L \cong \frac{0.75 \times \sqrt{A}}{\sqrt{2m+1}}$$

Nourbakhsh and Ouyang (2012) 在低需求地區建構出較彈性的運輸系統，公車與計程車營運服務於一個網格網絡邊長為D之具有網格網絡正方形區域，乘客在網格中每小時每單位面積發生 $\alpha$ 人次。而在假設計程車行駛速率為v、乘客沒有等待時間與停等時間的理論下，計程車在區域內提供乘客直接從起點到達目的地。每位乘客之期望行駛距離長度為 $E=2D/3$ ，車隊規模如下：

$$\text{車隊規模} = \frac{2\alpha D^3}{3v}$$

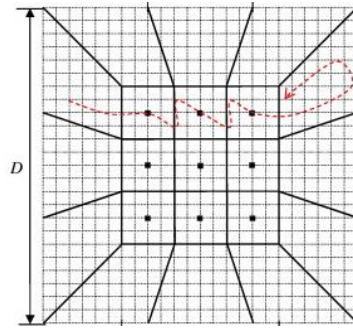


圖2.12邊長為D之具有網格網絡正方形區域

資料來源: Nourbakhsh and Ouyang (2012)

Newell (1986) 研究多車輛在圓形路網中的車輛途程之設計，在區域內散佈大量隨機需求點供車輛去接載，且車輛有容量限制只能經過C點，在上述之假設下合理預估出車輛的行駛距離。文獻中提到的在最小化行駛成本的過程，最重要的步驟為需要將區域依據車輛劃分為多個小子區，且此區域經常為矩形。文獻中假設有一長為L寬為2w且需求密度為 $\delta$ (人/單位面積)之矩形，如果車輛滿載的情況下，在此矩形中點與點之間的行駛距離數則能以下列公式預估：

$$\text{矩形中乘載人數} = C = 2wL\delta$$

$$\text{各點水平平均距離} = \frac{L}{C} = \frac{1}{2w\delta}$$

$$\text{各點垂直平均距離} = \frac{w}{3}$$

$$\text{各點之間平均間隔距離} = \frac{w}{3} + \frac{1}{2w\delta}$$

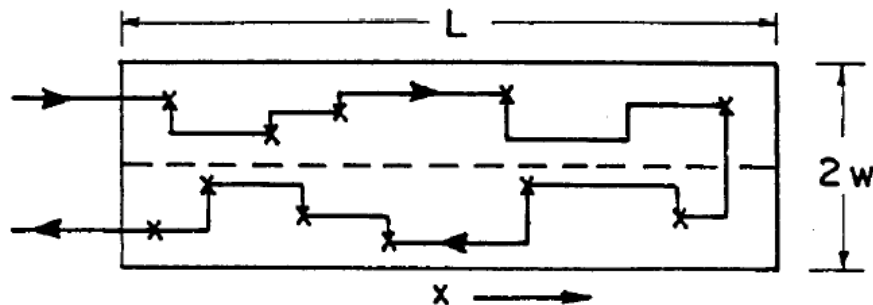


圖2.13矩形內車輛行駛示意圖

資料來源: Newell and Daganzo (1986)

根據Daganzo (1984) 藉由分析性數學模式所提出在車輛容量C的情形下，要



滿足N需求的每車輛行駛距離之計算公式。主要針對不同形狀之範圍以及場站給予簡單的公式來預測運輸距離，如果在正方形的面積下，每一點之間的運輸距離計算如下：

$$\frac{L}{N} \cong 1.8 \times \rho \times \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{\sqrt{N}} \right)$$

其中ρ代表場站到正方形面積裡面任一點之平均距離

文獻中有一個簡單的案例，有同樣都為10×10且具有32個隨機分佈需求之正方形，唯一差別為車輛可以乘載四人與八人，則結果從下圖可以清楚的看出分區數以及距離的不同。計算結果車輛容量為4人之每點平均距離為2.9，容量為8人之每點平均距離為2.1，結果顯示每點平均距離除了與面積以及需求密度有關之外，還會和車輛乘載量成反比關係。

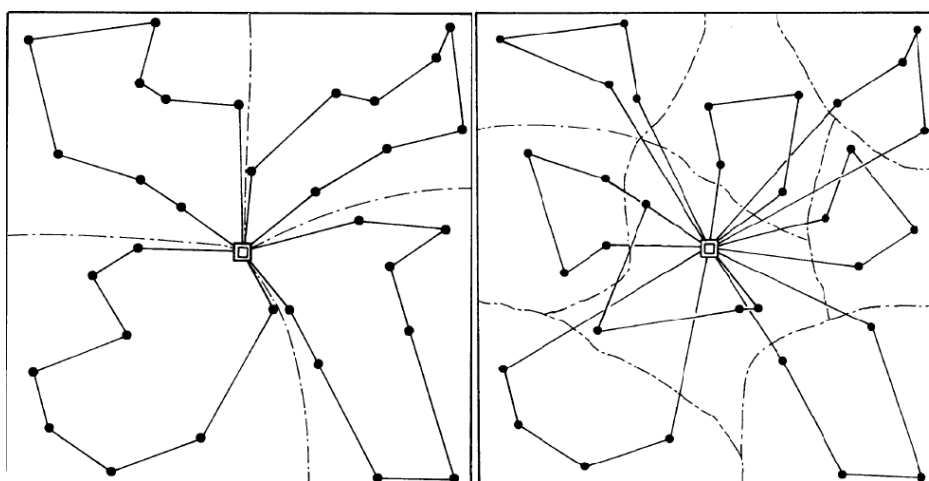


圖2.14不同車輛容量路線比較示意圖

資料來源: Daganzo (1984)

根據Xiugang Li, Luca Quadrioglio (2009) 之接駁運輸服務研究中，彈性運輸營運模式服務於一長L寬W之長方型區域，其中每一輛車一趟能乘載n位乘客，車輛行駛方式為固定東西向與南北向並假設不能折返運行，乘載乘客時的停等時間為s，區域中需求呈現均勻分布，則每輛車水平方向平均行駛距離如下：

$$\text{車輛平均水平方向行走距離} = L \frac{n}{n+1}$$



區域範圍中假設 $y$ 為每位乘客隨機之垂直方向距離，則計算如下：

$$\text{車輛平均垂直方向行走距離} = \frac{W}{6}$$

假設 $y'$ 為車站（位於 $\frac{W}{2}$ ）與第一位乘客或者最後一位乘客之垂直方向， $y''$ 表示區域上半部範圍內最後一位乘客與下半部範圍內第一個乘客之垂直距離，則計算如下：

$$E(y') = \frac{W}{4}$$

$$E(y'') = \frac{W}{2}$$

則每輛車平均行駛距離與平均旅行時間計算如下：

$$\text{平均行駛距離} = 2L \frac{n}{n+1} + 2 \frac{W}{4} + \frac{W}{2} + (n-2) \frac{W}{6}$$

$$\text{平均旅行時間} = \frac{D}{v_b} + (n+1)s$$

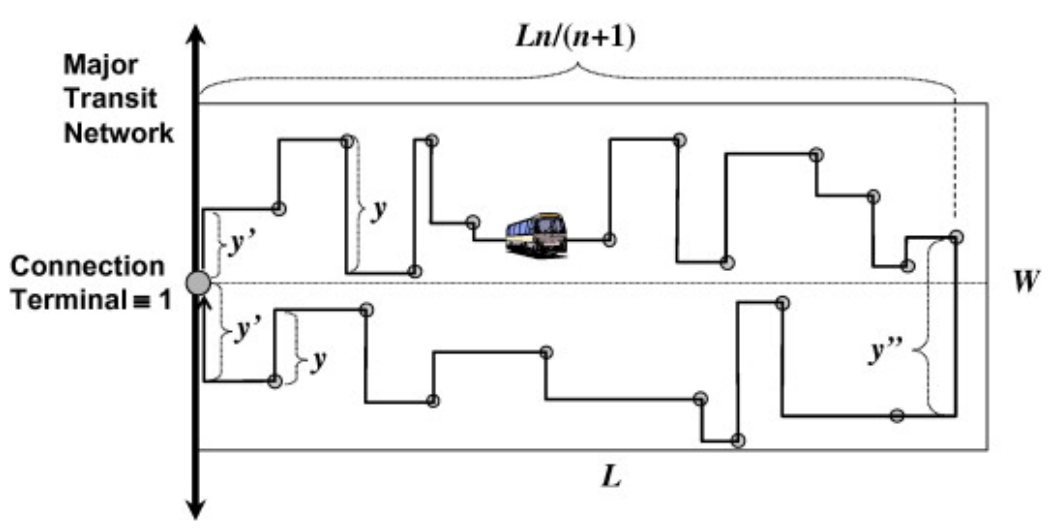


圖2.15車輛行駛距離

資料來源: Li and Quadrioglio (2009)

### 2.2.3 數學規劃法

數學規劃法（Mathematical Programming）為藉由數量分析，研究資源配置，以期達到最佳經濟效益的方法。在問題的形式上可以分為目標式與限制式兩部分。



李昀晏（2010）認為數學規劃是一個應用廣泛的優選方式，求目標函數極值問題的方法。模式由三個部分組成：決策變數、目標函數及限制式。在國內外皆有許多人使用數學規劃法來進行最佳化求解，說明如下：

Aikens（1985）回顧了許多區位理論重要的文獻，藉由數學規劃法來建立最佳倉庫位置之模式，並從中比較各個文獻的目標式、限制式及其求解之方式，同時分析整合模式中各種問題、目標式和決策變數間之關係。


Eiichi Taniguchi et al.（1999）分析在日本物流環境下，建立更有效率的物流系統能夠幫助紓解交通擁擠、環境、能源和勞動力的成本。藉由數學規劃法來確定最佳的公共物流中心規模與位置，由於此模式將路網中的交通狀況考慮進去，為一個非線性的求解方式，需權衡運輸及設站成本兩者之下來求解出最佳場站位置與規模。

陳穎萱（2007）分析金門酒廠從公營事業轉變為公司化體制後，由於稅賦較之前加重，以至於降低成本成為重要目標。引用區位理論中的設施固定成本模式，將運輸成本與設施成本納入模式當中，求解各種需求型態的最適位置，並提出更多不同考量下的結果供決策者參考。

馮正民（2005）提出城際複合物流運輸鐵路轉運中心最適區位模式，在兼顧鐵路轉運中心容量與顧客需求滿足之限制前提下，藉以選定鐵路轉運中心之最適設置區位以及物品運送路徑，利用多目標數學規劃方法構建模式，求解出鐵路轉運中心之最佳設置位址，進而探討財務效益。

林楨家（2012）透過數學規劃方法建立一個多目標混合整數規劃問題型態，考量不同關係者對規劃結果之需求，故設計外部環境適宜性最大化、配置規模最大化以及開發成本最小化三個目標，而考量實質環境所能提供規劃高齡者住宅社區所需之資源所設置四種限制條件。對於高齡者住宅社區之區位規劃，實現未來邁入高齡化社會發展趨勢下對既有都市空間需求型態的調整與安排。

張亦寬（2004）提出對於高鐵定價問題來建立一套以旅客需求為導向之票價



設計公式。然由於營運者欲追求營運收益最大，而旅客欲追求旅行成本最小，雙方之目標不同但決策又彼此互相影響，乃採用雙層次數學規畫之概念來建構。旅客需求模式即為下層問題，營運者之里程定價模式為上層問題，以確保滿足最佳票價下之旅客需求量也滿足下層問題之限制式，藉由此整合相關因素所整理出來的模式能提供未來對於高鐵制定票價的問題有彈性且效率的協助。

李治綱（2002）藉由雙層次數學規畫建構鐵路列車服務設計模式，針對台灣高速鐵路個案範例進行研究，以模式之功能與特性來反應營運者與旅客之不同觀點與關係。其中旅客選擇之列車需求模式為列車服務設計模式之下層問題，營運者之列車服務選擇為上層問題。下層次問題中之旅行成本受到上層問題中列車服務變數之影響。上層次中營運績效也受到下層次中服務選擇之影響，從此模式中根據旅客對於其服務方式之可能反應，進一步可以探討最佳之服務組合設計。

張學孔（1994）在捷運路線之接駁公車網路設計中，探討多到一運輸需求之捷運接駁公車網路設計問題，由於接駁系統比一般車輛繞行問題複雜，除了要決定公車路線之外，仍需決定公車之服務頻率，因此此研究中延伸以往相關之模式，提出兩階段雙層規劃模式，上層模式為服務頻率恆等式，根據路徑總成本最小化之平方根解得來，下層為路網總成本最小化。由上層模式決定服務頻率再將之傳給下層，決定網路結構後又將之傳回上層，反覆求解直到答案收斂為止，才得以求解出接駁公車之路線與服務班次，未來可以協助公車與捷運做整合的營運規劃和設計工作。

## 2.3 文獻綜合評析

由前兩小節之文獻回顧，可了解復康巴士之基本定義、市場範圍及其營運特性，而本研究採用復康巴士屬於特定目的式需求反應式運輸服務，因其主要服務對象為身心障礙者或行動不便者，一般公共運輸服務系統之設計無法滿足他們的需要，而且服務對象旅次目的可能大多為就醫，乘客起訖點特性就相對較明確，不適合使用傳統定班、定線公共運輸之處，故符合本研究主旨。





而根據各文獻對於撥召運輸系統及復康巴士之相關定義與說明，本研究將復康巴士之營運要素整理如下：


1. 服務對象：行動不便者、身心障礙者、高齡者
2. 起訖點特性：多點對少點
3. 車輛容量：原則上區分為大復康巴士與小復康巴士。
4. 預約方式：即時訂車以及預約訂車。
5. 共乘：考慮時間順序性及時窗限制下，大於一人之運輸服務。

參考以上特性，本研究於營運型態上採用多點對少點之特定起訖點型態，運輸站點設置於家戶一定範圍內，比傳統公共運輸更加及戶之服務方式，因為復康巴士運輸服務故屬於少點對多點（Few-to-Many）及多點對少點（Many-to-Few），分別為運輸之去、回程。另外從各國案例分析中，車輛選擇方面多半使用小型車輛來提供接載行動不便者，況且大復康巴士其營運型態較類似於遊覽車性質，因此本研究乃採用小型復康巴士。

在區位選擇問題方面，依照各個文獻整理，靜態確定性區問題為假設當需求點需要被所屬設施服務時，其設施皆可滿足所有運輸需求。復康巴士九成以上皆為預約訂車，在預約訂車成功之後，復康巴士皆需服務所有乘客，所以歸屬於靜態確定性區問題，其並不考慮設施無法滿足需求的不確定情況，由於為預約制度所以也不考慮使用者之等待成本。本研究要決定場站位置乃屬於長期規劃之部分，所以一般短期決定車輛途程所會遇到的時窗及接載順序性問題則不在本研究之探討範圍內。

區位選擇問題依照目標式與限制式分類其中一類為屬於數量限制無、容量限制性設施區位問題，目標為最小化固定成本，並在已知設施點的個數及各個需求點均被一個設施服務下，找出最適合的設施配置使設施點與需求點的加權距離最小化，以求得最小的運輸成本，故符合本研究目標。

為了有效減少運輸成本，故本研究之復康巴士服務必須引入車輛共乘之特性



於路線中以減少實際之派車次數。雖然能有效減少所派出之車次，然而車輛在行駛時所產生之旅行者車上時間成本將會隨著共乘率越高而逐漸增加，故撥召服務在路線規劃時亦必須考慮最小化旅行者車內時間，本研究將比較僅考慮營運成本以及將使用者成本一併考慮進去的結果。

從運輸系統營運設計之相關文獻則得知，營業者成本包含營運成本、車輛成本與行駛成本，研究指出車輛成本和行駛成本與總行駛距離有關，然而復康巴士不屬於固定班次與路線之運輸服務，總車輛行駛距離需要模擬各行駛路線之車輛行駛總距離，再乘以各路線所需要的車輛數得之。

國內外對於求解模式應用數學規劃法之文獻中，其所建立的目標函數大致為同時考量兩種以上之成本最小化之目標函數，在此目標函數下來求解決策變數之最佳值，以權衡不同成本層面考量之衝突。本研究模式中，如從營運場角度單純出發時，場站設站成本以及營運成本兩者為互相衝突之利害關係，所以將利用本研究所建構之模式表現出權衡，於不同之需求密度分佈情形下求解最佳之場站位置。除此之外，由於共乘人數為一個將會同時影響使用者成本以及營運者成本之變數，所以如要得知共乘人數對使用者車內時間成本、設站成本與營運成本之影響，本研究也打算針對每趟次之車輛乘載人數做分析。經由模式比較後，看出其結果之變化，能得出未來共乘是否為重要之成本關鍵因素。

### 第三章 模式構建



本研究針對既定的區域範圍以及需求量的情況下，從營運者與使用者之角度出發，求解為復康巴士場站之位置及其服務範圍。模式中兼顧「設站成本」、「營運成本」及「使用者車內旅行時間成本」，並分別以「營運總成本」與「系統總成本」目標函數最小化，建構復康巴士之成本模式，求解最佳化之場站位置與服務範圍。

第一個「營運總成本」模式中包括「場站成本」及「營運成本」，而場站成本與營運成本會隨場站位置有彼此消長之關係，「場站成本」包含「場站固定成本」以及與車輛相關之「變動成本」，而各個場站所需要之車輛規模，也會依據場站區位不同，服務接駁需求之行駛距離不同而有所變化。

第二個「系統總成本」模式則為第一個營運成本再考量加入「使用者成本」進行分析。換言之，此「系統總成本」係由「場站成本」、「營運成本」及「使用者車內旅行時間成本」三者相加總而得，由於每一趟次之車輛乘載人數會對營運成本與使用者成本有互相權衡之關係，因而引入使用者車內旅行時間成本將會影響場站區位及車隊規模，有必要進行分析研究。

本章節首先說明模式中所使用的假設，再針對模式的參數與決策變數作完整定義，接著說明上述目標函數、限制式以及各項成本之內涵。

#### 3.1 模式基本假設

本研究在供需面之假設包括：

- 一、某一都市地區可依其需求密度及主要醫療中心服務範圍而區分M個服務區，例如圖3.1a，係以台北市行政區為基礎所形成的分區圖，而圖3.1b係由行政區服務範圍轉化成本研究建構模式的分區及路網形成，其路網假設間距為m公里。
- 二、復康巴士運行於矩形分區所組成之服務範圍內，且由復康巴士提供唯一之醫療接駁運輸服務。在服務範圍內，醫院位於分區之中心點，如圖3.1b中黑色星

點\*所示。復康巴士場站潛在設置區位位於服務範圍內之間距 $m$ 公里之節點上。

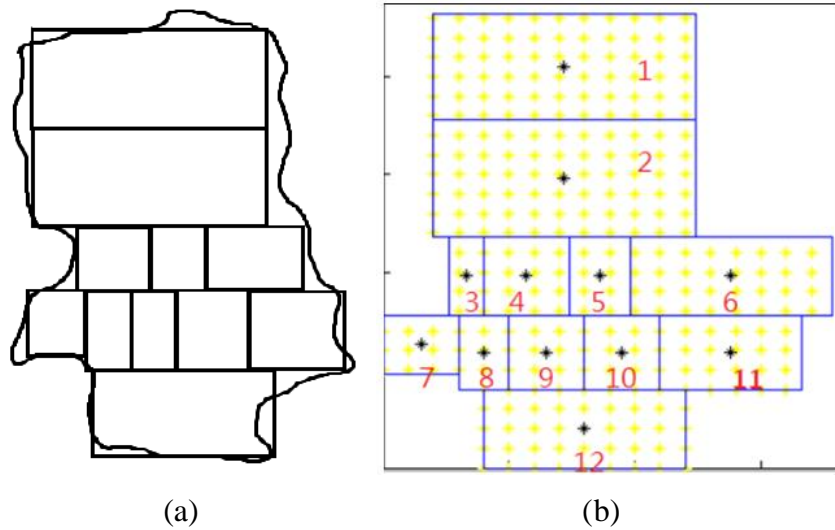


圖3.1 復康巴士醫療接駁運輸服務區示意圖

- 三、在需求型態上，假設各旅次之起迄點必為各該分區之醫院，因此屬於多點對少點、少點對多點之需求型態。因假設運輸需求為定值，其與運輸之服務品質以及價格具完全無彈性之關係。
- 四、各矩形分區範圍內之旅次需求係依各區身心障礙人口數為比例分析獲得，並假設其係均勻分配在各區內。
- 五、各分區服務範圍內提供之及門運輸型態依下列程序完成服務：
1. 復康巴士從場站位置出發，在其營運時間內前往各分區去接載乘客，例如圖3.2中分區2內若有場站存在，則復康巴士由場站出發後接獲A點之需求後送往醫院，其次由醫院出發送旅次返回B點，接著前往接載C點之旅次後返回醫院，再由醫院出發送旅次返回D點，接著前往接載E點之旅次後返回醫院，上述過程將會產生分區2之集散營運成本。如果該分區2並無場站，則復康巴士將增加一段由場站出發前往其他分區之幹線營運成本。
  2. 針對各區內之運輸需求，車輛提供完全彈性運輸服務至醫療場所，而分區內服務車輛於接載過程中，須彎繞至不同地方接載乘客到達該分區之醫院，當復康巴士將乘客服務至醫院後，則直接再以醫療場所為中心將乘客接駁回家



