

多時段計程車市場之最佳化研究¹

MULTIPLE PERIOD OPTIMIZATION OF A TAXI MARKET

張學孔 S. K. Jason Chang²

吳奇軒 Chi-Hsuan Wu³

沈大維 Ta-Wei Shen⁴

陳雅雯 Ya-Wen Chen⁵

(102 年 6 月 17 日收稿，102 年 12 月 27 日第一次修改，
103 年 3 月 14 日第二次修改，103 年 3 月 20 日定稿)

摘 要

計程車有便利、舒適、及門、私密等特性，為都市公共運輸重要一環。本研究建立最佳化數學模型以探討巡迴計程車市場空車率、費率、服務品質、車輛數等課題，首次引入閒置成本及多時段概念，能反映尖離峰市場之特性差異，合理分析非尖峰時段超額供給現象與單一費率制度下尖離峰旅次交叉補貼的問題。以臺北計程車市場為實際分析案例顯示，損益兩平限制下的次佳解為較佳營運模式，此情況下的尖峰、離峰及夜間最適費率分別為每車公里 59、39.2、36 元，最適空車率則分別為 40.0%、33.3%、27.7%；研究結果亦顯示，實施尖離峰差別定價將使各時段空車率皆能維持最適水準，創造管理者、營運者與使用者多贏局面。

-
1. 本研究係科技部專題研究 (NSC 100-2627-E-002-003) 之部分研究成果，作者感謝科技部之補助以及審查委員對於本文的寶貴意見。
 2. 國立臺灣大學土木工程學系教授 (聯絡地址：10617 臺北市羅斯福路 4 段 1 號臺灣大學土木系；E-mail：skchang@ntu.edu.tw)。
 3. 國立臺灣大學土木工程學系博士候選人 (聯絡地址：10617 臺北市羅斯福路 4 段 1 號臺灣大學土木系；E-mail：d94521010@ntu.edu.tw)。
 4. 國立臺灣大學土木工程學系碩士，現為季維顧問公司副總經理。
 5. 國立臺灣大學先進公共運輸研究中心組長 (聯絡地址：10617 臺北市羅斯福路 4 段 1 號臺灣大學土木系；E-mail：yychen@aptrc.tw)。

關鍵詞：計程車；差別定價；分析性模型；閒置成本；空車率

ABSTRACT

Featured with convenience, comfort, door-to-door and privacy, taxi has become an important mode in urban public transportation. Because taxi service is involved with public welfare, lots of issues should be planned and managed properly, such as vacancy rate, pricing scheme, market structure, and plate grant. Therefore, many researches had established optimization models to explore these important issues. Based on past studies, this study develops an optimization model with consideration of supply and demand in multiple periods and the concept of idle cost. With the multiple period optimization feature, we would be able to analyze the difference of market between peak and off-peak hours and the extra supply issue in off-peak hour. We can then find the optimal equilibrium in each time period in terms of fare, vacancy rate and service quality. In the study, taxi market in Taipei metropolis is used as a case study. The numerical results show that in order to maximize the social welfare and balance the revenue and cost, the optimal fare in peak, off peak and midnight will be 59.0, 39.2 and 36.0 NTD per kilometer, respectively while the optimal vacancy rate will be 40.0%, 33.3% and 27.7%, respectively. The fleet size of taxi market in Taipei metropolis should be 29,455 under the assumption that the daily average operation hour of taxi drivers is 9 hours. With the results of multi-period market optimization model, we can improve the social welfare by providing fewer fleet sizes of taxi while keeping the vacancy rate at optimal level in each time period. It is suggested that a differential pricing scheme applied in the taxi market will have a win-win situation for operator, customer, and public sector.

Key Words: *Taxicab; Differential pricing; Analytic model; Idle cost; Vacancy rate*

一、前 言

臺北地區 2013 年 4 月所登記之計程車數量為 52,898 輛，依據洪鈞澤等人^[1]於 2010 年所進行之調查資料得知，距離空車率為 47.3%，時間空車率更高達 65.2%，且計程車一公升油耗約行駛 7.57 公里，若以 92 無鉛汽油 2010 年平均油價約為每公升 29.21 元，初步估算市場每日產生之總空車里程數高達 404 萬公里，相當於每日消耗 53.4 萬公升的汽油燃料，總計財務成本每年累計高達 57 億元。此數據顯示計程車數量實已超過合理數量甚多，司機面對過高的空車繞行成本，必將要求提升其費率，結果反而使需求下降，造成惡性循環。計程車產業之問題極其複雜且涉及層面甚廣，無論是數量、費率、服務品質及產業結構政策上皆有許多尚待改進之處。為此，國內外許多研究建立最佳化數學分析模型 (Douglas^[2]、張學孔與黃世明^[3]、張學孔與朱純孝^[4])，以期作為相關主管機關對計程車

管理之理論依據；然而過去研究普遍忽略市場尖離峰差異特性，最佳化結果僅能顯示 1 日之均衡狀態，無法反映不同時段需求、以及非尖峰時段存在超額供給現象；且現行的費率訂定方式為單一費率制，與實際尖離峰營運所需支付之成本有所差異，即尖峰時段旅客所付之車資低於實際應付金額，而離峰時段旅客之車資則高於其應付金額，呈現尖離峰旅次交叉補貼之不公平現象。

綜合上述，本研究主要目的係以過去巡迴計程車數學分析模型研究為基礎，進而納入市場尖離峰供需特性，建立計程車市場多時段之最佳化模型，其所考量之尖離峰特性差異，包括營運成本、價格彈性、等候時間彈性等，期使模型反映現實市場中不同時段下的差異情形；再者，現今計程車業者普遍忽略供給閒置所造成之成本，即忽略非尖峰時段閒置供給未投入市場所產生之代價、低估該成本項的影響。因此，本研究將閒置成本項目納入模型，探討其最佳化分析結果之影響。

本文之內容結構，除本節說明研究背景與目的；第二節回顧過去計程車數學分析模型文獻，第三節為模式構建與求解，建構多時段市場之需求函數與供給函數，在社會福利最大之目標下進行模式求解；第四節則以臺北地區計程車市場進行實例應用與分析，並與張學孔與黃世明^[3]之單一時段模型進行比較，同時針對模式中重要參數進行敏感度分析；最後歸納本研究之內容與成果，提出結論與建議。

二、文獻回顧與評析

本研究首先針對國內外計程車市場最佳化相關研究進行回顧與彙整，以了解其發展歷程與計程車特性；續針對運輸服務尖、離峰特性以及尖、離峰差別定價之相關研究進行回顧與探討，以作為本研究建立計程車市場多時段最佳化模型之理論基礎與應用參考。

2.1 計程車市場最佳化模型

計程車市場為一相當複雜之系統，其牽涉層面甚廣，由 Manski 與 Wright^[5]所建立之架構圖（如圖 1 所示）可了解計程車市場供需與管制的互動情形。探討計程車供需架構可大致分為兩類相互影響之變數所組成，一為計程車可得性 (availability)，由計程車之服務水準決定（如消費者所預期之等候時間）；另一為計程車利用率 (utilization)，通常指計程車在營運時間內的載客時間比例。另外，市場的管制情形以及相關的外生變數（如所得、大眾運具費率、營運成本、失業率…等）亦將影響計程車市場供需互動結果。Yang 與 Wong^[6]及 Yang 等人^[7]等許多計程車理論研究，也大多參考此一架構建立其假設模型。

在計程車相關研究中，Douglas^[2]建立計程車市場理論模型，巡迴計程車市場之需求函數為雙邊取對數函數 (log-linear)，此類函數具有函數形式簡單、校估容易等優點，爾後張堂賢^[8]、Schaller^[9]、張學孔與黃世明^[3]、Chang 與 Chu^[10]、張學孔與朱純孝^[4]等人均曾採用此需求函數型態進行分析與研究。

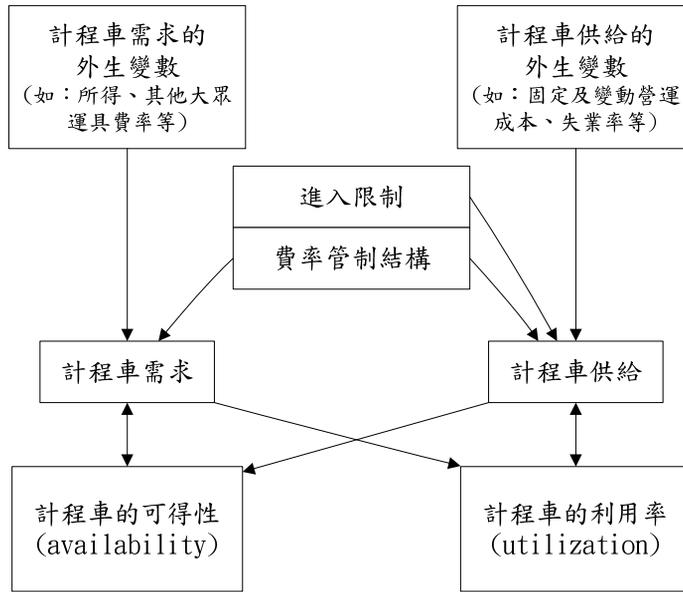


圖 1 計程車供需與管制架構

資料來源：Manski 與 Wright^[5]。

Douglas^[2] 假設計程車需求主要受到費率及服務水準的影響，因此需求函數可表示為：

$$Q = f(\text{計程車費率}, \text{服務水準}, \text{公車/捷運費率}, \text{所得}, \text{其他服務因子}) \quad (1)$$

