

國立交通大學
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

題目：假期旅運行為與擁擠訂價策略研究

——以國道五號為例

Travel Activity and Congestion Pricing on Long Holidays:

A Case of Freeway No. 5

研究生：章法筑

指導老師：許巧鶯 教授

中華民國九十七年七月

假期旅運行為與擁擠訂價策略研究——以國道五號為例

Travel Activity and Congestion Pricing on Long Holidays:
A Case of Freeway No. 5

研究生：章法筑 Student: Fa-Chu Chang
指導教授：許巧鶯 Advisor: Chaug-Ing Hsu

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文



Submitted to Department of Transportation Technology and Management
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Transportation Technology and Management

July 2008
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

假期旅運行為與擁擠訂價策略研究——以國道五號為例

研究生：章法筑

指導教授：許巧鶯

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

摘要

許多民眾在假期時會有出遊或返鄉的行為，因此造成在某些特定時段及路段上壅塞情形十分嚴重。為了因應假期間產生的交通壅塞問題，夜間暫停收過路費即是最有效的策略之一，其亦是依時道路擁擠收費的應用，根據過去資料顯示，午夜時段之車流量為一日之中最低，但當夜間停止收過路費的策略實施後，部分用路人為了降低旅行成本，會將旅次轉移至此時段，因此可以紓解一些尖峰時段的流量。除了以降低過路費來吸引旅次至離峰時段，亦可增加過路費或是擁擠費來增加用路人旅行成本，使部分旅次轉移到其他時段，或是使用替代運具，如飛機、鐵路等，甚至可以使某些旅次因超過預期成本而根本不發生，因此實施擁擠訂價可以降低汙染、能源耗損及旅客等候時間等社會成本。

本研究跟以往文獻不同之處在於，過去文獻大都針對通勤而造成的壅塞，而鮮少考慮到因假期而返鄉、出遊的民眾所造成的壅塞問題，除了旅運時間長短、假期預算長度的差異，其旅次產生的目的不同，民眾在這兩種情況下的行為亦會不同，而假期旅行者除了考量度假的天數外，也會考慮在白天或晚上開車的舒適度，因此本研究將先建立個人行為效用模式，考慮旅行時間、延滯時間與度假時間長短，以及白天及夜晚開車的舒適度等變數，將個人行為效用最大化，再加總得到旅客所偏好的旅行時段，而後加上擁擠訂價以求得總使用者成本化，並以雪山隧道為範例分析，收集實際資料，以探討旅行者在假期時的旅運行為，以及擁擠訂價策略如何應用在假期上。

本研究於民國 97 年清明假期至國道五號調查的結果顯示，假期旅客之假期長度為當日往返的比例很高；旅次目的以遊憩為大宗；當過路費提高時，旅客之預計天數較長者較不願意取消旅次，而旅次目的為返鄉者較願意取消旅次；且旅次順序與旅次方向密切相關，也就是去程旅客之比例多為北上，回程旅客之比例多為南下，可能與國道五號之北端為大台北都會區，南端為宜蘭花蓮觀光區有關。根據實際流量資料，以及去程及回程之假期旅客對於假期頭尾的出發時間偏好，經模式最適化後的過路費亦會隨時段而不同。在去程方面，假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高；假期第二天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 41 元次之，而假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費維持 40 元不變。在回程方面，假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 40 元不變；假期第二天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 41 元，而假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高。

關鍵字：擁擠訂價、假期旅運行為、選擇行為

Travel Activity and Congestion Pricing on Long Holidays: A Case of Freeway No. 5

Student: Fa-Chu Chang

Advisor: Dr. Chaug-Ing Hsu

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

Abstract

Traffic congestion usually occurs on some roads in specific peak periods during long holiday because people have high demand for vacation or homecoming travels. In order to solve this problem, transportation authority often adopts congestion pricing policy to shift travelers from peak to off-peak period. However, most previous research dealt merely with congestion policy for commuters in the peak-hour on week days rather than on holidays.

This study focuses on the bottleneck congestion pricing in a freeway corridor during long holiday. The study formulates an individual travel utility function consisting of travel time, schedule delay, vacation duration, congestion tolls and the experience of driving at different times to measure individual's choice of departure time. Besides, the study further uses revealed and stated preference survey data collected from drivers on freeway No. 5 in Taiwan on Ching-Ming holiday to analyze travelers' behavior and calibrate the parameters of the model. Then, total users' costs in the system are minimized to determine the optimal congestion tolls on different time periods of the holiday.

With the increase in congestion pricing, the results from survey indicate that travelers with longer duration of their vacations are relatively not willing to cancel their trips, while those travelers whose purpose being returning home are more likely to cancel. In addition, the results of the model shows that total users' cost will be reduced and the average speed during the holiday will be increased in cases transportation authority adopts the optimal congestion pricing.

Key Words: Congestion pricing, Travel activity on holiday, Departure time choice

誌謝

這本論文的完成，要感謝的人很多。首先當然是要感謝許巧鶯老師從大四畢業到研究所論文的耐心指導，老師對於做學問嚴謹及認真的態度，都讓我覺得跟老師做研究是一件十分幸運的事；感謝口試委員張新立老師及黃家耀老師的建議，讓論文能更加完整；謝謝高凱老師對於經濟學助教的照顧，使我研究所生活更充實。

實驗室的伙伴們除了給予我論文、課業及生活上的幫助，在和你們相處及互動上更是我所珍惜的地方：謝謝慧潔學姊拉我去游泳跑步，還有和富加學長多次送我回住的地方；謝謝聚會總召剛伯學長讓實驗室有許多共同回憶，還有像仙女一樣的美好學姊，每次看到妳都好開心；一哥小宏學長總是老師口中的好榜樣；每次都把鍋子讓給我個性超可愛的佳紋學姊；扛起維護電腦重責大任的耀慶學長；容易緊張但報告都超吸引人的憲梅；幫我舒筋活骨聽我碎碎唸的維婷；跟我搶當引爆咪挺炸彈主角的難兄律陞；一直在身旁分享好事爛事的六年好友維真；常讓我搭便車的迷糊子萱；唱歌超好聽的鄰居惟茵，能遇見你們真是太棒了！另外要謝謝人形鬧鐘宜珊、刀功精湛熱心主購之音、還沒帶我去吃桑椹冰的小花、手很巧偶爾暴走的琬翎、一起哀哀叫的阿彭、義無反顧幫我做問卷的胖子和小雞寶、經濟學助教支柱人緣超好的家銘學長、還有國樂社的大家，謝謝你們令我研究所生活更豐富！

最後是要謝謝我的家人，因為有你們的支持，才能讓我在新竹安心且順利地求學，謝謝你們！

章法筑

民國九十七年七月

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
符號說明.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍.....	4
1.4 研究方法及流程.....	4
第二章 文獻回顧.....	8
2.1 擁擠訂價相關文獻.....	8
2.1.1 擁擠訂價起源與原理.....	8
2.1.2 道路擁擠訂價文獻回顧.....	14
2.2 活動行為之研究.....	16
2.3 文獻評析.....	18
第三章 模式構建.....	20
3.1 旅客回程旅運行為模式構建.....	21
第四章 資料收集與整理分析.....	27
4.1 問卷設計.....	27
4.2 問卷發放與回收.....	28
4.3 問卷資料整理與分析.....	30
4.3.1 假期間不同日之特性.....	30
4.3.2 擁擠收費下假期旅客之不同選擇特性.....	31
4.3.3 擁擠費率之特性.....	33
4.3.4 去回程與旅次方向之關係.....	33
4.4 資料校估結果.....	34
4.4.1 模式校估結果.....	34

4.4.2 擁擠費用與總旅客人數關係.....	37
第五章 範例分析.....	38
5.1 範例背景說明.....	38
5.2 範例結果分析.....	48
5.3 敏感度分析.....	53
第六章 結論與建議.....	55
6.1 結論.....	55
6.2 建議.....	56
參考文獻.....	58
附錄一 調查問卷.....	60



表目錄

表 2.1 擁擠管理研究特性與方法.....	9
表 2.1 擁擠管理研究特性與方法 (續).....	10
表 4.1 問卷回收日期及相關項目之統計列表.....	30
表 4.2 假期中每日去程回程與度假天數統計列表.....	31
表 4.3 擁擠收費下旅客不同選擇及相關項目之統計列表.....	32
表 4.4 One-way ANOVA 於擁擠費率之分析結果.....	33
表 4.5 去回程與旅次方向之關係.....	33
表 4.6 模式校估結果.....	36
表 5.1 去程變數及參數表.....	46
表 5.2 回程變數及參數表.....	47
表 5.3 去程之調整過路費後的流量與總效用.....	49
表 5.4 回程之調整過路費後的流量與總效用.....	50
表 5.5 去程之調整過路費前後之速率變化.....	51
表 5.6 回程之調整過路費前後之速率變化.....	52
表 5.7 去程之過路費調整假設與流量變化關係.....	54
表 5.8 回程之過路費調整假設與流量變化關係.....	54



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	6
圖 1.2 研究架構圖.....	7
圖 2.1 需求等於或小於預期時與價格之關係.....	11
圖 2.2 需求大於預期時與價格之關係.....	12
圖 2.3 單一活動時間與可及效益間關係.....	17
圖 2.4 連續兩活動時間與可及效益之關係.....	18
圖 3.1 時段分割示意圖.....	20
圖 3.2 民國 97 年國道五號春節假期之時段分割示意圖.....	20
圖 3.3 延滯時間之機率密度函數示意圖.....	23
圖 3.4 過路費與原始總旅客比例之示意圖.....	24
圖 3.5 求解流程圖.....	26
圖 4.1 民國 97 年清明假期收費與免收費時段示意圖.....	27
圖 4.2 調查工作流程圖.....	29
圖 4.3 過路費與總旅客比例之迴歸關係示意圖.....	37
圖 5.1 國道五號南港至頭城段.....	39
圖 5.2 民國 95 年中秋連假雪山隧道交通量分布.....	40
圖 5.3 民國 96 年春節期間雪山隧道交通量分布.....	40
圖 5.4 民國 96 年清明假期雪山隧道交通量分布.....	41
圖 5.5 民國 95 年中秋連假雪山隧道小時交通量分布.....	41
圖 5.6 民國 96 年春節假期雪山隧道小時交通量分布.....	42
圖 5.7 民國 96 年清明假期雪山隧道小時交通量分布.....	42
圖 5.8 民國 97 年清明假期雪山隧道交通量分布.....	45
圖 5.9 民國 97 年清明假期雪山隧道小時交通量分布.....	45
圖 5.10 去程實際與調整後之流量.....	49
圖 5.11 回程實際與調整後之流量.....	50
圖 5.12 去程調整過路費前後之速率變化示意圖.....	51
圖 5.13 回程調整過路費前後之速率變化示意圖.....	52

符號說明

t_n	: 時段 n
$U_N(k_2)$: 個體假期旅運效益
k_1	: 個體去程實際出發時段
k_2	: 個體回程實際出發時段
$b(k_i)$: k_i 時段效用之常數項
$a(k_i)$: 旅行時段感受
$T(k_i)$: 小汽車旅行時間
$\nu(k_i)$: 小汽車時程延滯效用
N	: 個體度假時間長度
$p(k_i)$: 在 k_i 時段出發時之過路費
ϕ	: 旅行時段感受參數
θ	: 小汽車旅行時間參數
α	: 小汽車時程延滯效用參數
γ	: 過路費之參數
ε	: 效用不可衡量部分
$V_N(k_i)$: 效用可衡量部分
$P_N(k_i)$: 度假天數為 N 天且會改變出發時間的旅客在 k_i 時段之比例
Z	: 小汽車原始總旅客人數
$F_N(k_i)$: k_i 時段流量
s	: 小汽車行駛速率
s_f	: 自由車流速率
ω	: 流量與速率函數之調整係數值
λ	: 流量與速率函數之調整係數值
C	: 瓶頸路段容量
h	: 在 k_2 時段之小時數
L	: 瓶頸路段長度
$\mu(p)$: 隨過路費調整仍使用瓶頸路段旅客之比例
δ_{k_2}	: 在 k_2 時段價格無彈性旅客之比例



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著台灣社會經濟發展，民眾小客車持有數量快速增加，尤其大型都會區小客車成長率更是驚人，以大台北都會區（台北市及台北縣）為例，登記小客車數高達 140 萬餘輛，以台北都會區道路總長度來算，每公里小客車數高達 500 餘輛 [交通部統計處，民 95]，尚不包含其他各類型車輛，由此便可看出台北都會區交通擁擠的嚴重性。而因為交通量持續成長，道路流量漸趨飽和，用路人常面臨道路擁擠，造成等待時間的浪費與心理上不耐煩和焦躁不安的效用損失。美國德州運輸研究中心（Texas Transportation Institute）調查 2005 年美國 437 個都市地區的道路擁擠成本，在 2007 年的報告中指出，這 437 個都市地區在 2005 年的總延滯時間為 42 億小時，總超額油耗為 29 億加侖，由此換算可得總擁擠成本為 782 億美元，平均每位用路人每年須多付 707 美金的擁擠成本；另一方面，擁擠還會產生環境汙染等外部性問題，因此改善道路壅塞一直是交通管理單位最迫切的議題之一。

在國定假期時，許多民眾會出遊或返鄉，在某些特定時段，如假期頭尾，壅塞情形十分嚴重，根據民國 90 至 95 年高速公路節日交通量調查發現，若國定假期為單日，也就是週二、週三及週四，其交通量變化相較於一般日並不明顯；然而若遇週末，亦即週五至週日或週六至週一時，交通量會較一般週末為多；在一些含有特殊意義的節日前，如清明、春節時，為了能在節日當日抵達，交通量會明顯增加。民國 95 年中秋節為週五 (10/6)，國慶日為週二 (10/10)，政府為了順應民意，使假期連續，宣布週一 (10/9) 彈性放假一天，再由國慶日當週星期六補假，使得中秋連假達五天之長，而民眾因為返鄉心切，造成高速公路壅塞，客運、火車一票難求。由於此彈性放假政策為臨時宣布，因此考慮到若假期不連續，需求量應該會較少，且在時間上分布的形態會有所不同，例如上述民國 95 年之中秋連假，其高速公路交通量已逼近春節的流量，而流量分布形態也與春節相似。政府宣布在民國 96 年，國定假日只要逢週二或週四，即採彈性放假，因此對於連續假期的交通管理應有更深入的探討。

民國九十五年六月通車、連接台北及宜蘭的雪山隧道，其交通量形態在時間上的分布與全台高速公路流量總計相似，全長 12.9 公里，為雙向四線道（單向各二線道），設計容量為單向 1800 輛，依據統計，雪山隧道除平常日上、下班旅次外，旅遊旅次相當多，且當日往返比例相當高，假日（含週休二日及連續假期）因旅遊旅次增加，因此常有行車速率較慢及壅塞情形，且在上午時段，多為南下（至宜蘭）方向之車流，下午則以北上（至台北）車流為多。在南下部分，週末時，尖峰約在早上 10 至 12 點（暑假期間尖峰時段會提前），此時平均交通量達

每小時 1800 輛（設計容量）以上；在連續假期時，假期開始之尖峰時段約在早上 8 點至晚上 7 點，假期中之尖峰時段約在早上 8 點至晚上 6 點。在北上部分，週末時，週六尖峰約在下午的 3 點至 5 點，週日尖峰約在下午 2 點至晚上 8 點，此時平均交通量達設計容量每小時 1800 輛以上；在連續假期時，假期結束前之尖峰時段約在上午 11 點至晚上 9 點，此時交通量每小時達 1500 輛以上 [高公局，民 96]。

為了因應民眾返鄉及出遊所造成的交通壅塞，有關單位對使用高速公路的小客車駕駛所採取的疏導措施有：夜間暫停收過路費、入口匝道儀控管制、高乘載管制、開放路肩等。而其中夜間暫停收過路費，即是最有效的策略之一，其亦是依時道路擁擠收費的應用，根據過去資料顯示，午夜時段之車流量為一日之中最低，但當夜間停止收過路費的策略實施後，部分用路人為了降低旅行成本，會將旅次轉移至此時段，因此可以紓解一些尖峰時段的流量。除了以降低過路費來吸引旅次至離峰時段，亦可增加過路費或是擁擠費來增加用路人旅行成本，使部分旅次轉移到其他時段，或是使用替代運具，如飛機、鐵路等，甚至可以使某些旅次因超過預期成本而根本不發生，因此實施擁擠訂價可以降低污染、能源耗損及旅客等候時間等社會成本。

目前世上各地已有不同擁擠收費的方法，如新加坡早在 1975 年實施「附帶通行證計畫」，對上午 7:30 至晚上 7:00 進入市區的車輛收取擁擠費，進入者必須先購買通行證，新加坡並於 1998 年開始實施電子收費，其費率會因地區及時段而不同。英國倫敦在 2003 年 2 月開始實施擁擠收費，收費時間為週一至週五早上 7:00 到晚上 6:30，進入市中心的汽車須交八英鎊，自實施以來，倫敦區域內整體交通減少 20%，車流延滯則減少 30%。瑞典斯德哥爾摩於 2006 起對在上午 6:30 至晚上 7:00 進入市中心的車輛收取擁擠費，並依據上下班尖峰情形，採行遞增或遞減的方式，而在實施擁擠訂價後，斯德哥爾摩市內及周邊的交通量減少了 20%，成效十分顯著。

過去有關擁擠訂價的相關文獻，大都針對上午通勤尖峰時段的單一瓶頸路段，如 Yang and Huang (1997) 利用最適控制理論(Optimal Control Theory) 發展單一瓶頸路段的依時訂價模式，以求解社會福利最大；彭一民 (2003) 亦應用最適控制理論構建單一起迄對之動態道路訂價模式，並加入捷運替代路線，以研究小汽車擁擠訂價及以擁擠費收入來補貼捷運後，兩運具間的運量關係；Arnott, de Palma and Lindsey (1993)、Braid (1996)、Daganzo and Garcia (2000) 等人則以解析性方法分析單一瓶頸路段，隨著通勤者到達瓶頸路段入口時間不同，在排隊擁擠時間帶中收取依時擁擠費，並證明能有效分散通勤者的出發時間，使整個系統的資源配置達到最適化。

本研究跟以往文獻不同之處在於，過去文獻大都針對通勤而造成的壅塞，而鮮少考慮到因假期而返鄉、出遊的民眾所造成的壅塞問題，除了旅運時間長短、

假期預算長度的差異，其旅次產生的目的不同，民眾在這兩種情況下的行為亦會不同，例如假期旅次的出發時間會較通勤旅次來得有彈性，而假期旅行者除了考量度假的天數外，也會考慮在白天或晚上開車的舒適度，因此本研究將先建立個人行為效用模式，考慮旅行時間、延滯時間與度假時間長短，以及白天及夜晚開車的舒適度等變數，將個人行為效用最大化，再加總得到旅客所偏好的旅行時段，而後加上擁擠訂價以求得總社會效益最大化，並以雪山隧道為範例分析，收集實際資料，以探討旅行者在假期時的旅運行為，以及擁擠訂價策略如何應用在假期上。

1.2 研究目的

本研究針對因假期所產生的道路壅塞現象，發展單一瓶頸路段之依時擁擠訂價模式，並收集假期旅運者之實際資料以做分析，最終目的是提出一有效率之交通策略，藉由擁擠收費提高小汽車使用成本，以達總使用者成本最小。然而當過路費提高時，除了改變出發時間至過路費較低的時段，其他方式如改走替代道路，改乘大眾運輸，取消旅次，或是不改變原本之旅運行為，都是旅客可能選擇的方式，因此本研究擬將旅客分群，將其對過路費調整之反應特性考慮至模式，以更符合實際狀況。

本研究所建立之模式除可作為了解假期旅運者之旅運行為外，亦可提供政府在假期間高速公路上之交通管理策略規劃，而由於假期中國道五號（雪山隧道）交通量的分布形態與國道一、三號的流量形態相似，且可視為單一瓶頸路段，因此用其做為本研究之範例分析，以探討本研究在實務上的貢獻。茲將較為具體之研究目的分述如下：

