

# 目錄

摘要.....	III
ABSTRACT.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
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 研究範圍與假設.....	3
1.4 研究方法與步驟.....	4
1.5 研究流程與架構.....	5
第二章 文獻探討.....	6
2.1 差別訂價模式.....	6
2.2 需求分析.....	9
2.3 基因演算法簡介.....	13
2.4 在運輸價格模型上的相關文獻.....	19
第三章 研究方法.....	21
3.1 研究模型建立.....	21
3.2 高鐵站間旅運需求函數.....	23
3.3 高鐵營運收益最大化之站間差別訂價模型.....	25

3.4 基因演算法求解.....	32
第四章 系統實作與評估.....	36
4.1 個案介紹.....	36
4.2 個案資料說明與系統參數設定.....	41
4.3 最佳化求解結果與分析.....	46
4.4 營運策略調整.....	53
第五章 結論與未來研究方向.....	53
5.1 結論.....	54
5.2 建議.....	54
參考文獻.....	55

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	5
圖 2.1 相同市場下需求彈性對價量及收益的變動關係.....	12
圖 2.2 不同市場下需求彈性比較 .....	13
圖 2.3 基因演算法的基本執行程序.....	15
圖 3.1 系統架構圖.....	22
圖 3.2 羅吉特運具選擇模式架構圖.....	24
圖 3.3 營運容量限制評估.....	27
圖 3.4 營運限制條件下可能運載人數示例 .....	28
圖 3.5 營運容量限制下站間旅次需求限制.....	28
圖 3.6 費率折扣與營運收益的關係.....	31
圖 3.7 染色體結構圖.....	32
圖 3.8 站間旅運需求陣列.....	33
圖 3.9 高鐵最大收益之站間差別訂價演化流程.....	35
圖 4.1 民眾搭乘高鐵的主要往來車站.....	37
圖 4.2 民眾對高鐵票價合理性的看法.....	38
圖 4.3 區間承載率比較圖.....	49
圖 4.4 營運策略調整的各項因素相互關係圖 .....	53

## 表目錄

表 2.1 運具路線與班表規劃的影響因素.....	18
表 2.2 不同探討角度之運輸價格模型的相關文獻.....	20
表 4.1 高鐵旅運需求量.....	37
表 4.2 第一階段(2007年-2009年) 高鐵停站方式表.....	40
表 4.3 高鐵 96 年 7 至 10 月各起迄站間平均旅量.....	41
表 4.4 高鐵 96 年 11 至 97 年 2 月各起迄站間平均旅量.....	42
表 4.5 高鐵各起迄站間標準座艙原訂票價表.....	42
表 4.6 修正不同車種之未停站點後各起迄站間可能容納的最大容量.....	43
表 4.7 高鐵各起迄站間里程表.....	45
表 4.8 高鐵各起迄站間編號表.....	45
表 4.9 基因參數設定表.....	46
表 4.10 全面單一折扣訂價與站間差別訂價法比較.....	47
表 4.11 全面單一折扣訂價之區間承載率.....	47
表 4.12 站間差別訂價下區間承載率.....	49
表 4.13 站間差別訂價下各起迄站間需求量.....	50
表 4.14 站間差別訂價下各起迄站間座位配置比例.....	50
表 4.15 站間差別訂價下各起迄站間最適折扣.....	51
表 4.16 各起迄站間平均每公里費率.....	52
表 4.17 站間差別訂價下各起迄站間最適票價.....	52

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

運輸產業在追求收益最大化的目標時，主要是經由「票價規劃」及「座位管理」兩個面向來配合市場供需的調整。新進入市場的運輸產業，由於需求尚未穩定，新運具票價規劃的良窳，會直接影響營運者的營運收益，以及市場需求的擴張機會。此外，就列車營運特性而言，同一班次列車的座位利用，會因為旅運者起迄旅程不同而重複使用，這有別於航空艙位單起迄站點的規劃方式。相形之下，列車的座位管理也就更加的複雜，且各站間的旅運需求也會直接關係到站間座位量配置的策略規劃，因此，「票價規劃」及「座位管理」透過「旅運需求」的關連，形成了互動的影響。在運輸產業不可儲存(Nonstorable supply)特性來說，若站間座位供給大於旅運需求，空位就會造成營運設備的閒置浪費，也就是成本的損失；而若站間旅運需求大於座位供給時，無法提供的需求滿足，會造成票箱收入的減少，也就是收益的損失。

差別訂價為運輸業訂價方法中的一種，就最佳訂價的觀點而言，市場訂價應由營運者的供給成本，與旅運者使用運具所帶來的效益共用來決定，故當市場存在單一費率時，隱含的是供給成本與旅運者獲得的效益並未有差異。然而事實上，旅運者需求特性不同，旅運過程中獲得的效益也會不同，營運者為爭取更大的收益，往往針對不同旅運特性，以差別訂價的方式提高承載量以獲取更多的收益。例如，以使用者身分別訂定全票或優待票，或依購買數量的不同，有團購票或來回票等不同票種。而依使用時段的不同來訂定差異費率，也是常見的差別訂價模式之一。差別訂價模式運用得當才能使營運者的收益增加。利用不同的票價費率來提高承載量未必絕對對營運獲利有所幫助，若承載旅運多來自低費率的旅運者，高費率等級的旅運者無法被服務，則會造成額外收益流失，對營運效率而言也是一項損失。因此，在差別訂價模式中，不同市場的需求量分配，是必須與費率同步考量的。

國內運輸市場在台灣高速鐵路加入營運以後，旅運市場的需求已有明顯的變化，但就市場結構而言，運輸市場仍屬於寡占型的市場特性。相同性質的運具在不同起迄站間，大約也只3或4種替代選擇。此外，就舊有長期均衡的旅運市場來預測高鐵需求量，會使新運具在初期進入市場時，因需求不足，

易造成營運虧損。而影響需求量最直接的因素就是票價，若票價費率能配合調整，承載率勢必能有效且快速的提升。是故，票價折扣變成是短期市場價量調整的最好模式。起迄站間差別訂價法考量各站間旅運需求特性的不同，除了能有效透過剝削更多消費者剩餘，獲得更多收益外，在短期營運策略受限於成本投入而無法隨意調整下，能藉由不同的需求吸引，使承載率提升，縮小營運成本損失。

在一般經濟訂價理論中，因長程起迄站間的旅運價值高於短程的旅運價值，所以長程票價費率應高於短程票價費率；再以需求角度來看，需求高的市場訂價應大於需求少的市場。而在運輸訂價理論中，也存在許多不同的訂價原則可以考量，以不同原則下，就會造成票價費率的變動影響。舉例來說，在普遍鐵路遞遠遞減費率訂定原則(Tapering rate pricing)下，運距越長每單位的里程費率愈小，使得長程列車行駛的單位邊際效益會小於短程的。若以尖離峰訂定原則來考量，由於兩個購買單位的需求強度不同，在實施差別訂價後，需求大的市場應提高其票價；需求量小的則應降低其票價…。因此，在種種考量因素交叉影響下，營運者如何適當且有效益的規劃不同起迄站間的票價以及座位量的分配，來獲取較多的收益，是起迄站間差別訂價的研究主題之一。因此，本研究將以起迄站間差別訂價為研究方向，除了因文獻上起迄站間差別訂價模式探討甚少外，高鐵初期的營運背景，同樣也滿足起迄站間差別訂價法應用於短期價量調整的各種條件。而在營運策略固定下，營運者追求收益最大化目標的同時，各站間的最適價量組合，將透過基因演算法求解得出，提供營運者營運管理之參考。

## 1.2 研究目的

基於上述研究背景及動機，本研究結果可提供高鐵運輸在短期營運資源有限下，調整市場供需變動的營運規劃。本研究預期貢獻有：

1. 以旅運需求特性的角度，考量各站間需求的差異，透過對不同站間票價的折扣，以滿足各站間更多的旅運需求，提高大眾運輸資源有效的運用及分配。
2. 以站間差別訂價的方式獲得更多的旅運需求量，提高營運設備投入的利用率，並獲取更高的營運收益，減少營運虧損。

3. 經由各站間旅運者對票價敏感度的衡量，得出在現有營運策略下，滿足最大營運收入時，各站間座位需求比例，以提供營運者於未來售票時，規劃站間座位量配置時的參考依據。
4. 在規劃各站間座位量配置時，加入各站基本服務水準，以滿足大眾運輸政策在提高社會公共福利上的目的。

### 1.3 研究範圍與假設

本研究以差別訂價理論為基礎，欲建立列車起迄站間不同的費率模式，以調整單一費率結構下，站間供需不平衡造成營運收益損失的結果，而廠商從事差別訂價(Price discrimination)需滿足以下條件(張有恆, 1999)：

1. 廠商必須面對向下傾斜的需求曲線，即產品的需求與其價格成反比。
2. 兩個或兩個以上的購買團體，必須能在某一成本下區分開，該成本不超過區分他們所能帶來的收入。即廠商能夠以合理的成本進行市場分割(Ability to segregate markets)，並且能阻止不同購買團體之間，賤買貴賣的轉賣行為。
3. 不同的購買團體對產品的需求彈性必須不同(Different elasticity of demand)，並且為廠商所知。

此外，本研究以高鐵營運為例，蒐集交通部公佈之各項旅運統計資料為研究數據來源，資料時間範圍為台灣高鐵公司自民國96年7月通車起日到民國97年2月的月公佈數據。旅運需求函數考量的替代運具，依不同起迄站間包括有航空、台鐵、國道、自用客車不一。研究範圍設定為在高鐵短期營運策略固定以及設備資源有限下，檢視在不同站間市場需求指派下，收益最大化時的營運策略規劃，因此本研究考量的營運資訊包括：

- (1) 高？費率結構：基本訂價模式及費率 核准費率調整範圍 折扣因子。
- (2) 營運行程規劃：營運站點、停站方式、高鐵容量。

限制條件方面，也同時考量大眾運輸政策提高社會公共福利的目的，整體而言演算系統的假設還包括：

- (1) 營運策略固定以及設備資源的限制。
- (2) 不考慮需求隨機性問題。
- (3) 不考慮任何非預期狀況及事件。

## 1.4 研究方法與步驟

本研究藉由建立高鐵不同起迄站間的市場需求函數，透過各站間旅運者對票價折扣的敏感性不同，以站間差別訂價法的方式，搭配基因演算法求解短期營運條件固定下，營運者的最大化營收目標。並期望透過基因演算法，有效調整新運具在進入市場初期，供需價量尚未穩定平衡時，營運資源出現閒置利用或供不應求的結果。本論文之研究步驟如下：

### 1. 推導不同起迄站間市場需求函數

以交通部所公佈之各運具運量統計數據，運用羅吉特模式推估高鐵各站間需求函數。

### 2. 估計各站間不同價格折扣下的旅運量及彈性

在政府基本核定費率及營運成本為基礎考量下，建立離散型價格折扣選擇模式，來估計各站間不同價格折扣下的旅運量，各組價量關係所形成的需求彈性，代表含義為旅運者對運具需求的敏感指數，本研究利用此敏感指數做為票價費率調整的依據，有效建立收益最大化的營運決策。

### 3. 建構高鐵營運收益最大化之站間差別訂價模型

站間差別訂價，仍是利用不同起迄站間市場需求函數獨立的條件，建立出營運者總體收益最大化模型，除了直接考量旅需求面的條件外，營運供給面的條件同樣要配合給定，以找出市場供需平衡的價量關係。在本研究中，營運供給面的條件設定為短期營運設備固定、營運資源有限下的模型環境，以符合實際市場運作的情況。考量的營運資訊包括有：高、低費率結構以及各項營運行程規劃，最後利用基因演算法求解分析。



#### 4. 基因演算法求解

以基因演算法求解站間差別訂價模型，包括最大營運收益、各起迄站間最適折扣票價、各起迄站間需求量、各起迄站間座位量配置比例、營運容量總利用率，並透過演算法參數設定的調整，分析演化過程。最後利用所獲得的各項營運結果，與單一費率訂價模式比較驗證。

### 1.5 研究流程與架構

本研究論文的內容共分五章：第一章說明本研究內容的背景、動機、目的、範圍、方法與步驟等相關內容；第二章針對本研究所涉及相關文獻加以探討，包括差別訂價理論、旅運需求分析、基因演算法以及相關旅運文獻的回顧；第三章根據本論文之研究目的與文獻探討所得的啟發，提出站間差別訂價應用於高鐵營運規劃之系統架構，並詳細闡述系統各項機制之設計與演算運作的方式；第四章為系統實作結果與分析；第五章則根據本研究所得之結果，說明研究結論與未來發展方向。本論文的進行流程如圖 1.1。

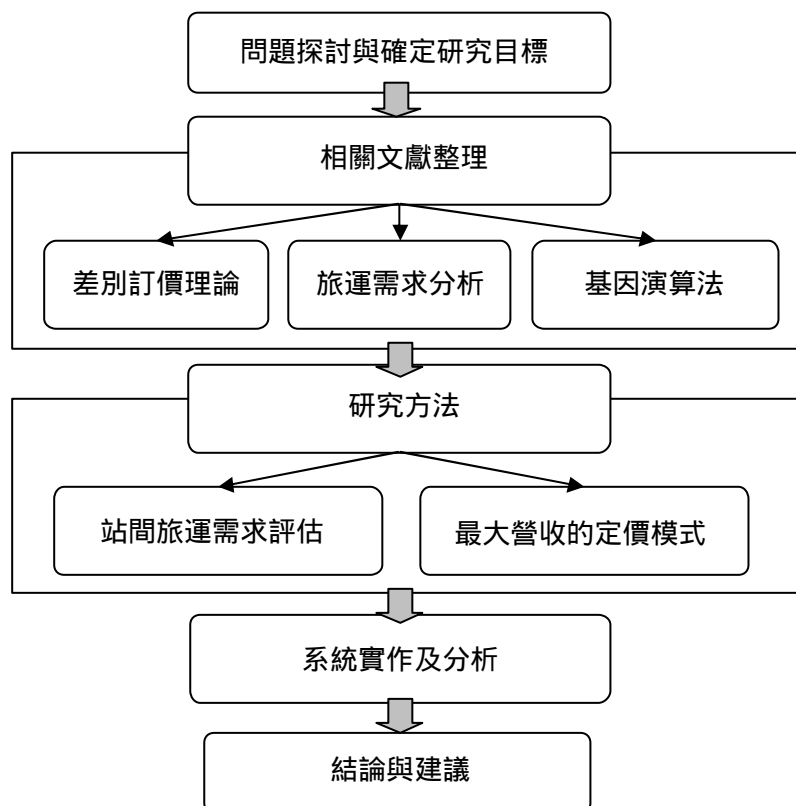


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻探討

### 2.1 差別訂價模式

在產品市場裡，有關廠商的行為，大致上可分為二種，一種是廠商為價格接受者 (Price taker)，一般是指完全競爭市場，而另一種是廠商為價格的決定者 (Price maker)，一般是指獨佔、寡占及壟斷競爭市場，雖然在這些市場結構下各有其長期均衡的訂價法則，然而只要廠商有價格的決定權，就可以採取差別訂價 (Price discrimination) 的方式，使利潤擴增。換言之，就是利用消費者對商品存在不同的需求性，以大小通吃的方式來剝奪消費者利餘，以獲取更多的利潤收益。

常見運輸上的差別訂價的概念兩類：一種是因為供給面之營運成本或服務品質有差異而造成的訂價差異 (Price difference)。例如，依列車停站多寡區分的車種差異訂價、或依座艙等級區分的品質差別訂價。另一種是因需求面為異質存在，廠商為了爭取更多利潤，在不同的需求市場中採取不同價格，或對不同的消費者採取不同價格。此種訂價差異又稱價格歧視 (Price discrimination)。例如，依時間擁擠程度訂定的尖離峰差別訂價、依空間擁擠程度訂定的空間差別訂價，或者依購買數量訂定購買數量差別訂價...等等。上述兩種差別訂價的概念應用於運輸產業中已被普遍地接受，相關研究從早期理論及適用性的探討，到近年以間斷型選擇模式，探討差別訂價對旅運者選擇行為的影響，研究對象涉及航空、鐵路、客運、計程車、捷運、道路擁擠收費，以及停車收費等等。由於軌道運輸供給具有不可儲存 (Nonstorable supply) 的特性，加上車輛與場站設備等沉沒成本龐大，在滿足旅客需求的多樣性下，營運者必須對其費率設計多做考量，以求取營運收益的增加或不虧損。因此軌道運輸除了多元服務的提供外，在各種服務的費率訂定上，差別訂價政策的良劣，將會是影響獲利的重要因素。

