

考慮不同搭乘距離之捷運定期票價 制定模型—以臺北都會區為例

A TRANSIT TRAVELCARD PRICING MODEL WITH DIFFERENT RIDING DISTANCES— A CASE OF THE TAIPEI METROPOLITAN AREA

朱庭慶 Ting-Ching Chu¹

蔡智發 Jyh-Fa Tsai²

(109 年 11 月 30 日收稿，110 年 9 月 23 日第一次修正，111 年 2 月 16 日第二次修正，
111 年 3 月 30 日第三次修正，111 年 6 月 24 日接受)

摘要

本研究提出捷運票價的訂價模型，主要貢獻有兩點，一、本研究提出兩種不同搭乘距離(長程與短程)需求函數之定價模型，長程與短程旅次的單程票與定期票價格會互相影響需求量的變化；二、所得不同族群對於搭乘捷運的偏好會影響定價的選擇，以及社會福利的變化，不同於 Jara-Díaz 等人^[1]，本研究提出一個一般性的分析方式，可以處理所得族群與捷運偏好非反向關係的情況，對於後續研究者在處理任何案例均可使用此分析模式。此外，把建構的模型應用在臺北都會區案例，以臺北市、新北市之臺北都會區大眾捷運系統的資料，在捷運公司損益平衡的情況下，探討社會福利最大的捷運定期票與單程票之定價。研究結果符合 Leland and Meyer^[2]的發現，在探討的票價制定規則中，實施定期票政策所得到的社會福利和預估運量皆高於沒有實施定期票政策的結果。

-
1. 新北市政府城鄉發展局工程員。
 2. 國立臺北大學都市計劃研究所特聘教授。(聯絡地址：新北市三峽區大學路 151 號公共事務學院六樓，電話：(02)86741111 #67349，E-mail：tsaij@mail.ntpu.edu.tw。)

關鍵詞：捷運票價、定期票、兩部定價、社會福利、臺北捷運

ABSTRACT

This study develops a pricing model for the fare of public rapid transit. The major contributions are two folds. First, we develops the model for two demand functions with two riding distances. The prices of travelcard and one-way ticket for long riding distance and short riding distance will interact with each of the demand functions. Second, the riding transit preference of various income groups will influence the transit pricing and welfare changes. Differing from Jara-Díaz et al. ^[1], our model proposes a more general analyzing approach by employing different selection order of income groups under the condition of different ticket prices for the data not satisfying the reverse relationship. Thus, this approach can be applied to any case of this problem. Moreover, our model is then applied to the case of the Taipei Metropolitan Area by dividing into two areas based on ticket charges for long and short commuting distance passengers to purchase. This study pursues maximum social welfare with the constraint of revenue being equal to cost for the optimal pricing. The results of the study show that in the pricing rules, the social welfare and estimated ridership obtained from the implementation of the travelcard policy will be higher than that with no travelcard policy, which is consistent with Leland and Meyer ^[2].

Key Words : transit ticket price, travelcards, two-part tariff, social welfare, Taipei Rapid Transit System

一、前言

搭乘公共運輸能減少私人運具的使用量、降低車輛廢氣的排放、增進城市空間的有效利用，使得資源的運用更有效率。近年來，臺北都會區與高雄都會區陸續推出公共運輸定期票，希望能提高該地區之大眾交通運輸搭乘量，只要支付固定的費用，就可以在規定的有效期限及範圍內無限次搭乘大眾交通工具。

一般而言，人們會將定期票的票價和自己預期使用單程票花費的總和做比較，在一定的期間內，搭乘次數愈多、旅行距離愈長的人愈有可能購買定期票，因為其單程票價格的總和會高於定期票的票價。

有關定期票的定價模型由 Carbajo ^[3] 所提出，透過兩部定價法 (two-part tariff) 找到定期票的最適定價 (福利最大化情況下)，Jara-Díaz 等人 ^[1] 擴展此模型，以所得將城市居民作分類，探討居民所得對定期票使用率和定價的影響。Hörcher 等人 ^[4] 則分析定期票造成的擁擠外部性，以討論推行定期票的效果。

因歐美公共運具的收費模式和亞洲城市不同，採劃定分區 (zone)，僅固定幾種單程票價格；而亞洲公共運具收費大多依照搭乘的距離來定價，故單程票收費較多元，票價隨著搭乘距離的變化也較歐美城市收費來的敏感，有鑑於兩者交通票定價模式的差異，本研究欲探討兩種不同搭乘距離對票價的影響，並找出其適合的公共運輸定期票定價模式。

本研究以 Carbajo^[3] 的交通票定價模型為基礎，並改良 Jara-Díaz 等人^[1] 的研究方法，考量所得雖會影響公共運具旅次需求，但是所得高低族群與搭乘捷運偏好並不完全呈反向之關係，本研究乃分析在各種不同票價時，不同所得族群購買票種的選擇排序，以做為定價模型的所得族群票種選擇的評斷依據，透過各所得族群選擇兩票種的無差異曲線，求出損益平衡時社會福利最大化之最適定價模型。並將此模型應用至臺北都會區的捷運定價案例。

簡而言之，本研究的主要貢獻有兩點，一、本研究提出兩種不同搭乘距離 (長程與短程) 需求函數之定價模型，長程與短程旅次的價格會互相影響需求量的變化；二、所得不同族群對於搭乘捷運的偏好會影響定價的選擇，以及社會福利的變化，不同於 Jara-Díaz 等人^[1]，本研究提出一個一般性的分析方式，可以處理所得族群與捷運偏好非反向關係的情況，對於後續研究者在處理任何案例均可使用此分析模式。³

本文其餘內容如下，第二節為文獻回顧，第三節為模型建構，第四節為臺北都會區捷運案例，第五節為案例結果分析，第六節為結論與建議。

二、文獻回顧

大部分有關定價與福利之議題的研究中，乃以定價之後的福利比較以及考慮福利下的定價為主，如 Williamsons^[5] 探討掠奪式定價下的福利比較，Roberts^[6] 則在考慮福利的情況下探討非線性定價，Bundrof et al.^[7] 探討醫療的選擇並估計福利的損失；Chen and Schwartz^[8] 針對不同消費族群的成本不同，而討論獨占廠商的定價，其以成本為基礎的定價會增加社會福利。邊際成本定價法可以用來解決外部性問題，當課徵稅額等於邊際外部成本時，可達到社會福利極大 (以淨效益表示) 的目標，此概念最早由 Pigou^[9] 提出，而後被應用於道路擁擠定價，如 Walters^[10]、Small^[11]、Verhoef et al.^[12]、Liu and McDonald^[13] 等。

兩部定價屬於非線性定價的一種，指收費是由兩部份所組成，一部份收取定額費，另一部份是按購買數量的多少來收費。此定價方法多為獨佔廠商來使用 (公家事業、電信通

³ 理論上而言，所得愈高的族群對於使用捷運的偏好愈低，這種反向關係是目前研究 Jara-Díaz 等人^[1] 的模式所採用的，然而實際資料並不見得在所有族群間均滿足此關係，可能在某些族群滿足反向關係，有些呈現正向關係，而本研究提出的方法可適用各種正反向關係變化的情況，故乃具一般性的分析方式。

訊產業等...), 透過獲取所有的消費者剩餘來達到利潤最大化。關於兩部定價之理論, 最早由 Oi^[14] 提出, 以迪士尼樂園為案例, 說明獨占廠商如何通過兩部定價策略將額外的消費者剩餘轉化為利潤。廠商向消費者收取一個固定的入場費, 以及固定的按量設施使用費。Oi^[14] 發現將入場費定在消費者剩餘, 設施使用費定在邊際成本時, 可以為公司帶來利潤最大化, 不過因需求分為兩個群體, 入場費的制定無法滿足所有需求, 其研究結果認為依消費者需求的不同, 可以採取不同的定價策略, 消費者間的需求差異不大時, 應採取高入場費、低設施使用費的方案; 消費者間的需求差異極大時, 應採取低入場費、高設施使用費的方案。

兩部定價是否優於其他定價原則呢? Leland and Meyer^[2] 在不假設任何特定的概率分佈或隨機影響需求的特定情況下, 並在利潤最大化的前提下, 證明兩部定價策略總是優於統一定價, 並且在某些情況下, 它也改善了社會福利。

兩部定價模型也被應用在一些市場。Littlechild^[15] 將此模型擴展至電信市場, 以電信產業存在外部性的觀點說明兩部定價, 當新用戶加入系統時, 將讓所有系統內的用戶之消費者剩餘增加, 且通話量大、平均需求量大、固定費用愈高及所得分配差異愈大時, 電信業者的利潤也愈大。另外, Ng and Weisser^[16] 研究在公共服務公司面臨預算約束時, 單價與定額費之間的最適兩部定價模型, 不同於利潤最大化的目標, Ng and Weisser^[16] 使用伯瑞圖最適 (Pareto Optimality) 作為其最適定價的標準。

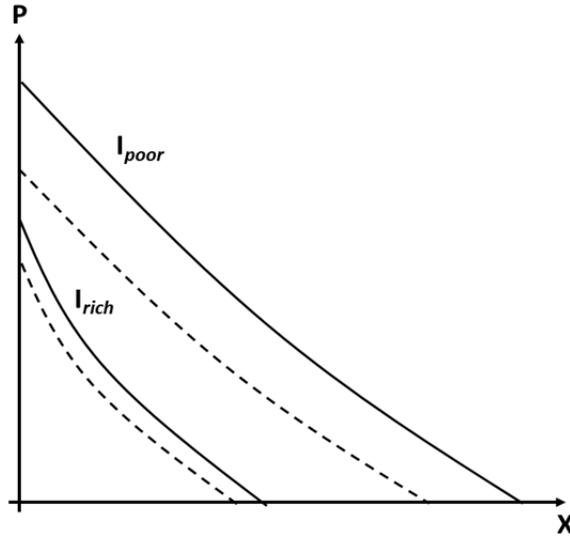
Carbajo^[3] 則將兩部定價理論用於公共交通的定期票, 他發現單程票和定期票的組合是一種特殊形式的兩部定價, 在這種情況下, 單程票和定期票是互相分離的, 購買定期票就不用再購買單程票, 反之亦然, 故消費者可以自行選擇有利於自己的票種。Carbajo^[3] 假設搭乘需求與某變數 θ 有關, 該變數會影響其搭乘的旅次, 接者定義 $q(P, \theta)$ 為使用單程票旅客之旅次數, $q(0, \theta)$ 為使用定期票旅客之旅次數, 而 $\hat{\theta}$ 代表使用兩種購票方式獲得之消費者剩餘為無差異的族群, 則最後可找出社會福利最大化滿足某利潤水準的條件下的單程票和定期票的價格。

自 Carbajo^[3] 以來, 鮮少關於公共運輸定期票價格制定的研究, 直到 Jara-Díaz 等人^[1] 擴展了 Carbajo^[3] 的模型, 才有了進一步的討論, Jara-Díaz 等人^[1] 假設產生的旅次數與所得成正比, 所得高的人每月旅次數較多, 並根據觀察認為所得會影響該族群擁有汽車的比率, 而擁有汽車與否則會影響其搭乘大眾交通工具之意願, 所以, 所得高的族群搭乘大眾交通工具的需求小於所得低的族群。如圖 1 所示, 若某所得 I 的通勤者購買單程票, 則他將搭乘 $X(P_0, I)$ 旅次, 其中 P_0 為單程票價格, 但他若選擇購買定期票, 需求曲線將會從原來移至虛線處, 而搭乘旅次數將轉變為 $X(0, I - T_0)$, 會低於原來可能會搭乘的旅次, 其中 T_0 為定期票價格。對低所得族群來說, 定期票票價占月所得的比例比高所得族群來得大, 所以定期票的價格對低所得族群的需求變化影響較高所得族群要來得敏感。

Jara-Díaz 等人^[1] 定義一個所得族群 $\tilde{I}(P^*, T^*)$, 其購買單程票和定期票之消費者剩餘相同, 其中 P^*, T^* 分別為單程票與定期票價格, 代表購買兩種票對該族群來說沒有差異, 所