1. 本研究以解析性方法分析在假期間使用高速公路之小汽車駕駛之旅運行為特性，瞭解影響其選擇出發時間之重要屬性變數，以作為本研究旅客效用行為函數之依據，再透過適當簡化與修正個體旅行效用模式。
2. 不同旅客會有不同假期預算及偏好的出發時間，因此將上述之個體旅行效用代入多項羅吉特模式，即可得到在受過路費、旅行時間、時程延滯時間及旅行時段感受的影響下，各時段之流量分布比例，再以其為權重將所對應之效用加總，即為總使用者之成本效用，再以最適化方法求其最小化，以得到各時段之最適擁擠費用及流量。
3. 本研究將針對假期旅運行為收集相關資料進行分析，利用數值分析軟體探討旅客之假期旅運行為偏好，此外，並對重要參變數進行敏感度分析，如假期長短、擁擠訂價、旅次移轉程度、旅客時間價值等，以探討其如何影響假期旅客之旅運行為。
4. 以國道五號（雪山隧道）為例，闡述模式之應用，分析各個因素變動時，對

運量及過路費之影響程度，以提供相關當局在假期間規劃擁擠訂價策略之參考。

1.3 研究範圍

凡放假或告假的時期皆可稱為假期，此時個人可選擇所偏好之活動，若其活動目的為返鄉或至他處遊憩，則會有一旅次產生，然而不同個體的假期時段不一定相同，當不同個體之假期時間重疊度越高，越有可能影響交通狀況。因此，本研究討論之假期，為由行政院人事局所核定之全國政府機關、學校及民營機構休假的日子。

除了通勤所造成的路段尖峰時刻壅塞外，因國定假期而休息時段交集之個體的旅次亦為道路擁擠的一大來源，因此在國定假期之熱門時段，航空、高鐵、鐵路或公路客運等大眾運輸常常滿載，而車輛於高速公路上亦壅塞嚴重，此時交通擁擠費即為分散龐大交通需求量的策略之一，而基於減少道路擁擠、空氣、噪音汙染等系統外部性成本之理由，政府會鼓勵民眾使用大眾運輸，因此擁擠費便會加在壅塞情況嚴重且私人運具使用率最高的高速公路上。故本研究以分析旅客在假期時駕駛小汽車於高速公路上的流量為主。

為避免假期高速公路壅塞的方法有匝道流量控制、開放部分路肩、高乘載管制、徵收擁擠費等。近年來，政府於國定假期紓解高速公路車流的政策中，時常出現調整過路費以分散流量之策略，而收取過路費的方式可以為人工收費、自助繳款或電子收費，由於世界各國之電子收費都還未完全普及，因此在設定依時擁擠訂價方面，都是調整某些時段之過路費率，故本研究將連續時間切割為時段，探討擁擠訂價如何應用在假期間之高速公路上。

1.4 研究方法及流程

本研究首先將回顧並探討擁擠訂價與個人行為活動效用之相關文獻，藉以了解目前擁擠訂價策略之應用現況與理論模式，並探討假期旅客在從事旅運行為時考量之因素，同時藉由問題之分析，定義研究中之參、變數與說明研究中的假設，進一步構建假期旅客之個體旅運行為選擇模式，以探討擁擠收費如何影響各時段之流量比例，然而以往研究甚少提及關於旅行時段的感受，在此對應參數的設計上較無適合數值作為參考，因此本研究將收集實際資料以作參數的校估，並將資料做整理分析，以瞭解假期旅者之行為，再以總使用者效用最小化求得最適解，其後擬利用雪山隧道為案例分析，說明本研究模式之應用結果，並對擁擠費用進行敏感度分析，以探討其操作可行性與實際應用之政策影響，最後提出結論、建議與後續研究課題。本研究之研究流程圖如圖 1.1 所示。

本研究考慮假期間高速公路之瓶頸路段的小汽車旅次，應用解析性方法，分

析該系統之依時擁擠費率與假期旅客人數變化等特性，其中旅行者選擇在某段時間出發之成本函數包含了「旅行時間成本」、「時程延滯成本」、「過路費成本」及「時段感受成本」，其中並考慮旅行者度假時間長短，以反應其對於旅行時間成本與時程延滯成本的感受程度；將個人旅行效用代入多項羅吉特模式中，可得各時段之交通需求比例，再以其為權重將對應效用加總，並在總使用者成本最小化下，提出一適當之擁擠費率，以達系統資源最適配置，進而紓解私人運具使用以降低無謂損失。圖 1.2 為本研究之研究架構。



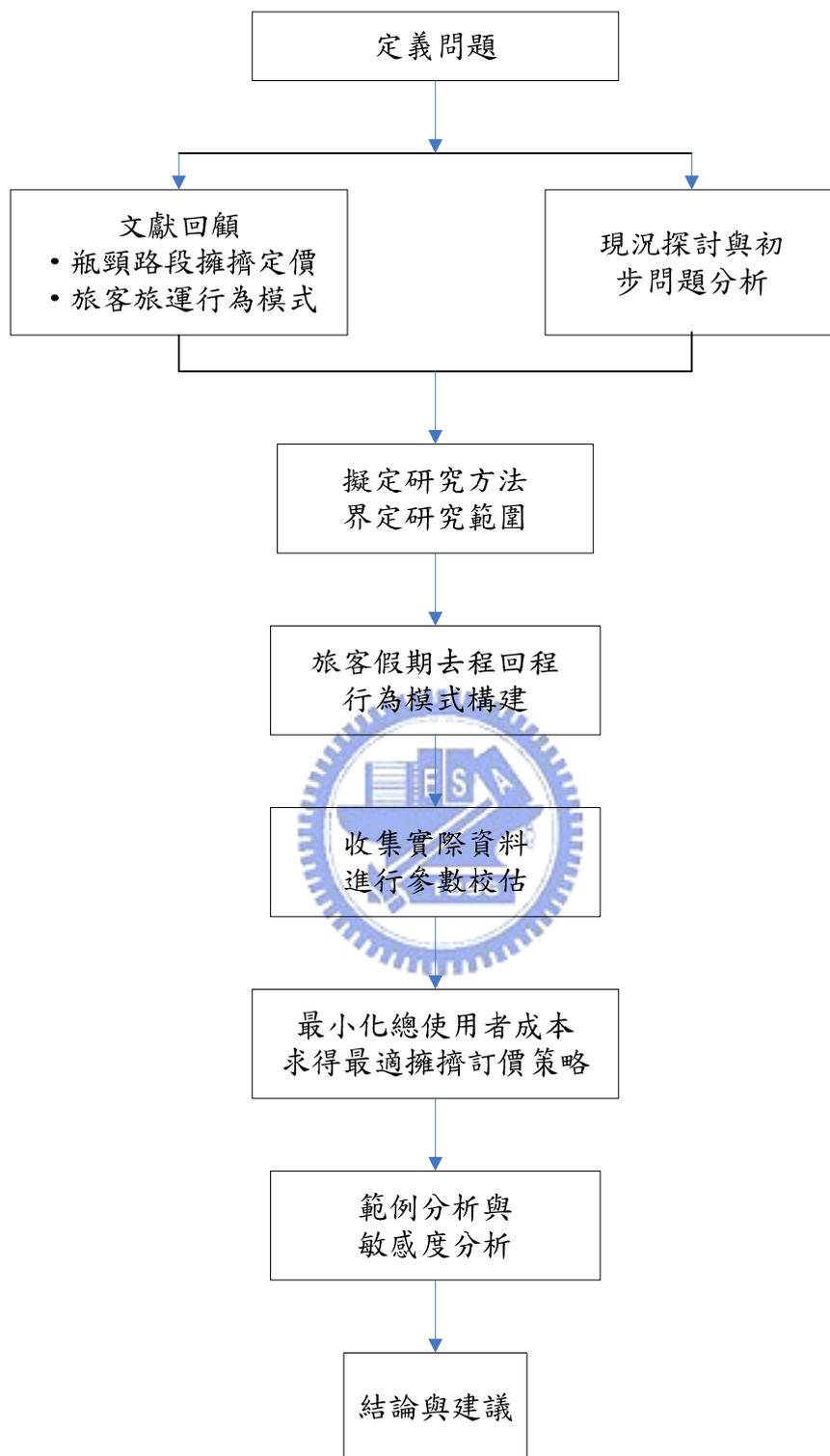


圖 1.1 研究流程圖

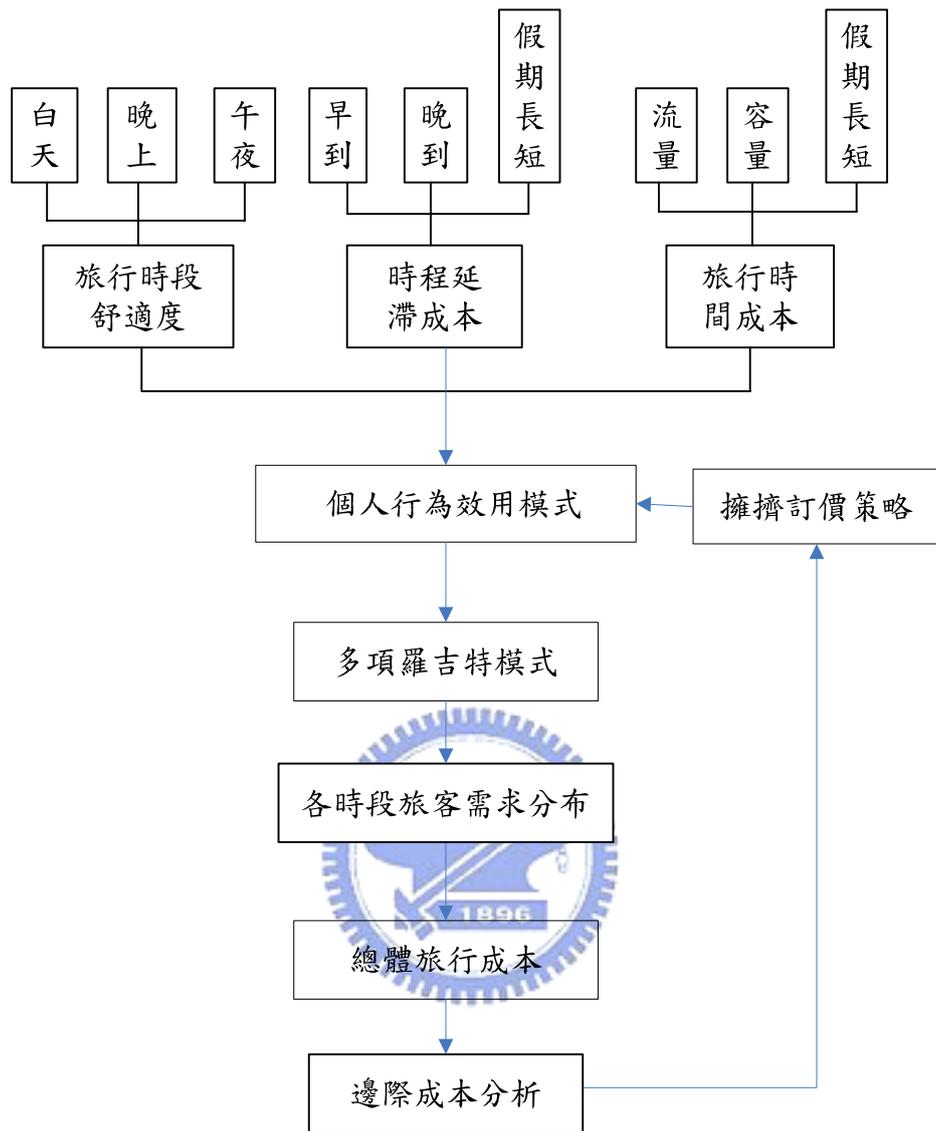


圖 1.2 研究架構圖

第二章 文獻回顧

本研究以傳統單一瓶頸路段研究為基礎，討論旅客於假期時的旅運行為特性，因此本章將回顧單一瓶頸路段擁擠訂價及個人活動行為之文獻，以對於過去文獻中與本研究相關之研究方法能有一完整之認識。其中有關擁擠訂價之研究，大略可分為「非時間相依」之靜態模式與「時間相依」之動態模式，靜態模式屬於長期性的規劃，期望用路人能改變旅行運具、出發時間，而動態模式則屬於較短期、即時的交通策略。本研究主要著重於依時擁擠訂價策略，然而在不同時段之擁擠費乃是根據歷史資料及數學規劃求得，於實務應用上為事先公布各時段之擁擠費用，而非隨各時段當下之擁擠情況而變動，因此過去之靜態及動態擁擠訂價文獻皆為本研究所擬回顧之文獻。

2.1 擁擠訂價文獻回顧

本節從經濟學觀念回顧擁擠收費原理早期文獻，並將後續相關研究，概分為理論方法與實務操作兩部分。交通擁擠費理論及方法發展已久，研究者根據不同目的、不同路網型態等發展出各式各樣的交通策略，然而理論發展最初之動機為解決現實世界之問題，因此若了解交通擁擠收費之實際應用，再參考其經驗至理論模式中，便能更貼近實務狀況。表 2.1 整理過去有關擁擠費之研究，及其研究主題分類。

2.1.1 擁擠訂價起源與原理

自 Pigou (1920) 提出徵收交通擁擠稅的概念後，以道路擁擠訂價來抑制交通需求的交通管理策略便不斷發展，其主要理論是將因擁擠所造成的汙染、時間與能源浪費等外部成本，透過加稅至使用者本身的方式來內部化，以消除無謂損失 (deadweight loss)。因為用路人在使用道路時，只負擔了自己所感受到的成本 (平均成本)，而不用負擔因自己行為而造成其他用路人和整個系統的額外成本，這種額外產生的成本即稱為外部成本，如果系統中有外部成本，此時總系統成本會大於總個人成本，如此便不能達到整個系統最有效率的使用。為了讓系統達到最有效率的使用，Pigou 提出可以對用路人課徵擁擠費，此擁擠費等於用路人使用道路所產生的「邊際成本」，減去用路人本身所感受到的「平均成本」。所以用路人在使用道路前，會將這些外部成本納入自己所應付的成本內，再衡量加入外部成本後的新成本是否在可接受範圍，以決定是否使用此道路，如此才能讓迫切使用道路或能夠負擔外部成本的用路人使用道路。

表 2.1 擁擠管理研究特性與方法

作者	Daganzo and Garcia (2000)	Braid (1996)	Viti et al. (2003)
研究主題	A Pareto Improving Strategy for the Time-Dependent Morning Commuter Problem	Peak-Load Pricing of a Transportation Route with an Unpriced Substitute	An Optimization Problem with Dynamic Route departure Time Choice and Pricing
研究方法	解析性、圖解法	解析性	雙層規劃
時間對變數影響	動態分析(短期)	靜態分析(短期)	動態分析(短期)
擁擠訂價模式	最佳依時收費	次佳依時收費	最佳依時收費
需求函數型態	固定需求	固定需求	固定需求
路網型態	單運具、單一起迄對、單一瓶頸路段	單運具，單一起迄對，兩條相同瓶頸路段	單運具，多組起迄對
用路人差異	異質	同質	同質
特點	設定一時間窗，並將通勤者分為付費與免費之兩群	只對其中一條路徑收取擁擠費用	考慮擁擠訂價在時間與空間上的分布
主要研究結果	通勤者輪流被分配可免除此一擁擠費用，經過調整幾項參數實務上可供交通管理單位執行	收取擁擠費的路徑之擁擠費率接近尖峰時刻為正，遠離尖峰時刻為負，平均則為零。在數值分析中，此次佳擁擠訂價模式的效益為最佳擁擠訂價模式的三分之二	從數值分析結果顯示，當路徑流量改變時，同時也會影響擁擠費用及旅行時間，且當擁擠費用夠大時，系統成本比值會趨向一定值

資料來源：本研究整理

表 2.1 擁擠管理研究特性與方法 (續)

作者	Boyce and Mattsson (1999)	Yang and Huang (1997)	彭一民 (2003)
研究主題	Modeling Residential Location Choice in Relation to Housing Location and Road Tolls on Congested Urban Highway Network	Analysis of the Time-Varying Pricing of a Bottleneck with Elastic Demand Using Optimal Control Theory	運輸走廊瓶頸路段擁擠收費與捷運補貼之研究
研究方法	雙層規劃	最適控制理論	最適控制理論
時間對變數影響	靜態分析(長期)	動態分析(短期)	動態分析(短期)
擁擠訂價模式	依路段收費	最佳依時收費	最佳依時收費
需求函數型態	固定需求	彈性需求	固定需求
路網型態	單運具、多組起迄對	單運具，單一起迄對，兩條相同瓶頸路段	單運具，多組起迄對
用路人差異	同質	同質	同質
特點	先建立個人效用函數，再以羅吉特模式求得各起迄對之需求比例	沒有事先假設須消除所有等候流量才能得最佳依時擁擠費率	延伸傳統單一瓶頸路段之議題，並考慮捷運為其替代運具
主要研究結果	可以得到各路段之擁擠費用，以及在固定工作地點 j 情況下，個人所選擇居住地 i 的比例	瓶頸路段的容量亦可能會隨著車輛等候長度而變化	當達到使用者均衡時，每個時間點會對應一兩運具之均衡使用人數，而後再進一步考慮對小汽車收取動態擁擠費用，以補貼捷運營運成本

資料來源：本研究整理

Brown and Johnson (1969) 討論在公共設施需求為隨機分布下，以經驗上及解析性的方法，對個人收取最佳擁擠費用，以最大化總社會福利。其結果與傳統無隨機變動的模式相比較，平均擁擠收費較低，而需求或是產出量較高。在隨機需求方面，以累加性模式 (additive model) 為例，其實際服務的量为：

$$S = \begin{cases} X(P) + u, & u \leq Z - X(P) \\ Z, & u > Z - X(P) \end{cases} \quad (2.1)$$

其中 S 為實際服務或產出的量， P 為價格， $X(P)$ 為在價格 P 下之需求量， Z 為容量， u 為一連續隨機值。上式為在需求量小於等於容量時，所得的實際服務量；下式則為在需求量大於容量時的實際服務量，亦即容量。而社會福利 W 則可表示如下：

$$W = E[\text{willingness to pay}] - E[\text{average variable cost} \times \text{sales}] - E[\text{capacity cost}] \quad (2.2)$$

其假設使用者願意支付的期望金額，減去期望的變動成本，再減去容量成本，容量成本在此為使用者只要使用此設施便須負擔之成本，例如停車費。

圖 2.1 表示，在管理者事先訂定價格 P_0 及容量 Z_0 後，若需求量穩定，與當初預計相同，則以虛線 $X(P)$ 表示之；若需求量較預期為少，亦即 u 為負值時，則以實線 $X(P)+u$ 表示之。

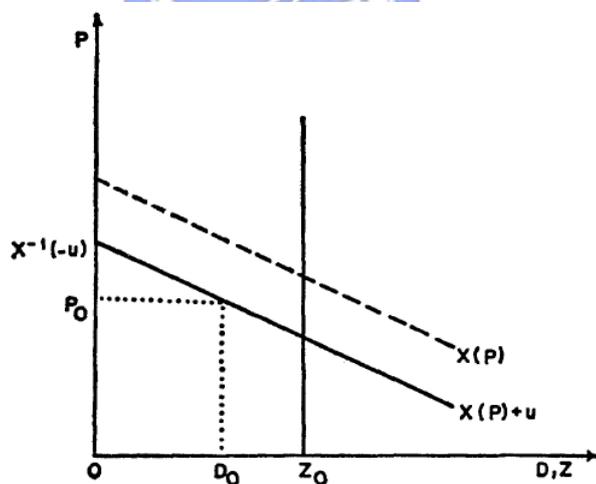


圖 2.1 需求等於或小於預期時與價格之關係

因此在需求函數下方，且在容量限制下，可以得到消費者剩餘及總收益，如下式所示：

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(u) \int_P^{X^{-1}(-u)} [X(P)+u] dP du + PX(P) \quad \text{for } X(P)+u \leq Z \quad (2.3)$$