中，之後繼續接駁尚未被服務之旅次需求，最後則須回到場站以進行各項整備工作。

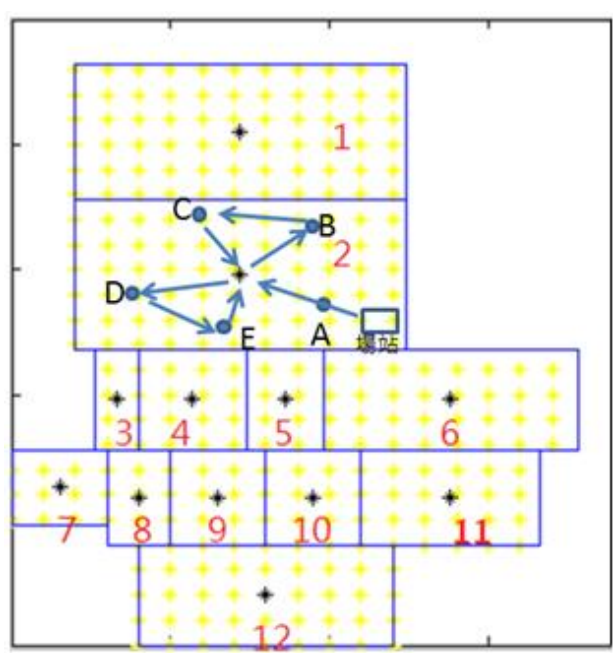


圖3.2 復康巴士服務形式示意圖

六、車輛從場站出發開始提供服務後再回到場站之總行駛時間，設定總行駛時間上限，以回到場站進行各項整備工作。整備次數 $W$ 計算例如圖3.3一天總營運時間為18小時，如車輛每隔3小時需要進行整備工作，則扣除從場站出發至分區之第一趟次以及從分區回到場站之最後趟次，一天需要進行5次整備工作。

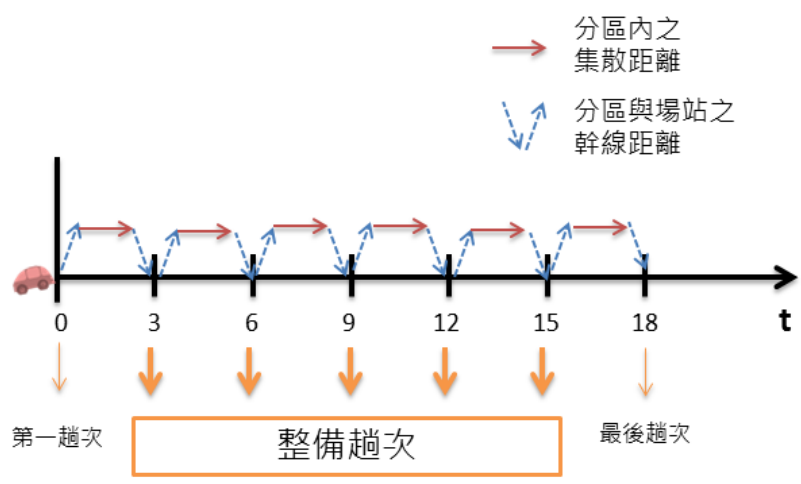


圖3.3 復康巴士整備次數示意圖



- 七、在服務範圍區內，無論需求者其所在處距離醫療場所之遠近，皆僅能使用復康巴士作為抵達醫療場所之運具，無其他競爭或互補之運輸系統提供其接駁之服務。
- 八、場站容量有一定限制，不得超過LM。
- 九、營運車輛均為同一車種，其每趟次車輛乘載人數S為定值。
- 十、車輛行駛速率分為兩類型，復康巴士由場站出發前往其他分區時，無需在行駛中因為接載乘客而停等，因此幹線營運之行駛速率會略高於在其他分區提供及門服務時之行駛速率V，需乘上一個速率調整比例z，調整為zV。
- 十一、車輛行駛至目的地所產生之停車時間 (layover time) 以及車輛於運行中所造成之外部成本 (external cost)，暫不予以考慮。
- 十二、區域內所有需求者採用預約訂車制，其表示於發車前需透過服務中心進行車輛預約服務後，中心即確定必須在合理時間內派遣復康巴士進行接送，並告知乘客車輛到達之時間。因此，在此模式中將不考慮乘客等待時間。
- 十三、場站固定成本與車輛變動相關成本與場站所在分區有關，此乃反應實際情況將場站設置離市中心越近則其成本越高之情況。

本研究依此供需假設，以下分別說明兩組目標函數下之模式：(1)僅以營運者考量之營運成本模式，(2)納入乘客車內時間成本之系統總成本模式。

### 3.2 符號說明

茲將模式的相關變數及其定義列示如下：

#### 一、上下標

i：分區的下標

j：場站的下標

#### 二、參數

$L_i$ ：分區i所有需求產生之距離 (km)。

$P_i$ ：分區i每一位需求所產生之平均距離 (km)。



$T_i$ ：分區 $i$ 每一位需求所產生之車內平均距離 (km)。

$\rho_i$ ：分區 $i$ 醫院至該區任一需求之平均距離 (km)。

$A_i$ ：分區 $i$ 區域面積 ( $\text{km}^2$ )。

$Q_i$ ：分區 $i$ 需求點數量 (person/hour)。

$\delta_i$ ：分區 $i$ 需求密度 (person/ $\text{km}^2$ /hour)。

$C$ ：車輛乘載人數 (person/vehicle)。

$N_{ij}$ ：分區 $i$ 對於場站 $j$ 所需車輛數 (vehicle)。

$D_{ij}$ ：分區 $i$ 到場站 $j$ 之平均距離 (km)。

$\beta_o$ ：車小時成本 ( $\$/\text{hour-km}$ )。

$\beta_v$ ：乘客車內旅行時間成本 ( $\$/\text{person-hour}$ )。

$VC_j$ ：場站 $j$ 之車輛相關變動成本 ( $\$/\text{vehicle-hour}$ )。

$FC_j$ ：場站 $j$ 固定成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$V$ ：車輛行駛速率 (km/hour)。

$Z$ ：幹線集散行駛速率比率。

$OT$ ：營運時間 (hour)。

$I$ ：整備時間間隔 (hour)。

$W$ ：整備次數。

$LM$ ：場站容量 (vehicle)。

$DN$ ：場站數量。

$TC$ ：系統總成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$OC$ ：營運總成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$C_v$ ：使用者車內時間成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$C_o$ ：營運成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$C_s$ ：場站成本 ( $\$/\text{hour}$ )。

$DC$ ：集散成本 ( $\$/\text{hour}$ )。



TL：幹線成本（\$/hour）。

VC：車輛相關變動成本（\$/hour）。

FC：固定成本（\$/hour）。

### 三、決策變數

$X_j$ ：場站 $j$ 是否設站

$Y_{ij}$ ：分區 $i$ 是否由場站 $j$ 所服務

## 3.3 復康巴士總營運成本模式建構

### 3.3.1 復康巴士總營運各項成本分析

復康巴士總營運成本包含「營運成本」及「場站成本」兩個項目，以下分別說明其內容。

#### 一、營運成本

營運成本包括車輛在服務過程中兩部分：(1)幹線成本：是由場站 $j$ 發車至分區 $i$ 的運送成本，(2)集散成本：在分區 $i$ 內車輛往返接送乘客至醫院之運送距離，如圖3.4由分區1的場站提供服務至第10分區則為第一部分幹線成本，而車輛在第10分區內以醫院為中心進行及門服務則產生第二部分集散成本。



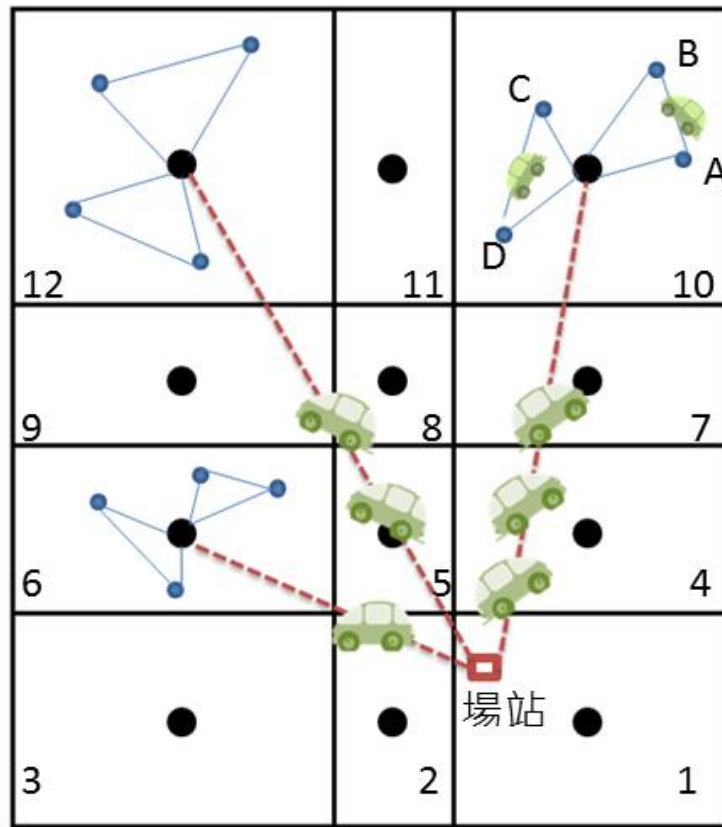


圖3.4 營運成本示意圖

第一部份幹線成本為為分區*i*對於場站*j*所需要之車輛數乘以2倍的分區*i*與場站*j*之平均距離，除以調整後之幹線行駛速率，求得車輛行駛時間，再乘以車小時成本得之。然而由於幹線成本發生頻率與整備時間間隔長短有關，所以必須加以考量。因此，模式中幹線營運成本數學關係式如(1)式所示：

$$TL = \beta_0 \times \sum_i \sum_j \left( \frac{2 \times N_{ij} \times D_{ij}}{zV \times l} \times Y_{ij} \right) \quad (1)$$

第二部分集散成本係引用根據Daganzo (1984) 所提出之公式來預估在一特定區域範圍內，假設總共有*Q*位需求必須經過範圍中心內之場站，且在車輛一趟次乘載2*C*位乘客的情形下，要滿足此*Q*需求行駛距離之計算公式。

此文獻特別針對不同矩形下發展出能夠應用之公式，Daganzo將服務範圍內針對每趟次車輛乘載人數2*C*，對於整個服務範圍劃分為小分區，則在一個面積為*A*的區域內，當服務密度為δ之下，劃分的小分區平均面積大約為 $\frac{2C}{\delta}$ 。在小分區內，*l'*與*l*表示分區之邊長，且*l' > l*，由於面積固定 (*l' × l*為定值)，所以*l'*與*l*的比例



改變對於小分區內的乘載距離與場站至該小分區之距離也會隨之變動。Daganzo定義了最佳分區邊長比 $\beta$ ，在本研究計算得最佳分區邊長比 $\beta$ 趨近於1。

在此文獻提及如果 $2C$ 為小於4之情況下，並經過調整後將以(2)式來計算每一點所產生之運輸距離：

$$P_i = \frac{L_i}{Q_i} \cong \frac{\left(\frac{2 \times \rho_i \times \sqrt{\delta_i}}{2C} - \frac{(2C-2)^+}{(2C+1) \times \sqrt{2C}}\right)^+ + \frac{2C-1}{2C} \times \phi(2C)}{\sqrt{\delta_i}} \quad (2)$$

(2)式中之參數定義請參考表3.1

表 3.1 參數參考表

參數	內容	單位
$L_i$	分區 i 所有需求產生之距離	km
$P_i$	分區 i 每一位需求所產生之距離	km
$Q_i$	分區 i 需求量= $A_i \times \delta_i$	person/hour
$\rho_i$	分區 i 中心點至任一其餘點之平均距離	km
$\delta_i$	分區 i 需求密度	person/ km <sup>2</sup> /hour
$2C$	每一趟次車輛乘載人數	person/vehicle/trip
$\phi(C)$	係數	無

因此，模式中集散營運成本數學關係式如(3)式所示：

$$DC = \beta_o \times \sum_i \sum_j (N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (3)$$

彙整前述之幹線與集散成本可得營運成本函數，如(4)式所示：

$$C_o = TL + DC = \beta_o \times \sum_i \sum_j \left(\frac{2 \times N_{ij} \times D_{ij}}{zV \times l} \times Y_{ij}\right) + \beta_o \times \sum_i \sum_j (N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (4)$$

另車輛數計算概念分為兩部分加總：(1)將分區i每小時需求所產生之集散距離 $L_i$ 除以車輛行駛速率 $V$ ，再除以每趟次車輛乘載人數 $S$ 與分區i每小時需求 $Q_i$ 之比率，(2)將分區i對於場站j之來回平均距離除以調整後之幹線行駛速率 $zV$ ，再除以每趟次車輛乘載人數 $S$ 與分區i每小時需求 $Q_i$ 之比率，並加以調整而乘上整備工作考量因子，因此，模式中車隊規模關係式如(5)式所示：



$$N_{ij} = \frac{L_i}{V \times \frac{S}{Q_i}} + \frac{2 \times D_{ij}}{zV \times \frac{S}{Q_i}} \times \frac{W}{OT} \quad (5)$$

## 二、場站成本

場站成本分為兩大項：(1)固定場站成本，(2)場站車輛規模相關之變動成本。

因此基於以下之定義可以進行模式構建。

1. 固定成本 (FC)：各分區場站成本 (FC<sub>j</sub>) 與場站設置決策變數 (X<sub>j</sub>) 有關的歸為固定成本
2. 車輛相關變動成本 (VC)：各分區場站變動成本 (VC<sub>j</sub>) 及服務範圍決策變數 (Y<sub>ij</sub>) 有關的歸為變動成本

場站固定成本為只要建設復康巴士場站便會發生的必然成本，此部分之成本與需求量和車輛數等皆無關係，譬如以辦公室電腦設備或者資訊系統而言，不管服務需求量多少，架設費用皆相同，且只要多增設一個復康巴士場站就要增聘的管理階級人事也在此範圍。在本研究中固定成本只會與該場站位於哪個分區相關，換言之是以地價需求來考量。因此，固定成本如式(6)所示：

$$FC = \sum_j (FC_j \times X_j) \quad (6)$$

車輛相關變動成本則直接與服務量相關，當場站所負責的分區範圍較多時，車隊規模也會因而增加，則車輛所需放置的租地成本花費亦增加，因此此部分變動成本如式(7)所示：

$$VC = \sum_i \sum_j (VC_j \times N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (7)$$

綜合上述，因此其設站成本數學關係式如(8)式所示：

$$C_s = FC + VC = \sum_j (FC_j \times X_j) + \sum_i \sum_j (VC_j \times N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (8)$$

### 3.3.2 營運總成本模式

綜合上述所分析之營運相關各項成本，將其整合即為營運總成本：

$$\begin{aligned} OC &= C_o + C_s \\ &= \beta_o \times \sum_i \sum_j \left( \frac{2 \times N_{ij} \times D_{ij}}{zV \times I} \times Y_{ij} \right) + \beta_o \times \sum_i \sum_j (N_{ij} \times Y_{ij}) \end{aligned}$$



$$+ \sum_j (FC_j \times X_j) + \sum_i \sum_j (VC_j \times N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (9)$$

而其目標函數即為一二元整數規劃模式，其係在營運成本最小化目標下求解

場站 $X_j$ 及其服務分區 $Y_{ij}$ ：

$$\text{Min } OC = C_o + C_s \quad (10)$$

s.t.

$$1 \leq \sum_j X_j \quad (11)$$

$$\sum_j X_j \leq DN \quad (12)$$

$$\sum_i N_{ij} \times Y_{ij} \leq LM, \forall j \in J \quad (13)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (14)$$

$$\sum_i Y_{ij} \leq M \times X_j, \forall j \in J \quad (15)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (16)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (17)$$

目標函數依序分別表示為營運成本、固定場站成本以及車輛相關變動成本。

限制式(11)表示至少要設置一場站。限制式(12)表示復康巴士場站設置有一定之數量限制。限制式(13)限定每一個復康巴士場站所能容納的車輛數有上限，無法無限擴建。限制式(14)確保每一服務分區皆被一復康巴士場站服務。限制式(15)則為決策變數 $X_j$ 與 $Y_{ij}$ 之關係，使得只要該復康巴士場站有服務的分區，則該場站必定要設站。限制式(16)、(17)分別代表兩個0或1的決策變數。

### 3.4 復康巴士系統總成本模式建構

#### 3.4.1 復康巴士系統總各項成本分析

本小節延續上一小節之模式建構，將營運成本加上使用者成本可得到系統總成本模式，也就是營運成本、場站成本及使用者車內旅行時間成本三者相加總而得。系統總成本模式主要針對每趟次車輛乘載人數 $2C$ 會導致營運總成本與使用者成本之間有互相權衡之關係。在已知不同的復康巴士場站和需求下，根據上小節之假設建構出成本模式，其中包含使用者成本、營運成本及場站成本三個成本項目，以下成本以每小時為單位計算，各自組成分述如下：



## 一、使用者車內時間成本

車內時間成本為乘客自起點到迄點之總行駛車內路線距離，除以復康巴士行駛的平均速度，求得乘客車內旅行時間，再乘以車上乘客的旅行時間價值得之。然而由於本研究中復康巴士乃為部分共乘之服務，每位需求產生之車內距離不同，以下乃用乘客平均車內距離的概念來做計算。

例如圖3.5所示，復康巴士從醫院為中心進行及門服務時，從醫院將兩位需求經由共乘分別接載至A點與A'點，接著將B點與B'點之兩位需求經由共乘接載至醫院。在此情況下車輛乘載人數 $C=2$ ，而由於此趟次包含兩段旅次，第一段為起點為醫院之旅次，第二段為迄點為醫院之旅次，所以每趟次車輛乘載人數 $S=2C=4$ 。此趟次運輸距離可以由上小節之(2)式分析獲得，但是此運輸距離被切分為 $2C+1=5$ 段，中間有一段車上並未乘載任何乘客，如圖3.5黑色虛線所示。此乃由於復康巴士在服務完起點為醫院之需求，要繼續服務欲前往醫院之需求。也由於共乘的緣故，此案例中的A與B點因為A'與B'點之共乘而加長了本來的運輸路徑，所以AB兩點皆歷經了兩段車內運輸距離，而A'與B'點則僅僅各只有一段車內距離，而有一段車內運輸距離則無乘載任何人，如圖3.6所示。因應上述之概念，將以(18)式來計算分區 $i$ 每一位需求所產生之平均車內距離：

$$T_i = P_i \times \frac{2C}{2C+1} \times \frac{1+C}{2} \quad (18)$$

車內時間成本數學關係式如(19)式所示：

$$C_v = \beta_v \times \sum_i \sum_j \left( \frac{Q_i \times T_i}{V} \times Y_{ij} \right) \quad (19)$$

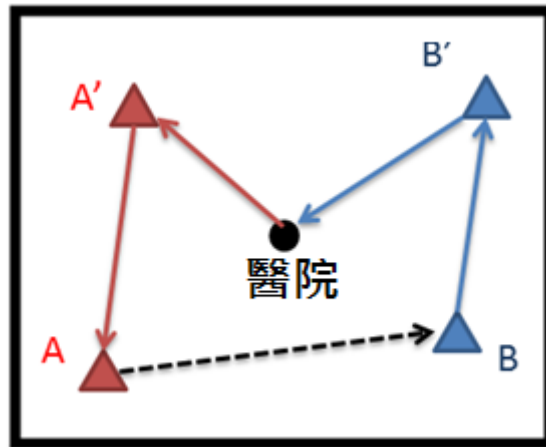


圖3.5 使用者車內時間成本示意圖

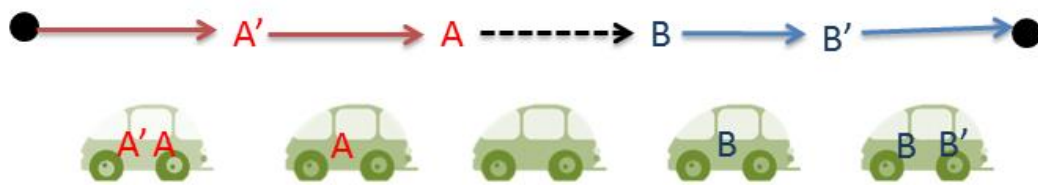


圖3.6 使用者車內時間成本計算

## 二、營運成本

此模式中之營運成本數學關係式與上小節之(4)式計算方式相同：

$$C_o = \beta_o \times \sum_i \sum_j \left( \frac{2 \times N_{ij} \times D_{ij}}{zV \times I} \times Y_{ij} \right) + \beta_o \times \sum_i \sum_j (N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (4)$$

## 三、設站成本

此模式中之設站成本數學關係式與上小節之(8)式計算方式相同：

$$C_s = \sum_j (FC_j \times X_j) + \sum_i \sum_j (VC_j \times N_{ij} \times Y_{ij}) \quad (8)$$

### 3.4.2 系統總成本模式

綜合上述所分析之各項成本，將其整合即為系統總成本：

$$\begin{aligned} TC &= C_v + C_o + C_s \\ &= \beta_v \times \sum_i \sum_j \left( \frac{Q_i \times T_i}{V} \times Y_{ij} \right) + \beta_o \times \sum_i \sum_j \left( \frac{2 \times N_{ij} \times D_{ij}}{zV \times I} \times Y_{ij} \right) \\ &\quad + \beta_o \times \sum_i \sum_j (N_{ij} \times Y_{ij}) + \sum_j (FC_j \times X_j) + \sum_i \sum_j (VC_j \times N_{ij} \times Y_{ij}) \end{aligned} \quad (20)$$



而其目標函數即為一二元整數規劃模式，其係在系統成本最小化目標下求解場站 $X_j$ 及其服務分區 $Y_{ij}$ ：

$$\text{Min } TC = C_v + C_o + C_s \quad (21)$$

s.t.

$$1 \leq \sum_j X_j \quad (11)$$

$$\sum_j X_j \leq DN \quad (12)$$

$$\sum_i N_{ij} \times Y_{ij} \leq LM, \forall j \in J \quad (13)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (14)$$

$$\sum_i Y_{ij} \leq M \times X_j, \forall j \in J \quad (15)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (16)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (17)$$