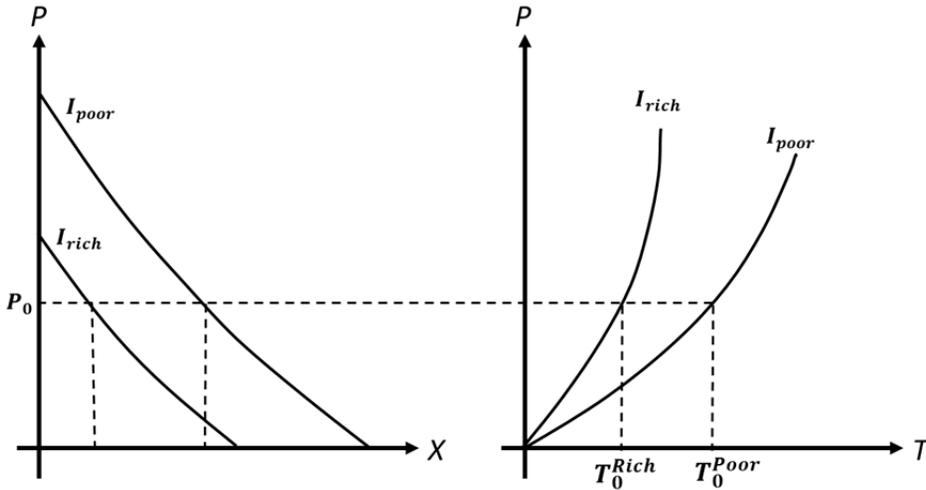
以判斷族群所得 $I > \bar{I}$ ，該需求曲線會在 \bar{I} 之上，故會選擇購買單程票，若族群所得 $I < \bar{I}$ ，該需求曲線會在 \bar{I} 之下，故會選擇購買定期票（詳見圖 2 和圖 3），接著分析在利潤不為負的情況下追求社會福利最大化的單程票與定期票的價格。

至於公共運輸定期票被廣泛使用則要追溯到 1971 年斯德哥爾摩推出的月票，從此之



資料來源：Jara-Díaz 等人^[1]

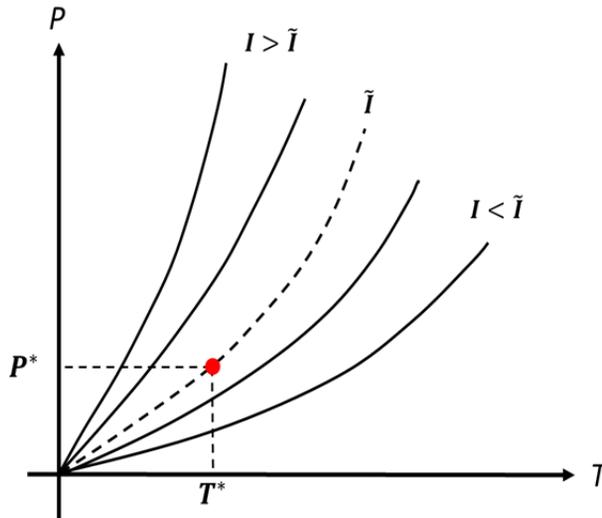
圖 1 購買定期票造成的需求變化



資料來源：Jara-Díaz 等人^[1]

圖 2 不同所得族群之需求曲線分布圖

後，公共運輸定期票開始普及於歐洲的城市，例如，維也納所有旅次中使用定期票的旅次占了 92%、斯德哥爾摩 82%、漢堡 78%、馬德里 60% 以上、蘇黎世 54%、慕尼黑 50% (Matas^[17])。而針對定期票的研究中，發現使用旅次數與搭乘距離均上升：White^[18] 研究顯示大多數購買定期票的人都集中在離中心 3 到 7 公里的地方，高於平均搭乘的距離；FitzRoy and Smith^[19] 發現定期票機制推出後，弗萊堡 (Freiburg) 搭乘大眾運具的旅次數增加了 7% 至 22%；FitzRoy and Smith^[20] 研究了瑞士四個都會區，證實在 1980 年代中期引入大幅折扣的定期票對公共交通的使用產生了相當大的正面影響；此外，1986 年至 2001 年期間，定期票的引入使馬德里的地鐵旅次數增加了近 15%，公車旅次數增加了 7% 以上 (Matas^[17])。國內有關捷運的學術比較偏向使用者特性與行為的因素相關的議題 (如林昱賢^[21]、于立安^[22]、陳怡靜^[23] 等)，捷運票價制定的研究比較少見，尤其是定期票訂價方面更為缺乏。跟定期票議題較相關者為探討定期票購買意願 (吳招億^[24])。



資料來源：Jara-Díaz 等人^[1]

圖 3 選擇單程票或定期票之判斷依據

而臺灣的公共運輸定期票方面，高雄市為臺灣第一個推行公共運輸定期票的城市，於 2009 年推出 30 天漫遊卡，訂價 1250 元，於 2015 年取消該方案。而該年平均日運量 16.49 萬人次較前一年 16.79 萬人次相比，減少 1.8%。而 2018 年 3 月 1 日高雄市又重新推出月票方案，30 天期間可不限次數搭乘捷運和市區公車，售價 1600 元 (學生 1400 元)，另可加價 200 元購買輕軌吃到飽月票。臺北市和新北市於 2018 年 4 月 16 日起推出 1280 元定期票，30 日內不限距離、次數搭乘臺北捷運、雙北公車及使用 YouBike 可享有前 30 分鐘租借免費，捷運人次相較於前一年同期成長約 3.4%，雙北公車運量則成長約 3.36%。而其定期票票價係依 105 年 10 月份票卡使用臺北捷運及雙北公車資料。顯示約 23% 使用公共運

輸之通勤族每月通勤費超過 1280 元⁴。

由以上回顧得知，臺北的捷運定價僅由使用者的整體資料做簡易的判斷，並無較為嚴謹以社會福利為考量的理論基礎，對於不同所得族群的選擇行為亦無掌握。在比較各種定價理論後發現，就非線性定價法而言，非線性定價法在實務運作上較為複雜，對單程票而言，較難適用於捷運消費者習慣的單純收費方式；而對於定期票來說，因為定期票是付一個價格而不限使用次數，對於不同單位定不同價格的非線性定價法不易適用。邊際成本定價法雖對於外部性可以適當的處理，但是對於捷運而言，較無如汽車的外部性的問題，而且因為其規模經濟較大，邊際成本定價往往會產生虧損的情況，故並不適當；而定期票因不限使用次數的特性，亦不適合以邊際成本來定價。此外，不管單程票或定期票都是兩部定價法的一種，因此，適合由兩部定價法來處理。在求福利極大的目標下，Carbajo 的兩部定價法適合本研究。因此，本研究以 Carbajo 的兩部定價法為基礎，考慮社會福利極大之目標，針對短程與長程旅次，決定單程票與定期票的價格。

三、模型建構

本研究在兩種不同搭乘距離的情況下提供定期票的定價模型，以 Carbajo^[3] 之公共運輸定期票模型為基礎，參考 Jara-Díaz 等人^[1] 的研究架構，根據所得將乘客分群，並且把搭乘距離納入模型討論，以探究不同搭乘距離下捷運票價之定價情形。

首先，假設都市分為兩區，第 1 區為市中心，第 2 區為市中心周圍地區，捷運路網以第 1 區為中心向外延伸擴展。居民的通勤旅次分為兩種，一種皆通勤於第 1 區或第 2 區的範圍內，定義為短程旅次，一種則來往於第 1 區與第 2 區間，定義為長程旅次⁵。居民有不同的所得水準，不同所得族群對於通勤方式有著不同程度的喜好，影響著該族群使用捷運比例。

本研究的目標為透過社會福利最大化，尋求捷運交通票的最適定價，在此模型中，單程票分成兩種，分別為短程旅次、長程旅次的單程票，定期票分成兩種，一種為僅限通勤於第 1 區範圍內的定期票⁶，另一種為起迄點在不同區搭乘的定期票。短程旅次起迄點僅能在同一區範圍內。

一個所得族群 I 的短程捷運通勤者，面對短程單程票價 P_S 與短程定期票價 T_S ，其短程

⁴ 依 106 年第 1 次臺北市交通民意調查資料，使用汽車通勤，不論是否跨縣市工作，每月交通費用均需約 5,000 元；使用機車通勤，其跨市境、不跨市境之每月交通費用則為 1,260 元及 924 元，故定價為 1,280 元（臺北市政府^[25]）。

⁵ 現實中，不管是短程或長程的旅次，都包含許多不同起點與迄點的旅次，為簡化分析，本研究先以平均的概念處理，故短程與長程旅次各代表其旅次的一個平均長度。

⁶ 不考慮在第二區範圍內搭乘的定期票。

需求函數為 $X_s(P_s, T_s, I)$ ，其對應的反函數 $P_s = X_s^{-1} = P_s(X_s, T_s, I)$ 。當選擇單程票價的消費者剩餘大於定期票價的消費者剩餘時，選擇短程單程票的搭乘旅次數 $X_s(P_s, 0, I)$ ；反之，選擇短程定期票的搭乘旅次數 $X_s(0, T_s, I)$ ⁷。而選擇購買單程票與定期票的消費者剩餘分別如下：

$$CS_{P_s} = \int_{P_s}^{\infty} X_s(\phi, 0, I) d\phi, \quad (1)$$

$$CS_{T_s} = \int_0^{X_s(0, T_s, I)} P_s(\phi, 0, I) d\phi - T_s. \quad (2)$$

給定一個短程單程票價 P_s^* 和短程定期票價 T_s^* ，令 \bar{I} 族群選擇短程通勤之兩種票種所獲得的消費者剩餘相同 ($CS_{P_s} = CS_{T_s}$)，則 $\bar{I}(P_s^*, T_s^*)$ 為選擇兩種票種之無差異族群，則需求曲線高於此無差異曲線之族群會選擇購買定期票，反之，需求曲線低於此無差異曲線之族群會選擇購買單程票 (見圖 4)⁸。接著討論長程旅次，此種旅次皆來往於第 1 區與第 2 區之間，類似短程旅次的設定，一個所得族群 I 的長程捷運通勤者，面對長程單程票價 P_l 與長程定期票價 T_l ，其長程需求函數為 $X_l(P_l, T_l, I)$ ，其對應的反函數 $P_l = X_l^{-1} = P_l(X_l, T_l, I)$ 。當選擇單程票價的消費者剩餘大於定期票價的消費者剩餘時，選擇長程單程票的搭乘旅次數 $X_l(P_l, 0, I)$ ；反之，選擇長程定期票的搭乘旅次數 $X_l(0, T_l, I)$ ⁹。而選擇購買單程票與定期票的消費者剩餘分別如下：

$$CS_{P_l} = \int_{P_l}^{\infty} X_l(\phi, 0, I_i) d\phi, \quad (3)$$

$$CS_{T_l} = \int_0^{X_l(0, T_l, I_i)} P_l(\phi, 0, I_j) d\phi - T_l. \quad (4)$$

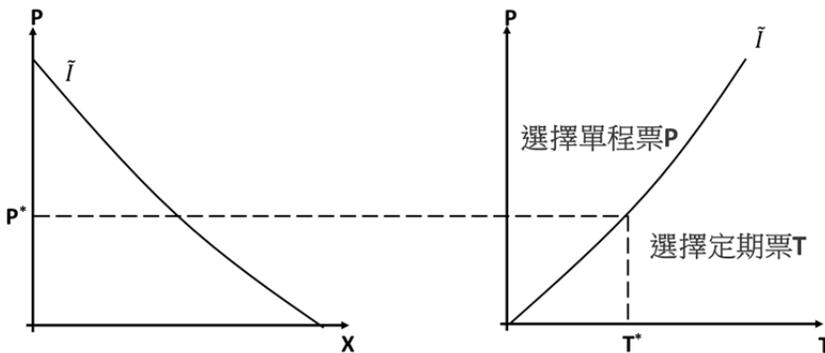


圖 4 票種選擇的判斷

⁷ 搭乘旅次數均以一個月計。

⁸ 不過，因短程旅次之定期票僅限於來往於第 1 區範圍，故通勤於第 2 區內的所得族群只能購買短程單程票。

⁹ 搭乘旅次數均以一個月計。

接著，給定一個 P_l^* 和 T_l^* ，令 \bar{I} 族群為選擇長程通勤之兩種票種獲得的消費者剩餘相同 ($CS_{P_l} = CS_{T_l}$)，則 $\bar{I}(P_l^*, T_l^*)$ 為選擇兩種票種之無差異族群，需求曲線高於 \bar{I} 族群之需求曲線會選擇購買定期票，反之，需求曲線低於 \bar{I} 族群之需求曲線會選擇購買單程票。

捷運的目標為社會福利極大化，但是經營者利潤不能小於零，如下式：

$$\begin{aligned} Max SW = & \sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot CS_{P_s} + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot CS_{P_s} + \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot CS_{P_l} + \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot CS_{T_s} \\ & + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3i} \cdot CS_{T_l} + \pi \\ \text{s.t } & \pi \geq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