圖 2.2 表示當需求量較預期為多，也就是 u 為正值時，以實線 $X(P)+u$ 表示之， L_1 及 L_2 分別代表損失的消費者剩餘及收益。

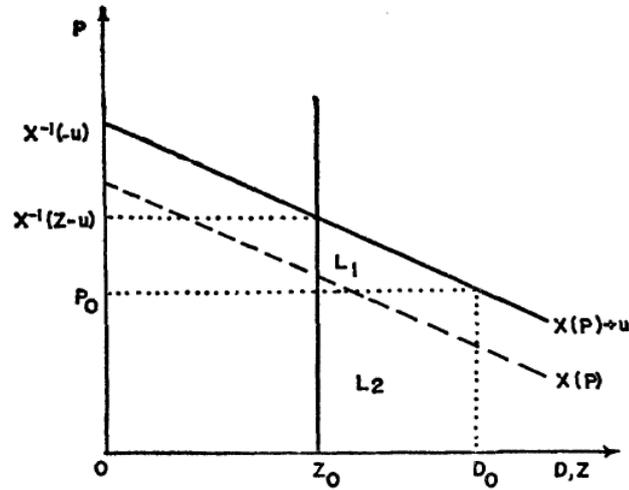


圖 2.2 需求大於預期時與價格之關係

因此可以得到期望損失的消費者剩餘及收益如下：

$$\left. \begin{aligned} E[L_1] &= \int_{Z-X(P)}^{+\infty} f(u) \int_P^{X^{-1}(Z-u)} [X(P)+u-Z] dP du \\ E[L_2] &= \int_{Z-X(P)}^{+\infty} f(u) P [X(P)+u-Z] du \end{aligned} \right\} \text{ for } X(P)+u > Z \quad (2.4)$$

在期望實際的服務量或生產量方面，則是以期望需求減去當有超額需求時的平均超額需求，如下式所示：

$$E[S] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) [X(P)+u] du - \int_{Z-X(P)}^{+\infty} f(u) [u - (Z - X(P))] du \quad (2.5)$$

因此福利可由使用者願意支付的費用，減去期望損失，再減去容量成本，如下所示：

$$\begin{aligned} W &= \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \int_P^{X^{-1}(Z-u)} [X(P)+u] dP du + PX(P) \\ &\quad - \int_{Z-X(P)}^{+\infty} f(u) \left\{ \int_P^{X^{-1}(Z-u)} [X(P)+u-Z] dP + P[X(P)+u-Z] \right\} du \\ &\quad - b \left\{ X(P) - \int_{Z-X(P)}^{\infty} u f(u) du + [Z - X(P)] \int_{Z-X(P)}^{\infty} f(u) du \right\} - \beta Z \end{aligned} \quad (2.6)$$

其中 b 為固定邊際變動成本， β 為每一單位容量成本。

以價格及容量對福利做一次微分，則可分別得到在最大福利下兩者之最適值。

$$\begin{aligned}\frac{\partial W}{\partial P} &= PX'(P)F[Z - X(P)] - bX'(P)F[Z - X(P)] = 0, \\ \frac{\partial W}{\partial Z} &= \int_{Z-X(P)}^{\infty} f(u)[X^{-1}(Z-u) - b]du - \beta = 0\end{aligned}\quad (2.7)$$

Crew et al. (1995) 將 1995 年以前有關尖峰訂價的理論作一概略性整理，計算費用部分還是以價格等於邊際成本為主，其中在假設有不同型態顧客下，所求取最大社會利益時，顧客的 θ 偏好或效用可表示為：

$$U(\mathbf{x}, m, \theta) = V(\mathbf{x}, \theta) + m, \quad \theta \in \Theta \quad (2.8)$$

其中 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ 為產品種類 1 至 n 的向量， $V(\mathbf{x}, \theta)$ 為顧客 θ 購買或使用產品 \mathbf{x} 的效用， m 為一所得水準集合。

為了最大化顧客之淨效益，以顧客效用減去所須負擔的費用：

$$\text{Max}_{\mathbf{x} \geq 0} [V(\mathbf{x}, \theta) + M(\theta) - \sum_N P_i x_i] \quad (2.9)$$

因為不同產品亦可對應不同價格，因此 $\mathbf{P} = (P_1, \dots, P_n)$ ，所以顧客 θ 的需求向量 $\mathbf{x}(\mathbf{P}, \theta)$ ，此亦為是上式之解， $M(\theta)$ 為顧客 θ 的可支配所得， $N = (1, \dots, n)$ 為產品種類數。所以可得 $\mathbf{P}_i = \partial V / \partial x_i$ for i, θ 。

假設產品提供者為一獨佔廠商，其成本函數為 $C(\mathbf{X})$ ， $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ 為總需求，則對不同類型的顧客積分，可得產品 i 的需求量為：

$$X_i(\mathbf{P}) = \int_{\theta} x_i(\mathbf{P}, \theta) f(\theta) d\theta, \quad i \in N \quad (2.10)$$

其中 $f(\theta)$ 為型態 θ 的顧客數。

以 Ramsey 模式最大化淨利益，則如下所示：

$$\begin{aligned}\text{Max}_{\mathbf{P} \geq 0} W(\mathbf{P}) &= \int_{\theta} [V(\mathbf{x}(\mathbf{P}, \theta), \theta) - \sum_N P_i x_i(\mathbf{P}, \theta)] f(\theta) d\theta + \Pi(\mathbf{P}) \\ \text{s.t. } \Pi(\mathbf{P}) &= \sum_N P_i x_i(\mathbf{P}) - C(\mathbf{X}) \geq \Pi_0\end{aligned}\quad (2.11)$$

其中 $\Pi(\mathbf{P})$ 為利潤， Π_0 為某一期望利潤水準。之後再以拉氏方法令價格對淨利益做一次微分為零，即可得到最適價格與成本之比例。

以上擁擠收費相關文獻為以經濟理論基礎所發展之概念性模式，其可應用在

不同擁擠收費情況，除了交通擁擠外，生產線的擁擠、電費尖離峰需求等皆可以上述模式為基礎，再針對各問題之特性予以調整。而根據本研究之目的，以下為道路擁擠訂價之相關文獻回顧。

2.1.2 道路擁擠訂價文獻回顧

徵收擁擠費常被民眾視為是加稅的一種，在美國，旅行者認為他們很少有其他的選擇方案來替代擁擠費，因此很明顯地感受到擁擠費具有強制性，為了測試擁擠訂價政策在民眾心中的感受，Harrington et al. (2001) 給予不同擁擠費方案，對美國南加州居民做調查，方案之一為對社會大眾有實質的回饋，比如說降低營業稅、汽車牌照稅或所得稅，或是對汽車排氣設備維護、搭乘大眾運具等給予補貼；另外在只有部分路段收費的情況下，也就是可以讓旅行者選擇有或沒有收擁擠費的道路，其對擁擠費的反感程度。研究結果顯示，若以降低其他稅率的方式來補償擁擠費，會多增加 7% 的民眾支持擁擠訂價政策；若在高速公路上只對一線道收取擁擠費，會使此政策支持率多增加 8%。

de Palma et al. (2006) 整理和比較法國巴黎、比利時布魯塞爾、挪威奧斯陸及芬蘭赫爾辛基的擁擠訂價模式和步驟，這些模式所採用旅運者行為的內生變數、道路和大眾運輸的屬性會根據各地情況而不同，亦計算及預測未來的成效。巴黎已採用均一價格擁擠收費的方式來抑制小汽車需求量，未來計畫實施依時訂價的擁擠收費；布魯塞爾對一些原本不用收取停車費的地方開始收費，亦對尖峰及離峰時段的公共運輸費率加以調整，而後再根據時間及空間訂定擁擠費用；奧斯陸目前已實施擁擠收費，而除了燃油稅外，將增加二氧化碳排放稅，並考慮土地使用變遷對於未來交通狀況的影響；赫爾辛基對大眾運輸有補貼制度，並提高停車費以抑制進入市區的小汽車需求量，未來將對特定路段的尖峰時刻實行擁擠費。

Yang and Huang (1997) 利用最適控制理論，建立瓶頸路段的依時擁擠訂價，並考慮交通需求為彈性，而瓶頸路段的最佳均衡狀態是在社會效益最大的時候。該研究假設用路人所感受到的成本可分為等候時間及時程延滯時間，令控制變數為小汽車抵達瓶頸路段的到達函數，當小汽車到達率大於瓶頸路段紓解容量時，便會產生排隊的情形，而狀態變數則為瓶頸路段排隊等候紓解之排隊小汽車數。與傳統研究不同的是，該研究沒有事先假設須消除所有等候流量才能得最佳依時擁擠費率，且瓶頸路段的容量亦可能會隨著車輛等候長度而變化，之後再以反覆演算法求得最適控制理論的近似解。

彭一民 (2003) 延伸傳統單一瓶頸路段之議題，加入小汽車替代運具：捷運，以通勤者相關之依時性成本為目標函數，並考量兩運具運行特性、短期通勤者行為特性，模式中所有變數皆為時間之函數，因此以最適控制理論分析動態問題，透過乘數的經濟意義來表現邊際成本的狀態，而不須經由定義複雜之成本函數分析其間的關係；此外，該研究亦觀察時間與兩運具選擇人數之關係，當達到

使用者均衡時，每個時間點會對應一兩運具之均衡使用人數，而後再進一步考慮對小汽車收取動態擁擠費用，以補貼捷運營運成本，例如增加發車班次數，然而列車使用頻繁可能造成營運成本增加，因此可預先觀察每車次補貼額對系統均衡成本之敏感度，再反推一最適擁擠費移轉比率。

Braid (1996) 利用次佳(second-best)依時擁擠訂價模式，考慮兩路徑在尖峰時刻的流量與擁擠費用變化；理論上，如果對兩條路徑都徵收相同的擁擠費，可達到最佳解(first-best solution)，然而現實的路網繁雜，一條路徑可包含數條路段，對兩條路徑以相同標準收取擁擠費十分困難，更遑論整個路網，因此便有次佳擁擠訂價模式放鬆限制；該研究以瓶頸模式 (bottleneck model) 和等候理論 (queuing theory) 為基礎，只對其中一條路徑收取擁擠費用，而此路徑擁擠費率接近尖峰時刻為正，遠離尖峰時刻為負，平均則為零；在數值分析中，此次佳擁擠訂價模式的效益為最佳擁擠訂價模式的三分之二。

Daganzo and Garcia (2000) 利用解析性分析方法，提出一「依時擁擠收費」策略，可讓每個用路人之效益都增加，而不用靠著將擁擠費收入重分配給原付費的用路人。設定一個時間窗內，執行依時擁擠收費，但某些通勤者則輪流被分配可以免除此一擁擠費，因此對於「免付費通勤者」在該時間窗內將可以很順利地通過瓶頸路段而不用遭受擁擠的時間延滯成本，但對於「付費通勤者」如果在該時間窗通過，必須付出一高額擁擠費，但在時間窗以外通過則可以不用付出該擁擠費。

Viti et al. (2003) 以雙層規劃(bi-level programming) 求解動態交通指派問題，其考慮到不同出發時間會影響旅客選擇的路徑，再結合動態擁擠訂價來最小化總系統成本。上層問題的目標式為最小化系統成本，以求得最適之動態擁擠訂價；下層問題在旅客可選擇路徑及出發時間下，最小化使用者成本。

Boyce and Mattsson (1999) 探討個人根據前往工作地點經過擁擠路段而被收取之擁擠費用，和住宅特性如房價、居住密度等，與個人最適之居住地點之關係。一開始先建立個人在居住地的效用函數，再以羅吉特(logit) 模式求得由居住地 i 至工作地點 j 工作的比例，將其放入雙層規劃之下層模式，而下層目標式為在使用者均衡下，最小化旅客由居住地 i 至工作地 j 的成本，此時將目標式對旅客由居住地 i 至工作地 j 的比例做一次微分，即可得到擁擠費用；而上層問題則是以最大化福利為目標，經過雙層規劃模式迭代後，可以得到在固定工作地點 j 情況下，個人所選擇居住地 i 的比例。

在目前已發展之擁擠訂價研究中，以流量來衡量壅塞情況為主流，Verhoef and Rouwendal (2004) 則認為，速率才是最能直接表達道路是否壅塞的指標，因此其先發展一交通擁擠行為模式，在時間成本與預期的車禍意外成本及油耗成本的權衡下，最小化一般旅行成本，以求得駕駛者的最佳行駛速率。因為每一位駕駛者的加入都會影響到整個系統，因此會產生如車禍等成本，而在時間成本方面

則採用傳統模式，且每位駕駛者願意付出的成本不同，所以需求函數須有彈性。而後令邊際外部成本等於擁擠費用，如此可用於限速政策，使總社會福利最大。

2.2 活動行為之研究

上述所提及擁擠訂價之研究，許多亦已考慮到用路人之特性與旅行行為，以下文獻將對個人參與活動與旅行時間效用，做更完整地分析。

Hsu and Hsieh (2004) 建立可及效益衡量模式以探討個體的活動行為，而影響個體活動的因素有時空束縛、活動特性及個體特性等，並進一步分析個人活動地點的選擇、家內活動與外出活動的替代關係、活動時刻與順序的安排問題，並假設個人會選擇可及效益最大的活動方案。在活動地點選擇方面，模式顯示時間預算和活動前後所在位置將影響選擇結果；在家內活動與外出活動之替代方面，模式顯示兩者之活動屬性比值、活動時間比值與函數參數將影響兩者之替代性高低；在活動時刻與順序安排方面，模式可說明個體安排一或數個活動的最佳時刻與順序，並可分析所考慮之活動的從事時間不連續之情形，與活動受到束縛時之情形。

該研究使用重力模式來解釋各變數與效用間的關係：

$$Z_m = Z_m(a, T, t) = \frac{a^\alpha T^\beta}{e^{\gamma t}} \quad \alpha, \beta, \gamma \geq 0 \quad (2.12)$$

其中 Z_m 為個體 m 之可及效益， a 為活動屬性， T 為個人可花在活動上的時間， t 為來回旅行時間。

假設旅行時間長短為從家裡出發時間的函數，此時活動屬性和旅行時間與時間相關，可如下式所示：

$$A'_m(c) = \begin{cases} \frac{a(t(c') + c')^\alpha T^\beta}{e^{(-\gamma(c'))}}, & t(c') + c' \in (c_1, c_2) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.13)$$

其中 A'_m 為個體 m 一天活動的可及效益，而此式只考慮一個活動， $t(c')$ 表示依時變化的旅行時間， c' 則為出發的時間，且在時間範圍 (c_1, c_2) 內，而個人須在 c' 時出發，才可在 $t(c') + c'$ 時抵達活動地點。

圖 2.3 表示單一活動時間與可及效益間的關係。在 (c_1, c_2) 時間範圍內的 c^* 時間可及效益為最大，然而大部分的人都會有不同原因而受到時間上的限制，因此假設當活動時間為在 (c_3, c_4) 範圍內時，個人會在 c' 時間出發，而抵達活動地點時間為 $t(c') + c'$ ，以達到在有時間限制下的最大可及效益。

Accessibility
benefit (A_m)

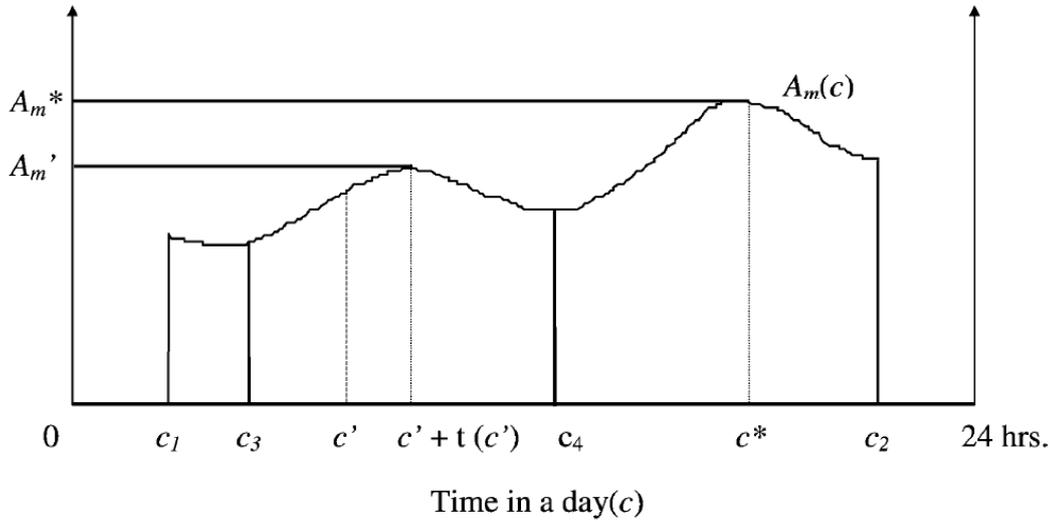


圖 2.3 單一活動時間與可及效益間關係

假設個人參與連續的兩個活動，也就是個人在時間 c 時抵達活動 1 的地點，之後在 $c+T_1+t_1$ 時抵達活動 2 之地點， T_1 為參與活動 1 的時間， t_1 為從活動地點 1 至活動地點 2 之旅行時間。設 $A_{m12}(c)$ 為連續參與兩個活動的可及效益，先進行活動 1 再進行活動 2，則個人 m 的可及效益可表示為：

$$A_{m12}(c) = A_{m1}(c) + A_{m2}(c + T_1 + t_1) \quad (2.14)$$

若個人先進行活動 2 再進行活動 1，可及效益則為：

$$A_{m21}(c) = A_{m2}(c) + A_{m1}(c + T_2 + t_2) \quad (2.15)$$

而 c' 及 c'' 分別為 $A_{m12}(c)$ 及 $A_{m21}(c)$ 的最佳出發時間，也就是在此時間出發，會使個人的可及效益最大。如果個人可以自由選擇活動進行順序，則他將選擇最佳出發時間 c^* ：

$$c^* = \begin{cases} c' & \text{if } A_{m12}(c') > A_{m21}(c'') \\ c'' & \text{if } A_{m12}(c') < A_{m21}(c'') \end{cases} \quad (2.16)$$

在圖 2.4 中， $A_{m1}(c)$ 和 $A_{m2}(c)$ 分別表示活動 1 與活動 2 的依時可及效益。將 $A_{m2}(c)$ 的曲線水平左移 T_1+t ，再垂直加進 $A_{m1}(c)$ 的曲線，即可得 $A_{m12}(c)$ 曲線，而 $A_{m12}(c)$ 曲線的最高點，也就是 $A_{m12}(c')$ ，表示個人先進行活動 1 再進行活動 2 的最大可及效益及最佳出發時間。 $A_{m21}(c)$ 曲線亦由相同方法可得。圖 2.4 顯示

$A_{m12}(c') > A_{m21}(c'')$ ，因此最大可及效益為 A_m^* ，則個人會先進行活動 1 再進行活動 2，且最佳出發時間為 $c^* = c'$ 。

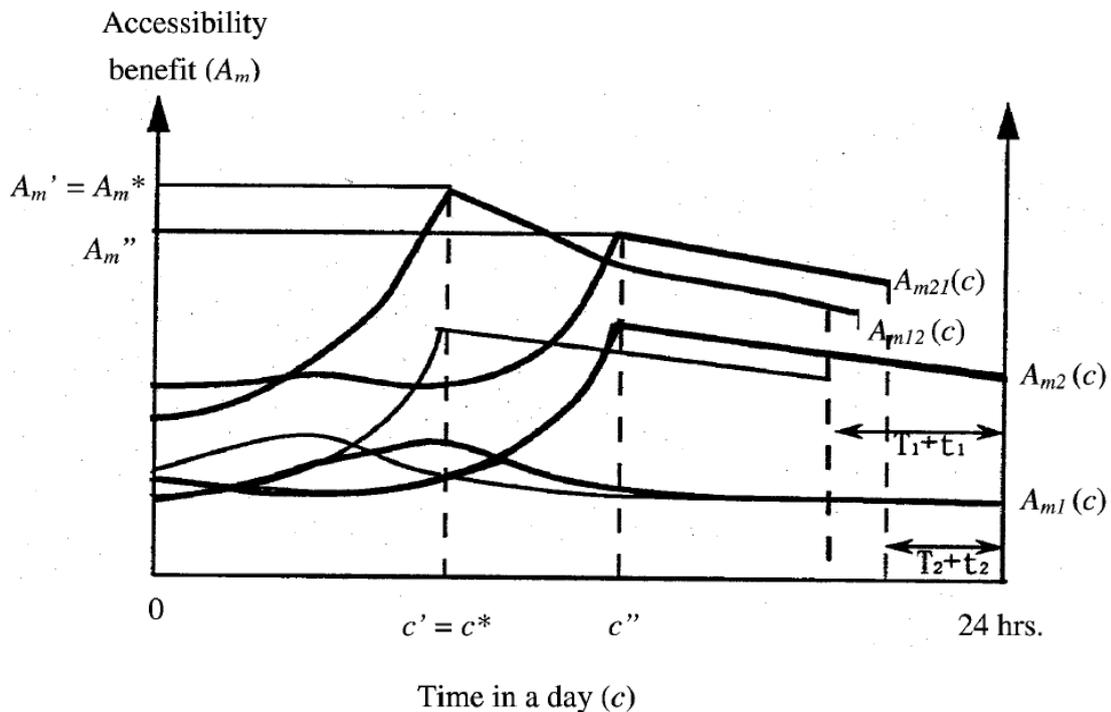


圖 2.4 連續兩活動時間與可及效益之關係

2.3 文獻評析

交通壅塞為許多國家普遍存在的現象，如何解決此問題一直是政府與用路人所關切的議題。過去有關擁擠訂價之文獻，其路網型態多為單一起迄對、單運具模式，且大多將焦點放在較短期的尖峰時段，鮮少考慮較長期之假期旅次所造成的擁擠情況，而假期旅客與一般研究所著重之通勤旅客，在考慮其旅運行為因素上可能有所不同，假期旅客若以遊憩為目的，遇上擁擠或是擁擠費過高時可能選擇取消旅次，而一般研究則假設上班通勤旅客不會取消旅次，因此本研究在構建模式上，必須考慮影響假期旅客旅運行為之重要變數，以及其對於擁擠訂價實施後之反應行為。

