

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

何時出發較好：以劇變模型分析出發時間的決策行為

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 105-2410-H-343-007-
執行期間：105年08月01日至106年07月31日
執行單位：南華大學文化創意事業管理學系

計畫主持人：黃昱凱

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：周詩好
碩士班研究生-兼任助理：譚博元

報告附件：移地研究心得報告

中華民國 106 年 10 月 24 日

中文摘要：國道五號的擁塞現象一直是交通管理單位關心的課題，藉由大數據分析進行模式辨識，並整合天氣資訊、網路輿論等資料庫建構交通流量預警機制是近年來最受矚目的應用趨勢，可惜目前有關大數據分析在交通管理的應用多半忽略用路人的選擇與決策行為。由於部分用路人交通旅次的出發時間是具有彈性且可以視情況需要進行調整，因此若能讓第三方移動應用軟體 (Application; APP) 整合國道五號交通資訊並提供介面讓用路人根據交通狀況事先調整出發時間，將有助於改善國道五號交通每逢假日必定壅塞的現象。本計劃首先以電腦程式撰寫模擬產生APP所需要的交通流量，其次撰寫APP提供用路人根據交通資訊來規劃(或預約)旅行出發時間，最後則是建構劇變模型來分析用路人使用APP來進行旅行出發時間的決策行為。本計畫之研究結果將有助於交通主管機關研擬相關交通控制策略的參考依據。

中文關鍵詞：大數據、劇變模型、行為科學、國道5號

英文摘要：The research aiming to alleviate traf?c jams of freeway No. 5. Growing attention is being paid to the use of big data techniques for gathering and analyzing data. Bid data and data mining are the critical method for traf?c management to build strategies/policies to reduce the traffic jams. The purpose of this research is to analyze one possible force which makes a significant contribution to explaining the decision behavior of travelers to re-arrange their departure time. Departing from the traditional utility maximization theory, this model focuses on the decision-making process based on imperfect information, bounded and distinctive rationalities. In the modeling framework, we developed an agent-based model for travelers' choices of mode and departure time. Second, we use the butterfly catastrophe model and cusp catastrophe model to analysis the choice behavior of travelers for use the APP to decide whether or not to switch to the new departure time. The findings of this research could strengthen the contribution of professionals to traffic management goals.

英文關鍵詞：Big Data, Catastrophe Model, Behavior Science, Freeway No. 5

壹、前言

資訊科技的進步讓人們的生活發生巨大的變化，而行動通訊技術與大數據分析技術的整合，將有助於提供交通管理單位另一種全新的視野與管理方式。目前全臺灣高速公路上具有 317 個 ETC 偵測門架，紀錄每個經過的車輛，因此將兩門架間的距離除以車輛行駛的時間，便能求得車輛前進的速率。每日汽車經過的記錄資料約 1,400 萬筆，設立一年半至今累計超過 90 億筆資料。藉由 ETC 所蒐集的大數據資料，不僅為道路計程收費的依據，更可協助相關單位深入了解民眾使用高速公路的細節，進行車流量分析以及預測交通路況，除了可以提升行車安全以及道路服務品質外，也為解決高速公路壅塞問題提供了有別以往的全新視野與管理方式。

國道 5 號(又稱北宜高速公路或蔣渭水高速公路)是中華民國首條橫跨臺灣東西部的高速公路，全長 54.3 公里，北起自臺北市南港區與國道 3 號相接迄於宜蘭縣蘇澳鎮，是連接宜蘭縣通往大臺北地區與臺灣西部的交通要道。國道五號的開通一方面讓民眾臺北往返宜蘭變得方便許多，使宜蘭與花東湧入大量觀光人潮，但每逢假日在國道 5 號必會遇到塞車的情況，也讓民眾在享受運輸便利與觀光利益的同時，相對付出塞車之代價。目前國道 5 號除了連逢假日塞車已呈常態之外，平日 16 點至 18 點也經常出現道路壅擠的現象。尤其是南港至坪林路段，早上 10 點至 11 點間是塞車高峰期達 71%，大部分車輛呈極慢速每小時 20 到 30 公里，下午則會有大臺北地區居民單日旅程的返家車潮，頭城到石碇路段於 14 點到 15 點出現全日塞車最高峰達 93.8%。

