

# 國道預約旅次結合差別定價之交通管理 策略分析—以北宜城際假日旅次為例<sup>1</sup>

## ANALYSIS ON TRAFFIC MANAGEMENT STRATEGY OF THE FREEWAY TRIP BOOKING COMBINED THE DIFFERENTIAL PRICING— A CASE OF THE TAIPEI-YILAN INTERCITY HOLIDAY TRIP

陳敦基 Dun-Ji Chen<sup>2</sup>

王中允 Chung-Yung Wang<sup>3</sup>

曾郁恆 Yu-Heng Zeng<sup>4</sup>

(109年12月16日收稿，110年6月24日第一次修正，  
110年7月10日第二次修正，111年2月11日定稿)

### 摘 要

本文提出旅運規劃的「預約旅次」(Trip booking) 結合尖離峰「差別定價」的交通管理策略構想，以期改善國 5 假日常態性交通壅塞，提升國道運輸效能。本文以臺北與宜蘭之間國道城際假日旅次為例，首先依「預約旅次」旅運規劃架構，結合差別定價及獎勵誘因，設計敘述性偏好 (SP) 情境方案分析不同運具方案的選擇行為，進而建立城際運具選擇模式。其次，利用彈性與敏感度分析了解不同旅運與差價/誘因情境方案所產生之轉移效果。再者，以情境示例的交通量指派模擬評估預約旅次結合差別定價策略對國 5 交通量之影響效果。最後，提出國道預約旅次結合差別定價與之交通管理策略及配套措施，可為政府推動「交通行動服務」(MaaS) 及相關政

- 
1. 本研究係受遠通電收公司之「ITS 研究發展基金」之補助。
  2. 國立高雄餐旅大學校長暨臺灣師範大學企業管理系教授 (聯絡地址：臺北市大安區師大路 31 號 (管理學院)，電話：02-7749-3308，E-mail：djchen@ntnu.edu.tw)
  3. 國防大學運籌管理學系教授。
  4. 國立臺灣師範大學全球經營策略研究所碩士。

策之參考。

**關鍵詞：** 預約旅次、差別定價、運具選擇模式、交通量指派、交通行動服務

## ABSTRACT

*This study proposes the "Trip booking" of travel planning combined with the peak & off-peak "Differential pricing" for traffic management strategy conception to help improve the recurring traffic congestion of the No.5 Freeway during holidays, and to enhance the efficiency of transportation in national freeway. This study imposes the national freeway intercity holiday trips between Taipei and Yi-Lan as an example. Firstly, based on the framework of the "trip-booking" travel planning combined with the differential pricing and incentives, analyzing the stated preference (SP) scenario simulation of mode choice behavior; Secondly, using the elasticity and sensitivity analysis to understand the switching effects by the appropriate travel scenarios of the differentiated pricing and incentives. Furthermore, applying a scenario example of traffic assignment simulation to evaluate the impact effect of traffic volume by trip booking combined with differential pricing strategies. Finally, the traffic management strategies and supplementary methods for trip booking of national freeway combined the differential pricing are proposed as a reference for government to conduct "Mobility as a service" (MaaS) and the associated policy.*

**Key Words:** *Trip booking, Differential pricing, Mode choice model, Traffic assignment, Mobility as a service*

## 一、緒 論

國道 ETC 計程收費每天產生上千萬筆的交易紀錄，對於勾勒高速公路上的用路行為及交通管理應用無疑是劃時代的利器。這些龐大數據資料透過大數據及旅次起迄資料分析，將可預先掌握國道不同日型、不同路段及時段的尖離峰流量分布特性，若能採取交通部政策構想的國道「預約旅次」(Trip Booking)，以及智慧化「差別定價」(Price Discrimination)的機制，導引用路人對道路使用之時段及路段，將可更合理、有效地調節高速公路車流。

概念上，國道「預約旅次」可經由高速公路 ETC 門架對有預約之 eTag 用戶進行身分辨識及紀錄，而 ETC 用戶在起迄之間所通過路段或門架，可結合各路段之「不同時段或車道差別費率」完成與交易的旅次鏈 (Trip Chains)，若無法通過辨識使用者 (指無預約旅次者) 即無法獲得優惠的差別費率之計費，甚至可對其加額收費，使道路定價達到個別化的差異，運用將更為精準有效，達到差別定價的智慧化，將可使道路定價對車流調節發揮更

佳作用。此外，預約旅次構想亦可結合「交通行動服務」(MaaS)平台<sup>[1]</sup>，提供ETC用戶更佳國道行旅服務，ETC/eTag係採「實名制」的電子票證，可將其轉換成數位化憑證，便可透過網路直接進行數據之傳輸、交換及處理，使其在交通收費有更多應用性，進而可將國道電子收費達到智慧化，甚至個人化差別性定價的收費，對提升高速公路之服務效能將甚有助益。

在政策上，針對臺北與宜蘭間高速公路(國道5號)的假日壅塞問題提出「國5預約旅行」的構想，民眾可透過「1968即時路況資訊」查詢任意起迄點交流道之預測旅行時間，結合MaaS的旅運規劃功能，提供北宜廊道最佳上路時間及行駛路徑。因此，本研究構想即是國道用路人透過「預約旅次」預先規劃行程(起迄點及出發時間)，配合國道的尖離峰差別定價策略，用路人可預期其於特定起迄點間在特定時段之旅行時間或壅塞程度，並接受對應各時段的相關差別費率，在國道供需合理調節下，將可發揮移峰填谷之機制，而提高國道資源利用效能並改善交通壅塞。

## 二、文獻回顧與現況分析

### 2.1 預約旅次相關研究及應用

「預約旅次」一詞的概念是來自於1990年代的兩位日本學者Akahan and Kuwahara<sup>[2]</sup>，當時為了紓緩日本東京塞車的問題，進而模擬道路預約旅次模型，而現實中也有眾多國家都有考慮且正在實施預約旅次的策略。Akahane與Kuwahara研究中認為道路預約時間是透過調整旅客在高速公路上的出發時間，類似預訂座位的概念且可以控制交通車輛的數量，該研究利用敘述性偏好(Stated Performance, SP)調查民眾對於預約旅次的有效性。Wong<sup>[3]</sup>提到預約旅次的概念就是民眾可以預約道路出發時間避開尖峰時段或特定假日的塞車車況，解決塞車問題。

Ferrari<sup>[4]</sup>提到汽車使用道路的旅次時間都不同，常常一到特定時段會造成塞車問題，影響到道路使用率。因此作者認為道路預定時間系統可以提升道路使用的可靠性以及道路通行能力，透過基礎設施容量的概念模擬計算每台車子的行駛時間、車與車的間距等等來得到最佳道路時間預測以及最佳路徑選擇，研究顯示道路預定時間可以減少塞車問題，讓旅行時間更加的可靠。Zhao, Triantis, Teodorovi'c and Edara<sup>[5]</sup>探討了在進入市區前的預訂系統，其目的為紓緩交通堵塞的問題，該研究利用人工神經網絡建立市區空間預留系統(Downtown space reservation system, DSRS)。此系統根據旅運者的旅次時間、旅次地點選擇及相關旅運行為特徵一起加以探討。

Chung, Song, Kim and Kang<sup>[6]</sup>針對道路壅塞問題發想一個道路預約系統，探討韓國兩個國定假日時預約道路的可行性，利用問卷對1000名民眾調查對於道路預約系統的可行性，有80%以上的人表示國定假日時旅行時間會比平常時間多兩到三倍，更有84%的人表示塞車時間與他們原預定的旅遊計畫時間正負四小時之差左右。研究結果顯示旅行時間、

旅遊遠距都會是他們考慮使用預約旅次的意願，更有 73.4% 民眾表示如果有預約旅次的系統，民眾願意使用。Chung, Song and Park<sup>[7]</sup> 探討了首爾民眾對於道路預約旅次的接受性及可行性，由於每個旅運者旅行時間及行駛道路時間的範圍不同，常造成道路上容量太小，所以一直存在著塞車問題。文中特別針對首爾市感恩節假日的車況，首爾塞車的車輛是外縣市的三倍，以描述性的問卷對當地 1065 位民眾調查基本資料背景、旅運者的旅行經驗、旅遊時選擇的出發點、旅行時間等等，再來調查民眾對於預約旅次的可接受性。研究結果顯示 96% 的民眾說隨著旅行時間的增加會讓他們感到不舒服，但預約旅次的政策有 66% 民眾同意、54% 民眾反對，反對民眾表示因習慣塞車或預約時間會局限他們的自由及其他複雜性的因素。

國內嚴國基<sup>[8]</sup> 建構了道路預約旅次基礎分析的模型，文中提到旅運者在選擇道路時會根據時段來作決策，代表如果道路處於尖峰時段，旅運者就會藉由預約道路的方式避免旅次集中而不會有塞車的問題，研究中利用在時間下的旅運決策，包含出發時間選擇、路徑選擇以及到達時窗限制，使模型可以詮釋民眾預約的時間以及最佳行駛道路之旅運行為，再針對不同時間下道路所可承受的系統容量及不同梯次的預約時間之問題進行探討。

## 2.2 道路差別定價與交通管理

道路定價 (road pricing) 係針對特定道路、在特定時段，對使用者徵收費用。其主要目的有二，一為財務自償與成本回收目的，用以回收道路興建、維護成本，常見為高速公路、橋梁與隧道收取的「通行費 (toll)」。另一則為以降低社會成本為目的，用以改變紓緩擁擠地區車輛的交通管理策略。因此，後者目的之道路定價亦被稱為「擁擠定價」(congestion pricing) 或「擁擠收費」(congestion tolling)。有關擁擠或道路定價理論模式與方法，過去 Morrison<sup>[9]</sup>、Hau<sup>[10]</sup>、Lewis<sup>[11]</sup> 與 Johanson and Mattsson<sup>[12]</sup> 統整回顧主要擁擠收費與道路定價理論方法。道路擁擠定價理論基礎在於邊際成本定價的基本經濟原則，所謂邊際成本定價乃指用路者使用道路所應付出之成本除本身所感認之平均成本外，尚需付出邊際社會成本與平均變動成本間之差距的費用，以達社會福利最大。另一方面，道路擁擠定價基本原理乃透過價格機制抑制需求，發揮「以價制量」效果，以達有效利用道路資源及降低社會成本目的。其中，關鍵因素為用路人對時間價值感受以及道路可接受 LOS。Chen and Wen<sup>[13]</sup> 則利用道路定價原理探討國內高速公路收費對用路人選擇行為之影響，結果顯示都會區高速公路在過去短程免收費情況下，採取里程計費之後，確實會對用路人使用高速公路產生一定程度之衝擊 (轉移或漸少使用)。

### 1. 國內國道差別定價實施經驗

國道道路 (差別) 定價政策主要依據「公路通行費徵收管理辦法」、「交通部臺灣區國道高速公路局汽車客運班車申請免徵收國道通行費注意事項」辦理。陳敦基國科會專題計畫<sup>[14]</sup> 及國道高速公路局<sup>[15]</sup> 曾針對國內高速公路進行過實施計程道路 (差別) 定價策略及方案之研究，經評估後建議了相關若干具體方案。國道高速公路局以往連續假期為使假期

前一天返鄉車流能分散，多會採行假期第一天零晨至當天早上免收通行費的差價措施，如表 2-1。但隨著 ETC 計程收費後能運用的差價措施變得更多元化，如民國 103 年春節連續假期間共 6 天，採單一費率(無 20 公里優惠里程、長途 75 折優惠費率等)措施，此外，為了進行分流，鼓勵長程旅次用路人走國道 3 號，採行國道 3 號新竹系統到燕巢系統通行費打 8 折之措施。其它連續假期在國道計程收費後(民國 103 年)亦能因收費技術的可行性，進而採行不同的差價措施(國道 3 號通行費折扣措施)。本研究整理高速公路局為紓解國道壅塞車流採以國道差別定價措施之實施歷程，如表 2-1 所示。由表顯示，高速公路局早於民國 82 年為疏導國道尖峰之壅塞交通量，已採行類似通行費加價之差價措施(收取一車雙回數票)。然後近年來皆採行類似通行費減價之差價措施(暫免收費)，並於國道計程收費後，進而能確實採行不同費率之減價措施(國道 3 號 8 折通行費)，以及在非連續假期採行不同費率之加、減價措施(國道 5 號之加、減價措施)。

表 2-1 國道相關差別定價措施之實施歷程表

實施措施	首次實施時間	實施路段	實施時段
連續假期採一車雙回數票之通行費措施	民國 82 年 6 月 (端午節連假)	全線 22 個收費站	00~24 時
連續假期採夜間免收通行費措施	民國 93 年 2 月 (春節連假)	全線 22 個收費站	00~07 時
非連續假期 採夜間免收通行費措施	民國 102 年 3 月 (清明連假前一周)	全線 22 個收費站 (國道全線)	00~07 時
連續假期採國道 3 號通行費減價(折扣 8 折)措施	民國 103 年 1 月 (春節連假)	國道 3 號「新竹系統 —燕巢系統」	00~24 時
非連續假期 國道全線通行費減價 (折扣 8 折)措施	民國 103 年 3 月 (清明連假前一周)	國道 3 號「新竹系統 —燕巢系統」	00~24 時
例假日採國道 5 號通行費加價(0.5 倍)措施	民國 103 年 8 月	國道 5 號全線 (南下路段)	06-12 時
例假日採國道 5 號通行費減價(折扣 5 折)措施	民國 103 年 8 月	國道 5 號全線 (北上路段)	06-12 時
最新差別定價措施從 109 年 2 月 28 日後，遇 3 日型以上之連續假期，則採： 連假放假第一天 00 時至當日 5 時國道全線雙向暫停收費。 國道全線單一費率：即 75 折優惠，無每日 20 公里優惠。 差別費率措施：國 3「新竹系統至燕巢系統」採單一費率再 8 折。			