另外關於交通擁擠訂價之研究，可概分為靜態與動態模式。靜態模式中，所解決的為較長期之規劃問題，但缺乏即時之特性；相對於靜態模式，動態模式的主要變數會隨時間不同而變化，因此可以分析用路人的即時行為，但若結合現實狀況，還必須考慮收費的方法是否適合此動態模式，根據 de Palma et al. (2006) 所整理歐洲四個不同國家主要城市之擁擠訂價模式和步驟，目前最遠的明確目標時

程為奧斯陸的西元 2030 年，然而在四個城市中，即使採用依時擁擠訂價策略，也僅將時間分為尖峰與離峰兩個時段，由此可知，在這四個城市對於紓解交通擁擠之規劃，至少在 2030 年前，都還不考慮依時動態擁擠策略。因此本研究考慮路網型態為單瓶頸路段且單一運具下，以解析性方法構建依時擁擠訂價之靜態模式，以系統中所有假期旅客之觀點，使總使用者成本最小為目標，再經由數學規劃求得在假期各時段之最適流量與擁擠費用。



第三章 模式構建

本章擬先分別描述回程與去程出發時間對於假期旅客效用的影響，再利用多項羅吉特(logit) 模式求得旅客偏好之出發時間，由此可得每一時段之交通流量，之後將各時段之對應效用加總，再求總效用成本最小化，以得到每一時段之最適交通需求與擁擠訂價。

Bhat (1998) 分析在可選擇運具及出發時間下都市居民購物旅次的行為，該研究將出發時間切割成間斷時段，其原因有二：第一，政府為了抒解交通壅塞問題而在尖峰時段收取擁擠費用，這些收費與免收費時段並不連續，因此將時間分割為時段比較符合目前政策實施的方法；第二，駕駛人一般是考慮在某段時間出發，而非在連續時間上選擇一精確的時間點。同上述理由，本研究亦將連續時間切割為時段 t_1 、 $t_2 \cdots t_{n-1}$ 、 t_n ，圖 3.1 為本研究時段分割示意圖：



圖 3.1 時段分割示意圖

根據民國 97 年春節假期(2/5 至 2/11)高速公路交通疏導措施，在國道五號(雪山隧道)調整過路費方面，於 2/6 至 2/11，每日 0 時至 6 時收費站雙向暫停收費；而因為配合高乘載管制，2/6 的 6 時至 12 時收費站暫停收費；2/9 及 2/10 的 13 時至 17 時收費站暫停收費。圖 3.2 為民國 97 年春節假期於國道五號之收費與免收費時段分割示意圖，其中實線代表收過路費，虛線代表暫停收費。

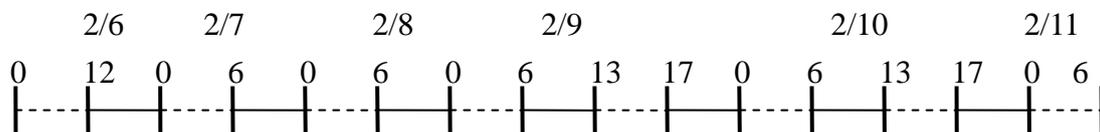


圖 3.2 民國 97 年國道五號春節假期之時段分割示意圖

本研究將旅客的去程與回程旅運行為分別描述，其影響旅客行為效用的基本項目相同，然而在去往度假地點及返回居住地時，旅客在兩者間可能會有心理層面上的不同，例如旅客回程的目的為工作，可能會有較大的心理壓力。旅客由度

假地返回居住地的旅運行為，與傳統研究上的通勤上班模式較為類似，因此本研究先討論旅客在假期中回程的旅運行為模式。

然而在假期中不論去程或回程，當旅運者以小汽車為交通工具使用瓶頸路段時，所須負擔的成本主要為「旅行時間成本」、「擁擠收費」、「時程延滯成本」與「旅行時段感受成本」四項，其中「旅行時間成本」會隨著流量多寡而變化，在尖峰時刻時，由於小汽車數大於瓶頸路段之最大紓解容量，因而造成旅行時間的增加；而本研究所考慮之「依時擁擠收費」則是以調整不同時段用路人旅行成本的方式，來使總社會成本降低；「時程延滯成本」為旅運者可能在考慮「旅行時間成本」與「擁擠收費」下而改變出發時間，使其無法於原本所期望之時間出發而產生；而「旅行時段感受成本」則是緣於旅運者於不同時段駕駛小汽車會有不同感受，舉例來說，一般駕駛者不喜歡於凌晨時段開車，然而可能會為了避開擁擠時段或是過路費而選擇此時段行駛，在此時駕駛者便有一旅行時段不舒適之感受成本。對於小汽車使用者而言，以上四項成本中，某些成本間具有抵換關係而影響出發時間。

3.1 旅客回程旅運行為模式構建

本研究以旅客個人效用作為衡量旅客旅運行為之依據，其中旅客「旅行時間成本」，以及相對於「期望到達時間」之懲罰性「時程延滯成本」為時間成本項；而假期時間預算，也就是個人在本次假期預計度假的時間長度，亦與旅行時間與延滯時間相關，舉例來說，單趟旅行時間需四小時，對於計畫當天來回或是隔夜旅遊的旅客影響便會不同；在金錢成本方面，本研究只考慮直接金錢成本(out-of-pocket cost)，而不考慮運具燃油、折舊等成本；此外，根據過去資料顯示，無論假日或一般日之凌晨時段車流量皆小於其他時段，因此本研究亦考量旅客在不同時段駕駛小汽車的感受。

綜合上述考慮的變數，旅客的回程行為效用如下式所示：

$$U_N(k_2) = b(k_2) + \phi a(k_2) + \theta \frac{T(k_2)}{N} + \alpha \frac{v(k_2)}{N} + \gamma p(k_2) + \varepsilon \quad (3.1)$$

$$\phi, \theta, \alpha, \gamma < 0$$

其中 $U_N(k_2)$ 為個體度假完後回程之旅行效益， k_2 為回程實際出發時間， $b(k_2)$ 為常數項， $a(k_2)$ 為旅行時段感受； $T(k_2)$ 為回程之旅行時間， $v(k_2)$ 為時程延滯效用， N 為個人的假期時間預算，若假期時間預算越長，則旅行時間與延滯時間的影響相對之下就會越小； $p(k_2)$ 為在 k_2 時段的過路費，因為以上變數皆為表示成本之負效用，因此對應之參數 ϕ 、 θ 、 α 及 γ 皆小於零；由於個人行為效用彈性會隨度假長短及旅行時間而改變，因此將參數直接乘上變數來表示其關係； ε 為效用不可衡量部分，本研究假設其為一獨立且呈 Gumbel 分配之隨機值，

所以個人效用 $U(k_2)$ 又可表示為：

$$U_N(k_2) = V_N(k_2) + \varepsilon \quad (3.2)$$

其中 $V_N(k_2)$ 為效用可衡量之部分。

當旅客預估旅行時段會落在尖峰時段時，很有可能為了避開擁擠時段而提早或延後出發，而到達目的地的時間亦有可能比最初期望的抵達時間為早或晚，因此提前或延後出發，早到或遲到對旅客而言都會構成一懲罰成本，根據 Viti et al. (2003)、Braid (1996) 的研究可知，早到和遲到其影響程度不同，因此可將其分為兩部分來看。又因為本研究將時間分割為時段，因此進一步假設旅客出發時段亦即抵達時段，故時程延滯成本可如下表示：

$$v(k_2) = \begin{cases} \beta_2(k_2 - A), & \text{if } k_2 \geq A \\ (A - k_2), & \text{if } k_2 < A \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\beta_2 > 0$$

其中 A 為旅客回程期望抵達時間，若實際抵達時間較期望抵達時間晚，亦即 $k_2 \geq A$ ，會有一晚到成本，故時程延滯效用 $\beta_2(k_2 - A)$ ；如果實際抵達時間較期望抵達時間早，亦即 $k_2 < A$ ，代表假期時間縮短，亦有一負效用 $(A - k_2)$ ，而本研究假設遲到與早到時間價值之間呈一比例 β_2 ，且 β_2 大於零。根據賴禎秀 (2003) 研究結果顯示，若將無形之懲罰成本（如考績評比不佳、升遷管道受阻等）計算在內，國內通勤者遲到時間價值為每小時 159 元；早到時間價值約為每小時 74 元，所以本研究估計遲到之延滯時間價值約為早到時間的兩倍，因此式(3.2)可改寫為：

$$v(k_2) = \begin{cases} 2(k_2 - A), & \text{if } k_2 - A \geq 0 \\ -(k_2 - A), & \text{if } k_2 - A < 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

由於個體對於是否提前或延後出發時間的偏好不同，因此可視其為一分配，若假設延滯時間之機率密度函數為 $f(k_2 - A)$ ，其分配可為任何連續機率分配函數，同時此分配符合機率密度函數特性，如圖 3.3 所示。

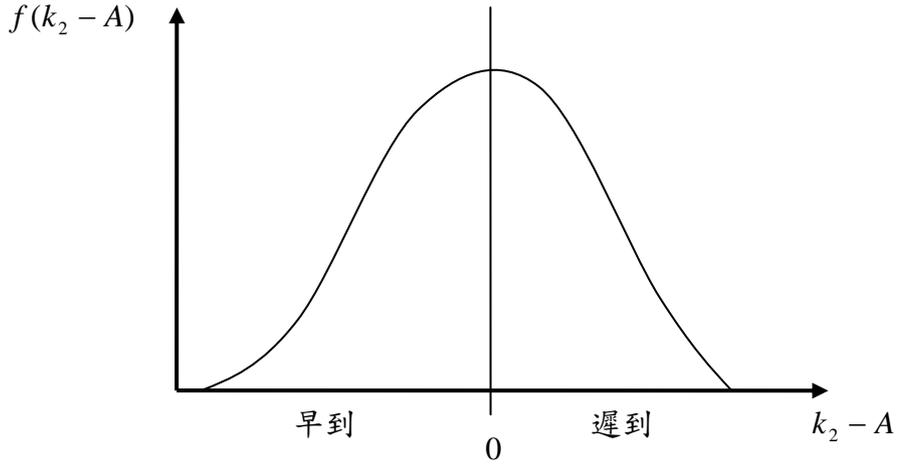


圖 3.3 個體延滯時間之機率密度函數示意圖

承上，在 k_2 時段回程時，總體旅客的平均延滯時間為：

$$\int_{v(k_2)} v(k_2) \cdot f(k_2 - A) d(k_2 - A) \quad (3.5)$$

而本研究將連續時間切割為時段，因此總體旅客的平均延滯時間又可如式 3.6 所示：

$$\sum_{v(k_2)} v(k_2) f(k_2 - A) \quad (3.6)$$

再以多項羅吉特模式求得不同時段的流量比例：

$$P_N(k_2) = \frac{\exp V_N(k_2)}{\sum_{k_2 \in K_2} \exp V_N(k_2)} \quad (3.7)$$

將原始總旅客人數 Z 乘上各時段流量比例，即可得各時段流量 $F_N(k_2)$ ：

$$F_N(k_2) = P_N(k_2) \times Z \quad (3.8)$$

然而當過路費調整時，旅客可能改變旅運行為的方式主要有：改變出發時間，改走替代道路，改乘大眾運輸，取消旅次，或者是仍不改變原本之旅行行為，而不同的選擇方式亦會影響路段上的壅塞情況，且本研究主要探討的是實施擁擠訂價策略對於假期交通壅塞之影響，因此將根據旅客的選擇行為分為三群：第一群為改變原本出發時間之旅客，其為本研究主要探討之對象；第二群為改走替代道路、改乘大眾運具及取消旅次的旅客，因為當此瓶頸路段之過路費夠大時，此群旅客將不使用這條道路；第三群為絕不改變原本旅運行為的旅客，無論過路費

多少都不會放棄行駛此瓶頸路段之旅次，故為價格無彈性者。因此，瓶頸路段在 k_2 時段的流量如下所示：

$$F_N(k_2) = \delta_N \times Z + P_N(k_2) \times Z(\mu(p) - \sum_N \delta_N) \quad (3.9)$$

其中 δ_N 為度假天數為 N 天的第三群價格無彈性旅客之比例； $\mu(p)$ 為會隨過路費的調整而仍使用此瓶頸路段之第二群旅客比例，若過路費越高，則不使用此路段之旅客越多，總旅客人數會越少，因此擁擠費率與原始總旅客比例之關係可如圖 3.4 所示；而第一群會改變出發時間的旅客，則是由原始總旅客數減去第二及第三群旅客，因此 $P_N(k_2)$ 在本研究的定義為度假天數為 N 天且會改變出發時間的旅客在 k_2 時段之比例。

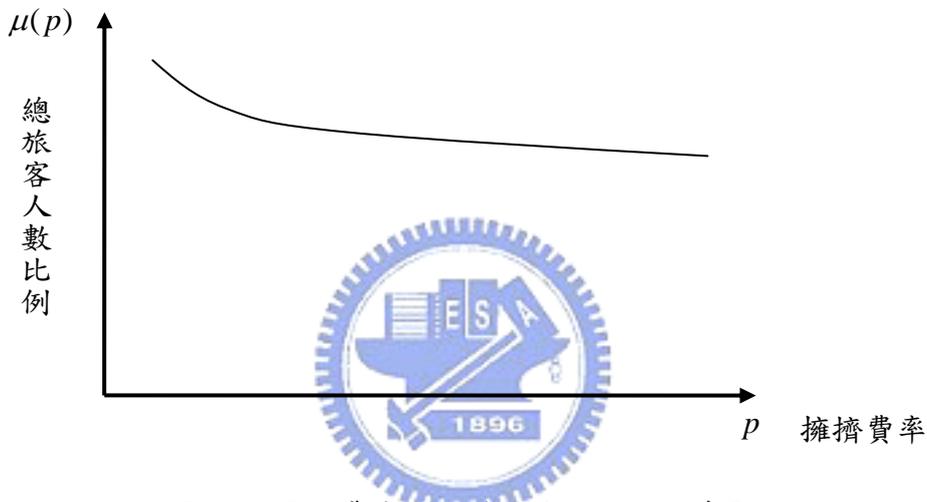


圖 3.4 過路費與原始總旅客比例之示意圖

根據美國道路局 (U.S. Bureau of Public Roads, BPR) 所提出之流量與速率函數，其變化型常被用於運輸規劃中，其公式如下：

$$s = \frac{s_f}{1 + \omega \left[\frac{F_N(k_2)}{C} \right]^\lambda} \quad (3.10)$$

其中 s 為小汽車行駛速率， s_f 為自由車流速率， C 為道路容量， ω 與 λ 為調整係數值。

旅行時間可由距離除以速率而得，因此表示為：

$$T(k_2) = L/s = \frac{L \{ 1 + \omega \left[\frac{F_N(k_2)}{C \times h} \right]^\lambda \}}{s_f} \quad (3.11)$$

其中 L 為瓶頸路段距離， h 為在 k_2 時段之小時數，因為本研究將時間切割成時段，因此在流量方面還須換算成每小時流量，以符合 BPR 公式。

Boyce and Mattsson (1999) 考慮工作者因旅行時間、擁擠費用、房價等因素下，在居住地點與工作地點間的最適分佈，其雙層規劃之上層目標為求得最大化社會福利，除了工作者的福利與居住地的分佈相關，亦考慮售屋者在不同地點之房市利益。然而本研究旨在最小化總使用者成本，僅視政府收費政策為抒解高速公路壅塞的一種手段，並不考慮其獲利多寡，因此，令各時段之流量乘上該時段效用，再將不同假期預算及不同時段出發之旅客加總，即為假期間所有旅客之成本效用。為了最小化總成本效用，如式 3.12 所示：

$$\min \sum_{k_2} \sum_N F_N(k_2) \times U_N(k_2) \quad (3.12)$$

以迭代方式求得在最小化總效用成本下，各時段最適之流量及擁擠訂價。圖 3.5 為模式求解流程圖，其步驟如下：

起始：先給予總成本 TU 極小值，並代入各時段實際之流量與過路費資料。

步驟一：算出各時段之旅行時間與時程延滯時間。

步驟二：若總成本 TU 大於上一次運算所得之值，且兩者相差在 m 值以內，則輸出各時段之流量和過路費，以及總成本效用，並結束運算；否則進入步驟三。

步驟三：若總成本 TU 小於上一次運算所得之值，則減少過路費；否則增加過路費。

步驟四：算出各時段因價格調整而不使用瓶頸路段之旅客比例 $\mu(k)$ ，及會改變出發時間的旅客比例 $P(k)$ 。

步驟五：算出各時段之流量，再回到步驟一。

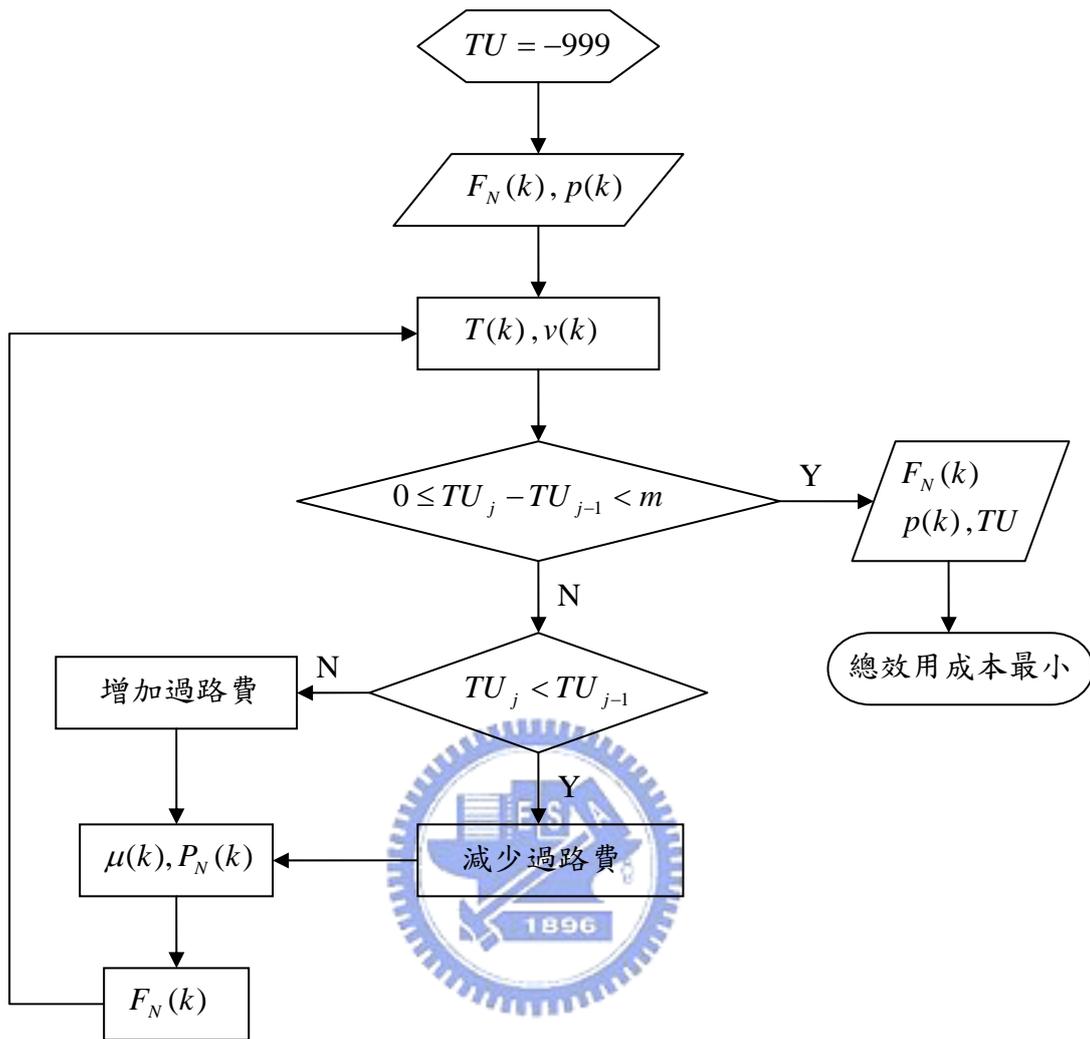


圖 3.5 求解流程圖

第四章 資料收集與整理分析

本研究目的是探討假期中旅客旅運行為與擁擠訂價間之關係，而以往研究大都是針對上班通勤旅客來考量其旅行時間及旅行成本，與本研究所考慮的時間範圍不同，旅客行為目的不同，另外，過去研究也鮮少考慮在不同時段駕駛者的行為感受，因此問卷調查的目的主要是調查在假期中旅客之旅運行為與潛在偏好，以校估本研究所構建模式之參數。