其中

- N_{1i} : 搭乘捷運於第 1 區內之所得族群 I_i 人數，
- N_{2i} : 搭乘捷運於第 2 區內之所得族群 I_i 人數，
- N_{3i} : 搭乘捷運於第 1、2 區間之所得族群 I_i 人數，
- Ψ : 購買短程單程票之所得族群的集合，
- Ω : 購買長程單程票之所得族群的集合，
- Λ : 購買短程定期票之所得族群的集合，
- Γ : 購買長程定期票之所得族群的集合，
- CS_{P_s} : 購買短程單程票之消費者剩餘，
- CS_{P_l} : 購買長程單程票之消費者剩餘，
- CS_{T_s} : 購買短程定期票之消費者剩餘，
- CS_{T_l} : 購買長程定期票之消費者剩餘，
- π : 利潤。

注意，因為未對第 2 區短程使用者提供定期票，故第 2 區短程使用者只能購買單程票。其中，利潤為單程票總收入加上定期票總收入減去當月總搭乘量乘以邊際成本，再減去營運的固定成本。單程票的收入取決於搭乘旅次，而定期票的收入則取決於購買的人數，如 (6) 式¹⁰：

$$\pi = (P_s - m) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) \right]$$

¹⁰ 此利潤函數中的變數為短程單程票價格 P_s 、長程單程票價格 P_l 、短程定期票價格 T_s 、長程定期票價格 T_l ，其餘為參數，參數值的選取見第 4 節案例中。

$$\begin{aligned}
 & +(P_l - m) \cdot \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot T_s + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3i} \cdot T_l \\
 & - m \cdot [\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot X_s(0, T_s, I_i) + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3i} \cdot X_l(0, T_l, I_i)] - F,
 \end{aligned} \tag{6}$$

其中

m 為每趟旅次之邊際成本¹¹， F 為固定成本，其餘參數或項目同前。

求解短程單程票價格 P_s ，長程單程票價格 P_l ，短程定期票價格 T_s 與長程定期票價格 T_l 可得 (詳見附錄)：

$$P_s^* = \frac{m}{1 - \frac{\theta}{\sum_{I_i \in \Psi} \alpha_{si} \cdot |\eta_{P_s I_i}| + \sum_i \beta_{si} \cdot |\eta_{P_s I_i}|}} \tag{7}$$

其中

$$\begin{aligned}
 \alpha_{si} &= \frac{N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_i N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)}, \\
 \beta_{si} &= \frac{N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_i N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)},
 \end{aligned}$$

$\eta_{P_s I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇短程單程票的需求彈性， $\theta = \lambda / (1 + \lambda)$ ， λ 為 Lagrange 乘數。意義上而言， α_{si} 、 β_{si} 分別為第 1 區所得族群 I_i 、第 2 區所得族群 I_i 搭乘短程單程票旅次占所有短程單程票搭乘旅次之比例。

$$P_l^* = \frac{m}{1 - \frac{\theta}{\sum_{I_i \in \Omega} \alpha_{li} \cdot |\eta_{P_l I_i}|}} \tag{8}$$

其中

$\eta_{P_l I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇長程單程票的需求彈性。

$$\begin{aligned}
 \alpha_{li} &= \frac{N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i)} \tag{9} \\
 T_s^* &= \sum_{I_i \in \Lambda} \gamma_{si} \cdot |\eta_{T_s I_i}| \cdot X_s(0, T_s, I_i) \cdot \left\{ \frac{P_s [X_s(0, T_s, I_i), 0, I_i]}{(1 + \lambda)} - m \right\}.
 \end{aligned}$$

¹¹ 考慮捷運列車單趟成本固定，並不會因為搭乘人數多為短程或長程而有所變化，此為聯合成本 (joint cost) 的情況，故設定每趟搭乘旅次不論短、長程均要付出相同之邊際成本。

其中 γ_{si} 為所得族群 I_i 購買短程定期票人數占所有購買短程定期票人數之比例， $\eta_{T_s I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇短程定期票的需求彈性。

$$T_l^* = \sum_{I_i \in \Gamma} \gamma_{li} \cdot |\eta_{T_l I_i}| \cdot X_l(0, T_l, I_i) \cdot \left\{ \frac{P_l[X_l(0, T_l, I_i), 0, I_i]}{(1 + \lambda)} - m \right\} \quad (10)$$

其中 γ_{li} 為所得族群 I_i 購買長程定期票人數占所有購買長程定期票人數之比例， $\eta_{T_l I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇長程定期票 T_l 的需求彈性。

四、臺北都會區捷運案例

本節以臺北都會區大眾捷運系統作為案例進行分析。臺北都會區大眾捷運系統(以下簡稱臺北捷運)目前路網範圍涵蓋臺北市、新北市，營運單位為臺北捷運公司，自 1996 年 3 月 28 日開始營運以來，目前共有 6 條主要路線與 2 條單站支線，營運里程 146.2 公里，但本研究以 2018 年的實際資料做為研究數據，故不包含 2020 年開通的環狀線。

本研究將臺北都會區劃分成兩區，第一區為臺北市，第二區為新北市，並假設短程旅次為臺北市與新北市各自之市內通勤旅次；長程旅次為兩區跨縣市之通勤旅次，根據臺北捷運公司近年來的年報統計，臺北捷運乘客平均搭乘距離為 8.1 公里，依照市內通勤與跨縣市通勤人數比例拆分，設定短程旅次搭乘距離為 5 公里，長程旅次搭乘距離為 15 公里¹²。

票種部分，短程定期票使用範圍為臺北市內之捷運站，長程定期票使用範圍為臺北捷運所有站點，購買定期票每月可以不限次數地搭乘臺北捷運。通勤於臺北市內之族群可選擇購買短程單程票或短程定期票；通勤於新北市內之族群僅能購買短程單程票；而通勤兩區之跨縣市族群可以選擇購買長程單程票或長程定期票。¹³

¹² 不考慮從第二區橫跨第一區至第二區的旅次，根據 105 年民眾日常使用運具狀況調查原始資料，此類型旅次僅佔總旅次 2.3%，旅次數很少故將其忽略。依據 105 年民眾使用運具狀況調查報告資料，臺北市跟新北市之跨縣市通勤比率分別為 14.2%、40.5%，依兩縣市人口(265 萬及、402 萬人)計算跨縣市通勤比率，得出為 30.05%，故推斷兩地區跨縣市與縣市內通勤比率約為 3:7，而北捷平均搭乘距離為 8.1km，符合此條件下的長短城旅次距離仍有許多組合，取整數計算，先假設短程旅次搭乘距離為 5 公里，則長程旅次搭乘距離為 15 公里。

¹³ 實務上的捷運票種很多，但是主要為單程票與定期票兩種，尤其是一般通勤與通學的旅次目的。本研究並非實務性的計畫報告，而是以學術性質為主，提出一種考慮社會福利為目標的定價模型，故不包括實務上所有票種。本研究考慮早晨尖峰進入臺北市方向(進城)的旅次進行分析，這些旅次將於下午尖峰或其他時間反方向出城。但是未分析早晨尖峰出城的旅次。

4.1 需求函數

本研究為推算不同票價定價下，各所得族群選擇搭乘捷運的旅次需求，參考 Jara-Díaz 等人^[1]之設定，短程旅次跟長程旅次的需求函數分別為（見圖 5）：

$$X_s(P_s, T_s, I_i) = A_{si} - B_{si} \cdot \frac{P_s + \Delta_{si}}{I_i - T_s}, \quad (11)$$

$$X_l(P_l, T_l, I_i) = A_{li} - B_{li} \cdot \frac{P_l + \Delta_{li}}{I_i - T_l}. \quad (12)$$

- X_s 、 X_l : 短程、長程通勤者使用捷運之短程需求量，
- A_{si} 、 A_{li} : 短程、長程通勤者之潛在旅次數，
- B_{si} 、 B_{li} : 短程、長程通勤者受票價影響的變數，
- Δ_{si} 、 Δ_{li} : 短程、長程通勤者受票價以外因素影響的變數，
- P_s 、 P_l : 短程、長程單程票價格，
- T_s 、 T_l : 短程、長程定期票價格，
- I_i : 所得族群。

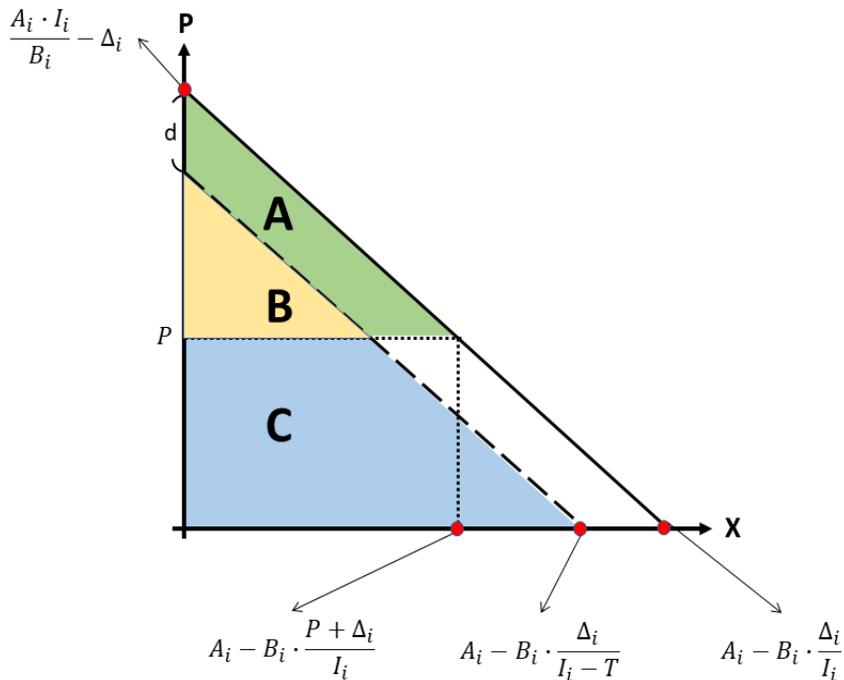


圖 5 單程票需求函數參數關係圖

根據圖 5，購買單程票的消費者剩餘為 A+B 面積，購買定期票的消費者剩餘為 B+C-T 之面積，其中 T 為定期票價格，為計算定期票的消費者剩餘，必須先求出單程票需求與定期票需求之最大願付價格差 d，原本的需求曲線和受定期票所得占比影響後的需求曲線斜率 e 相同，其斜率 e 為：

$$|e| = \frac{\left(\frac{A_i \cdot I_i}{B_i} - \Delta_i\right)}{\left(A_i - B_i \cdot \frac{\Delta_i}{I_i}\right)} = \frac{I_i}{B_i}, \quad (13)$$

求出斜率 e 後，則 d 為：

$$d = \left[\left(A_i - B_i \cdot \frac{\Delta_i}{I_i} \right) - \left(A_i - B_i \cdot \frac{\Delta_i}{I_i - T} \right) \right] \cdot \frac{I_i}{B_i} = \frac{\Delta_i \cdot T}{I_i - T}, \quad (14)$$

將 (14) 式代入 (11)、(12) 式，可計算所得族群 I_i 的消費者剩餘：

$$CS_P = \frac{I_i}{2B_i} \cdot \left(A_i - B_i \cdot \frac{P + \Delta_i}{I_i} \right)^2, \quad (15)$$

$$CS_T = \frac{I_i}{2B_i} \cdot \left(A_i - B_i \cdot \frac{\Delta_i}{I_i - T} \right) \cdot \left[A_i - B_i \cdot \frac{\Delta_i}{I_i} \cdot \left(1 - \frac{T}{I_i - T} \right) \right] - T. \quad (16)$$

當某所得族群 I_i 選擇單程票和定期票的消費者剩餘相同時，代表購買單程票和定期票並無差異，可得 P 與 T 關係式：

$$P(T, I_i) = \frac{A_i \cdot I_i}{B_i} - \Delta_i - \frac{I_i}{B_i} \sqrt{\left[A_i - \frac{B_i \cdot \Delta_i}{I_i} \cdot \left(1 - \frac{T}{I_i - T} \right) \cdot \left(A_i - \frac{B_i \Delta_i}{I_i - T} \right) \right] - \frac{2TB_i}{I_i}}. \quad (17)$$

因為臺北都會區案例和 Jara-Díaz 等人^[1]觀察的結果不同，購買單程票、定期票的族群並不依照所得高低順序排列，故需藉由實際數據判斷排序，再據以求出單程票與定期票的價格。

4.2 參數設定

4.2.1 成本

捷運成本分為變動成本、固定成本，變動成本會隨著搭乘量上升而增加，固定成本則指每年固定會付出的成本，不會隨搭乘量而起變化。

(1) 邊際成本

根據臺北捷運公司 2018 年報^[26]及臺北捷運公司 107 年度決算審定書^[27]，輸儲成本包含用人費用、折舊費用、維修費用、動力費用、物料費用等，但其中包含每年需固定繳

納的捷運固定資產重置基金，目前每年約 40 億元，故將其扣除後的金額做為捷運系統之變動成本，全年度為 12,089,381 (千元)。將此金額除以全年載客量即為邊際成本 m 。