目標函數依序分別表示為使用者車內時間成本、營運成本、固定場站成本以及車輛相關變動成本。限制式 (11)、(12)、(13)、(14)、(15)、(16)、(17) 代表之意義皆與上一小節相同。

## 第四章 實例分析

根據前一章節所構建之營運總成本模式與系統總成本模式，進行參數之實例分析，參數設定包含服務區域分區數量、服務區域分區面積、服務區域分區需求人數、整備時間間隔、車輛行駛速率、幹線集散行駛速率比率、車輛乘載人數、場站容量、場站數量、場站固定成本、車輛相關變動成本、車小時成本、乘客車內旅行時間價值。其中依不同的參數型態，可分為不同之情境，詳細試算於下列各小節詳述：

### 4.1 台北市實際情況

以目前台北市復康巴士現況作為案例分析，將台北市目前行政區（圖4.1）簡化為皆為矩形之分區，以利於營運距離計算，再經由行政區之相對位置與實際面積大小作為分析之基準，如圖4.2所示：



圖4.1 臺北市行政區域圖

資料來源:行政院研究發展考核委員會網站



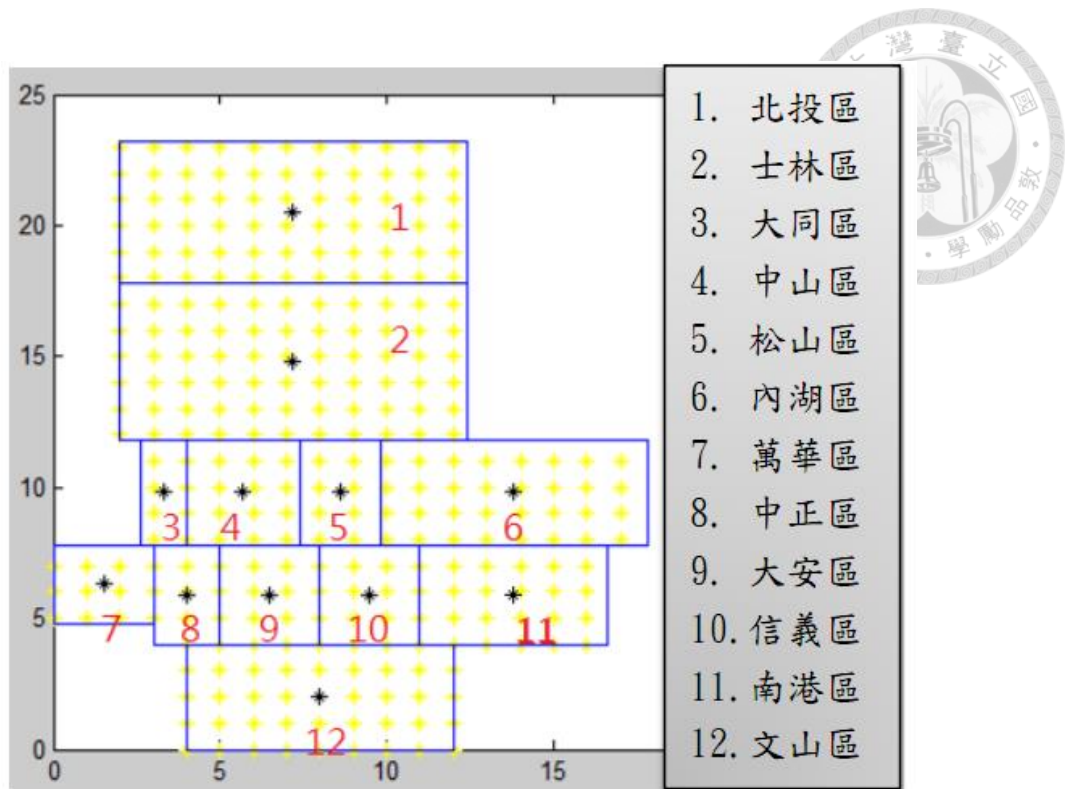


圖4.2 臺北市行政區域圖

由於本研究之分區面積、分區需求人數、場站固定成本與車輛相關變動成本皆與行政區域分區位置有關，在此將針對每一項參數做詳細說明。

一、根據內政部統計處，表4.1依序為台北市各分區之面積以及2012年統計之台北市身心障礙人數，因此本研究採用之。而藉由前兩項資料可計算得各區身心障礙需求密度，整理如表4.1第四欄所示。

表 4.1 臺北市身心障礙人數統計表

區域	面積(km <sup>2</sup> )	身心障礙人數	身心障礙密度(人/km <sup>2</sup> )
北投區	56.8	11,420	201.06
士林區	62.4	12,906	206.83
大同區	5.7	6,565	1151.75
中山區	13.7	9,472	691.39
松山區	9.3	8,037	864.19
內湖區	31.6	10,202	322.84

區域	面積(km <sup>2</sup> )	身心障礙人數	身心障礙密度(人/km <sup>2</sup> )
萬華區	8.9	11,760	1321.35
中正區	7.6	6,899	907.76
大安區	11.4	12,043	1056.4
信義區	11.2	10,166	907.68
南港區	21.8	5,815	266.74
文山區	31.5	12,375	392.86
臺北市	271.8	117,660	432.73

資料來源:內政部統計處網站

二、根據台北市公共運輸處2013年統計月報，復康巴士每日平均趟次為1659.78。

參考伊甸無障礙交通服務與e-go台灣租車復康巴士之營運時間，本研究復康邦是營運時間訂定為18小時。由上述之數據可計算每小時之平均復康巴士趟次為92趟次/小時。將每小時之平均復康巴士趟次與台北市身心障礙人數相除得到比率之後，可與各區身心障礙人數相乘得到各行政區之每小時平均趟次，並四捨五入後整理如表4.2。

表 4.2 臺北市復康巴士每小時平均趟次

區域	身心障礙人數	每小時平均趟次 (person/hous)	每小時需求密度 (person/km <sup>2</sup> )
北投區	11,420	9	0.16
士林區	12,906	10	0.16
大同區	6,565	5	0.88
中山區	9,472	7	0.51
松山區	8,037	6	0.65
內湖區	10,202	8	0.25
萬華區	11,760	9	1.01

區域	身心障礙人數	每小時平均趟次 (person/hous)	每小時需求密度 (person/km <sup>2</sup> )
中正區	6,899	5	0.66
大安區	12,043	10	0.88
信義區	10,166	8	0.71
南港區	5,815	5	0.23
文山區	12,375	10	0.32
臺北市	117,660	92	0.34

三、根據實際對業者訪談後，復康巴士場站設置主要功能為提供管理階層人事辦公處所、駕駛員休息之地方、一般事務資訊整理，歸類為只要建設復康巴士場站便會發生的成本，與需求量和車輛數等皆無關係。依據內政部不動產之資訊平台，各台北市行政分區實際租金行情每坪均價，再以每場站為50坪為基準計算整理如表4.4。其餘辦公室設備、資訊系統或管理階級人事薪資等部分也在此範圍內。部分成本項目必須考慮折舊，遂將各年成本值按適當之折現率折算為投資年之價值，經參考目前重大交通建設計畫，其所使用折現率多介於6%~8%之間，本研究將以6%作為分析基礎，預計設計評估年期為5年，計算如表4.3所呈現。將兩項相加總合為場站固定成本，計算如表4.4所呈現。

表 4.3 復康巴士其餘場站成本計算表

項目	單位成本	單位	數量	小計(年值)
預約系統設備軟體成本	320,000	元/套	1	75,968
電腦設備成本	22,000	元/臺	8	41,784
辦公設備	3000	元/套	6	4,273.2
電腦周邊耗材	2000	元/月	12	24,000
網路成本	1,937	元/月	12	23,244
管理人事成本	50000	元/月/3人	12	1,800,000

項目	單位成本	單位	數量	小計(年值)
電話費用	1000	元/月	12	12,000
年成本總金額				1,981,269
月成本總金額				165,106

表 4.4 臺北市場站固定成本表

區域	場站租金	其餘成本	場站固定成本 (月)	場站固定成本 (小時)
北投區	49317.5	165,106	214,424	297.8
士林區	51826.5	165,106	216,933	301.28
大同區	63185.5	165,106	228,292	317.06
中山區	78434.5	165,106	243,541	338.24
松山區	73097.5	165,106	238,204	330.82
內湖區	51488.5	165,106	216,595	300.81
萬華區	55043.5	165,106	220,150	305.75
中正區	69868.5	165,106	234,975	326.34
大安區	83017.5	165,106	248,124	344.6
信義區	76766	165,106	241,872	335.92
南港區	49790.5	165,106	214,897	298.45
文山區	43368	165,106	208,474	289.53

四、根據實際情況，復康巴士場站車輛配置在辦公室附近之停車場。車輛相關變動成本直接與服務量相關，當場站所負責的分區範圍較多時，表示車隊規模可能會增加，則車輛所需放置的租地成本花費亦多，因此此部分成本歸類為變動成本。依據內政部不動產之資訊平台，各台北市車位實際租金行情整理如表4.5。



表 4.5 臺北市車位租金行情表

區域	車位租金(月)	車位租金(小時)
北投區	2500	3.47
士林區	4000	5.56
大同區	4500	6.25
中山區	4000	5.56
松山區	4500	6.25
內湖區	3500	4.86
萬華區	3500	4.86
中正區	4000	5.56
大安區	6000	8.33
信義區	5000	6.94
南港區	3500	4.86
文山區	2500	3.47

資料來源：內政部不動產之資訊平台

除了上述參數為依照行政分區而不同之外，其餘在此情境下各細項參數設定如表4.6所示：

表 4.6 台北市實係情況參數表

參數	內容	數值	單位
$V$	車輛行駛速率	22	km/hour
$z$	幹線集散行駛速率比率	1.14	-
$\beta_v$	乘客車內旅行時間成本	100	\$/ person-hour
$\beta_o$	車小時成本	563.2	\$/ vehicle-hour
$I$	整備時間間隔	3	hour
$C$	車輛乘載人數	1.05	person/vehicle

參數	內容	數值	單位
LM	場站容量	50	vehicle

其中各項參數設定解說如下：

- 一、需求反應式公共運輸系統之整合研究報告書，復康巴士在進行服務時，無需像傳統公車一般每站皆停，因此車輛平均行駛速度會略高於傳統公車。且參考蔡欣芸（2012）之彎繞型需求反應式公共運輸服務之系統設計研究中對於九人座小型巴士之速度設定為22公里/小時，因此本研究設定復康巴士提供及門服務之平均行駛速率為22公里/小時。
- 二、由於復康巴士由場站出發前往其他分區時，無需在行駛中因為接載乘客而停等，因此幹線行駛速率會略高於在其他分區提供及門服務時之行駛速率，因此本研究設定幹線集散行駛速率比率為1.14，復康巴士之幹線平均行駛速率為25公里/小時。
- 三、根據張學孔、王穆衡等人（2011）之需求反應式公共運輸系統之整合研究報告書中，車內時間價值為每小時100元，故本研究採用100元/小時作為車內時間價值。
- 四、車公里營運成本包含以下十八項成本，燃料、附屬油料、輪胎、車輛折舊、司機人事費用、行車附支、修車材料、修車員工薪資、修車附支、業務員工薪資、業務費用、各項設備折舊、管理員工薪資、管理費用、稅捐費用、站場租金、通行費、財務費用。根據張學孔、王穆衡等人（2011）之需求反應式公共運輸系統之整合研究報告書，其設定20人座中型巴士每公里成本為32元，而根據張學孔、陳武正、賴以軒等人（2009）發展桃園縣需求反應運輸服務報告書，9人座中型巴士車公里成本為20人座之80%，因此本研究將9人座復康巴士車公里成本設定為每公里25.6元。車小時成本計算方式為車公里成本乘上行駛速率，求得車小時成本。



五、本研究之整備時間間隔定義為復康巴士從場站出發之後，經過整備時間間隔後，必須再回到場站，以進行各項整備工作。根據與業者訪談的經驗，本研究採用3小時作為整備時間間隔。

六、由於本研究設定台北市小復康巴士車輛為9人座小型巴士，但由於目前現況為只有5%之共乘率，因此乘載人數設定為1.05人/輛。

七、根據與業者訪談的經驗，停車空間本研究設定停車位所佔據之面積為10坪/車，而固定場站面積則以50坪為計算單位。

經由以上參數設定之下，代入模式中可從式(10)得最佳化營運總成本為23520.1元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為24347.2元/小時，場站位置與服務範圍如圖4.3所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為37輛，各場站所服務之需求人數、車輛數以及各項成本整理為表4.7。經由系統總成本為目標式之下計算而得之結果，各項成本比例整理由圖4.4所呈現。

從以上結果顯示，台北市復康巴士場站設置位置總共有5個，由北而南依序為北投區、士林區、內湖區、萬華區及文山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求。如圖4.3所示。

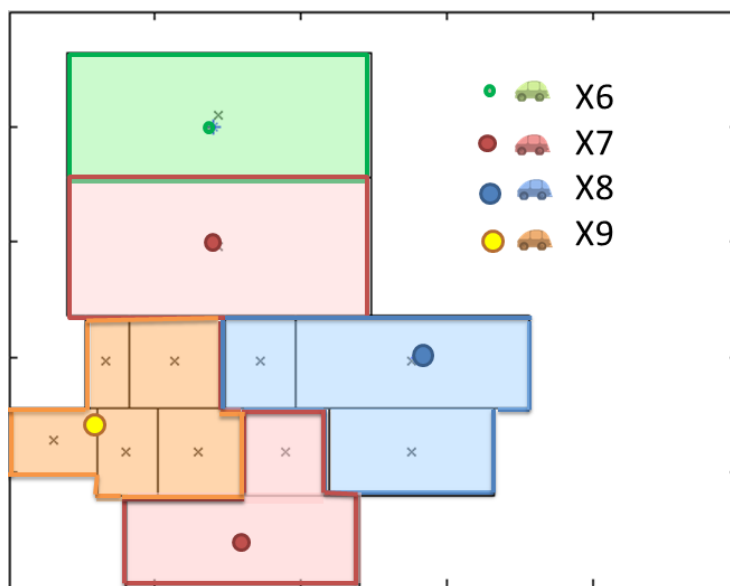


圖4.3 復康巴士場站位置及面積

表 4.7 系統總成本分析表

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(7,20)	北投	3434.3	318.6	131	3883.9	6	9
(7,15)	士林	3976.2	340.2	147.2	4463.6	7	10
(13,9)	內湖	4844.8	339.7	178.9	5363.4	8	19
(3,7)	萬華	5518	349.5	209.9	6077.4	9	36
(8,2)	文山	4085	313.8	160.1	4558.9	7	18
總數		21858.3	1661.8	827.1	24347.2	37	92

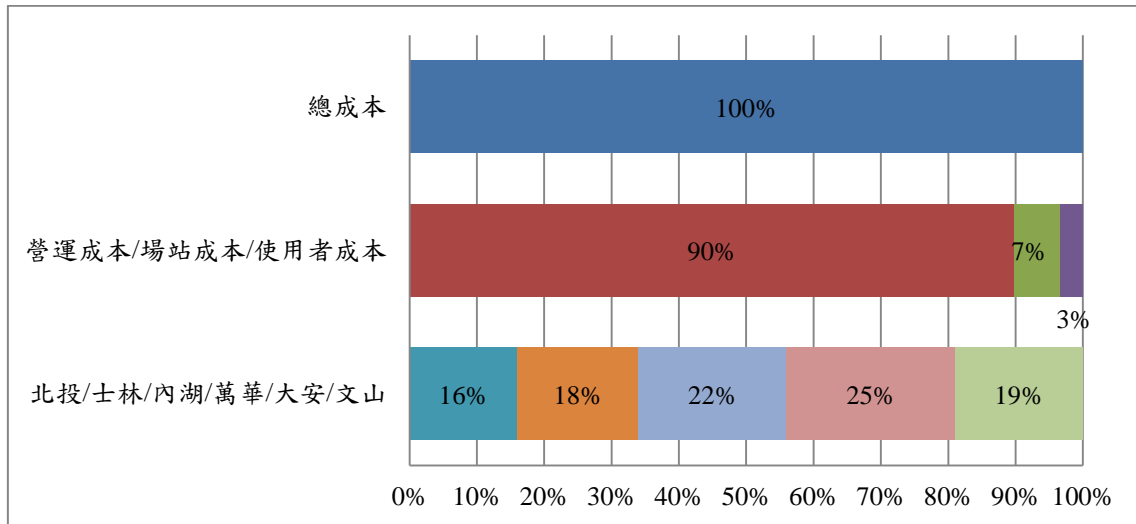


圖4.4 各項成本比例比較圖

## 4.2 服務範圍分區需求密度變化之分析

由於場站設置位置受到服務範圍內內需求人數之影響，因此本研究認為需求人數之集中區域之程度會影響到場站設置分佈之情形，因此本研究利用數值分析當台北市總服務區域範圍內需求人數不變，各行政分區需求人數變化下，場站設置位置之情形。

將台北市總復康巴士每小時需求人數固定，改變行政區域之間之需求密度時，其因各區之間需求散佈情形會隨之更動，則根據其成本結構，可得最佳化場站佈設情形。因此本小節將台北市行政區域分為三種密度等級，分類等級以台北市密



度 $0.34$  (人/ $\text{km}^2$ ) 為標準，低於此標準為低密度區，分別為北投區、士林區、內湖區、南港區以及文山區共五區，如圖4.5淺紅色虛線區域所示。其餘行政區則依照其七個行政區需求密度平均值 $0.76$  (人/ $\text{km}^2$ ) 為基準，再區分為高密度區與中密度區，高密度區為大同區、萬華區與大安區共三區，如圖4.5深紅色實線區域所示。中密度區為中山區、松山區、中正區與大安區共四區，分析如圖4.5所示。

依照每小時復康巴士需求92人之標準，分別以台北市需求集中、需求分散之密度比率將需求分佈在各行政區域。需求集中為將本來之高密度區密度增加50%，中密度區密度維持不變，低密度區密度減少50%，使得需求集中情形更為明顯；反之需求分散則為將本來之高密度區密度減少50%，中密度區密度維持不變，低密度區密度增加50%，使得需求均勻分散在整個台北市地區，趨向於均勻分配的情況。由以上密度變化後之計算人數如表4.8所示。

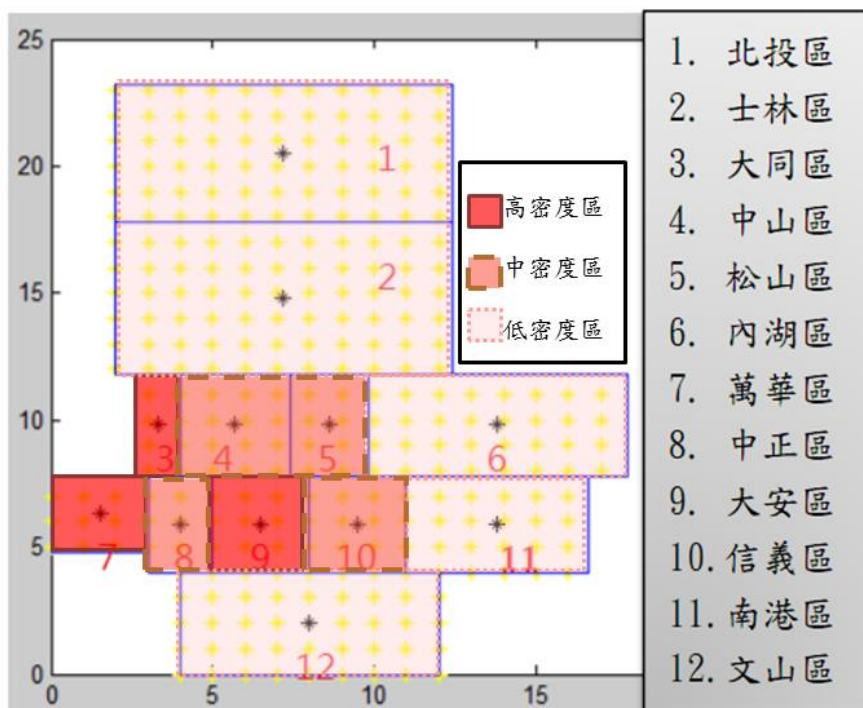
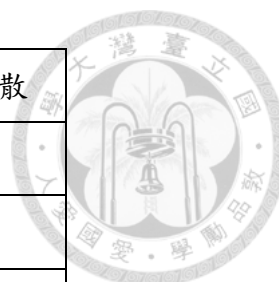


圖4.5臺北市行政區域密度改變圖

表 4.8 臺北市復康巴士需求密度變化表

密度分區	區域	需求集中	需求分散
高密度區	大同區	8	2



密度分區	區域	需求集中	需求分散
	萬華區	15	4
	大安區	17	5
中密度區	中山區	8	6
	松山區	7	5
	中正區	5	5
	信義區	9	7
低密度區	北投區	5	12
	士林區	5	14
	內湖區	4	11
	南港區	3	7
	文山區	6	14
-	臺北市	92	92

此小節亦採用與4.1節相同之參數值為基礎，如表4.9所示：

表 4.9 支線需求固定實例試算參數表

參數	內容	數值	單位
$V$	車輛行駛速率	22	km/hour
$z$	幹線集散行駛速率比率	1.14	-
$\beta_v$	乘客車內旅行時間成本	100	\$/ person-hour
$\beta_o$	車小時成本	563.2	\$/ vehicle-hour
$I$	整備時間間隔	3	hour
$C$	車輛乘載人數	1.05	person/vehicle
$LM$	場站容量	50	vehicle

其中各項參數設定解說請參考4.1節。



### 一、需求集中

在維持總需求人數為92人情況下，進行行政區域需求密度之變動，需求集中表示高密度區、中密度區與低地度區之需求分別為原需求密度之1.5、1、0.5倍，詳細需求如表4.8所計算整理而得，以此為基準來觀察場站之變化值。