當費率和等車時間以外的因素假設為固定不變時，可將計程車的需求函數進一步表示為：

$$Q = f(P, T) \quad (2)$$

$$T = g(V) \quad (3)$$

其中 Q 為載客小時、 P 為費率、 T 為服務水準、 V 為空車小時，通常以等候時間的方式呈現，且 T 隨市場上空車小時增加而減少，因此服務水準函數可表示為空車小時之函數。

成本函數如式 (4) 所示，將所有成本攤提至營運時間上得到每營運小時之成本，其中 c 為單位營運成本 (元/小時)。

$$TC = c(Q + V) \quad (4)$$

以社會福利最大為目標進行模式求解，並在損益兩平限制下求解計程車市場最適費率、最適載客小時、最適空車小時，並認為此解為計程車市場最終均衡情況。

張學孔與黃世明^[3] 以 Douglas^[2] 之模型為基礎，建立計程車供給需求經濟模型，在社

會福利最大之最佳情況及損益平衡之次佳情況下，求取最適費率、最適載客里程及空車里程，並進而可得到市場最適空車率。該研究結果指出，最適空車率與價格彈性、等車時間彈性、空車里程對等車時間彈性相關；最佳解之價格等於單位營運成本（單位里程），次佳解之價格則與價格彈性、等車時間彈性、空車里程對等車時間彈性以及單位營運成本相關。另外，在合理的參數假設下計算得臺北地區最適空車率為 33%，最適計程車數量為 52,142 輛，顯示臺北地區現況空車率過高，有控制其成長之必要性。本文基於文獻^[3]的基礎，於成本函數中考慮閒置成本概念，可描述尖峰、離峰及夜間的最佳化費率、空車率等，未來作為時段性差別訂價之依（據數值分析比較可參考表 2）。

張學孔與朱純孝^[4]認為實際的使用者選擇搭乘運輸工具與否會受到預算限制的影響，以張學孔與黃世明^[3]的模型為基礎，導入「最大願付價格」（maximum willingness-to-pay）概念，解決價格彈性小於或等於 1 時，雙邊取對數需求函數積分發散之特性。另外，張學孔與朱純孝^[4]認為計程車與私有運具替代性高，其移轉效果對於社會具有正面外部效果，而計程車空車繞行時造成的社會負面外部效果亦不可忽視，於是在模式中加入了外部性函數，探討在計程車外部函數對最佳化模式之影響。

Wu 等人^[11]則基於相同的假設基礎，考量衛星派遣計程車之特性，分別建構派遣計程車與巡迴計程車市場數學模型，並比較目標函數於最大收益及最小成本下，派遣及巡迴計程車市場於車輛數、空車率、等候時間、費率等差異，並以大臺北地區為數值分析案例，顯示派遣計程車市場相較巡迴計程車市場而言，有較低車輛數、空車率、等候時間及費率等，且每年可省下可觀的油耗成本。

本文及張學孔與朱純孝^[4]的數學分析模型，均以張學孔與黃世明^[3]的模型為基礎，再突破原來模式之假設，反映真實計程車市場多時段供需的狀況。張學孔與朱純孝^[4]的主要貢獻在於需求函數中考慮乘客的最大願付價格，求解時改變積分界線，以改善雙邊取對數需求函數在價格彈性小於或等於 1 時，積分發散無法求解消費者剩餘的問題；而本文將需求函數及成本函數劃分為數個時段，並於成本函數中考慮閒置成本項目，透過函數關係來連結尖離峰不同時段之需求及成本，進而分析出不同時段之最適費率與空車率等決策變數。

2.2 尖離峰差別定價相關研究

回顧運輸產業差別定價相關研究，賴庭順^[12]建構高速公路尖離峰差別通行費模型，結果指出差別定價策略能有效縮短高速公路達財務收支平衡之年限，並能以較低的費率達到增進社會福利之目標，在政策面及社會面具有正面效益。Chang 與 Schonfeld^[13]、張學孔與林從遠^[14]、張學孔與賴金和^[15]、張學孔與許哲瑋^[16]等人建立數學分析模型，將公車系統需求與成本尖離峰差異特性納入模型，求解最佳發車班距、路線密度、費率等決策變數，並比較與均一費率模型之差異，亦使模式貼近真實情況。

計程車為都市運輸系統之一環，同樣具有實施差別定價之可能性，藍武王與周文生^[17]

調查乘客對於計程車實施差別定價之看法，若實施尖峰時間加成收費有 52.1%贊同；實施夜間加成收費有 77.1%贊成，此結果顯示大眾對於計程車實施尖離峰差別定價具有頗高的接受度。張堂賢與孫桂英^[18]進一步探討固定費率之缺失，指出現行的單一費率制度存在長短程及尖離峰旅次收費不公、無法反映服務品質等問題，認為應擬訂一合理範圍之彈性費率，即時反應市場變化。Chang 與 Chu^[10]延續上述彈性費率概念，建立隨機最適控制模型，推算出可依時變動之動態起跳價格，其模式首先建構動態需求函數，以起跳價格作為控制變數將計程車市場之空車率控制在最適水準。在數值分析中，引用張學孔與黃世明^[3]所分析臺北地區最適空車率 33.3%作為控制目標，且設定價格彈性為-1.4，模式模擬之結果顯示起跳價格將收斂於每 1.5 公里為 43 元。

三、模式建構與求解

本研究以分析性數學方法建立計程車市場最佳化模型，以抽象數學模型描述乘客、業者以及管制者行為，模型主要基本假設可歸納為以下 5 點：

1. 市場皆為巡迴計程車且在營業範圍內均勻分布；
2. 計程車需求決定於費率與服務水準，並以乘客候車時間作為服務水準指標；
3. 所有計程車業者之成本結構均為相同；
4. 載客與空車計程車之單位里程營運成本相同；
5. 計程車全日需求及成本可劃分為數個時段，且各時段間的需求及成本互有關聯。

3.1 需求函數

一般影響計程車需求之因素包含費率、等車時間、公車／捷運費率、所得水準、其他替代運具服務水準等。為合理簡化模式分析之複雜性，本研究假設主要影響因素為費率與等車時間，其餘影響因素則視為固定。假設圖 2(a) 為真實情況中，計程車需求隨時間波動之情形，本研究參考應用 Chang 與 Schonfeld^[13]之方法以離散函數圖 2(b) 取代之。

在本研究中需求量以計程車每小時之「載客里程 (Q_t)」表示，影響需求之變數為時段 t 之費率 (P_t) 與時段 t 之等候時間 (w_t)，因此本研究之需求函數形式可表示為：

$$Q_t = q_t (P_t)^{\alpha_1} (w_t)^{\beta_1}, \alpha_1 < 0, \beta_1 < 0 \quad (5)$$

其中 α_1 為價格彈性、 β_1 為等候時間彈性， q_t 為需求函數常數項，其所包含之意義為各時段潛在之載客里程以及需求函數中與費率、等候時間無關之各項變數。參考 Douglas^[2]、張學孔與黃世明^[3]、張學孔與朱純孝^[4]等研究，設定時段 t 之等候時間 (w_t) 為時段 t 空車里程 (V_t) 之函數，並可表示為：

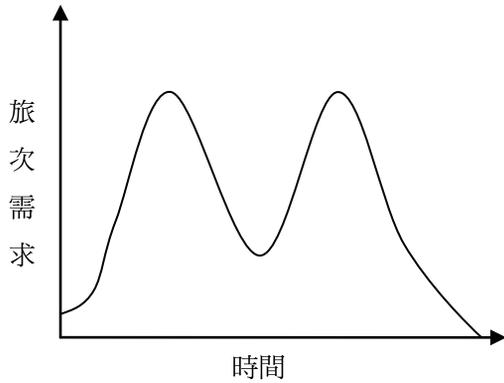


圖 2(a) 連續依時變動需求函數

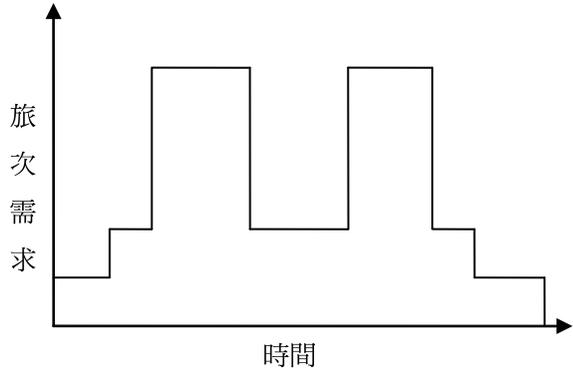


圖 2(b) 離散依時變動需求函數

$$w_t = AV_t^{\alpha_2}, \alpha_2 < 0 \quad (6)$$

其中 A 為一參數，根據 Orloff^[19] 以及游文正^[20] 之研究，其值由營運區域之道路總長度與計程車平均行駛速率等因素決定； α_2 為空車里程對等候時間之彈性。