本章中將說明本研究之研究設計，首先在 4.1 節探討問卷設計，4.2 節敘述問卷發放與回收情形，4.3 節對所收集到的資料做統計及分析，最後，4.4 節解釋資料進行校估後的結果。

4.1 問卷設計

收集資料的方法，可採現場實際觀察、對家戶進行訪談或是情境模擬設計等，然而現場實際觀察與家戶個別訪談，除需花費相當長的時間進行資料收集，且人力使用與成本花費相當高，因此並不適合採用。而情境模擬設計是採用虛擬方式設計情境，讓受測者覺得身歷其境來回答問題，此法所收集到的資料誤差較低，受測者的反應也較佳。在成本、時間與資料真實性的考量下，本研究以情境模擬設計的方式，在問卷上模擬免收過路費的情境，讓在收取過路費時段之受測者回答。本研究設計之問卷包含兩個部份，詳見附錄一。

第一部份為調查在收取過路費時段之駕駛者實際及偏好之假期旅行行為，包括平均行駛速率、旅次目的、預計度假天數、原本最希望之去程與回程出發時段、為了避開擁擠時段或受過路費政策影響而實際去程與回程之出發時段等。第二部份為情境模擬設計，情境假設為「為了解決假期間高速公路壅塞的問題，政府擬在收過路費的時段提高費用」，在此情境下，當過路費增至多少時，旅客便會改變其旅行行為。此外，為了讓受測者更易於填答，本研究提供民國 97 年清明假期政府公佈收費與免收費時段示意圖，如圖 4.1 所示，其中虛線為免收費時段。

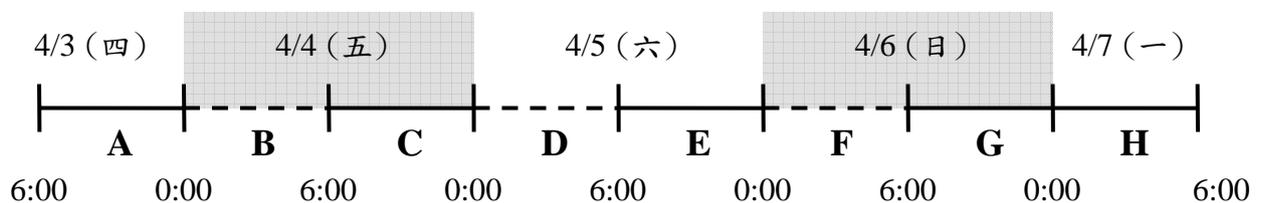


圖 4.1 民國 97 年清明假期收費與免收費時段示意圖

4.2 問卷發放與回收

本研究之調查對象為民國九十七年清明假期使用國道五號之駕駛者，調查方式為調查員於國道五號之石碇服務區中隨機選取旅客，若其為該旅次之駕駛者，則進行問卷調查。整個調查工作流程為圖 4.2 所示。

問卷調查時間為民國 97 年 4 月 4 日至 4 月 6 日，亦即國定清明假期，於上午十點至下午三點派遣調查員至石碇服務區由上午至下午發放問卷，其中調查員與受訪者為一對一問卷調查。在問卷填答的過程中，若是受訪者對於問卷有任何疑問或是不清楚的地方，都可以馬上獲得調查員的回覆與協助，因此較不易出現漏答或不清楚題意而錯答的情況發生，如此可以增加資料收集的正確性，且能夠提高受訪者接受問卷調查的意願，更能避免無效問卷的產生。

本研究共回收 204 份問卷，其中 7 份因關鍵題目漏答或是問卷中前後填答矛盾等情形而加以排除，另外有 4 份因去程或回程時間不在本研究之時間範圍內，而不予討論，故有效可供分析問卷共 193 份。



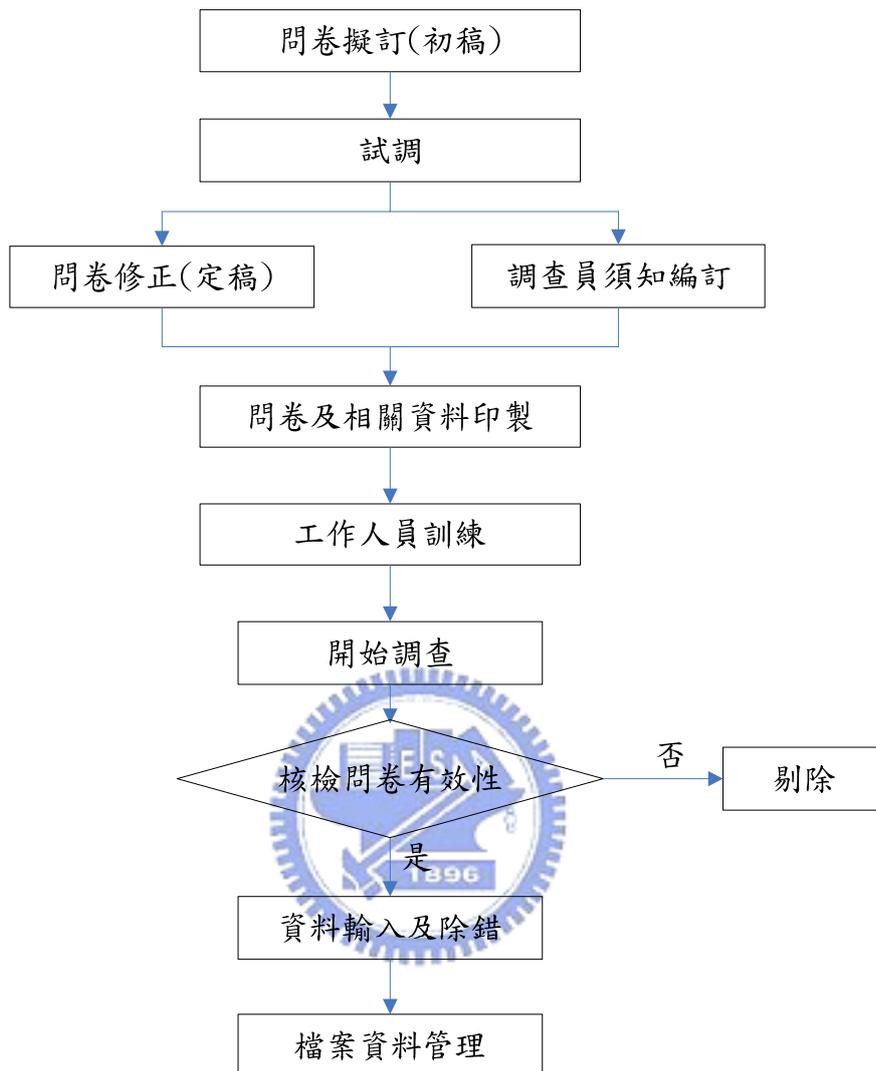


圖 4.2 調查工作流程圖

4.3 問卷資料整理與分析

以下將從本研究所收集到的資料中，針對假期不同日特性、度假天數特性、價格特性，做一整理分析。

4.3.1 假期間不同日之特性

在連續假期中，假期頭尾或是假期中間都會有其特性，表 4.1 為日期與其他因素間之統計列表。先看去程回程與假期日子間的關係，三天合計下來，去程的比例(64.25%)約為回程(37.75%)之兩倍，很可能是因為本研究調查時間為上午及下午時段，許多旅次為當日來回(約佔本次調查樣本之 41.45%)，於發放問卷時段出發至目的地，待傍晚之後回居住地，因此在問卷回收方面，去程比例便較回程為多；然而在假期最後一天，也就是 4 月 6 日，回程的比例比去程為多，代表許多度假天數一至三天的旅客會於假期最後一天返回居住地。

表 4.1 問卷回收日期及相關項目之統計列表

		4 月 4 日(五)	4 月 5 日(六)	4 月 6 日(日)	合計
旅次 順序	去程	33.7%	25.9%	4.7%	64.3%
	回程	5.7%	4.1%	25.9%	35.7%
度 假 天 數	一天	17.7%	14.0%	9.8%	41.5%
	兩天	11.4%	15.5%	7.8%	34.7%
	三天	10.3%	0.5%	13.0%	23.8%
旅次 方向	南下	31.1%	16.1%	12.4%	59.6%
	北上	8.3%	14.0%	18.1%	40.4%
旅 次 目 的	返鄉	8.3%	3.1%	5.2%	16.6%
	遊憩	25.9%	22.3%	7.8%	56.0%
	回居住地	4.1%	3.1%	15.5%	22.8%
	工作	0%	1.6%	1.0%	2.6%
	其他	1.0%	0%	1.0%	2.1%

在預計度假天數方面，由於在本次問卷調查結果中，實際度假天數與預計度假天數幾乎沒有差異，因此也可將預計度假天數視為實際度假天數。問卷回收日期與預計度假天數關係可由表 4.1 看出，在三天總計下，度假天數為一天的比例最高，為 41.5%，其次是兩天，佔 34.7%，最後是三天佔 23.8%，由此可知在清

明假期使用國道五號的旅客當日往返比例相當高；若從單日來看，假期第二天度假天數為三天的比例幾乎為零，是因為本次調查之清明假期為三天，因此旅客在假期第二天的去程及回程之度假天數為三天的比例很小，且本研究事先刪除了超出討論範圍之樣本，剩下的極小比例則為預計而非實際的度假天數；在度假天數為一天方面，與其他日相比，第一天當的往返的比例最高；度假天數為兩天時，與其他日相比，假期第二天的旅次比例最高；在度假天數為三天方面，除了第二天的比例幾乎為零，第一天(10.3%)及第三天(13.0%)的比例與當日其他度假天數相比也都不低，其中在假期第三天，與度假天數為一天(9.8%)及兩天(7.8%)相比，度假天數為三天的比例最高。

在旅次方向方面，假期第一天之南下比例較高；假期第三天的北上比例較高。在旅次目的方面，三天合計下來，以遊憩為目的的比例佔最高，而以單日來看，在假期第三天以回居住地為旅次目的比例最高。

表 4.2 顯示假期每日旅次之去程回程與度假天數的關係，在假期第一天且度假天數為三天之旅次皆為去程，在假期第三天且度假天數為三天之旅次皆為回程，而在第二天方面，僅有一份問卷之預計度假天數為三天，又為回程，因此其比例為 100%；在度假天數為兩天方面，假期第一天及第二天的去程比例皆較回程為高，然而在假期第三天則都是回程。

表 4.2 假期中每日去程回程與度假天數統計列表

	4 月 4 日(五)			4 月 5 日(六)			4 月 6 日(日)		
	一天	兩天	三天	一天	兩天	三天	一天	兩天	三天
去程	73.5%	90.9%	100%	88.9%	86.7%	0%	47.4%	0%	0%
回程	26.5%	9.1%	0%	11.1%	13.3%	100%	52.6%	100%	100%

若對以上統計結果做一個小結，則可發現在假期第一天，旅客之旅次為去程、南下且以遊憩為目的之比例較高；在假期最後一天，旅客之旅次為回程、北上且以回居住地為目的之比例較高。因此根據旅客行為特性，本研究將旅客之去程及回程旅行效用分開討論，以區分旅客在不同旅次目的下的旅行感受。而在旅行方向部分，目前政府為了簡化收費制度，將同時段的雙向過路費率設定相同，未來可考慮依照不同方向之流量而給予不同的擁擠費率。

4.3.2 擁擠收費下假期旅客之不同選擇特性

當過路費調整時，旅客可能會因此改變旅運行為，其主要方式包括：改變出發時間至擁擠費較低時段，改走替代道路，改乘大眾運輸，取消旅次，或者是仍不改變原本之旅行行為，表 4.3 即為在擁擠收費下，假期旅客之不同選擇行為與相關因素列表。

表 4.3 擁擠收費下旅客不同選擇及相關項目之統計列表

		取消旅次	改變出發時段	原訂旅次不變	改道或使用其他運具	合計
旅次 順序	去程	28.2%	40.3%	22.6%	8.9%	100.0%
	回程	20.3%	44.9%	26.1%	8.7%	100.0%
度假 天數	一天	30.0%	36.3%	26.3%	7.5%	100.0%
	兩天	28.4%	47.8%	19.4%	4.5%	100.0%
	三天	13.0%	43.5%	26.1%	17.4%	100.0%
旅次 目的 的	返鄉	40.6%	46.9%	12.5%	0%	100.0%
	遊憩	23.1%	42.6%	24.1%	10.2%	100.0%
	回居住地	22.7%	36.4%	29.5%	11.4%	100.0%
	工作	20.0%	40.0%	40.0%	0%	100.0%
	其他	0%	50.0%	25.0%	25.0%	100.0%

在旅次順序方面，去程與回程相對於旅客的不同選擇方案分布型態大致相似，去程旅客會取消旅次的比例較回程者多一些，代表回程旅客較不願意取消旅次。

在度假天數部分，度假天數為三天的旅客會比當天來回者選擇取消旅次的機率低，可能是因為其預計度假天數較長，假期規劃內容較不易更改；另外，度假天數為三天的旅客相較於度假天數為一天及兩天者，有較高的比例選擇改用替代道路或是替代運具；而「改變出發時段」與「原訂旅次不變」的旅客關於度假天數的差異度並不若「取消旅次」與「改道或使用其他運具」者來得明顯，因此可推測，如果度假天數為三天的旅客因為過路費的調整而改變其旅運行為，相較於度假天數為一天及兩天者，其不願取消旅次的旅客有大部分比例會改道或使用其他運具。

關於旅次目的方面，旅次目的為工作及其他的旅客，因為樣本數較少(兩者之樣本數各為5份)，所以可能不能反應真實情況，在此暫且不做討論；在旅次目的為返鄉的旅客中，會因為擁擠費而取消旅次的比例大於其他旅次目的之旅客，很可能是因為返鄉對假期旅客而言是比較彈性的目的，而以遊憩為目的之旅客則可能是因為已經規劃好一家人或一群朋友出遊的行程，不易更改，回居住地的旅客可能因其目的彈性較小，所以此兩種旅客取消旅次的比例較欲返鄉者為少；另外，以返鄉為目的的旅客較不願易改用替代道路或是替代運具，可能是其目的地以此兩種方式都不甚方便到達。

4.3.3 擁擠費率之特性

旅客能接受擁擠費率的上限可能與度假天數、旅次目的、年齡或所得有關，本研究利用單因子變異數分析(one-way analysis of variance, one-way ANOVA)去檢驗獨立樣本觀察值的各組平均數彼此間是否相等，以得知組內是否有顯著差異，亦即此項因素對於擁擠費率之影響力，其結果如表4.4所示。

表4.4 One-way ANOVA 於擁擠費率之分析結果

	F值	p值
度假天數	1.395	0.196
旅次目的	0.858	0.564
年齡	1.113	0.357
每月所得	1.583	0.128

以95%信賴區間來看，p值須小於0.05才代表顯著，而F值在納入處置平方和(treatment sum of square, SSTR)與殘差平方和(residual sum of square, SSE)的自由度後，可查表可得知度假天數、旅次目的及年齡之F值須大於1.88，每月所得須大於1.96才代表顯著，故表4.4的分析結果顯示此四項因素與擁擠費率並沒有顯著族群差異，也就是與擁擠費率之相關性皆不明顯。

4.3.4 去回程與旅次方向之關係

從4.3.1小節可以發現，假期旅客在不同日子下，其去回程及旅次方向都存在一趨勢，亦即從假期頭至假期尾，南下及去程之旅客比例皆為遞減，相反地，北上及回程之旅客比例皆為遞增，表4.5即顯示此兩因素間之關係。

表4.5 去回程與旅次方向之關係

	南下	北上	合計
去程	70.2%	29.8%	100.0%
回程	40.6%	59.4%	100.0%

由表4.5可知，去程旅客大約有七成的旅次方向為南下，而回程旅客大約有六成的旅次方向為北上，因此在之後的範例分析中，將以南北向之實際交通量，來代替模式中所構建之去回程交通量。

4.4 資料校估結果

本節先對本研究所構建之模式校估結果做說明，再討論擁擠費用多寡與總旅客人數比例之關係。

4.4.1 模式校估結果

本研究考慮紓解假期中高速公路擁擠之策略，主要為調整過路費而使尖峰流量移轉至離峰時段，故模式中所考量之因素與願意改變出發時間之旅客較為相關，因此在模式校估方面以此類旅客資料為校估對象。

本研究將民國97年清明假期分為八個時段，但因為在凌晨時段調查對於調查員及受訪者皆為不便，因此僅在C(4/4 6:00-0:00)、E(4/5 6:00-0:00)及G(4/6 6:00-0:00)時段的上午十點至下午三點做調查。又根據調查資料結果顯示，願意改變出發時間之旅客大多寧可早到而不願遲到，因此在實施擁擠收費政策下，以時段G為最佳出發時間之旅客，不甚願意將出發時間延後至時段H(4/7 0:00-6:00)，而在所收集到的資料中，以時段C為最佳出發時間之旅客，僅願意將出發時段提早至時段B(4/4 0:00-6:00)，而沒有意願提早至時段A(4/3 6:00-0:00)出發，因此在時段選擇方面，可將A和H時段刪除，再用軟體 Limdep 校估效用模式之係數，表4.3即為模式校估結果。

在去程方面，我們可以發現旅行時間、時程延滯時間、過路費及旅行時段感受之係數都小於零，意即此四個項目皆為成本項，與本研究模式之預設情況相同。在常數值方面，可發現B、D(4/5 0:00-6:00)及F(4/6 0:00-6:00)時段之值皆為負值，而C、E及G時段皆為正值，代表一般旅客一開始便不願選擇於凌晨時段出發，因此旅行時段感受已在常數項約略顯示出旅客對於時段的喜好。

在回程方面，時程延滯時間、過路費、旅行時段感受與旅行時間之係數皆為負值，亦符合此四個項目為成本項之假設，而在常數值方面，與去程之常數值分佈趨勢相反，亦顯示旅客對於出發時段之喜好，而時段B之常數值大於時段D及F，有可能是因為所收集到的回程旅客資料在假期第一、二天份數較少，再將「願意改變出發時間」之旅客資料挑選出來後，第一及二天的資料份數只剩下六筆及兩筆，因此在資料收集與過濾過程中造成誤差。

將去程與回程模式之校估結果做比較，可以發現兩者變數之係數值相近，只有在旅行時間參數值方面，去程之估計值較回程明顯來得小，代表旅行時間對於回程旅客的影響不若去程旅客來得大，意即去程旅客會比較在乎旅行時間的長短，這可能是因為去程旅客較回程旅客的旅運行為有彈性的緣故。

常數值在去程方面，可看出假期第一天較第二天為大，假期第二天又較第三天為大，代表去程旅客希望於第一天出發之比例最高，而在回程方面，則是越接

近假期最後一天，常數值有越大的趨勢，因此回程旅客偏好於假期最後一天出發之比例為最高。

在 t 檢定方面，去程與回程之時程延滯時間及旅行時段感受皆為顯著，顯示旅客對於時程延滯時間及旅行時段的感受較為強烈；而在旅行時間及過路費方面均為不顯著，可能是因為旅客在選擇此次旅運行為前，就已將這兩個項目納入考量，因此在校估時，旅行時間及過路費對於旅客的選擇行為影響並不明顯。