## 2. 國 5 試辦差別收費經驗檢討

近年來國道 5 號每逢例假日與連續假日就有遊客車輛大量湧入，已造成國 5 容量與車

流之供需嚴重失衡，如上述在國道全面計程電子化時代，應可以差別定價來進行交通管理的手段，本小節特別針對例假日國 5 試辦差別收費計畫說明之。該計畫背景係在國 5 假日交通需求逐年增加，為解決國 5 尖峰時段的壅塞(南下尖峰-週六上午，北上尖峰-週日下午)而實施之差別定價措施。民國 103 年 8 月 16-17、23-24 日及 9 月 13-14、20-21 日等 4 週假日試辦國 5 差別收費，其差別定價計畫為：(1) 週六上午 6-12 時加價 5 成，(2) 週日上午 6-12 時減價 5 成。試辦結果發現，在加減價時段，交通量移轉約 5%，星期六南下 11 點前平均旅行時間及壅塞長度皆略有縮短。整體交通總量微增，全日平均旅行時間差異不大，且以整體交通量分析觀之，對宜蘭觀光旅遊業並無負面影響。在民眾與輿論方面，用路人對於差別費率(尖峰加價)之期待與實際實施效果之差異尚有落差，而用路人對首次以加價方式推動交通管理之認知與習慣尚需推廣與養成。

本研究檢討此一難得的國道差別定價經驗可知，國 5 實施差價路段因路程不長(約僅 20-30 公里)，加價時段對用路人所感受之絕對金額相對不多(每車旅次平均約僅增 10-15 元)，而減價時段卻設計在與尖峰時段無關聯(或具可替代)的時段(即非同一天之離峰時段)，因此，在加價絕對金額不大，且又無法擴大尖離峰段之差價幅度，導致尖峰時段流量轉移至離峰時段的效果有限。此次差價策略設計不佳的經驗，應可國內未來實施差別定價的借鑑。

### 2.3 高速公路車流指派模擬方法

由於連續假期導致用路人出行需求增加，造成國道系統時常發生壅塞回堵現象，並使得旅行時間大幅延長，嚴重影響用路人的旅運規劃。雖然交通部過去曾透過旅行時間預測方式，試圖紓緩壅塞現象，但是實行成效有限。經研究發現，難以預測上述的交通現象有以下兩個主因。首先，由於每年連續假期的確切日期均不同，而用路人時常利用連續假期規劃長途出行參加家庭聚會或多天旅行。Juan et al.<sup>[16]</sup> 指出在連續假期的每一天交通模式(traffic pattern)都不同且交通數據及模式易受每年連續假期干擾而失準。其次，近年來交通部曾實施各種「免收費」管理策略，透過免收通行費誘因吸引用路人選擇離峰的出發時間，並改變國道旅運需求的時間模式。然而，由於這些管理策略為依據每年不同連續假期個案實施，因此交通歷史數據呈現出非重現性的現象，並使得歷史數據無法準確分析交通模式。Bao et al.<sup>[17]</sup> 指出免收費政策雖然紓緩國道壅塞現象，但卻造成某程度的社會效率損失。

因此，協同需求管理(cooperative demand management, CDM)的架構，已被相關研究應用於電動車解決電力消耗和電動汽車的充電負荷問題(Kota et al.<sup>[18]</sup>、Rahbari-Asr & Chow<sup>[19]</sup>)。而 CDM 的主要目標在於透過整合交通資訊及誘因的模擬最佳化模型架構，於連續假期提供與建議國道用路人最佳出發時間。本研究的預約旅次結合差別定價的交管策略，本質上即類同 CDM 策略。此外，為能更加瞭解用路人的旅次特性，傳統上大多透過全國性的家戶訪談、電話訪談或電子郵件進行調查(Chen & Jou<sup>[20]</sup>、Chiou et al.<sup>[21]</sup>、Wen et al.<sup>[22]</sup>)，然而，傳統方法耗費大量金錢與人力成本。此外，手機信令可用來建立初始依時

性 O-D 矩陣的模擬資料，而此種蒐集手機信令的方式廣泛應用於旅次鏈活動點分析及起迄矩陣估計等相關研究 (Calabrese et al. [23]、Gao & Liu [24]、Hellinga et al. [25]、Rahmani & Koutsopoulos [26])。為解決國道車流及收費問題，分析發現「改變用路人出發時間」較「預測國道旅行時間」更顯成效 (De Feijter et al. [27])，尤其針對連續假期此類非重現性的交通模式。當國道整體需求量超過容量時，勢必發生壅塞現象，並且相較都市通勤交通模式更難以預測。因此，如何於連續假期前事先改變用路人出發時間，將成為改善尖峰時段需求量及減輕國道系統過飽和現象的一項重要課題。

顯然用路人出發時間的旅運選擇行為，是決定路網上時段性壅塞的關鍵因素。Chen et al. [28] 建立了動態交通量指派模型，討論了用路人出發時間選擇的動態旅運選擇行為，並建立了變分不等式模型，利用梯度投影法進行求解，王中允與宋奕緯 [29] 則發展了旅次鏈基礎的用路人出發時間選擇的動態旅運選擇模型，該研究不但考量了用路人出發時間選擇，並將路段流量先進先出的限制條件加入了模型中，讓模型更具合理性，並利用拉氏梯度投影法求解，從數值範例中可以發現，用路人會因為路網上的流量狀況，做出最佳的出發時間選擇策略，因此，若能參考前述模型的分析，將有助於建立模型，研析如何於連續假期前事先改變用路人出發時間，以改善尖峰時段需求量及減輕國道系統過飽和現象的方法。

## 2.4 相關配合技術發展現況

在國道預約旅次結合差別定價的措施中，基本上需要的是高速公路通行車輛本身必須裝置有收付通行費的裝備 (即 ETC/eTag)，以及供用路人預約旅次的交通行動服務裝備 (即 MaaS App)，以下分述其在國內發展現況，以為推動預約旅次結合差別定價交通管理策略的技術基礎。交通部打造的 UMAJI，其中旅運規劃概念即期望民眾可以預約時間減少國道 5 號塞車問題。預約旅次與道路定價之結合應用，除擁擠費的尖峰加價改變之外，為鼓勵民眾使用預約旅次，在道路定價策略亦給民眾一定費率優惠以為鼓勵。

在收費設備方面，國內高速公路的電子收費系統 (ETC) 係以 eTag 收取通行費，而 eTag App 提供小汽車車號註冊為 eTag 會員，用路人可透過 APP 查詢餘額、通行紀錄、儲值、試算通行費及路況資訊。至 2019 年底，eTag 有效會員人數約 715 萬人，有註冊人數達 300 萬人，每月使用 eTag 比例約 30%。在行動服務方面，交通部科技顧問室從 2017 年開始推動交通行動服務 (Mobility as a Service)，並於 2018 年 7 月開始第一期計畫試營運 APP 服務平台，並曾分別在 Android 及 IOS 兩系統上架，在 UMAJI 中能提供「旅運規劃」功能，政策上即是配合臺北與宜蘭間高速公路 (國道 5 號) 的假日壅塞問題所提出「國 5 預約旅行」的構想。此外，「1968 即時路況資訊」網頁及「高速公路 1968」App 進入查詢未來 3 個月內國 1、國 3 及國 5 任意起迄點交流道之預測旅行時間，結合交通行動服務 (MaaS) 的 APP 平台 (UMAJI) 旅運規劃功能，提供北宜廊道最佳上路時間及行駛路徑，以避開國 5 壅塞時段及路段，做為行程規劃之參考。由此可知，若能經由「預約旅次」的行程規劃，將可能讓國道主管單位可運用更有效的交通管理或定價策略，以紓解假期的交通壅塞。

UMAJI 第二期計畫將整合國道 5 號即時路況及跨運具的交通訊息，提供公共運輸及小汽車民眾的旅行建議，將加強交通服務整合。UMAJI 服務將包含預約旅次、行動支付訂票(臺鐵、客運等)、隨行秘書、旅途規劃等，用路人將可在出發前預約國道時間且提供旅行時間預測及最佳行駛路徑等功能，雖然目前北區 MaaS 更新計畫尚未上架，但持續推動 MaaS 已是交通部的既定政策。

### 三、研究架構及方法

#### 3.1 國道預約旅次之基本構想

本研究重點即是將國道小汽車用路人的旅運規劃服務，結合時段性道路定價，經由交通行動服務平台(MaaS)協助預做國道相關行駛起迄點及時段的規劃。故「旅次預約」將可經由國道管理者與用路人的供需雙方合意之下，以合約方式由管理者預先訂定國道各路段及各時段的通行費率(即差別費率或折扣費率)，而用路人由此預先選定行駛國 5 的起迄交流道及時段。準此，MaaS 的旅運規劃功能將可誘導或提供用路人國 5 最佳上路時間或「最佳出發時間」，或者讓使用者「輸入預期到達時間」，由 MaaS 回饋建議出發時間，民眾將更能掌握旅遊行程可靠度，並享受減價時段優惠費率。由此可知，若能經由「預約旅次」的行程規劃，將可能讓國道主管單位可運用有效的交通管理或定價策略，讓 ETC 用戶獲得更佳或更優惠的國道行旅服務，並紓解國 5 假期的交通壅塞。

##### 1. 國道「預約旅次」應具備基本機制

預約旅次，基本上可結合 MaaS 小汽車用路人「旅運規劃」功能建立相關服務架構。首先即是 eTag 的數位化，僅須將具實名制的個資及旅次部分之資料數位化，仍沿用既有的收支付系統，意即 eTag 的數位化旅運資料，讓數位資料可進一步被傳輸、運算、交換，以及紀錄，進而可結合相關智慧交通管理(尤其是道路定價管理)的運用。

##### 2. 國道 5 號起迄交流道測旅行時間預測

在方法上，透過 ETC 起迄資料庫及相關行動通訊信令資料，可獲得過去國道各起迄交流道旅次分佈資料，即可推估不同時段各起迄交流道旅次數，進而可推估高速公路各路段的服務流量及旅行時間。此外，臺北與宜蘭間高速公路「預約旅行」，可將「1968 即時路況資訊」及「高速公路 1968」任意起迄點交流道之預測旅行時間，將可做為本研究相關預測之主要參引，其可與本研究旅行時間預測相融合。因此，國道預約旅次結合 MaaS APP 將可提供北宜廊道最佳上路時間及行駛路徑的行程規劃。

##### 3. 國道「預約旅次」結合 MaaS 之運作流程

國道「預約旅次」結合 MaaS 之運作，基本上其流程涉及預約旅次數位方案的設計、方案的選取，以及方案的核可(Approval)，進而涉及預約旅次數位自動合約的簽署、憑證的發給(Issuing)，以及憑證的驗證及執行(Verification & Execution)，可分為下述六步驟說

明：(1) 國道主管者設計「預約旅次方案」：不同時段各起迄交流道旅次費率之旅次方案。(2) 國道用路人選擇「預約旅次方案」：針對個人交通需求選取適合「預約旅次方案」。(3) 國道主管者核可「預約旅次方案」：依據國道各時段/路段容納量核可或退回「預約旅次方案」。(4) 國道用路人簽署「數位旅次合約」，針對被核可「預約旅次方案」進行「數位旅次合約」確認及簽署。(5) 國道主管者發給「數位自動憑證」：針對已簽屬「數位旅次合約」發給用路人「數位自動憑證」。(6) ETC 營運者驗證「數位自動憑證」：針對國道用路人「數位自動憑證」進行驗證及執行。在國道「預約旅次」概念中所涉及「數位化自動合約」，邏輯上係來自預約旅次數位方案的產生，進而再形成預約旅次的數位自動合約及其憑證的發給及驗證，最後，數位自動合約就可在符合條件下直接執行。

綜合上述分析可知，在國道「數位化差別定價策略」機制中，主要有三個角色，即 ETC 營運者、用戶者及主管者，其在此機制中的相關功能定位，以及提供預約旅次方案的資訊內容，詳如圖 3.1。



圖 3.1 國道預約旅次結合「數位差別定價策略」之運作機制圖

### 3.2 國道預約旅次之應用架構

本研究主要運用交通行動服務結合預約旅次、差別定價之智慧化交通管理策略，提出一套能有效改善高速公路假日期間之交通壅塞，本研究之基本課題與內容可依序分五個層面說明之。

1. 交通行動服務層面：本研究將利用交通行動服務系統的概念，利用行程規劃預約旅次之運作功能應用，針對 ETC 用戶導入 MaaS 使用後，所可能產生兩項運具使用行為進行相關研究。主要研究內容將包括原 ETC 用戶繼續使用「小汽車之預約旅次」之行為分析、原 ETC 用戶轉移使用「大眾/公共運輸之預約服務」之行為分析、小汽車旅次轉移行為及傾向調查，以及小汽車與公共運具選擇/轉移行為模式之建立等。
2. 交通管理策略層面：為改善國道假日交通壅塞問題，本研究將結合「小汽車預約旅次」