3.2 成本函數

本研究以計程車業者於每個營運小時中所提供之「營業里程」作為供給函數，如圖 3 所示，其中將計程車營運者的成本分為兩個部分，即「營運成本」與「閒置成本」。營運成本的部分，參考臺北市政府公用事業審議委員會所訂定之成本項目，將其區分為與行駛里程無關之固定成本及與行駛里程相關的變動成本，並將固定成本透過行駛里程轉換為每車公里之行駛里程成本，因此時段 t 之營運成本可表示為：

$$C_t^0 = ct(Q_t + V_t) \quad (7)$$

其中， C_t^0 為時段 t 每小時之營運成本 (元/公里)， ct 為時段 t 單位車公里營運成本 (元/公里)。

閒置成本則表示服務未投入市場營運所產生之成本，主要包含 3 個項目，即閒置計程車對空間占用所產生之成本、資源閒置所產生之機會成本，以及所有與行駛里程無關之固定成本。閒置成本函數如式 (8) 所示，參數 u 表示閒置一單位供給 (1 公里營業里程) 所產生之閒置成本，峰時段營業里程 ($Q_1 + V_1$) 與時段 t 營業里程 ($Q_t + V_t$) 之差值則為閒置里程，相乘後即得到時段 t 之閒置成本。

$$C_t^i = u[(Q_1 + V_1) - (Q_t + V_t)] \quad (8)$$

C_t^i : 時段 t 每小時之閒置成本 (元/公里)

u : 車公里閒置成本 (元/公里)

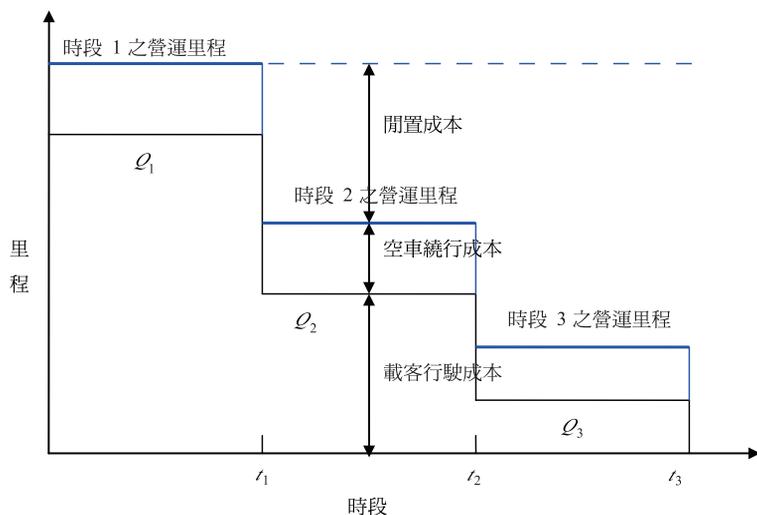


圖 3 營運者成本結構

綜合上述內容，本研究將計程車之成本函數概分為「營運成本」與「閒置成本」，營運成本部分包含固定成本與變動成本，在此以臺北市政府核定之 12 項成本為基礎；閒置成本則包含與行駛里程無關之固定成本、空間占用成本以及資源另外投資之機會成本。機會成本之概念係透過成本函數本身表示，亦即若司機選擇營運，則機會成本為「營運成本－閒置成本」；司機選擇不營運，則機會成本為「閒置成本＋營收－營運成本」；而固定成本部分，於數值分析時採用車輛折舊作為依據，空間占用成本則以停車成本表示。經過整理後計程車之成本結構如圖 4 所示。

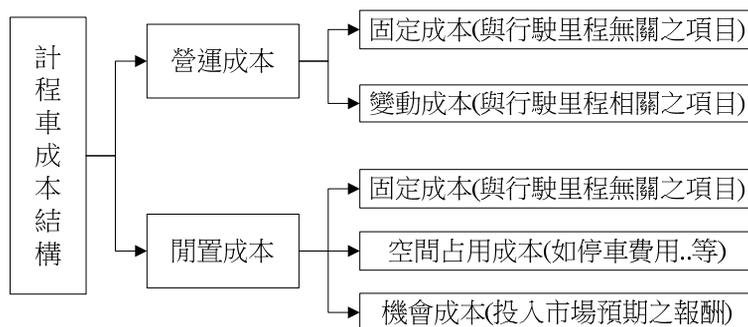


圖 4 計程車成本結構

3.3 考量價格彈性與等候時間彈性依時變動

為合理表現旅次需求存在尖離峰差異之現象，本研究進一步考量價格彈性 (α_1) 以及等候時間彈性 (β_1) 依整日時段不同而有所差異之特性，使模式更貼近真實。在此情況下

計程車之需求函數則可表示為：

$$Q_t = q_t (P_t)^{\alpha_{1t}} (w_t)^{\beta_{1t}}, \alpha_{1t} < 0, \beta_{1t} < 0 \quad (9)$$

$$w_t = AV_t^{\alpha_2}, \alpha_2 < 0 \quad (10)$$

其中 α_{1t} 為時段 t 價格彈性， β_{1t} 為時段 t 等候時間彈性，成本函數則如式(3)、式(4)所示。

3.4 損益平衡下社會福利最大模式

本研究主要欲探討之課題為巡迴計程車市場多時段「最適費率」及「最適空車率」。計程車市場若以利潤最大的目標營運，營運者將大幅犧牲服務水準以降低營運成本；若以社會福利最大為目標運作，各時段最適費率恰等於車公里邊際成本，營運者將面對財務虧損，為同時兼顧社會福利以及財務永續的理念，損益兩平限制下的次佳解應為較適合的營運模式。下述內容以社會福利最大為目標函數、輔以損益平衡限制式，求解各時段之最適費率與最適空車率。

從經濟學的定義中得知，社會福利 (SW) 為消費者剩餘 (CS) 加上生產者剩餘 (PS)。時段 t 之消費者剩餘 (CS_t) 由需求函數反函數積分求得：

$$\begin{aligned} CS_t &= \int_0^{Q_t} \left(\frac{X}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} dX - PQ_t \\ &= \left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \int_0^{Q_t} X^{\frac{1}{\alpha_1}} dX - PQ_t \\ &= \begin{cases} \left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \left[\frac{X^{\frac{1}{\alpha_1}+1}}{\frac{1}{\alpha_1}+1} \right]_0^{Q_t} - PQ_t, & \text{if } \alpha_1 \neq -1 \\ \left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \left[\ln X \right]_0^{Q_t} - PQ_t, & \text{if } \alpha_1 = -1 \end{cases} \quad (11) \\ &= \begin{cases} \left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \frac{Q_t^{\frac{1}{\alpha_1}+1}}{\frac{1}{\alpha_1}+1} - PQ_t, & \text{if } \alpha_1 < -1 \\ \text{積分發散}, & \text{if } 0 > \alpha_1 > -1 \\ \text{積分發散}, & \text{if } \alpha_1 = -1 \end{cases} \end{aligned}$$

由於雙邊取對數需求函數的特性，若價格彈性 (α_1) 絕對值小於等於 1 時會發生消費者剩餘無法積分的情況，成為本研究模型建構之限制。回顧曹瑞和^[21]、張堂賢^[22]、藍武王^[23]、黃台生等人^[24]之研究結果，皆指出臺北地區計程車價格彈性具有大於 1 的特性，故本研究係以臺北地區計程車市場作為主要研究對象，因此模式仍可適用。另在張學孔與朱純孝^[4]研究中，以平移需求曲線的方式解決雙邊取對數需求函數積分發散之問題，使模式可適用於價格彈性絕對值小於 1 的情形。

根據式 (11)，總消費者剩餘 (CS) 為各時段消費者剩餘乘上時段長後加總：

$$CS = \sum_1^m T_t \left(\left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \frac{Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1}}{\frac{1}{\alpha_1} + 1} - P_t Q_t \right) \quad (12)$$