本文研究方向主要針對不同起迄站間的旅運需求，來修正現有市場單一費率票價結構。是故，探討的差別訂價模式，是以價格歧視 (Price discrimination) 的概念為主，差別訂價定義與相關運輸上的文獻，詳細整理如後述兩小節。

### 2.1.1 差別訂價定義

來自不同需求市場差別訂價(Price discrimination)可劃分成三個層級：(1) 第三級差別訂價：依照消費者性質，區分不同市場，將顧客分群訂價，如尖離峰差別訂價、空間差別訂價。(2) 第二級差別訂價：按照消費者購買數量的大小索取不同的價格，如購買數量差別訂價。(3) 第一級差別訂價，又稱完全差別訂價(Perfect price discrimination)：價格隨著每個消費者願意付出的最高價格而訂價，如拍賣 (Bid)。而廠商欲從事差別訂價需滿足以下條件(張有恆，1999)：

1. 廠商必須面對向下傾斜的需求曲線，即產品的需求與其價格成反比。
2. 兩個或兩個以上的購買團體，必須能在某一成本下區分開，該成本不超過區分他們所能帶來的收入。即廠商能夠以合理的成本進行市場分割 (Ability to segregate markets)，並且能阻止不同購買團體之間賤買貴賣的轉賣行為。
3. 不同的購買團體對產品的需求彈性必須不同 (Different elasticity of demand)，並且為廠商所知。

因此，差別訂價原則為，在價格敏感度較高的市場，費率訂價應較低，可以減少替代行為的產生；而在價格敏感度較低的市場，費率訂價較高，可剝削更多消費者剩餘，獲得更多收益。

### 2.1.2 運輸上差別訂價的相關文獻

常見於運輸產業的差別訂價(Price discrimination)模式有：時間差異訂價、空間差異訂價、數量差異訂價等、車種不同的差別訂價...等等。在運輸文獻的第三級差別訂價中，討論最多的是時間差別訂價。時間差別訂價的型態從文獻可歸納為兩種型態。一種是尖離峰差別訂價 (Peak / Off-peakfare differential)，無論是由單日的晨峰、昏峰、離峰來區分，或是以一週的平常日、週末、假日為單位，更甚以連續假期，季節性變化者，都是尖離峰差別訂價的型態。早期研究認為，尖離峰旅運者搭程運具的單位距離邊際成本不同，由高邊際成本的旅運者支付較高額票價，符合社會公平正義，並且可讓列車及車站供給容量，獲得更有效的分配。然而，近年來更多研究顯示，尖

離峰旅客對票價折扣的敏感性不同，使得最後營運量及成本收益的結果不一 (Cervero, 1986)，在 Cervero (1990) 與 Bianchi et al. (1998) 的研究更直接提出，透過尖離峰差別訂價來疏通運輸擁擠量的效果有限，因為很少旅運者會將其對運具的需求，由尖峰改至離峰。相關的文獻還有 Burris 和 Pendyala 在 2002 年的研究，這類的文獻是以時間差別訂價對旅運需求面的影響來做探討。而尖離峰時間差別訂價在營運供給面的研究，則有最大化營運收益，以及最適停站模式、排班、發車頻率等... 列車服務設計問題。例如，Wheeler (1988)、Chang (2000)、蘇霜吉 (2006)，以旅運者需求時間不同，規劃各級列車的發車頻率以及行運路線。而在公經政策上，Lovely and Brand (1982) 則指出這樣的大眾運輸訂價策略，是無法對低收入旅客帶來公平效益的。

由上可知，尖離峰差別訂價，無論就旅運需求效益，或就營運收益提高、社會公平的實現，其效果有限。而目前，尖離峰差別訂價在國內實務應用上，只有在高速公路運輸系統上可見尖峰降價策略(重大節日停止收費)，而尖峰漲價策略，在國內外更是從未使用過。

另一種時間差別訂價，在於營運者以不同折扣與時間限制，吸引對票價與時間敏感程度具差異性的旅運者。此種定價模式類似拍賣 (Bid) 手法。Botimer (1996) 的研究指出，對旅行有較高價值的旅運者，較傾向於重視購票時的可獲性 (Availability) 與購票時間限制的彈性，而願意支付較高的票價費率；對於旅行給予較低價值的旅運者，則對票價費率較為敏感。在 Weatherford (1992) 的文獻中可看到此類型的訂價模式應用在航空收益上的探討。同一班次、同一艙種，或者同一旅程的旅運者，可因對航空公司訂位時間的不同，付擔不同的票價費率，而營運者則透過不同的票價組合以及座位規劃，來獲取較佳的收益。

### 2.1.3 小結

在上述各項研究顯示，尖離峰差別訂價應用，受限於營運者單方面想藉由尖離峰差別訂價，來改變旅運需求特性。然而實際上，其成效是有限的。此外，執行尖離峰營運設備及資源條件也必須具備高度彈性，來配合尖離峰旅運需求，在營運資源有限的條件下，要達成營運收益最大化的目的，效果是有限的。因此，本研究以站間差別訂價方式，透過不同站間旅運者對運具

價格彈性的敏感度，直接反應他們對運具的需求，以調整營運者的營運策略，使之有效達到收益最大化的目的，也更符合實際市場操作的現況。

## 2.2 需求分析

需求曲線 (Demand curve) 的定義為：「某一消費者，在某一特定期間內，對某特定的物品，願意並且能夠購買之價格與購買量關係」，也就是其假設為在某一特定期間內，其它情形不變，即：(1) 消費者的嗜好不變，(2) 買者的貨幣所得不變，(3) 其他物品的價格不變。在運輸需求中，一般可歸納有來自「自然成長需求」、「選擇需求」以及「衍生需求」三種。其中衍生需求的意義為來自新運具進入整體運輸市場後，因為提高了整體運輸績效後，而吸引新的旅運需求。然而就整體經濟學角度來說需求彈性是測量需求量的變動受價格變動的敏感度。即當價格變動百分之一時需求量會變動百分之幾。以需求曲線的點彈性為例，價量之間的關係為負相關，則價格彈性可表示如(2.1)式：

$$e_d = \frac{-dq/q}{-dP/P} = -\frac{P dq}{q dp} = -\frac{d \ln q}{d \ln P} \quad (2.1)$$

其中，

$e_d$ ：需求彈性

$q$ ：需求量

$P$ ：價格

Taplin、Hensher和Smith於1999年指出，運輸需求彈性中的衍生彈性 (Generation elasticity)，在短期可近似於零，主要原因為實證上難以獲得。因此，短期對新運具的需求，主要來自於其「自然成長需求」以及「選擇需求」。而Taplin對需求彈性的推導乃是直接透過選擇彈性 (Choice elasticity) 轉換而來。首先，他令 $E$ 是一個 $n \times n$ 的需求彈性矩陣包含直接彈性 (Direct choice elasticity) 與交叉彈性 (Cross elasticity)；矩陣中的元素 $e_{ij}$ 是旅次的需求彈性； $T_i$ 為第 $i$ 種運具的旅次數； $P_j$ 為第 $j$ 種運具的價格或費率。

$$\mathbf{e}_{ij} = \frac{\partial T_i}{\partial P_j} \times \frac{P_j}{T_i} \quad (2.2)$$

令 $M$ 是相對應的一個 $n \times n$ 的選擇彈性矩陣（包含直接彈性與交叉彈性），矩陣中的元素 $m_{ij}$ 是指選擇彈性。

$$m_{ij} = \frac{\partial s_i}{\partial p_j} \times \frac{p_j}{s_i} \quad (2.3)$$

其中，

$$s_i = \frac{T_i}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}$$

令 $S$ 為一個 $n \times n$ 的運具市場佔有率矩陣，由列向量 $s_1, s_2, \dots, s_n$ 重複 $n$ 次所構成。

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & \bullet & \bullet & s_n \\ s_1 & s_2 & \bullet & \bullet & s_n \\ \bullet & \bullet & & & \bullet \\ \bullet & \bullet & & & \bullet \\ s_1 & s_2 & \bullet & \bullet & s_n \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

可將 $I - S$ 表示如(2.5)式：（ $I$ 亦為一個 $n \times n$ 的單位矩陣）

$$I - S = \begin{bmatrix} 1 - s_1 & -s_2 & \bullet & \bullet & -s_n \\ -s_1 & 1 - s_2 & \bullet & \bullet & -s_n \\ \bullet & \bullet & & & \bullet \\ \bullet & \bullet & & & \bullet \\ -s_1 & -s_2 & \bullet & \bullet & 1 - s_n \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

而 $M$ 及 $E$ 的關係可以表示為： $M = (I - S)E$ ，此方程式為不可逆，因為 $(I - S)$ 為奇異矩陣。兩者的差 $E - M = E - (I - S)E = SE$ ，對矩陣中的第 $ij$ 項來說， $(E - M)_{ij} = (SE)_{ij} = \sum_{k=1}^n S_{ik} E_{kj} = \sum_{k=1}^n S_k E_{kj}$ 。因為 $S$ 的每一列是重複的，故前式對每一個 $ij$ 項皆等於 $h_j$ 。此 $h_j$ 即稱為衍生彈性，表示如(2.6)式。

$$h_j = \sum_{k=1}^n S_k E_{kj} = \left( \frac{\partial T_1}{\partial p_j} + \dots + \frac{\partial T_n}{\partial p_j} \right) \left( \frac{p_j}{T_1 + \dots + T_n} \right) = \frac{\partial T}{\partial p_j} \times \frac{p_j}{T} \quad (2.6)$$

當總旅次數是固定時，總旅次數並不會因個別運具的價格變動而改變，此時 $h_1 = h_2 = \dots = h_n = 0$ ，且需求彈性矩陣( $E$ )=選擇彈性矩陣( $M$ )。由此例子可看出，唯有當總旅次數是趨向於固定時，如：短期旅次，就能將選擇彈性視為需求彈性來看待。但長期就無法接受此假設。

### 2.2.1 相同需求曲線下衡量需求彈性

在相同需求曲線下衡量不同價格的需求彈性，其價格( $P$ )、需求量( $q$ )、需求彈性( $e_d$ )與收益( $TR$ )的關係如圖2.1所示，當需求彈性大於1時，降價會使收益上升；需求彈性小於1時，降價會使收益上升。當需求彈性等於1時，將能獲取最大的收益。而此時價量、需求彈性與收益的關係式，說明如(2.7)式：

$$\therefore TR = P(q) \cdot q$$

$$\Rightarrow \frac{dTR}{dq} = MR = P + q \frac{dP}{dq} = P \left[ 1 + \frac{q}{P} \frac{dP}{dq} \right] = P \left[ 1 - \frac{1}{\frac{P}{q} \frac{dq}{dP}} \right] \quad (2.7)$$

$$= P \left[ 1 - \frac{1}{e_d} \right]$$

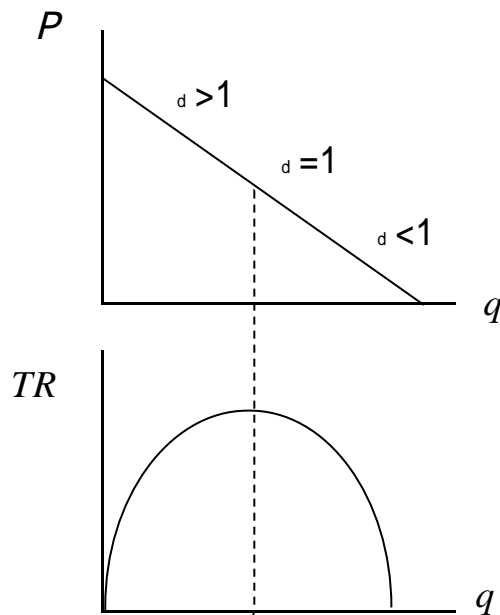


圖 2.1 相同市場下需求彈性對價量及收益的變動關係

### 2.2.2 不同需求曲線下衡量需求彈性

在不同需求曲線下衡量需求彈性，可用需求曲線的斜率來衡量比較需求彈性的大小，以公式說明為(2.8)式：

$$e_d - \frac{P}{q} \times \frac{1}{\text{斜率}} = \text{至原點連線(割線)斜率} \times \frac{1}{\text{切線斜率}} \quad (2.8)$$

以圖2.2所示，A點同時在 $D_1$ 及 $D_2$ 需求曲線上，因為A點至原點連線（割線）的斜率固定，然而 $D_1$ 的斜率比 $D_2$ 平坦，所以A點在 $D_1$ 的需求彈性必會大



於A點在 $D_2$ 的需求彈性，即 $e_d^A|D_1 > e_d^A|D_2$ 。

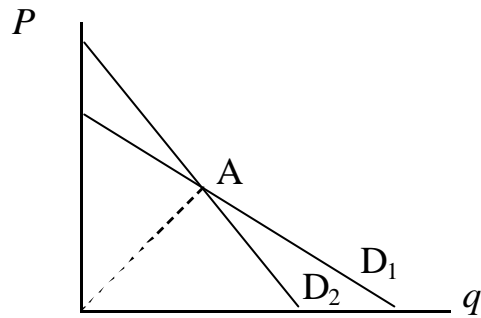


圖 2.2 不同市場下需求彈性比較

### 2.2.3 小結

第三級差別訂價的應用首要條件，就是要能區分市場，找出各別市場的需求曲線。新進入市場的運輸產業，其運輸需求的預測與規劃，一般可利用總體抽象模式，或是利用個體羅吉特模式為估計基礎，總體抽象模式是利用總體運輸市場估計，透過各區過去市場需求成長狀況來評估某起迄分區的需求狀況。而個體羅吉特模式是以個體選擇行為理論對旅運者轉移行為，來進行評估，通常利用問卷調查來詢問旅運者在相同運具相同起迄站次下，旅運者所願付之票價，當詢問出足夠多的樣本後，即可對映出價格與數量的關係，需求彈性 (Demand elasticity) 即可求得。當市場需求逐漸穩定後，足量的歷史資料與規律的市場週期變化，還可利用其它各種統計預測方法 (如迴歸法或時間序列法) 或是以人工智慧方法 (如類神經網路，灰色預測)，進行各種趨勢分析與需求推估。因此，在研究中，應隨著資料特性的轉變，來選擇不同的預測方法 (Armstrong, 2001)，因為預測資料是決定系統求算結果之信度與效度的重要影響關鍵。

## 2.3 基因演算法簡介

基因演算法 (Genetic Algorithms ; GA) 是密西根大學教授 John Holland 所提出來的一般性最佳化演算法則。其演算方式是根據達爾文進化論中，優勝劣敗和適者生存，不適者淘汰的原則，透過一些擬生物化的人工運算過程，可以有效解決各種解答空間很大、非線性、複雜、而且無法預測可能解的數學問題，是近年來發展快速及具有潛力的最佳化方法之一。基因演算法之最

佳化，配合日漸強大的電腦計算能力，已漸漸被廣泛的應用在各個領域上；如：基因排序、氣象預測、經濟趨勢預測、運輸規劃、排程問題、分類系統、控制系統工程等等，且都有不錯的成果。在實際應用的過程中，如果要使基因演算法更有效的解決問題，就必須針對各類問題，設計其表現型，以運用各類問題的相關知識，來加快其演化速度。一般基因演算法的演化過程為：