平台，運用道路定價策略尋求有效管理方案，主要研究內容包括國道差別定價相關策略方案研擬分析、交通管理策略方案優化，以及時段性差別定價方案研擬等。

3. 國 5 北宜應用層面：以改善臺北宜蘭間國道 5 號假日交通壅塞，以及宜蘭當地公共運輸服務問題，做為本研究之應用對象與範圍。惟實際上相關智慧交通管理方案或措施，所涉及層面及事務相當廣深，未必能於近期內付諸實現。因此，本研究採取情境模擬分析與敘述性偏好 (Stated Performance, SP) 方法，進行相關城際運具選擇行為及交通管理策略方案之模擬分析，並評估其影響效應及結果，以為未來國道擬定相關交通管理策略之參考。
4. 運具選擇模式建立：本研究提出小汽車國道「預約旅次」模擬測試構想，基本上用路人透過 MaaS APP 平台結合「旅運規劃」。針對臺北宜蘭間國道 5 號假日國道客運結合及宜蘭當地公共運輸服務，以及預約與未預約小汽車等，為本研究運具選擇方案範圍。本研究利用敘述性偏好設計情境模擬，再透過問卷調查有宜蘭旅遊經驗民眾填答。根據問卷的資料，包含社經背景、旅次特性等變數，並建立多項羅吉特運具選擇行為模式，進而推估各相關模擬情境下測試地區之運具市場佔有率，以了解各情境方案對小汽車使用者轉移對大眾運具之可能影響效應。
5. 國 5 交通指派評估：為了解國道預約旅次與尖離峰差別定價可能帶來流量轉移的效果，針對國 5 路段假日旅次交通量，在一定尖離峰差別定價策略之設定下模擬本研究建立交通量指派評估模式之可行性及有效性。模擬情境設定假設週末上午尖峰時段往南路段，針對有預約與未預約小汽車給予不同通行費折扣或加價，並利用用路人出發時間選擇道路差別定價模型，分析實施前、後道路上各分時的交通流量狀況，以了解政策實施後的效果。

### 3.3 城際運具選擇模式之分析方法

本研究主要考慮小汽車預約旅次在設計情境下，對宜蘭城際運具選擇行為之影響。由於臺北坐臺鐵到宜蘭的票價、時間成本都較客運不划算 (本研究調查得知約僅佔 5%)，絕大多數民眾會選擇國道客運到宜蘭。故在運具選擇方案中，本研究以國道客運以及小汽車為北宜城際運具的主要運具選項。基於全程旅次概念，國道客運乘客到達宜蘭，必須有當地運具方式搭配，因其將可能影響其城際運具方案之選擇，在配合 MaaS 架構下考慮市區公車、共乘計程車兩方案來搭配國道客運。因此，本研究將建構多項式或巢式羅吉特運具選擇模式，而運具方案包括有「國道客運+市區公車方案」、「國道客運+共乘計程車方案」、「有預約旅次小汽車方案」，以及「未預約旅次小汽車方案」，其多項與巢式選擇結構示意圖，分別詳如圖 3.2 與圖 3.3。

有關城際運具選擇模式之運具選擇方案 (i) 之效用函數與變數設定，以及模式校估方法分述如下：

$$U_i = \alpha_i + \beta_{TT} \times TT_i + \beta_{TC} \times TC_i + D_s + D_p \quad (1)$$

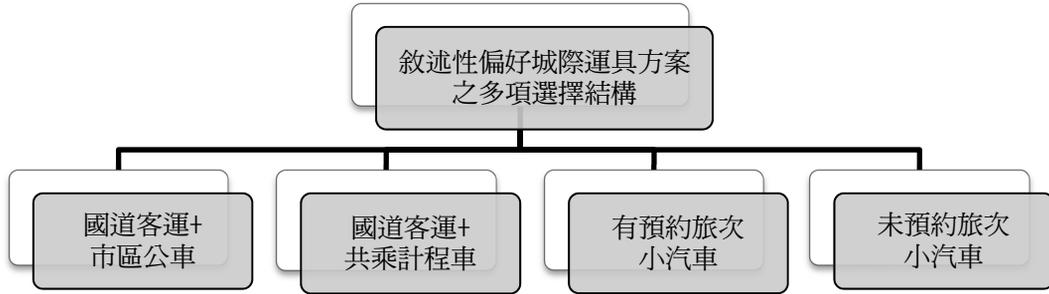


圖 3.2 敘述性偏好城際運具選擇方案之多項式結構圖

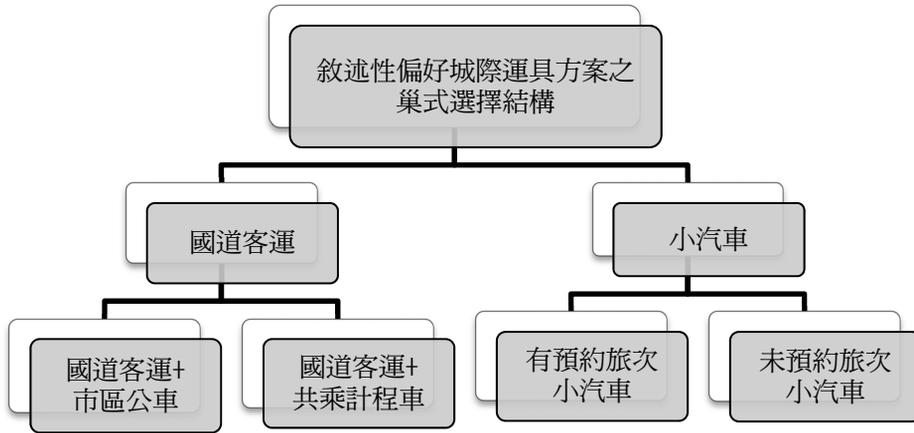


圖 3.3 敘述性偏好城際運具選擇方案之巢式結構圖

在上述效用函數中，方案  $i$  之特定常數  $\alpha_i$  (Alternative Specific Constants) 係為模式中未解釋之因素，及效用隨機誤差項，皆歸於方案特定常數中。本研究以「未預約旅次」為基準方案 (Base Alternative)，當方案特定常數為正號時代表對於「未預約旅次」方案。其次，屬性共生變數 (Generic Variables) 係假設某變數在不同替選方案間具有相同的單位評價時，該變數可設為共生變數，亦即該變數對於不同的替選方案會產生相同邊際效果。本研究的共生變數主要包含旅行時間  $TT_i$ ，對應係數為  $\beta_{TT}$ ，以及旅行成本  $TC_i$ ，對應係數  $\beta_{TC}$ 。此外，效用函數中尚可利用虛擬變數  $D_s, D_p$ ，分別代表社經特性因素 (如性別、所得等) 及旅次特性因素 (如旅次目的、旅次目的地等) 之虛擬變數，並以 1,0 方式反映各特性因素對運具方案之特定影響效果。在模式校估中，本研究係利用 TSP (Time Series Process) 軟體校估羅吉特運具選擇模式，而有關羅吉特模式通常利用概似比指標 (Likelihood-ratio) 來顯示整體模式之解釋能力，市場佔有率概似比指標可以反映解釋變數對概似函數值的解釋效果，而模式與數據彼此配合能力佳為介於 0.2~0.4。

### 3.4 國道預約旅次之交通量影響評估方法

針對國道預約旅次對應交通管理之架構的分析，建立適切的用路人出發時間選擇道路差別定價模型，以了解用路人面對預約旅次及道路差別定價下的旅運選擇行為。為維持高速公路的服務水準，利用預約旅次的方式，將高速公路的用路人分為預約旅次及未預約旅次兩種用路人，並建立多種用路人的出發時間選擇及差別定價旅運選擇模型，由於本議題欲分析預約旅次及道路差別定價對用路人在出發時間可能的影響，因此屬於依時性的用路人旅運選擇問題，以往相關依時性的用路人旅運選擇的發展，多是單一用路人的動態指派模型，Ran et al.<sup>[30]</sup>、Ran and Boyce<sup>[31]</sup>、Chen<sup>[32]</sup>、Chen et al.<sup>[28]</sup>、王中允與宋奕緯<sup>[33]</sup>、Luo et al.<sup>[34]</sup>，王中允與宋奕緯<sup>[29]</sup>均做過了相關的研究，但對於多種用路人的模型發展，則目前並沒有相關文獻可進行參考，為能有效分析本研究之命題，在此參考 Chen et al.<sup>[28]</sup>及王中允與宋奕緯<sup>[29]</sup>所採用時空路網的觀念，建立適合本研究的時空路網，將實體路網以時空路網的方式加以展開，用以表示不同時區的路網交通流量狀況，而為了表示出發時間的選擇，在實體路網所展開的時空路網起點前，再加上一個虛擬節點，表示預計出發的時間，並連接至不同時區時空路網起點，表示為實際選擇的出發時間，最後再加上一個虛擬迄點，將所有時空路網的迄點連接至此虛擬迄點，以了解用路人在選擇出發時區的到達狀況，如圖 3.4 所示：

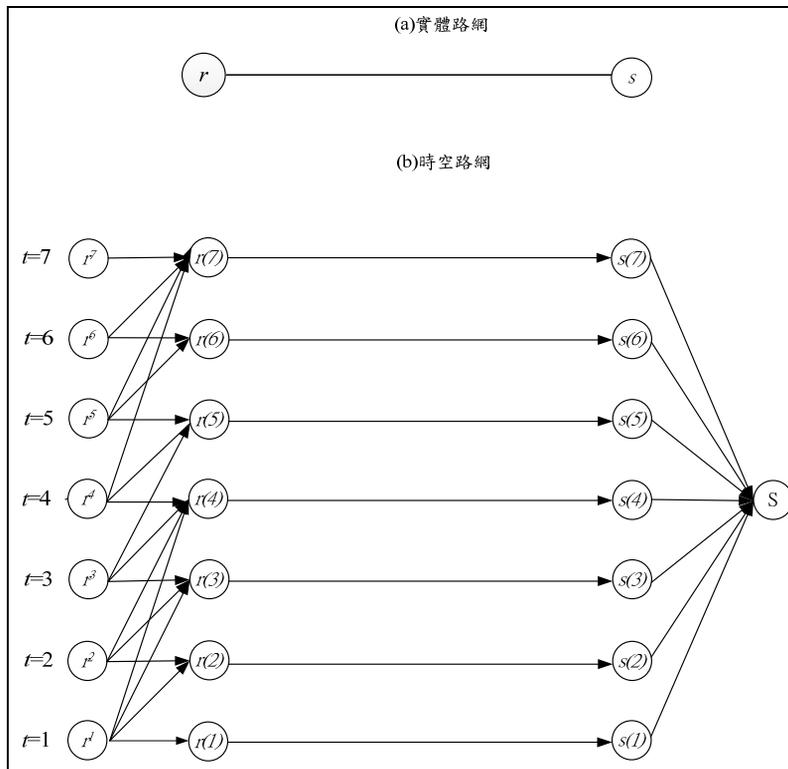


圖 3.4 時空路網示意圖

圖 3.4 中，為反映用路人出發時間/路徑選擇行為，將出發時間選擇負效用，納入時空路網中：針對每一起點  $r$ ，增加一虛擬起點，再以虛擬路段連接虛擬起點與每一起點，而此虛擬出發路段的成本，即等於出發時間負效用，而此一負效用可直接用時區的實際時間表示。利用此一時空路網，本研究即將依時性的用路人出發時間選擇問題，轉化為一在時空路網上進行旅運選擇的多種用路人的路徑選擇問題，並利用變分不等式模型建立如下：

$$\mathbf{c}(\mathbf{f}^*)^T (\mathbf{f} - \mathbf{f}^*) \geq 0, \forall \mathbf{f} \in \Omega \quad (2)$$

其中可行解區域  $\Omega$  是由下列限制式所構成：

$$\sum_{p_i \in (r,s)} h_{p_i}^{rs} = \bar{q}_i^{rs}, \forall r \in R, s \in S \quad (3)$$

$$h_{p_i}^{rs} \geq 0, \forall p_i \in (r,s), r \in R, s \in S \quad (4)$$

$$f_{a_i} \geq 0, \forall a \in A \quad (5)$$

$$f_{a_i} = \sum_{rs} \sum_{p_i} h_{p_i}^{rs} \bar{\delta}_{a_i p_i}^{rs}, \forall a \in A \quad (6)$$

$$\bar{\delta}_{a_i p_i}^{rs} = \{0,1\}, \forall r \in R, s \in S, p \in (r,s), a \in A \quad (7)$$

上述模型中，式 (2) 為多種用路人的變分不等式模型，限制條件中，式 (3) 表示任一起迄對之旅次量，等於由起點  $r$  到達迄點  $s$  第  $i$  種用路人所有路徑流量總和，式 (4)、(5) 則限制第  $i$  種用路人路徑與路段流量為非負，式 (6) 表路段上第  $i$  種用路人的流量，為當時所有通過此路段之路徑流量加總，式 (7) 表鄰接變數為 0-1 整數變數，上述模型，其對角化次問題可以最佳化模型表之如下：

$$\min z(\mathbf{f}, \mathbf{q}) = \sum_a \sum_i \int_0^{f_{a_i}} c_a(f_{a_1}, f_{a_2}, \dots, f_{a_{i-1}}, \omega, f_{a_{i+1}}, \dots, f_{a_n}) d\omega \quad (8)$$

Subject to (3)~(7)