總生產者剩餘 (PS) 即總收入 (TR) 減去總成本 (TC)，可表示為：

$$\begin{aligned} PS &= TR - TC \\ &= \sum_{t=1}^m T_t P_t Q_t - \sum_{t=1}^m T_t \{ [u(Q_t + V_t)] + (c_t - u)(Q_t + V_t) \} \end{aligned} \quad (13)$$

社會福利 (SW) 為消費者剩餘 (CS) 與生產者剩餘 (PS) 相加，因此目標函數可表示為：

$$\begin{aligned} SW &= CS + PS \\ &= \sum_{t=1}^m T_t \left(\left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \frac{Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1}}{\frac{1}{\alpha_1} + 1} - P_t Q_t \right) + \sum_1^m T_t P_t Q_t - \sum_1^m T_t [u(Q_t + V_t) + (c_t - u)(Q_t + V_t)] \\ &= \sum_{t=1}^m T_t \left(\left(\frac{1}{q_t (AV_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right)^{\frac{1}{\alpha_1}} \frac{Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1}}{\frac{1}{\alpha_1} + 1} \right) - \sum_1^m T_t [u(Q_t + V_t) + (c_t - u)(Q_t + V_t)] \end{aligned} \quad (14)$$

加上損益平衡限制式，利用拉氏乘數 (Lagrange multiplier) 進行求解，即：

$$L = SW + \lambda(TR - TC) \quad (15)$$

損益兩平下社會福利最大之一階條件 (first-order condition) 為：

$$\frac{\partial L}{\partial Q_t} = \begin{cases} T_t q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1}} Q_t^{\alpha_1} - T_t c_t - \sum_{t=2}^m T_t u \\ \quad + \lambda \left(T_t \left(\frac{1}{\alpha_1} + 1 \right) Q_t^{\frac{1}{\alpha_1}} q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1}} - T_t c_t - \sum_{t=2}^m T_t u \right) = 0, \text{ if } t=1 \\ T_t q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1}} Q_t^{\alpha_1} - T_t (c_t - u) \\ \quad + \lambda \left(T_t \left(\frac{1}{\alpha_1} + 1 \right) Q_t^{\frac{1}{\alpha_1}} q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1}} - T_t (c_t - u) \right) = 0, \text{ if } t \neq 1 \end{cases} \quad (16)$$

$$\frac{\partial L}{\partial V_t} = \begin{cases} T_t q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} \left(-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} \right) V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} - 1} \left(\frac{1}{\alpha_1} + 1 \right)^{-1} Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1} - T_t c_t - \sum_{t=2}^m T_t u \\ \quad + \lambda \left(T_t Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1} q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} \left(-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} \right) V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} - 1} - T_t c_t - \sum_{t=2}^m T_t u \right) = 0, \text{ if } t=1 \\ T_t q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} \left(-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} \right) V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} - 1} \left(\frac{1}{\alpha_1} + 1 \right)^{-1} Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1} - T_t (c_t - u) \\ \quad + \lambda \left(T_t Q_t^{\frac{1}{\alpha_1} + 1} q_t^{-\frac{1}{\alpha_1}} A^{\frac{\beta_1}{\alpha_1}} \left(-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} \right) V_t^{-\frac{\alpha_2 \beta_1}{\alpha_1} - 1} - T_t (c_t - u) \right) = 0, \text{ if } t \neq 1 \end{cases} \quad (17)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_1^m \left(\frac{1}{q_t (A V_t^{\alpha_2})^{\beta_1}} \right) T_t Q - \sum_1^m T_t \{ [u(Q_t + V_t)] + (c_t - u)(Q_t + V_t) \} = 0 \quad (18)$$

且須滿足二階條件 (second-order condition) :

$$|\bar{H}| = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial Q_t^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial Q_t \partial V_t} & \frac{\partial \pi}{\partial Q_t} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial V_t \partial Q_t} & \frac{\partial^2 L}{\partial V_t^2} & \frac{\partial \pi}{\partial V_t} \\ \frac{\partial \pi}{\partial Q_t} & \frac{\partial \pi}{\partial V_t} & 0 \end{vmatrix} > 0 \quad (19)$$

聯立求解 (16)、(17)、(18)，並驗證限制式 (19) 後可解得損益兩平下社會福利最大各時段最適載客里程 (Q_t^*) 與最適空車里程 (V_t^*) :

$$Q_t^* = X^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2 \beta_1}} M_t^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2 \beta_1}} q_t^{-\frac{1}{1-\alpha_2 \beta_1}} A^{\frac{\beta_1}{1-\alpha_2 \beta_1}} \left(-\frac{\alpha_2 \beta_1}{1+\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_2 \beta_1}{1-\alpha_2 \beta_1}} \left(1 - \frac{\alpha_2 \beta_1}{1+\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2 \beta_1}} \quad (20)$$

$$V_t^* = X^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}} M_t^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}} q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}} A^{\frac{\beta_1}{1-\alpha_2\beta_1}} \left(-\frac{\alpha_2\beta_1}{1+\alpha_1} \right)^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}} \left(1 - \frac{\alpha_2\beta_1}{1+\alpha_1} \right)^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}} \quad (21)$$

$$\lambda^* = \frac{1-X}{\left(\frac{1+\alpha_1}{\alpha_1} \right) X - 1} \quad (22)$$

因此，可以進一步求算獲得各時段之最適空車率 (R_t^*)，以及最適費率 (P_t^*)：

$$R_t^* = \frac{\alpha_2\beta_1}{\alpha_2\beta_1 - 1 - \alpha_1} \quad (23)$$

$$P_t^* = XM_t \left(1 - \frac{\alpha_2\beta_1}{1+\alpha_1} \right) = \frac{XM_t}{1-R_t^*} \quad (24)$$

其中 M_t 為車公里邊際成本，如式 (25) 所示，其顯示尖峰時段 ($t=1$) 營運者每小時增加 1 公里營業里程，將增加 T_1c_1 之營運成本，增加其餘時段 ($t=2\sim m$) T_tu 之閒置成本；對其餘時段 ($t=2\sim m$) 營運者而言，每小時增加 1 公里營運里程將使營運成本增加 $T_t c_t$ 與閒置成本增加 $T_t u$ 。 X 為一常數，如式 (26) 所示，當閒置成本 (u) 為 0 時其值為 1。

$$M_t = \begin{cases} \frac{T_1c_1 + \sum_{t=2}^m T_t u}{T_t}, & \text{if } t=1 \\ c_t - u, & \text{if } t \neq 1 \end{cases} \quad (25)$$

$$X = \frac{\sum_{t=1}^m T_t q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}} u M_t^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}} + \sum_{t=1}^m T_t q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}} M_t^{1+\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}}}{\sum_{t=1}^m T_t q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}} M_t^{1+\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}}} \quad (26)$$

各時段之最適載客里程 (Q_t^*)、最適空車里程 (V_t^*) 與邊際成本 (M_t) 呈 $\frac{\alpha_1}{1-\alpha_2\beta_1}$ 次方的關係，為反向關係；與常數項 (q_t) 呈 $\frac{1}{1-\alpha_2\beta_1}$ 次方關係，為正向關係；與等候時間估計參數 (A) 呈 $\frac{\beta_1}{1-\alpha_2\beta_1}$ 次方關係，為反向關係；空車率 (R_t^*) 由各項彈性值組成，因此各時段之最適空車率皆相等；費率 (P_t) 為邊際成本 (M_t) 乘以一調整因子 X (大於 1 之常數)，除以 1 減空車率，此時的費率包含空車繞行成本。

3.5 考量彈性隨時間變動時損益平衡下社會福利最大模式

現實情況中，需求特性亦存在尖離峰差異之現象，在此加入考量價格彈性 (α_1) 以及

等候時間彈性 (β_1) 依時段不同變動之特性，使模式更貼近真實。求解過程則與未考量彈性變動之模式相同，經過求解後可得到彈性隨時間變動時及損益兩平下社會福利最大模式之最適載客里程 (Q_t^*) 與最適空車里程 (V_t^*)，以及最適空車率 (R_t^*) 與最適費率 (P_t^*)。

$$Q_t^* = Y_t^{\frac{\alpha_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} M_t^{\frac{\alpha_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} A^{\frac{\beta_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} \left(-\frac{\alpha_2\beta_{1t}}{1+\alpha_{1t}} \right)^{\frac{\alpha_2\beta_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} \quad (27)$$

$$V_t^* = Y_t^{\frac{\alpha_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} M_t^{\frac{\alpha_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} q_t^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} A^{\frac{\beta_{1t}}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} \left(-\frac{\alpha_2\beta_{1t}}{1+\alpha_{1t}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha_2\beta_{1t}}} \quad (28)$$

$$R_t^* = \frac{\alpha_2\beta_{1t}}{\alpha_2\beta_{1t} - 1 - \alpha_{1t}} \quad (29)$$

$$P_t^* = Y_t M_t \quad (30)$$

Y_t 為一變數，其值如式 (31) 所示，由 λ 以及時段 t 價格彈性 (α_{1t}) 組成，由於難以求得封閉解，於後續內容中以數值分析方法求算之。

$$Y_t = \left(\frac{1 + \lambda}{1 + \left(\frac{1 + \alpha_{1t}}{\alpha_{1t}} \right) \lambda} \right) \quad (31)$$