將以上各項參數設定值代入式(10)可得最佳化營運總成本為20792.9元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為21510.7元/小時，場站位置與服務範圍如圖4.6所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為32輛，各場站所服務之需求人數、車輛數以及各項成本整理為表4.10。經由系統總成本為目標式之下計算而得之結果，各項成本比例整理由圖4.7所呈現。

從以上結果顯示，在需求密度為高度集中的情況下，台北市復康巴士場站設置位置總共有5個，由北而南依序為士林區、內湖區、萬華區、信義區及文山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求。如圖4.6所示。

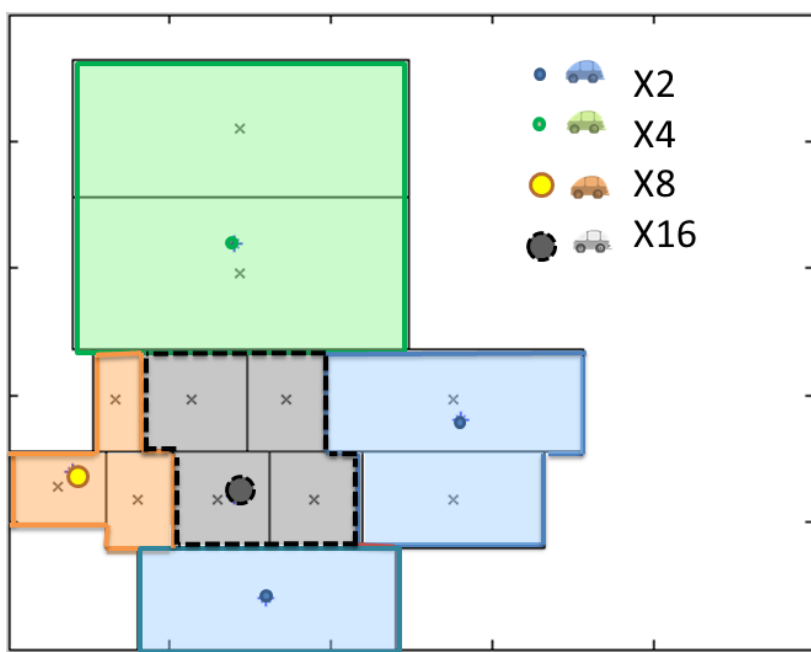


圖4.6 需求集中下復康巴士場站位置及面積

表 4.10 需求集中下系統總成本分析表

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(7,16)	士林	2448.1	323.5	168.2	2939.8	4	10
(14,9)	內湖	1193.5	310.5	86.5	1590.5	2	7
(2,7)	萬華	4716.6	344.6	143.1	5204.3	8	28
(7,6)	信義	9555.3	477.9	248.1	10281.3	16	41
(8,2)	文山	1126.4	296.5	71.9	1494.8	2	6
總數		19039.9	1753	717.8	21510.7	32	92

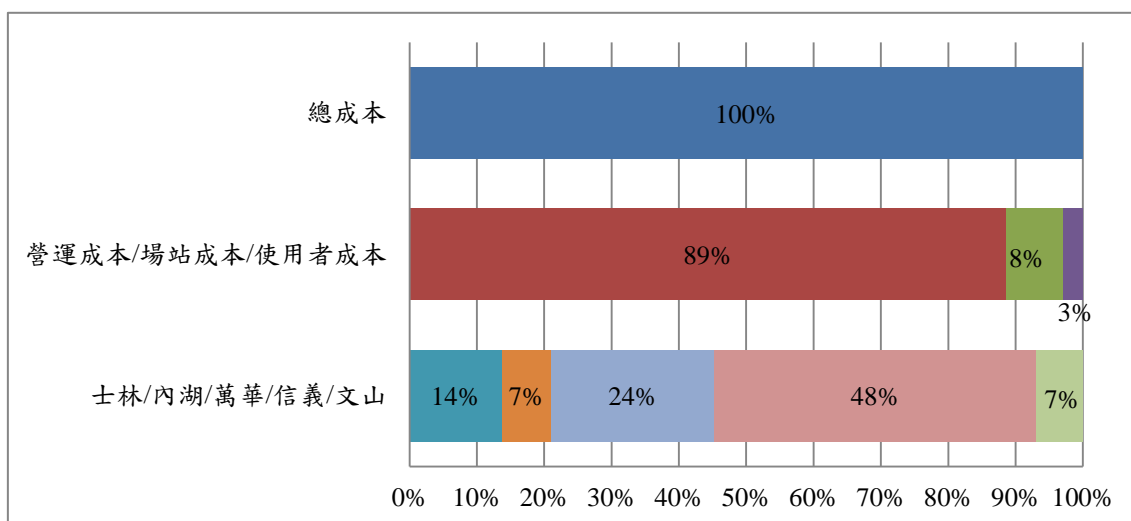


圖4.7 需求集中下各項成本比例比較圖

## 二、需求分散

在維持總需求人數為92人情況下，進行行政區域需求密度之變動，需求分散表示高密度區、中密度區與低地度區之需求分別為原需求密度之0.5、1、1.5倍，詳細需求如表4.8所計算整理而得，以此為基準來觀察場站之變化值。

將以上各項參數設定值代入式(10)可得最佳化營運總成本為31332.5元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為32244.3元/小時，場站位置與服務範圍如圖4.8所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為51輛，各場站所服務之需求人

數、車輛數以及各項成本整理為表4.11。經由系統總成本為目標式之下計算而得之結果，各項成本比例整理由圖4.9所呈現。

從以上結果顯示，在需求密度為分散的情況下，台北市復康巴士場站設置位置總共有5個，由北而南依序為北投區、士林區、中山區、內湖區及文山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求。如圖4.8所示。

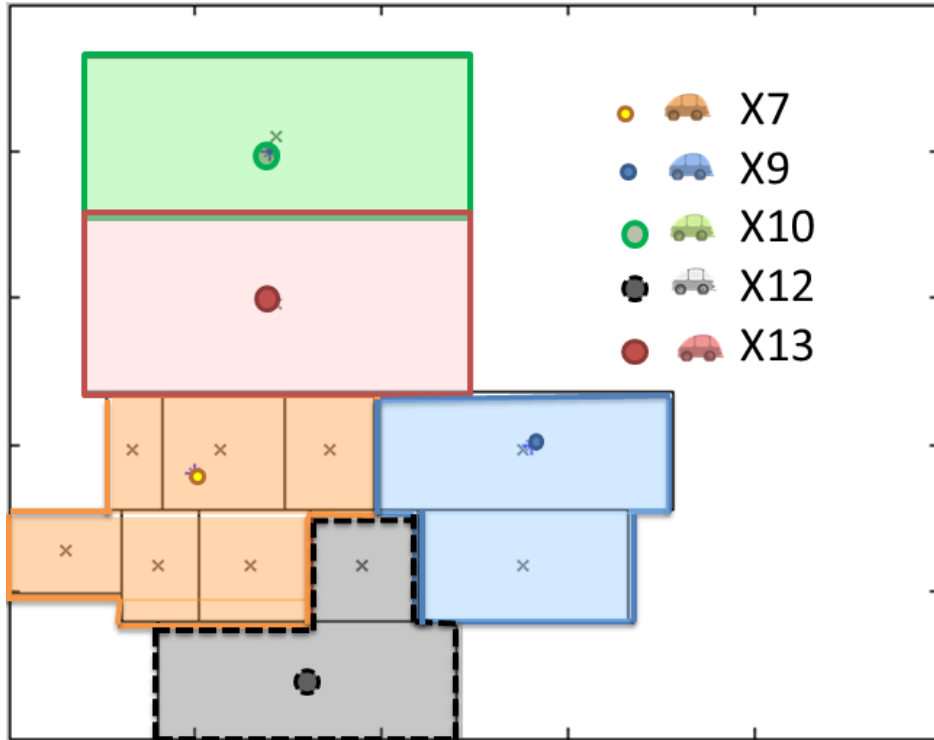


圖4.8 需求分散下復康巴士場站位置及面積

表 4.11 需求分散中下系統總成本分析表

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(7,20)	北投	5723.9	332.5	165.5	6221.9	10	12
(7,15)	士林	7384.4	373.5	194	7951.9	13	14
(5,9)	中山	4262.5	371	183.5	4817	7	34
(14,10)	內湖	5307.9	344.6	180.7	5833.2	9	18
(8,2)	文山	6901	331.2	188.1	7420.3	12	14
總數		29579.7	1752.8	911.8	32244.3	51	92

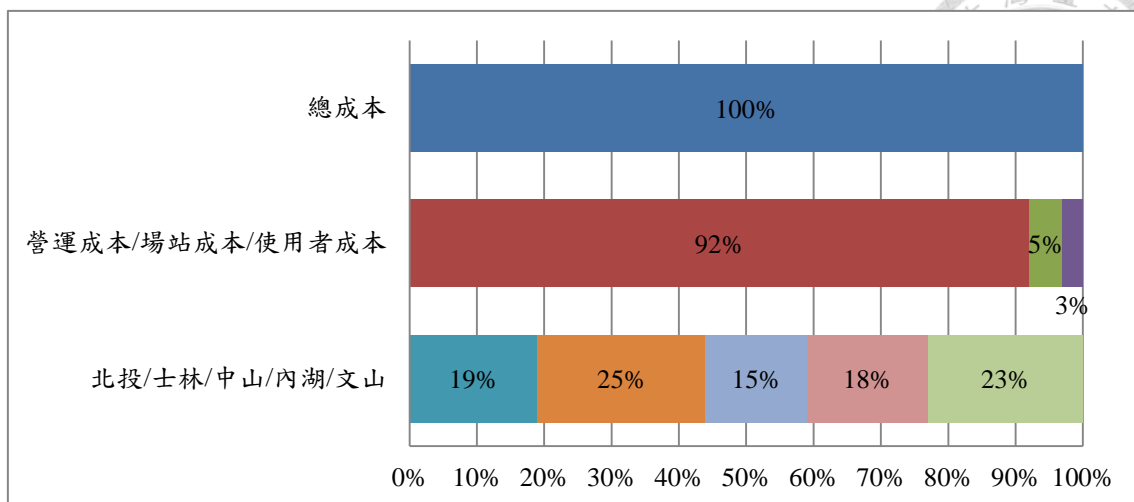


圖4.9 需求分散下各項成本比例比較圖

### 三、綜合比較

在維持總需求人數為92人情況下，進行行政區域需求分佈之變動，從需求集中到分散這段過程中，車輛規模從32量增加為51輛。

進而針對高密度區、中密度區與低密度區之需求密度進行數值變化，如表4.12所示，並針對需求分佈情況之變動，如表4.13及圖4.10所示，以觀察各項成本之變化值，詳細之數值如下：

表 4.12 需求密度變化下各區需求人數分析表

高密度區、中密度區及 低密度區需求密度比	1:1:1	1.25:1:0.75	1.5:1:0.5	1.75:1:0.25
北投區	19	17	14	9
士林區	21	19	16	10
大同區	2	3	4	7
中山區	5	6	7	9
松山區	3	4	5	6
內湖區	11	10	8	5
萬華區	3	5	7	10
中正區	3	3	4	5

大安區	4	6	9	13
信義區	4	5	6	7
南港區	7	7	5	4
文山區	11	10	8	5

表 4.13 需求密度變化下各項成本比較表

區域間密度比	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
1:1:1	33198	1442	816	35456	57
1.25:1:0.75	31275	1810	821	33906	54
1.5:1:0.5	24557	1758	761	27076	42
1.75:1:0.25	19836	1395	662	21893	33

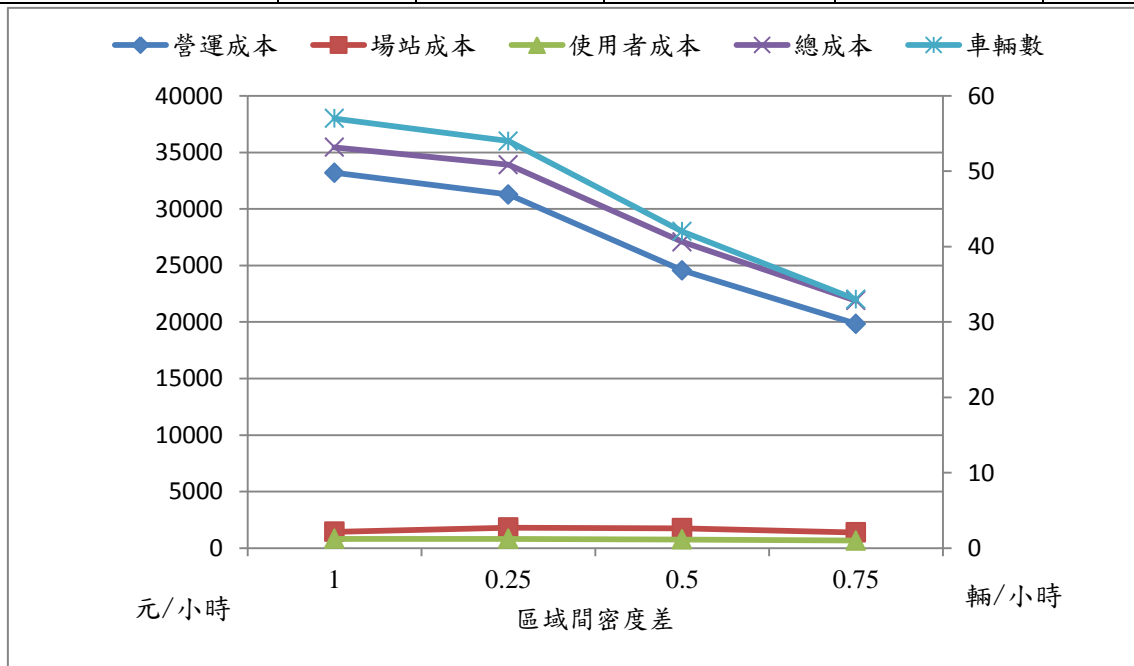


圖4.10 需求密度變化下總成本與車輛數比較圖

由表4.13及圖4.10可知，當總需求人數固定於每小時92人時，以中密度區為基準將高密度區與低密度區分別加減0.75倍，在此情形下，能使台北市內系統總成本達到最佳化。

使用本案的分析結果顯示出，在需求集中與分散的比較之下，完全均勻分配

之情況下，因為需求分散所以需求之間行駛距離增加，導致總系統成本、營運成本以及車輛數最多。

場站成本也隨著車輛數而變化，密度較分散時，為了服務各區之需求，車隊規模數量較多，導致場站成本的增加。但是在需求完全均勻分配時，由於此時場站區位選擇影響較小，所以場站區位設置會趨向場站成本相對較小之區域，導致場站成本相對其他較來的小。

### 4.3 場站設施數量限制

在討論此種場站設置之研究時，復康巴士業者都曾直覺性的提出僅選擇一個地點設置場站，礙於人力資源較少且事業剛起步規模較小的因素等等，因此本研究擬定將限制場站數目為1、2與3的模式下，來進行最佳化結果分析，再與本研究中原來台北市實際狀況模式下的結果做比較。

#### 一、場站設施數量為1

當限制場站數目為1之情形下，結果顯示最佳場站設置地點為松山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求，場站位置與面積如圖4.11所示。

將各項參數設定值代入式(10)可得最佳化營運總成本為26889元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為27516元/小時，各項成本比例由表4.14與圖4.12所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為39輛，場站設置設施的結構明顯和原來模式結果有很大差異，由最後綜合比較表4.17所呈現。



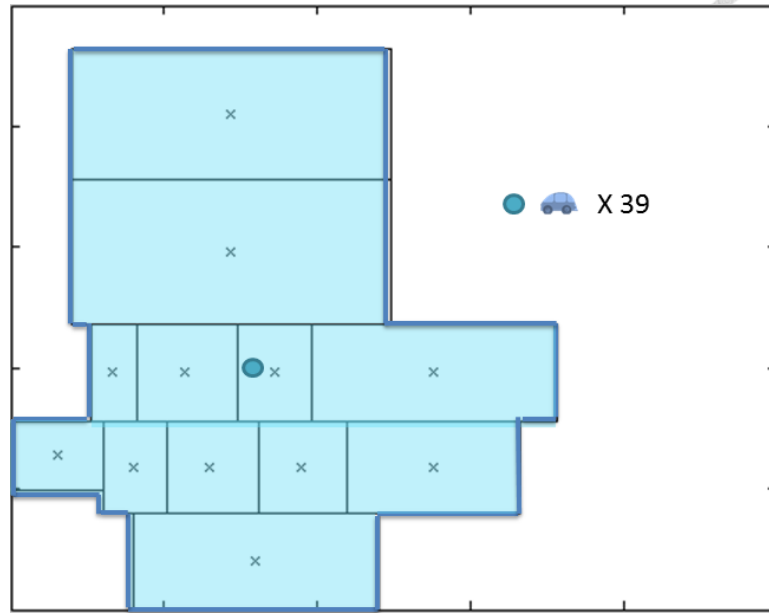
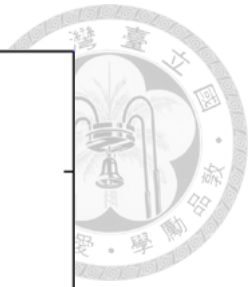


圖4.11 復康巴士場站位置及面積(設施限制=1)

表 4.14 系統總成本分析表(設施限制=1)

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(8,10)	中山	26114	575	827	27516	39	92

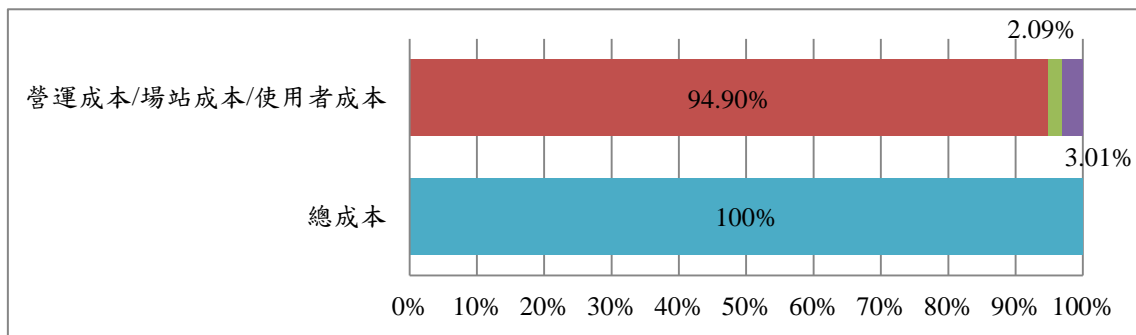


圖4.12 各項成本比例比較圖(設施限制=1)

## 二、場站設施數量為2

當限制場站數目為2之情形下，結果顯示最佳場站設置地點為士林區與文山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求，場站位置與面積如圖4.13所示。

將各項參數設定值代入式(10)可得最佳化營運總成本為24923元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為25750元/小時，各項成本比例由表4.15與圖4.14所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為38輛，場站設置設施的結構明顯和原來模式結果有很大差異，由最後綜合比較表4.17所呈現。

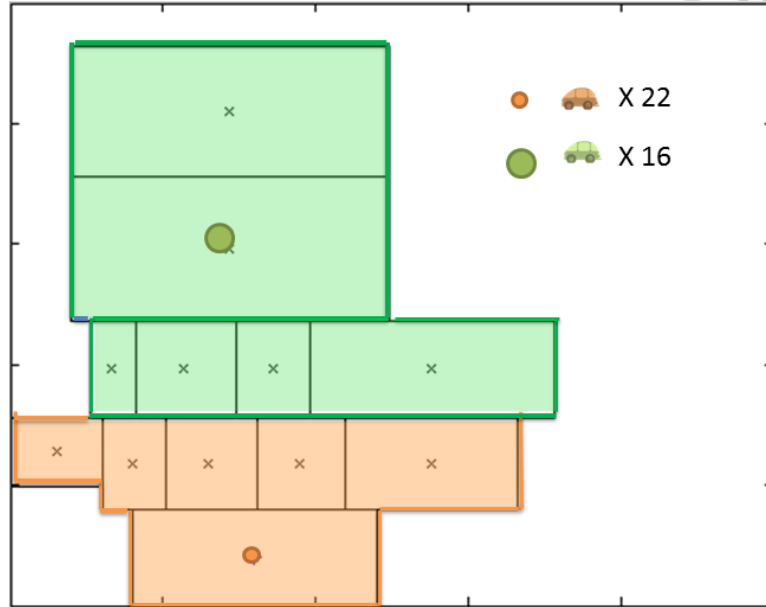


圖4.13 復康巴士場站位置及面積(設施限制=2)

表 4.15 系統總成本分析表(設施限制=2)

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(7,15)	士林	14050	424	484	14958	22	45
(8,2)	文山	10104	345	343	10792	16	47
總數		24154	769	827	25750	38	92

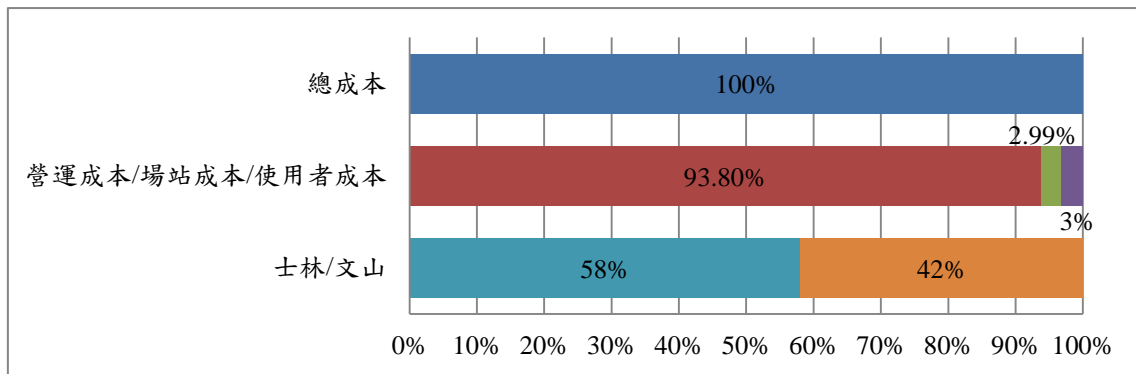


圖4.14 各項成本比例比較圖(設施限制=2)