將式 (3) 之流量守恆限制式乘上拉氏乘數  $\{\pi_i^{rs}\}$  並將之加入目標式後可建立拉式函數如下：

$$\begin{aligned} \min L(\mathbf{f}, \mathbf{q}, \boldsymbol{\pi}, \boldsymbol{\mu}) = & \sum_a \sum_i \int_0^{f_{a_i}} c_a(f_{a_1}, f_{a_2}, \dots, f_{a_{i-1}}, \omega, f_{a_{i+1}}, \dots, f_{a_n}) d\omega \\ & + \sum_{rs} \sum_i \pi_i^{rs} \left( \bar{q}_i^{rs} - \sum_{p_i} h_{p_i}^{rs} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

將上述模型分別對決策變數  $\{h_{p_i}^{rs}\}$ 、 $\{q_i^{rs}\}$  及拉氏乘數  $\{\pi_i^{rs}\}$  取一階偏微，則可獲得以下之最佳化條件：

$$h_{p_i}^{rs}(c_{p_i}^{rs} - \pi_i^{rs}) = 0, \forall r \in R, s \in S, p_i \in (r, s) \quad (10)$$

$$c_{p_i}^{rs} - \pi_i^{rs} \geq 0, \forall r \in S, s \in S, p_i \in (r, s) \quad (11)$$

$$h_{p_i}^{rs} \geq 0, \forall r \in R, s \in S, p_i \in (r, s) \quad (12)$$

式 (10) ~ (12) 的互補鬆弛關係，表示同一起迄對第  $i$  種用路人所有使用的路徑均具有相同的路徑旅行成本，此一成本包括各路段上的使用費率，故可利用上述模型分析多種用路人在路網上的旅運行為，其解答符合使用者均衡的路徑選擇結果。

而由於式 (10) ~ (12) 中第  $i$  種用路人的使用路徑是由圖 3.4 中的虛擬起點，經時空路網中的時區起點，再經時空路網中的時區迄點，到達虛擬迄點，即可分析出第  $i$  種用路人是選擇那一個出發時區，而由那一個時區到達迄點的。

## 四、城際假日旅次特性與運具選擇行為之分析

### 4.1 國 5 城際假日旅次模擬行為調查及分析

為了解小汽車民眾的宜蘭旅遊經驗，探討民眾對誘因方案的運具選擇行為，進而分析尖離峰差別通行費是否會影響小汽車民眾的選擇行為，本研究利用敘述性偏好 (SP) 設計不同誘因方案情境，在城際運具選擇方案包含國道客運方案以及小汽車方案，國道客運方案裡又包含國道客運+市區公車、國道客運+共乘計程車，而小汽車方案包含有預約旅次以及未預約旅次。在情境屬性方面，共有六項包含市區行駛時間、城際旅行時間、宜蘭旅行時間、通行費、費用、獎勵誘因。問卷受訪者須根據最近一次的宜蘭旅遊經驗作填答，針對本研究挑選宜蘭地區的三個代表性目的地進行情境模擬，並分臺北地區至宜蘭間城際運具及宜蘭當地公共運具設計相關模擬情境。

本運具選擇行為問卷設計內容主要分四部份，包括受訪者旅次特性、基本社經資料、旅程情境意願傾向，以及方案情境設計等。情境設計包括有城際旅行時間、宜蘭地區行駛/旅行時間、國道通行費、行車費用、獎勵誘因等，再組合成三種不同的情境模擬，以為運具方案選擇之依據。

1. 一般旅次特性：本研究旅次特性的問項包含出發地點、曾經去過宜蘭哪些地點、到宜蘭的旅次目的、旅行同行人數、使用什麼交通工具到宜蘭、(小汽車使用者填答) 主要行經的路線、(小汽車使用者填答) 找停車位平均幾分鐘、曾經到宜蘭使用哪種交通工具、到宜蘭的頻率。
2. 基本社經資料：包含性別、年齡、職業、學歷、個人月所得、持有汽車/機車數量、是

否擁有駕照、現在居住地。

3. 情境設計：本研究國道城際旅次的情境設計針對假日時段的小汽車民眾到宜蘭旅遊的旅次特性，假設起點為泰山區，總共有兩種運具作選擇（國道客運、汽車）可以到達宜蘭。情境設計中有三條路線（羅東路線、宜蘭路線、礁溪路線），每條路線皆包含兩種誘因方案（國道客運、汽車）以及六種屬性（市區行駛時間、城際旅行時間、宜蘭旅行時間、通行費、費用、獎勵誘因）。國道客運方案包含兩種方案，第一種方案為國道客運+市區公車、第二種方案為國道客運+共乘計程車。小汽車方案包含兩種方案，第一種方案為有預約旅次、第二種方案為未預約旅次，總共設計三種情境模擬，探討小汽車民眾對於運具選擇的行為模式。

- (1) 國道客運方案（國道客運+市區公車、國道客運+共乘計程車）：國道客運方案的路線皆以新北市泰山區作為起點，坐公車到達臺北轉運站，再坐國道客運到達每個路線的轉運站，包含羅東轉運站（羅東路線）、宜蘭轉運站（宜蘭路線）、礁溪轉運站（礁溪路線），再坐宜蘭的市區公車或共乘計程車到達每個路線之目的地，包含傳統藝術中心（羅東路線）、金車酒廠（宜蘭路線）、蘭陽博物館（礁溪路線）。在誘因情境設計上，國道客運有票價折扣（去程）及當地運具折扣或獎勵。羅東路線及礁溪路線的國道客運+市區公車方案皆有門票（傳統藝術中心、蘭陽博物館）的獎勵誘因、宜蘭路線有點數的獎勵誘因（如 Happy Go）。國道客運方案費用包含國道客運票價、市區公車票價、共乘計程車的票價、獎勵誘因，其國道客運方案原價格圖及折扣後價格。基本上，從情境一至情境三係逐漸擴大折扣或誘因。詳如表 4-1 及附表 A-1、A-2。

- (2) 小汽車方案（有預約旅次、未預約旅次）：小汽車方案皆以新北市泰山區作為起點，經由行駛國道 5 號直接到達每個路線之目的地，包含傳統藝術中心（羅東路線）、金車酒廠（宜蘭路線）、蘭陽博物館（礁溪路線）。預約旅次概念是民眾在上國道 5 號提前預約，在時間範圍內到達國道 5 號即可行駛，預約旅次係用以減少塞車，有預約旅次才有獎勵，包含通行費的優惠以及停車費折扣的獎勵，未預約旅次則無相關獎勵。小汽車的費用包含通行費、折舊費用、停車費、油費、獎勵誘因，其小汽車民眾只要有預約旅次才會有獎勵（包含通行費優惠、停車費折扣），沒有預約旅次的民眾不會有獎勵，但會有通行費加倍的懲罰。基本上，從情境一至情境三係逐漸擴大對有預約者通行費折扣或誘因，而對未預約者增加通行費成本。詳如表 4-1 及附表 A-3。

## 4.2 問卷調查與資料分析

### 1. 問卷調查方式

由於新冠疫情影響，本研究原規劃實地（宜蘭縣內從北至南，在頭城、宜蘭市及羅東等三個主要景點）之調查計畫，遂改利用網路問卷調查的方式，以獲取模式所需相關資料。主要調查係透過社群網站，包括 Line、Facebook 及 email 方式等，而受訪的社群包括有相

關專業團體 (協會、學會等)、學術團體 (各級相關學術單位等)、社會網絡 (企業社群、校友會、同學會等)。問卷調查與設計內容如前節所述, 包含旅次特性、旅程情境之意願傾向、情境設計、基本社經資料等。為達到實地調查效果, 本問卷調查遂鎖定傳統藝術中心、金車酒廠、蘭陽博物館為主要熱門景點, 針對曾經去過的遊客進行問卷調查, 網路問卷可即時收回。本研究在 2020 年 4、5 月之間, 前後經過 3-4 週調查期間, 總共發了 480 份問卷, 刪除無效樣本之後, 有效問卷共有 412 份, 有效樣本回收率為 85%。

表 4-1 相關旅行成本之誘因設計情境

情境別	相關旅行成本之誘因設計
情境一：基本情境	客運票 95 折, 市區公車、計程車、通行費皆原價
情境二：增加誘因	客運票 9 折, 市區公車搭配門票折扣或誘因點數, 共乘計程車 8 折, 預約者通行費 8 折, 並有停車優惠, 未預約者通行費 1.5 倍, 無停車優惠
情境三：擴大誘因	客運票 85 折, 市區公車搭配門票折扣或誘因點數, 共乘計程車 65 折, 預約者通行費 5 折並有停車優惠, 未預約者通行費 2 倍, 無停車優惠

[註]各情境方案搭配各路線之詳細內容, 請參見附表 A-1~A-3。

## 2. 基本社經特性

針對受訪者所填答的問項包含性別、年齡、職業、學歷、個人月所得、持有汽車/機車數量、是否擁有駕照、現在居住地。茲分述如下：(1) 性別：性別共有男性以及女性, 男性佔 53.30%、女性佔 46.70%。(2) 年齡：其中 40-50 歲的受訪者佔最多數, 佔了 25.87%, 次多的為 20-30 歲的受訪者, 佔了 24.38%, 未滿 20 歲以及 65 歲以上各佔 1%、1.49%, 30-40 歲以及 50-65 歲的受訪者皆佔了 23.63%。(3) 職業：服務業為職業裡面最多數, 佔了 23.30%, 接下來次多的依序為工商業佔 16.02%、科技業佔 14.81%、學生佔 12.38%、軍公教佔 10.44%、家管佔 6.80%、金融業佔 5.10%、退休佔 3.40%、醫療業佔 1.70%、農林漁牧業佔 0.97%、其他佔 5.10%。(4) 學歷：學歷以大專院校佔最多數, 佔了 51.70%, 其次為研究所以上, 佔了 39.56%, 接下來為高中職佔 8.25%以及國中(含)以下佔 0.49%。(5) 月所得：40,001-60,000 元佔了最多數, 佔了 22.09%, 接下來依序為 2,000 元以下佔 17.23%、2,0001-40,000 元佔 19.17%、60,001-80,000 元佔 16.75%、80,001-100,000 元佔 8.01%、10,0000 以上佔 16.75%。(6) 小汽車數量：受訪者擁有 1 台汽車佔了最多數, 佔了 59.22%, 其次為 2 台佔 24.27%, 3 台佔 5.83%、3 台以上佔 3.40%、沒有汽車佔 7.28%。(7) 機車數量：其中擁有 2 台機車的受訪者為最多數, 佔了 30.79%, 次多為 1 台佔 27.59%, 3 台佔 14.53%、3 台以上佔 10.34%、沒有機車佔 16.75%。(8) 是否有駕照：擁有汽車駕照佔 51.41%、擁有機車駕照佔 45.35%、皆沒有駕照佔 3.24%。(9) 居住地 (縣市)：以雙北地區 (臺北市、新北市)

為最多數，其中臺北市佔 28.64%、新北市佔 44.42%，其次為臺中市佔 7.52%。

### 3. 樣本結構代表性檢定

為檢定調查樣本是否具有母體代表性，本研究經由性別與年齡結構兩項社經因素，利用卡方 ( $X^2$ ) 配合度檢定檢視樣本結構與母體結構之一致性。本研究將運輸研究所於 104 年所進行大規模之城際旅運調查資料結果視為母體資料，其係國內最近一期之全國性調查資料，當可視為本研究之母體。此外，年齡分項本研究樣本分布則配合母體調整成相同分項，以便進行對比檢定。卡方適合度檢定結果顯示，無論性別結構或年齡結構，樣本與母體皆具有一致性結構，可知本研究經由網路社群所調查之樣本資料具有代表性，詳如表 4-2。一般網路問卷調查收集資料可能產生誤差來源主要是涵蓋誤差 (coverage error)，調整方式即是利用母體結構的比例對樣本結構進行加權，本研究樣本既具有與母體一致性結構即調整之需。

表 4-2 調查樣本與母體結構之卡方適合度檢定分析

社經特性		母體 (運研所)*	樣本 (本研究)	適合度檢定結果
性別	男	53.49%	53.30%	分析卡方值 0.145 漸進顯著性 0.703 接受兩者一致性
	女	46.51%	46.70%	
	合計	100.00%	100.00%	
年齡	15-24 歲	16.48%	16.19%	分析卡方值 1.447 漸進顯著性 0.836 接受兩者一致性
	25-34 歲	28.23%	24.00%	
	35-44 歲	23.16%	24.75%	
	45-54 歲	17.94%	17.82%	
	55 歲及以上	14.20%	17.24%	
	合計	100.00%	100.00%	

[註]：\*交通部運輸研究所，「第 5 期整體運輸規劃研究系列—城際旅次特性調查及初步分析」，民國 104 年 7 月。

### 4. 一般旅次特性

受訪者的旅次特性包含出發地點、曾經去過宜蘭哪些地點、到宜蘭的旅次目的、旅行同行人數、使用什麼交通工具到宜蘭、(小汽車使用者填答) 主要行經的路線、(小汽車使用者填答) 找停車位平均幾分鐘、(大眾運輸使用者填答) 到達宜蘭後使用什麼交通工具到目的地、在宜蘭坐公車或計程車的起點、在宜蘭等車的時間、可接受的等車時間、曾經到宜蘭使用哪種交通工具、到宜蘭的頻率。茲分述如下：(1) 出發地：以雙北地區佔最多數，臺北市佔 28.64%、新北市佔 44.42%，其次為臺中市佔 7.52%。(2) 最近一次到宜蘭的地點：