根據臺北都會區大眾捷運系統三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書^[28] 列車載客容量的預估方法，計算一列列車的載客量。根據臺北捷運公司 2018 年報^[26] 資料顯示，中運量和高運量平均尖峰承載率為 4.26、3.75 人/平方公尺，而根據臺北捷運區域運量採礦分析^[29] 之研究中，平日上下午尖峰時段 (7-9 時、17-19 時) 佔平日總運量約 39.5%，臺北捷運每日營運時間約 19 小時，故可由此估算其平均列車承載率，中運量列車為 2.27 人/平方公尺，高運量列車為 2 人/平方公尺。根據臺北市政府捷運工程局網站^[30]，中運量列車車廂尺寸為 13.78 公尺 (長度) × 2.54 公尺 (寬度)；高運量列車車廂尺寸為 23.5 公尺 (長度) × 3.2 公尺 (寬度)¹⁴，中運量捷運車輛扣除車體厚度車輛結構、車輛聯結處、消防設備面積之折減係數採 0.88 計算，高運量捷運車輛之折減係數約為 0.92¹⁵。

故將車廂尺寸乘上折減係數得出車廂可載客面積，扣除座位面積後再分別乘上列車車廂數 (中運量 4 節，高運量 6 節) 和平均列車乘載率 (中運量 2.27 人/平方公尺，高運量 2 人/平方公尺)，可以得出每班列車之平均載客人數 (中運量 278 人；高運量 861 人)¹⁶，再分別乘上發車班次 (中運量每日 580 班；高運量每日 2626 班) 相加除以總班次後，得出臺北捷運平均每班列車載客量為 755 人。

將變動成本除以平均每班列車載客量 755 人和全年發車班次 1,170,205 班/年後，可以得到邊際成本 m ，為 13.68 元/趟¹⁷。

(2) 固定成本

根據臺北捷運公司 2018 年報^[26] 及臺北捷運公司 107 年度決算審定書^[27]，營業費用指用以維持捷運系統一切維運正常運作，非因運輸本身而產生之費用，包含行銷費用、業務費用、管理費用等，本研究將營業費用加上其他營業成本和捷運固定資產重置基金後做為捷運系統之固定成本 F ，全年度為 11,334,511 (千元)。

4.2.2 所得族群通勤人數

依據 107 年臺北市家庭收支訪問調查報告^[31]、107 年新北市家庭收支訪問調查報告

¹⁴ 中運量列車以 370 型電聯車為參考車型；高運量列車以 371 型電聯車為參考車型。

¹⁵ 根據 2018 年新北市捷運工程局，臺北都會區大眾捷運系統三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書^[28]。

¹⁶ 雖然中運量列車中間的車廂是不能夠提供乘客移動，但是此特性只會使某些車廂特別擁擠，而其餘車廂比較不擁擠，平均的承載僅與車型的大小有關，在尖峰時刻大部分是通勤與通學的旅次，這些有經驗的搭乘者已經熟悉那些車廂特別擁擠的現象，因此會選擇適當的車廂上車，而留一些較擁擠的沒經驗的搭乘者，換言之，均衡的結果，承載率應是與車廂的大小相關而已。

¹⁷ 按定義來說，此為平均變動成本，我們假設邊際成本為固定，則此成本亦為邊際成本。此假設在服務量達某一定值以上應屬合理。

^[32]，資料中顯示各年所得的家戶數，先將每戶家戶年所得轉換成月均所得，並除以臺北市每戶平均 3.16 人、新北市每戶平均 3.05 人得出每人月均所得，並進行分組，之後將分組後的家戶數乘上臺北市每戶平均 3.16 人、新北市每戶平均 3.05 人，得出各所得族群的人數。

而根據 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33] 和 105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34]，將所得族群人數分別乘上通勤學比例得出臺北市跟新北市之所得族群通勤人數。依 105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34] 附表 8 可得知新北市與臺北市之跨縣市通勤比例為 40.5%、14.2%，另依 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]，得知臺北市整體跨縣市比例為 13.5% 以及各所得族群之跨縣市比例，故本研究以此資料作為基礎，乘上 105 年民眾日常使用運具狀況調查報告附表 8 中新北市與臺北市的跨縣市比例推估新北市各所得族群跨縣市比例資料。(詳見表 1)¹⁸。

臺北市內、新北市內之短程所得族群通勤人數分別為所得族群通勤人數乘上各自市內之通勤比例；長程所得族群通勤人數為臺北市和新北市之所得族群通勤人數各自乘上其跨縣市通勤比例後相加。(詳見表 2)。

4.2.3 旅次需求

(1) 月旅次

根據 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]，各所得族群之月旅次如表 3。

表 1 臺北都會區所得族群通勤人數

| 月收入 | 臺北市 通勤人數 | 新北市 通勤人數 | 通勤學比例 | 臺北市 跨縣市比例 | 新北市 跨縣市比例 |
|---------|-------------|-------------|-------|--------------|--------------|
| 未滿 1 萬元 | 10,337 | 38,883 | 21% | 10% | 29% |
| 1-3 萬 | 247,887 | 569,941 | 50% | 9% | 26% |
| 3-5 萬 | 578,859 | 886,518 | 77% | 14% | 40% |
| 5-7 萬 | 299,652 | 340,368 | 75% | 18% | 51% |
| 7-10 萬 | 216,618 | 151,162 | 80% | 20% | 57% |
| 10 萬以上 | 96,431 | 38,681 | 79% | 21% | 60% |

資料來源：107 年臺北市家庭收支訪問調查報告^[31]、107 年新北市家庭收支訪問調查報告^[32]、107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]、105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34]

¹⁸ 表中之收入分類乃依照 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告內之收入族群資料的分類，為求資料一致性，本研究的收入就此分類處理之。以下各表中的收入分類亦同。

表 2 短程與長程所得族群通勤人數

| 月收入 | 臺北市短程 通勤人數(N_{1i}) | 新北市短程 通勤人數(N_{2i}) | 跨市長程 通勤人數(N_{3i}) |
|--------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 未滿 1 萬 | 9,303 | 27,793 | 12,124 |
| 1-3 萬 | 225,577 | 423,643 | 168,608 |
| 3-5 萬 | 497,819 | 532,535 | 435,023 |
| 5-7 萬 | 245,715 | 165,630 | 228,676 |
| 7-10 萬 | 173,294 | 64,936 | 129,550 |
| 10 萬以上 | 76,181 | 15,513 | 43,419 |

表 3 所得族群月旅次

| 月收入 | 未滿 1 萬 | 1-3 萬 | 3-5 萬 | 5-7 萬 | 7-10 萬 | 10 萬以上 |
|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 月旅次 | 78 | 75 | 78 | 84 | 81 | 90 |

資料來源：107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]

(2) 需求彈性

依 105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34] 附表 16 可得知新北市、臺北市使用捷運比例分別為 16.9% 及 26.1%，並利用人口數平均可得到平均使用捷運比例為 20.6%，再依 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33] 得知臺北市各所得族群使用捷運比例，並以此資料為基礎，乘上 105 年民眾日常使用運具狀況調查報告附表 16 中新北市與臺北市的使用捷運比例來推估新北市各所得族群使用捷運比例以及各所得族群平均使用捷運比例。見表 4。

有關需求彈性的求算乃先求算整體的需求彈性，在估算各族群的需求彈性。在先求算整體的需求彈性時，乃利用吳招億^[24] 文中所提定期票購買行為與購買意願效用函數 f 的公式¹⁹，帶入不同價格，而經由價格的變動求算整體需求彈性²⁰。

¹⁹ 吳招億^[24] 的研究雖未正式發表，但是其蒐集的旅客搭乘意願資料仍可提供本研究分析之所需，其旅運者選擇購買公共運輸定期票意願之效用函數為： $f = 1.4747 - 0.0158(A) + 0.3361(O) - 0.3508(E) - 0.1610(HM) + 0.0175(D) - 2.0543(P) + 0.1857(RD) - 0.2655(WFP) + 0.3795(PT)$ 。其中 A：年齡，O：職業—軍公教，E：教育—碩士，HM：家戶機車數，D：通勤旅次長度（公里），P：定期票價格（千元），RD：住家與站點距離（公里），WFP：工作地點免費停車，PT：搭乘公共運輸。而預測公共運輸定期票購買意願之機率為： $p = e^f / (1 + e^f)$ 。

²⁰ 吳招億^[24] 的分析雖名為公共運輸，但是主要仍以捷運為主，故本研究乃利用其相關的研究結

表 4 臺北都會區民眾使用捷運比例

| 月收入(元) | 新北市 使用捷運比例% | 臺北市 使用捷運比例% | 平均 使用捷運比例 |
|--------|----------------|----------------|--------------|
| 未滿 1 萬 | 17% | 27% | 21% |
| 1-3 萬 | 15% | 23% | 18% |
| 3-5 萬 | 14% | 21% | 17% |
| 5-7 萬 | 19% | 30% | 24% |
| 7-10 萬 | 21% | 33% | 26% |
| 10 萬以上 | 16% | 24% | 19% |

資料來源：107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]、105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34]

根據臺北捷運公司 2018 年報^[26]得知平均搭乘旅次長度為 8.1 公里、105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34]得知使用捷運比例為 20.06%、臺北捷運廣告媒體手冊^[35]得知平均搭乘年齡為 32 歲及碩士學歷占比為 13.8%、107 年機車使用狀況調查報告^[36]得知平均家戶擁車數為 1.4 輛，故設定平均搭乘旅次長度 8.1 公里、平均搭乘年齡 32 歲，碩士學歷占比 13.8%，家戶擁車數為 1.4 輛，定期票價格 1280 元，捷運站距離住家 0.6 公里，工作地點無免費停車以及使用捷運比例 20.06%，將此設定帶入吳招億^[24]定期票購買行為與購買意願效用函數 f 的公式經由羅吉特模式轉換，可得出整體購買意願為 19.76%，之後分別變動價格 (1280 元、1408 元) 與距離 (5 公里、10 公里)，得出整體短程通勤旅次的需求彈性為 -0.37，長程通勤旅次的需求彈性為 -0.41。

接著求算各族群的需求彈性，依 107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]、105 年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34] 中的旅次資料、使用捷運的比例以及 89 年交通部運輸研究所的公路車輛行車成本調查^[37] 算出的交通費用，代入吳招億^[24] 的公共運輸定期票購買行為效用函數購買行為效用函數 g ²¹，得出各所得族群之購買機率。

再依購買意願效用函數 f 之長程、短程價格需求彈性 (-0.37、-0.41) 分別乘上各族群購買機率與整體購買機率 (19.76%) 的比值，即可求出各所得族群之長、短程價格需求彈性 (見表 5)²²。

果，作為捷運需求彈性之推估。

²¹ 吳招億^[24] 的旅運者選擇購買公共運輸定期票購買行為效用函數為： $g = -3.6485 + 0.7577(TF) + 0.0188(TT) + 0.0554(T) - 0.0799(MI) + 1.6726(UP)$ 。其中 TF：每周交通費 (千元)，TT：通勤旅次時間，T：每周旅次頻率，MI：每人每月收入 (萬元)，UP：使用捷運的比例。預測公共運輸定期票購買意願之機率為： $p = e^g / (1 + e^g)$ 。

²² 單程票的需求彈性採同定期票的需求彈性代替，因為探討的大部分旅次為通勤與通學，單程票或

表 5 捷運定期票購買行為效用函數之參數推估數據

| 月收入(元) | 週旅 次數 | 旅次 時間(分) | 交通 費用(元) | 使用捷運 比例 | 購買機率 | 短程需求 彈性 | 長程需求 彈性 |
|--------|----------|-------------|-------------|------------|--------|------------|------------|
| 未滿 1 萬 | 18.2 | 22 | 348 | 21% | 25.29% | -0.30 | -0.32 |
| 1-3 萬 | 17.5 | 22 | 374 | 18% | 18.65% | -0.40 | -0.43 |
| 3-5 萬 | 18.2 | 23 | 549 | 17% | 17.61% | -0.43 | -0.46 |
| 5-7 萬 | 19.6 | 25 | 660 | 24% | 19.47% | -0.39 | -0.42 |
| 7-10 萬 | 18.9 | 31 | 794 | 26% | 17.55% | -0.43 | -0.46 |
| 10 萬以上 | 21 | 27 | 974 | 19% | 15.23% | -0.49 | -0.53 |

資料來源：107年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告^[33]、105年民眾日常使用運具狀況調查報告^[34]、公路車輛行車成本調查^[37]