三、場站設施數量為3



當限制場站數目為3之情形下，結果顯示最佳場站設置地點為士林區、萬華區與文山區，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求，場站位置與面積如圖4.15所示。

將各項參數設定值代入式(10)可得最佳化營運總成本為24113元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為24940元/小時，各項成本比例由表4.16與圖4.16所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為37輛，場站設置設施的結構明顯和原來模式結果有很大差異，由最後綜合比較表4.17所呈現。

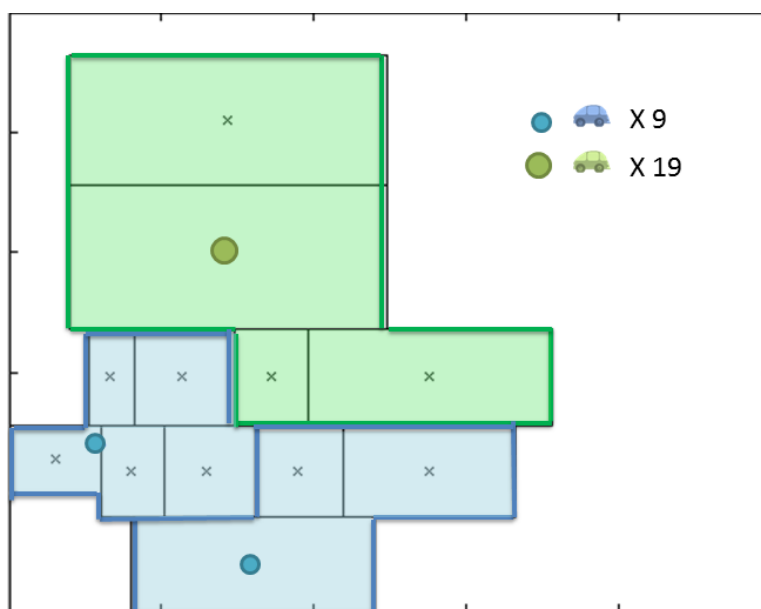


圖4.15 復康巴士場站位置及面積(設施限制=3)

表 4.16 系統總成本分析表(設施限制=3)

座標	地點	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
(7,15)	士林	12068	407	407	12882	16	33
(3,7)	萬華	5518	349	210	6077	9	36
(8,2)	文山	5450	321	210	5981	9	23
總數		23036	1077	827	24940	37	92

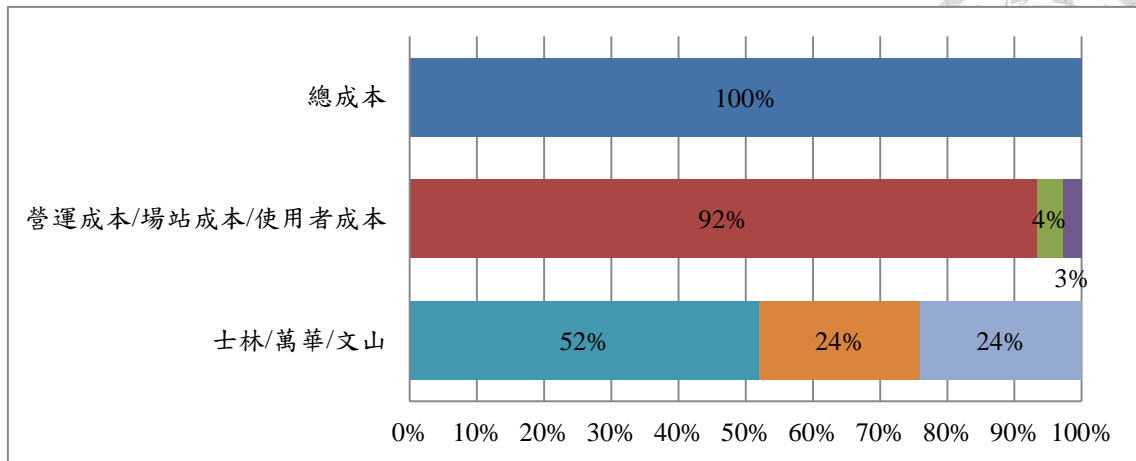


圖4.16 各項成本比例比較圖(設施限制=3)

#### 四、綜合比較

對於場站設施數目給予限制下，從圖4.17中看出場站皆會平均散佈於台北市。

當設施數目限制較小時，營運成本的比例較原來的大很多，這是因為地點限制導致需求的選擇服務範圍被受限，導致運輸距離提高，比例的相關圖表可從表4.17與圖4.18中所呈現。

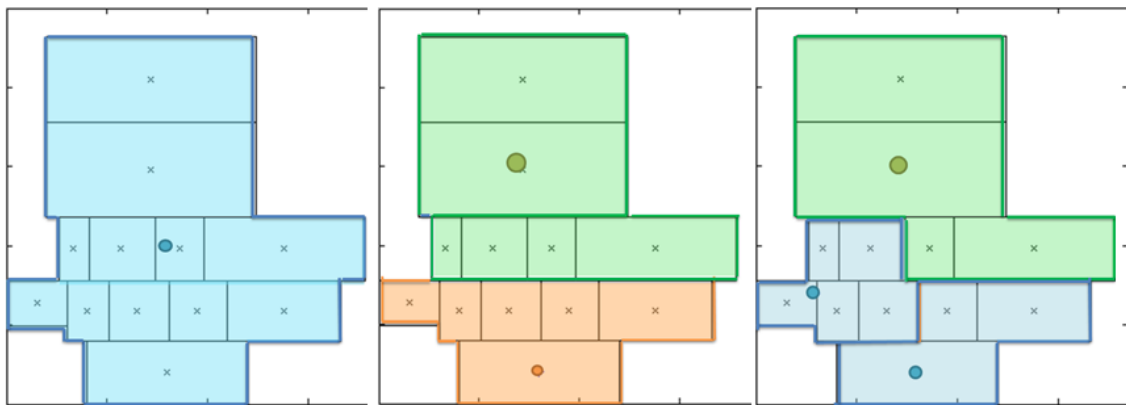


圖4.17 設施數目限制下場站變化圖

表 4.17 設施數目限制下各項成本比較表

設施數目	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
11	21088	3650	827	25565	37
9	21208	2980	827	25015	37

設施數目	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
7	21453	2308	827	24588	37
不限制	21858	1662	827	24347	37
3	23036	1077	827	24940	37
2	24154	769	827	25750	38
1	26114	575	827	27516	39

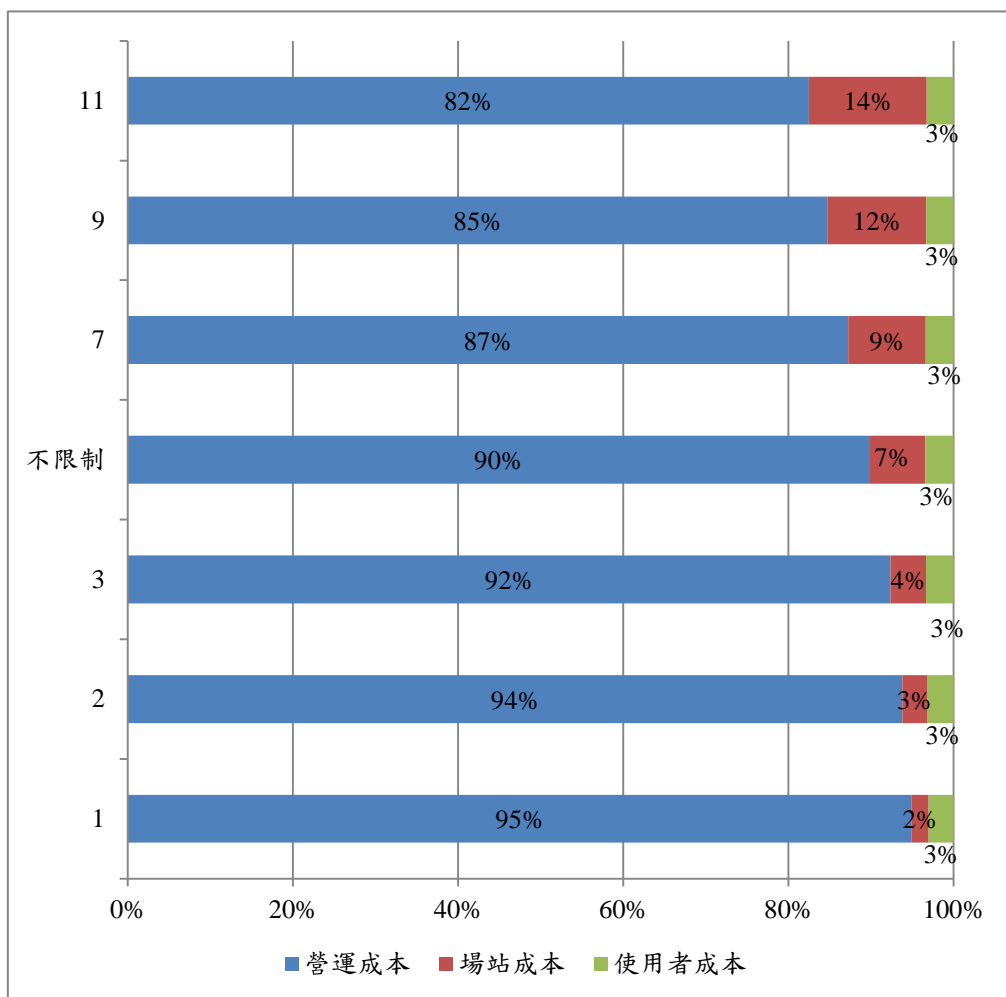


圖4.18 設施數目限制下各項成本比例比較圖

使用本案的分析結果顯示出，將場站數量受限越多之車輛規模、營運成本與總成本皆較高，而使用者成本因為與場站位置無關，不會因為場站數量之限制而改變，趨勢圖可從圖4.19中所呈現。

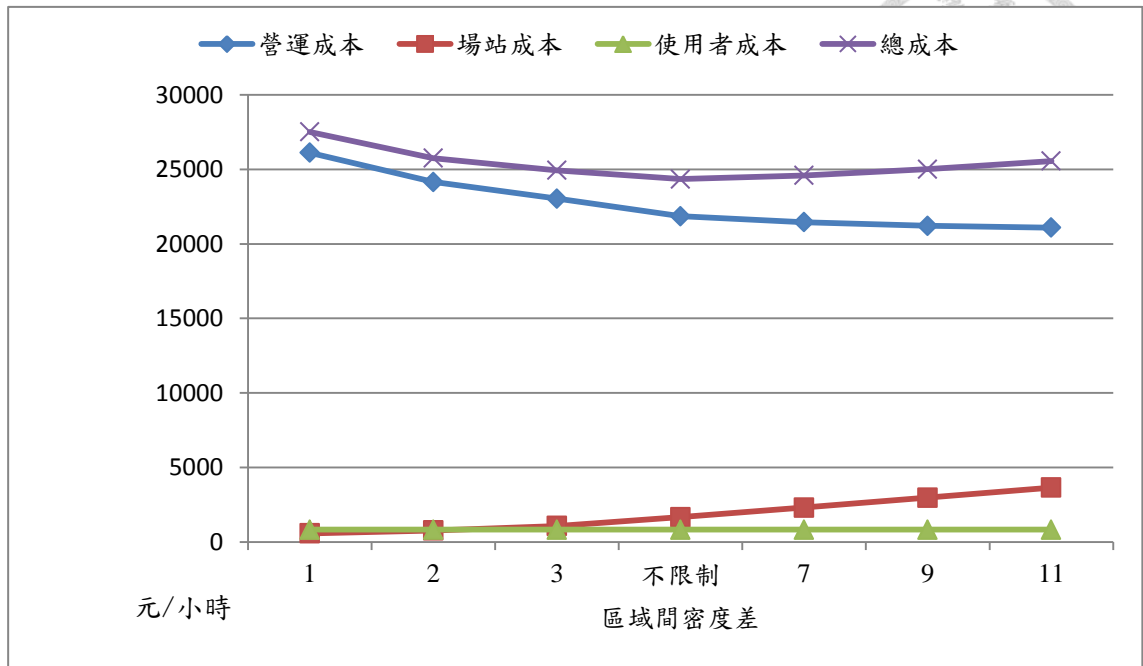


圖4.19 設施數目限制下總成本與車輛數比較圖

#### 4.4 總需求變化之分析

由於老年化社會的來臨，未來提供身心障礙者的復康巴士服務將與日俱增，為讓身心障礙者就醫交通需求無障礙，預期服務將會隨著時間逐漸增加。本研究認為需求人數之增加會影響到場站位置之更動，亦可能會有場站新增之情形，因此本研究利用需求人數數值分析當服務區域範圍內需求總人數增加時，場站位置變動之情形。

以下分析當在需求成長的情況下，場站變動可能之兩種情形：

- A. 在保持現有場站之情況下，以擴增其它場站。
- B. 直接以最佳化結果建設場站，重新調整所有場站位置。

此小節亦採用與4.1節相同之參數值為基礎，如表4.18所示：

表 4.18 支線需求線性實例試算參數表

參數	內容	數值	單位
V	車輛行駛速率	22	km/hour
z	幹線集散行駛速率比率	1.14	-

參數	內容	數值	單位
$\beta_v$	乘客車內旅行時間成本	100	\$/ person-hour
$\beta_o$	車小時成本	563.2	\$/ vehicle-hour
I	整備時間間隔	3	hour
C	車輛乘載人數	1.05	person/vehicle
LM	場站容量	50	vehicle

觀察保持現有場站之情況下擴增場站或者直接重新建設場站兩者情況之總成本，於此情境下，直接重新建設場站成本會低於保持現有場站之情況下擴增場站。

以表4.19分析當在台北市總需求人數變動下，保持現有場站之情況下擴增場站或者直接重新建設場站之兩者情況總成本變化情形：

表 4.19 需求變化下系統總成本比較表

項目	變動值			
	總需求人數 (person/hour)	112 (擴充)	132 (擴充)	145 (擴充)
A 方案	32414.3	43195	50556	79485
B 方案	32150.5	42920	50030	78712
總成本差異	-263.8	-275	-526	-773
系統成本 差異比率	-1%	-1%	-1%	-1%

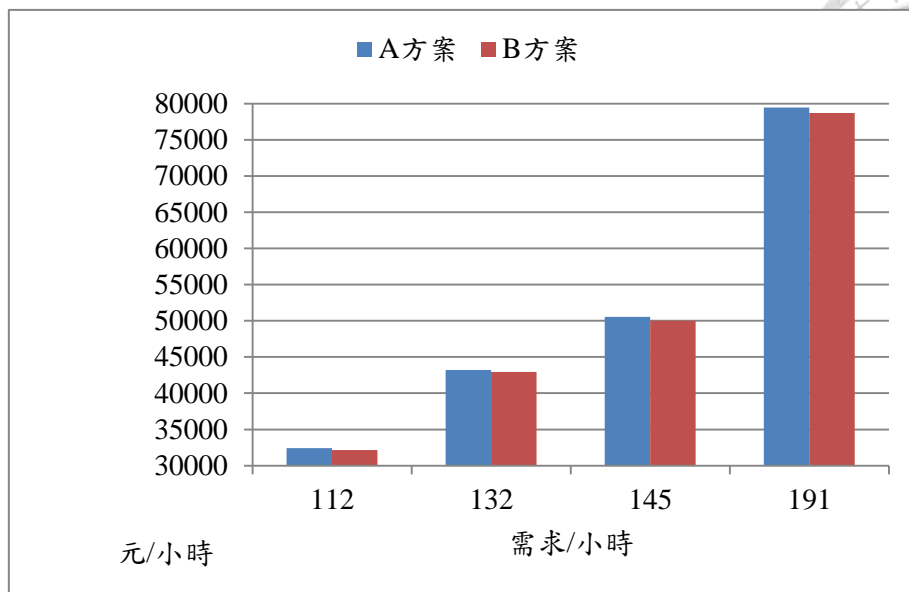


圖4.20 需求成長兩方案之總成本曲線比較圖

由圖4.20中可看出，不管總需求人數為多少人時，使用模式中最佳化結果之系統總成本會低於保留場站擴增之結果，且差異不大於2%。

#### 4.5 大型路網之分析

根據前述所進行之實例分析，模式共計有3796個整數變數，限制式共7885條，求解時間為23秒，即可得全域最佳解。未來如果分區增加，抑或路網規模擴大，預期求解時間將會增加。本研究對於所建模式大型路網之應用效率有進一步分析之必要，因此本研究利用現有台北市分區之情況下，比較原有行政分區路網與分割較細之大型路網求解效率之情形。

以下將台北市從現有之12行政區域，再加以劃分為19個子分區，如圖4.21，分析執行時間與場站區位變動之可能情形。此小節亦採用與4.1節相同之參數值為基礎。



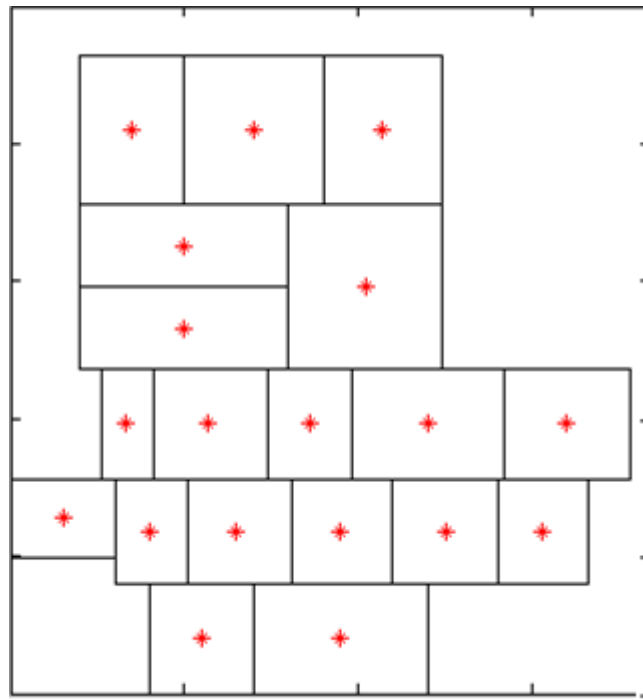


圖4.21 大路網區域劃分圖

經由參數設定之下，代入模式中可從式(10)得最佳化營運總成本為19714元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為20408元/小時，場站位置如圖4.22所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為27輛，各場站所服務之需求人數、車輛數以及各項成本整理為表4.20。經由系統總成本為目標式之下計算而得之結果，各項成本比例整理由圖4.23所呈現。

從以上結果顯示，台北市復康巴士場站設置位置總共有12個，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求。如圖4.22所示。

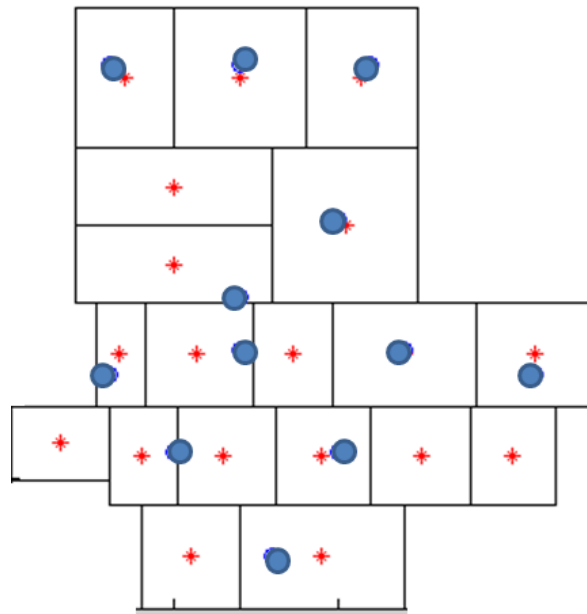


圖4.22 場站區位圖

表 4.20 系統總成本分析表

營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
15864	3850	694	20408	27	92

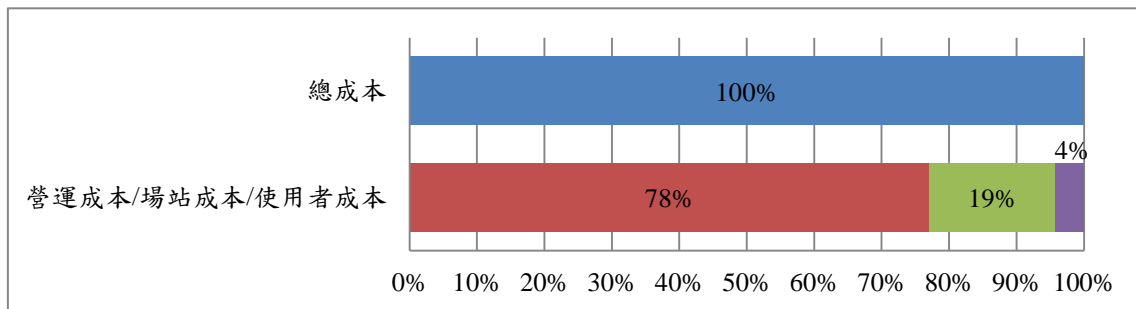
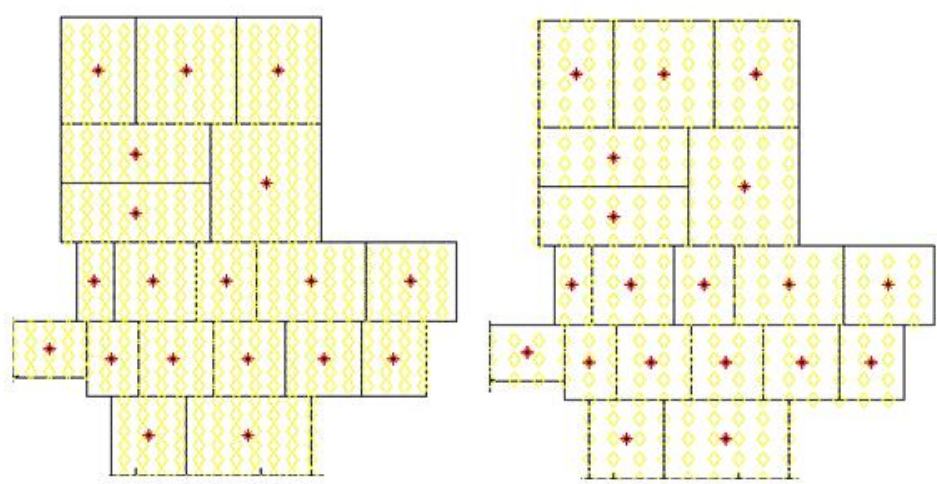