以五個最受歡迎的景點作比較，依序為羅東夜市佔 15.53%、礁溪溫泉公園佔 12.34%、傳統藝術中心佔 11.09%、幾米公園佔 9.64%、蘭陽博物館佔 9.35%。(3) 旅次目的：以休閒旅遊佔最多數，佔 91.50%、其次為商務洽公及其他皆佔 16%、通勤工作僅佔 0.73%。(4) 同行人數：其中 4 人(含)以上佔最多數，佔 58.01%，其次 2 人佔 23.79%、3 人佔 14.32%、1 人佔 3.88%。(5) 使用的交通工具(城際)：以小汽車佔最多數，佔 79.85%，國道客運佔 9.95%、臺鐵佔 5.58%、其他佔 2.18%、計程車(多元計程車)佔 0.49%。(6) 行經路線(小汽車)：國道 5 號佔最多數，佔了 90.63%、省道台 2 線佔 5.14%、省道台 9 線佔 4.23%。(7) 找停車位時間(小汽車)：以 5 分鐘佔多數，佔了 46.55%、10 分鐘佔 33.62%、15 分鐘佔 12.93%、20 分鐘佔 3.74%、25 分鐘以上佔 3.16%。(8) 到宜蘭的頻率：以偶爾(一年兩次)佔最多數，佔 51.46%，依序為很少(一年一次)佔 31.80%、經常(一個月一次)佔 10.92%、幾乎沒有佔 5.10%、其他佔 1.21%、很常佔 0.97%。

#### 5. 預約與未預約小汽車旅次與社經特性交叉分析

為了解預約與未預約小汽車用路人之差異，乃針對其各社經特性進行交叉分析如下：

(1) 性別方面，任何情境之下，男生未預約旅次比例較有預約旅次多一至兩成，而女生未預約旅次比例較有預約旅次多一成五至兩五成，顯示女性用路人較男性用路人明顯傾向使用預約旅次。(2) 年齡方面，40~65 歲以上的未預約旅次較有預約旅次比例約多一成，而 20~40 歲的有預約旅次較未預約旅次比例約多一成五，可知 40 歲以下較年輕用路人較年長用路人傾向使用預約旅次。(3) 所得方面，所得 4 萬元以上的未預約旅次較有預約旅次比例約多一成，而 4 萬元以下有預約旅次較未預約旅次比例則相對約多一成五，顯示，所得較低用路人較所得較高用路人傾向使用預約旅次，亦可得知通行費折扣誘因對高所得者影響性較低。(4) 同行人數方面，無論 3 人以上或 3 人以下的同行用路人，在有預約旅次比例與未預約旅次之各情境比例差異約在 5% 以內，顯示兩者之間並無顯著差異。綜合上述分析可知，女性、40 歲以下、較低所得 4 萬元以下之用路人比較傾向會採用預約旅次。換言之，結合差別定價(國道通行費折扣)之預約旅次對這些族群用路人較會產生影響效果。

### 4.3 城際運具選擇模式校估結果

本研究主要考慮小汽車預約旅次在設計情境下，對宜蘭城際運具選擇行為之影響，以國道客運以及小汽車為北宜城際運具的主要運具選項，並以當地運具方式—市區公車、共乘計程車來搭配國道客運。本研究曾以巢式羅吉特選擇模式進行校估，惟相關參數及模式有效性皆不理想，主要因其校估結果在旅行時間變數上無法獲得符號正確的參數值，且包容值係數亦不顯著，故予放棄。在多項羅吉特選擇模式校估方面，本研究曾嘗試置入  $D_s$ (性別、所得)、 $D_p$ (旅次目的、目的地)等虛擬變數之校估，校估結果該參數或不顯著，或影響關鍵變數(旅行成本/旅行時間)係數之符號正確性或顯著性，因而皆未採用。因此，本研究最後採用校估結果較理想之多項羅吉特選擇模式及其相關參數，詳如表 4-3 所示。

本研究調查有效受訪者為 412 份，惟每位受訪者依其過去旅遊經驗(有去過的目的地)，而會填答 1 至 2 條目的地路線(由電子問卷從 3 條路線隨機挑選出)，加上各路線設

計有三種不同旅行時間與旅行成本的情境，故總共達 1708 個樣本。由模式校估結果可知，在校估參數方面，方案特定常數係以「未預約旅次」為基準方案，常數為正號表示受訪者各替選方案（國道客運+市區公車、國道客運+共乘計程車、有預約旅次小汽車方案）相對於「未預約旅次小汽車」方案，不考慮其他屬性時，有較高的效用評價。由此可知，替選方案對於受訪者對運具方案之固定效用水準高低分別為：有預約旅次小汽車方案>國道客運+共乘計程車>國道客運+市區公車方案>未預約旅次小汽車方案，亦即用路人對有預約旅次小汽車方案有偏好程度最高，顯示預約旅次結合差別定價的措施，用路人有相當正面的評價。

表 4-3 敘述性偏好城際運具選擇模式之校估結果

屬性變數		參數估計值	t-value
參數	變數說明		
$\alpha_1$	國道客運+市區公車方案特定常數	1.2603	6.10**
$\alpha_2$	國道客運+共乘計程車方案特定常數	1.3160	4.55**
$\alpha_3$	有預約旅次小汽車方案特定常數	2.0954	5.92**
$\beta_{TT}$	旅行時間 (TT) 共生變數	-0.0782	-6.46**
$\beta_{TC}$	旅行成本 (TC) 共生變數	-0.0340	-12.33**
樣本數		1708	
LL ( $\beta$ )		-8490.85	
LL (m)		-13023.12	
概似比指標 $\hat{\rho}^2$		0.3480	

註：1.運具基本方案為未預約旅次（小汽車）

2.\*\*表示 P 值 < 0.01

在運具屬性變數方面，係採共生變數設定，包括旅行時間係數 ( $\beta_{TT}$ )、旅行成本係數 ( $\beta_{TC}$ )。校估結果顯示旅行時間係數、旅行成本係數皆呈負號且皆顯著，符合先驗知識。在模式整體有效性方面，市場佔有率概似比指標  $\hat{\rho}^2$  為 0.3480，可知本研究建立模式之整體效度甚佳。在模式校估誤差方面，原調查情境總和平均選擇機率依序為國道客運+市區公車為 16.34%、國道客運+共乘計程車為 20.00%、有預約旅次為 58.48%、未預約旅次為 5.18%，而模式平均的誤差依序是 9.78%、18.62%、7.31%、20.26%，由此可知，本模式之估計誤差結果皆能在 20%以內，且模式整體平均誤差 (依市佔率加權平均) 僅 10.65%，顯示國 5 城際運具選擇模式具良好有效性。

此外，運具選擇模式可透過其時間價值 (Value of Time, VOT) 可做為檢視其是否符合真實世界的經濟情況之參考。基本上，用路人時間價值可從運具選擇模式中的旅行時間與

旅行成本兩項屬性係數 (即反映其邊際效用評價) 之比值獲得,其計算公式如式 (13) 所示。

$$VOT = \frac{\partial TC}{\partial TT} = \frac{\partial U / \partial TT}{\partial U / \partial TC} = \frac{\beta_{TT}}{\beta_{TC}} \quad (13)$$

準此,本研究運具選擇模式所計算得到的旅行時間價值為 138 元/每小時,與國內平均工資率 248 元/小時 (依據主計處統計資料:2019 年每月的平均經常性薪資為 41,883 元,全年平均工作時數 2028 小時) 相比較可知,旅行時間價值約為工資率的 56%。由 Lisco, Thomas E [35] 研究得知,典型郊區通勤者願意以接近其工資率 50% 的價格權換其旅行時間,可知本研究旅行時間價值與工資率之關係應屬合理範圍。

#### 4.4 城際運具選擇行為之敏感度分析

##### 1. 選擇機率彈性分析

- (1) 平均旅行時間彈性：國道客運+市區公車平均時間彈性大於國道客運+共乘計程車，表示國道客運+市區公車旅客的的時間上較有彈性。未預約旅次的平均時間彈性比有預約旅次的還要大，表示未預約旅次用路人時間上彈性較大。而國道客運時間彈性較小汽車時間彈性為大，亦表示客運旅客在時間上較有彈性。值得注意的是，有預約旅次小汽車之時間彈性明顯較其他運具最小，顯示其對時間之重視度較高。由此可知，各時間彈性估計值皆屬合理，如表 4-4 所示。

表 4-4 國道城際運具選擇模式之平均旅行時間彈性分析

運具別 情境別	國道客運 +市區公車	國道客運 +共乘計程車	有預約旅次 小汽車	未預約旅次 小汽車
情境一：基本情境	-9.0160	-7.9287	-4.2399	-9.5237
情境二：增加誘因	-8.9671	-7.2877	-4.8012	-9.8708
情境三：擴大誘因	-8.9451	-6.8459	-4.9235	-10.4213
平均彈性	-8.9760	-7.3541	-4.6212	-9.8123

註：運具 i 時間彈性 = (1-運具 i 選擇機率) × 旅行時間係數 × 旅行時間 TT<sub>運具i</sub>

- (2) 平均成本彈性：國道客運+共乘計程車的成本彈性大於國道客運+市區公車，可知共乘計程車旅客在成本上較有彈性，有預約旅次用路人成本彈性小於未預約旅次用路人，顯示有預約旅次者 (本調查得知其多屬較低所得者) 在價格變動的承受性較低。換言之，表示透過通行費折扣的誘因可對女性、較年輕、較低所得用路人產生預約旅次吸引效果，即可達到本研究針對有預約旅次設計較低差別定價的期待效果，如表 4-5 所示。

表 4-5 國道城際運具選擇模式之總體旅行成本彈性分析

情境別 \ 運具別	國道客運 +市區公車	國道客運 +共乘計程車	有預約旅次 小汽車	未預約旅次 小汽車
情境一：基本情境	-4.0710	-5.2135	-2.3268	-4.9558
情境二：增加誘因	-3.7598	-4.2935	-2.4085	-5.4672
情境三：擴大誘因	-3.4781	-3.6773	-2.4439	-5.8753
平均彈性	-3.7696	-4.3948	-2.3931	-5.4328

註：運具 i 成本彈性 = (1-運具 i 的選擇機率) × 旅行成本係數 × 旅行成本 TC<sub>運具</sub>;

## 2. 敏感度分析

本小節要了解當旅行時間或旅行成本變動時，對於城際運具選擇方案選擇機率變動之狀況，本研究設定旅行時間與旅行成本皆調在 ±10~±30% 幅度範圍觀察其選擇機率變動之幅度，分別如圖 4.1、4.2 所示。

### (1) 旅行時間變動對有/未預約旅次選擇機率變動之影響

當旅行時間減少 10% 時，各運具選擇方案中未預約旅次的機率變動比 +9.30% 為最高，有預約旅次的機率變動比為 +5.09% 為最低；而當旅行時間降低 30% 時，未預約旅次方案變動比達 +35.88%，有預約旅次方案變動比為 +19.61% 最低。反之，當旅行時間增加 10% 時，各選擇方案中未預約旅次的機率變動比 -7.61% 為最高，有預約旅次的機率變動比為 -4.16% 為最低；而當旅行時間增加 30% 時，未預約旅次方案變動比達 -19.32%，有預約旅次方案變動比為 -10.57% 最低。因此，當旅行時間大幅減少時，選擇未預約旅次機率會大幅增加。反之，當旅行時間大幅增加時，選擇未預約旅次機率雖會大幅減少，但變動幅度卻遠小於與其相同時間減幅之變動幅度，約僅為其一半之幅度 (即  $19.32\%/35.88\%=0.54$ )。由此得知，在尖峰時段 (相當於旅行時間大幅增加) 對未預約用路人所減少交通量之影響效果，將相較於離峰時段 (可視同旅行時間大幅減少) 對未預約用路人所增加交通量之影響效果，來得比較小。換言之，從旅行時間來看，對未預約用路人而言，離峰時段對其影響效果 (吸引力) 甚為顯著。因此，對應在交通管理的策略上，應針對男性較多、所得較高、年紀較長的未預約用路人，採取離峰時段的誘因措施 (例如鼓勵其離峰時段上路及非例假日從事旅遊的相關誘因)。

### (2) 旅行成本變動對國道城際運具選擇機率變動之影響

在各運具選擇方案中，當旅行成本調降 10% 時，未預約旅次的機率變動率 +10.35% 為最大，有預約旅次的機率變動率 +5.12% 為最小；而當旅行成本調降到 30% 時，未預約旅次方案變動比達 +39.91%，有預約旅次方案變動比為 +19.73% 最低。反之，當旅行成本增加 10% 時，各選擇方案中未預約旅次的機率變動比 -8.47% 為最高，有預