四、數值實例分析

為落實模式之應用，本節續以臺北地區進行數值實例分析。本模式所使用之參數設定主要以歷年營運情形調查資料推估，各項彈性參數則參考相關文獻之研究結果，部分與時間相關之參數由於缺乏相關文獻與調查資料，本研究將於合理基礎下自行假設。各參數值決定後即可據以求算各決策變數之最佳值。

4.1 系統參數探討

曹瑞和^[21] 針對臺北地區的計程車乘客進行問卷調查，得到價格彈性為-1.264；張堂賢^[22] 採用雙對數的需求函數型態，校估得到價格彈性為-1.594，本研究參考上述研究，將價格彈性基準值設定為-1.4。Litman^[25] 在針對大眾運輸價格彈性與交叉彈性的研究中指出，尖離峰之價格彈性應有所差異，一般而言尖峰時段使用者旅次目的較為必需且具時程上壓力，其價格彈性一般較離峰使用者低。目前並無直接針對臺北地區尖離峰計程車使

用者價格彈性之相關研究，故本研究以基準值-1.4 為準，在合理範圍內以一定比例上下調整 ($\pm 5\%$) 作為尖離峰以及夜間時段之價格彈性，分別設定為尖峰：-1.33、離峰：-1.4、夜間：-1.47。

林佐鼎^[26] 校估高雄市工作旅次之等車時間彈性值為-0.185，張家祝^[27] 構建臺北地區「家旅次」與「非家旅次」的計程車選擇機率函數，計算得家旅次之等車時間彈性約為-0.28 ~ -0.16，非家旅次之等車時間彈性約為-0.26 ~ -0.15，綜合上述內容，本研究假設等候時間需求彈性之基準值為-0.2。一般而言尖峰時段之使用者因其旅次目的的時程急迫性，其時間價值較離峰為高，因此其對於等候時間的容忍度較低，因此尖峰時段之等候時間彈性通常較離峰時段高。本研究在此以基準值-0.2 為準，以一定比例上下調整 ($\pm 10\%$) 作為尖離峰與夜間時段之等候時間彈性，分別為尖峰：-0.22、離峰：-0.2、夜間：-0.18。

Douglas^[2]、Beesley 與 Glaister^[28]、Orloff^[19] 等人的研究指出，計程車市場增加 1%的「空車小時」，將會降低 1%的「乘客等車時間」，而本研究所使用之變數「空車里程」與「空車小時」具有高度相關性，故推斷空車里程對等候時間彈性 (α_2) 之值應接近-1。

Orloff^[19] 指出等候時間函數與服務範圍道路總長度、計程車平均行駛速率以及空計程車數量有關，由運研所、公路總局、臺北市交通局取得相關資料，計算得參數 $A = 3.3 \times 10^5$ 。

以臺北地區歷年營運情形調查資料，配合游文正^[20] 所調查計程車乘客乘車時間分布資料，可校估各段需求函數之常數項分別為，尖峰 $q_1 = 40,981,200$ 、離峰 $q_2 = 16,812,800$ 、夜間 $q_3 = 8,406,400$ 。

根據臺北市計程車營運情形調查得到每車公里營運成本為 23.09 元。本研究以每公里 23.09 元作為平均值，假設一定比例上下調整 ($\pm 5\%$)，得到各時段之單位營運成本為，尖峰 $c_1 = 24.14$ 元/公里、離峰 $c_2 = 23.09$ 元/公里、夜間 $c_3 = 21.94$ 元/公里。

本研究設定閒置成本組成包括：機會成本、固定成本以及空間占用成本。機會成本之概念係透過成本函數本身表示，亦即司機選擇營運，則機會成本為「營運成本-閒置成本」，司機選擇不營運，則機會成本為「閒置成本+營收-營運成本」；而固定成本及空間占用成本，此處分別以車輛折舊以及停車成本表示，並透過單位閒置成本 (u) 參數與閒置里程方式表現。停車成本依據 101 年 10 月交通部統計處發布的計程車營運情形調查，北部計程車平均每月支出 1,172 元停車費，又根據營運情形調查，臺北市計程車平均每日行駛距離約為 169 公里，計算得每車公里的停車成本為 0.23 元；折舊成本係參考 99 年臺北地區計程車營運情形調查中 12 項成本，車輛折舊成本為 2.4 元/公里。故單位閒置成本 (u) 設定為 $2.4 + 0.23 = 2.63$ 元/公里。

4.2 數值分析結果

將上列所設定之各項參數值帶入最佳化模式中，數值分析結果如表 1 所示。其中現況資料是以洪鈞澤等^[1] 所調查之臺北地區實際營運資料帶入計算而得。由表 1 得知，在未考慮彈性隨時間變動的模式中，各時段之最適空車率由彈性組成，皆為 33.3%，顯示各時

段載客里程(Q_i^*)與空車里程(V_i^*)呈一定比例。在加入考慮價格彈性(α_1)與等候時間彈性(β_1)隨時間變動後,各時段之空車率則將有所差異,由於本研究設定尖峰時段乘客對等候時間較敏感,因此尖峰時段空車率(40.0%)將提高以縮短等候時間;離峰(33.3%)與夜間(27.7%)時段乘客對於等候時間較不敏感,營運者傾向犧牲部分服務水準,減少空車里程來降低空車繞行之成本。

在考量彈性隨時間變動後,尖峰時段最適費率將提高,最適等候時間將降低;夜間時段則反之,顯示各時段需求特性差異擴大。由於尖峰時段使用者對於價格變動的接受度提高,因此差別定價對於需求移轉的效果減弱,雖然對等候時間變的更敏感(增加1%的等候時間則減少0.22%載客里程),但價格彈性之影響效果較大(價格增加1%則載客里程減少1.24%),整體而言尖峰使用者變的相對沒有彈性,相較於未考慮彈性隨時間變動之結果,需求分佈具有較明顯的尖離峰差異。

將最佳化結果與現況比較,社會福利值皆有所提升,虧損情形也獲得改善;而在考量閒置成本後,尖峰時段營運者之車公里邊際成本將大於離峰與夜間(M_1 :36.59元/公里、 M_2 :25.02元/公里、 M_3 :23.64元/公里),尖峰時段費率明顯高於其餘時段,使需求產生移轉的情形,營運者亦調整各時段最適供給配置,相較於現況,各時段的空車里程差異有縮短的現象,顯示尖離峰差別訂價確實具有縮短市場尖離峰差異的效果。

數值分析推導出臺北地區計程車各時段的最佳費率大於現況,其結果係因為現況計程車市場因空車繞行所產生的成本以及閒置成本並無法合理反映至價格上,導致整體市場處於虧損狀態,從最佳化分析的角度,現況實際費率被低估。此外,在現況市場空車率過高的情況下,表示市場明顯存在供過於求的現象,過多的空車里程意味使用者享有極佳,甚至過度的服務水準,加上費率低估的情況下,消費者剩餘與生產者剩餘已然失衡,亦即營運者處於虧損狀態(生產者剩餘為-96,189,408),消費者剩餘(280,741,343)高於合理情形。模式分析最合理的市場狀態乃兼顧社會福利並符合永續經營的原則,即為社會福利最大且損益兩平的市場模式。在此狀態下,合理的費率高於現況,社會福利高於現況,消費者剩餘及生產者剩餘重新分配,營運者處於損益平衡狀態(即生產者剩餘為0),消費者因為空車率減少致使服務水準回歸正常水準,且價格合理化,所以整體消費者剩餘降低。

4.3 單一時段模型與多時段模型之比較

本研究係延伸張學孔與黃世明^[3]所建構之計程車單一時段模型,加入需求尖離峰差異以及閒置成本之概念,本節將進一步比較單一時段模型與多時段模型之差異。為使比較基準一致,參數設定以本研究所推估方式為準,重新設定單一時段模型中各項參數值。比較結果如表2所示,其顯示多時段模型社會福利較單一時段模型大,原因為多時段市場模型依照各時段之營運邊際成本決定最適費率,針對不同時段使用者應付價格收取差別費率,更可達到使用者付費之概念。在市場虧損部分,以往模型忽略閒置成本概念,存在成本低估情形,計算得單一時段模型最佳解中整日總成本為79,120,256元;將閒置成本納入