隨著國道五號的開通吸引了許多由北部前往宜蘭旅遊的觀光旅次，因此如何抒解國道五號的壅塞一直是交通管理單位的重要管理課題。雖然大數據與行動科技提供了交通管理者解決了向用路人提供即時交通資訊的方式，但是若無法事先掌握用路人可能的出發時間規劃，就有可能低估或忽略了用路人的預期心理¹所扮演的關鍵角色，從而讓即時交通資訊或事前的交通預報機制的效果失靈。也就是說，當多數用路人都擁有相同的交通資訊且多數用路人都在競爭有限的時空資源時，雖然每個用路人都在進行出發時間的選擇與決策行為與他人不同(也就是說每個人的出發策略都希望能藉由調整出發時間而不要與多數用路人一樣進而塞在路上)，卻也因而有可能造成每個人都具有類似的決策，造成同時段有過多的用路人出發進而造成交通堵塞。

綜上所述，要舒緩國道五號壅塞的現象，底下三點是值得關注的現象：

1. APP 的普及與大數據分析技術的進展，除了讓 APP 可以提供即時交通資訊外，也讓事前交通量的預測得以越來越準確，這些都有助於用路人掌握交通資訊來進行所需的決策，如選擇更改運具、變換行車路線或改變出發時間。
2. 交通系統本身的非線性特徵，會讓交通系統因內部細微變化而產生不可預期的交通擁塞 (Johnson, 2011; Buchanan, 2007)，由於任何交通流量的預測都不可避免存在誤差，而交通系統的非線性特徵，在某些情況下很容易讓這些誤差放大，因此想要對交通系統進行較長遠的準確預測並成為較具挑戰的課題。
3. 由於整體的交通流量是由個體交通旅次加總而來，因此深入瞭解個體用路人的決策行為將有助於瞭解整體旅次的完整樣貌。

¹ 這裡的預期心理是指當每個用路人都不想塞車，但是每個用路人都面臨必須與其他用路人競爭有限的時空資源(在某個特定時間出發走某條特定路線)，雖然每個人都不想塞車(不想與多數人在相同時間出發走相同的道路)，但是由於每個用路人都不知道其他用路人的決策，因此很容易發生大家都採取相同的策略(比如說都要早一點出發避開尖峰時間，或晚一點出發等多數人都上路後再出發)造成結果仍是塞在路上

貳、研究目的

以往改善國道五號的壅塞情況不外乎是「匝道儀控」、「高乘載限制」、「免收費時段」、「開放路肩」等，近年來則是希望藉由大數據分析技術提供管理單位與用路人的即時交通資訊與事前交通流量預測，但若忽略了用路人的預期心理，則有可能降低應用大數據分析所可能的成效。由上述的說明可以知道，如果可以針對較有彈性的旅次，經由 APP 提供用路人事前預測的交通流量(獲旅行時間)資訊，並提供所有較有彈性旅次之用路人一個預約(或規劃)旅行出發時間的 APP 平台，讓用路人可以事先根據其他所有用路人所預約(或規劃)旅行出發時間來調整自身的出發時間，將可以減少用路人預期心理對交通的影響。

本研究以國道五號為分析對象，係基於①該交通系統是我國聯繫東部與台北的交通要衝，在運輸與觀光的发展上具有重要的地位；②大數據下的管理與應用服務思維是目前交通部配合政府推動大數據平台的重要作法，而國道五號的是目前交通部針對 ETC 資料分析應用於高速公路管理之重要案例。綜上所述，本研究將以國道五號總旅次中較具有彈性出發時間的旅次為分析主體，以敘述性偏好問卷針對較有彈性旅次的用路人為問卷發放對象，本計畫之研究目的是以劇變模型建構用路人使用 APP 進行事前預約旅行出發時間的決策行為，並根據模式的動態分析探討決策行為的非線性特徵。

參、文獻探討

藉由資訊科技協助交通管理已經有很久的歷史，方式也很多元，如 ETC、公車動態系統以及現在的交通 APP。Dziekian and Kottenhoff(2007)以瑞典斯德哥爾摩為例，分析公共運輸動態系統對乘客的影響，包括減少等候時間、減少不確定性提高安全感、願意提高付出票價、調整旅行的行為如更佳的利用等車時間、影響運具選擇等，且透過實驗發現，公共運輸動態系統提供可讓感受之候車時間減少 20%。Watkins *et al.* (2011)透過研究西雅圖地區的公車動態系統，該地區的公車動態系統除了提供車站之顯示外，亦提供網站、電話、簡訊、智慧型手機等管道查詢，該研究指出先前多數的研究多著重於研究旅客對於場站設施即時資訊提供之反應，卻較少探討透過各種個人裝置所提供之動態資訊影響，該研究發現行動裝置動態資訊之提供不僅減少旅客察覺之等候時間，亦減少了旅客實際之等候時間。Tang and Thakuriah (2012)透過橫向分析 2002-2010 芝加哥 Chicago Transit Authority (CTA)各路線搭乘數據，並且將汽油價格、氣候、失業率、巴士服務水準等納入考慮，發現公車動態資訊系統之引入將提升搭乘率，且在分階段路線推出的系統中，較後推出動態之系統路線，因乘客已習慣利用動態系統，故搭乘量成長率會較先推出之路線明顯。Rahman *et al.* (2013)透過分析加拿大卡加利地區，發現有 82%的受訪者會搭乘第一班到達的公車，即便下班車能有較短的車內時間及較第一班車更早抵達目的地。88%的受訪者指出在班距十分鐘以內的路線，動態資訊系統便非屬必要。女性、年輕人、現行小汽車使用者及非常態使用大眾運輸者在獲得公車動態訊息上有較高的興趣。Haque, Chin *et al.* (2013)指出 Sustainable, safe, smart 是新加坡交通政策的三大要素，其中公共運輸資訊分享即屬 smart 一環，透過整合的交通系統地圖、公共運輸旅行資訊系統、公共運輸車上資訊系統及計程車預約系統構成，其中公共運輸旅行資訊系統中的巴士到站時間可透過網路、智慧型手機 APP 及站位顯示面板提供。