(3) 非價格因素影響的變數

將需求彈性轉化成受價格影響變數 B_i ，並透過 (11) 與 (12) 式，利用當前單程票定價 (5km 20 元、15km 40 元)、各所得族群搭乘捷運比例以及出行旅次 A_i 帶入 (11) 與 (12) 式，可求出各所得族群之非價格影響變數 Δ_i (見表 6 與表 7)。

表 6 臺北市、新北市所得族群短程通勤旅次需求函數之參數

| 月收入 | 臺北市 | | | 新北市 | | |
|---------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|----------------|
| | A_{s1i} | B_{s1i} | Δ_{s1i} | A_{s2i} | B_{s2i} | Δ_{s2i} |
| 未滿 1 萬元 | 78 | 4,452.8 | 27.6 | 78 | 4,452.8 | 33.8 |
| 1-3 萬 | 75 | 6,038.6 | 159.0 | 75 | 6,038.6 | 177.9 |
| 3-5 萬 | 78 | 6,394.7 | 353.1 | 78 | 6,394.7 | 388.1 |
| 5-7 萬 | 84 | 5,784.5 | 576.9 | 84 | 5,784.5 | 667.1 |
| 7-10 萬 | 81 | 6,419.5 | 687.8 | 81 | 6,419.5 | 810.6 |
| 10 萬以上 | 90 | 7,397.3 | 1355.2 | 90 | 7,397.3 | 1508.2 |

定期票的選擇在於其所得族群中，哪一種票種比較有利而已，因此，價格的變動對於需求量的變化，不管是單程票或定期票應沒有太大的差異，所以，採用同一種需求彈性應可接受。此外，在 Jara-Diaz et al.^[1] 中，針對這兩種票種的需求彈性亦為相同處理方式。

表 7 跨縣市所得族群長程通勤旅次需求函數之參數

| 月收入 | A_{li} | B_{li} | Δ_{li} |
|---------|----------|----------|---------------|
| 未滿 1 萬元 | 78 | 4,804.3 | 7.6 |
| 1-3 萬 | 75 | 6,515.3 | 136.5 |
| 3-5 萬 | 78 | 6,899.5 | 325.3 |
| 5-7 萬 | 84 | 6,241.1 | 563.6 |
| 7-10 萬 | 81 | 6,926.3 | 684.6 |
| 10 萬以上 | 90 | 7,981.3 | 1320.0 |

五、案例結果分析

本節對臺北都會區的通勤族群進行模擬分析，探討各所得族群之定價組合，比較各所得族群定價組合所獲得的社會福利，尋求其中社會福利最大的定價組合作為臺北捷運的最適定價。

本研究依每月所得的高低，將通勤族群從 1 到 6 進行編號，編號 1 為月收入未滿 1 萬元的族群；編號 6 為月收入超過 10 萬的族群。並以各組的中點為各組代表的每月所得進行後續分析，例如：1 萬未滿 3 萬元以 2 萬元代替，以此類推。另未滿 1 萬元以 5 千元代替；10 萬元以上以 15 萬元代替。

5.1 單程票旅次需求

將前一節的參數值分別帶入需求函數 (10) 式與 (11) 式可以得出臺北市短程、新北市短程和跨市長程之單程票價格與旅次需求關係。根據圖 6、圖 7 與圖 8 可以看出單程票願付價格最高的皆為 10 萬元以上之所得族群；願付價格最低皆為未滿一萬元之所得族群。

以臺北市內各所得群的短程票種無異曲線 (圖 9) 與跨市的各所得群的長程票種無異曲線 (圖 10) 來看²³，在不同單程票價下，各族群購買票種的意願排序會產生變化，故根據不同的價格，用不同的意願排序作為購買票種的判斷依據，表 8 中 59.99 元為所得族群 1 最大願付價格；表 9 中 73.57 元為所得族群 1 最大願付價格，故只在此價格區間內做排序與判斷。

²³ 為節省篇幅，且與臺北市類似，故新北市的所得無異曲線及後續的短程票種選擇判斷依據表未列於文中。

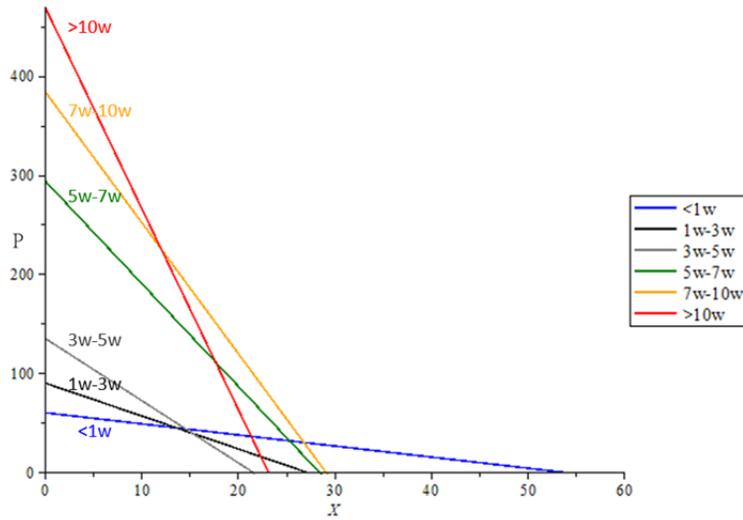


圖 6 臺北市內短程旅次單程票需求曲線圖

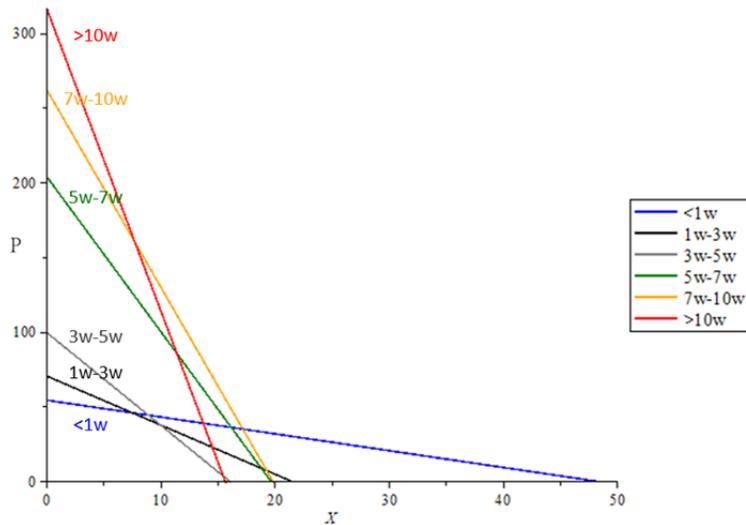


圖 7 新北市內短程旅次單程票需求曲線圖

依循表 8 與表 9，分別以每組所得族群之無差異曲線作為購買票種的判斷依據，將不同定價時族群會購買的票種進行分類排序，對長、短程消費者相同之關係式 (17) 式在利潤為零條件下求解長、短程單程票 P_s 、 P_l 以及長、短程定期票 T_s 、 T_l ，利用此購買票種分類所求出的長、短程單程票價格，必須位於當初表 8 與表 9 中此購買票種分類的價格範圍內，則該組價格即代表該所得族群之價格組合。

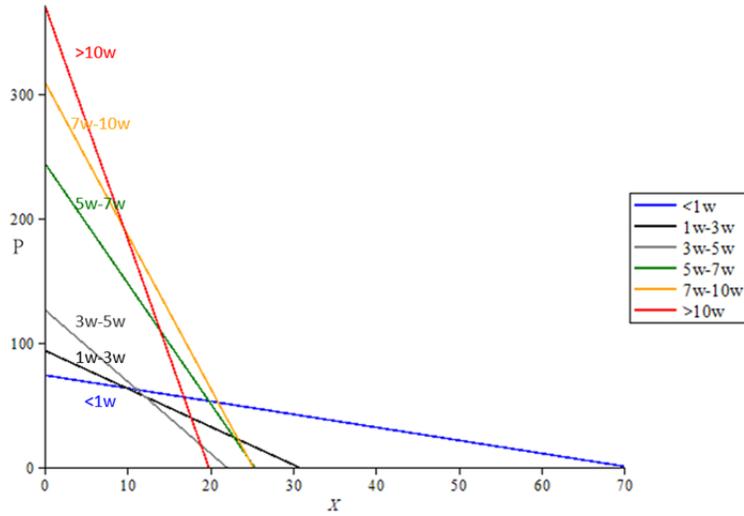


圖 8 跨市長程旅次單程票需求曲線圖

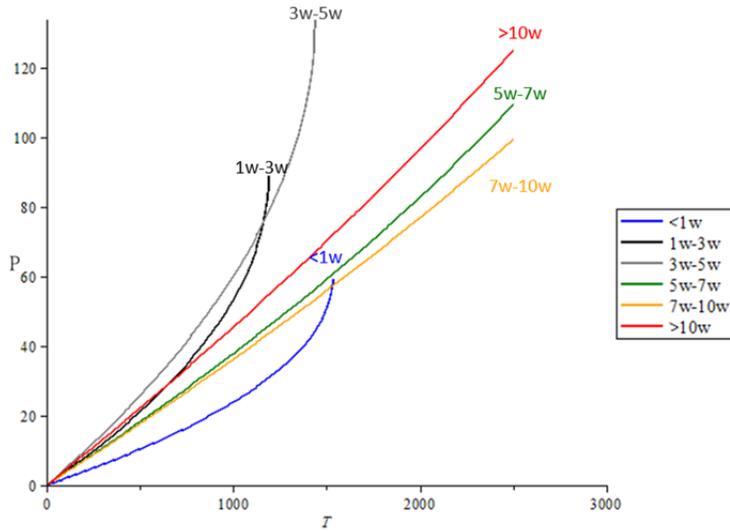


圖 9 臺北市內各所得族群之短程單程票與定期票無差異曲線

表 8 乃由圖 9 的單程票與定期票無差異曲線而來，其中當單程票價格於 0 - 29.33 的範圍時，選擇購買票種 (單程票) 的族群順序為 3-6-2-4-5-1，而選擇購買定期票的順序則反過來，亦即，族群 3 最偏好單程票，族群 6 次之，以下按上述順序排列；而族群 1 最偏好定期票，族群 5 次之，以下按上述相反順序。而單程票與定期票的相對價格則會影響購買票種的族群，例如，在給定單程票價格情況下，定期票價格太高，可能沒有任何族群購買定期票 (亦即都買單程票)，定期票價格微幅下降，可能只有族群 1 購買定期票，定期票價

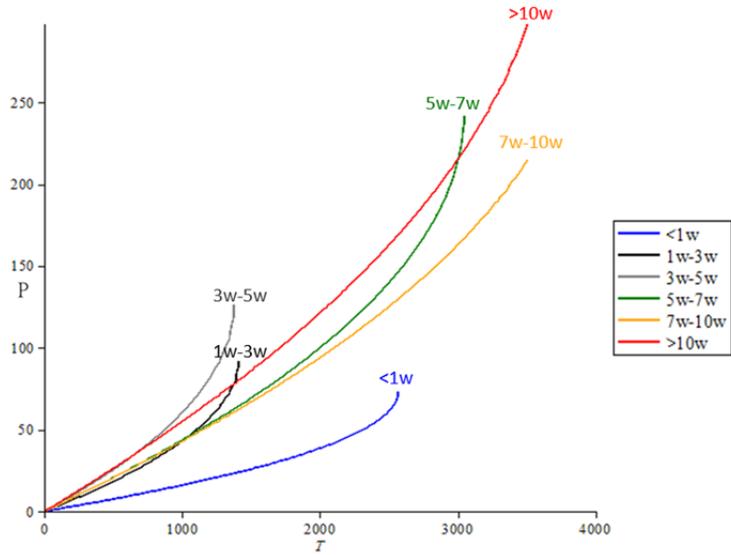


圖 10 跨市各所得族群之長程單程票與定期票無差異曲線

表 8 臺北市內短程票種選擇判斷依據

| 單程票價 | 選擇購買單程票之排序 ²⁴ | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 29.33 | 3 | – | 6 | – | 2 | – | 4 | – | 5 | – | 1 |
| 29.33 – 57.21 | 3 | – | 2 | – | 6 | – | 4 | – | 5 | – | 1 |
| 57.21 – 59.99 | 3 | – | 2 | – | 6 | – | 4 | – | 1 | – | 5 |

表 9 跨市長程票種選擇判斷依據

| 單程票價 | 選擇購買單程票之排序 | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 – 12.87 | 6 | – | 3 | – | 5 | – | 4 | – | 2 | – | 1 |
| 12.87 – 34.85 | 6 | – | 3 | – | 4 | – | 5 | – | 2 | – | 1 |
| 34.85 – 42.45 | 3 | – | 6 | – | 4 | – | 5 | – | 2 | – | 1 |
| 42.45 – 45.72 | 3 | – | 6 | – | 4 | – | 2 | – | 5 | – | 1 |
| 45.72 – 73.57 | 3 | – | 6 | – | 2 | – | 4 | – | 5 | – | 1 |