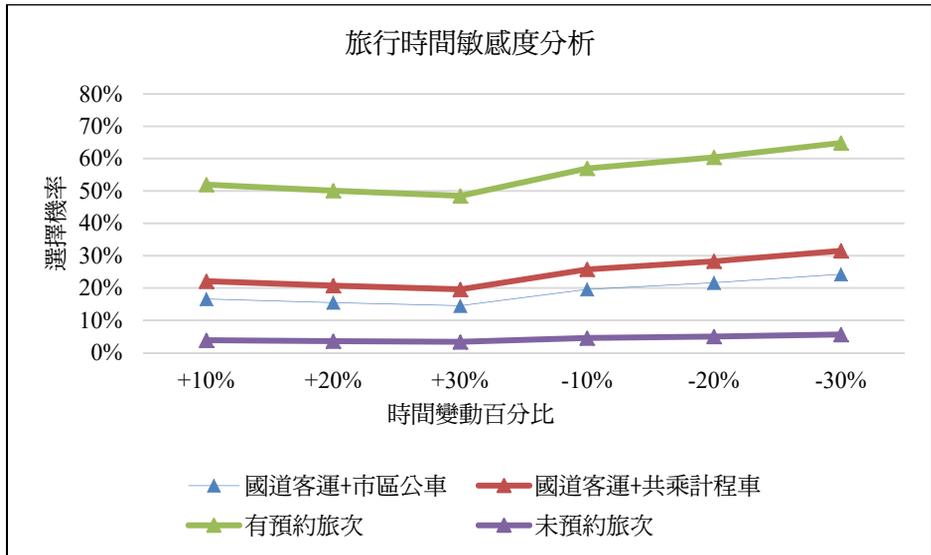


圖 4.1 旅行時間變動對國道城際運具選擇之敏感度分析

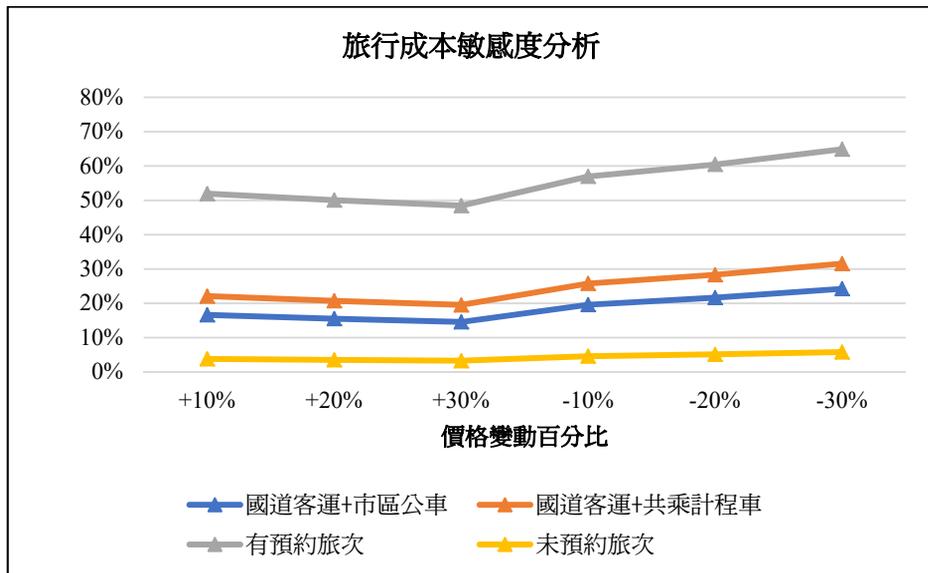


圖 4.2 旅行成本變動對國道城際運具選擇之敏感度分析

約旅次的機率變動比為-4.19%為最低；而當旅行時間增加 30%時，未預約旅次方案變動比達-21.48%，有預約旅次方案變動比為-10.63%最低。因此，當旅行成本大幅減少時，選擇未預約旅次機率會大幅增加。反之，當旅行成本大幅增加時，選擇未預約旅次機率雖會大幅減少，但變動幅度卻遠小於與其相同成本減幅之變動幅度，

約僅為其一半之幅度 (即  $21.48\% / 39.91\% = 0.53$ )。由此可推知，在國道通行費大幅增加時對未預約用路人所減少交通量之影響效果，將相較於國道通行費大幅減少時對未預約用路人所增加交通量之影響效果，來得比較小。換言之，國道通行費來看，對未預約用路人而言，通行費降價對其影響效果 (吸引力) 甚為顯著。同理，在交通管理的策略上，若能對男性較多、所得較高、年紀較長的未預約用路人，採取離峰時段通行費降價或非例假日旅遊成本降減 (如門票或當地消費折扣等) 的誘因措施，應可誘導未預約旅次者避開尖峰時段或例假日，而選擇離峰時段上路或平日出遊。

另一方面，從預約旅次者對旅行成本敏感度可知，通行費減少對其影響效果 (吸引力)，相較於通行費增加對其影響效果 (抵抗力) 來得大，高達近兩倍之多 (即  $19.73\% / 10.62\% = 1.86$ )。在交通管理的策略上，若能對女性較多、所得較低、年紀較輕的有預約用路人，採取尖峰時段因採用預約行程，而獲得通行費降價的誘因措施，即可達到誘導用路人例假日尖峰時段出遊之前，先預約才上路的政策目標。

## 五、國道預約旅次結合差別定價之交通指派模擬

本研究為了解國道預約旅次與尖離峰差別定價可能帶來流量轉移的效果，針對國 5 路段之假日旅次交通量，在一定尖離峰差別定價策略之設定下模擬本研究建立交通量指派評估模式之可行性及有效性。本模擬情境主要針對敘述性偏好城際運具選擇模式所設定情境三，即有預約旅次與未預約旅次之通行費分別採取半價及加倍方案進行分析，因此情境能將兩者之相對價差擴大至四倍，所可能影響效果將較明顯。

### 1. 模擬情境設定

假設週末上午尖峰時段 (10am-14pm) 往南路段，對有預約旅次的小汽車給予通行費 50% 折扣，未預約小汽車則漲價 2 倍，在此利用前述建立之用路人出發時間選擇道路差別定價模型，分析實施前、後道路上各分時的交通流量狀況，以了解政策實施後的效果。為分析前述的命題，首先建立路網如圖 5.1 所示，而將圖 5.1 之實體路網，轉化為時空路網，並在實體的時空路段起點前加上一虛擬起點，並連接到出發時區之後的時空路段起點，時空路段迄點後，再加上一個虛擬迄點，如圖 5.2 所示。

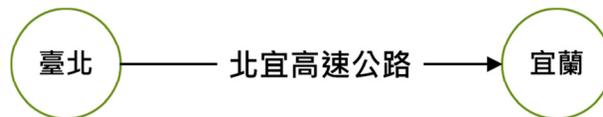


圖 5.1 測試路網圖

圖 5.2 中，將原實體的測試路網，增加一虛擬起點，擴充為 9 個時區的時空路網，最後並設定一虛擬迄點，將所有時區的流量，連結到此一迄點中，路網每一時區設定為 1 小

時，即 60 分鐘，圖中節點 1~節點 9 表示 10 時~18 時預計出發時間，節點 10~節點 18 點表

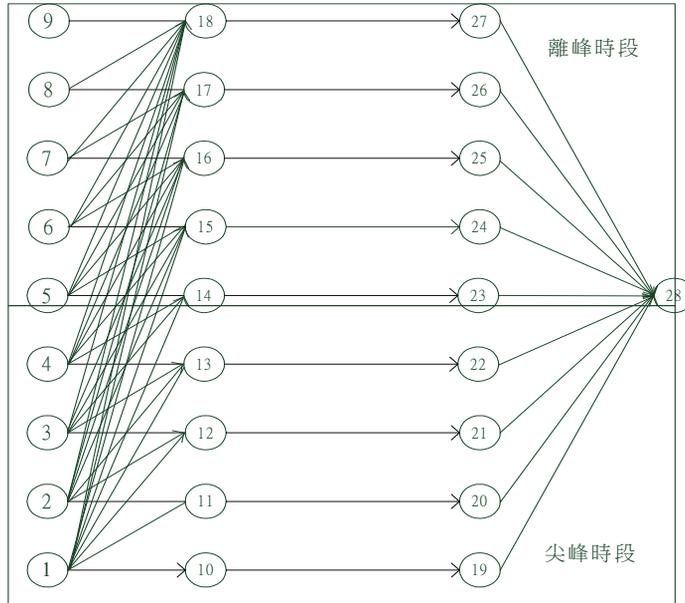


圖 5.2 測試路網之時空路網圖

示實際出發時間 10 時~18 時，節點 19~節點 27 表實際選擇 10 時~18 時出發的到達時空迄點，節點 28 為虛擬迄點。每一時區實體路段上之自由流旅行時間亦設定為 60 分鐘，目前北宜高速公路為雙車道，在此設定每車道容量為 2000PCU/小時，因此在實體路段上每一時區之容量為 4000PCU/小時，各時區路段之收費費率，在此設定於與虛擬迄點連結的節線上，因此整理此一時空路網之基本資料，如表 5-1 所示。

表 5-1 測試路網之時空路網基本資料表

路段編號	路段	路段自由車流旅行時間	路段容量	路段編號	路段	路段自由車流旅行時間	路段容量
1	1-10	0	--	33	5-16	120	--
2	1-11	60	--	34	5-17	180	--
3	1-12	120	--	35	5-18	240	--
4	1-13	180	--	36	6-15	0	--
5	1-14	240	--	37	6-16	60	--
6	1-15	300	--	38	6-17	120	--

路段編號	路段	路段自由車流 旅行時間	路段容量	路段編號	路段	路段自由車流 旅行時間	路段容量
7	1-16	360	--	39	6-18	180	--
8	1-17	420	--	40	7-16	0	--
9	1-18	480	--	41	7-17	60	--
10	2-11	0	--	42	7-18	120	--
11	2-12	60	--	43	8-17	0	--
12	2-13	120	--	44	8-18	60	--
13	2-14	180	--	45	9-18	0	--
14	2-15	240	--	46	10-19	60	4000
15	2-16	300	--	47	11-20	60	4000
16	2-17	360	--	48	12-21	60	4000
17	2-18	420	--	49	13-22	60	4000
18	3-12	0	--	50	14-23	60	4000
19	3-13	60	--	51	15-24	60	4000
20	3-14	120	--	52	16-25	60	4000
21	3-15	180	--	53	17-26	60	4000
22	3-16	240	--	54	18-27	60	4000
23	3-17	300	--	55	19-28	0	--
24	3-18	360	--	56	20-28	0	--
25	4-13	0	--	57	21-28	0	--
26	4-14	60	--	58	22-28	0	--
27	4-15	120	--	59	23-28	0	--
28	4-16	180	--	60	24-28	0	--
29	4-17	240	--	61	25-28	0	--
30	4-18	300	--	62	26-28	0	--
31	5-14	0	--	63	27-28	0	--
32	5-15	60	--				

## 2. 路網績效評估公式

假設路網上有兩種用路人，一種為有預約旅次行為的用路人，另一種為沒有預約旅次行為的用路人，兩種用路人在路段上的旅行時間函數均為式 (14) 所示。

$$c_a(f_{a_i}) = c_{a_0} \left( 1 + 0.15 \left( \frac{\sum_i f_{a_i}}{Capa_a} \right)^4 \right) + fee_{a_i}, \forall a, i \quad (14)$$

式 (14) 中， $c_a(f_{a_i})$  為路段 a 的路段旅行時間函數，為一流量相依的函數，其中  $f_{a_i}$  為路段 a 第 i 種用路人的車流量，各路段不同用路人的旅行時間均由各路段的主要影響及交叉影響所構成，設定各時區的運輸需求如表 5-2 所示。

表 5-2 起迄對與運輸需求之預設表

起迄對	用路人	1→28	2→28	3→28	4→28
		(預定10時出發)	(預定11時出發)	(預定12時出發)	(預定13時出發)
運輸需求	預約旅次	10000	10000	10000	10000
	非預約旅次	10000	10000	10000	10000

3. 有預約與未預約旅次交通量指派之模擬結果

依據上述不同用路人之運輸需求狀況，進行兩種情境分析，情境一為所有用路人的道路收費一致，在此設定為 60 元。情境二設定有預約旅次的用路人在尖峰時段費率為 30 元，離峰時段為 60 元，未預約旅次的用路人尖峰時段費率為 120 元，離峰時段為 60 元，在此假設實際的旅行時間每分鐘為 1 元等值轉換。利用對角化梯度投影法針對上述兩種情境進行求解，並轉換為本命題的原命題，如表 5-3 及表 5-4 所示。

表 5-3 未預約旅次及尖離峰差別定價之旅運選擇結果

用路人特性	預定出發時間(時)	實際出發時間(時)	出發延遲(分鐘)	實際旅行時間(分鐘)	收費(元)	總成本(分鐘)	旅次數
有預約旅次	10	10	0	566.3	60	626.3	9479.33
		13	180	386.3			0.002
		14	240	326.3			520.453
		15	300	266.3			0.005
		17	420	146.3			0.08
		18	480	86.3			0.13
未預約旅次	10	10	0	566.3	60	626.3	1475.22
		14	240	326.3			920.55
		15	300	266.3			2305.26
		16	360	206.3			2102.26
		17	420	146.3			1834.34
		18	480	86.3			1362.36
有預約旅次	11	11	0	506.3	60	566.3	8933.28
		13	120	386.3			0.002