表 1 最佳化數值結果

		現況	未考量彈性變動 損益兩平下社會福利 最大模型	考量彈性變動 損益兩平下社會福利 最大模型
最適載客里程(Q_t^*) (公里/小時)	尖	5,038,485	2,032,128	2,106,935
	離	436,669	131,208	171,019
	夜	179,146	94,389	87,766
最適空車里程(V_t^*) (公里/小時)	尖	89,573	43,931	32,325
	離	4,152,824	1,016,064	1,190,443
	夜	345,238	65,604	114,013
最適費率(P_t^*) (元/公里)	尖	28.66	48.05	51.62
	離	28.66	30.69	31.99
	夜	28.66	28.96	29.40
等候時間(w_t) (分)	尖	0.96	5.03	2.89
	離	2.18	6.99	7.52
	夜	4.14	15.02	26.66
最適空車率(R_t^*) (%)	尖	44.15%	33.3%	40.0%
	離	45.83%	33.3%	33.3%
	夜	47.08%	33.3%	27.7%
社會福利(元/日)		184,551,935	188,360,022	241,869,133
消費者剩餘(元/日)		280,741,343	338,426,558	241,869,134
生產者剩餘(元/日)		-96,189,408	-71,671,141	0
利潤(元/日)		-96,189,408	0	0

後則整日總成本分別為 9,955,237 元 (未考量彈性變動多時段模型) 與 11,936,535 元 (考量彈性變動多時段模型)，意即成本分別增加了 87%與 85%，此結果除顯示成本低估之現況，更突顯計程車產業若進一步納入閒置成本項目後，其真實虧損情形將更加嚴重。

4.4 最適車輛數

一般而言，在合理情況下尖、峰時段價格彈性會使得尖峰價格提高及非尖峰價格降低時對於司機營收有利。非尖峰時段會產生閒置成本，若閒置成本提高，則司機會傾向增加營業里程。從計程車模式最佳化過程，當尖峰價格提高及非尖峰價格降低，乘客會傾向由尖峰移轉至非尖峰，而無法忍受等候時間過長或者價格過高的乘客，則將移轉至其他運具。經模式最佳化後，各時段最佳化的載客里程及空車里程，係隱含各時段需求皆能被有效滿足，亦即車輛規模若能滿足尖峰時段之需求即可滿足其他時段需求。因此，市場所需

的最少車輛規模即是滿足最尖峰小時需求之車輛數，在本研究所建構之模型中，尖峰時段最適之每小時營業里程 ($Q_1^* + V_1^*$) 代表市場所需最大供給，由此可推算市場所需之最適車輛數。由表 1 得知，考量彈性隨時間變動模式中，尖峰時段每小時之營業里程為 285,032 公里，而由營運情形調查原始資料得知，尖峰時段平均每小時行駛速率約為 15.39 公里，為滿足尖峰小時之營業供給，市場所需之最小車輛數應為：

表 2 多時段模型與過去模型分析結果比較

變數		模式	單一時段模型	未考量彈性變動 多時段模型	考量彈性變動 多時段模型
載客里程 (公里/日)			2,284,402	2,032,128	2,106,935
空車里程 (公里/日)			1,142,201	1,016,064	1,190,443
費率 (元/公里)	尖	34.64		48.05	51.62
	離			30.69	31.99
	夜			28.96	29.40
等候時間 (分鐘)	尖	6.93		5.03	2.89
	離			6.99	7.52
	夜			15.02	26.66
空車率 (%)	尖	33.33%		33.3%	40.0%
	離			33.3%	33.3%
	夜			33.3%	27.7%
社會福利 (元/日)			184,551,935	188,360,022	241,869,133

註：多時段模式整日載客里程與空車里程乃將各時段加總而得。

$$\begin{aligned} \text{市場所需最小車輛數} &= \frac{\text{尖峰每小時營業里程}}{\text{尖峰每車每小時行駛距離(尖峰速率} \times 1 \text{小時)}} \\ &= 285032 / 15.39 = 19.520 (\text{輛}) \end{aligned}$$

然而此推演過程並未考量司機工時限制，亦即前述這 18,520 輛車除了在尖峰時段的 6 小時工作外，仍需在離峰與夜間時段工作以滿足需求若進一步納入合理工時限制，則市場最適車輛數將高於 18,520 輛。根據勞基法規定，一般行業合理工作時數應以 8 小時為標準，而計程車服務業並無明顯之通勤特性，因此其工作時間可能接近 9 小時。另外，計程車數量與司機於各時段工作時數分佈有關，為簡化分析，本研究假設司機將平均於不同時段分配其工時，每位司機皆於尖峰、離峰、夜間時段分別營業 3 小時。在此限制下，滿足尖峰時段所需的車隊規模變為 37,041 輛，而此車隊規模亦能在工時限制下同時滿足離峰與夜間時段的需求。

市場所需最適車輛數為 37,041 輛，與臺北地區 2010 年登記之計程車車輛數 54,335 輛

相比約減少 17,293 輛。本研究僅探討每位司機於各時段平均分配之情況，若引入更有效率之輪班模式，市場所需之合理車輛數仍有降低的空間，建議後續之研究可進一步探討不同輪班模式對最適車輛數之影響。

$$\begin{aligned} \text{尖峰時段所需車輛數} &= \frac{\text{尖峰時段營業里程}}{\text{尖峰每車行駛距離}(\text{尖峰行駛速率} \times \text{營業時數})} \\ &= \frac{1,710,193(\text{km})}{15.39(\text{kph}) \times 3(\text{hr})} = 19.520(\text{輛}) \end{aligned}$$

五、敏感度分析

本研究與過去研究之差異係在於將市場尖離峰差異之特性納入模式，並加入閒置成本之概念，本節將進一步探討單位閒置成本 (u) 以及尖離峰價格彈性差異情形對目標函數與決策變數之影響。

5.1 單位閒置成本 (u)

實際上閒置成本可能包含眾多項目，如車輛折舊、管理、稅捐等與行駛里程無關之成本，甚至包括司機未投入市場的機會成本概念，以下內容將探討單位閒置成本對最佳化結果之影響。

由圖 5 顯示，隨單位閒置成本增加，尖峰時段的最適費率將提高，而離峰時段與夜間時段則下降，造成此現象的原因為車公里邊際成本結構，而由式 (25) 得知，單位閒置成本對尖峰時段之邊際成本呈正向影響，對其餘時段則呈反向成長，因此單位閒置成本增加將使得尖峰時段邊際成本與其餘時段之差異擴大，增加費率之差異。

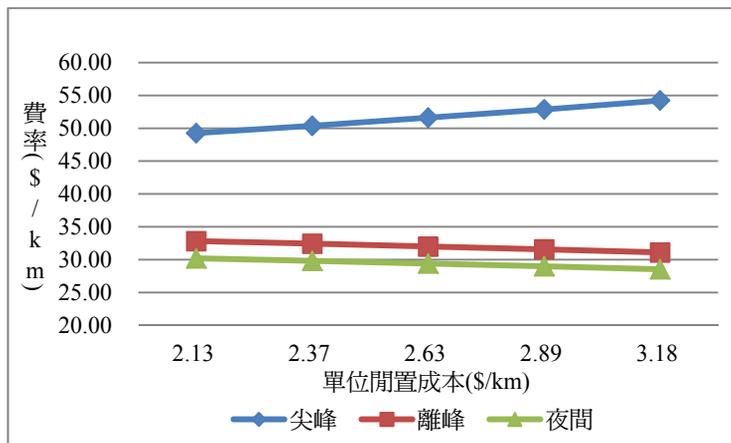


圖 5 單位閒置成本對最適費率之影響

圖 6 為閒置成本對社會福利之影響，平均而言，單位閒置成本每增加 1% 將使社會福利減少 0.078%。過去的理論模型並未將閒置成本納入考量，存在成本低估的問題，當單位閒置成本為 0 時社會福利為 2.69 億/日，而考量閒置成本後（基準值 2.63 元/公里）社會福利為 2.41 億/日，顯示以往未考量閒置成本結果，高估社會福利約 2,800 萬元/日。

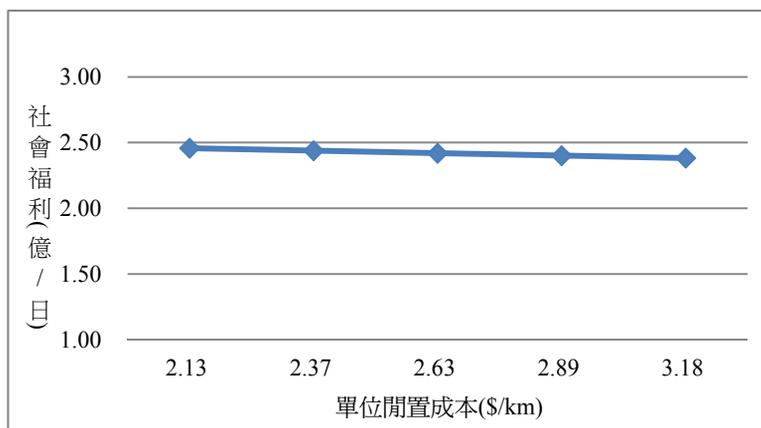


圖 6 單位閒置成本對社會福利之影響

圖 7(a)、圖 7(b)分別為單位閒置成本對市場需求(載客里程)與供給(營業里程)之影響，平均而言增加 1% 之單位閒置成本，尖峰時段最適載客里程減少 0.41%，而離峰與夜間時段分別增加約 0.24% 與 0.26%。由於單位閒置成本對尖峰與其餘時段費影響效果不同，造成尖峰需求趨勢與其餘時段不同；對供給面而言，減少閒置成本的方式有兩種途徑，一為減少尖峰時段之營里程，其二則是減少閒置里程，即增加非尖峰時段的營業里程，當單位閒置成本增加時，尖峰時段供給將減少、其餘時段將增加。