²⁴ 選擇購買定期程票之排序則相反，例如，在單程票價為 0- 29.33 時，選擇購買定期程票之排序為 1-5-4-2-6-3。

格再下降，會有兩族群(族群 1 與族群 5)購買定期票，以下類推。表 9 中購買單程票與定期票的族群順序概念類似表 8。

得出所有價格組合後，將各組定價代入 (5) 式，分別計算社會福利，最後進行比較，社會福利最大之定價組合即為該定價方案之最適定價。

5.2 票價制定規則

本研究使用三種票價制定規則作為模擬分析之定價方式，第一種為多段區段費率，在一定距離內收固定之價格，而超過之里程依區間價格相加作為票價，現今臺北捷運即採用此種計價方式；第二種為均勻費率，按區間價格直接乘以搭乘之區間數作為計價方式；第三種為累退費率，即收取之單位里程價格隨搭乘距離愈遠而愈低。

(1) 多段區間費率

單程票價格制定規則與臺北捷運定價方式相同，搭乘 5 公里距離內皆收取固定之最低票價 20 元，之後每多搭乘 3 公里收取 1 個單位價格 p ，短程旅次 (5 公里) 的單程票價格 P_s 為 20 元；長程旅次 (15 公里) 位於 15-17 公里的價格範圍內，故長程旅次單程票價格為 $P_l = 20 + 4 \cdot p$ 。將票價關係式代入 (17) 在利潤為零條件下求解單位價格 p 以及長、短程定期票 T_s 、 T_l ，得出所有價格組合後，將各組定價代入分別計算社會福利，結果詳見表 10，其中，Case 0 為沒有定期票的情況下單程票的價格組合，Case 3 為臺北市短程和跨市長程之所有族群選擇購買定期票的情況 (新北市短程通勤者只能購買單程票)，根據計算比較各組社會福利與 Case 0 的變化後，得出 Case 2 的價格組合 ($P_s = 20$ 、 $T_s = 477$ 、 $P_l = 55$ 、 $T_l = 1,180$) 的社會福利數值為最高，故其組合為多段區間費率之最適定價組合。

表 10 多段區間費率最適定價推估

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 20 | - | 56 | - | 9.049 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,835,879,864 | 0.00% |
| 1 | 20 | 875 | 55 | 2411 | 8.753 | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、4、5、2 | 1 | 4,852,937,599 | 0.35% |
| 2 | 20 | 477 | 55 | 1180 | 8.848 | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,940,467,821 | 2.16% |
| 3 | 20 | 398 | - | 1065 | - | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 20 | 547 | 55 | 1225 | 8.669 | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,927,086,952 | 1.89% |
| 5 | 20 | 565 | 56 | 1280 | 9.004 | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、2、4 | 5、1 | 4,854,457,149 | 0.38% |
| 6 | 20 | 453 | 65 | 1167 | 11.211 | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、4、2、5、1 | 4,899,164,503 | 1.31% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

(2) 均勻費率

在此費率下，每單位里程收取的價格 p 相同，按設定之單位里程加總作為收費依據，本研究設定之里程區間分為 4 種，分別以 1 公里、2 公里、3 公里、4 公里作為其區間之單位里程，則短程與長程的票價規則如下：(a) 以每單位 1 公里計， $P_s = 5 \cdot p$ ， $P_l = 15 \cdot p$ 。(b) 以每單位 2 公里計， $P_s = 3 \cdot p$ ， $P_l = 8 \cdot p$ 。(c) 每單位 3 公里計， $P_s = 2 \cdot p$ ， $P_l = 5 \cdot p$ 。(d) 每單位 4 公里計， $P_s = 2 \cdot p$ ， $P_l = 4 \cdot p$ 。同多段區費率的計算過程可得各組費率的社會福利(見表 11 至表 14)，比較後得出以 4 公里作為單位里程費率，其 Case 2 的價格組合($P_s = 23$ 、 $T_s = 543$ 、 $P_l = 46$ 、 $T_l = 1,057$) 的社會福利數值為最高，故其組合為均勻費率之最適定價組合。

表 11 均勻費率最適定價推估(每 1 公里/段)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 20 | - | 59 | - | 3.913 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,812,445,101 | 0.00% |
| 1 | 18 | 813 | 55 | 2,405 | 3.644 | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、2、4、5 | 1 | 4,857,664,964 | 0.94% |
| 2 | 19 | 464 | 58 | 1,212 | 3.878 | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,930,079,711 | 2.44% |
| 3 | 21 | 415 | - | 1,029 | 4.191 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 19 | 528 | 58 | 1,286 | 3.857 | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,919,655,879 | 2.23% |
| 5 | 20 | 552 | 59 | 1,331 | 3.901 | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、4、2 | 5、1 | 4,833,952,761 | 0.45% |
| 6 | 21 | 469 | 62 | 1,122 | 4.140 | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、2、4、5、1 | 4,908,551,809 | 2.00% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

表 12 均勻費率最適定價推估(每 2 公里/段)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 20 | - | 54 | - | 6.788 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,850,611,710 | 0.00% |
| 1 | 19 | 844 | 51 | 2,334 | 6.371 | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、4、5、2 | 1 | 4,881,698,244 | 0.64% |
| 2 | 20 | 483 | 54 | 1,164 | 6.767 | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,942,576,859 | 1.90% |
| 3 | 22 | 436 | - | 985 | 7.374 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 20 | 552 | 54 | 1,209 | 6.732 | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,930,210,643 | 1.64% |
| 5 | 20 | 575 | 54 | 1,245 | 6.789 | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、2、4 | 5、1 | 4,867,346,869 | 0.35% |
| 6 | 22 | 493 | 58 | 1,057 | 7.266 | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、4、2、5、1 | 4,918,263,531 | 1.39% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

表 13 均勻費率最適定價推估(每 3 公里/段)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 21 | - | 52 | - | 10.417 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,861,520,940 | 0.00% |
| 1 | 20 | 862 | 49 | 2,292 | 9.809 | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、4、5、2 | 1 | 4,891,187,027 | 0.61% |
| 2 | 21 | 494 | 52 | 1,137 | 10.415 | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,949,081,338 | 1.80% |
| 3 | 23 | 448 | - | 961 | 11.390 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 21 | 566 | 52 | 1,168 | 10.359 | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,933,401,688 | 1.48% |
| 5 | 21 | 589 | 52 | 1,201 | 10.433 | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、2、4 | 5、1 | 4,876,647,749 | 0.31% |
| 6 | 22 | 506 | 56 | 1,022 | 11.207 | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、4、2、5、1 | 4,915,201,318 | 1.10% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

表 14 均勻費率最適定價推估(每 4 公里/段)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 23 | - | 45 | - | 11.300 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,897,384,392 | 0.00% |
| 1 | 21 | 924 | 43 | 2,133 | 10.726 | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、4、5、2 | 1 | 4,920,407,157 | 0.47% |
| 2 | 23 | 543 | 46 | 1,057 | 11.614 | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6、4 | 2、5、1 | 4,961,777,760 | 1.31% |
| 3 | 25 | 490 | - | 878 | 12.567 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 22 | 606 | 45 | 1,022 | 11.133 | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6 | 4、2、5、1 | 4,942,452,132 | 0.92% |
| 5 | 23 | 639 | 45 | 1,058 | 11.354 | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、2、4 | 5、1 | 4,907,426,001 | 0.21% |
| 6 | 25 | 555 | 49 | 907 | 12.304 | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、4、2、5、1 | 4,932,031,772 | 0.71% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

(3) 累退費率

累退費率分為兩種，一種為等差遞減增加，即每多搭一單位里程會少扣上一單位里程價格固定比例；一種為等比遞減增加，即每多搭一單位里程其收的費用為上一單位里程價格之固定倍數。搭乘 n 單位里程的價格關係式為 (p 代表最初單位里程價格， Δr 代表累退變動率)：

(a) 等差遞減增加：

$$p + p \cdot \left[n - 1 - \frac{(n-1) \cdot n}{2} \cdot \Delta r \right], \quad (18)$$

(b) 等比遞減增加：

$$p \cdot \frac{1-(1-\Delta r)^n}{\Delta r} \circ \quad (19)$$

本研究設定累退變動率 Δr 為 2%，單位里程設為 1 公里，將短程距離 (5 公里)、長程距離 (15 公里) 分別帶入 (18) 式與 (19) 式後，則 P_s 和 P_l 的票價規則如下：(a) 等差遞減增加， $P_s = 4.8 \cdot p$ ， $P_l = 12.9 \cdot p$ 。(b) 等比遞減增加， $P_s = 4.8 \cdot p$ ， $P_l = 13.07 \cdot p$ 。同多段區費率的計算過程可得各組費率的社會福利 (見表 15 與表 16)，經過比較得出等差遞減增加費率中 case 2 的價格組合 ($P_s = 20$ 、 $T_s = 482$ 、 $P_l = 54$ 、 $T_l = 1,167$)，算出的社會福利值最大，故此組合為該累退費率的最適定價組合。

表 15 累退費率最適定價推估(等差遞減增加)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 20 | - | 55 | - | 4.231 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,843,334,918 | 0.00% |
| 1 | 19,842 | 51 | 2,339 | 3,969 | | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、2、4、5 | 1 | 4,881,699,360 | 0.79% |
| 2 | 20,482 | 54 | 1,167 | 4,217 | | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,942,752,853 | 2.05% |
| 3 | 22,435 | - | 988 | 4,592 | | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 20,551 | 54 | 1,214 | 4,195 | | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,930,223,286 | 1.79% |
| 5 | 20,574 | 55 | 1,251 | 4,231 | | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、4、2 | 5、1 | 4,860,978,906 | 0.36% |
| 6 | 22,491 | 58 | 1,061 | 4,526 | | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、2、4、5、1 | 4,934,822,447 | 1.89% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

表 16 累退費率最適定價推估 (等比遞減增加)

| Case | P_s | T_s | P_l | T_l | p | Choose P_s | Choose T_s | Choose P_l | Choose T_l | SW | $\Delta SW\%$ |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0 | 20 | - | 55 | - | 4.212 | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 4,843,334,918 | 0.00% |
| 1 | 19,839 | 52 | 2,347 | 3,948 | | 3、6、2、4、5 | 1 | 3、6、2、4、5 | 1 | 4,875,399,844 | 0.66% |
| 2 | 20,480 | 55 | 1,173 | 4,195 | | 3、6 | 2、4、5、1 | 3、6 | 2、4、5、1 | 4,939,947,385 | 1.99% |
| 3 | 22,433 | - | 993 | 4,565 | | - | 3、6、2、4、5、1 | - | 3、6、4、2、5、1 | - | - |
| 4 | 20,548 | 55 | 1,222 | 4,173 | | 3、6、2 | 4、5、1 | 3、6、2 | 4、5、1 | 4,927,080,996 | 1.73% |
| 5 | 20,571 | 55 | 1,260 | 4,210 | | 3、6、2、4 | 5、1 | 3、6、4、2 | 5、1 | 4,860,980,089 | 0.36% |
| 6 | 22,488 | 59 | 1,068 | 4,500 | | 3 | 6、2、4、5、1 | 3 | 6、2、4、5、1 | 4,916,065,662 | 1.50% |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

將上述三種票價機制得出的最適定價組合進行比較，比較結果見表 17。根據比較，使用 4 公里為單位之均勻階段費最適定價組合，在捷運公司利潤為零的情況下，其計算出之社會福利為所有費率中最大，故以短程票價格 23 元、短程定期票價格 543 元、長程單程票價格 46 元、長程定期票價格 1,057 元作為臺北都會區大眾捷運系統之最適票價組合。

本研究使用目前臺北捷運公司之票價 (短程單程票 20 元、長程單程票 40 元) 帶入模型，得到預估之每月載客量為 63,927,454 人次²⁵，而將此研究之最適定價組合帶入模型後，

²⁵ 依據臺北捷運公司 2018 年報^[26] 資料，2018 年每月平均載客量為 63,789,177 人次。

得到每月載客量為 67,467,614 人次，較原來增加約 5.54%，表示定期票機制能夠有效帶動捷運搭乘人次的提升，達到舒緩道路交通壅擠的效果。

表 17 各費率最適定價組合比較結果

| Case | 短程單程 票價(元) | 短程定期 票價(元) | 長程單程 票價(元) | 長程定期 票價(元) | 社會福利 |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | P_s | T_s | P_l | T_l | SW |
| 多段區間費率 | 20 | 477 | 55 | 1180 | 4,940,467,821 |
| 均勻費率 (1 公里/段) | 19 | 464 | 58 | 1212 | 4,930,079,711 |
| 均勻費率 (2 公里/段) | 20 | 483 | 54 | 1164 | 4,942,576,859 |
| 均勻費率 (3 公里/段) | 21 | 494 | 52 | 1137 | 4,949,081,338 |
| 均勻費率 (4 公里/段) | 22 | 543 | 46 | 1057 | 4,961,777,760 |
| 累退費率 (等差遞減) | 20 | 482 | 54 | 1167 | 4,942,752,853 |
| 累退費率 (等比遞減) | 20 | 480 | 55 | 1173 | 4,939,947,385 |