國道預約旅次結合差別定價之交通管理策略分析—以北宜城際假日旅次為例

用路人特性	預定出發時間(時)	實際出發時間(時)	出發延遲(分鐘)	實際旅行時間(分鐘)	收費(元)	總成本(分鐘)	旅次數		
		14	180	326.3			1066.52		
		15	240	266.3			0.005		
		17	360	146.3			0.073		
		18	420	86.3			0.12		
		未預約旅次		11			0	506.3	1681.19
				14			180	326.3	881.46
				15			240	266.3	2243.58
				16			300	206.3	2054.22
				17			360	146.3	1798.87
				18			420	86.3	1340.68
有預約旅次	12	12	0	446.3	60	506.3	8263.71		
		13	60	386.3			0.001		
		14	120	326.3			1736.12		
		15	180	266.3			0.005		
		16	240	206.3			0.01		
		17	300	146.3			0.05		
		18	360	86.3			0.104		
		未預約旅次		12			0	446.3	1974.42
				14			120	326.3	828.84
				15			180	266.3	2161.56
16	240			206.3	1987.97				
17	300			146.3	1746.07				
18	360			86.3	1301.14				
有預約旅次	13	13	0	386.3	60	446.3	7376.12		
		14	60	326.3			2623.82		
		17	240	146.3			0.04		
		18	300	86.3			0.02		
未預約旅次		13	0	386.3	2438.89				
		14	60	326.3	751.03				
		15	120	266.3	2041.50				
		16	180	206.3	1886.75				
		17	240	146.3	1658.55				
		18	300	86.3	1223.28				

表 5-4 採用預約旅次及尖離峰差別定價之旅運選擇結果

用路人特性	預定出發時間 (時)	實際出發時間 (時)	出發延遲 (分鐘)	實際旅行時間 (分鐘)	收費 (元)	總成本 (分鐘)	旅次數
預約旅次	10	10	0	513.3	30	543.3	10000
非預約旅次		10	0	513.3	120	633.3	656.07
		14	240	333.3	60		2125.98
		15	300	273.3			2172.08
		16	360	213.3			1954.55
		17	420	153.3			1705.78
		18	480	93.3			1385.53
預約旅次	11	11	0	453.3	30	483.3	10000
非預約旅次		11	0	453.3	120	573.3	284.55
		14	180	333.3	60		2175.85
		15	240	273.3			2195.89
		16	300	213.3			1995.51
		17	360	153.3			1784.08
		18	420	93.3			1564.11
預約旅次	12	12	0	411.6	30	441.6	10000
未預約旅次		12	0	411.6	120	513.3	0
		14	120	333.3	60		2291.88
		15	180	273.3			2363.40
		16	240	213.3			2199.34
		17	300	153.3			1930.37
		18	360	93.3			1215.01
有預約旅次	13	13	0	411.6	30	441.6	10000
未預約旅次		13	0	411.6	120	453.3	0
		14	60	333.3	60		2795.48
		15	120	273.3			2093.49
		16	180	213.3			1975.68
		17	240	153.3			1755.66
		18	300	93.3			1379.69

#### 4. 預約旅次結合尖離峰差別策略實施績效之模擬結果

根據表 5-3 及表 5-4 的結果，首先可以發現，同一時間預定出發時區的用路人，其總旅行成本都一樣，且均為最短的總旅行成本路徑，符合多種用路人使用者均衡的最佳化條件，即式 (9)~(11) 所示，其中總旅行成本由出發延遲、實際旅行時間及收費所組成。分析表 5-4 則可發現無預約旅次及尖離峰差別定價之旅運選擇結果，有預約旅次的用路人，以及非預約旅次的用路人，同一出發時間，其總旅行成本亦相同，當採用上午尖峰時段 (10am-14pm) 往南路段，對有預約旅次的小汽車給予通行費 50%折扣，未預約小汽車則漲價 2 倍，即設定預約旅次的用路人在尖峰時段費率為 30 元，離峰時段為 60 元，非預約旅次的用路人尖峰時段費率為 120 元，離峰時段為 60 元，且假設實際的旅行時間每分鐘為 1 元等值轉換，則可發現，預約旅次的用路人總旅行成本均低於非預約旅次的用路人，而比較表 5-3 及表 5-4 不同用路人的總旅行成本可以歸納出圖 5.3 所示。

由圖 5.3 可以發現，與沒有採用預約旅次差別定價策略下，不同用路人總旅行時間進行比較可以發現，差別定價下之預約旅次，其總旅行成本均低於均一費率，而沒有預約旅次的用路人，雖然旅行成本略高於沒有採用預約旅次差別定價策略下的總旅行成本，但並沒高出多少。

此外，比較不同收費策略下，各時區高速公路的實際旅行時間也可發現，採用預約旅次及尖峰小時差別定價策略下的高速公路實際旅行時間，在尖峰小時的前三小時，旅行時間均明顯低於沒有採用預約旅次差別定價策略下的高速公路實際旅行時間，而在離峰時段，旅行時間才略高於沒有採用預約旅次差別定價策略下的高速公路實際旅行時間。由此可以初步獲得採用預約旅次差別定價策略下，的確會有較佳的高速公路運作績效。

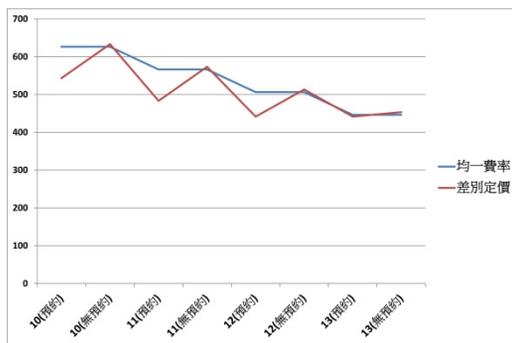


圖 5.3 不同用路人旅行總成本比較圖

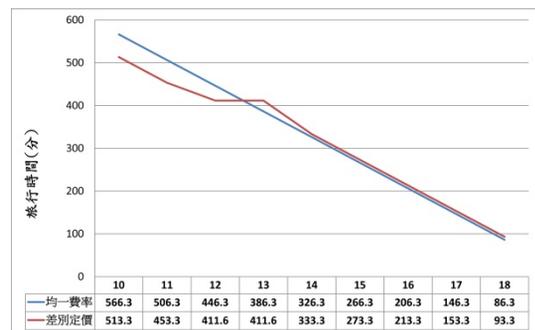


圖 5.4 不同費率策略下不同時段高速公路旅行時間比較圖

## 六、結論與建議

### 6.1 研究發現與結論

本研究主要提出國道預約旅次結合差別定價，並採用交通行動服務 (MaaS) 平台之概念，以改善國道假日常態性交通壅塞的交通管理策略。為評估預約旅次結合差別定價及獎勵誘因對用路人運具行為之影響性，本研究利用敘述性偏好設計相關情境模擬，透過問卷調查與模式建立以分析預約旅次策略對國 5 例假日至宜蘭地區用路人運具選擇行為之可能影響效果，並經由國 5 宜蘭城際網路建立及交通量指派，評估預約旅次結合差別定價之交通管理策略對國道車流之影響效應。本研究主要研究發現與結論分述如下：

1. 國道「旅運規劃」的基本目的係希望旅行者/用路人可以經由交通部或高公局所提供相關交通資訊於出發前預做規劃，並經由交通行動服務平台 (MaaS) 協助相關運具使用安排或規劃出發時間及路線，進而避開交通壅塞時段。在操作概念上，「旅次預約」可經由國道管理者與用路人的供需雙方合意之下，以準合約方式由管理者預先訂定國道各路段及各時段的通行費率 (即差別費率或折扣費率)，而用路人由此預先選定行駛國 5 的起迄交流道及時段。在運作流程上，將涉及預約旅次的數位方案設計、方案選取及方案核可，並可經由自動合約簽署、憑證發給，以及憑證的驗證及執行等六步驟來完成。
2. 從本研究調查發現，有預約與未預約小汽車用路人有以下之差異性 (1) 性別方面，顯示女性用路人較男性用路人明顯傾向使用預約旅次。(2) 年齡方面，40 歲以下較年輕用路人較年長用路人傾向使用預約旅次。(3) 所得方面，4 萬元以下所得較低用路人較所得較高用路人傾向使用預約旅次，亦即通行費折扣誘因對高所得者影響性較低。綜合而言，女性、40 歲以下、較低所得 4 萬元以下之用路人比較傾向會採用預約旅次，故結合差別定價 (國道通行費折扣) 之預約旅次對這些特性族群的用路人較具影響力。
3. 在臺北至宜蘭城際運具選擇的敘述性偏好調查中，本研究設計四項運具方案 (包括國道客運+市區公車、國道客運+共乘計程車、有預約與未預約小汽車旅次)，以及三條路線行程 (包含羅東路線、宜蘭路線、礁溪路線)，而各路線並針對不同運具方案之相關票價或費用設計三種情境 (包括基本情境、增加誘因情境及擴大誘因)。因此，經由多項羅吉特模式校估結果，顯示旅行時間係數 ( $\beta_{TT}$ )、旅行成本係數 ( $\beta_{TC}$ ) 皆呈負號且相當顯著，市場佔有率概似比指標 ( $\rho^2$  為 0.3480) 亦顯示整體效度甚佳，而整體模式平均校估誤差 (依市佔率加權平均) 僅 10.65%，顯示亦具良好估計效果。此外，由城際運具運具選擇模式的旅行時間與旅行成本兩項屬性係數 (反映其邊際效用評價) 之比值所獲得的旅行時間價值為 138 元/每小時，其約為國內平均工資率的 56%。可知本研究所估計旅行時間價值係在合理範圍。
4. 由城際運具運具選擇模式所估計相關屬性彈性，在旅行時間彈性方面，各運具選擇方案的彈性，以未預約旅次小汽車方案最大，有預約旅次小汽車方案最小，表示預約者有重

視時間，對旅次預約使用意願將較高。在旅行成本彈性方面，國道客運+共乘計程車方案的彈性大於國道客運+市區公車方案，顯示共乘計程車旅客在成本上較有彈性。各方案中亦以未預約旅次小汽車方案最大，有預約旅次小汽車最小，顯示有預約旅次用路人(屬較低所得者)對價格變動承受性較低(符合先驗知識)，表示透過通行費折扣的誘因對具女性、較年輕、較低所得等特性的用路人可產生預約旅次吸引效果，進而達到預約旅次所設計的預待效果。

5. 在旅行時間變動敏感度分析發現，當旅行時間大幅增加時，選擇未預約旅次機率會大幅減少；反之，當旅行時間大幅減少時，選擇未預約旅次機率雖會大幅增加，但變動幅度卻遠大於與其相同時間增幅之變動幅度，約達近兩倍之幅度，此意謂對未預約用路人而言，離峰時段(相當於旅行時間大幅減少)對其影響效果(吸引力)甚為顯著。故在交通管理的策略上，應針對傾向未預約的用路人，採取離峰時段的誘因措施，以促使其避開尖峰時段或例假日之壅塞。
6. 在旅行成本變動敏感度分析發現，當旅行成本大幅減少時，選擇未預約旅次機率會大幅增加；反之，當旅行成本大幅增加時，選擇未預約旅次機率雖會大幅減少，但變動幅度卻遠小於與其相同成本減幅之變動幅度，約僅為其一半之幅度，亦即對未預約用路人而言，通行費降價對其影響效果(吸引力)將較漲價來得顯著。另一方面，從預約旅次者對旅行成本敏感度可知，通行費減少對其影響效果(吸引力)，相較於通行費增加對其影響效果(抵抗力)來得大，高達近兩倍之多。
7. 在國5假日旅次交通量指派分析發現，模擬情境設定依據不同用路人運輸需求狀況，進行兩種情境分析，情境一為所有用路人的道路收費一致，情境二設定預約旅次的用路人在尖峰時段費率為半價，離峰時段為原價，非預約旅次的用路人尖峰時段費率兩倍，離峰時段為原價。交通指派之情境模擬結果發現，有預約與未預約旅次用路人，在同一出發時間其總旅行成本亦相同。當採用上午尖峰時段(10am-14pm)往南路段，在情境二的差別通行費率策略之下，有預約旅次用路人總旅行成本均低於未預約旅次用路人。此外，由不同用路人總旅行時間進行比較發現，其總旅行成本均低於均一費率的情境，而未預約旅次用路人旅行成本則略高於其於差別定價策略之總旅行成本，惟高出不多，顯示國道預約旅次差別通行費率的交通管理策略，的確可降減整體旅行成本，提升國道交通運作績效。
8. 在國道差別定價策略方面，各時區高速公路實際旅行時間可發現，採用預約旅次及尖峰小時差別定價策略下的高速公路實際旅行時間，在尖峰小時的前三小時，旅行時間均明顯低於沒有採用預約旅次差別定價策略下的高速公路實際旅行時間，而在離峰時段，旅行時間才略高於未預約旅次差別定價策略下的高速公路實際旅行時間。可知採用預約旅次差別定價策略的確會有較佳的高速公路運作績效，並改善其壅塞情形。
9. 整體而言，預約旅次差別定價的交通管理策略，從國道通行費觀點，若能對傾向未預約用路人採取離峰時段通行費降價或非例假日旅遊成本降減(如門票或當地消費折扣等)的誘因措施，可誘導傾向未預約用路人選擇離峰時段上路或平常日出遊。反之，對於傾

向預約用路人，則採取尖峰時段因預約行程而可獲得通行費降價的誘因措施，即可達到誘導用路人例假日尖峰時段出遊之前，先預約才上路的政策目標。

## 6.2 建議

1. 預約旅次差別定價的交管策略可能面臨課題，首先是透過交通行動服務提供尖離峰時段與差別定價的方案時，應在確認服務方案應充分評估其有效性及影響性。差別定價方案若未能讓用路人感受其尖峰與離峰通行費之差異性，將不易產生尖峰疏流至離峰的效果。另一方面，亦應注意所實施時所面對不同例假日或連續假期的旅次特性，以及同一時段之尖離峰差價相對性。
2. 國道差別定價策略方案平台所產生/提供之相關方案，尤其建議出發時間及路段，對於國道交通量之影響效果，必須透過對用路人選擇行為之互動調查，以及路網交通量評估，方可獲得對用路人之有效方案，而使差價方案發揮預期成效。此外，差別定價推動時，必須有相關動態標誌、號誌等交控設施之配合，甚至必須有關管制執法人員之及時管控充分配合。
3. 用路人對尖離峰、車道之差別定價方案之接受程度，除取決實施時機是否適切、差價方案是否適切之外，用路人及社會輿論是否對以價制量獲得道路使用效率提升的充分認知及接受，將是主要關鍵。此外，差別定價方案設計必須配合小汽車「預約旅次」誘因，包括通行費降價、消費優惠、獎勵累積點數等，對用路人方可產生一定導引或吸引作用，此係在預約旅次交通管理策略規劃時，所應同時兼顧。
4. 本文的最大挑戰是問卷的回答對象，是否能代表用路人的抽樣母體，從性別，職業，以及所得都沒問題，唯在學歷上大專院校、研究所以上比例尚較多，基本上，使用 APP 平台者多為較年輕或中年族群，學歷具大專以上者自然較多，而此一類較屬智慧型 APP 的未來真正使用對象尚不得而知，或許高級知識分子會較多亦不可知。因此，是否與母體相符則尚待驗證。
5. 本文 3.3 節運具選擇行為分析，與 3.4 節的多種用路人的路徑選擇行為分析，係在同一個問題框架下，進行兩個獨立的議題進行分析，但在實際問題的模型操作，仍需有一個回饋的程序，將用路人的旅行時間與旅行成本，依 3.4 節指派結果所反映出來的成本，回饋到 3.3 節的運具選擇模型中計算更新的運具選擇結果。

## 參考文獻

1. 交通部運輸研究所，**公共運輸行動服務 (MaaS, Mobility as a Service) 發展應用分析與策略規劃**，民國 105 年。
2. Akahane, H. and Kuwahara, M., "A Basic Study on Trip Reservation Systems for Recreational Trips on Motorways", In Proceedings of the Third World Congress on Intelligent Transportation Systems, 1996.