Brakewood, Barbeau *et al.* (2014)研究佛羅里達州坦帕灣地區，透過前後比較法，分析名為“OneBusAway”的動態系統提供前後對既有公車搭乘者之影響，發現提供 RTI (Real time information)，將使公車搭乘者的焦慮及挫折感顯著降低，提升了等公車的經驗，有 39%的受訪者資料更顯示有了公車動態系統提升了搭乘公車之頻率。閻仕為 (2014)研究探討智慧型手機應用程式所提供的公車動態資訊對使用者行為產生的影響，研究以台北市為例設計問卷，包含智慧型手機情境，並利用問卷結果，使用多項羅吉特模式分析智慧型手機與旅運者各種特性對運具選擇的影響，研究結果發現智慧型手機對

於運具選擇有顯著的影響，公車相較於其他公共運具的成長亦產生較佳的效果。最後透過旅行時間直接彈性和敏感度分析顯示，若能給予捷運、公車等適當資訊以縮短旅次時間的服務，能夠有效提高公共運輸在都市運具中之市場占有率。

曹雅博 (2006)研究嘗試提出搭新的接駁運具—共乘接駁計程車，以統聯客運中港轉運站為研究標的，採敘述性偏好法，找出影響旅客選擇短程離站運具的因素，以擬定共乘計程車的營運策略。運具選擇模式中，則以多項羅吉特、巢式羅吉特進行校估，發現因旅運者在主運具的花費上不致太昂貴，故對於接駁運具的費用有較高的敏感度，推估共乘計程車推出後將移轉原有 38%運量。楊宗璟 (2007)利用羅吉特模式分析高鐵通車後對中長程旅次之運具選擇影響。在高鐵通車前兩個星期中，透過設計問卷及實地調查的方式，在台北、台中、高雄三地蒐集搭乘航空、台鐵、國道客運及自行開車的旅客或駕駛者的旅運行為資料，以概估高鐵通車前後的市場佔有率。透過羅吉特模式分析結果顯示在旅客的社經背景中，較主要影響運具選擇之變數為旅客的職業類別(工商業、金融服務業、其他)及收入高低(每月 3 萬元以下、3~6 萬、6 萬元以上)，而旅客性別、年齡高低、學歷高低、小汽車數等變數在不同的模式中亦會分別造成旅客選擇運具時的偏好差異，另外運具的起迄點接駁時間為旅客選擇運具時的考量因素之一。

Ben-Elia and Ettema (2011)研究採用混合羅吉特模式，以 13 周的調查時間，以提供獎勵之方式鼓勵民眾避免於尖峰時間通勤，調查不同程度的獎勵措施，如：金錢或獲得手機作為獎品對通勤者之影響，研究結果發現獎勵方式確可使尖峰通勤者改於非尖峰時間通勤或改使用公共運輸，其影響因素包含行程安排限制、工作時間彈性、習慣表現、旅行資訊之可得性、天氣。Guo (2011)研究倫敦地鐵地圖繪製方式對乘客路徑選擇及轉車點之影響分析，相較於較接近實際情形之 Geographical map, Schematic tube map 會影響轉車點之判斷，也會影響人們對於路徑的判斷，使得雖然實際旅行時間較久，乘客仍會選擇於地圖上看似較近的路徑，而非信賴自己之經驗，不過此效應隨者搭車次數越多而越不明顯，且隨著各式先進旅行者資訊系統的提供，作者預估這種受抽象地圖影響路徑選擇行為之機率將降低。Ettema, Friman *et al.* (2012)研究針對瑞典大眾運輸通勤旅次，透過 Satisfaction with Travel Scale (STS)方式，探討如何的車內活動可增加乘客對搭乘的滿意度，以提升搭乘大眾運輸之意願，發現在車上與人交談最能提高搭乘的滿意度，並且在返家旅次上的影響更為明顯。Satiennam, Jaensirisak *et al.* (2015)研究在泰國孔敬市若引進 BRT 系統，是否能夠吸引現有小客車及機車使用者。透過二元羅吉特模式之分析，發現 BRT 系統將能顯著的吸引私人用具使用者改使用大眾運輸，然而多半的轉換來自於原機車使用者。旅行時間對小客車使用者影響較顯著，而旅行成本則對機車使用者影響較顯著。由於當地的公共運輸在研究當時仍無空調巴士提供服務，故由有冷氣並有專用路權之 BRT 行駛，可大幅提升行駛效率及服務品質，可提供目前公共運輸上不普及的開發中亞洲城市做為借鏡。