表4.6 模式校估結果

	變數	參數估計值
去程	旅行時間(T)	-1.76
	時程延滯時間(ν)	-13.24*
	過路費(p)	-0.81
	旅行時段感受(a)	-19.30*
	時段B常數	-4.28*
	時段C常數	8.04*
	時段D常數	-6.31*
	時段E常數	5.91*
	時段F常數	-8.71*
	時段G常數	5.35*
$LL(0) = -168.43$		
$LL(\beta) = -8.35$		
$\rho^2 = 0.95$		
回程	旅行時間(T)	-0.19
	時程延滯時間(ν)	-13.98*
	過路費(p)	-0.87
	旅行時段感受(a)	-19.97*
	時段B常數	-5.75*
	時段C常數	5.62*
	時段D常數	-7.65*
	時段E常數	6.59*
	時段F常數	-6.57*
	時段G常數	7.77*
$LL(0) = -111.09$		
$LL(\beta) = -5.86$		
$\rho^2 = 0.95$		

*為 $\alpha = 0.05$ 下之顯著值

4.4.2 擁擠費用與總旅客人數關係

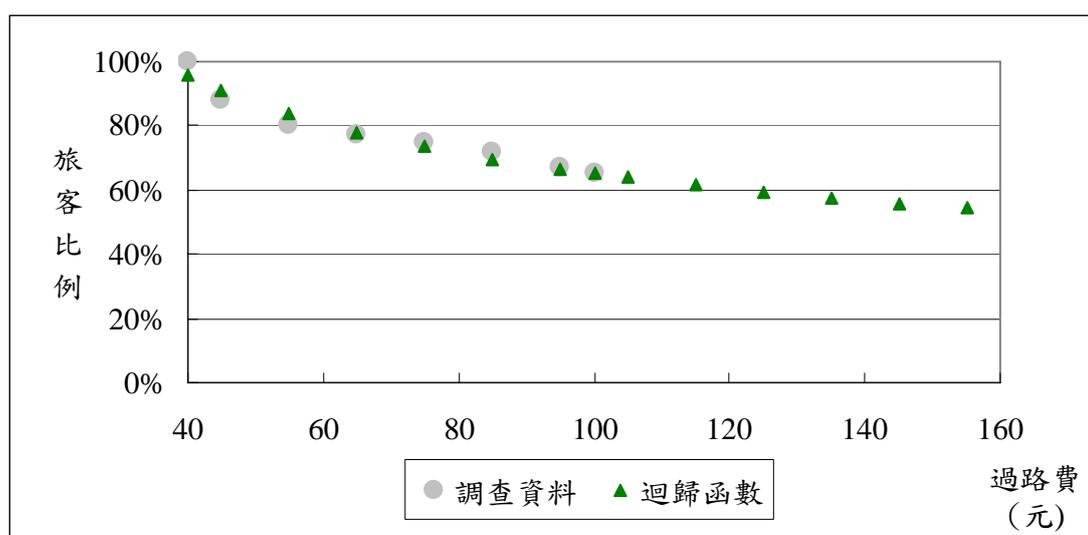
根據經濟學基礎理論，當價格上升，需求便會降低。為了瞭解擁擠費率對於總旅客人數之影響，便以本研究所調查之資料，來找出兩者間的關係。

本研究將因為擁擠訂價而產生不同反應之旅客分為三群，其中一群旅客會因為過路費提升至某一水準而放棄使用原本欲行駛之路段，這群旅客可能改走替代道路、改乘大眾運具，甚至是取消旅次。而將此群旅客之資料用軟體 SPSS 之迴歸曲線估計來找出最符合的函數型式，在以線性(linear)、指數(exponential)、二次(quadratic)以及冪(power)函數的估計下，以冪函數型式與本研究所調查之資料分佈最為吻合，再以非線性迴歸求得其參數，其函數型態如式 4.1 所示，而圖 4.3 則顯示過路費與總旅客比例之迴歸關係示意圖，圓形點為實際調查所得資料，三角形為估計之迴歸點。

$$\mu(p) = 4.465p^{-0.418} \quad (4.1)$$

此迴歸式之解釋能力(ρ^2)為 0.945，代表其對於調查所得之資料解釋能力很好，而其指數項為負值，代表價格與總旅客人數比例呈現負向關係，意即過路費越高，使用此道路之人數越少，當價格趨近無限大時，則旅客比例趨近於零。再佐以圖 4.3 視之，可發現隨著價格上升，旅客比例下降的速度趨緩，這與我們一般「當價格越高，對於價格越敏感」的認知不同，很可能是因為願意付較高過路費之旅客，其時間價值亦較高，付 150 元或 160 元之過路費對其而言並沒有差多少，所以式 4.1 呈現一凸函數型態。

圖 4.3 過路費與總旅客比例之迴歸關係示意圖



第五章 範例分析

前兩章所構建之假期旅客旅運行為模式為理論推導與校估過程，本章將以民國 97 年清明假期間，使用國道五號(雪山隧道)之旅客及流量為範例，利用本研究發展之模式，求解假期間各時段之最適擁擠費率及流量。

5.1 範例背景說明

本研究以民國 97 年清明假期於國道五號上之小汽車旅次作為範例分析，是由於國道五號之假期交通量形態在時間上的分布與全台高速公路流量總計相似，且全線橋樑及隧道佔 91%，如圖 5.1 標示出國道五號南港至頭城路段之較長隧道，因此較符合單一瓶頸路段之假設。

國道五號之南港至坪林段與頭城至蘇澳段先後通車，之後連接坪林與頭城之雪山隧道於民國 95 年 6 月開放通車，使台北至宜蘭的行車時間由 2 個小時縮短為 30 至 40 分鐘，並可移轉臺 9 線及台鐵之客運量，提昇蘇澳港內陸轉運功能，加速蘭陽地區產業及觀光遊憩發展。

最初雪山隧道內之最低速限為每小時 50 公里，最高速限為每小時 70 公里，在民國 97 年 3 月時將最高速限調至每小時 80 公里，同年 5 月調高最低速限為每小時 60 公里，並須保持 50 公尺之安全車距，因此本研究之自由車流速率設定為每小時 80 公里；國道五號全線採雙向各兩車道，再根據速限、安全車距及高公局資料，令南下及北上之道路容量為每小時可通過 2400 輛車；道路長度為國道五號南港至蘇澳段，全長 55 公里。

圖 5.2 為民國 95 年中秋連假雪山隧道的交通量分布，從假期開始至結束，南下交通量由高漸低，北上交通量為逐漸升高，代表許多民眾趁此連續假期經由雪山隧道先往南再回北，從圖 5.3 民國 96 年春節假期，以及圖 5.4 民國 96 年清明假期交通量分布也可獲得相似的旅運形態。



資料來源：國道新建工程局第三區工程處

圖 5.1 國道五號南港至頭城段

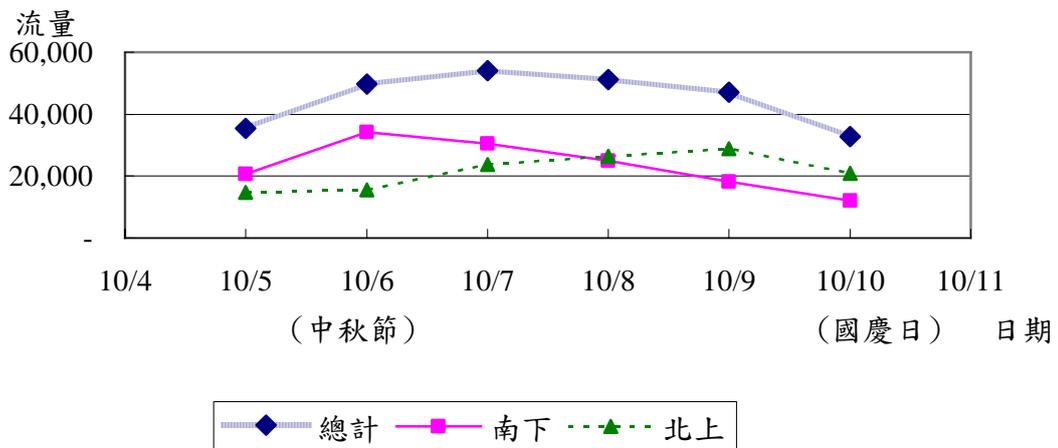


圖 5.2 民國 95 年中秋連假雪山隧道交通量分布

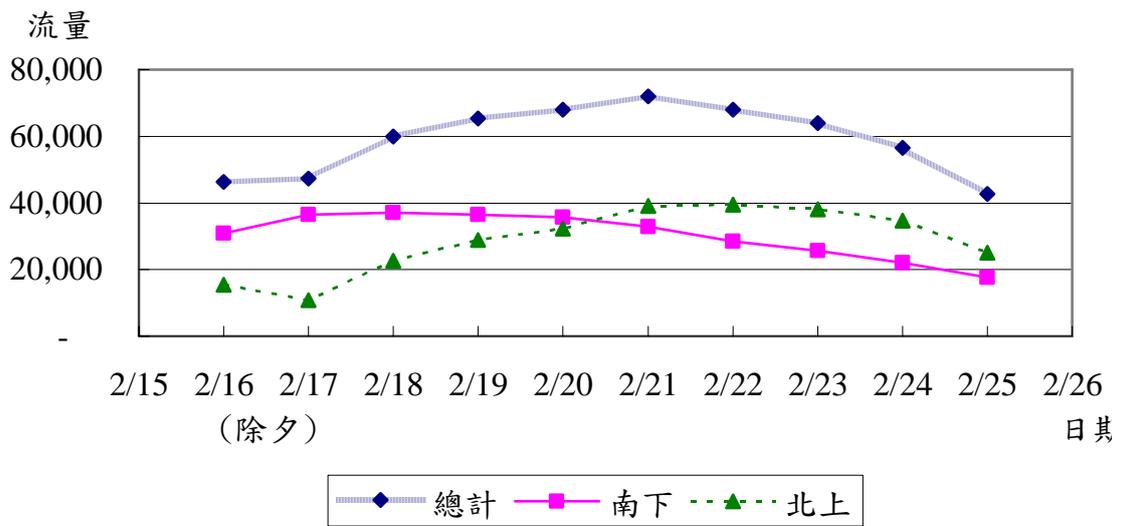


圖 5.3 民國 96 年春節期間雪山隧道交通量分布

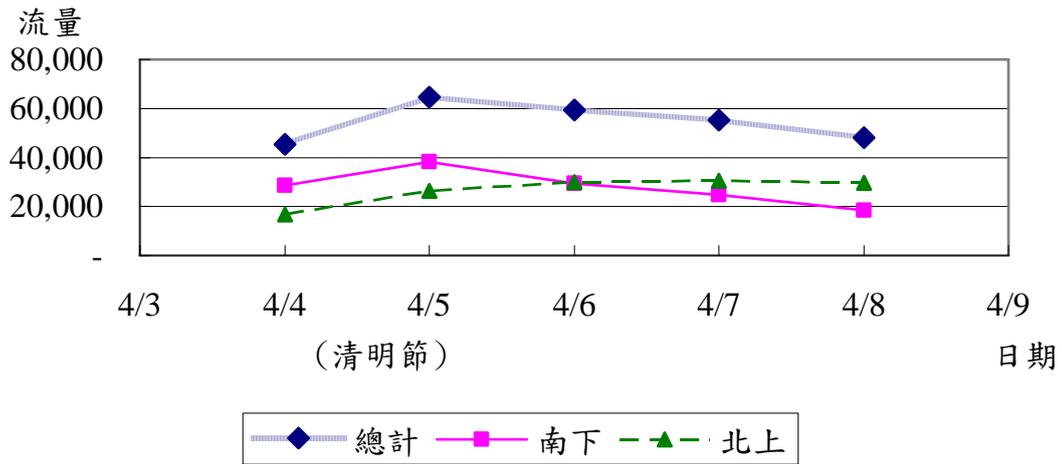


圖 5.4 民國 96 年清明假期雪山隧道交通量分布

除了看整日流量外，在一天內的交通量分布也會影響高速公路上的車流形態，圖 5.5 為民國 95 年中秋連假雪山隧道小時交通量的分布，由此圖也可看出每日車流量從假期開始至結束，往南方向由高漸低，往北方向由低漸高；以一天內的小時流量來看，不論假期頭尾，不論南下或北上，可以很明顯地發現在凌晨三點附近為流量最低的時段。圖 5.6 及圖 5.7 分別為民國 96 年春節假期及清明假期雪山隧道小時交通量分布，亦可看出相似的車流形態。

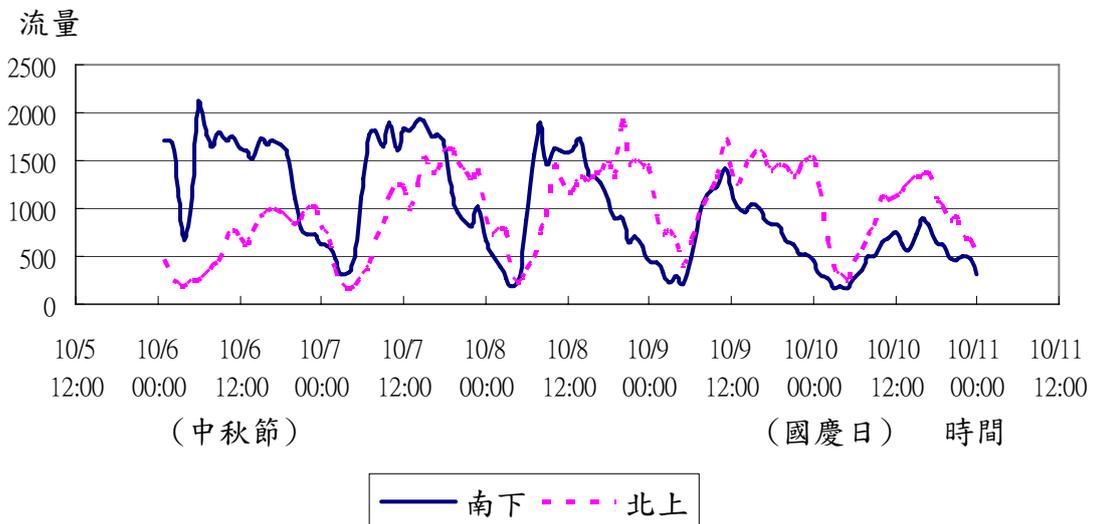


圖 5.5 民國 95 年中秋連假雪山隧道小時交通量分布

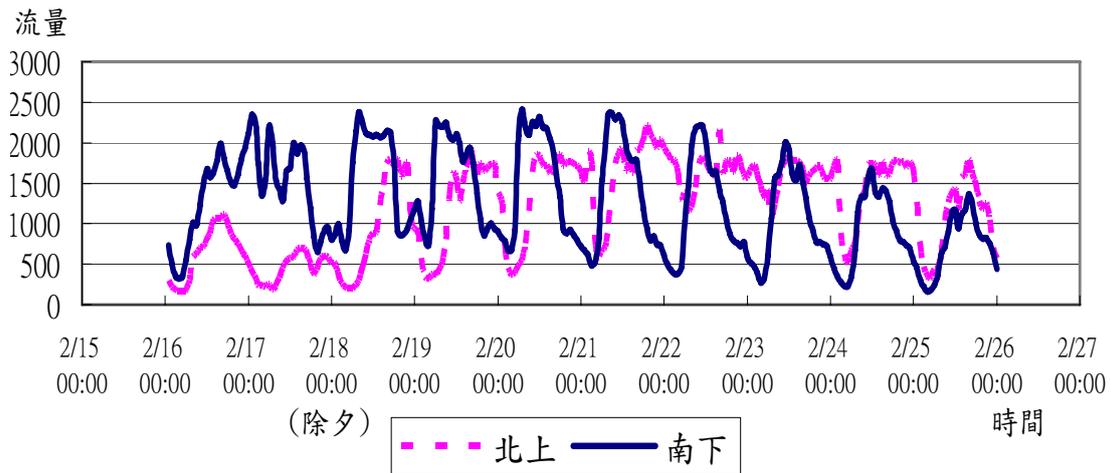


圖 5.6 民國 96 年春節假期雪山隧道小時交通量分布

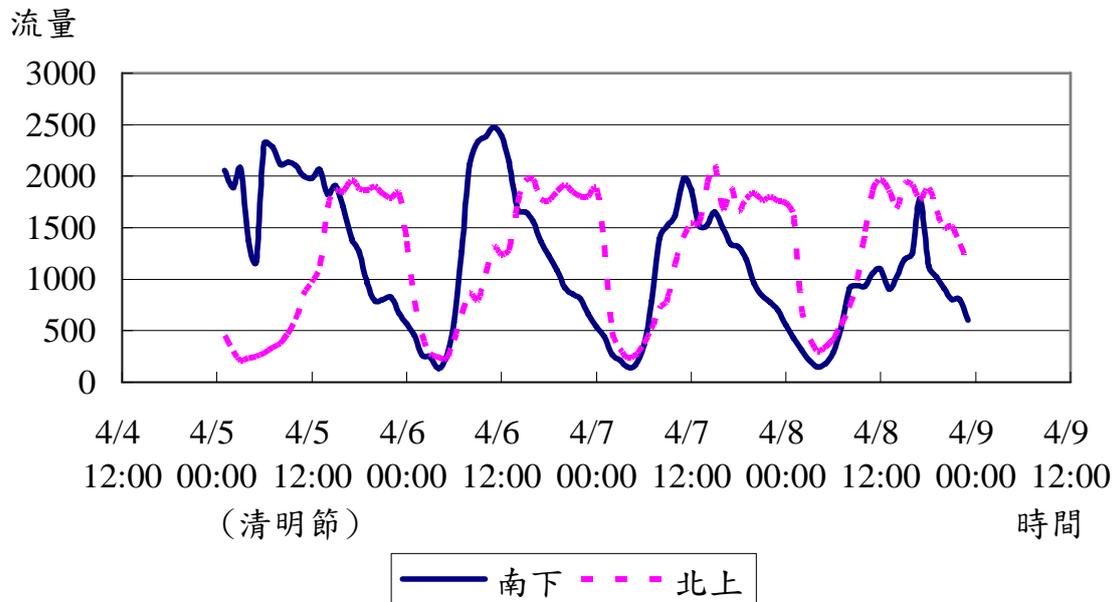


圖 5.7 民國 96 年清明假期雪山隧道小時交通量分布

根據過去資料顯示，假期間高速公路上的依時流量分布有一固定形態，而民國 97 年清明假期從 4 月 4 日週五起至 4 月 6 日週日止，合為三天之連續假期，因為預期此假期間高速公路流量相當大，因此政府公佈過路費調整時段，為假期間每日 0:00 至 6:00 時國道全線收費站雙向暫停收費，期望部分旅客能從易壅塞時段移轉至離峰時段。雖然清明假期為 4/4 至 4/6，然而 4/3(四)晚上及 4/7(一)凌晨亦為大多數旅客之非工作時段，可將其視為假期之延伸，因此本研究將民國 97 年清明假期分為八個時段：A(4/3 6:00-0:00)、B(4/4 0:00-6:00)、C(4/4

6:00-0:00)、D(4/5 0:00-6:00)、E(4/5 6:00-0:00)、F(4/6 0:00-6:00)、G(4/6 6:00-0:00)及H(4/7 0:00-6:00)，如圖 4.1 所示。其中，時段 B、D 及 G 免收過路費，時段 A、C、E、G 及 H 維持原來過路費用 40 元不變。

本研究於 C、E 及 G 時段對假期旅客作旅運行為調查，而調查結果顯示，在此三個時段因過路費提高而願意改變出發時段之旅客，皆不願移轉至時段 A 或 G 出發，因此在範例中將時段 A 及 G 刪除。故過路費一開始設定於時段 B、D 及 F 為零，於時段 C、E 及 G 為 40 元；時段感受於時段 B、D 及 F 為 1，於時段 C、E 及 G 為 0。