1. 隨機(Random)選定初始族群(Initial Population)。

2. 計算每個基因的適應函數。

3. 要不要停止運算？停止運算的條件為

(1) 已達到規定的運算次數(世代數)。

(2) 或適應函數已達到要求的程度。

以上屬是，則印出最佳結果及基因成員；若否，則繼續執行。

4. 開始遺傳法則，透過下面三則運算，以找出新世代(Offspring)。

(1) 利用輪盤法或競爭法選擇較佳的基因出來，是為交配池中的母代。

(2) 透過母代的隨機交配，產生新子代。

(3) 在新子代中隨機選擇一些進行突變。

5. 如果每一代中最好的基因要保留至下一代，則保留之。換言之，此基因不進行遺傳運作。

6. 跳回程序2。

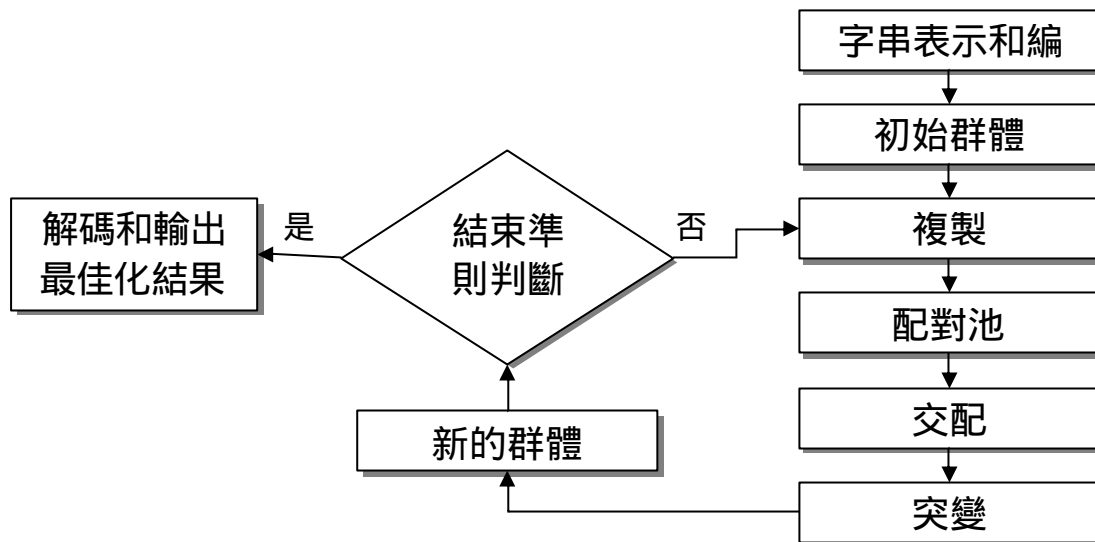


圖 2.3 基因演算法的基本執程序

基因演算法的演化過程包括幾個步驟：一、編碼(Encoding)；二、產生初始基本解，並決定母體的大小(Population size)；三、根據問題的特性，設定適應函數(Fitness function)；四、執行基因操作(Genetic operations)，產生子代(Offsprings)；五、決定參數，如交配率、突變率等、停止操作的條件；六、解碼。步驟詳述如下：

1. 編碼與解碼 ( Encoding & Decoding )：基因演算法運作的對象，通常是未能表示可行解的字串，而非決策變數本身。因此，執行遺傳演算法之前，必須透過編碼的程序，將變數轉換成固定長度的字串，在求解適應函數值之後，再將字串解碼成實際的變數。
2. 初始母體( Initial population )：產生初始母體前，必須先決定母體的大小，過大會耗費過多的計算時間，太小則有太早收斂之虞。此母體包含多個字串，其中每個字串代表一組問題的可行解，此母體即為初始基本解。接著再從各字串間，多方向的演化，產生較佳的下一代。初始基本解的產生，可為隨機產生，或由啟發式解來產生。
3. 適應函數 ( Evaluation fitness function )：自然界群體演進的方向，是朝著更適合生存的染色體發展，產生更合適生存的染色體。也就是說，適應力強的染色體生存較久，而且得以有機會來繁衍新一代。而基因演算

法正是以適應度來衡量每一個字串(一組解的適應度),並以群體中的每個字串的適應值,作為該字串被選取或淘汰的依據。因此,在最佳化問題的運用時,通常會有一目標函數來對應適應函數,用來表示問題最佳化的達成程度。適應值愈佳者,愈有被選取的機會;反之,愈差者愈容易淘汰。因此,演算法的結果,將是反應適應函數所期望的結果,若適應函數設定的理想,結果就好;適應函數定的不恰當,結果就會有偏差。

4. 複製 (Reproduction) : 所謂複製,是指將群體中的字串,根據其應值大小,將字串完全複製置放於配對池。而適應值高的字串,則有較高的被選取的機會。選擇字串的方法,常見者有輪盤法(Roulette wheel selection)及競爭法(Tournament selection)。前者先計算出所有字串的總適應值,透過隨機選擇一個實數,使依序相加的字串適應值大於或等於實數時,則最後列入的該字串,即被選為產生下一代的父母串集。後者的方式是將上一代中適應值最高的字串,直接複製到下一代,當成一個個體。如此可避免好的基因經遺傳運算給捨棄,也可確保最終的解是整個求解過程的最佳解。
5. 交配 (Crossover) : 交配過程是在配對池中,隨機挑選兩個字串,再利用亂數的方法,透過交配機率選定某個位置,將字串切割成兩段或數段字元,兩字串彼此交換切割後的某段字元,產生新一代的字串,這就是整個交配的過程。
6. 突變 (Mutation) : 突變過程是隨機選取一個個體,並且隨機選取突變點,然後改變個體裡的基因,其主要目的是避免過早收斂,且可以開發新的搜尋區,避免收斂於局部最佳解。突變過程發生的機率由突變機率所控制。
7. 終止條件: 基因演算法正常執行下,群體演化過程趨向於全域最佳解。如何判斷系統是否已經收斂、何時能停止演化、或目標式否達成,常用的方式有下列幾個方法:(1)演化代數:直接設定演化幾代後即停止演算。至於應該幾代才適合,需視問題複雜度及資料量而定。(2)演化時間:直接設定演化的時間,到達後即停止演算。上述兩種終止條件無法確定是否已達最佳解。(3)當最佳解經幾個世代的演化而無改變時,即可視

為找到最佳解。

基因演算法它類似傳統搜尋方法之漫步法(Random walk method), 是全域搜尋法的一種。由於它是同時以多點方式搜尋最佳解, 而非點對點的搜尋, 對於多峰谷之函數而言, 基因演算法較傳統演算法更可以較快找出全域最佳解(Global optimum), 同時也能避免陷入區域最佳解(Local optimum)。此特性是基因演算法的最大優點。不過由於計算所需的時間過長、不易掌控, 有鑑於此, Haupt (1998) 進一步提出有別於前述一般編解碼程序的計算方式, 以實數形態直接執行遺傳法則, 有效縮簡演算的計算時間以及執行的複雜過程, 一般稱之為實數基因演算法 (Real-parameter GA), 同樣為近年常見使用的方法之一。

NP-hard的問題求解並沒有一個既定的模式, 近年來甚至相繼發展出許多變化性的啟發式演算, 例如常見的有Glover (1989,1990) 提出的禁忌搜尋法 (Tabu search), Kirpatrick et al. (1983)的模擬退火法(Simulated Annealing), 或是 Dueck and Scheuer (1990)修改模擬退火法的門檻接受法 (Threshold Accepting), Hopfield (1982)的類神經網路(Neural networks), Dorigo et al. (1991)提出的螞蟻演算法(Ant Colony Optimization)等等..., 或是由以上幾種變化式的啟發式演算法, 以適當的方法相互搭配形成各種組合啟發式演算法, 目的都是為了大幅提升求解效率及求解品質。同樣的, 這些求解方法的應用也都各有優劣, 在選擇上, 應依據實際問題的特性去發展, 會是比較好的方式。

### 2.3.1 基因演算法在運輸應用上的相關文獻

基因演算法在運輸上的運用, 常見於運具最佳路線選擇與班表規劃問題, 其常見影響因素整理如表2.1 (Bodin et al. 1983)。運具最佳路線選擇與班表規劃, 在配合相關營運限制, 如運具設備規模、營運時間、相關營運成本等, 或是個體需求特性, 如旅運時間、旅運成本、等候意願、滿意度...等等分析後, 可設計出許多不同類型的問題模式。配合基因演算法的應用來探討的文獻例如有: Wren and Wren(1995)求解含時間窗之最佳駕駛人員排班。Baker and Ayeche (2003)求解一單基地點的車輛排程問題。Prins (2004)求解含時間窗之車輛排程問題之範例。李閔隆 (2006) 考量旅客等候意願及相關營運狀況後, 求解收入最大目標下的高鐵列車班表等。

表2.1 運具路線與班表規劃的影響因素

特性(影響因素)	可能的選擇
1.車隊規模	一輛車/多輛車
2.車輛型態	單一車種/多車種/特殊車種
3.基地	單一基地/多個基地
4.需求形式	需求已知/需求隨機/允許部分滿足需求
5.需求設置方式	節點/節線/節點和節線混合
6.網路型態	無方向性/有方向性/混合型態/歐幾里德
7.車輛的容量限制	所有車輛容量限制均相同/不同車輛有不同的容量限制/不限制容量
8.最大旅行時間	所有路線均相同/不同路線有不同的最大旅行時間/不設限
9.作業程序	收貨/送貨/收送混合/分批配送
10.成本	變動成本(例如:旅行距離)/固定成本(例如:車輛成本)/未服務需求成本
11.目標函數	最小化總變動成本(總旅行距離)/最小化總固定與變動成本/最小化車輛數/最大化利益函數根據服務品質或便利性/最大化利益函數根據客戶性質

資料來源: Bodin et al. (1983)

### 2.3.2 小結

本研究有別於以往文獻由營運者角度切入討論營運策略的調整，而是首度透過各站間旅運者對票價折扣的敏感性不同配合折扣模型，求解收入最大目標下，高鐵各站間最適差別訂價。由於旅運需求函數具備非線性特性，且因各站間座位配置未事先給定，研究的可行解自然有多種組合。而在各種求解組合中，又存在著多組區域解（Local optimum）。因此，為有效找尋全域

最佳解 (Global optimum) , 選擇以基因演算法做為求解工具。

## 2.4 在運輸價格模型上的相關文獻

一般運輸價格模型的文獻上, 早期大多以需求面角度來審核價格政策對旅運量及收益的影響。所謂需求面的角度, 包括如旅運者所得對票價的敏感性、個人偏好對運具選擇...等社經因素對訂價影響, 亦或是不同大眾運輸政策制定對訂價影響。再者, 或以供給面的角度來分析最大化收入 (或最小化成本費用) 時, 營運策略的修正方向, 或是考量競爭者存在時的訂價模式等等。近年來則以市場供需均衡的角度, 規劃市場最佳費率與定價政策的文獻常見。然而事實上, 當所謂的最佳運輸定價費率存在錯誤時, 就會造成營運效益不彰的結果。而致成錯誤的原因, 除了可能是對市場需求的預測錯誤, 再不就是探討因素不足。換句話說, 可能也是影響市場因素過於複雜, 致使在最佳運輸定價下, 確沒有最佳營運效益。此時, 票價折扣則成為市場短期價量調整的最好修正模式。而在以往運輸文獻中, 以折扣模式來探討票價修正相關問題文章仍未所見。不同探討角度之運輸價格模型的相關文獻, 列舉如表2.2所示。

表2.2 不同探討角度之運輸價格模型的相關文獻

作者/年份	探討角度	Price (fare)	Discount	Origin-destination	Elasticity
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Curtin (1968)</li> <li>➤ Kemp (1973)</li> <li>➤ Mayworm et al. (1980)</li> <li>➤ Cummings et al. (1989)</li> </ul>	以需求面角度，審核價格政策對旅運量及收益的影響。	?			? (Socio-Economic Factor Analysis)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mullen (1975)</li> <li>➤ Pratt et al. (1977)</li> <li>➤ Donnelly et al. (1979)</li> <li>➤ Cummings et al. (1989)</li> </ul>		?			? (off-peak fare model)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cervero (1985)</li> <li>➤ Oram (1988)</li> </ul>		?	? (off-peak fare model)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pachon et al. (2007)</li> </ul>		? (Contract Optimizatio)	?		?
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cohas et al. (1995)</li> <li>➤ Chang (2007)</li> </ul>	以供給面最大收入 (或成本最小) 的角度，加入競爭的考量，定訂費率政策、市場配額分配、及營運策略。	?		? (distributio at the level of the origin-destination market)	?
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Curry (1989)</li> <li>➤ Wollmer (1992)</li> <li>➤ Brumelle (1993)</li> <li>➤ Lee et al. (1993)</li> <li>➤ Talluri et al. (1998)</li> </ul>		?		? (Nested route scheme, Seat Allocation)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lamond et al. (1981)</li> <li>➤ Tobin et al. (1988)</li> <li>➤ Bell (1993)</li> <li>➤ Yang (1997)</li> <li>➤ Lam et al. (2000)</li> </ul>	以市場供需均衡的角度，規劃市場最佳費率與定價政策。	?			? (Socio-Economic Factor Analysis)



## 第三章 研究方法

本研究以高鐵為例，研究範圍以短期營運策略固定，以及設備資源有限的條件，檢視在不同站間市場需求指派下，營運收益最大化時的營運策略規劃。研究資料時間範圍為台灣高鐵公司自民國96年7月通車起日，到民國97年2月交通部公佈的運量統計數據。本研究透過推導出高鐵各站間的旅運市場需求函數，再藉由各起迄站間旅運者對票價折扣的敏感性不同，以站間差別訂價法的方式及折扣模型，搭配基因演算法求解最大化營收目標，以及各項最佳化營運策略。期望透過本研究方法，有效調整新運具在進入市場初期，供需價量尚未定平衡時，營運資源出現閒置利用或供不應求的結果。最後，本研究的執行結果，與未執行站間差別訂價法的營運狀況比較後，驗證確實帶來執行上的效益，可提供營運者未來營運規劃參考方向。

### 3.1 研究模型建立

本研究透過基因演算法，建立高鐵營運收益最大化的站間差別訂價模型，求解出的最佳化營運策略，包括各起迄站間最適訂價、最佳座配配置比例、營運容量總利用率以及最大總收益。研究程序為：

1. 推導不同起迄站間市場需求函數。
2. 估計各站間不同價格折扣下的旅運量及彈性。
3. 建構高鐵營運收益最大化之站間差別訂價模型。
4. 基因演算法求解最佳化的各項營運策略。