3. Wong, J. T. “Basic Concepts for a System for Advance Booking for Highway Use”, *Transport Policy*, Vol. 4, No.2, 1997, pp.109-114.
4. Ferrari, P., “Willingness to Spend and Road Pricing Rates”, *Transport Policy*, Vol. 17, No.3, 2010, pp.160-172.
5. Zhao, Y., Triantis, K., Teodorović, D. & Edara, P. “A Travel Demand Management Strategy: The Downtown Space Reservation System”, *European Journal of Operational*, Vol.205, No.3, 2010, pp. 584-594.
6. Chung, Y., Song, T., Kim, Y. & Kang, S. C., “Acceptability of a Freeway Travel Reservation Strategy”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.31, Iss.1D, 2011, pp.25-32.
7. Chung, Y., Song, T. and Park, J., “Freeway Booking Policy: Public Discourse and Acceptability Analysis”, *Transport Policy*, Vol. 24, 2012, pp.223-231.
8. 嚴國基, 「道路旅次預約政策基礎分析模型之研究」, *運輸計劃季刊*, 第 48 卷, 第 1 期, 民國 108 年, 頁 29-62。
9. Morrison, S. A., “A Survey of Road Pricing”, *Transportation Research Part A: General*, Vol.20, No.2, 1986, pp.87-97.
10. Timothy D. Hau, “Congestion Charging Mechanisms for Roads: An Evaluation of Current Practice”, Policy Research Working Paper Series 1071, The World Bank, Washington, D.C., 1992.
11. Lewis, Nigel C., *Road Pricing: Theory and Practice*, Thomas Telford, London, 1993.
12. Johansson, B. And L. G. Mattsson Ed., “Road Pricing: Theory, Empirical Assessment and Policy”, *Transportation Research Economics and Policy*, Kluwer Academic Publishers, 1994, pp. 65-87.
13. Chen, Dun-Ji, Wen, Yuh-Horng, “Effects of Freeway Distance-based Toll Scheme on the Short-range Driver’s Route Choice Behavior”, *Journal of Urban Planning and Development*, Volume 140, Issue 2, 2014.
14. 陳敦基, 民營化高速公路電子收費下尖離峰差別通行費率模式及民間參與財務模式建立之研究, 國科會補助專題研究計畫, 民國 95 年。
15. 交通部臺灣區國道高速公路局, 高速公路實施計程道路(差別)定價策略及方案之研究, 民國 103 年。
16. Juan, Z., Luo, Q., Fu, Z., Jia, H.,” Equity Effects of Congestion Pricing on Urban Road Resources Allocation”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol. 8, No.1, 2008, pp.74-79.
17. Bao, Y., Xiao, F., Gao, Z., and Gao, Z., “Investigation of the Traffic Congestion During Public Holiday and the Impact of the Toll-Exemption Policy”, *Transportation Research Part B*, Vol.104, 2017, pp.58-81.
18. Kota, R., Chalkiadakis, G., Robu, V., Rogers, A., and Jennings, N. R. “Cooperatives for Demand Side Management,” *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Vol. 242, 2012, pp.969-974.
19. Rahbari-Asr, N. and Chow, M. Y., “Cooperative Distributed Demand Management for

- Community Charging of PHEV/PEVs Based on KKT Conditions and Consensus Networks,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.10, No.3, 2014, pp.1907-1916.
20. Chen, T. Y. and Jou, R. C., “Using HLM to Investigate the Relationship Between Traffic Accident Risk of Private Vehicles and Public Transportation”, *Transportation Research Part A*, Vol.119, 2019, pp.148-161.
  21. Chiou, Y. C., Jou, R. C., and Yang, C. H., “Factors Affecting Public Transportation Usage Rate: Geographically Weighted Regression”, *Transportation Research Part A*, Vol.78, 2015, pp.161-171.
  22. Wen, C. H., Wang, W. C., and Fu, C., “Latent Class Nested logit Model for Analyzing High-Speed Rail Access Mode Choice”, *Transportation Research Part E*, Vol.48, No.2, 2012, pp.545-554.
  23. Calabrese, F., Colonna, M., Lovisolo, P., Parata, D., and Carlo Ratti. C., “Real-Time Urban Monitoring Using Cell Phones: A Case Study in Rome.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.12, No.1, 2011, pp.141-151.
  24. Gao, H. and Liu, F., “Estimating Freeway Traffic Measures from Mobile Phone Location Data”, *European Journal of Operational Research*, Vol.229, No.1, 2013, pp.252-260.
  25. Hellinga, B., Izadpanah, P., Takada, H. and Fu, L., “Decomposing Travel Times Measured by Probe-Based Traffic Monitoring Systems to Individual Road Segments,” *Transportation Research Part C*, Vol. 16, No.6, 2008, pp.768-782.
  26. Rahmani, M. and Koutsopoulos, H. N., “Path Inference from Sparse Floating Car Data for Urban Networks,” *Transportation Research Part C*, Vol.30, 2013, pp.41-54.
  27. De Feijter, R., Evers, J. J. and Lodewijks, G., “Improving Travel-Time Reliability by the Use of Trip Booking”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.5, No.4, 2004, pp.288-292.
  28. Chen, H. K., Chang, M. S., & Wang, C. Y., “Dynamic Capacitated User-Optimal Departure Time/Route Choice Problem with Time-Window”, *European Journal of Operational Research*, Vol.132, No.3, 2001, pp.603-618.
  29. 王中允，宋奕緯，「動態用路人出發時間選擇旅次鏈基礎交通量指派模型之研究」，中華民國運輸學會 108 年年會暨學術論文研討會論文集，中華民國運輸學會，民國 108 年，頁 445-468。
  30. Ran, B., Boyce, D. E., and LeBlanc, L. J., “A New Class of Instantaneous Dynamic User-Optimal Traffic Assignment Models”, *Operations Research*, Vol.41, No.1, 1993, pp.192-202.
  31. Ran, B. and Boyce, D. E., “A link-Based Variational Inequality Formulation of Ideal Dynamic Optimal Route Choice Problem”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.4, No.1, 1996, pp.1-12.
  32. Chen, H. K. , *Dynamic travel choice models: A variational inequality approach*, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
  33. 王中允、宋奕緯，「考量路網用路人旅次鏈路徑選擇行為之依時性路段旅行時間推估模式之研究」，中華民國運輸學會 104 年年會暨學術論文研討會論文集，中華民國運輸學會，民國 104 年，頁 1265-1289。

34. Luo, S. S., Wang, C. Y. and Sung, Y. W., “Time-Dependent Trip-Chain link Travel Time Estimation Model with The First-in-First-out Constraint”, *European Journal of Operational Research*, Vol.267, No.2, 2018, pp.415-427.
35. Lisco, Thomas E., *The Value of Commuters’ Travel Time: A Study in Urban Transportation*, Ph.D. thesis, Department of Economics, University of Chicago, 1967.

附表 A-1 各情境路線之公共運具原始價格表

路線及公里數	費用計算			
	國道客運票	市區公車	共乘計程車	獎勵誘因
羅東轉運站－宜蘭傳統藝術中心(羅東路線，5.8 公里)	143 元	20 元	206 元	傳統藝術中心門票 150 元 (原價)/一張
宜蘭轉運站－金車酒廠(宜蘭路線，9.3 公里)	140 元	20 元	276 元	HAPPY GO 點數 60 點 (等價 15 元)
礁溪轉運站－蘭陽博物館(礁溪路線，7.4 公里)	112 元	20 元	238 元	蘭陽博物館門票 100 元 (原價)/一張

- 註：1. 國道客運票費用計算：參考葛瑪蘭客運官網計價方式。  
 2. 市區公車費用計算：參考宜蘭縣官網市區公車計價方式。  
 3. 共乘計程車費用計算：參考宜蘭市區計程車車票計價方式，起跳價為 1.5 公里/120 元，每 250 公尺跳 5 元。  
 4. 獎勵誘因費用計算：參考傳統藝術中心官網、遠通電收官網、蘭陽博物館官網的計價方式。

附表 A-2 各情境路線之公共運具折扣後價格表

路線及公里數	費用計算			
	國道客運票	市區公車	共乘計程車	獎勵誘因
羅東轉運站－宜蘭傳統藝術中心(羅東路線，5.8 公里)	1.136 元	20 元	1.206 元	1.不給誘因
	2.129 元		2.164 元	2.等價 15 元
	3.122 元		3.134 元	3.等價 30 元
宜蘭轉運站－金車酒廠(宜蘭路線，9.3 公里)	1.133 元	20 元	1.276 元	1.不給誘因
	2.126 元		2.220 元	2.等價 15 元
	3.120 元		3.180 元	3.等價 30 元
礁溪轉運站－蘭陽博物館(礁溪路線，7.4 公里)	1.106 元	20 元	1.238 元	1.不給誘因
	2.100 元		2.190 元	2.等價 10 元
	3.95 元		3.154 元	3.等價 20 元

附表 A-3 各情境路線有/未預約旅次之小汽車費用表

路線及公里數	費用計算				
	通行費	折舊費 (含稅費)	停車費	油費	獎勵誘因 (停車費折扣)
泰山區到傳統藝術中心(羅東路線, 102 公里)	1.80 元 2.64 元/(X)120 元 3.48 元/(X)160 元	160 元	120 元	323 元	1.不給折扣 2.每小時折扣 5 元 3.每小時折扣 10 元 X: 未預約者均無折扣
泰山區到金車酒廠 (宜蘭路線, 100 公里)	1.80 元 2.64 元/(X)120 元 3.48 元/(X)160 元	160 元	120 元	304 元	1.不給折扣 2.每小時折扣 5 元 3.每小時折扣 10 元 X: 未預約者均無折扣
泰山區到蘭陽博物館 (礁溪路線, 80 公里)	1.80 元 2.64 元/(X)120 元 3.48 元/(X)160 元	140 元	120 元	254 元	1.不給折扣 2.每小時折扣 5 元 3.每小時折扣 10 元 X: 未預約者均無折扣

- 註：1. 通行費：(1) 預約旅次：國道里程數 66 公里，根據交通部通行費計算公式為公里數\*每公里 1.2 元，正常費率為 66\*1.2 約 80 元。情境一為正常通行費 (原價)、情境二打八折、情境三打六折。(2) 未預約旅次 (以 X 表示)：情境一為原始費率、情境二為 1.5 倍費率、情境三為 2 倍費率。
2. 折舊費用計算：折舊費用包含汽車本身折舊費用以及汽車稅收費用。(1) 汽車折舊費：按照行駛里程計算折舊費用，計算公式為單位里程折舊額=原值×(1-預計淨殘值率)÷總行駛里程數；假設汽車原價為 68 萬，預計總里程數為 65 萬公里，預計殘值 (依稅法統一規定為 5%)，因此每公里的折舊費用為 0.95 元，再依不同路線公里數作計算。(2) 汽車稅收費用：參考公路總局的汽車稅收計算方式；稅收費用=燃料稅+使用牌照稅，假設汽車為 2401cc-3000cc 的小客車，因此燃料稅為每年 7,200 元、使用牌照稅每年 15,210 元，因此每天的燃料稅與使用牌照稅總和 60 元。
3. 停車費計算：參考宜蘭市區停車場的平均費用為 1 小時 30 元。
4. 油費費用計算：(每條路線公里數/每公升可跑公里數) \*每公升的價格 (38 元)。
5. 獎勵誘因計算：情境一不給獎勵誘因、情境二每小時折扣 5 元、情境三每小時折扣 10 元。