小汽車之行駛速率為參考美國道路局(BPR)所提供之公式，然而其係數值受到各地區之文化背景、地理環境與駕駛人特性而有所差異，可各自利用所屬地方性資料調整，在交通部運輸研究所於民國93年出版的公路行車時間研究中，以高速公路的偵測器資料為參數校估的資料來源，將車流狀況分為壅塞及非壅塞兩部分校估，由於該研究之調查時間為雪山隧道通車前，因此本研究選擇與國道五號較相似之路段的係數做為參考係數，並假設旅客於午夜時段不會遭遇到壅塞狀況，因此在時段B、D及F，也就是 $F(k_2)/C \leq 1$ 時， $\omega = 0.29$ ， $\lambda = 2.64$ ；相對地，本研究亦假設旅客在非午夜時段很可能會碰到塞車，因此在時段C、E及G，亦即 $F(k_2)/C > 1$ 時， $\omega = 0.29$ ， $\lambda = 5.44$ ，且本研究將時間依過路費率變化切割成時段，在時段流量方面還須換算成每小時流量，因此時段B、D及F所包含之時間 h 為6小時，時段C、E及G之 h 則為18小時，然而在此範例中，時段C、E及G包含時間很長，將這些時段之總流量換算成每小時流量，再與容量比較時，則為 $F(k_2)/C \leq 1$ ，也就是還未至壅塞狀態，故時段C、E及G之 ω 與 λ 基值仍與時段B、D及F相同。

本研究之調查時段並無包含凌晨時段，在所調查到的資料中，旅客皆在其預計之最佳時段出發，也就是在調查時段中，無時程延滯之旅客比例為 100%；而在情境模擬中，因過路費提高而願意改變出發時段之旅客，都為提早一個時段出發。

雖然調查到之旅客皆在其預計之最佳時段出發，然而估計也會有較小比例的旅客，為在非凌晨時段出發卻又有時程延滯的情況，且其中提早出發之比例應大於延後出發之比例，因此本研究假設，在時段 C、E 及 G，也就是非凌晨時段出發之旅客，有 95% 是在其最佳時段出發，3% 的旅客較最佳時段早出發，2% 的旅客較最佳時段晚出發，且僅提早或延後一個時段出發，故時程延滯時間基數為 $0.03 \times 1 + 0.95 \times 0 + 0.02 \times 2 = 0.07$ 。

根據民國 97 年清明假期與以往節日假期之雪山隧道實際小時交通量，以及一般週末(週六及週日)與平常日(週一至週五)之雪山隧道小時交通量顯示，平常日之凌晨交通量佔一整天之交通量比例為略低於 5%，一般週末之凌晨交通量約佔全天交通量之 5%，而以往節日假期(民國 95 年中秋，民國 96 年春節、清明、

中秋，民國 97 年春節、清明)之凌晨交通量平均約為全天交通量之 10% 上下，此比例除了受到假期旅運特性影響，亦有可能是旅客因為過路費調整而提早或延後至凌晨時段出發。再依照本研究調查之旅客偏好移轉出發時間結果，故假設在時段 B、D 及 F，也就是午夜時段出發之旅客，因為不符合一般人之作息時間，有 5% 的旅客在其最佳時段出發，75% 的旅客較最佳時段早出發，20% 的旅客較其最佳時段晚出發，且僅提早或延後一個時段出發，因此時程延滯時間的基數為 $0.75 \times 1 + 0.05 \times 0 + 0.2 \times 2 = 1.15$ 。

不因擁擠費率調整而改變原訂出發時間及旅運方式之旅客比例，可能會因為度假天數不同而不同，根據調查資料顯示，在去程方面，度假天數為一天、兩天及三天之價格無彈性旅客比例分別為 13%、7% 及 3%；回程則分別為 9%、4% 及 12%。而去程及回程之模式校估參數已於 4.4 節說明，因此直接引用，在本節不多做描述。

各時段之交通量則根據高公局所提供之每小時交通量做分群，圖 5.8 及圖 5.9 分別為民國 97 年清明假期雪山隧道交通量及小時交通量分布圖，與以往假期流量分布型態相似，皆為假期頭至尾的南下流量由高至低，北上流量由低至高。由於高公局量測到之資料無法顯示旅客的旅次順序，又從 4.3.4 小節可知，去程旅客有很大的比例旅次方向為南下，而回程旅客亦有很大的比例旅次方向為北上，因此本研究將民國 97 年清明假期雪山隧道南北向之實際交通量，來代表模式中所構建之去回程交通量。綜合上述假期旅客旅運行為之變數及參數，其基值分去程與回程，整理如表 5.1、表 5.2 所示。

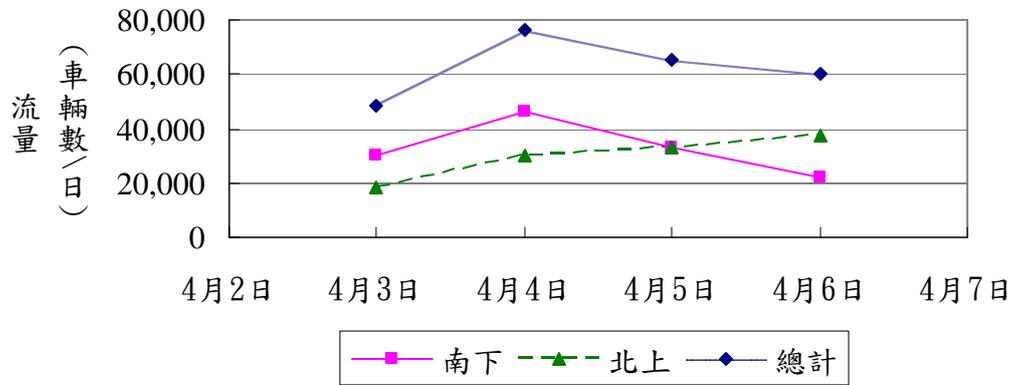


圖 5.8 民國 97 年清明假期雪山隧道交通量分布

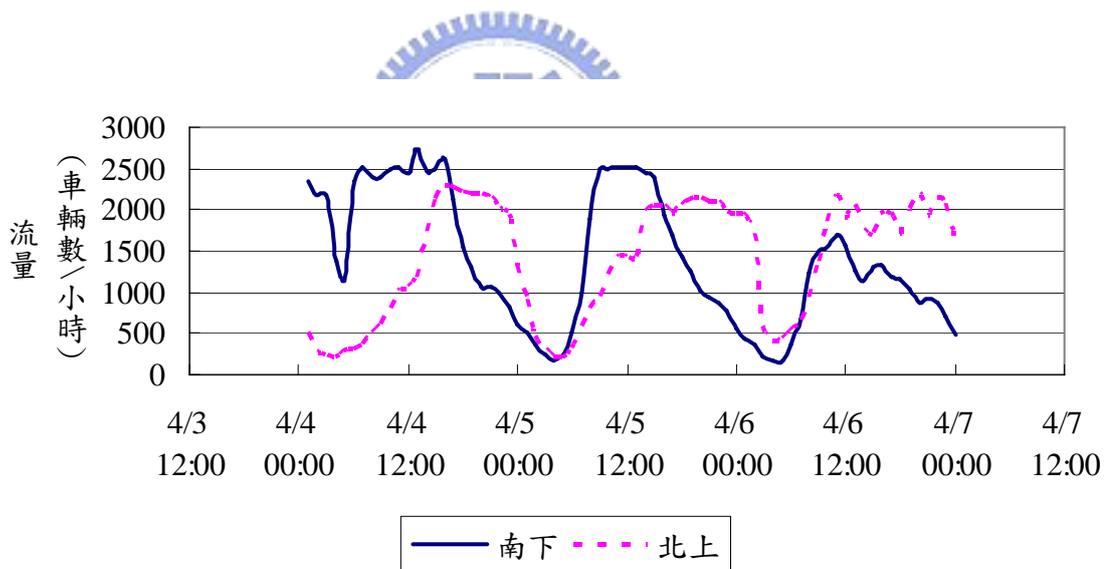


圖 5.9 民國 97 年清明假期雪山隧道小時交通量分布

表 5.1 去程變數及參數表

符號	符號說明	基值
s_f	自由流速(公里/小時)	80
C	容量(車輛數/小時)	2400
L	路段長度(公里)	55
$p(k_1)$	在時段 B、D、F 出發時之過路費(新台幣)	0
$p(k_1)$	在時段 C、E、G 出發時之過路費(新台幣)	40
$a(k_1)$	時段 B、D、F 之旅行時段感受	1
$a(k_1)$	時段 C、E、G 之旅行時段感受	0
$v(k_1)$	時段 B、D、F 小汽車時程延滯效用	1.15
$v(k_1)$	時段 C、E、G 小汽車時程延滯效用	0.07
δ_{k_1}	度假天數為一天之價格無彈性旅客比例	0.13
δ_{k_1}	度假天數為兩天之價格無彈性旅客比例	0.07
δ_{k_1}	度假天數為三天之價格無彈性旅客比例	0.03
$\omega(k_1)$	流量與速率函數之調整係數值	0.29
$\lambda(k_1)$	流量與速率函數之調整係數值	2.64
$h(k_1)$	時段 B、D、F 之小時數(小時)	6
$h(k_1)$	時段 C、E、G 之小時數(小時)	18
θ	小汽車旅行時間參數	-1.76
α	小汽車時程延滯效用參數	-13.24
γ	過路費之參數	-0.81
ϕ	旅行時段感受參數	-19.30
$b(k_1)$	時段B常數	-4.28
$b(k_1)$	時段C常數	8.04
$b(k_1)$	時段D常數	-6.31
$b(k_1)$	時段E常數	5.91
$b(k_1)$	時段F常數	-8.71
$b(k_1)$	時段G常數	5.35

表 5.2 回程變數及參數表

符號	符號說明	基值
s_f	自由流速(公里/小時)	80
C	容量(車輛數/小時)	2400
L	路段長度(公里)	55
$p(k_2)$	在時段 B、D、F 出發時之過路費(新台幣)	0
$p(k_2)$	在時段 C、E、G 出發時之過路費(新台幣)	40
$a(k_2)$	時段 B、D、F 之旅行時段感受	1
$a(k_2)$	時段 C、E、G 之旅行時段感受	0
$v(k_2)$	時段 B、D、F 小汽車時程延滯效用	1.15
$v(k_2)$	時段 C、E、G 小汽車時程延滯效用	0.07
δ_{k_2}	度假天數為一天之價格無彈性旅客比例	0.09
δ_{k_2}	度假天數為兩天之價格無彈性旅客比例	0.04
δ_{k_2}	度假天數為三天之價格無彈性旅客比例	0.12
$\omega(k_2)$	流量與速率函數之調整係數值	0.29
$\lambda(k_2)$	流量與速率函數之調整係數值	2.64
$h(k_2)$	時段 B、D、F 之小時數(小時)	6
$h(k_2)$	時段 C、E、G 之小時數(小時)	18
θ	小汽車旅行時間參數	-0.19
α	小汽車時程延滯效用參數	-13.98
γ	過路費之參數	-0.87
ϕ	旅行時段感受參數	-19.97
$b(k_2)$	時段B常數	-5.75
$b(k_2)$	時段C常數	5.62
$b(k_2)$	時段D常數	-7.65
$b(k_2)$	時段E常數	6.59
$b(k_2)$	時段F常數	-6.57
$b(k_2)$	時段G常數	7.77

5.2 範例結果分析

本研究以 Visual Basic 程式語言撰寫第三章所述之演算法，求解最適擁擠訂價應用在假期高速公路上。表 5.3 為去程之過路費調整前後的流量與總效用變化，由於去程之流量從假期頭至尾會遞減，因此調整後之過路費亦隨之不同，在時段 C，也就是假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高，而時段 G，也就是假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費維持 40 元不變。在流量方面，在時段 C 及 E 因為增加過路費，而使得流量降低，然而時段 G 之過路費不變且流量增加，代表可能有部分旅客會移轉出發時間至時段 G；調整過路費後之總流量較原本之總流量低，是因為擁擠訂價發揮其以價制量的作用。圖 5.4 為去程現況與最佳化後之各時段流量分布圖，可看出調整後之流量分布曲線較原本之流量曲線平滑，代表此擁擠訂價確實有分散交通量之功能。

表 5.4 為回程之過路費調整前後的流量與總效用變化，由於回程之流量從假期頭至尾會遞增，因此調整後之過路費亦隨之不同，在時段 G，也就是假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高，而時段 C，也就是假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費維持 40 元不變。在流量方面，在時段 E 及 G，因為增加過路費而使得流量降低，然而時段 D，也就是假期第二天午夜 12:00 至早上 6:00，流量並未因為時段 E 增加過路費而使時段 D 流量增加，可能是因為在模式參數方面，時段 D 之常數項較小之緣故，另外，相較於去程不改變過路費之時段 G，回程不改變過路費的時段 C 之流量降低，由表 5.4 推測，其部分流量可能移轉至時段 B，以直覺上來看略為不合理，原因有可能是在參數上的誤差；調整過路費後之總流量與去程一樣，較原本之總流量為低。圖 5.5 為回程現況與最佳化後之各時段流量分布圖，亦可看出調整後之流量分布曲線較原本之流量曲線平滑。

若將圖 5.4 與圖 5.5 相比較，去程實際與價格調整後之流量變化幅度較回程明顯，這亦反應出回程旅客較去程旅客之旅運行為無彈性。

表 5.3 去程之調整過路費前後之流量與總效用

時段	現況		調整過路費後		流量變動比例
	流量	過路費(元)	流量	過路費(元)	
B	11583	0	13137	0	13.4%
C	34608	40	31269	43	-9.6%
D	2049	0	4538	0	121.5%
E	30731	40	22202	41	-27.8%
F	1738	0	2890	0	66.3%
G	20516	40	22155	40	8.0%
總流量	101225		96191		-5.0%
總效用		-2892885		-2828555	

時段 B、D 及 F 之流量單位(車輛數/6 小時)

時段 C、E 及 G 之流量單位(車輛數/18 小時)

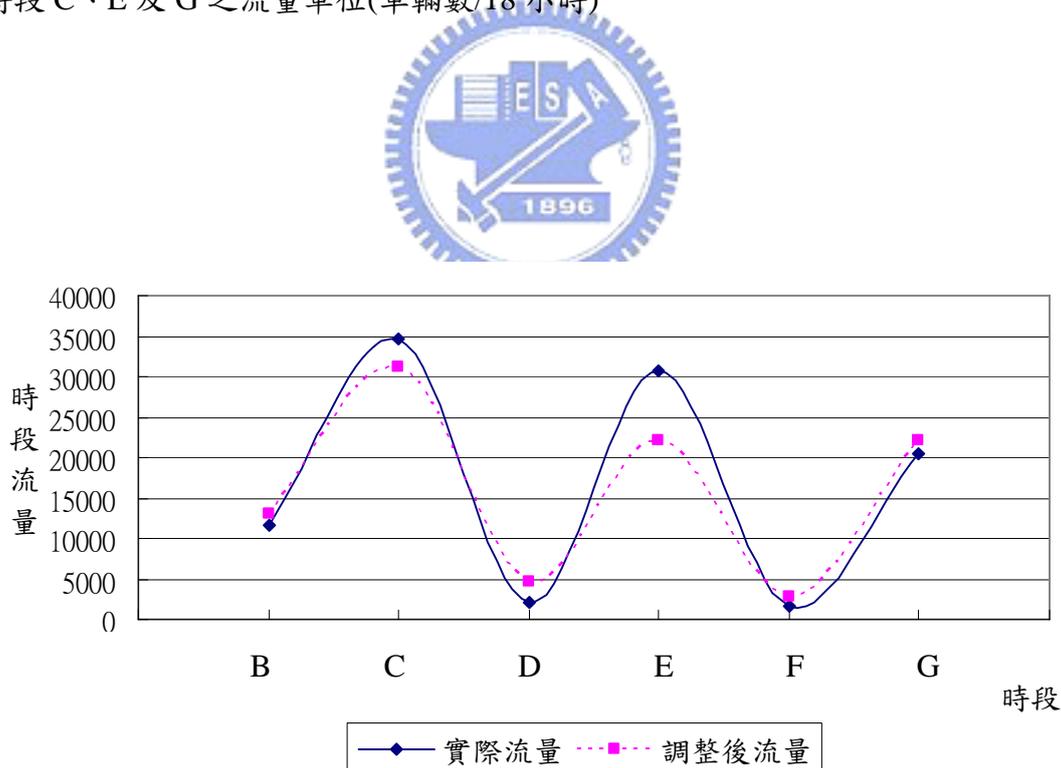


圖 5.10 去程實際與調整後之流量

表 5.4 回程之調整過路費前後之流量與總效用

時段	現況		調整過路費後		流量變動比例
	流量	過路費(元)	流量	過路費(元)	
B	1873	0	2346	0	25.3%
C	28092	40	26733	40	-4.8%
D	2447	0	2080	0	-15.0%
E	30360	40	29408	41	-3.1%
F	5598	0	5629	0	0.6%
G	32199	40	29156	43	-9.5%
總流量	100569		95352		-5.2%
總效用		-3052420		-2903357	-4.9%

時段 B、D 及 F 之流量單位(車輛數/6 小時)

時段 C、E 及 G 之流量單位(車輛數/18 小時)

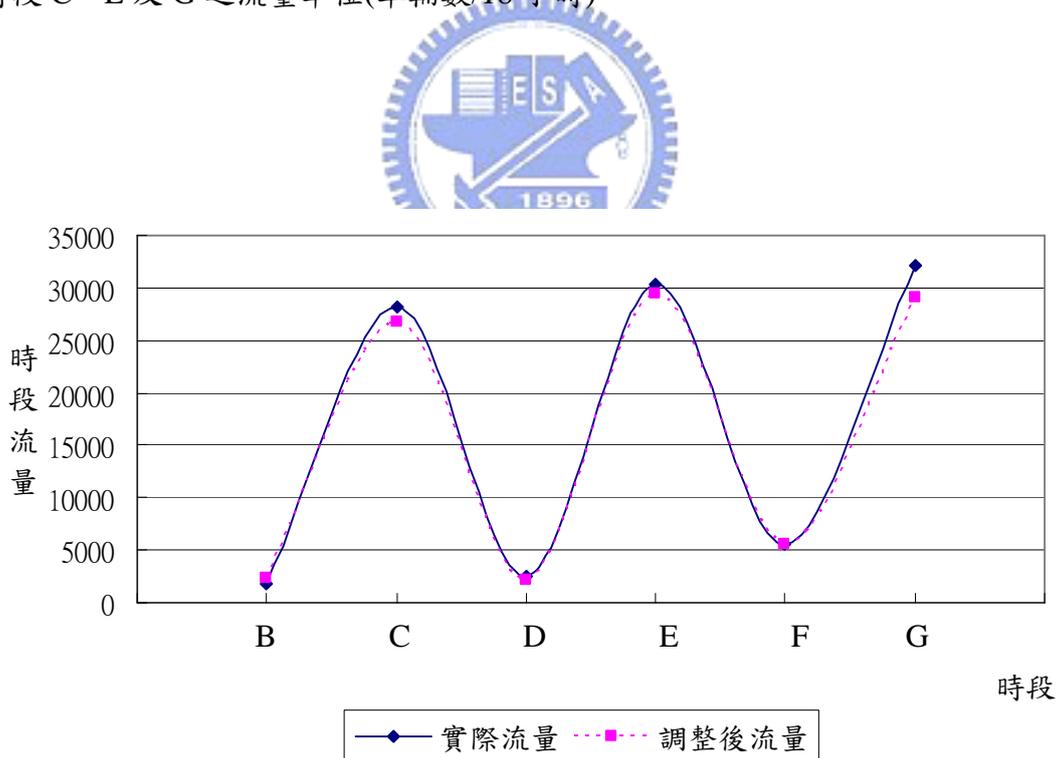


圖 5.11 回程實際與調整後之流量

各時段流量因過路費調整而有所變化，亦會影響瓶頸路段上之車流速率，時段現況速率資料是將各時段實際流量代入 BPR 公式計算而得。

在去程方面，調整過路費後之各時段速率變化如表 5.5 所示，時段 B、D 及 G 因為流量增加而速率降低，不過除了時段 B 以外，時段 D 及 G 的速率變動比例都很小，時段 C 及 E 因流量減少而速率增高，時段 F 的流量雖然增加，但還不足以影響到速率的變化。圖 5.6 為過路費調整前後之速率變化示意圖，可看出各時段速率變化的幅度，除了 B 時段外，過路費調整後之曲線較調整前平滑，再將各時段流量比例乘上對應時段之速率變動比例，可得去程之平均速率變動比率上升了 2%。