本研究系統架構如圖3.1所示：

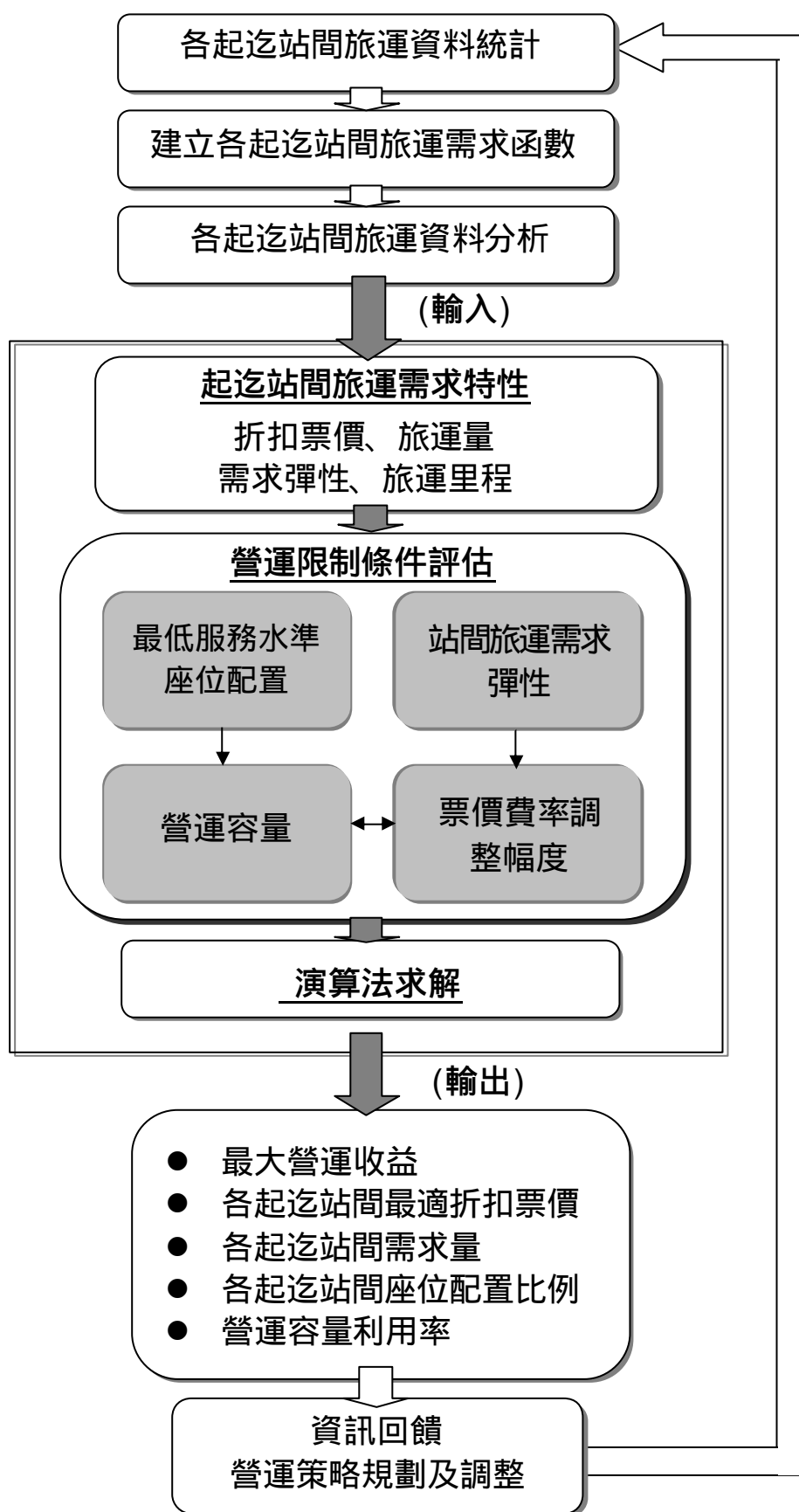


圖 3.1 系統架構圖

### 3.2 高鐵站間旅運需求函數

反應旅運個體在運輸需求的效用為旅行時間、旅行成本、旅行距離、接駁時間、所得、性別...等變數所組成的效用函數，且通常以羅吉特模式來進行各競爭運具的運量分配。修改陳羽盈（1998）列車需求模式之推估公式，高鐵於起迄站間的旅運個體效用函數表示為(3.1)式：

$$\begin{aligned} U_i &= \beta_i \times TK_i + \sum_t (a_i^t g_i^t) \\ &= \beta_i \times TK_i + C_i \end{aligned} \quad (3.1)$$

其中，

$U_i$ ：高鐵列車於起迄站間的效用。

$TK_i$ ：主線旅行成本(元/旅次)，即起迄站間高鐵列車原定票價。

$\beta_i$ ：模式參數，旅運個體對高鐵列車需求符合喜好財(good goods)假設，是故當主線旅行成本愈大，搭乘高鐵列車的效用愈小，因此 $\beta_i$ 為一負數。

$a_i^t$ ：模式參數， $t=1 \sim m$ ，表示效用函數中主線旅行成本(原定票價)之外的其他 $m$ 個特定變數。

$g_i^t$ ：效用函數的其他變數。

$C_i$ ：由其他變數、模式參數與方案特定常數所構成的常數。

不同起迄站間的需求函數考量的替代運具不同，包括有航空、台鐵、國道、自用客車不一。以高鐵列車為例，台北至高雄的旅運需求，可搭乘運具大致包括有航空、台鐵、國道、自用客車四種。而台北至新竹的旅運需求，可搭乘的運具就不含航空，因此，高鐵各起迄站間運具選擇的模式可分為兩種，如圖3.2所示。而依羅吉特模式，旅運者由起迄站間搭乘高鐵的機率為 $P_i$ ，表示為(3.2)式：

$$p_i = \frac{e^{U_{HSR_i}}}{e^{U_{Air_i}} + e^{U_{Rail_i}} + e^{U_{Bus_i}} + e^{U_{Car_i}} + e^{U_{HSR_i}}} \quad (3.2)$$

其中，

$p_i$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘高鐵的機率。

$e^{U_{HSR_i}}$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘高鐵的效用函數。

$e^{U_{Air_i}}$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘航運的效用函數。

$e^{U_{Rail_i}}$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘鐵路運輸的效用函數。

$e^{U_{Bus_i}}$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘國道客運的效用。

$e^{U_{Car_i}}$ : 旅運者於起迄站間*i* 搭乘自用客車的效用。

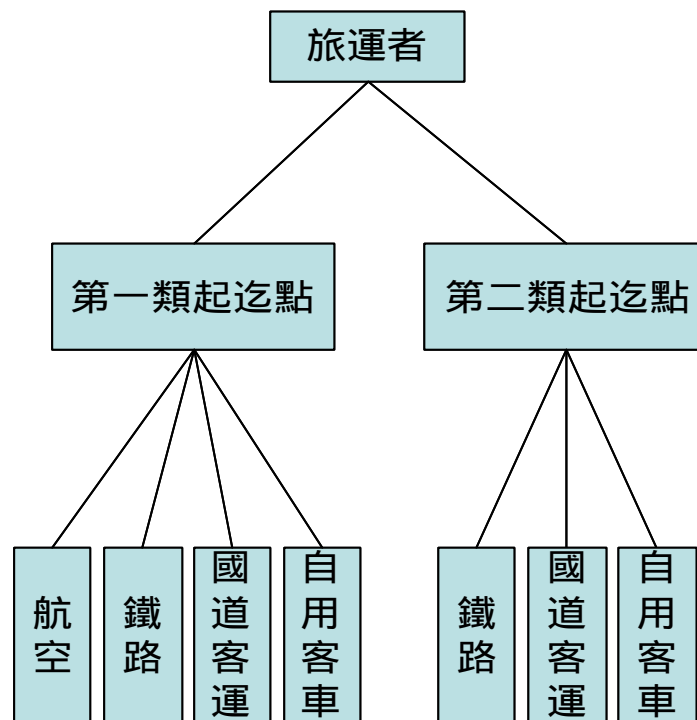


圖 3.2 羅吉特運具選擇模式架構圖

本研究主題在於高鐵價量變動關係的探討，是故在其他高鐵相關服務水準、競爭運具服務水準與費率，以及其他財貨與勞務價格...等都不改變的假設下，可將其他變數視為常數，因此可將(3.2)式搭乘高鐵的機率簡化表示為(3.3)式：

$$P_i = \frac{e^{U_{HSR_i}}}{E + e^{U_{HSR_i}}} \quad (3.3)$$

其中， $E = e^{U_{Air_i}} + e^{U_{Rail_i}} + e^{U_{Bus_i}} + e^{U_{Car_i}}$ ，為一常數。

故由上述得知高鐵起迄站間的需求函數表示為(3.4)式：

$$\begin{aligned} PS_i &= TPS_i \times P_i \\ &= TPS_i \times \frac{e^{b_i \times TK_i + C_i}}{E + e^{b_i \times TK_i + C_i}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

其中，

$PS_i$ ：高鐵旅客起迄站間*i*的總旅次量。

$TPS_i$ ：西部走廊起迄站間*i*總旅次量。

則需求彈性可表示如(3.5)式：

$$e_{d_i} = \frac{-dPS_i/PS_i}{-dTK_i/TK_i} = -\frac{TK_i}{PS_i} \frac{dPS_i}{dTK_i} = -\frac{d \ln PS_i}{d \ln TK_i} \quad (3.5)$$

其中，

$e_{d_i}$ ：起迄站間的需求彈性。

$PS_i$ ：起迄站間的旅運需求量。

$TK_i$ ：起迄站間的票價。

### 3.3 高鐵營運收益最大化之站間差別訂價模型

高鐵營運收益最大化之站間差別訂價模型目標函數介紹如3.3.1小節，限

制條件介紹如3.3.2小節。

### 3.3.1 目標函數(objective function)

因各站間需求市場獨立，故營運收益最大化來自於各站間市場價量乘積的總合。數學式表示為(3.6)式。

$$\text{MAX } TR = \sum_i (PS_i \times TK_i) \quad (3.6)$$

其中，

$TR$ ：高鐵列車營運收益。

$PS_i$ ：高鐵列車之起迄站間 $i$ 的旅次量。

$TK_i$ ：主線旅行成本(元/旅次)，即起迄站間 $i$ 高? 列車原訂票價。

加入不同起迄站間的不同折扣率後，最大化營運收益數學式表示為(3.7)式。

$$\text{MAX } TR = \sum_i (PS_{ij} \times TK_i (1 - r_{ij})) \quad (3.7)$$

其中，

$PS_{ij}$ ：高鐵列車在起迄站間 $i$ 的第 $j$ 種票價折扣率下的旅次量。

$TK_i$ ：主線旅行成本(元/旅次)，即起迄站間高鐵列車原訂票價。

$r_{ij}$ ：高鐵列車原訂票價起迄站間 $i$ 的第 $j$ 種票價折扣率。

### 3.3.2 限制條件(constraints)

模型考量的限制條件包括四種：營運容量限制、各站間票價費率調整幅度限制、各站間旅客需求彈性限制，以及各站間旅客最低服務水準座位配置限制。在這四種限制條件的關係中，票價費率調整的幅度受限於需求彈性，

也就是說，需求彈性在大於等於1的後，即是？到折扣幅度的下限。而各站間的座位量配置，受限於列車的總容量以及設定的各站間最低服務水準。最後透過GA求解最大收益下的價量組合。

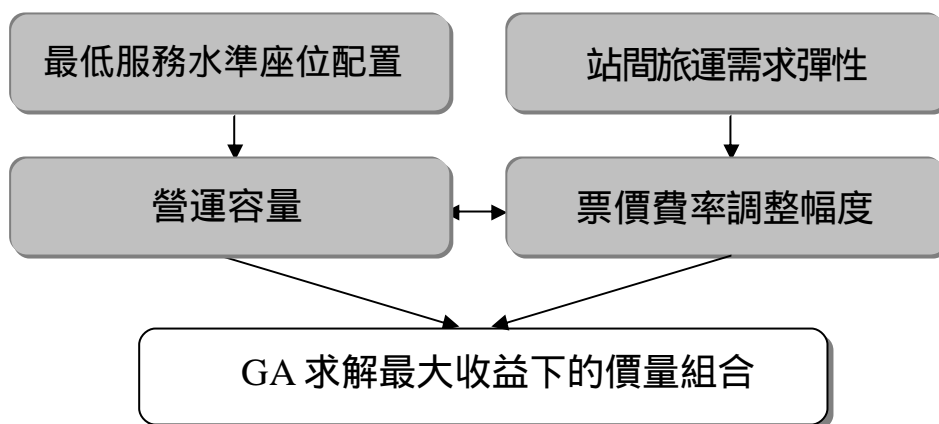


圖 3.3 營運限制條件評估

### 1. 營運容量限制

列車運能除座位容量固定外，起點至終點中間依不同的停站模式，存在不同的停靠點，旅客依個人的旅運需求上下列車，因此，同一班列車的一個座位可能提供給兩位以上的旅客使用，圖3.4舉例說明，某A列車起點至終點，中間停靠兩站，故某列車的某號座位可能運載的旅運人數，排除無人上車的組合，有以下四種組合，而旅運人次也因需求組合有所不同。

站次 1			
乘客 A	站次 2		
-	乘客 A	站次 3	
-	-	乘客 A	站次 4

組合一：旅運量 1 人

站次 1			
乘客 A	站次 2		
-	乘客 A	站次 3	
-	-	乘客 B	站次 4

組合二：旅運量 2 人

站次 1			
乘客 A	站次 2		
-	乘客 B	站次 3	
-	-	乘客 B	站次 4

組合三：旅運量2人

站次 1			
乘客 A	站次 2		
-	乘客 B	站次 3	
-	-	乘客 C	站次 4

組合四：旅運量3人

圖 3.4 營運容量限制下可能運載人數示例

是故，假設某高鐵列車停靠站次共5站，起迄站間的種類如圖3.5所示，共10種。在座位容量( $ST$ )固定且旅運人數 ( $PS$ ) 同時存在的限制條件下，數學式表示如 (3.8) 式。

站次 1				
$PS_1$	站次 2			
$PS_2$	$PS_5$	站次 3		
$PS_3$	$PS_6$	$PS_8$	站次 4	
$PS_4$	$PS_7$	$PS_9$	$PS_{10}$	站次 5

圖 3.5 營運容量限制下站間旅次需求限制



$$\begin{aligned}
\sum_i PS_i &\leq v \times ST, \quad i=1,2,3,4 \\
\sum_i PS_i &\leq v \times ST, \quad i=2,3,4,5,6,7 \\
\sum_i PS_i &\leq v \times ST, \quad i=3,4,6,7,8,9 \\
\sum_i PS_i &\leq v \times ST, \quad i=4,7,9,10
\end{aligned}
\tag{3.8}$$

其中，

$PS_i$ : 高鐵起迄站間  $i$  月平均旅次量。

$ST$ : 高鐵月平均總座位容量。

$v$ : 依政府核定之承載率上限。

在上式中的承載率又叫座位利用率，即(Efficiency of seat utilization)，是指鐵路運運輸在某一特定期間及區間內，延人公里 (Ton-kilometers) 占座位公里(Seat kilometers)的百分比，座位利用率為用來衡量列車營運效益的指標之一，營運者可藉由該指標做營運策略調整，其公式為 (3.9) 所示。若高鐵票價調整，不考量政府核定之承載率規定，則將座位利用率( $v$ )設為1即可。表示承載率規定可到達百分之百座位容量限制。

$$v = \frac{PK}{SK}
\tag{3.9}$$

其中，

$v$ : 列車座位利用率。

$PK$ : 延人公里。在某一特定期間內，列車運送旅客的運程總和。

$SK$ : 座位公里。列車連掛之客車車輛數乘期客車座位數乘行駛里程之積。

## 2. 各站間票價調整幅度限制

價格折扣是短期促銷活動的誘因工具之一，其目的在刺激顧客對產品(服務)產生購買行為。價格折扣的多寡，除了考量本身產品成本的限制外，折

扣幅度以及折扣方式，也會直接影響消費者對產品（服務）的知覺認知與價值判斷。舉例說明，適度的價格折扣，可能會使消費者因為知覺的節省而選擇購買產品（服務），但大幅度的折扣，也可能使消費者對產品（服務）產生負面的疑慮。此外，簡明的折扣模式有助於消費者做產品（服務）的選擇與比較，複雜的折扣費率雖然對於成本利潤有較精確的評估，但對於購買行為的誘導，相形之下可能被模糊掉，使刺激購買行為的效益較不明顯。因此本研究各站間票價調整選擇方式，採離散區間調整，所謂的離散區間調整舉例說明，就是以95折、9折、8.5折...每0.5折為一折扣調整幅度，這樣的調整方式，有助消費者在選擇上的比較與對產品（服務）的信認，對於營運者在票價管理上也較容易。此外，若基於營運成本保留，可簡單的以政府核定之高鐵基本費率做為票價折扣幅度的下限，因為實際高鐵票價變動程序，除受限於政府規範外，在現有核定的基本費率中，已對營運成本做適當的考量。因此，各站間票價調整幅度限制可列示如(3.10)式。若高鐵票價調整，不考量政府核定的基本費率時，則將 $PTK_i$ 設為0即可。

$$0 \leq r_{ij} \leq \frac{(TK_i - PTK_i)}{TK_i} \quad (3.10)$$

其中，

$r_{ij}$ ：高鐵列車原訂票價在起迄站間 $i$ 的第 $j$ 種票價折扣率。

$TK_i$ ：主線旅行成本(元/旅次)，即起迄站間 $i$ 列車原訂票價。

$PTK_i$ ：依政府核定之基本費率換算起迄站間 $i$ 的基本票價。

### 3. 各站間旅客需求彈性限制

在第二章第二小節需求分析中，圖2.2說明不同市場中需求彈性的比較方式。而圖形需求曲線的斜率不同，也透露出兩者在價格折扣後，所帶來的獲利效益未必存在相同的正面結果。舉例說明，起迄站間A與起迄站間B，存在的需求函數如圖3.6所示，在單一費率( $r$ )折扣後，起迄站間A的需求增量非常小，導致於折扣後變動的收益增量，比未折扣前的收益減量還要小，(即 $\Delta DEFG$ 面積  $<$   $\Delta ABCD$ 面積);而起迄站間B則相反，折扣後的收益增量，比