圖4.23 各項成本比例比較圖

則此實例分析，模式共計有 5840 個整數變數，限制式共 12284 條，求解時間為 26 秒，即可得全域最佳解。

由於執行時間仍然無較大之差異，以下將台北市19個子分區之路網間隔從1公里縮短為0.75公里，使得場站可能之設置點較密集，如圖4.24所示，4.24a之場站可能設置點為間隔1公里；而4.24b之場站可能設置點則為間隔0.75公里。



(a) (b)  
圖4.24 路網間隔比較圖

代入模式中可從式(10)得最佳化營運總成本為18551元/小時，代入式(21)可得最佳化系統總成本為19245元/小時，場站位置如圖4.25所示。

此結果表示台北市服務範圍內所需車隊規模為26輛，各場站所服務之需求人數、車輛數以及各項成本整理為表4.21。經由系統總成本為目標式之下計算而得之結果，各項成本比例整理由圖4.26所呈現。

從以上結果顯示，台北市復康巴士場站設置位置總共有10個，即可滿足台北市服務範圍內每小時92人之需求。如圖4.25所示。

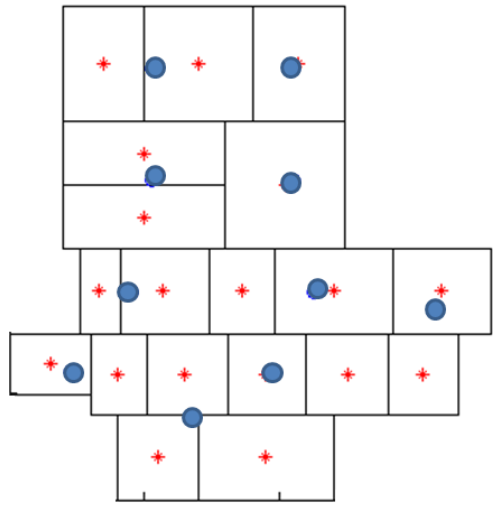


圖4.25 場站區位圖

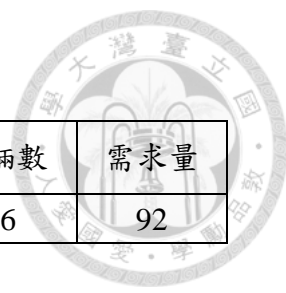


表 4.21 系統總成本分析表

營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數	需求量
15356	3195	694	19245	26	92

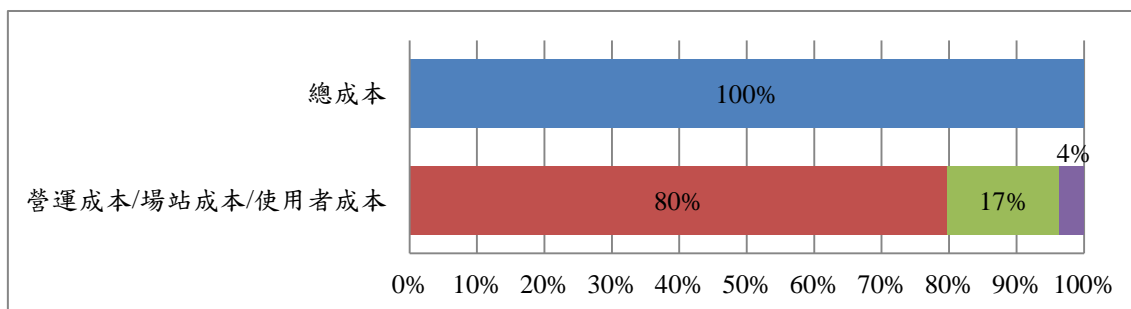


圖4.26 各項成本比例比較圖

則此實例分析，模式共計有 9720 個整數變數，限制式共 20432 條，求解時間為 35 秒，即可得全域最佳解。後續將路網間隔再縮短為 0.5 公里，則模式會有 22340 個整數變數，限制式共 45798 條，測試其求解時間，則詳細求解時間比較表如 4.22 所示。

表 4.22 求解時間比較表

變數數量	限制式數量	求解時間(sec)
3796	7885	23
5840	12284	26
9720	20432	35
22340	45798	67



## 第五章 敏感度分析

本章節針對復康巴士之系統各參數值進行敏感度分析，其中參數包含服務區域分區需求人數、整備時間間隔、車輛行駛速率、幹線集散行駛速率比率、車輛乘載人數、場站固定成本、車輛相關變動成本、車小時成本、乘客車內旅行時間價值等多項。雖然由目標式可約略看出各個參數值對成本造成影響的趨勢，但本部分不僅僅是考量各個成本項目的變化，也包含場站區位選擇的改變，進行各參數之敏感度分析。

分析擬以4.1小節設定之參數值為基準，應用表5.1與表5.2之參數值，觀察本系統總成本於參數變動後所造成之差異。各項敏感度分析結果彙整於表5.3至5.22以及圖5.1至5.9，而由表中之數據變化程度，可顯示各參數之設定對系統總成本之影響，以下逐一討論之。

表 5.1 參數表

參數	內容	數值	單位
Q	需求人數	92	人/小時
V	車輛行駛速率	22	km/hour
z	幹線集散行駛速率比率	1.14	km/hour
$\beta_v$	乘客車內旅行時間成本	100	\$/ person-hour
$\beta_o$	車小時成本	563.2	\$/ vehicle-hour
FC	場站固定成本	見表 5.2	\$/hour
VC	車輛相關變動成本	見表 5.2	\$/hour
I	整備時間間隔	3	hour
C	車輛乘載人數	1.05	person/vehicle

表 5.2 場站固定與車輛相關變動成本參數表

區域	車位租金 (小時)	場站固定成本 (小時)



區域	車位租金 (小時)	場站固定成本 (小時)
北投區	3.47	297.8
士林區	5.56	301.28
大同區	6.25	317.06
中山區	5.56	338.24
松山區	6.25	330.82
內湖區	4.86	300.81
萬華區	4.86	305.75
中正區	5.56	326.34
大安區	8.33	344.6
信義區	6.94	335.92
南港區	4.86	298.45
文山區	3.47	289.53

### 5.1 敏感度分析-需求人數

2013年台北市地區一天的復康巴士趟次僅有1659趟次，而目前台北市總身心障礙人口數為117,660，一天服務的需求才占總人數1.4%，未來如供給增加且提高營運效率，需求量隨著時間也隨之增加，在此測試模式對於需求量變動的敏感度，比較不同需求量下產生的最佳化結果。

在本小節需求量假設的範圍，由原來的一小時92趟次改變為正負10%到20%。詳細分析可從表5.3、表5.4與圖5.1中得知。

表 5.3 需求人數敏感度分析

需求人數(Q)	數值				
參數值	73.6	82.8	92	101.2	110.4
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%

需求人數(Q)	數值				
	參數值	73.6	82.8	92	101.2
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	18267	21271	24347	29124	32076
總成本差異(元)	-6,080	-3076	-	4777	7729
系統成本 差異比率	-25%	-13%	-	20%	32%
營運成本 差異比率	-27%	-14%	-	21%	34%
場站成本 差異比率	-1%	1%	-	4%	5%
使用者成本 差異比率	-16%	-8%	-	9%	17%

表 5.4 需求人數各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
-20%	15932	1643	692	18267	27
-10%	18829	1678	764	21271	32
0%	21858	1662	827	24347	37
10%	26492	1728	904	29124	45
20%	29358	1750	968	32076	50

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.1。

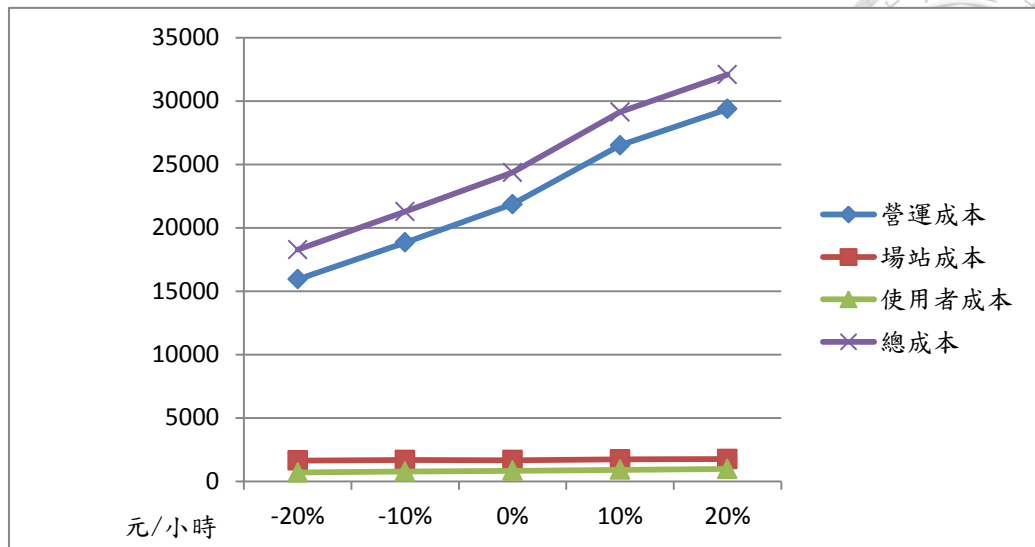


圖5.1 需求人數敏感度分析

表5.4為各項成本的比較，可如圖5.1所示。表5.3為需求量的敏感度分析結果，需求量變動和各項成本、車輛數呈現正向的關係。表中顯示需求人數越多，所需花費成本越大，成本上升幅度較需求人數上升幅度略小。

場站成本增加，此係需求量的增加，為了降低幹線成本所以增加場站之數量，能讓總成本更低。需要設置的場站數量皆為五個，其中有四個場站皆維持在同一行政區，如圖5.2所示。



圖5.2 需求人數敏感度分析場站區位圖





## 5.2 敏感度分析-整備時間間隔

本研究在台北市實際案例分析時將整備時間間隔設定為3小時，意義為車輛每隔3小時需要進行整備工作，進行駕駛員休息抑或其他事項。整備時間間隔越長，表示一天所需要進行之整備工作次數越少，整備時間間隔長短會與車隊規模與營運成本有關，在此測試模式對於整備時間間隔變動的敏感度，比較不同整備時間間隔下產生的最佳化結果。

在整備時間間隔假設的範圍，由原來的3小時分別增減半小時至一小時。詳細分析可從表5.5、表5.6與圖5.3中得知。

表 5.5 整備時間間隔敏感度分析

整備時間間隔(I)	數值				
參數值	2	2.5	3	3.5	4
參數變動率	-33%	-16.7%	0%	16.7%	33%
系統總成本(元)	24919	24794	24347	24202	24058
總成本差異(元)	572	447	-	-145	-289
系統成本 差異比率	2%	2%	-	-1%	-1%
營運成本 差異比率	1%	0%	-	-1%	-1%
場站成本 差異比率	21%	21%	-	0%	0%
使用者成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0

表 5.6 整備時間間隔各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
-33%	22083	2009	827	24919	37
-16.7%	21958	2009	827	24794	37

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
0%	21858	1662	827	24347	37
16.7%	21713	1662	827	24202	37
33%	21572	1659	827	24058	37

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.2。

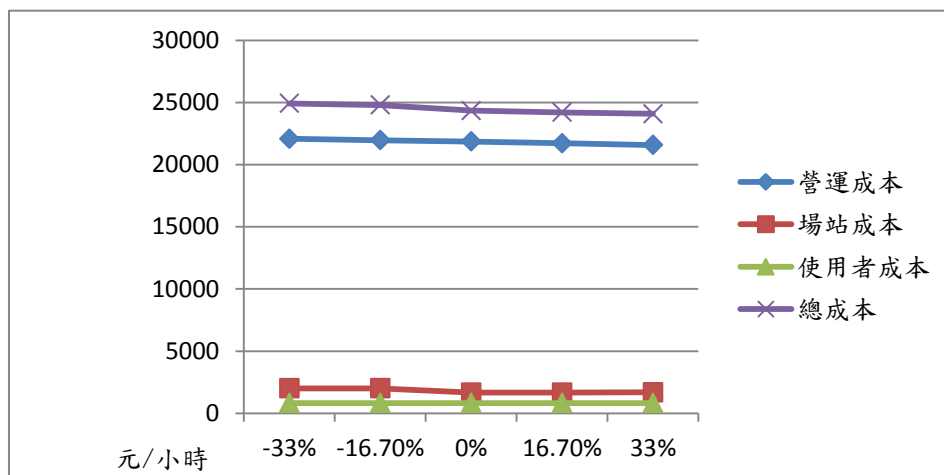


圖5.3 整備時間間隔敏感度分析

表5.6為各項成本的比較，可以圖5.3所示。表5.5為整備時間間隔的敏感度分析結果，整備時間間隔和系統總成本、營運成本呈反向關係。

整備時間間隔的增加，需要來回場站之整備次數減少，在外服務時間增加能提高營運效率，使得總成本更低。場站成本改善幅度最大，整備時間間隔縮短亦會導致物場站設置數目的增加，需要設置的場站數量從本來五個，增加為七個場站，如圖5.4所示。

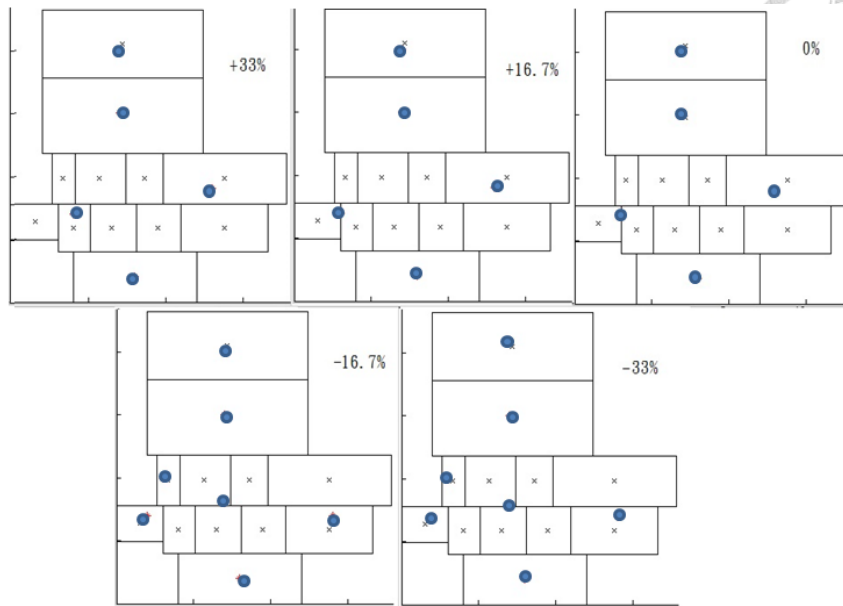
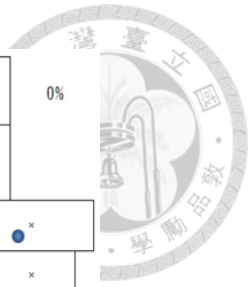


圖5.4整備時間間隔敏感度分析場站區位圖

### 5.3 敏感度分析-車輛行駛速率

本研究認為復康巴士在進行服務時，無需像傳統公車一般每站皆停，因此車輛平均行駛速度會略高於傳統公車，本研究中對於復康巴士提供及門服務之車輛行駛速率設定為22公里/小時。在此測試模式對於車輛行駛速率的敏感度，比較不同行駛速率下產生的最佳化結果。

在本小節行駛速率假設的範圍，車輛行駛速率由原來的22公里/小時改變為正負10%到20%。詳細分析可從表5.7、表5.8與圖5.5中得知。

表 5.7 車輛行駛速率敏感度分析

車輛行駛速率(V)	數值				
參數值	17.6	19.8	22	24.2	26.4
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	25419	25009	24347	24190	24116
總成本差異(元)	1,072	662	-	-157	-231
系統成本 差異比率	4%	3%	-	-1%	-1%
營運成本	4%	2%	-	-1%	0%

車輛行駛速率(V)	數值				
參數值	17.6	19.8	22	24.2	26.4
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
差異比率					
場站成本 差異比率	5%	3%	-	2%	0%
使用者成本 差異比率	25%	11%	-	-9%	-17%

表 5.8 車輛行駛速率各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
-20%	22648	1737	1034	25419	45
-10%	22378	1712	919	25009	42
0%	21858	1662	827	24347	37
10%	21741	1697	752	24190	35
20%	21766	1661	689	24116	31

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.5。

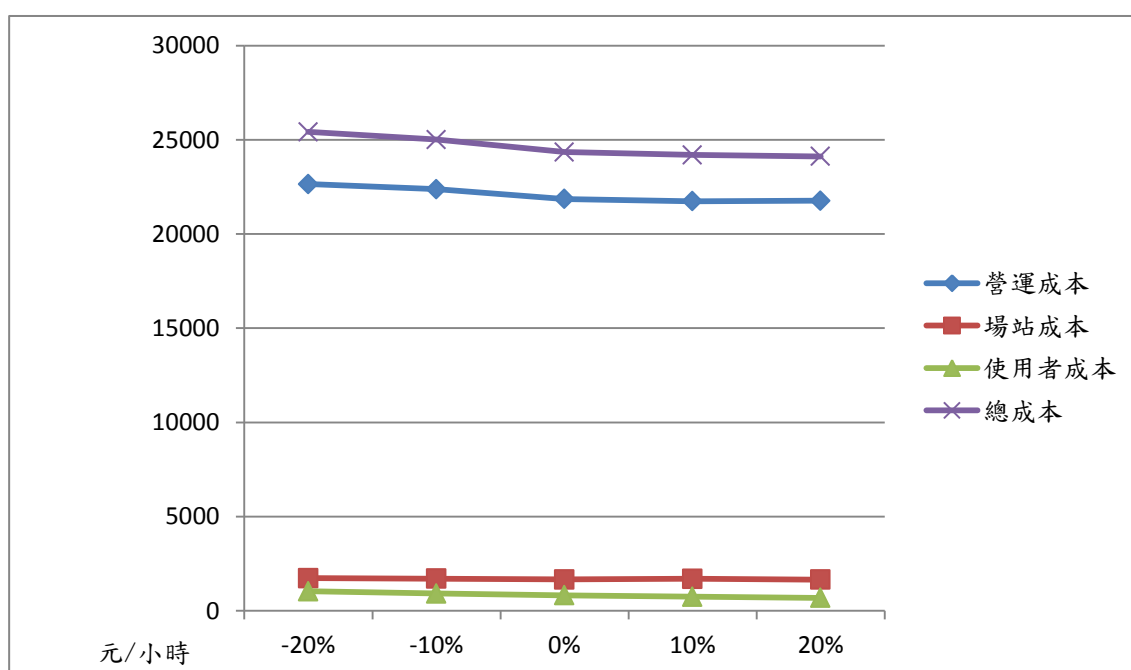


圖5.5車輛行駛速率敏感度分析

表5.8為各項成本的比較，可如圖5.5所示。表5.7為車輛行駛速率的敏感度分析結果。車輛行駛速率變動和總成本、營運成本、使用者成本與車輛數呈現反向的關係。主要原因為車輛行駛速率加快，意味著營運效率提升，導致業者所需之車輛規模變小。

車輛行駛速率對使用者成本影響較為明顯，然而對營運成本項影響不甚顯著，對場站位置影響也較無變化，此係由於不論行駛速率的快慢，所需要接駁服務之距離仍然不會有太大改變。

#### 5.4 敏感度分析-幹線集散行駛速率比率

復康巴士由場站出發前往其他分區時，無需在行駛中因為接載乘客而停等，因此幹線行駛速率會略高於在其他分區提供及門服務時之車輛行駛速率V，本研究中對於幹線集散行駛速率比率為1.14，定義在幹線營運上之行駛速率為 $22 \times 1.14 = 25$ 公里/小時。在此測試模式對於幹線集散行駛速率比率的敏感度，比較不同幹線集散行駛速率比率下產生的最佳化結果。

在本小節幹線集散行駛速率比率假設的範圍，由原來的1.14改變為正負10%到20%。詳細分析可從表5.9、5.10與圖5.6中得知。

表 5.9 幹線集散行駛速率比率敏感度分析

幹線集散行駛速率比率(Z)	數值				
參數值	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	24385	24347	24347	24333	24298
總成本差異(元)	38	0	-	-14	-49
系統成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
營運成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
場站成本	0%	0%	-	2%	2%

幹線集散行駛速率比率(Z)	數值				
參數值	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
差異比率					
使用者成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%

表 5.10 幹線集散行駛速率比率各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
-20%	21900	1658	827	24385	37
-10%	21858	1662	827	24347	37
0%	21858	1662	827	24347	37
10%	21817	1689	827	24333	37
20%	21781	1690	827	24298	37