表 5.5 去程之調整過路費前後之速率變化

時段	現況		過路費調整後		速率變動比例
	速率 (公里/小時)	過路費 (元)	速率 (公里/小時)	過路費 (元)	
B	66	0	62	0	-6.1%
C	66	40	69	40	4.5%
D	80	0	79	0	-1.3%
E	70	40	75	41	7.1%
F	80	0	80	0	0.0%
G	76	40	75	43	-1.3%

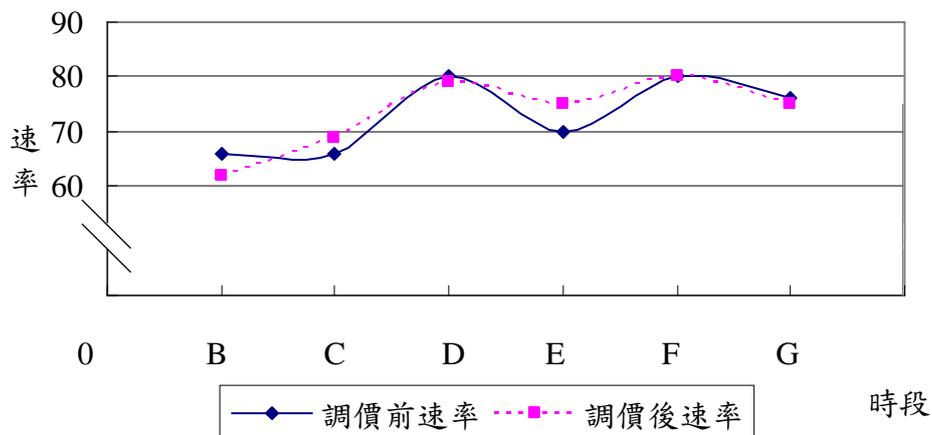


圖 5.12 去程調整過路費前後之速率變化示意圖

在回程方面，調整過路費後之各時段速率變化如表 5.6 所示，即使時段 B 及 D 之流量有變動，但還不致於影響到其速率，故在此兩時段仍維持自由流速，而除了時段 B 及 D 外，其他時段的速率都為增加，是由於這些時段的流量都較調價前低。圖 5.7 為過路費調整前後之速率變化示意圖，可看出過路費調整後之速率曲線較調價前略有提升，而整體平均速率變動比率提升 3%。

表 5.6 回程之調整過路費前後之速率變化

時段	現況		過路費調整後		速率變動比例
	速率 (公里/小時)	過路費 (元)	速率 (公里/小時)	過路費 (元)	
B	80	0	80	0	0.0%
C	71	40	73	40	2.8%
D	80	0	80	0	0.0%
E	69	40	71	41	2.9%
F	77	0	78	0	1.2%
G	68	40	71	43	4.4%

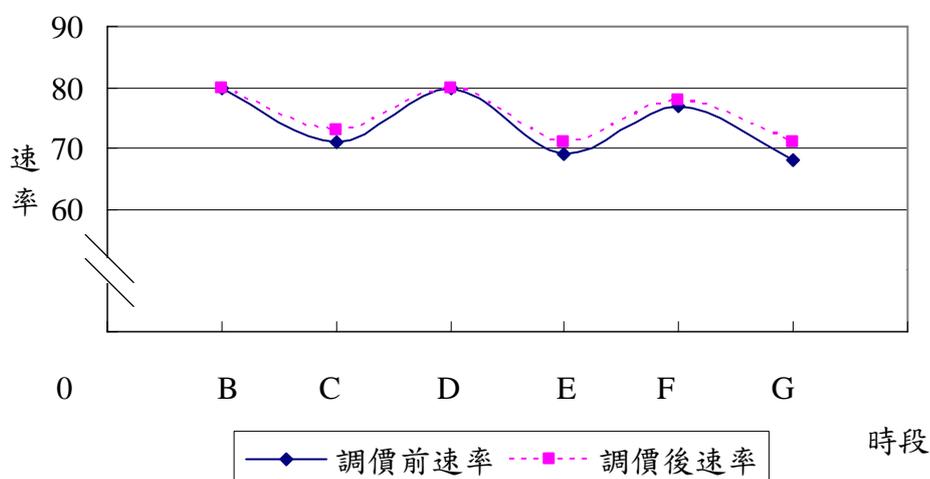


圖 5.13 回程調整過路費前後之速率變化示意圖

5.3 敏感度分析

政府為了紓解假期間高速公路上的壅塞問題，宣佈在深夜時段不收取過路費，以鼓勵部分流量由尖峰時段移轉至凌晨離峰時段，而上述範例之過路費與流量的最適化，便是根據現有政策略微調整，也就是在午夜時段 B、D 及 F 之過路費為零，且不會改變，所以為了改變流量分布之擁擠訂價則僅在時段 C、E 及 G 做調整。

然而本研究模式所得之最適擁擠費率有 40、41 及 43 元，其中過路費 41 及 43 元，若是以電子收費方式收取尚可行，但以現金或回數票方式付費則不甚方便，且使用道路者除了個人的效用與成本外，亦會產生擁擠、空氣汙染等社會外部成本，因此需要給予懲罰值以減少無謂損失，另外，由使用者須付費的角度來看，夜間使用道路者仍須負擔道路維修及養護之成本，再根據小汽車過路費為 40 元的現有收費制度，並沿用民國 97 年清明假期之過路費調整時段，本研究嘗試將凌晨時段 B、D 及 F 之過路費維持 40 元，而時段 C、E 及 G 之過路費調整為 80 元，如此一來，現況之調降過路費的鼓勵策略，以及假設中增加過路費的懲罰策略，與原本過路費之差距皆為 40 元，且許多小汽車駕駛以回數票(一張面額 40 元)方式付費，因此將過路費以回數票單位增加，亦為較合理之增加幅度。

在去程方面，可由表 5.7 看出現況與假設的過路費調整和流量之間的變化關係。在總流量部分，由於假設之過路費在各時段皆較現況增加，因此總流量較現況為低，其降低的比例和幅度與式 4.1 所計算出結果一致，意即本節假設之過路費率使總流量降低兩成左右。在各時段之流量變動部分，除了時段 D 以外，其他時段因假設價格較現況上升，其流量皆為減少，而時段 D 之流量增加，可能是因為其過路費較時段 C、E 及 G 低；流量較時段 B 低，因此速率較時段 B 高；且與時段 F 相比，大多數之去程旅客較偏好時段 D 出發的緣故。在總效用部分，即使總流量因為假設過路費而降低，然而並非所有旅客都會因為過路費調整而改變旅運行為，且願意改變出發時間之旅客的過路費成本不會降低，因此假設過路費之總效用較現況為低。

表 5.7 去程之過路費調整假設與流量變化關係

時段	現況		過路費假設		流量變動比例
	流量	過路費(元)	流量	過路費(元)	
B	11583	0	8214	40	-29.1%
C	34608	40	28051	80	-18.9%
D	2049	0	2606	40	27.2%
E	30731	40	26188	80	-14.8%
F	1738	0	1705	40	-1.9%
G	20516	40	14483	80	-29.4%
總流量	101225		81247		-19.7%
總效用		-2892885		-4957992	

時段 B、D 及 F 之流量單位(車輛數/6 小時)

時段 C、E 及 G 之流量單位(車輛數/18 小時)

在回程方面，表 5.8 顯示現況與假設的過路費調整和流量之間的變化關係。在總流量與總效用方面，結果與去程相似，在各時段之流量變動部分，各時段因為假設價格較現況上升，其流量皆為減少。

表 5.8 回程之過路費調整假設與流量變化關係

時段	現況		過路費假設		流量變動比例
	流量	過路費(元)	流量	過路費(元)	
B	1873	0	1157	40	-38.2%
C	28092	40	14761	80	-47.5%
D	2447	0	1136	40	-53.6%
E	30360	40	29059	80	-4.3%
F	5598	0	2932	40	-47.6%
G	32199	40	32054	80	-0.5%
總流量	100569		81099		-19.4%
總效用		-3052420		-5232973	

時段 B、D 及 F 之流量單位(車輛數/6 小時)

時段 C、E 及 G 之流量單位(車輛數/18 小時)

雖然本節假設之過路費使去程及回程的個人總效用皆低於現況，然而從社會成本角度來看，假設過路費之社會成本不一定較現況為低，不過去程及回程之個人總效用降低幅度都很大，因此推測若採用本節假設之過路費政策，將遭遇民眾強烈地反彈。

第六章 結論與建議

為了改善因假期所造成的道路擁擠現象，本研究以個人旅行行為效用為基礎，並加入駕駛時段感受以衡量出發時段對旅客之影響，藉由不同時段之擁擠收費以調整小汽車使用成本，以達總使用者成本最小。以下提出本研究之結論與建議。

6.1 結論

1. 本研究以解析性方法分析在假期間使用高速公路之小汽車駕駛之旅運行為特性，瞭解影響其選擇出發時間之重要屬性變數，以作為本研究旅客效用行為函數之依據，然而不同旅客會有不同假期預算及偏好的出發時間，因此將前述之個體旅行效用代入多項羅吉特模式，即可得到各時段之流量分布比例和總使用者之成本效用，再用演算法求總旅客效用最小化，以得到各時段之最適擁擠費用及流量。
2. 過去擁擠訂價相關文獻大都針對通勤所產生的壅塞問題，而鮮少考慮到因假期而返鄉、出遊的民眾所造成的壅塞問題，本研究以分析假期旅客使用小汽車於高速公路上之流量為主，而其旅運特性，除了以往文獻所提及之過路費、旅行時間及時程延滯時間外，另外加入旅行時段感受，以衡量旅客在不同時段駕駛之效用值，此外，本研究並將連續時間切割為時段，以符合現有政策實施方式。
3. 本研究於民國 97 年清明假期至國道五號調查的結果顯示，假期旅客之假期長度為當日往返的比例相當高；旅次目的以遊憩為大宗；當過路費提高時，旅客之預計天數較長者較不願意取消旅次，而旅次目的為返鄉者較願意取消旅次；且旅次順序與旅次方向密切相關，也就是去程旅客之比例多為北上，回程旅客之比例多為南下，可能與國道五號之北端為大台北都會區，南端為宜蘭花蓮觀光區有關。
4. 以多項羅吉特校估因受過路費調整而改變出發時間旅客之假期旅運行為模式，由常數項可看出旅客去程及回程之偏好出發時間，且時程延滯時間及旅行時段感受為顯著之影響因素，然而過路費率及旅行時間卻不顯著，代表旅客受此兩項因素之影響較小。
5. 由單因素變異分析可看出，擁擠費率與年齡、每月所得、旅次目的及度假天數之相關性並不顯著，而以羅吉特模式校估之結果來看，擁擠費率對於旅客之旅運行為影響亦不明顯，因此在最佳化的結果中，費率調整的幅度並不大，所影響之各時段流量變化亦有限。此外，造成費率調整幅度不大的原因，亦有可能是本研究將時間依過路費率變化切割成時段，在時段流量方面又須換

算成每小時流量以符合 BPR 公式，如此一來，擁擠情況被平均之後較不明顯，對於費率的影響也有限。

6. 根據實際流量資料，以及去程及回程之假期旅客對於假期頭尾的出發時間偏好，經模式最適化後的過路費亦會隨時段而不同。在去程方面，假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高；假期第二天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 41 元次之，而假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費維持 40 元不變。在回程方面，假期第一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 40 元不變；假期第二天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 41 元，而假期最後一天早上 6:00 至午夜 12:00，過路費為 43 元最高。
7. 本研究嘗試將凌晨時段之過路費維持 40 元，而一般時段過路費調整為 80 元，以比較現況中調降凌晨過路費的鼓勵策略，以及假設增加一般時段過路費的懲罰策略的不同。而假設之過路費使去程及回程的個人總效用皆低於現況，然而從社會成本角度來看，假設過路費之社會成本不一定較現況為低，不過去程及回程之個人總效用降低幅度都很大，因此推測若採用本節假設之過路費政策，將遭遇民眾強烈地反彈。

6.2 建議

1. 本研究所調查之樣本仍未涵蓋全部時段，對於未收集到的時段資料僅能以合理方式推估，然而其亦可能與現實狀況有所出入，因此未來研究可收集更完整的資料以探討假期旅客之旅運行為。
2. 為了將 BPR 公式納入模式中，本研究須將時段流量換算成每小時流量，因而造成尖峰情況的明顯度降低，並可能影響到最佳化費率的調整，故未來可嘗試其他方法以維持尖峰時的特性。
3. 本研究的調查問卷，在旅客選擇會改變其旅運行為下之臨界過路費方面，有勾選項目令旅客填答，可能無法反映出旅客真正的使用行為，因此未來在此部分可直接用開放式填答。
4. 本研究針對單一瓶頸路段上之流量做分析，因此選擇國道五號做為本研究之範例分析，然而國道一號及三號在假期時亦有壅塞的現象，此兩者與國道五號不同之處在於其並非為單一瓶頸路段，且有數個收費站，如此對於旅行距離不同之旅客，可能經過的收費站數不同，其過路費用的累積亦會對於旅客之效用有所影響。
5. 本研究將旅客旅行行為模式分為去程及回程，然而在實際收取過路費時，無法區分去程及回程之旅客，只能對不同旅行方向之旅客收取不同擁擠訂價。雖然目前政府為了簡化收費制度，將同時段的雙向過路費率設定相同，然而

當電子收費更普及，且民眾及政府更熟悉擁擠訂價的操作後，可考慮依照不同方向之流量而給予不同的擁擠費率。

6. 政府為了紓解因假期而產生的高速公路壅塞問題，除了擁擠訂價策略的應用最常見以外，有時候還會搭配高承載策略，也會鼓勵駕駛人使用替代道路，因此，亦未來研究亦可考慮替代道路或高承載策略對於假期旅客之影響。



參考文獻

1. 孫以濬，「公路行車時間資訊管理系統之規劃研究 (1/4) — 高速公路部分及模式先期研究」，交通部運輸研究所，民國九十三年六月。
2. 彭一民，「運輸走廊瓶頸路段擁擠收費與捷運補貼之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十二年六月。
3. 賴禎秀，楊培俊，曾俊琳，白俊英，「開車通勤者時間價值之模式研究」，*運輸計劃季刊*，第三十二卷，第三期，頁 479-492，民國九十二年。
4. Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey, R. (1993), "A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand," *The American Economic Review*, Vol. 83, pp. 161-179.
5. Bhat, C. R. (1998), "Accommodation Flexible Substitution Patterns in Multi-Dimensional Choice Modeling: Formulation and Application to Travel Mode and Departure Time Choice," *Transportation Research*, Vol. 32B, pp. 455-566.
6. Bhat, C. R. (1998), "Analysis of Travel Mode and Departure Time Choice for Urban Shopping Trips," *Transportation Research*, Vol. 32B, pp. 361-371.
7. Braid, R. M. (1996), "Peak-Load Pricing of a Transportation Route with an Unpriced Substitute," *Journal of Urban Economics*, Vol. 40, pp. 179-197.
8. Boyce, D. and Mattsson L. -G. (1999), "Modeling Residential Location Choice in Relation to Housing Location and Road Tolls on Congested Urban Highway Network," *Transportation Research*, Vol. 33B, pp. 581-591.
9. Brown, G. Jr. and Johnson, M. B. (1969), "Public Utility Pricing and Output Under Risk," *The American Economic Review*, Vol. 59, pp. 119-128.
10. Crew, M. A, Fernando, C. S. and Kleindorfer, P. R. (1995), "The Theory of Peak-Load Pricing: A Survey," *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 8, pp. 215-248.
11. Daganzo, C. F. and Garcia, R. (2000), "A Pareto Improving Strategy for the Time-Dependent Morning Commuter Problem," *Transportation Science*, Vol. 34, pp. 303-311.
12. de Palma, A., Lindsey, R. and Niskanen, E. (2006), "Policy Insights from the Urban Road Pricing Case Studies," *Transport Policy*, Vol. 13, pp. 149-161.

13. Harrington, W., Krupnick, A. J. and Alberini, A. (2001), "Overcoming Public Aversion to Congestion Pricing," *Transportation Research*, Vol. 35A, pp. 87-105.
14. Hsu, C. I. and Hsieh, Y. P. (2004), "Travel and activity choices based on an individual accessibility model," *Regional Science*, Vol. 83, pp. 387-406.
15. Miller, H. J. (1999), "Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Procedures," *Geographical Analysis*, Vol. 31, pp. 187-212.
16. Pigou, A. C. (1920), *The Economics of Welfare*, First Edition.
17. Verhoef, E. T. and Rouwendal, J. (2004), "A Behavioural Model of Traffic Congestion Endogenizing Speed Choice, Traffic Safety and Time Losses," *Journal of Urban Economics*, Vol. 56, pp. 408-434.
18. Viti, F., Catalano, S. F., Li, M., Lindveld, C. and Van Zuylen H. (2003), "An Optimization Problem with Dynamic Route-departure Time Choice and Pricing," *Submitted for presentation at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board January 2003, Washington D. C. and for publication in Transportation Research Record.*
19. Yang, H. and Huang, H. J. (1997), "Analysis of the Time-Varying Pricing of a Bottleneck with Elastic Demand Using Optimal Control Theory," *Transportation Research*, Vol. 31B, pp. 425-440.

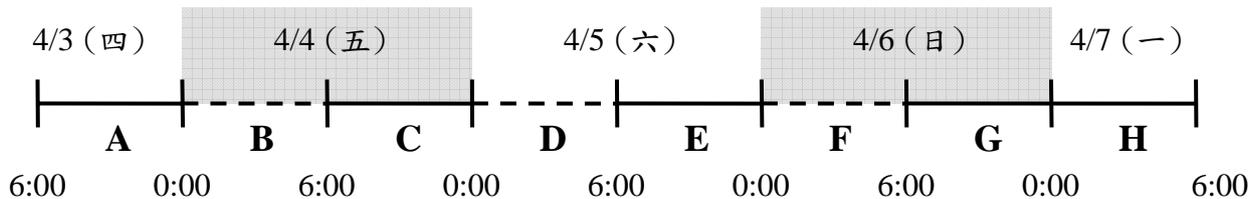
附錄一 調查問卷

您好！本問卷調查的目的在瞭解假期間高速公路收費制度對於駕駛者的影響，以作為日後改善假期時高速公路交通之依據。調查的內容僅作為學術研究之用，請您安心作答。謝謝！ 敬祝 旅途愉快！

交通大學運輸科技與管理研究所 敬上

1. 您本次旅行為：南下(往宜蘭方向) 北上(往台北方向)
2. 您本次旅行為：去程 回程
3. 您本次的旅行目的為：返鄉 遊憩 回居住地 工作 其他_____
4. 您本次旅行在南港與頭城路段間的平均時速(公里/小時)：
30 以下 30~40 40~50 50~60 60~70 70~80 80 以上

下圖為本次清明假期之時段示意圖，並以 A~H 代表不同時段，虛線(----)部分為本次清明假期政府宣佈不用收取過路費的時段：



對您而言，在本次清明假期(單選，請填 A~H 代號)：

原本最希望去程的出發時段為：_____。

原本最希望回程的出發時段為：_____。

但是，為了避開擁擠時段或是過路費政策的因素：

實際去程出發時段為：_____。(可與上列時段相同)

實際回程出發時段為：_____。

1. 您預計的度假天數為：1 天 2 天 3 天 其他_____
2. 您預計從您起點至迄點的旅行時間為：
1 小時以下 1~2 小時 2~3 小時 3~4 小時 4~5 小時 5~6 小時 6 小時以上
3. 若您已經知道在單趟旅次延誤多少時間下，您會放棄本次假期旅行：
1 小時 2 小時 3 小時 4 小時 5 小時 6 小時以上 絕不放棄本次旅行。

情境假設：

為了解決清明假期高速公路壅塞問題，若政府擬在收過路費的時段提高費用。目前小汽車的過路費為 40 元，當過路費增到多少元時，您會改變您的旅行行為：

41~50 51~60 61~70 71~80 81~90 91~100 其他_____。

在此價格下，您會(單選)：

1. 取消旅次。
2. 您的去程出發時段會改變為：_____；回程出發時段會改變為：_____。(請填 A~H 代號)
3. 無論過路費多少，絕不改變原本之旅行行為。
4. 其他_____

個人基本資料：

年齡：20 歲以下 21~30 歲 31~40 歲 41~50 歲 51~60 歲 60 歲以上。

平均月所得：2 萬以下 2~5 萬 5~10 萬 10~20 萬 20 萬以上。