未折扣前的收益減量還要大，(即  $\Delta defg$ 面積  $>$   $\Delta abcd$ 面積)。這就說明了營運者若在兩個不同市場需求下，共同實行單一費率折扣，未必能確實帶來刺激營運收益的成長。

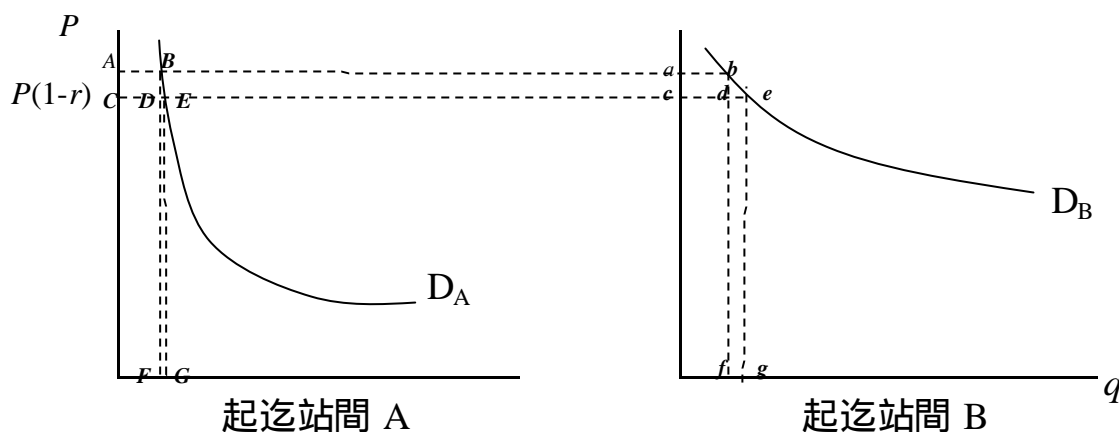


圖3.6 費率折扣與營運收益的關係

因此，市場需求彈性是決定折扣後是否能真正帶來獲利效益的關鍵因素。本文第二章第二節分析說明（如該章節圖2.1所示），站間差別訂價在各站間需求彈性大於1時，降價才會使收益上升。站間差別訂價的主要意涵，就是考量個別市場的需求不同。利用不同市場中，旅運者對運具需求敏感度不同的特性，在不同的起迄站間給與不同的價格折扣，有效達到吸引更多旅運量來刺激營運收益的成長。各站間旅客需求彈性（ $E_i^r$ ）限制如（3.11）式。

$$E_i^r \geq 1 \quad (3.11)$$

#### 4. 各站間旅客最低服務水準座位配置限制

最低服務水準座位配置，是基於社會福利考量所設定的參數，此作法是為了避免在營運者獲利最大的前提下，把所有座位皆保留給邊際獲利較高的起迄站程，而損及其他邊際獲利較低之起迄站程的旅運者福利。亦或是在營運者獲利最大的前提下，基於保留大眾運輸應兼顧所負的社會責任，如城鄉

平衡發展...等目標的理由，所給定的限制因素。本研究所訂定的最低服務水準座位配置，在列車運能未達承載限制前，以前次階段各站間原訂票價的需求比例，作為各站間最低座位保留量。也就是說，每次票價調整的同時，各站間最低座位保留量，至少要滿足既有已存在的各站間旅運需求人數。

### 3.4 基因演算法求解

本節將說明研究中關於基因演算法的設計及其運算過程。

#### 3.4.1 染色體模型

基因演算法中第一個要考慮的是如何表現其問題，即如何架構其染色體，使之適於用演算操作。本研究以實數編碼的方式撰寫染色體模型。研究中的染色體含有 $n$ 個基因，對應的個數，是高鐵營運策略下的各種起迄停站區間，每一個基因代表一種起迄停站區間，而每一起迄停站區間，有其對應的旅運需求價量組合可選擇，每一染色體即表示全部起迄停站區間中的一種可能的價量組合結果。其結構如圖3.7所示。

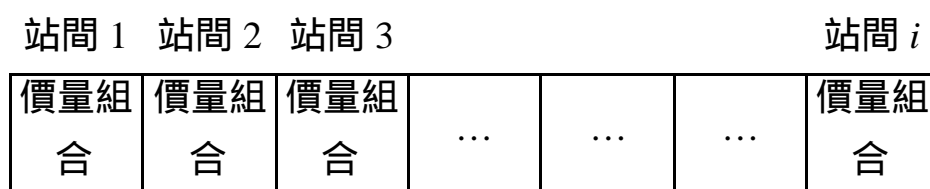


圖 3.7 染色體結構圖

各站間的旅運需求資訊是以一維陣列來表示，例如：站間1的旅運需求資訊包括有：折扣票價、旅運需求量、需求彈性、旅運里程4種，共提供 $j$ 種選擇組合，則站間旅運需求陣列表達如圖3.8所示。

折扣票價 1	旅運需求量 1	需求彈性 1	旅運里程 1
折扣票價 2	旅運需求量 2	需求彈性 2	旅運里程 2
⋮	⋮	⋮	⋮
折扣票價 $j$	旅運需求量 $j$	需求彈性 $j$	旅運里程 $j$

圖 3.8 站間旅運需求陣列

染色體內以起迄停站區間做為基因單位，兩染色體經交配(Crossover)操作後基因互換，不會影響到站間票種重複計算，也不會造成站間票種內對應的票價折扣需求錯置，不會出現每代演化後染色體結構不合理的問題。而每一染色體結果的優劣，可由染色體的適應值 (Fitness value) 來決定。

### 3.4.2 適應函數

適應函數 (Fitness function) 是要計算出每條染色體的適應值。站間差別訂價模型，可藉由不同起迄站間市場需求函數的建立，以旅運者對運具價格的敏感度做為染色體適應值的評估。在模型下各站間的旅運需求函數，因存在獨立假設的條件，而各站間價量、需求彈性與收益的關係在本文第二章第二節分析說明 (如該章節圖2.1所示)，站間差別訂價在各站間需求彈性大於1時，降價可使營運收益上升；若需求彈性小於1的話，降價反而造成營運收益上的損失。因此，各站間的適應函數評估存在需求彈性大於以及等於1的條件，且各站間的適應值加總愈最小時，各站間的差異訂價策略將保證擁有較佳收益結果，透過保留機制，將會被給予較大的生存機率於下一代演化中。

### 3.4.3 參數設定

在運用基因演算法進行最佳化問題求解的過程中，為達有效率的求得各種最佳解；對於初化的參數必需小心建立。在此特別針對幾個重要參數加以討論。

1. 群體大小(Population size,  $P_S$ ):群體大小將影響整個系統的表現和GA的效能。串集群體小的系統，由於無法提供足夠關於問題空間的資訊，因而演進結果通常都不佳；群體較大者則表現會較好，且可以防止結果過早

收斂至局部最佳解。但若群體太大，則將導致收斂速度降慢到不可接受的地步。因此，一般均將群體大小隨著不同問題而設計。

2. 交配率(Crossover rate,  $C_r$ ):交配率即交配運算元被使用的頻率。交配率若愈大，新的結構將愈快出現於群體中；但交配率若太高時，則會使得群體中表現優異者在選取步驟發揮前就被改變了；過低的交配率則會令求解腳步裹足不前。此外，不是每個染色體都要交配，故有交配率的訂定，其值在0.5至1之間。常見的交配方法有三種：(1) 單點交配 (Single-point crossover)：在所選取的兩個體中，隨機選取一交配點，並交換兩個體中此交配點後的所有基因。(2) 雙點交配 (Double-point crossover)：在所選取的兩個體中，隨機選取二交配點，並交換兩個體中兩交配點間的所有基因。(3) 均勻交配 (Uniform crossover)：以隨機的方式產生一隨機字串，而父代的每一元素隨著隨機字串的變化而產生子孫字串。本研究選用單點交配 (Single-point crossover) 法進行運算，交配的步驟如下：

步驟一：設定系統欲執行的交配率。

步驟二：以亂數決定交配染色體的成對數量及交配點。

步驟三：執行交配動作，交配後產生新的子代。

3. 突變率(Mutation rate,  $M_r$ ):突變的好處是產生新品種，使得搜尋最佳值時，不會陷在局大或局小值。突變發生的機率一般設在0.01至0.08之間。若設為0，使得基因演算法 (GA) 可能得不到最佳結果；設太大則GA收斂不起來。本研究突變的步驟如下：

步驟一：設定系統欲執行的突變率。

步驟二：以亂數決定突變的染色體及突變點。

步驟三：執行突變動作，突變後產生新的子代。

4. 最大世代數(Maximum generation number,  $M_g$ ): 最大世代數為GA的停止準則之一。因此，本研究設定停止的原則是當每一世代間的最佳解變化非常微小，或連續幾代的最佳解均無改變時，即可停止該演算法的搜尋過程。

### 3.4.4 演化流程

本研究模型的演化流程，如圖3.9所示。首先，載入原始資料，即各站間需求函數的價量。經由亂數方式產生初始世代，接著，判斷限制條件，包括營運容量限制、各站間票價調整幅度限制、各站間旅客需求彈性限制，以及各站間旅客最低服務水準座位配置限制，若發現染色體有不符合條件者，則重新選取初始世代，染色體若符合條件者，再評估適應值。本研究使用競爭法(Elitism)來保存每一世代中最好的「可行」染色體，其優點是將上一代中適應值最高的字串，直接複製到下一代當成一個個體，如此可避免好的基因經遺傳運算給捨棄，而「不可行」的染色體仍有機會存活至下一代，並非完全丟棄，主要原因在於「不可行」的染色體內亦有可能含有較佳的部分基因，可藉由交配方式擷取出來。換言之，競爭法(Elitism)把適應值較好的基因保留至新族群，而較差的就淘汰。在競爭的過程中，尚不影響所有基因競爭機率。流程最後，判斷是否已達停止條件，本研究採指定的演化世代為停止條件。若不符合，則重覆進行遺傳基因操作，將交配池內的染色體進行「再生」、「交配」、「突變」產生新一代染色體。如果已達停止條件，則輸出最佳結果。

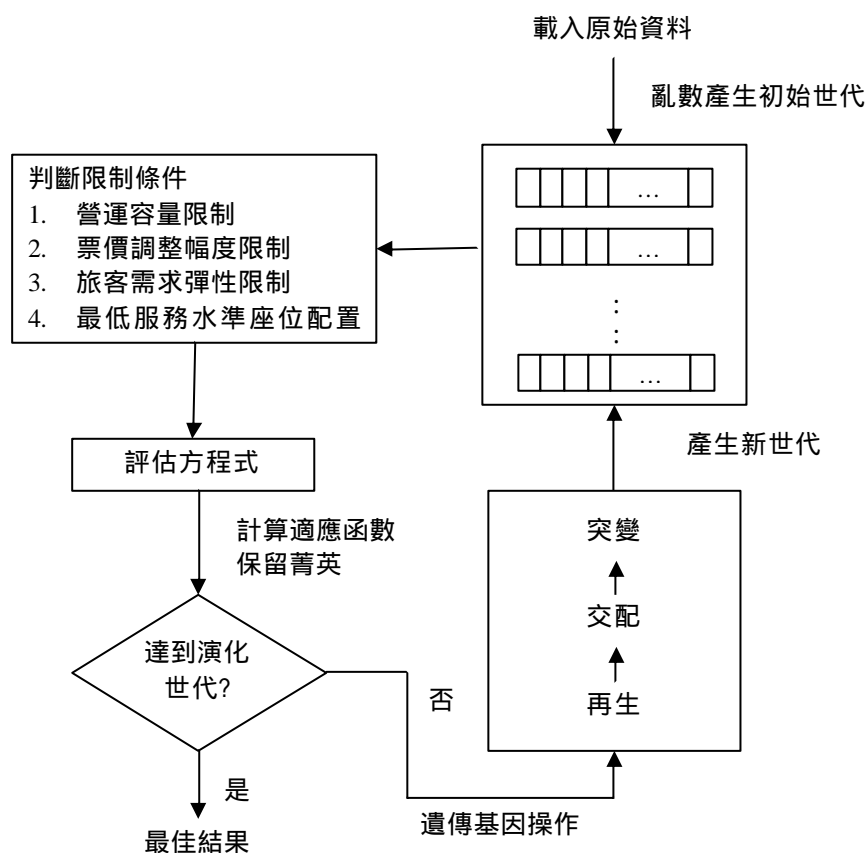


圖3.9 高鐵最大收益之站間差別訂價演化流程

## 第四章 系統實作與評估

在第三章中我們已經詳細說明，高鐵公司在各項營運策略設計與費率調整的問題架構下，如何建立其站間差別訂價之決策整合模式，並提出以基因演算法為基礎的演算法來進行求解。故本研究利用交通部所提供的資料來建立個案，求解演算法以Matlab 6.5進行編碼(Coding)。運算所得到的資料除了反映模式所呈現出來的結果為何，也能證實本研究使用的演算法之適用性，進而了解在市場供需互動下，高鐵各項營運決策的整合相關課題。為方便問題的分析，4.1節將先介紹個案資料的供需現況。4.2節介紹實作的假設情況以及系統各項參數的設定。系統運行結果及分析說明如4.3節。