5.2 尖離峰價格彈性情境分析 (α_{it})

由於缺乏臺北地區計程車市場實際之尖離峰價格彈性資料，因此本研究參考相關文獻後建立數種情境（設定其他參數皆為基準值），探討尖離峰價格彈性對最佳化結果之影響。以下說明 3 種情境設定：

情境一：尖離峰價格彈性無差異，即 $\alpha_{11} = \alpha_{12} = \alpha_{13} = -1.4$

情境二：本研究之基準值，即 $\alpha_{11} = -1.33$, $\alpha_{12} = -1.4$, $\alpha_{13} = -1.47$

情境三：市場尖離峰價格彈性差異情形明顯，即 $\alpha_{11} = -1.12$, $\alpha_{12} = -1.4$, $\alpha_{13} = -1.68$

模擬各價格彈性情境與空車率之關係如圖 8 所示，顯示當各時段之價格彈性差異越大時，最適需求分佈之尖離峰特性依舊明顯，且由於尖峰時段使用者願意付出較高之費率，因此營運者亦集中於尖峰時段營業，使得最適空車率明顯高於其餘時段。

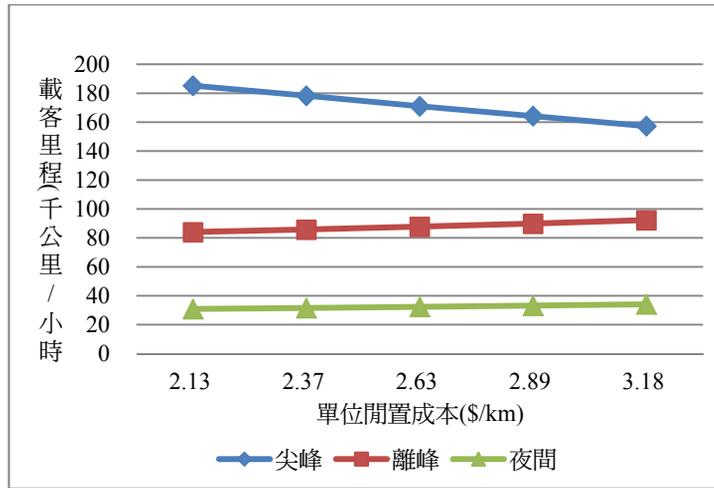


圖 7 單位閒置成本對最適載客里程之影響

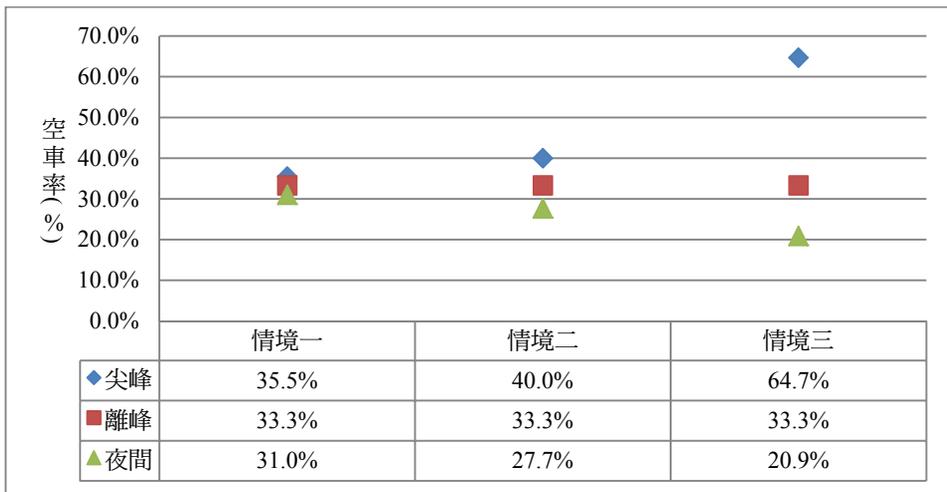


圖 8 各時段價格彈性差異對最適空車率之影響

接續上述結果，當價格彈性差異擴大時，尖峰時段使用者將願意付出更高的價格，如圖 9 所示，以情境三之尖峰時段最適費率最高。且隨著價格彈性差異增加，由尖峰移轉至其餘時段之旅次逐漸減少，在損益平衡的考量下，業者為維持其收入因而提高費率，離峰與夜間時段之最適費率亦逐漸上升。

圖 10 為各情境社會福利之變化，隨著尖離峰價格彈性差異擴大，社會福利呈現逐漸增加的趨勢。當尖離峰價格彈性差異幅度增加時，最適需求仍具明顯之尖離峰差異特性；在其他情況不變時，由於尖峰時段使用者的願付價格較高，因此當需求集中於尖峰時段時，整日總消費者剩餘將增加，使得社會福利增加。

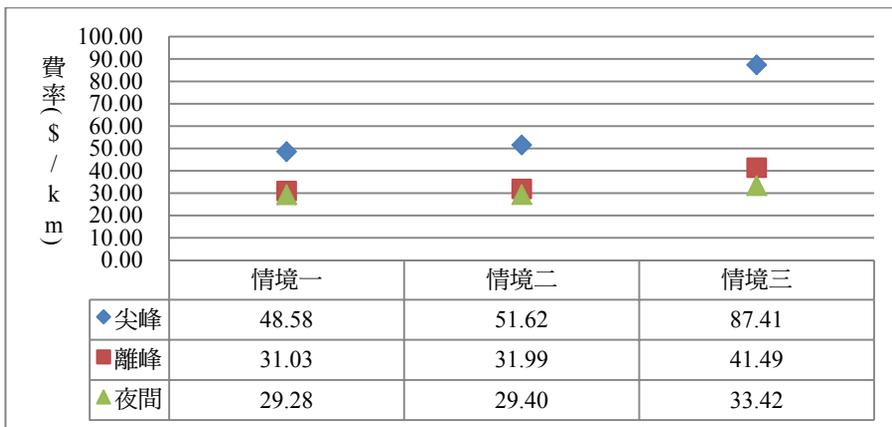


圖 9 各時段價格彈性差異對最適費率之影響

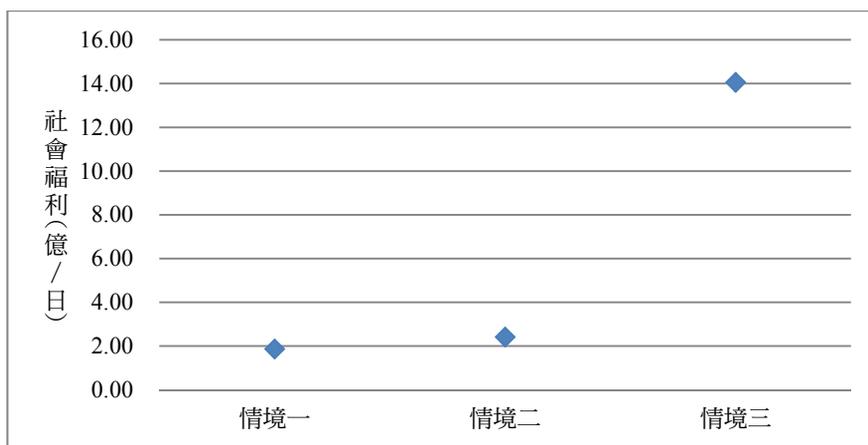


圖 10 各時段價格彈性差異對社會福利之影響

六、結論與建議

本研究建立能反映尖離峰差異特性之計程車多時段市場最佳化模型，並納入閒置成本概念以合理反映時段間供給的互動情形，研究中以臺北地區計程車市場營運情形作為數值分析案例，據以推估合理車輛數，歸納本研究成果可得以下結論與建議。