註：此定價推估結果是在捷運公司利潤為零的條件下所進行

5.3 政策分析

經上一節的實證模擬分析後，本研究進一步探討兩種政策的影響。針對捷運成本的變動以及民眾搭乘意願的變化兩種情況，對於捷運票價之最適定價、社會福利以及旅運量所造成的影響。

5.3.1 捷運成本變動

捷運系統服務提升或能源價格波動等因素有可能導致捷運公司的總成本提高，故本研究進一步探討若成本變動對於捷運票價以及運量的變化，因此將最適定價模型中的邊際成本 m 做變動 ($m \times 0.8$ 、 $m \times 0.9$ 、 $m \times 1.1$ 、 $m \times 1.2$)，以了解捷運成本變動對於最適定價及搭乘人次的影響，詳見圖 11、圖 12。

從圖 11 可以看出，當捷運成本上升，單程票的價格也會隨之上升；定期票的價格則無明顯趨勢，而圖 12 顯示當捷運成本上升，其社會福利會下降；而搭乘人次則微幅下降。

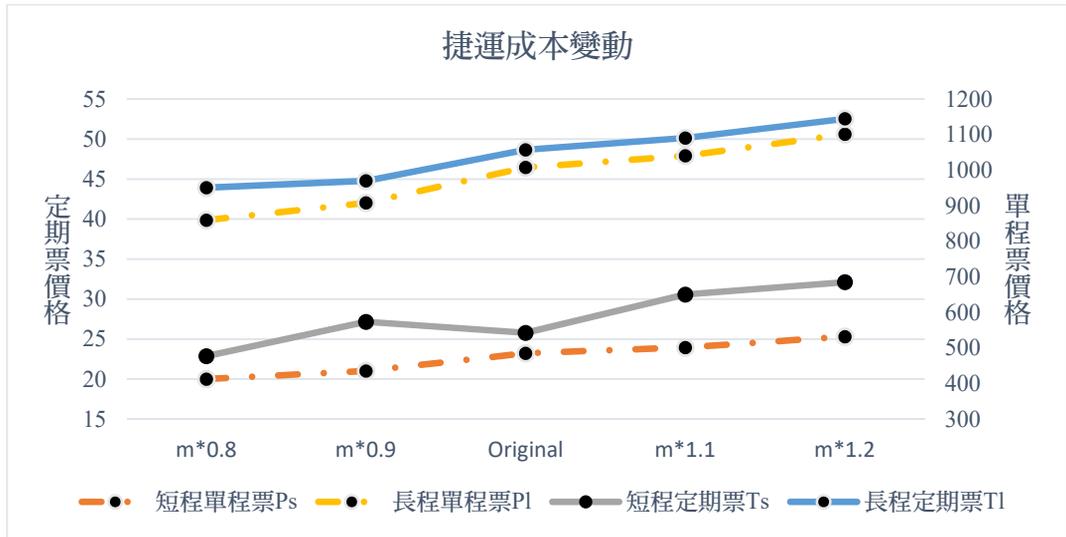


圖 11 捷運成本與票價之變動關係圖



圖 12 捷運成本、社會福利與搭乘人次之變動關係圖

5.3.2 搭乘意願變化

若民眾搭乘捷運的意願改變，捷運的票價應如何因應？社會福利會如何變化？故本研究以需求函數中價格彈性的相關參數 B_i 做變動，因 B_i 調高使得搭乘人數大量減少，導致捷運公司無法損益平衡，故本研究分別將 $B_i \times 0.9$ 、 $B_i \times 0.925$ 、 $B_i \times 0.95$ 、 $B_i \times 0.975$ 帶入分析，詳見圖 13 與圖 14。

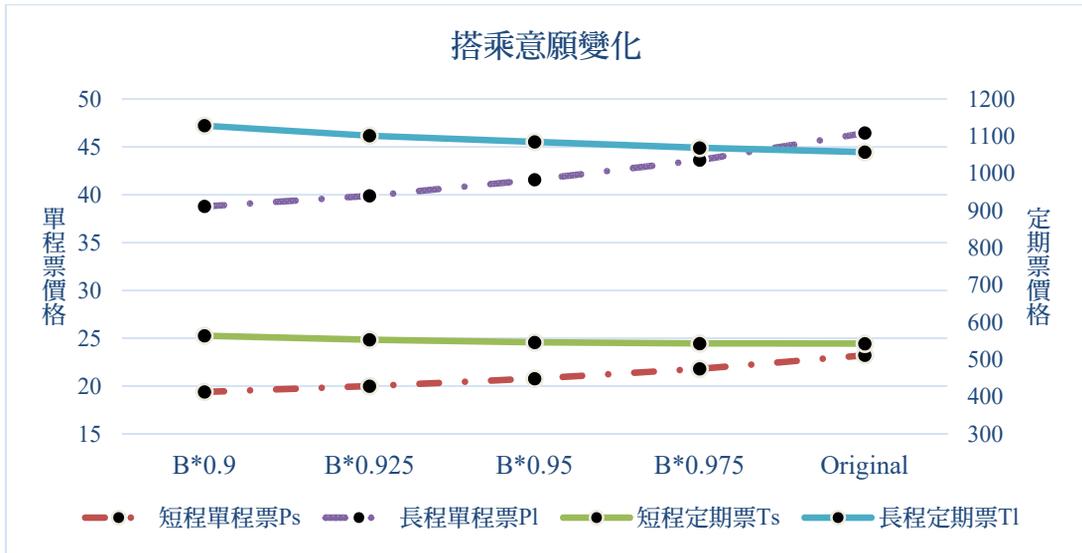


圖 13 搭乘意願變化與票價的變動關係圖

由圖 13 可以得出，當 B_i 下降，搭乘意願上升時，單程票的價格會隨之而下降，不過定期票因為搭乘需求的增加，通勤者選擇搭乘捷運的月旅次增加，在邊際成本不變的情況下，捷運營運成本因搭乘人次而增加，故定期票的價格應會較之前要來得高，如此才能確保捷運公司損益平衡。另外，從圖 14 可以看出當搭乘意願增加時，最適定價所獲得的社會福利以及捷運搭乘人次會隨著增加。

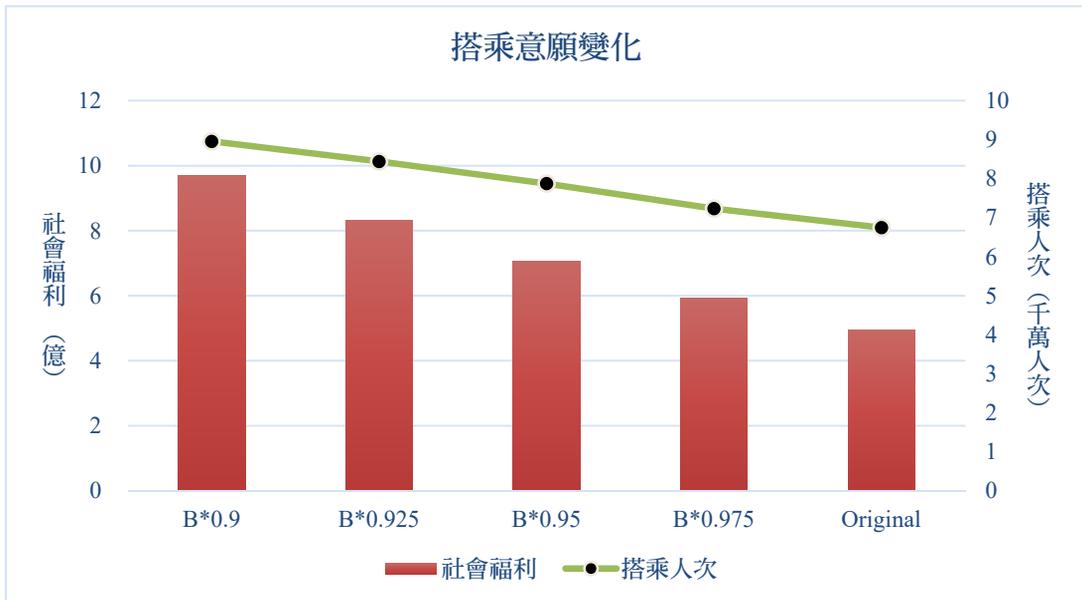


圖 14 搭乘意願、社會福利與搭乘人次之變動關係圖

六、結論與建議

本研究提出捷運票價的訂價模型，探討定期票與單程票的價格。主要貢獻有兩點，一為延伸 Jara-Díaz 等人^[1]之一種搭乘距離的需求函數至兩種不同搭乘距離之需求函數，再據以建構定期票與單程票的定價模型，而此種延伸更反映實際的情況。二為提出不同於 Jara-Díaz 等人^[1]之所得高低族群與搭乘捷運偏好完全呈反向關係之分析方式，而此種分析方式可以處理所得族群與搭乘捷運偏好為不規則關係之情況，換言之，本研究提出的方法更具一般性。而在臺北都會區捷運定價的案例中，整體使用捷運的比例即為不依照所得高低趨勢變化的情況，無法直接依族群所得高到低作為購買票種的順序，而本研究利用實際資料轉換成變數，分別為不同的定價區間整理出該區間的族群使用旅次高低排序，提出一套判斷排序的方式。

在臺北都會區捷運公司損益平衡的條件下，追求社會福利最大的定價結果發現，在探討的票價制定規則中，實施定期票政策所得到的社會福利和預估運量皆會高於沒有實施定期票的政策的数据。研究結果符合 Leland and Meyer^[2]的發現。另外，在採用敏感度分析方法的政策分析中發現，捷運成本的增加會導致單程票價格上升，社會福利下降，但是，定期票價格並不一定上升；而搭乘意願上升會導致定期票價格的上升、單程票價格的下降、與社會福利跟搭乘人次之增加。由於國內的研究對此議題比較缺乏，本研究的模型以社會福利極大為目標，並考量各種不同所得族群的票種選擇行為，可以提供捷運定價相關研究的參考。至於本研究的限制乃只分析早晨尖峰進城（臺北市）方向的旅次，未分析出城方向的旅次。

值得一提的是，本研究針對長短程兩種距離的定價方式，乃是一種簡化的方法。在政策的定價實務上，建議若對不同里程要分更多種價格，則必須將本模型再擴充，採取多種距離的定價方式。然而，為避免多種需求函數估計上的困難，可以採長短程兩種需求函數即可，因為特性相同的旅次雖然不同里程，還是可以同一種需求函數來處理。

在未來的研究建議上，至少有兩個方向。一為考慮捷運與公車結合的定期票之定價模型的建構與分析，因為在實務上，連接捷運與公車的使用已經很普遍，但是理論模型的建構則仍付之闕如，故此方向的研究可以填補文獻上的空缺。二為連結運具選擇議題的捷運票價制定之研究，將私人運具與公共運具一併考慮，則可以探討改善私人運具的外部性之情況下，捷運票價制定的模型。若以整體的社會福利為目標，則可預期捷運票價的訂價可以更低，因為可從外部性的改善而獲得外部效益。

參考文獻

1. Jara-Díaz, S., Cruz, D. and Casanova, C., "Optimal Pricing for Travelcards under Income and Car Ownership Inequities", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.94, 2016, pp.470-482.