### 4.1 個案介紹

本研究個案分別以供需兩面：高鐵營運現況以及旅運需求狀況分別介紹。資料說明如下兩小節。

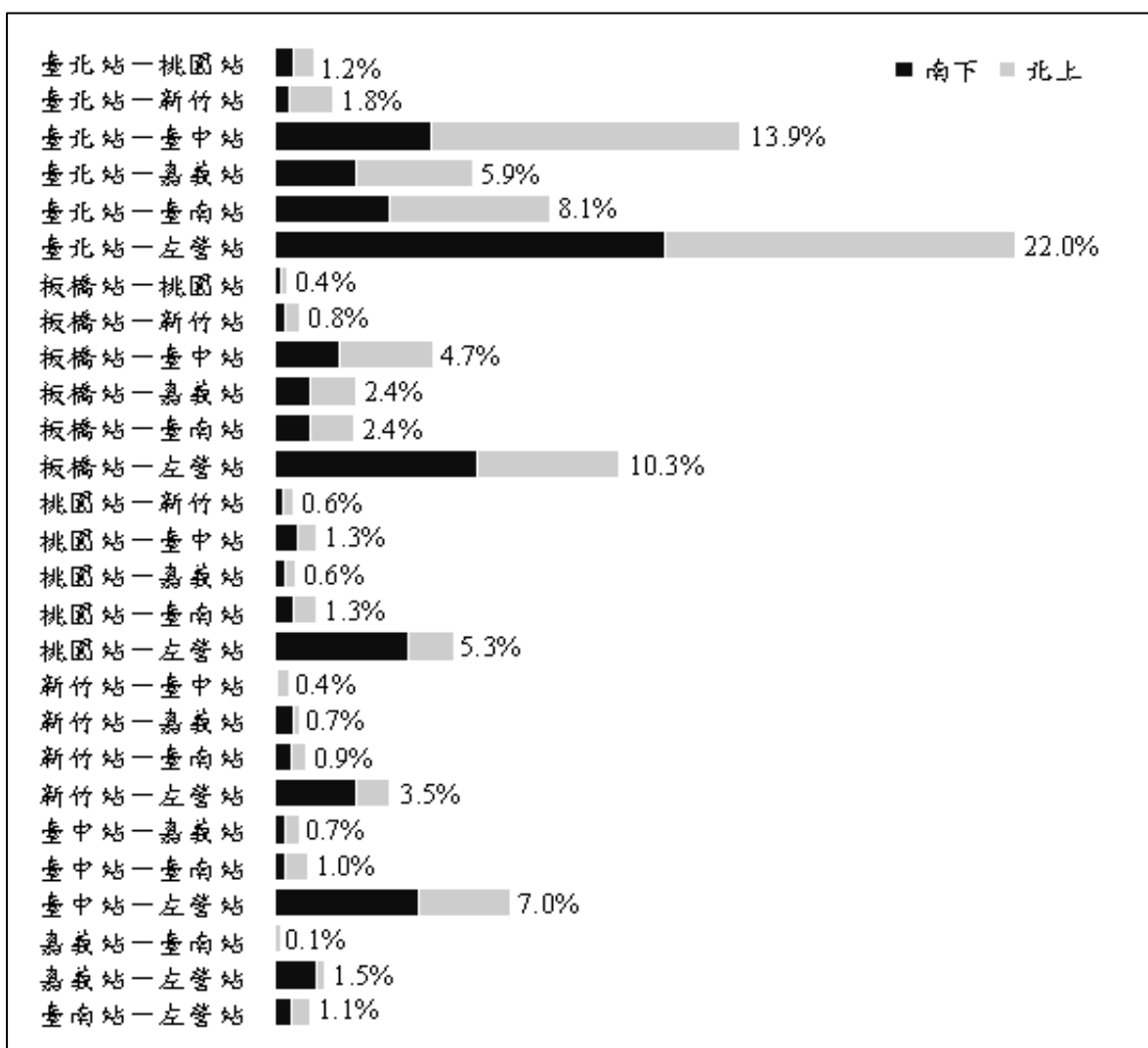
#### 4.1.1 高鐵旅運需求狀況

高鐵旅運需求量以交通部網站公佈之各月高鐵統計資料為主，如表4.1所示，高鐵旅運人次從96年7月至97年2月止，搭乘人數有逐漸成長的現象。各站間旅運需求比例則取自於交通部於96年12月公佈之民眾使用高速鐵路狀況調查摘要分析。圖4.1說明96年9月搭乘高鐵的民眾，主要往來車站以「台北 - 左營(高雄)」的比率最高，占22.0%，其次依序為「台北 - 台中」(13.9%)、「板橋 - 左營(高雄)」(10.3%)、「台北 - 台南」(8.1%)、「台中 - 左營(高雄)」(7.0%)、「台北 - 嘉義」(5.9%)、「桃園 - 左營(高雄)」(5.3%)；其他往來車站的比率皆在5%以下。結果顯示高鐵旅運需求仍以長程旅運為主。此外，在交通部公佈民眾使用高速鐵路狀況調查摘要分析中，調查民眾對高鐵票價合理性的看法上(圖4.2)，有高達48.2%民眾認為高鐵票價「不合理」(其中，有40.8%認為不太合理，7.4%認為很不合理)，而認為票價「合理」的有44.7%(其中40.4%認為還算合理，4.3%認為很合理)。可見民眾對高鐵票價的合理性看法呈兩極化。再以年齡來觀查，65歲及以上民眾因享有半價優惠，認為票價合理的比率最高，占65%。



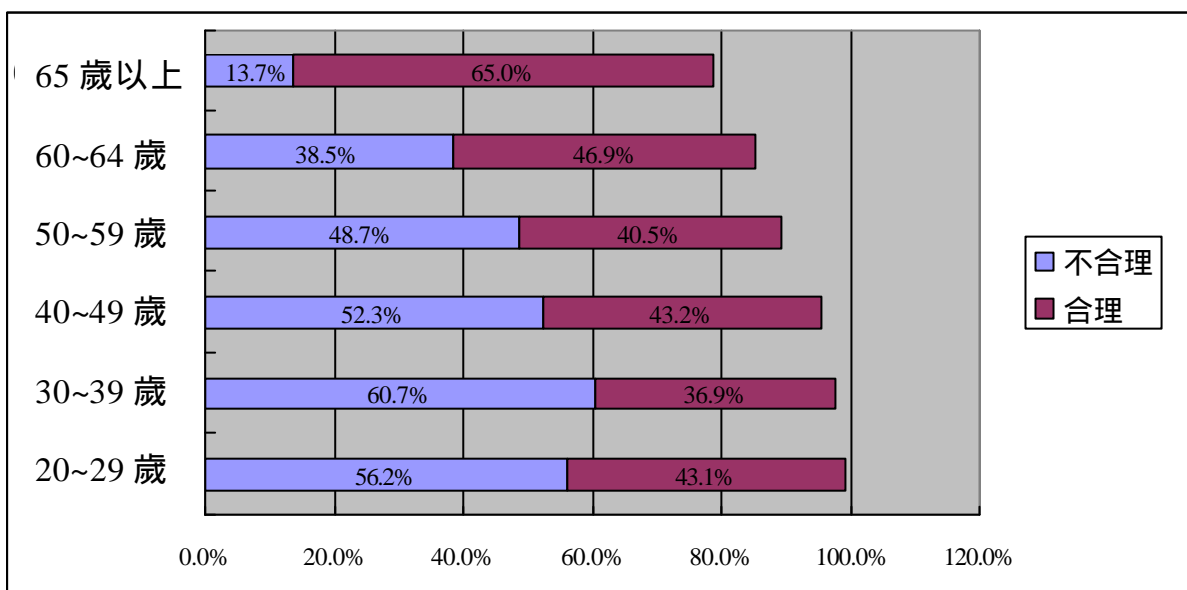
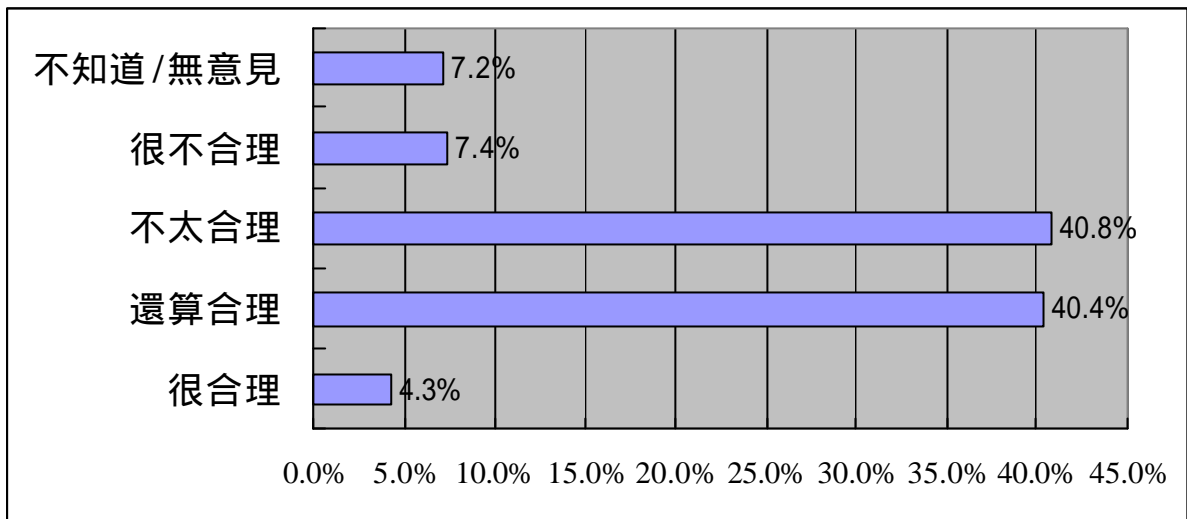
表 4.1 高鐵旅運需求量

單位	96 年						97 年	
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
萬人次	142.6	137.4	136.7	144.9	166	200.3	195.8	209.5



資料來源：交通部民眾使用高速鐵路狀況調查摘要分析

圖 4.1 民眾搭乘高鐵的主要往來車站



資料來源: 交通部民眾使用高速鐵路狀況調查摘要分析  
圖4.2 民眾對高鐵票價合理性的看法

也因此，高鐵公司從96年11月起，開始對原有核定之票價做各種不同的折扣調整方案，目的也是想藉由各種不同的促銷方式，增加民眾使用高鐵的意願，以及找尋最佳的合理票價，進而提升更多的獲利收益。

#### 4.1.2 高鐵營運現況

本研究的研究範圍在高鐵短期營運策略固定，以及設備資源有限下，檢視在不同站間市場需求指派下，營運收益最大化時的營運策略規劃，因此考量的營運資訊，可分成高？票價結構，以及營運行程規劃二個構面探討。分

述說明如下。

## 1. 高鐵票價結構

高鐵票價是以里程訂價的方式來訂定的，其票價結構包括了基本費率和折扣因子二種，其中基本費率是指政府所核准的基本票價；在基本服務狀況下（即標準座位的費率部分），高鐵公司能在政府核定之基本費率標準( $F_G$ )向上百分之二十範圍內自訂基本費率( $F_B$ )，並考兩種調整因子 ( $A_1$ 、 $A_2$ ) 各得以向上百分之二十範圍內訂定票價，即每延人公里之自由訂價容許上限為 $F_B \times (1+20\%) \times (1+20\%)$ 。而下限折扣幅度不受限制，可由高鐵公司自行決定。允許高鐵公司費率調整的考量因子有（交通部，1997）：

### (1) $A_1$ ：遠近距離及不同服務之差別訂價範圍(20%)

考量因素：

- a. 遞遠遞減策略。
- b. 不同站間供需彈性。
- c. 列車速度(直達、非直達)及停站頻率。
- d. 其他不同服務策略。

### (2) $A_2$ ：尖離峰差別訂價範圍(20%)

考量因素：

- a. 晨峰、昏峰、離峰。
- b. 平常日、週末、假日。
- c. 連續假期。
- d. 季節性變化。

## 2. 營運行程規劃

高鐵營運行程資料以高鐵網站公告之列車服務資訊為主，基於本研究站間差別訂價模式所列之營運容量限制，以及歷史數據資料取得有限的考量下，本研究列車營運容量考慮的因素包含站點、停站方式，列車運能三個因

素，並將以月為單位，換算出每月可提供的營運總容量。與交通部公佈之每月高鐵營運需求數據配合分析。

1. 站點：台灣高鐵公司第一階段（2005 - 2009年）營運站點由北至南有台北站、板橋站、桃園站、新竹站、台中站、嘉義站、台南站及高雄（左營），共8站。預計2010年第二階段，加入南港站、苗栗站、彰化站、雲林站，共12站。本研究以第一階段8站為系統起迄站間之站點設計。
2. 停站方式：台灣高鐵為兼顧速度與各站旅客之方便性，規劃採行蛙式停站(Skip stop)策略。而高鐵停站方式規劃進行時，所考慮的因素通常包含有設站情形、旅客需求分佈、避免及減少旅客轉車次數、行車時間不宜過長、高鐵調度以及高鐵停站方式種類不宜過多等幾項原則。目前高鐵營運路線規劃有5種方式，如表4.2所示，本研究營運路線規劃同樣以此5種為假設，並作為起迄站間座位提供之容量限制條件。

表 4.2 第一階段(2007 年 - 2009 年)高鐵停站方式表

A線	台北 - 板橋 - 台中 - 高雄(左營)
B線	台北 - 板橋 - 台中 - 嘉義 - 台南 - 高雄(左營)
C線	台北 - 板橋 - 桃園 - 新竹 - 台中
D線	台北 - 板橋 - 桃園 - 新竹 - 台中 - 嘉義 - 台南 - 高雄(左營)
E線	台北 - 板橋 - 桃園 - 新竹 - 台中 - 高雄(左營)

資料來源：台灣高? 網站

3. 列車運能：其一高鐵列車座位包括有標準艙與商務艙。現有列車座位數為989席，其中標準車箱為923席，商務車箱為66席。此外，根據高鐵合約書，高鐵座位使用率(一個月內之總延人公里除以總座位公里)單月超過80%，或連續三個月平均超過75%，須於一個月內提出改善計劃，如行車調度之調整、購車計畫。所以，高鐵承載率與高鐵經營者座位配置之預測準確度有極大之關係。

## 4.2 個案資料說明與系統參數設定

### 4.2.1 旅運需求價量推估

本研究依交通部公佈96年1至9月份民眾使用高? 狀況調查—各站間使用比率以及高鐵旅運人次統計量為高鐵旅運需求數據來源。因高鐵於96年11月開始實施8折票價優惠措施，所以本研究以高鐵旅運人次96年11至97年2月的平均旅量做為8折票價後的旅運變化量（表4.4），而原價的旅運量則以96年7至96年10月的平均旅量為數據（表4.3）。在票價結構上，本研究依現有高鐵網站公佈實施之標準座艙票價為調整依據，各起迄站間票價表如表4.5所示。站間差別定價的折扣方式採離散區間調整，每0.5折為一調整幅度，最高由9.5折至最低5折，共10種調整幅度。並以一般簡單線性市場需求函數，推導出各站間的價量變化關係。

表4.3 高鐵96年7至96年10月各起迄站間平均旅量

台北							
0.140	板橋						
1.685	0.562	桃園					
2.527	1.123	0.842	新竹				
19.516	6.599	1.825	0.562	台中			
8.284	3.370	0.842	0.983	0.983	嘉義		
11.372	3.370	1.825	1.264	1.404	0.140	台南	
30.888	14.461	7.441	4.914	9.828	2.106	1.544	高雄

單位:(萬人次/月)

表4.4 高鐵96年11至97年2月各起迄站間平均旅量

台北								
0.193	板橋							
2.315	0.772	桃園						
3.472	1.543	1.157	新竹					
26.813	9.066	2.508	0.772	台中				
11.381	4.630	1.157	1.350	1.350	嘉義			
15.625	4.630	2.508	1.736	1.929	0.193	台南		
42.438	19.869	10.224	6.752	13.503	2.894	2.122	高雄	

單位:(萬人次/月)

表4.5 高鐵各起迄站間標準座艙原訂票價表

台北								
40	板橋							
160	130	桃園						
290	260	130	新竹					
700	670	540	410	台中				
1,080	1,050	920	790	380	嘉義			
1,350	1,320	1,190	1,060	650	280	台南		
1,490	1,460	1,330	1,200	790	410	140	高雄	

單位:(元)

#### 4.2.2 營運容量的限制

在高鐵營運條件的假設中，本研究假設需求量全為標準艙位之需求，且不提供自由座。在營運容量上，依現有列車車型下所提供的座位（包含商務艙與標準艙）總共為989席，本研究假設989席全為標準艙位。以標準艙位乘上每月列車班次後，可得到每月列車營運容量限制為1,500,397人次，結合現有8個停站站點以及5種不同列車停站方式的考量，修正不同車種之未停站點後，各起迄站間可能容納的最大容量如表4.6所列。以表4.6舉例說明，起迄站

間「台北 - 板橋」可能容納的最大容量為1,500,397人次，這是指所有列車座位皆出售給台北至板橋的旅運需求者時可容納的人次，此時由台北出發至其它板橋以外迄點的旅客，就無座位可購買，而比較起迄站間「台北 - 板橋」與起迄站間「台北 - 桃園」的最大可能容納旅量，其可能容納旅量差異來源是因為高鐵每月營運車次中，有未停靠桃園站的班次，因此起迄站間「台北 - 桃園」的最大可能容納旅運量修正後為880,403人次。其它起迄站間的最大可能容納量同理得之。

依3.3.2小節容量限制條件發展本研究短期營運條件固定下的營運容量限制如(4.1)式，本研究欲排除人為可影響因素，在此不考量政府規定之承載率( $v$ )的限制條件，故將 $v$ 設定為1。為求演算方便，起迄站間編號依里程長短給定，各起迄站間里程如表4.7所示，編號如表4.8所示。