6.1 結論

1. 本研究突破過去相關理論模型，加入考量了市場尖離峰差異特性以及非尖峰時段過剩供

給閒置的現象，在成本結構的部份多加入了閒置成本項目，使模式更貼近實際情況。

2. 在 Cobb-Douglas 需求函數型態的假設下，各目標函數下的最適空車率僅由各項彈性值組成，與其他參數無關。當尖離峰市場需求對價格與等候時間之彈性有所差異時，則各時段空車率亦隨之改變。
3. 考量彈性隨時間變動時損益兩平下社會福利最大模式中，臺北地區計程車市場尖、離峰與夜間之最適費率分別為：每公里 51.62 元、31.99 元、29.40 元；最適空車率則分別為：40.0%、33.3%、27.7%；而在每位司機工作時數為 9 小時的假設情況下，臺北地區合理計程車數量為 37,041 輛，與 2010 年臺北地區掛牌登記的 54,355 輛減少了 17,293 輛。
4. 考量閒置成本後，尖峰時段營運者所面對之車公里邊際成本遠大於離峰與夜間時段，透過尖離峰訂定差別費率，部分尖峰時段需求可移轉至其餘時段，營運者依據需求調整合適的供給配置，使各時段的空車率皆達能到最適水準、資源分配更有效率。
5. 本研究建構之多時段最佳化模型，改善單一費率所造成交叉補貼的問題，另外將閒置成本的概念納入模式中，使模式更貼近真實。相較於現況，最佳化結果使社會福利上升約 1.6 倍，未來政府相關主管機關可參考本研究之結果，合理釐清計程車市場尖離峰特性差異情形，實施差別訂價策略，並透過營運時段管制等策略，使各時段空車率皆能達到最適水準，提升整體市場之營運效率和服務品質。

6.2 建議

1. 現今臺北地區確實面對計程車數量過多的問題，目前市場存在空車率過高、工時過長、營運者虧損等問題，合理減少計程車數量已成為政府部門勢在必行的施政目標。
2. 目前的計程車市場宜朝向車隊化管理的組織型態發展，以公司化角度經營將能更準確的評估自身營收情形，決定尖離峰各時段之供給配置，而政府部門則應提出相關費率、服務水準、以及營運時段限制等管制措施，落實計程車市場多時段最佳化的目標。
3. 本研究應用多時段市場最佳化模型，在實例數值分析中將臺北地區計程車市場切分為尖峰、離峰、夜間 3 個時段，未來實務推動可規劃適當的時段數與時段長度，此為後續研究可深入探討的議題。
4. 計程車成本結構相當複雜，在本研究的模式中係以單位營運成本與總營運里程進行分析，建議後續研究可融入不同的成本結構，並探討不同成本函數對於模式最佳化的影響。
5. 計程車營運模式具多樣化，除了巡迴攬客外，尚有衛星派車、定點排班、招呼站等候、車行等候、熟客電話叫車及網路叫車等；此外，輪班服務對於成本和車輛在尖離峰之運用亦將對於計程車費率與合理數量產生影響。依據交通部統計處 101 年的調查，全臺灣巡迴攬客的比例為 39%，無線電或衛星派遣比例為 19%，定點排班比例為 18%，顯示單純以巡迴攬客營運模式所建構的模型，較適用於具有高比例巡迴的環境，如臺北都會區等，建議後續研究可針對不同營運型態以及輪班服務的計程車市場進行探討。

參考文獻

1. 洪鈞澤等人，「99年度臺北地區計程車營運情形調查」，臺北市公共運輸處委託辦理專題研究報告，民國99年。
2. Douglas, G. W., "Price Regulation and Optimal Service Standards: The Taxicab Industry", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 20, 1972, pp. 116-127.
3. 張學孔、黃世明，「計程車最佳費率與空車率之研究」，*運輸計劃季刊*，第32卷，第2期，民國92年，頁341-364。
4. 張學孔、朱純孝，「考量最大願付價格下巡迴計程車市場最佳空車率與費率之研究」，*運輸計劃季刊*，第37卷，第1期，民國97年，頁1-38。
5. Manski, C. F. and Wright, J. D., "Nature of Equilibrium in the Market for Taxi Services", *Transportation Research Record*, Vol. 619, 1976, pp. 11-15.
6. Yang, H. and Wong, S. C., "A Network Model of Urban Taxi Service", *Transportation Research B*, Vol. 32, No. 4, 1998, pp. 235-246.
7. Yang, H., Wong, S. C., and Wong, K. I., "Demand-Supply Equilibrium of Taxi Services in a Network under Competition and Regulation", *Transportation Research B*, Vol. 36, 2002, pp. 799-819.
8. 張堂賢，「都會計程車運輸市場及其定價研究」，*運輸計劃季刊*，第21卷，第1期，民國81年，頁63-94。
9. Schaller, B., "Elasticities for Taxicab Fares and Service Availability", *Transportation*, Vol. 26, 1999, pp. 283-297.
10. Chang, T. H. and Chu, T. S., "Optimal Taxi Market Control Operated with a Flexible Fare Policy", *Proceeding of 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing, and Control*, IEEE, 2004, pp. 1335-1340.
11. Wu, C. H., Chang, S. K., and Lin, C. H., "Analytical Evaluation of Innovative Taxi Operation and Service", *Proceedings of the 17th ITS World Congress*, Busan, Korea, 2010.
12. 賴順庭，「高速公路電子收費下尖離峰差別通行費率模式建立之研究」，淡江大學運輸管理學系碩士論文，民國95年。
13. Chang, S. K. and Schonfeld, P. M., "Multiple Period Optimization of Bus Transit Systems", *Transportation Research B*, Vol. 25, No. 6, 1991, pp. 453-478.
14. 張學孔、林從遠，「公車系統多時段費率之最佳化」，*運輸計劃季刊*，第21卷，第1期，民國81年，頁35-62。
15. 張學孔、賴金和，「多時段公車系統費率與服務水準之最佳化」，*運輸計劃季刊*，第23卷，第1期，民國83年，頁365-406。
16. 張學孔、許哲璋，「管制情況下多時段公車費率與服務水準之設計」，*運輸計劃季刊*，第25卷，第3期，民國85年，頁395-438。
17. 藍武王、周文生，「臺北地區計程車營運管理制度及費率結構改善之研究」，臺北市政府交通局委託辦理專題研究報告，民國86年。

18. 張堂賢、孫桂英，「彈性起跳價格的計程車市場變革」，**都市交通**，第 94 期，民國 86 年，頁 52-58。
19. Orloff, C. S. and Ma, Y. Y., "Analytic Supply Models for Many-to-One Transportation System", Princeton University, Final Report, 1975.
20. 游文正，「計程車數量與服務水準之研究」，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 84 年。
21. 曹瑞和，「計程車計費方式之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 87 年。
22. 張堂賢，「計程車、小船費率結構之研究」，臺北市政府交通局委託辦理專題研究報告，民國 80 年。
23. 藍武王，「臺北地區計程車營運情形調查」，臺北市政府交通局委託辦理專題研究報告，民國 84 年。
24. 黃台生、周文生、張志維、吳奇龍、黃貞諭，「95 年度臺北地區計程車營運情形調查」，臺北市政府交通局委託辦理專題研究報告，民國 95 年。
25. Litman, T., "Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities", *Journal of Public Transportation*, Vol. 7, No. 2, 2004, pp. 37-58.
26. 林佐鼎，「都市內個體運具選擇模式之研究」，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 83 年。
27. 張家祝，「計程車合理供需數量之調查研究」，交通大學交通運輸研究所，民國 73 年。
28. Beesley, M. E. and Glaister, S., "Information for Regulation: The Case of Taxis", *The Economic Journal*, Vol. 93, 1983, pp. 594-615.

附錄 變數彙總表

茲將本研究理論模型中所引用之變數定義及數值分析基準值彙整如下：

變數	定義	單位	基準值
Q_t	時段 t 每小時之載客里程	公里/小時	
V_t	時段 t 每小時之空車里程	公里/小時	
q_t	需求函數常數項		$q_1=40,981,200$ $q_2=16,812,800$ $q_3=8,406,400$
P_t	時段 t 之車公里費率	元/公里	
w_t	時段 t 之乘客等候時間	分鐘	
A	等候時間函數常數項		3.3×10^5
α_1	價格彈性		-1.4
α_{1t}	時段 t 費率需求彈性		$\alpha_{11}=-1.33$ $\alpha_{12}=-1.40$ $\alpha_{13}=-1.47$
β_1	等候時間彈性		-0.2
β_{1t}	時段 t 等候時間需求彈性		$\beta_{11}=-0.22$ $\beta_{12}=-0.20$ $\beta_{13}=-0.18$
α_2	空車里程對等候時間彈性		-1
c_t	時段 t 單位車公里營運成本	元/公里	$c_1=24.14$ $c_2=23.09$ $c_3=21.94$
u	車公里閒置成本	元/公里	2.63
M_t	時段 t 之車公里邊際成本	元/公里	
T_t	時段 t 之長度	小時	$T_1=6$ $T_2=9$ $T_3=9$
TR	整日收益	元/日	
TC	整日成本	元/日	
CS	整日消費者剩餘	元/日	
PS	整日生產者剩餘	元/日	
SW	整日社會福利	元/日	
R	距離空車率		