2. Leland, H. and Meyer, R. A., "Monopoly Pricing Structures with Imperfect Discrimination", *The Bell Journal of Economics*, Vol.7, No.2, 1976, pp. 449-462.
3. Carbajo, J. C., "The Economics of Travel Passes: Non-Uniform Pricing in Transport", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.22, No.2, 1988, pp. 153-173.
4. Hörcher, D., Graham, D. J. and Anderson, R. J. "The Economic Inefficiency of Travel Passes under Crowding Externalities and Endogenous Capacity", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.52, No.1, 2018, pp. 1-22.
5. Williamson, O.E. , "Predatory pricing: A strategic and welfare analysis", *The Yale Law Journal*, Vol.87, No 2, 1977, pp. 284-340.
6. Roberts, K. W.S., "Welfare Considerations of Nonlinear Pricing", *The Economic Journal*, Vol.89, No. 353, 1979, pp.66-83.
7. Bundorf, M.K., J. Levin, N. Mahoney, "Pricing and Welfare in Health Plan Choice", *American Economic Review*, Vol.102, No.7, 2012, pp.3214-3248.
8. Chen, Y., M. Schwartz, "Different Pricing when Costs Differ: A Welfare Analysis", *The Rand Journal of Economics*, Vol.46, Iss.2, 2015, pp.442-460.
9. Pigou, *The Economics of Welfare*, Macmillan, London, 1920.
10. Walters, A. A., "The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion", *Econometrica*, Vol.29, Iss.4, 1961, pp.676-699.
11. Small, K. A., "The Incidence of Congestion Tolls on Urban Highways", *Journal of Urban Economics*, Vol.13, Iss.1, 1983, pp.90-111.
12. Verhoef, E. T., P. Nijkamp and P. Rietveld, "Second-Best Regulation of Road Transport Externalities", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.29, No.2, 1995, pp.147-167.
13. Liu, L. N. and J. F. McDonald, "Economic Efficiency of Second-best Congestion Pricing Schemes in Urban Highway Systems", *Transportation Research-Part B: Methodological*, Vol.33, Iss.3, 1999, pp.157-188.
14. Oi, W. Y., "Disneyland Dilemma: Two-Part Tariffs for a Mickey Mouse Monopoly", *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.85, No.1, 1971, pp. 77-96.
15. Littlechild, S. C., "Two-Part Tariffs and Consumption Externalities", *The Bell Journal of Economics*, Vol.6, No.2, 1975, pp. 661-670.
16. Ng, Y.-K. and Weisser, M., "Optimal Pricing with a Budget Constraint--The Case of the Two-part Tariff", *The Review of Economic Studies*, Vol.41, No.3, 1974, pp. 337-345.
17. Matas, A., "Demand and Revenue Implications of an Integrated Public Transport Policy: The Case of Madrid", *Transport Reviews*, Vol.24, Iss.2, 2004, pp. 195-217.
18. White, P. R., "Travelcard" Tickets in Urban Public Transport", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.15, No.1, 1981, pp. 17-34.
19. FitzRoy, F. and Smith, I., "Public Transport Demand in Freiburg: Why did Patronage Double in a Decade?" *Transport Policy*, Vol.5, Iss.3 1998, pp. 163-173.
20. FitzRoy, F. and Smith, I., "Season Tickets and the Demand for Public Transport", *Kyklos*, Vol.52, 1999, pp. 219-238.
21. 林昱賢, 「桃園機場捷運旅客行為特性之研究」, 國立臺灣大學土木系碩士論文, 民

- 國 108 年。
22. 于立安，「自駕運具對於都市運具分配之影響分析」，國立臺灣大學土木系碩士論文，民國 108 年。
 23. 陳怡靜，「影響捷運運量因素之探討-以高雄捷運為例」，國立中山大學經濟系碩士論文，民國 102 年。
 24. 吳招億，「公共運輸定期票購買意願之影響因素分析」，國立交通大學運輸物流學程碩士論文，民國 108 年。
 25. 臺北市政府，「公共運輸定期票執行成效檢討」書面報告，臺北市議會第 12 屆第 8 次定期大會，民國 107 年。
 26. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運公司 2018 年報，民國 108 年。
 27. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運公司 107 年度決算審定書，民國 108 年。
 28. 新北市政府捷運工程局，臺北都會區大眾捷運系統三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書，民國 107 年。
 29. 交通部統計處，臺北捷運區域運量採礦分析，民國 104 年。
 30. 臺北市政府捷運工程局網站，https://www.dorts.gov.taipei/News_Content.aspx?n=2A66A485FACB0D5B&s=64BA8365B018394B，民國 109 年 4 月 20 日。
 31. 臺北市政府主計處，107 年臺北市家庭收支訪問調查報告，民國 108 年。
 32. 新北市政府主計處，107 年新北市家庭收支訪問調查報告，民國 108 年。
 33. 臺北市政府交通局，107 年臺北市民眾日常使用運具狀況調查報告，臺北市政府，民國 108 年。
 34. 交通部統計處，105 年民眾日常使用運具狀況調查報告，民國 106 年。
 35. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運廣告媒體手冊，民國 108 年。
 36. 交通部統計處，107 年機車使用狀況調查報告，民國 108 年。
 37. 交通部運輸研究所，公路車輛行車成本調查，民國 89 年。

附錄

為求解各票種之最適價格，本研究讓 λ 作為 Lagrang 乘數，並以利潤 $\pi \geq 0$ 作為限制式，則

$$L = SW + \lambda \cdot \pi = CS + \pi + \lambda \cdot \pi = CS + (1 + \lambda) \cdot \pi \quad (A1)$$

將(A1)式展開

$$\begin{aligned}
 L = & \sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot CS_{P_s} + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot CS_{P_s} + \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot CS_{P_l} + \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1j} \cdot CS_{T_s} + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3j} \cdot CS_{T_l} \\
 & + (1 + \lambda) \cdot \left\{ \begin{aligned} & (P_s - m) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) \right] \\ & + (P_l - m) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot T_s + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3i} \cdot T_l \right] \\ & - m \cdot \left[\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot X_s(0, T_s, I_i) + \sum_{I_i \in \Gamma} N_{3i} \cdot X_l(0, T_l, I_i) \right] - F \end{aligned} \right\}. \quad (A2)
 \end{aligned}$$

求解短程單程票價格 P_s

將(A2)式對 P_s 求偏導數

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial P_s} = & \sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot \frac{\partial CS_{P_s}}{\partial P_s} + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot \frac{\partial CS_{P_s}}{\partial P_s} \\
 & + (1 + \lambda) \cdot \left\{ \begin{aligned} & \sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) \\ & + (P_s - m) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot \frac{\partial X_s(P_s, 0, I_i)}{\partial P_s} + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot \frac{\partial X_s(P_s, 0, I_i)}{\partial P_s} \right] \end{aligned} \right\} = 0, \quad (A3)
 \end{aligned}$$

因 $CS_{P_s} = \int_{P_s}^{\infty} X_s(\phi, 0, I_i) d\phi$ ，故

$$\begin{aligned}
 \lambda \cdot \left[\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) \right] \\
 + (1 + \lambda)(P_s - m) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot \frac{\partial X_s(P_s, 0, I_i)}{\partial P_s} + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot \frac{\partial X_s(P_s, 0, I_i)}{\partial P_s} \right] = 0, \quad (A4)
 \end{aligned}$$

將 $\eta_{P_s I_i} = \frac{\partial X_s(P_s, 0, I_i)}{\partial P_s} \cdot \frac{P_s}{X_s(P_s, 0, I_i)}$ 代入(A4)可得

$$\theta \cdot \left(\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot P_s + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot P_s \right) = (P_s - m) \cdot \left(\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot |\eta_{P_s I_i}| + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot |\eta_{P_s I_i}| \right), \quad (A5)$$

其中 $\theta = \frac{\lambda}{(1+\lambda)}$ ， $\eta_{P_s I_i}$ 為所得族群 I_i 購買短程單程票的需求彈性。則短程單程票價格 P_s 須滿足

$$\frac{(P_s - m)}{P_s} = \frac{\theta}{\sum_{I_i \in \Psi} \alpha_{si} \cdot |\eta_{P_s I_i}| + \sum_{I_i \in \Psi} \beta_{si} \cdot |\eta_{P_s I_i}|} \quad (A6)$$

其中 α_{si} 為第1區內所得族群 I_i 選擇短程單程票的旅次占所有短程單程票旅次之比例，

$$\alpha_{si} = \frac{N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)},$$

β_{si} 為第2區所得族群 I_i 搭乘短程單程票的旅次占所有短程單程票旅次之比例

$$\beta_{si} = \frac{\sum N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Psi} N_{1i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i) + \sum_{I_i \in \Psi} N_{2i} \cdot X_s(P_s, 0, I_i)} \quad \circ$$

求解長程單程票價格 P_l

將(A2)式對 P_l 求偏導數可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial P_l} &= \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot \frac{\partial CS_{P_l}}{\partial P_l} \\ &+ (1 + \lambda) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i) + (P_l - m) \cdot \frac{\partial X_l(P_l, 0, I_i)}{\partial P_l} \right] = 0, \end{aligned} \quad (A7)$$

因 $CS_{P_l} = \int_{P_l}^{\infty} X(\phi, 0, I_i) d\phi$ ，故

$$\lambda \cdot \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i) + (1 + \lambda) (P_l - m) \cdot \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot \frac{\partial X_l(P_l, 0, I_i)}{\partial P_l} = 0, \quad (A8)$$

將 $\eta_{P_l I_i} = \frac{\partial X_l(P_l, 0, I_i)}{\partial P_l} \cdot \frac{P_l}{X_l(P_l, 0, I_i)}$ 代入(A8)式可得

$$(P_l - m) \cdot \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot |\eta_{P_l I_i}| = \theta \cdot \sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot P_l, \quad (A9)$$

其中 $\theta = \frac{\lambda}{(1+\lambda)}$ ， $\eta_{P_l I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇長程單程票的需求彈性。則長程單程票價格 P_l 須滿足

$$\frac{(P_l - m)}{P_l} = \frac{\theta}{\sum_{I_i \in \Omega} \alpha_{li} \cdot |\eta_{P_l I_i}|} \quad (A10)$$

其中 α_{li} 為所得族群 I_i 購買長程單程票的旅次占所有長程單程票旅次之比例：

$$\alpha_{li} = \frac{N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i)}{\sum_{I_i \in \Omega} N_{3i} \cdot X_l(P_l, 0, I_i)} \quad \circ$$

求解短程定期票價格 T_s 和長程定期票價格 T_l

將(A2)式對 T_s 求偏導數可得

$$\frac{\partial L}{\partial T_s} = \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot \frac{\partial CS_{T_s}}{\partial T_s} + (1 + \lambda) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} - m \cdot \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot \frac{\partial X_s(0, T_s, I_i)}{\partial T_s} \right], \quad (A11)$$

因 $CS_{T_s} = \int_0^{X_s(0, T_s, I_i)} P_s(\phi, 0, I_i) d\phi - T_s$ ，故：

$$\begin{aligned} & \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot \frac{\partial X_s(0, T_s, I_i)}{\partial T_s} \cdot P_s[X_s(P_s, 0, I_i), 0, I_i] \\ & + (1 + \lambda) \cdot \left[\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} - m \cdot \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot \frac{\partial X_s(0, T_s, I_i)}{\partial T_s} \right] = 0, \end{aligned} \quad (A12)$$

將 $\eta_{T_s I_i} = \frac{\partial X(0, T_s, I_i)}{\partial T_s} \cdot \frac{T_s}{X(0, T_s, I_i)}$ 代入(A12)可得：

$$\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot T_s = \sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i} \cdot |\eta_{T_s I_i}| \cdot X_s(0, T_s, I_i) \cdot \left\{ \frac{P_s[X_s(P_s, 0, I_i), 0, I_i]}{(1 + \lambda)} - m \right\}, \quad (A13)$$

其中 $\eta_{T_s I_i}$ 為所得族群 I_i 選擇短程定期票的需求彈性。

則短程定期票價格 T_s 可求得

$$T_s = \sum_{I_i \in \Lambda} \gamma_{si} \cdot |\eta_{T_s I_i}| \cdot X_s(0, T_s, I_i) \cdot \left\{ \frac{P_s[X_s(P_s, 0, I_i), 0, I_i]}{(1 + \lambda)} - m \right\}. \quad (A14)$$

其中 γ_{si} 為所得族群 I_i 選擇短程定期票 T_s 購買人數占所有購買短程定期票 T_s 人數之比例：

$$\gamma_{si} = \frac{N_{1i}}{\sum_{I_i \in \Lambda} N_{1i}}.$$

重複以上過程可求解出長程定期票 T_l ：

$$T_l = \sum_{I_i \in \Gamma} \gamma_{li} \cdot |\eta_{T_l I_i}| \cdot X_l(0, T_l, I_i) \cdot \left\{ \frac{P_l[X_l(P_l, 0, I_i), 0, I_i]}{(1 + \lambda)} - m \right\}. \quad (A15)$$

其中 $\eta_{T_l I_i} = \frac{\partial X_l(0, T_l, I_i)}{\partial T_l} \cdot \frac{T_l}{X_l(0, T_l, I_i)}$ 為所得族群 I_i 選擇長程定期票的需求彈性， γ_{li} 為所得族群 I_i 選擇長程定期票購買人數占所有購買長程定期票人數之比例。



有任何消費的疑難問題或爭議申訴 請撥打**全國消費者服務專線**

1950

各地方政府消費者服務中心 將提供您專業及熱忱的服務

用愛關懷 用心服務

 行政院消費者保護處 廣告



行政院消費者保護會
Consumer Protection Committee, Executive Yuan

<https://www.cpc.ey.gov.tw/>

廣告