表4.6 修正不同車種之未停站點後各起迄站間可能容納的最大容量

台北							
150.0397	板橋						
88.0403	88.0403	桃園					
85.6336	85.6336	85.6336	新竹				
150.0397	150.0397	150.0397	150.0397	台中			
81.8488	81.8488	81.8488	81.8488	81.8488	嘉義		
81.8488	81.8488	81.8488	81.8488	81.8488	81.8488	台南	
145.0516	145.0516	145.0516	145.0516	145.0516	145.0516	145.0516	高雄

單位:(萬人次/月)

$$\begin{aligned}
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 1, 5, 8, 15, 21, 26, 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 2, 5, 6, 8, 14, 15, 19, 21, 24, 26 \sim 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 3, 6, 8, 12, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 24 \sim 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 10, 12, 14 \sim 16, 18 \sim 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 9, 13, 16 \sim 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 7, 8, 11, 13, 15, 17, 20, 22 \sim 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 4, 11, 17, 23, 25, 27, 28 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 2, 6, 14, 19, 24, 27 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 3, 12, 18, 22, 25 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 10, 16, 20, 23 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 9, 13, 17 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 7, 11 \\
& \sum_i PS_i \leq v \times ST, \quad i = 4
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

其中

$PS_i$ : 高鐵起迄站間*i*月平均旅次量。

$ST$ : 高鐵月平均總座位容量。

$v$ : 依政府核定之承載率上限,  $v = 1$ 。



表 4.7 高鐵各起迄站間里程表

台北								
7	板橋							
37	30	桃園						
67	60	30	新竹					
160	153	124	94	台中				
246	235	210	180	86	嘉義			
309	301	273	243	149	64	台南		
340	333	303	273	180	94	31	高雄	

單位:(公里)

表 4.8 高鐵各起迄站編號表

長程 ( > 200 公里 )	中程 ( < 200 公里 , > 50 公里 )	短程 ( < 50 公里 )
桃園 - 嘉義 ( $PS_{18}$ )	板橋 - 新竹 ( $PS_6$ )	台北 - 板橋 ( $PS_1$ )
板橋 - 嘉義 ( $PS_{19}$ )	嘉義 - 台南 ( $PS_7$ )	板橋 - 桃園 ( $PS_2$ )
新竹 - 台南 ( $PS_{20}$ )	台北 - 新竹 ( $PS_8$ )	桃園 - 新竹 ( $PS_3$ )
台北 - 嘉義 ( $PS_{21}$ )	台中 - 嘉義 ( $PS_9$ )	台南 - 高雄 ( $PS_4$ )
桃園 - 台南 ( $PS_{22}$ )	新竹 - 台中 ( $PS_{10}$ )	台北 - 桃園 ( $PS_5$ )
新竹 - 高雄 ( $PS_{23}$ )	嘉義 - 高雄 ( $PS_{11}$ )	
板橋 - 台南 ( $PS_{24}$ )	桃園 - 台中 ( $PS_{12}$ )	
桃園 - 高雄 ( $PS_{25}$ )	台中 - 台南 ( $PS_{13}$ )	
台北 - 台南 ( $PS_{26}$ )	板橋 - 台中 ( $PS_{14}$ )	
板橋 - 高雄 ( $PS_{27}$ )	台北 - 台中 ( $PS_{15}$ )	
台北 - 高雄 ( $PS_{28}$ )	新竹 - 嘉義 ( $PS_{16}$ )	
	台中 - 高雄 ( $PS_{17}$ )	

### 4.2.3 基因參數設定

在運用基因演算法進行最佳化問題求解的過程中，為達有效率的求得各種最佳解；對於初化的參數必需小心建立。在第三章第四小節中已特別針對參數如何設定加以討論。此外，因本研究重點在於以站間差別訂價來實現營運收益最大化之可行性探討，並應用基因演算法來落實，因此參數選擇上以一般常用數值為基本設定（周鵬程，2005），其數值設定說明如表4.9。

表 4.9 基因參數設定表

群體大小 ( Population Size, $PS$ )	10
最大世代數 ( Maximum Generation Number, $M_g$ )	500
選擇方式	競爭法(Tournament selection)
交配型態	單點交配 ( Single-point crossover )
交配率 ( Crossover Rate, $C_r$ )	0.5
突變率 ( Mutation Rate, $M_r$ )	0.08
菁英數目 ( Elitism )	1

## 4.3 最佳化求解結果與分析

本研究透過區分不同市場之旅運需求，在短期運輸營運資源有限下的條件，找尋營運者的最大收益。並期望將系統運行結果，包括最大營運收益、營運容量利用率、各起迄站間需求量、各起迄站間座位配置比例以及各起迄站間最適折扣票價五種數據資料，進一步提供給營運者作為市場供需變動下的營運策略調整方向。最佳化求解結果分析如下：

### 4.3.1 最大營運收益

本研究求解站間差別折扣訂價模式，最大營運收益為1,638,064,924元，旅運量每月可達1,819,945人次，皆較原訂價下的營運收益1,512,276,480元以及旅運量1,404,000人次為高。差別折扣的求解結果並且優於全面以9.5折及9折的訂

方案，表4.10列示全面單一折扣與站間差別折扣的營運狀況比較，表中營運收益最大者為全面單一7.5折扣的訂價模式，但對照表4.11後可得知，單一7.5折下已有部分區間承載率已超過列車容量限制，超過限制的區間包括有「板橋 - 桃園」(101.47%)、「桃園 - 新竹」(111.77%)、「新竹 - 台中」(114.93%)三個區間。是故，該營運收益在有限容量下並無法達成。同理，由表4.10搭配表4.11說明其它折扣下的各項營運狀況，在營運容量有限的條件下，本研究以GA演算求出的站間差別折扣的訂價方式為滿足最大營運收益的折扣模式。

表 4.10 全面單一折扣訂價與站間差別訂價法比較

訂價方案	旅運量(萬人次)	營運收益(萬元)
原訂價	140.4000	151227.6480
全面訂價 9.5 折	153.5250	157096.6056
全面訂價 9.0 折	166.6500	161551.8432
站間差別訂價	181.9945	163806.4924
全面訂價 8.5 折	179.7750	164593.3608
全面訂價 8.0 折	192.9000	166221.1584
全面訂價 7.5 折	205.8209	166389.9611
全面訂價 7.0 折	218.9518	165189.3005
全面訂價 6.5 折	231.6627	162504.5165
全面訂價 6.0 折	244.5836	158450.2692
全面訂價 5.5 折	257.5045	152988.3385
全面訂價 5.0 折	270.4254	146118.7245

表 4.11 全面單一折扣訂價之區間承載率

單一折扣	台北	板橋	桃園	新竹	台中	嘉義	台南
	板橋	桃園	新竹	台中	嘉義	台南	高雄
9.5	0.5423	0.7562	0.8329	0.8564	0.7377	0.6487	0.5188
9	0.5887	0.8208	0.9041	0.9297	0.8008	0.7042	0.5631
8.5	0.6350	0.8855	0.9753	1.0029	0.8639	0.7596	0.6075

單一折扣	台北   板橋	板橋   桃園	桃園   新竹	新竹   台中	台中   嘉義	嘉義   台南	台南   高雄
8	0.6814	0.9501	1.0465	1.0761	0.9270	0.8151	0.6518
7.5	0.7278	1.0147	1.1177	1.1493	0.9900	0.8698	0.6948
7	0.7741	1.0808	1.1903	1.2225	1.0531	0.9245	0.7378
6.5	0.8205	1.1440	1.2601	1.2958	1.1162	0.9791	0.7808
6	0.8669	1.2087	1.3314	1.3690	1.1792	1.0338	0.8238
5.5	0.9132	1.2733	1.4026	1.4422	1.2423	1.0885	0.8668
5	0.9596	1.3380	1.4738	1.5154	1.3054	1.1432	0.9098

#### 4.3.2 營運容量利用率、各起迄站間需求量及座位配置比例

區間承載率為用來衡量列車營運效益的指標之一，營運者可藉由該指標做為各區間市場座位配售策略調整的依據。由圖4.3區間承載率比較圖可看出，在原訂價下，區間承載率在「新竹 - 台中」最高（78.2%）。其中「新竹 - 台中」以北承載率大於「新竹 - 台中」以南，主要是因「新竹 - 台中」以北，其南北雙向需求總合大於「新竹 - 台中」以南之雙向需求總合，而台中以南南下需求又大於北上需求。表4.12列出以GA求解差別訂價最佳化後各站間承載率，其中，以「新竹 - 台中」最高（98.7%），其次為「桃園 - 新竹」（96.44%）。最低的為「台南 - 高雄」（63.88%），次低的為「台北 - 板橋」（64.15%），兩個最低承載率的起迄站間都是短程站間，但一個為北部的一個為南部的，其中又以北部「台北 - 板橋」的利用率高於南部的「台南 - 高雄」，更可顯示南部民眾搭乘高鐵利用率比北部民眾來的低。

由圖 4.3 區間承載率比較看出各區承載率與原訂價的實際需求情況差異不多，主要原因是在資料不足的情況下，本研究是以線性假設去估計價量變動後的數據。圖型中可看出承載率由中間向兩邊遞減，可以判斷出現況中的高鐵旅客仍以長程居多，並以「新竹 - 台中」為中心的跨區需求為主，而該區間可能包含來自北中南部三種的旅客人次，覆蓋率最大。對照圖4.1原訂價下的旅運需求，需求超過5%以上的或前5名的起迄站間，也都有含括到「新竹 - 台中」此區間。

站間差別訂價後，營運需求量每月總計可達1,819,945人次，平均承載率

可達82.66%。各起迄站間需求量如表4.13所示，需求量最高的起迄站間為「台北 - 高雄」( 424,380人次 )，其次為「台北 - 台中」( 213,400人次 )，第三為「板橋 - 高雄」( 185,168人次 )；需求量最低的起迄站間為「嘉義 - 台南」( 2,323人次 )，次低為「台北 - 板橋」( 2,717人次 )，第三低為「板橋 - 桃園」( 8,766人次 )，營運者可將求解的各起迄站間需求量轉換為售票時的座位配置比例，透過旅運者對各站間的直接需求來反應營運資源的配置，不但可使營運收益最大化，也可以使有限的營運資源發揮最佳的效用。除此之外，由表4.14 的座位配置比例關係可發現，高鐵起迄人數最大的站次仍以台北及高雄兩站為最多，也就是說無論是以台北為起站或是迄站，其起迄人數占總運量人數高達5成以上 ( 52.8% )，而高雄站同樣也超過5成 ( 52.6% )，起迄人數第三多的為台中站 ( 27.4% )，第四的為板橋站 ( 20.1% )，另外最低的三站分別依次為新竹站 ( 8.9% )、桃園站 ( 11.4% ) 以及嘉義站 ( 12.2% )，營運者同樣可透過了解各站次的利用情況，做為未來場站開發規劃的依據。

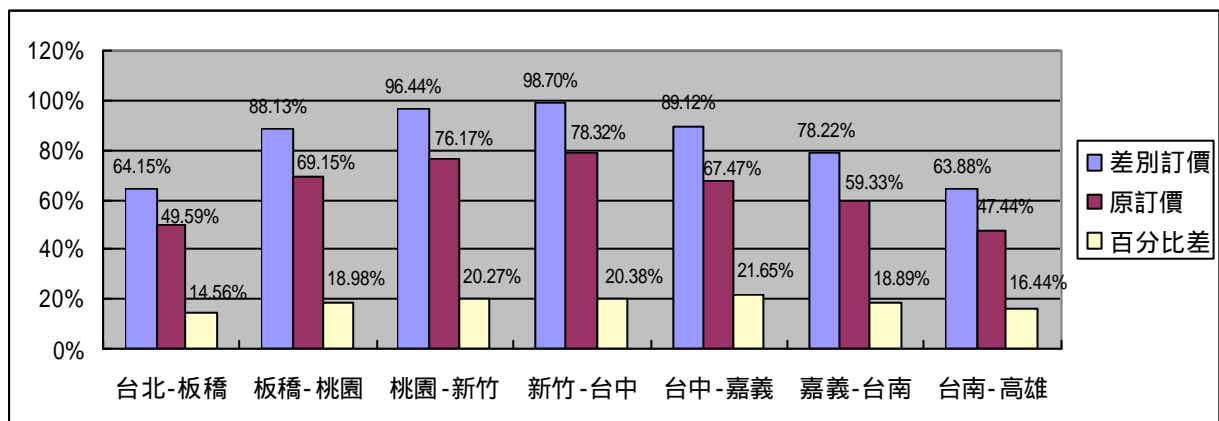


圖 4.3 區間承載率比較圖

表 4.12 站間差別訂價下區間承載率

起迄站間	區間承載量(萬人次)	承載率
台北 - 板橋	96.2520	0.6415
板橋 - 桃園	132.2369	0.8813
桃園 - 新竹	144.6962	0.9644
新竹 - 台中	148.0961	0.9870
台中 - 嘉義	133.7128	0.8912

起迄站間	區間承載量(萬人次)	承載率
嘉義 - 台南	117.3636	0.7822
台南 - 高雄	95.8461	0.6388
平均	124.0291	0.8266

表4.13 站間差別訂價下各起迄站間需求量

台北							
0.2717	板橋						
3.2598	0.8766	桃園					
2.9997	1.9632	1.4724	新竹				
21.3400	7.2157	2.5077	1.0341	台中			
11.3811	3.9996	0.9212	1.3503	1.6259	嘉義		
14.5618	3.6846	2.1665	1.6180	1.6665	0.2323	台南	
42.4380	18.5168	9.5281	5.8328	14.4218	2.6966	2.4120	高雄

單位:(萬人次/月)

表4.14 站間差別訂價下各起迄站間座位配置比例

台北							
0.001	板橋						
0.018	0.005	桃園					
0.016	0.011	0.008	新竹				
0.117	0.040	0.014	0.006	台中			
0.063	0.022	0.005	0.007	0.009	嘉義		
0.080	0.020	0.012	0.009	0.009	0.001	台南	
0.233	0.102	0.052	0.032	0.079	0.015	0.013	高雄

#### 4.3.3 各起迄站間最適折扣票價

由GA求算之各起迄站間最適折扣如表4.15。在4.3.1節中可得知，以雙向總計得出，「新竹 - 台中」以北之需求量大於「新竹 - 台中」以南，因此，在「新竹 - 台中」以北相對可折扣空間較「新竹 - 台中」以南的大。「新竹 - 台中」以北平均折扣為6.5折，「新竹 - 台中」以南平均折扣為7.25折。若依運輸業費用短中長程區分方式分析，起迄站間里程大於200公里者稱之為長程，長程需求量大者（以原使用率大於0.05%分成兩類，包括的站間有「台北 - 嘉義」、「桃園 - 高雄」、「台北 - 台南」、「板橋 - 高雄」及「台北 - 高雄」五起迄站）折扣空間較大，平均折扣為約8.3折，其它長程需求量小的站間，平均折扣約為9.08折；起迄站間里程小於50公里者稱之為短程，短程需求量大者（以原使用率大於0.01%分成兩類，包括的站間有「台南 - 高雄」及「台北 - 桃園」兩起迄站）折扣空間同樣也較大，平均折扣約為5.25折，其它短程需求量小的，平均折扣約為6折。以上分析結果皆與一般市場經濟操作原則相符。

短中長程平均每公里費率列示如表4.16，若以第三級差別訂價原則 - 「需求量大市場費率高，需求量小市場費率低，可獲得更多收益」來看，因短中長程需求量比較結果為長程 > 中程 > 短程，而其每單位公里平均費率同樣為長程（3.85）> 中程（3.52）> 短程（3），是故，求解結果符合第三級差別訂價最大化收益的精神。

表4.15 站間差別訂價下各起迄站間最適折扣

台北							
5.0	板橋						
5.0	7.0	桃園					
9.0	7.0	6.0	新竹				
9.5	9.5	8.0	5.5	台中			
8.0	9.0	9.5	8.0	6.5	嘉義		
8.5	9.5	9.0	8.5	9.0	6.5	台南	
8.0	8.5	8.5	9.0	7.5	8.5	5.5	高雄