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.4。

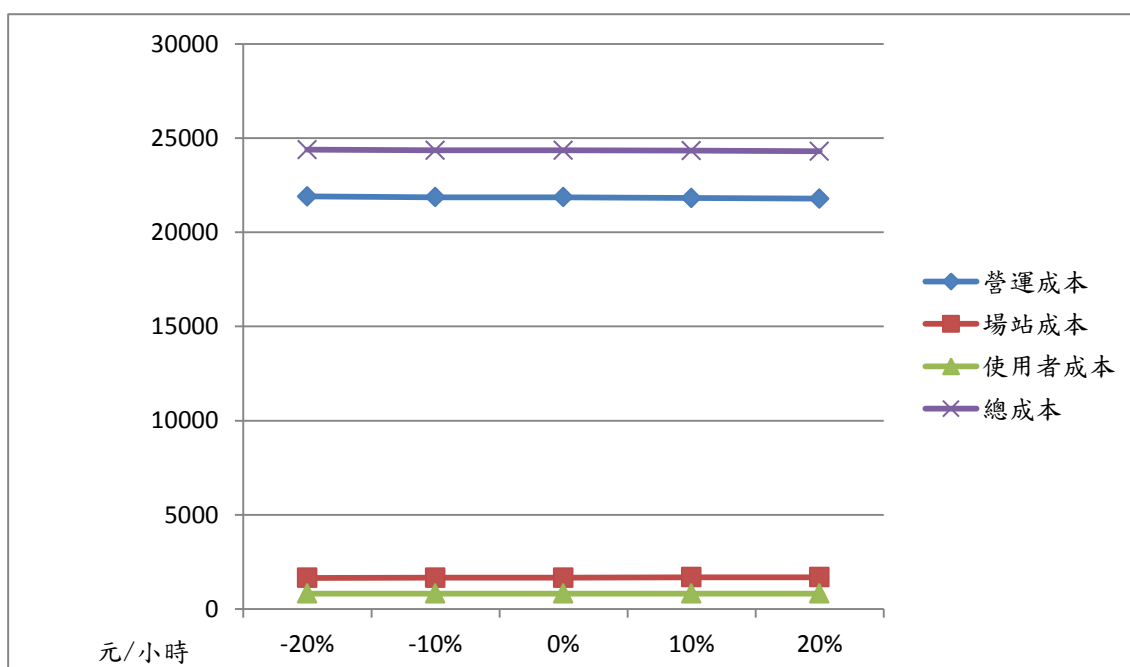


圖5.6 幹線集散行駛速率比率敏感度分析

表5.10為各項成本的比較，可如圖5.6所示。表5.9為幹線集散行駛速率比率的敏感度分析結果，各項結果皆不顯著。

由圖5.6中可看出，幹線集散行駛速率比率對各項成本項影響不甚顯著，對場站位置影響也較無變化，歸咎於速度比率差異對於車隊規模決定影響層面較少，且不論行駛速率差異的多寡，所需要接駁服務之距離仍然不會有太大改變。

## 5.5 敏感度分析-車輛乘載人數

本研究在背景中提及，現今復康巴士平均每趟次乘載人數比例約為1.05%，表示營運上非常的沒有效率，這也是由於系統建設無法快速將當天預約的需求做最佳化的排程，導致車輛派遣上無效率的使用，未來如增加在ITS方面的技術，成功的將車輛乘載人數提高，那麼就算需求量隨著時間增加，需要的車輛數也能因為每輛車乘載人數的增加而不那麼迫切，營運上提高車輛使用率更能在現有的車輛數下，提升服務的人數，因此本研究在此測試模式對於車輛乘載人數變動的敏感度，比較不同車輛乘載人數下產生的最佳化結果。

在本小節車輛乘載人數假設的範圍，由最低之每輛車乘載1人，到現況一趟次1.05人，再提高到5%為一趟次1.5人，最後測試每台車皆為共乘的情況。詳細分析可從表5.11、表5.12與圖5.7中得知。

表 5.11 車輛乘載人數敏感度分析

車輛乘載人數(C)	數值			
參數值	1	1.05	1.5	2
參數變動率	-5%	-	43%	90%
系統總成本(元)	26698	24347	16120	12406
總成本差異(元)	2351	-	-8227	-11941
系統成本 差異比率	10%	-	-34%	-49%
營運成本 差異比率	11%	-	-38%	-52%
場站成本 差異比率	3%	-	-4%	-39%

車輛乘載人數(C)	數值			
參數值	1	1.05	1.5	2
參數變動率	-5%	-	43%	90%
使用者成本 差異比率	-1%	-	7%	15%

表 5.12 車輛乘載人數各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	車輛數
-5%	24171	1708	819	26698	41
0%	21858	1662	827	24347	37
43%	13633	1599	888	16120	23
90%	10434	1020	952	12406	17

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.7。

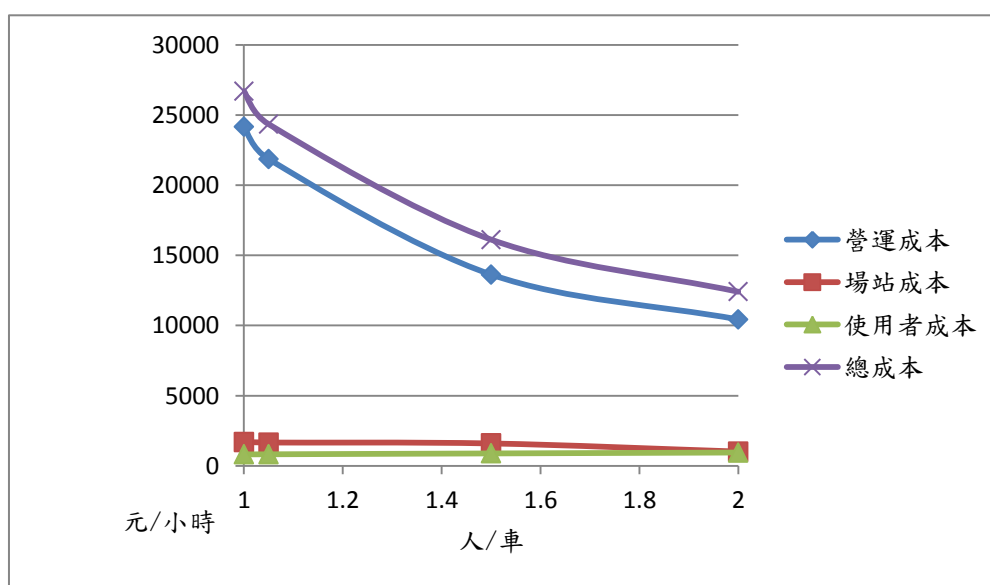


圖5.7 車輛乘載人數敏感度分析

表5.12為各項成本的比較，表5.11為車輛乘載人數的敏感度分析結果，車輛乘載人數變動和總成本、營運成本、場站成本、車輛數呈現反向的關係，而使用者成本為正向關係，皆為非線性之關係。



由於車輛乘載人數的增加，意味著營運效率提升，一趟次所乘載的人數增加了，降低運輸距離，使得總成本也明顯下降，但不隨著乘載人數等比例下降。而也因為每趟次車輛乘載人數增加了讓車內使用者旅行時間成本提高，因為多乘載一位乘客讓其他乘客有車輛彎繞的延長時間所導致使用者旅行時間成本更高。場站成本呈現反向的關係，此係車隊規模隨著車輛乘載人數的增加而減少，使得場站成本也降低。

總體而言營運成本改善幅度最大，雖然車內使用者旅行時間隨著車輛乘載人數提高而增加，但由於使用者成本提高之比例未能與下降幅度據之營運成本相抗衡，導致總系統成本還是呈現下滑的趨勢，效果顯現如圖5.7。需要設置的場站數量在每輛車皆為共乘的情況下為三個場站，其餘情況則維持五個場站，如圖5.8所示。

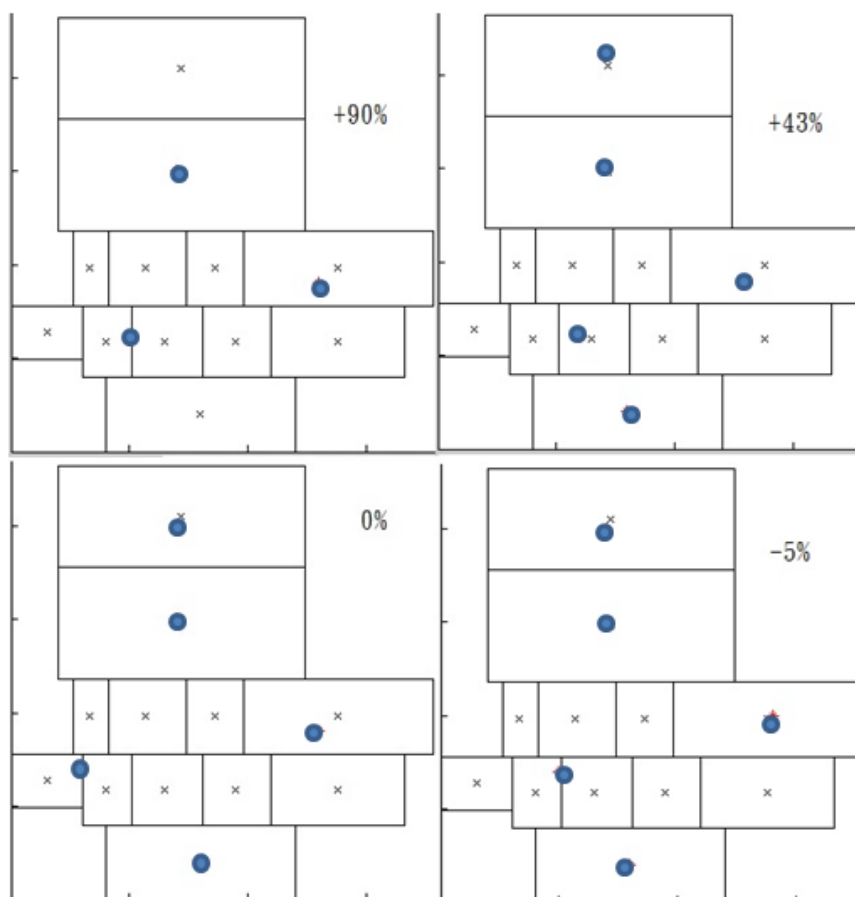


圖5.8 車輛乘載人數敏感度分析場站區位圖



## 5.6 敏感度分析-場站固定成本

本研究認為固定成本之多寡，乃選取場站設置地點時相對於營運成本的主要權衡項目。一般而言，場站數目越多則營運成本比例相對會較小；當場站設置數目少時，營運成本則相對提高。因此，在此調整場站固定成本之數值以測試模式對於此成本項目變動的敏感度，來表達不同場站固定成本下產生的最佳化結果影響性。

在本小節場站固定成本的範圍，由於各行政區之成本會隨著該區地價而有之間價差的緣故，調動幅度皆為原來該區固定場站成本之正負10%到20%，本研究由表5.13作呈現。詳細分析則可從表5.14、表5.15與圖5.9中得知。

表 5.13 場站固定成本敏感度變動參數表

參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
北投區	238.24	268.02	297.8	327.58	357.36
士林區	241.024	271.152	301.28	331.408	361.536
大同區	253.648	285.354	317.06	348.766	380.472
中山區	270.592	304.416	338.24	372.064	405.888
松山區	264.656	297.738	330.82	363.902	396.984
內湖區	240.648	270.729	300.81	330.891	360.972
萬華區	244.6	275.175	305.75	336.325	366.9
中正區	261.072	293.706	326.34	358.974	391.608
大安區	275.68	310.14	344.6	379.06	413.52
信義區	268.736	302.328	335.92	369.512	403.104
南港區	238.76	268.605	298.45	328.295	358.14
文山區	231.624	260.577	289.53	318.483	347.436

表 5.14 場站固定成本敏感度分析

場站固定成本(FC)	數值				
	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數值	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	24048	24197	24347	24496	24646
總成本差異(元)	-299	-150	-	149	299
系統成本 差異比率	-1%	-1%	-	1%	1%
營運成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
場站成本 差異比率	-18%	-9%	-	9%	18%
使用者成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%

表 5.15 場站固定成本各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本
-20%	21858	1363	827	24048
-10%	21858	1512	827	24197
0%	21858	1662	827	24347
10%	21858	1811	827	24496
20%	21858	1961	827	24646

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.9。

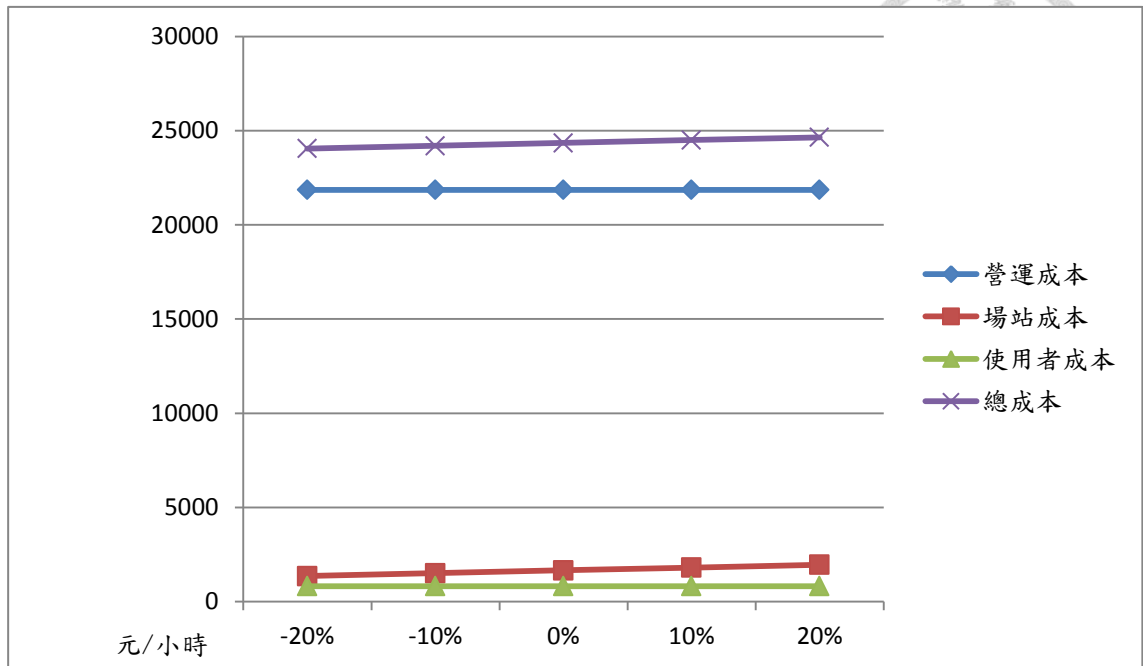


圖5.9場站固定成本敏感度分析

表5.15為各項成本的比較，可如圖5.9所示。表5.14為場站固定成本的敏感度分析結果，場站固定成本變動與總系統成本、場站成本呈現正向的關係。成本上升幅度較場站固定成本上升幅度小。

由於場站固定成本的增加，意味著邊際場站成本提高，增設一個場站之所需花費成本越大，將導致場站設置數量降低。使用者車內旅行時間成本以及營運成本在此測試中不變。

### 5.7 敏感度分析-車輛相關變動成本

本研究在此測試模式對於車輛相關變動成本的敏感度，比較不同車輛相關變動成本下產生的最佳化結果，觀察是否車輛相關變動成本的高低會影響到模式求解出最佳之結果。

在這裡車輛相關變動成本假設的範圍，由於各行政區之車輛相關變動成本會隨著該區地價而有之間價差的緣故，調動幅度皆為原來該區車輛相關變動成本之正負10%到20%，本研究由表5.16作呈現。詳細分析可從表5.17、表5.18與圖5.10中得知。

表 5.16 車輛相關變動成本敏感度變動參數表

參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
北投區	2.776	3.123	3.47	3.817	4.164
士林區	4.448	5.004	5.56	6.116	6.672
大同區	5	5.625	6.25	6.875	7.5
中山區	4.448	5.004	5.56	6.116	6.672
松山區	5	5.625	6.25	6.875	7.5
內湖區	3.888	4.374	4.86	5.346	5.832
萬華區	3.888	4.374	4.86	5.346	5.832
中正區	4.448	5.004	5.56	6.116	6.672
大安區	6.664	7.497	8.33	9.163	9.996
信義區	5.552	6.246	6.94	7.634	8.328
南港區	3.888	4.374	4.86	5.346	5.832
文山區	2.776	3.123	3.47	3.817	4.164

表 5.17 車輛相關變動成本敏感度分析

車輛相關變動成本(VC)	數值				
	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數值	0.912	1.026	1.14	1.254	1.368
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	24313	24330	24347	24363	24380
總成本差異(元)	-34	-17	-	16	33
系統成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
營運成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
場站成本 差異比率	-2%	-1%	-	1%	2%

車輛相關變動成本(VC)	數值				
	參數值	0.912	1.026	1.14	1.254
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
使用者成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%

表 5.18 車輛相關變動成本各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本
-20%	21858	1628	827	24313
-10%	21858	1645	827	24330
0%	21858	1662	827	24347
10%	21858	1678	827	24363
20%	21858	1695	827	24380

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.10。

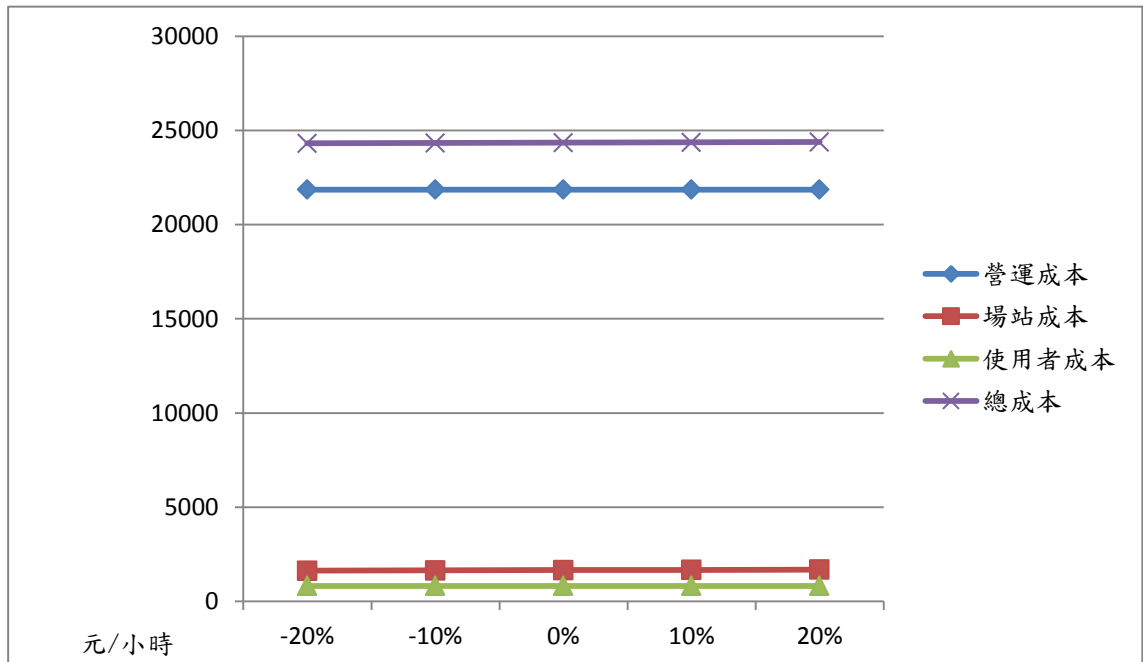


圖5.10車輛相關變動成本敏感度分析

表5.18為各項成本的比較，圖形如圖5.10所示。表5.17為車輛相關變動成本的敏感度分析結果，車輛相關變動成本和總成本、營運成本、使用者成本、車輛數與場站數量皆無關係，僅場站成本隨著車輛相關變動成本增加而微幅上升。

上述成本項影響不甚顯著，對場站位置影響也較無變化，歸咎於不論車輛相關變動成本的多寡，所需要在為了滿足需求之下進行接駁服務，就算車輛相關變動成本為原本的100倍，仍需要一定之車輛數，不會因為車輛相關變動成本過高就不購買車輛或者購置車輛相關之場站。

## 5.8 敏感度分析-車小時成本

本研究將車小時成本設定為每車小時563.2元，在此測試模式對於車小時成本變動的敏感度，比較不同車小時成本下產生的最佳化結果。

在本小節車小時成本假設的範圍，由原來的每車小時563.2元改變為正負25%到50%。詳細分析可從表5.19、表5.20與圖5.11中得知。

表 5.19 車小時成本敏感度分析

車小時成本( $\beta_0$ )	數值				
參數值	281.6	422.4	563.2	704	844.8
參數變動率	-50%	-25%	0%	25%	50%
系統總成本(元)	13378	18883	24347	29812	35214
總成本差異(元)	-10969	-5464	-	5465	10867
系統成本 差異比率	-45%	-22%	-	22%	45%
營運成本 差異比率	-49%	-25%	-	25%	48%
場站成本 差異比率	-19%	0%	-	0%	21%
使用者成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%

表 5.20 車小時成本各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本	場站數量
-50%	11205	1346	827	13378	4
-25%	16394	1662	827	18883	5
0%	21858	1662	827	24347	5
25%	27323	1662	827	29812	5
50%	32378	2009	827	35214	6