表 4.16 各起迄站間平均每公里費率

台北							
2.86	板橋						
2.16	3.03	桃園					
3.90	3.03	2.60	新竹				
4.16	4.16	3.48	2.88	台中			
3.51	4.02	4.16	3.51	2.87	嘉義		
3.71	4.17	3.92	3.71	3.93	3.06	台南	
3.51	3.95	3.73	3.96	3.29	3.93	2.48	高雄

若以鐵路運輸遞遠遞減原則 - 「旅程公里愈長者，單位費率愈低」來看，短程與中程的平均每公里費率級距差為0.52。中程與長程平均每公里費率級距差為0.33，求解結果同樣符合遞遠遞減的原則，可達到鼓勵長程搭乘的目的。

將表4.5 原訂票價依演算法求得的各站間最適折扣率(表4.15)可得表4.17所示的各起迄站間最適票價。由於費率結構已非單純由里程數來決定，而是還進一步考量各區間市場的實際旅運需求狀況，因此最高票價已非出現在最長旅距的「台北 - 高雄」區間，而是出現在「板橋 - 台南」區間，票價為1,254元，次高者為「板橋 - 高雄」，票價為1,241元，由此可知因市場需求較小，相對可折扣的空間也較小，造成折扣後的票價變的相對也較高了。

表 4.17 站間差別訂價下各起迄站間最適票價

台北							
20	板橋						
80	91	桃園					
261	182	78	新竹				
665	636.5	432	225.5	台中			
864	945	874	632	247	嘉義		
1,147.5	1,254	1,071	901	585	182	台南	
1,192	1,241	1,130.5	1,080	592.5	348.5	77	高雄

單位：(元)



#### 4.4 營運策略調整

影響營運收益的因素，可分為來自營運供給面或旅運需求面的影響因子，在營運策略的調整同時，要謹慎考量各項因素相互影響關係，單方面的修正結果，可能會連帶排擠其它既有的效益。本研究在站間差別訂價結果下，仍有部分區間的座位利用率偏低，舉例說明，研究結果在台中 - 嘉義 - 台南 - 高雄等站間座位利用率較低，若從營運供給面調整，可以減少車次或修正停站方式，來降低營運成本的支出，提升營運利潤。例如，在「嘉義 - 台南」站間每月減少330班次（每天大約5~6班），或「台南 - 高雄」站間每月減少548班次（每天大約9~10班），就可以直接降低空位率，使該區間承載率提升。但如此結果可能會直接排擠到其它長程需求，如「台北 - 高雄」的可供座位量勢必就會減少。而若是改用調整停站方式來降低營運成本的支出，即將現有部分B、D路線併入A、E線停站方式，結果是座位利用率並不會改變，該區間空位可能仍然存在，此外，若再考量現實隨機需求的問題，調整供給面的營運策略將會是比較貿然的行動。反之，若從營運旅運需求面調整，營運者再透過對各別市場的個體需求特性進一步分析（如旅運偏好、社經條件）後，與站間差別訂價方案配套執行下，對其它站間的旅運需求就不會有排擠效果的存在。

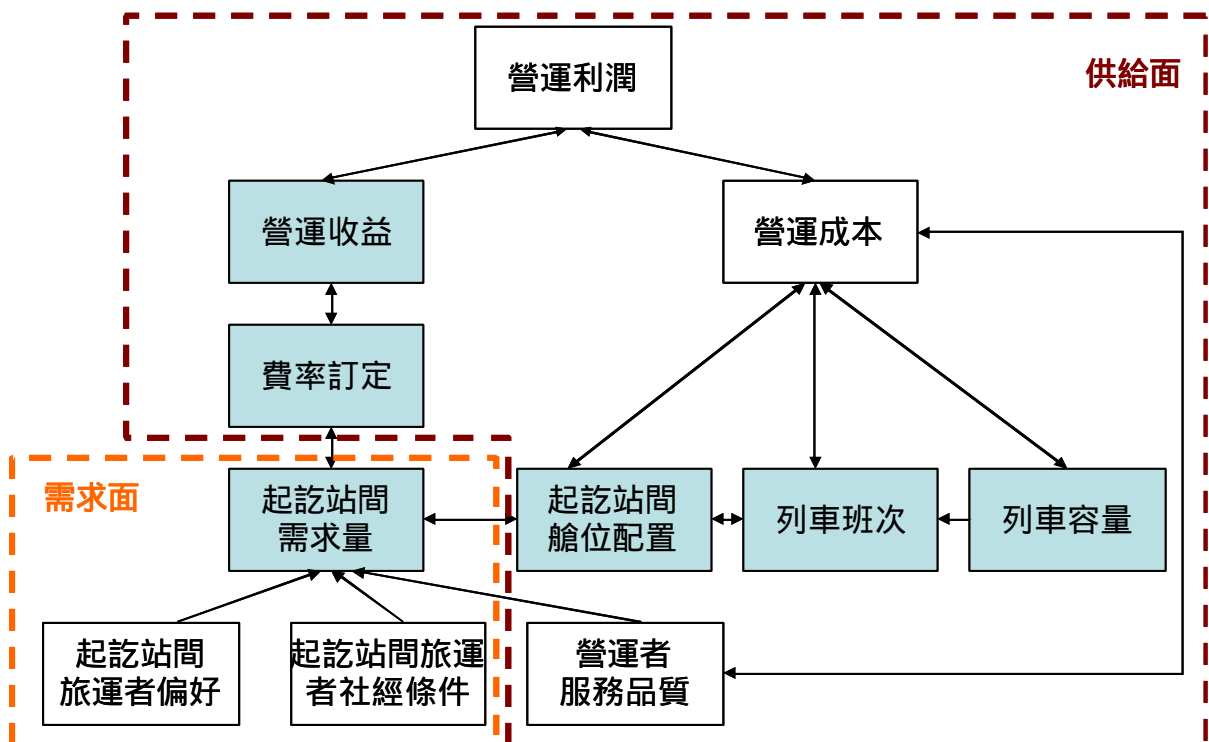


圖4.4 營運策略調整的各項因素相互關係圖

## 第五章 結論與未來研究方向

### 5.1 結論

高速鐵路為西部走廊城際客運的新運輸工具，由於在現有運輸市場中，高速鐵路面臨到來自航空業者、台鐵、國道客運、自用客車等各種運具的強大競爭，因此在票價政策上就更顯重要，其票價規劃的良窳，會直接影響營運者的營運收益以及市場需求的擴張機會。綜合本章各章之探討與分析，可以得到下面的結論：

1. 具體而言，大眾運輸系統在制定票價時，是依照交通部審核通過的費率調整機制為依據，主要考量因子包括旅運里程、遞遠遞減原則、尖離峰需求以及不同服務等級來做票價調整。票價政策上路後，真正的旅運需求才會依票價的接受度和受影響的程度反應出來。因此，建立能反映旅運需求的票價設計模式，可提高大眾運輸資源有效的運用及分配，並達到營運者追求本身利潤最大的目的。
2. 經由各站間旅運者對票價敏感度的衡量，考量各站間需求特性的差異，獲得更多的旅運需求量，提高營運設備投入的利用率。
3. 透過彈性調整各站間座位需求比例，可提供營運者於未來售票時，規劃座位配置時的參考依據。
4. 規劃座位配置時，加入各站基本服務水準，以考量到大眾運輸本身的公共服務特質，滿足大眾運輸政策提高社會公共福利的目的。

### 5.2 建議

依據本研究之分析與探討，此方向之研究仍然有許多尚待努力的課題：

1. 現實環境中，旅運需求可能在不同時間或不同地點，存在特殊現象或為隨機現象。且影響市場需求函數的因素眾多，非單純只考量需求票價敏感度的線性模式，未來可嘗試加入其它因素並以非線式模式表達。
2. 營運者除了藉由票價的調整，以差別訂價的方式來求取最大利潤外，不同的發車頻率、服務等級也會影響到旅客對票價的接受程度，可加入不

同的營運決策變數加以討論。

3. 本研究假設各站間旅運者均具有同質性，但實際上旅客因社經背景的不同，可能產生不同的選擇行為。因此，增加需求面的決策變數也是可以在未來著手進的研究方向。
4. 競爭市場的訂價策略也是影響旅運者選擇運具的重要關鍵。在未來的研究方向中，也可考量來自競爭市場（對手）訂價策略所反應的排擠效應，以確切表達市場費率定訂的真實性。

## 參考文獻

1. 內政部統計處，<http://www.moi.gov.tw/W3/stat/>。
2. 台灣高速鐵路股份有限公司，<http://www.thsrc.com.tw/>。
3. 交通部高速鐵路工程局網站，<http://www.hsr.gov.tw/>。
4. 交通部，1997。高速鐵路營運費率標準、調整時機與方式，交通費率委員會第10次委員會議通過並經交通部核定。
5. 李閔隆，2006。考慮旅客等候意願之高鐵最適班表，國立高雄第一科技大學運籌管理系，碩士論文。
6. 林憶婷，1999。高速鐵路最佳費率之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所，碩士論文。
7. 周鵬程，2005。遺傳演算法的原理與應用 - 活用Matlab，全華科技。
8. 陳羽盈，1998。高速鐵路列車排班與座位配置整合模式之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所，碩士論文。
9. 張有恆，1999。運輸經濟學，華泰書局。
10. 謝登隆，2003。個體經濟理論與應用，智勝文化。
11. 蘇霜吉，2005。列車服務與票價決策之整合模式 - 以台灣高鐵為例，國立成功大學交通管理學系，碩士論文。
12. Armstrong, J. S. 2001, "Principles of Forecasting," *Kluwer Academic Publishers*, Boston, US.
13. Bell, M. G. H., W. H. K. Lam, G. Ploss, and D. Inaudi 1993, "Stochastic User Equilibrium Assignment and Iterative Balancing," *Transportation and Traffic Theory*, pp. 427-440.
14. Bertsimas, D. and I. Popescu 2003, "Revenue Management in a Dynamic Network Environment," *Transportation Science*, **37**, pp. 257-277.
15. Bianchi, R., S. R. Jara-Díaz, and J. de D. Ortúzar 1998, "Modeling New Pricing Strategies for the Santiago Metro," *Transport Policy*, **5**, 4, pp.223-232.
16. Bodily, S. E. and L. R. Weatherford 1992, "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Over Booking and Pricing," *Operation Research*, **41**, 5, pp.831-844.
17. Bodin, L., B. L. Golden, A. Assad, and M. Ball 1983, "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews," *Computers & Operations Research*, **10**, 2, pp.63-211.
18. Botimer, T. C. 1996, "Efficiency Consideration in Airline Pricing and Yield Management," *Transportation Research Part A*, **30**, 4, pp.307-317.
19. Brumelle, S. and J. McGill 1993, "Airline Seats Allocation with Multiple Nested Fare Classes," *Operations Research*, **41**, pp.127-137.

20. Burris, M. W. and R. M. Pendyala 2002, "Discrete Choice Models of Traveler Participation in Differential Time of Day Pricing Programs," *Transport Policy*, **9**, 3, pp.241-251.
21. Cervero, R. 1985, "Examining Recent Transit Fare Innovations in The U.S," *Transportation Policy and Decision Making*, **3**, pp.23-41.
22. Cervero, R. 1986, "Time-of-Day Transit Pricing: Comparative US and International Experiences," *Transport Reviews*, **6**, 4, pp.347-364.
23. Cervero, R. 1990, "Transit Pricing Research: A Review and Synthesis," *Transportation*, **17**, 2, pp.117-139.
24. Chang, Y. H., C. H. Yeh, and C. C. Shen 2000, "A Multiobjective Model for Passenger Train Services Planning: Application to Taiwan's High-speed Rail Line," *Transportation Research Part B*, **34**, pp.91-106.
25. Chang, S. K. and P. M. Schonfeld 2007, "Multiple Period Optimization of Bus Transit Systems," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**, 4, pp.425-441.
26. Cohas, F.J., P.P. Belobaba, and R.W. Simpson 1995, "Competitive Fare and Frequency Effects in Airport Market Share Modeling," *Journal of Air Transport Management*, **2**, 1, pp. 33-45.
27. Cummings, C. P., M. Fairhurst, S. LaBelle, and D. Stuart 1989, "Market Segmentation of Transit Fare Elasticities," *Transportation Quarterly*, **43**, 3, pp.407-420.
28. Curry, R. 1989, "Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes Nested by Origins and Destinations," *Transportation Science*, **24**, 3, pp.193-204.
29. Curtin, J. 1968, "Effects of Fares on Transit Riding," *Highway Research Record*, **213**, pp.8-18.
30. Donnelly, R. M., P. M. Ong, and P. M. Gelb 1979, "Evaluation of the Denver RTD and Trenton Off-Peak Fare-Free Transit Demonstration," *Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, Transportation Systems Center*.
31. Haupt, R. L. and S. E. Haupt 1998, "Practical Genetic Algorithms," *Wiley Interscience publication*.
32. Kemp, M. A. 1973, "Some Evidence of Transit Demand Elasticities," *Transportation*, **2**, pp.27-38.
33. Lam, W. H. K. and J. Zhou 2000, "Optimal Fare Structure for Transit Networks with Elastic Demand," *Transportation Research Record*, **1733**, pp. 8-14.
34. Lamond, B. and N. F. Stewart 1981, "Bregman's Balancing Method," *Transportation Research*, **1**, 15B, pp.239-248.
35. Lee, T. and M. Hersh 1993, "A Model for Airline Seat Inventory Control with Multiple Seat Bookings," *Transportation Science*, **27**, pp.1252-1265.
36. Lovely, M. E. and D. Brand 1982, "Atlanta Transit Pricing Study: Moderating Impact of Fare Increases on Poor," *Transportation Research Record*, **857**, pp.38-44.
37. Mayworm, P., A. Lago, and J. McEnroe 1980, "Patronage Impacts of Changes in Transit Fares

- and Services,” *Washington, D.C.: Urban Mass Transportation Administration*.
38. Mullen, P. 1975, “Estimating the Demand for Urban Bus Transportation,” *Transportation*, **4**, pp.231-251.
  39. MVA Asia Limited 2002,“Taiwan High-Speed Rail Patronage and Revenue Study,”*Provisional Engineering Office of High Speed Rail*.
  40. Nuzzolo, A., U. Crisalli, and F. Gangemi 2000, “A Behavioural Choice Model for The Evaluation of Railway Supply and Pricing Policies”, *Transportation Research Part A Policy and Practice*, **34**, 5, pp.395-404.
  41. Oram, R. L. 1988, “Deep Discount Fares: Building Transit Productivity with Innovative Pricing,” *Washington, D.C.: Urban Mass Transportation Administration*.
  42. Pachon, J., M. Erkocand, and E. Iakovo 2007, “Contract Optimization with Front-End Fare Discounts for Airline Corporate Deals,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**, 4, pp.425-441.
  43. Pratt, R. M., N. J. Pederson, and J. J. Mather 1977, “Traveler Response to Transportation System Changes: A Handbook for Transportation Planners,” *Washington, D.C.: Urban Mass Transportation Administration*.
  44. Prins, C. 2004, “A Simple and Effective Evolutionary Algorithm for The Vehicle Routing problem,” *Computers & Operations Research*, **31**, pp.1985-2002.
  45. Talluri, K. and G. V. Ryzin 1998, “An Analysis of Bid-Price Controls for Network Revenue Management,” *Management Science*, **44**, pp.1577-1593.
  46. Taplin, J., D. Hensher, and B. Smith 1999, “Preserving The Symmetry of Estimated Commuter Travel Elasticities,” *Transportation Research Part B-Methodological*, **33**, 3, pp. 215-232.
  47. Tobin, R. L. and T. L. Friesz 1988, “Sensitivity Analysis for Equilibrium Network Flow”, *Transportation Science*, 1, 48, pp. 242-250.
  48. Wollmer, R. 1992, ”An Airline Seat Management Model for a Single Leg Route when Lower Fare Classes Book First,” *Operations Research*, 40, pp.26-37.
  49. Yang, H. 1997, ”Sensitivity Analysis for The Elastic-Demand Network Equilibrium Problem with Applications,” *Transportation Research Part B-Methodological*, pp.55-70.