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.11。

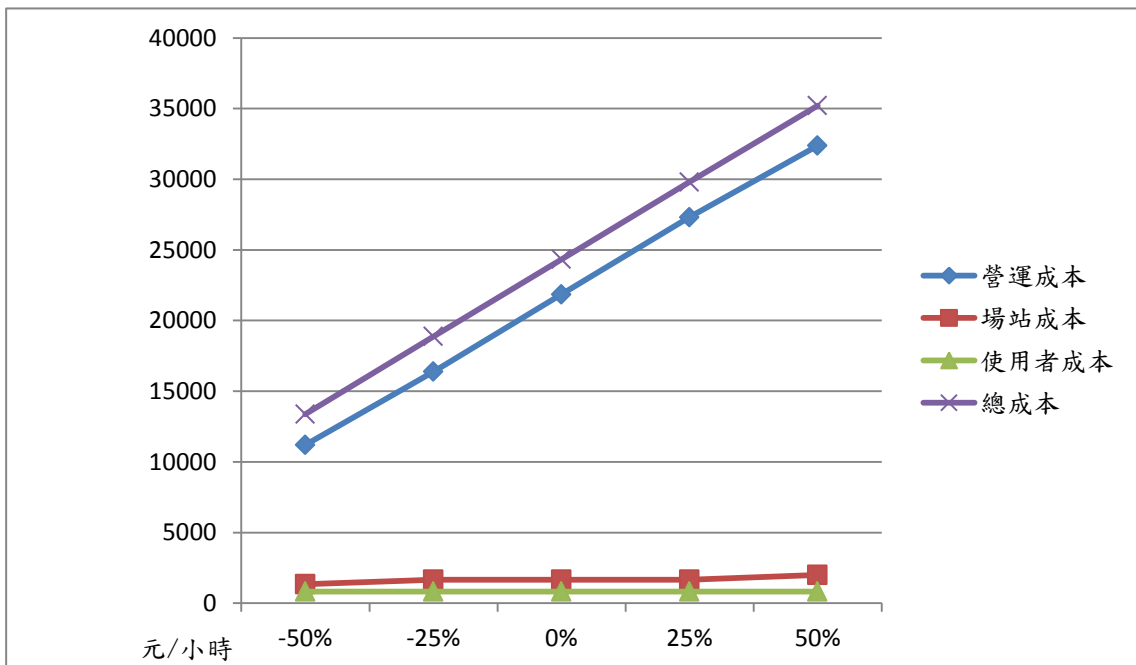


圖5.11小時成本敏感度分析

表5.20為各項成本的比較，圖形如圖5.11所示。表5.19為車小時成本的敏感度分析結果，車小時成本變動和總成本、營運成本、場站成本與場站數量呈現正向的關係，表中營運成本變化與車小時成本變化幅度相同。

車小時成本對營運成本項影響顯著，也間接地影響場站成本。如系統耗費之營運成本增加時，業者會傾向將場站設置數量增多，如圖5.12所示，以降低需要耗費的運輸距離，使用者車內旅行時間則與車小時成本無關。





圖5.12 車小時成本敏感度分析場站區位圖

### 5.9 敏感度分析-乘客車內旅行時間價值

本研究將乘客車內旅行時間價值設定為每小時100元，在此測試模式對於乘客車內旅行時間價值變動的敏感度，比較不同乘客車內旅行時間價值下產生的最佳化結果。

在本小節乘客車內旅行時間價值假設的範圍，由原來的每小時100元改變為正負10%到20%。詳細分析可從表5.21、表5.22與圖5.13中得知。

表 5.21 乘客車內旅行時間價值敏感度分析

乘客車內時間價值( $\beta_v$ )	數值				
參數值	80	90	100	110	120
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
系統總成本(元)	24182	23564	24347	24430	24512
總成本差異(元)	-165	-783	-	83	165
系統成本 差異比率	-1%	-3%	-	0%	1%
營運成本	0%	0%	-	0%	0%

乘客車內時間價值( $\beta_v$ )	數值				
參數值	80	90	100	110	120
參數變動率	-20%	-10%	0%	10%	20%
差異比率					
場站成本 差異比率	0%	0%	-	0%	0%
使用者成本 差異比率	-20%	-10%	-	10%	20%

表 5.22 乘客車內旅行時間價值各項成本比較表

變動率	營運成本	場站成本	使用者成本	總成本
-20%	21858	1662	662	24182
-10%	21858	1662	744	24264
0%	21858	1662	827	24347
10%	21858	1662	910	24430
20%	21858	1662	992	24512

根據以上數值，各參數與總成本敏感度關係圖如圖5.13。

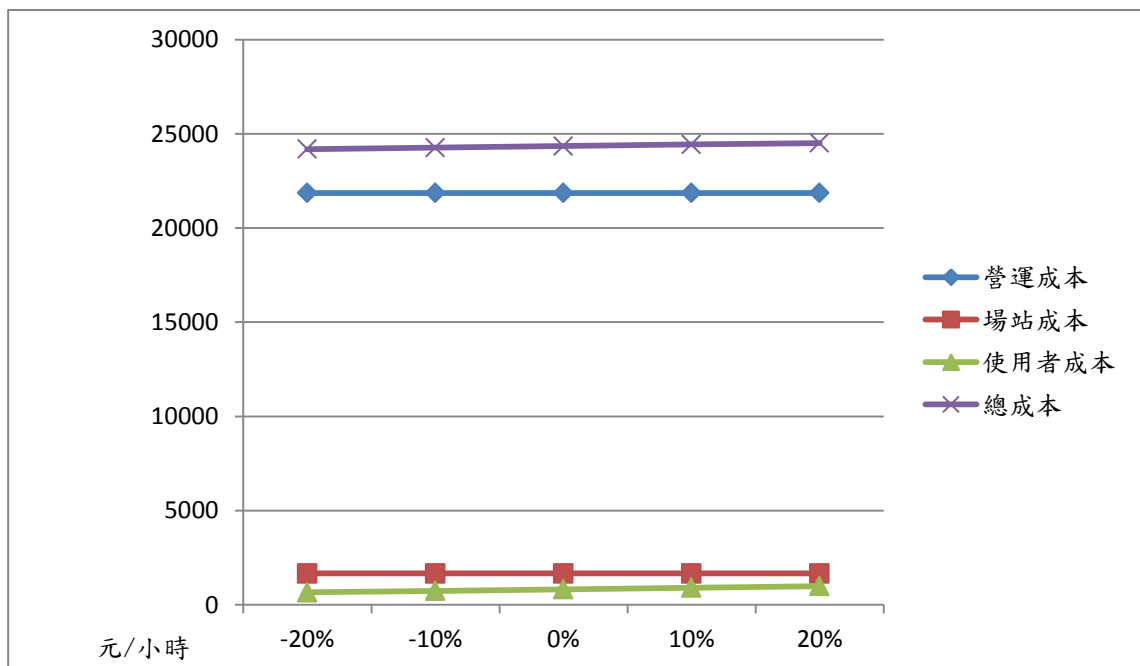


圖5.13乘客車內旅行時間價值敏感度分析

表5.22為各項成本的比較，圖形如圖5.13所示。表5.21為乘客車內旅行時間價值的敏感度分析結果，由表中可看出，僅有使用者成本呈線性之正向關係，且總成本呈微幅之正向關係。

乘客車內旅行時間價值和營運成本、場站成本、車輛數與場站數量皆無關係，與場站區位選擇也無關係。使用者成本改善幅度最大，測試乘客車內旅行時間價值影響模式的結果，僅有車內使用者旅行時間隨著乘客車內旅行時間價值提高而線性增加，但由於使用者成本提高之比例不多，導致總系統成本上升幅度不顯著，如圖5.13所示。

## 5.10 討論

綜合以上各小節，分別針對系統總成本、營運成本、場站成本、使用者成本與車輛數場站數量可以歸納出以下結果：

對於系統總成本來說，需求人數、車輛乘載人數、車小時成本此三項變數之敏感度較明顯。當需求人數長增加20%，總成本會上升32%；當車輛乘載人數上升43%時，總成本會下降34%；當車小時成本增加50%，總成本會上升45%。

對於場站成本來說，場站固定成本之敏感度較明顯。當場站固定成本增加20%，場站成本會上升18%。使用者成本方面，乘客車內旅行時間價值、車輛行駛速率此兩項變數之敏感度較明顯。當乘客車內旅行時間價值上升20%時，使用者成本會上升20%；當車輛行駛速率減少20%，使用者成本會上升25%，呈現反向關係。

其餘參數之敏感度則較不明顯，如整備時間間隔、幹線集散行駛速率比率、集散行駛速率、場站固定成本、車輛相關變動成本、乘客車內旅行時間價值，其變動20%，總成本之敏感度皆小於5%。


## 第六章 結論與建議



### 6.1 結論

本研究兼顧營運者及使用者成本，分別以「營運總成本」及「系統總成本」最小化作為目標函數，根據二元整數規劃法模式之架構，分析特定需求條件下，最佳之復康巴士場站區位與服務範圍，同時利用模式求解出各場站最佳車隊規模，模式經台北市復康巴士實例驗證具有實用性。僅將具體結論與建議分述如後。

1. 透過以台北市案例分析，需求總人數為每小時92人情況下，最佳化營運總成本為23520.1元/小時，最佳化系統總成本為24347.2元/小時，為滿足服務需求，在台北市必須設置5個復康巴士場站、共需車輛數37輛，而其場站區位由北而南依序為北投區、士林區、內湖區、萬華區及文山區。
2. 由於場站設置位置受到服務範圍內需求人數影響，因此本研究在維持台北市總需求人數為每小時92人之情況下，改變行政區域間之需求密度。將台北市行政區域分為低、中、高三種密度等級，並以0.34 (person/ km<sup>2</sup>) 與0.76 (person/ km<sup>2</sup>) 為基準。從需求集中到分散這段過程中，場站設置數量皆為5個場站，需求集中時有2個場站起初皆設置在高密度區，後來由於需求分佈的轉變，而改為設置在中密度區與低密度區。隱含著由於需求集中，而因應需求將場站設置於需求密度較高之行政區，藉由營運成本降低讓總成本也降低；而隨著需求逐漸分佈均勻，場站也逐將設置於設站成本較低之行政區。在比較需求集中與分散的情況下，完全均勻分配的總系統成本、營運成本以及車輛數最多。為了服務各區之需求，車隊規模會增加，營運成本也由於需求分散，需求間行駛距離而增加了。場站成本則會因應車隊規模數而變化，需求集中時，場站成本較低，此係在需求集中時，車隊規模較少之緣故；而需求完全均勻分配時，由於此時場站區位選擇對營運成本影響較小，所以即使所需車隊規模數最多，場站成本仍然相對較小。

- 
3. 本模式在限制場站數目分別為為1至3不同模式下進行最佳化分析，結果與原本台北市實際狀況下的結果做一比較。當限制場站數目為1之情形下，共需車輛數39輛，而其場站區位為松山區，在此情況下，最佳化營運總成本為26889元/小時，最佳化系統總成本為27516元/小時。而當限制場站數目為2之情形下，共需車輛數38輛，而其最佳場站區位為士林區與文山區，在此情況下，最佳化營運總成本為24923元/小時，最佳化系統總成本為25750元/小時。當限制場站數目為3之情形下，共需車輛數37輛，而其最佳場站設置地點為士林區、萬華區與文山區，在此情況下，最佳化營運總成本為24113元/小時，最佳化系統總成本為24940元/小時。當設施限制數量越小時，營運成本的比例較原來增加，這是因為地點限制導致需求的選擇服務範圍被受限，進而導致運輸距離提高。本案的分析結果顯示出，不論限制場站數量較少或較多，營運成本與總成本皆較高，而使用者成本因為與場站位置無關，不會因為場站數量之限制而有所改變。
  4. 由於場站位置與數量受到需求人數之影響，因此本研究對於需求人數逐漸上升之情形下，來比較A、B兩種方案之成本差異。A方案為在保持現有場站區位之情況下，以擴增其它場站來因應需求增加，而B方案為直接以最佳化結果建設場站，重新調整所有場站位置來因應需求的增加。當每小時總需求為112人、132人、145人與191人時，A方案需要擴增場站，經由模式比較後顯示，不管總需求人數為多少人時，使用模式中最佳化結果之系統總成本會低於保留場站擴增之結果，且差異不大於2%，表示在保持現有場站之情況下，擴增其它場站雖然成本較高，但差異不大，此一分析結果可以做為選擇適合場站之參考。
  5. 敏感度分析包含服務區域分區需求人數、整備時間間隔、車輛行駛速率、車輛乘載人數、場站固定成本、車輛相關變動成本、車小時成本、乘客車內旅行時間價值等多項。正向關係來說，其中總需求人數與車小時成本，此兩項

變數對營運成本與系統總成本敏感度較高；場站固定成本此變數對場站成本敏感度較高；使用者乘客車內旅行時間價值與總需求人數則對使用者成本敏感度較高。就反向關係的話，車輛乘載人數對營運成本、系統總成本與車輛數敏感度較高；而車輛行駛速率則對使用者成本敏感度較劇。

6. 本研究規劃之復康巴士最佳化區位選擇模式，其可充分反應當一區域內具有需求密度分佈變化之情形，另透過實際數值分析得到之最佳化場站區位以及車隊組成規模之設計可驗證本模式之合理性及適用性。因此透過本研究建立之模式及分析結果，可在規劃階段提供復康巴士業者最佳化設計之參考。
7. 本研究藉由Danganzo學者之公式將車輛途程規劃引用至區位選擇問題上，經由案例分析後證實可進行大規模問題的應用，於分區大尺度的問題中，求解速度較快。


## 6.2 建議

1. 本研究建立模式適用於各地區具有明顯需求密度區分之區域，在未來業者規劃拓展復康巴士服務時，可協助進行分析找出最佳化的場站區位結果。而模式之架構，亦可應用於一般需求反應式公共運輸場站區位之選擇。
2. 本研究於模式建構上，僅以場站最佳位置及服務範圍為決策變數，建議後續研究可對每趟次車輛最適乘載人數進行分析，使模式之應用上更貼近實際。
3. 本研究對於復康巴士是否要在現有場站下進行擴增或直接以最佳化結果建設場站進行比較，然而分析僅選擇部分變數進行數值調整以觀察其兩者成本變化，建議後續研究可進一步考量場站改建時所需遷移等其他成本一併考慮。
4. 本研究由於無法取得需求實際資料，如果未來業者可以提供相關資訊，那麼在參數可以做精確的調整之下，就不用採用估計值，可以使模式更符合實務狀況。
5. 本研究建立之模式適用於規劃階段決定場站區位、各場站服務範圍以及最適車隊數，對於營運階段之系統設計，則值得進一步研究分析。

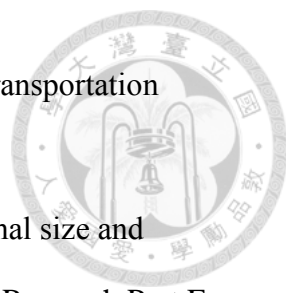
## 參考文獻





1. C.H. Aikens, "Facility location models for distribution planning," *European Journal of Operational Research*, Volume: 22, pp. 263-279, 1985.
2. A. Attanasio, J-F. Cordeau, G. Ghiani and G. Laporte, "Parallel tabu search heuristic for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem," *Parallel Computing*, Volume: 30, pp. 377-387, 2004.
3. G. Berlin, C. ReVelle and D. Elzinga, "Determining ambulance—Hospital location for on-scene and hospital service," *Environment and Planning Part A*, Volume: 8, pp. 553-561, 1976.
4. S. K. Chang and P. Schonfeld, "Optimization models for comparing conventional and subscription bus feeder services," *Transportation Science*, Volume: 25, pp. 281-298, 1991.
5. J. F. Cordeau and G. Laporte, "A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem," *Transportation Research Part B*, Volume: 37, pp. 579-594, 2003.
6. C.F. Daganzo, "An approximate analytic model of many-to-many demand responsive transportation systems," *Transportation Research*, Volume: 12, pp. 325-333, 1978.
7. C. F. Daganzo, "The distance traveled to visit N points with a maximum of C stops per vehicle: an analytic model and an application," *Transportation Science*, Volume: 18, pp. 331-350, 1984.
8. M. Diana and M. M. Dessouky, "A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows," *Transportation Research Part B*, Volume: 38, pp. 539-557, 2004.

- 
9. M. Diana, M. M. Dessouky and N. Xia, “A model for the fleet sizing of demand responsive transportation services with time windows,” *Transportation Research Part B*, Volume: 40, pp. 651–666, 2006.
  10. European Union, “Rural transport services handbook,” European Union, 2002.
  11. L. Fu and S. Teply, “On-line and off-line routing and scheduling of dial-a-ride paratransit vehicles,” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Volume: 14, pp. 309–319, 1999.
  12. E. Feuerstein and L. Stougie, “On-line single-server dial-a-ride problems,” *Theoretical Computer Science*, Volume: 268, pp. 91–105, 2001.
  13. L. Fu, “A simulation model for evaluating advanced dial-a-ride paratransit systems,” *Transportation Research Part A*, Volume: 36, pp. 291–307, 2002.
  14. X. Li and L. Quadrioglio, “A methodology to derive the critical demand density for designing and operating feeder transit services,” *Transportation Research Part B*, Volume: 43, pp. 922-935, 2009.
  15. S. M. Nourbakhsh and Y. Ouyang, “A structured flexible transit system for low demand areas,” *Transportation Research Part B*, Volume: 46, pp. 204–216, 2012.
  16. G. F. Newell and C.F. Daganzo, “Design of multiple-vehicle delivery tours-- I a ring-radial network,” *Transportation Research Part B*, Volume: 20, pp. 345-363, 1986.
  17. S. H. Owen and M. S. Daskin, “Strategic facility location : A review,” *European Journal of Operational Research*, Volume: 111, pp. 423-447, 1998.
  18. W. Rodman, “Optimal split of dedicated and nondedicated service for demand-responsive paratransit: case study report, ” *Transit Cooperative Research Program*, *Transportation Research Board*, 2006.



- 
19. D. M. Stein, "Scheduling dial-a-ride transportation systems," *Transportation Science*, Volume: 12, pp. 232-249, 1978.
  20. E. Taniguchi, M. Noritake, T. Yamada and T. Izumitani, "Optimal size and location planning of public logistics terminals," *Transportation Research Part E*, Volume: 35, pp. 207-222, 1999.
  21. 內政部統計處，<http://www.moi.gov.tw/stat/index.aspx>。
  22. 內政部不動產之資訊平台，<http://pip.moi.gov.tw/>。
  23. 台北市公共運輸處，<http://www.pto.taipei.gov.tw>。
  24. 行政院研究發展考核委員會，<http://www.rdec.gov.tw/mp100.htm>。
  25. 李治綱，「應用雙層次規劃於高速鐵路列車服務設計之研究」，*運輸計劃季刊*，第三十一卷，第一期，第95-120頁，2002。
  26. 辛孟鑫，撥召運輸系統路線規劃問題之研究—以台北市復康巴士為例，*國立成功大學交通管理科學系碩士班碩士論文*，2005。
  27. 李昶晏，都市垃圾清運路徑優選之研究，*逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文*，2010。
  28. 周義華、張玉君，「公車系統最適車型及車輛數之研究」，*運輸*，第二十七期，第9-34頁，1995。
  29. 林世昌，結合啟發式演算與空間分析於物流中心區位選址之研究—以大潤發量販店為例，*國立臺北大學不動產與城鄉環境學系碩士班碩士論文*，2007。
  30. 林楨家、孫小予，「高齡者住宅社區之區位規劃模式」，*建築與規劃學報*，第十三卷，第一期，第1-26頁，2012。
  31. 香港復康會巴士服務網站，<http://www.rehabsociety.org.hk/c/rehabus/>。
  32. 洪子盛，以模糊多目標規劃法求解消防站配置問題之最佳化，*國立成功大學工業管理系碩士班碩士論文*，2003。

- 
33. 張學孔，「最小社會成本與最大社會福利：兩個大眾運輸系統最佳化目標」，運輸季刊，第九期，第133-142頁，1990。
  34. 張學孔、張美香，「捷運路線之接駁公車網路設計」，運輸，第二十三期，第31-49頁，1994。
  35. 陳惠國、林正章等人，運輸網路分析，五南圖書出版公司，2001。
  36. 許哲璋，都會區大眾運輸整合聯運下費率與服務水準之最佳化，國立臺灣大學工學院土木工程學系博士論文，2002。
  37. 張亦寬，以雙層次數學規畫建構旅客需求導向之票價模式—以台灣高鐵為例，國立成功大學交通管理科學系碩士班碩士論文，2004。
  38. 康書嫻，需求反應運輸營運模式之模擬分析，淡江大學運輸管理學系運輸科學系碩士班碩士論文，2005。
  39. 黃書強、王穆衡等人，先進大眾運輸系統(APTS)整體研究發展計畫—撥召公車營運管理之整體規劃暨示範計畫：以臺北市復康巴士為例，交通部運輸研究所，2006。
  40. 黃漢瑄，撥召服務最佳化指派作業之研究，淡江大學運輸管理學系運輸科學系碩士班碩士論文，2006。
  41. 陳穎萱，金酒公司台灣地區物流中心區位分析，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，2007。
  42. 張學孔、陳武正、賴以軒等人，發展桃園縣需求反應運輸服務，桃園縣政府與中華智慧型運輸系統協會合作專題研究報告，2009。
  43. 張學孔、王穆衡等人，需求反應式公共運輸服務整合型研究(3/3)，交通部運輸研究所與中華智慧型運輸系統協會合作研究報告，2011。
  44. 張學孔、蔡欣芸、陳德紹，彎繞型需求反應式公共運輸服務之系統最佳設計，中華民國運輸學會學術研討會論文集，2012。

- 
45. 馮正民、黃新薰，「城際複合物流運輸鐵路轉運中心最適區位模式」，運輸計劃季刊，第三十四卷，第四期，第469-500頁，2005。
46. 楊博文，配合大眾捷運系統之接運公車營運計劃整合之研究--分析數學法與多目標規劃法之應用，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，1991。