交通車流可以視為一個由許多相互影響的個體所形成的集合體即駕駛人，爭奪有限的道路資源所組成的非線性動態系統。有許多文獻認為交通車流是一個混沌系統，該系統會不斷在有序(塞車的情形)和失序(一般的車流)間轉移，因此其可預測性也會不斷在有序和失序間移轉變動。如果一個交通系統其複雜行為的背後存在著簡單的動力學機制，那麼我們便可以利用混沌理論所發展出來的一些方法，在實證的研究上可以利用所觀察的數據來重建 (reconstruct) 該系統的動力學機制，在系統模型的混沌分析上則是探討此非性線模型是否具有混沌行為的特徵，透過這些混沌理論的分析工具將有助於我們了解交通系統類隨機現象的內在規律，並提供我們另一種分析交通系統的工具。若以交通量的預測能力為例，雖然混沌系統的蝴蝶效應以及我們對於測量本身無法達到沒有誤差的情形下，粉碎了我們想要對於交通量做長期預測的可能。

另一方面，大數據分析的應用可說是近年來有關交通量預測的最新趨勢之一，透過大數據的資料

收集技術結合資料探勘，可協助交通管理單位將數據結果視覺化，快速找出交通特徵，掌握關鍵資訊，並經由 APP 快速提供給所有用路人即時參考的資訊。然而有許多文獻指出用路人的預期心理往往也是造成交通壅塞不可忽略的重要因素，因此期望藉由大數據結合 APP 提供用路人即時的交通資訊，進一步達到抒解交通壅塞的目標，就不可以不考慮到用路人的預期心理。舉例來說，當所有用人都經由 APP 知道目前的交通狀況(或預測的未來交通狀況)，由於每個用路人均不知道其他用路人看到這些公開的資訊將會進行何種決策(如得知不塞車是否決定馬上出發，或知道會塞車就延後出發或更改路線或運具)，因此實際的交通狀況要等所有用路人實際進行決策上路後才會反應出來。如此一來，就有可能造成原本預測最好的出發時間，但是當其他用路人知道此資訊且選擇相同的決策(在相同的時間出發)時，就會發生因用路人預期心理所產生的交通壅塞。因此如何提供一個平台讓所有較有彈性出發時間的用路人規劃(或預約)出發時間，並藉由此平台彙整多數用路人的出發時間回饋到 APP 的交通流量預測系統，讓用路人可以「事先」根據 APP 整合大數據分析資料與用路人事先規劃(或預約)的出發時間資訊來進行出發時間的規劃，這種降低用路人預期心理的作法，應可協助交通管理單位進行更有效率的管理策略。

肆、研究方法

近年來，有許多的研究指出選擇行為本身具有非線性的現象，並認為法國數學家 Thom(1923-2002) 在 1970 年代所建構的劇變模型對於這些非線性行為具有很好的解釋能力。目前已經有很多文獻是以劇變模型來分析選擇行為，Zeeman(1974)是最早將劇變論應用在社會科學的領域並大力推廣劇變論的學者，該學者選擇超額需求以及投機性的程度為控制變數，以定性分析的方式說明股票市場不連續變化的現象。目前劇變論已經被廣泛的應用在許多不同之研究領域，如心理學(Alexander, Herbert, Deshon and Hanges, 1992)、化學(Wales, 2001)、物理學(Hayley)、交通領域(Dendrinis, 1978；Dillon and Hall, 1987)以及社會科學(Emilio, 1997)。劇變論尤其在行為科學的領域應用最為廣泛，如 Chidley, Lewis 與 Walker(1978)選擇品牌價格以及消費者的屬性偏好為控制變數並以尖點劇變模型為分析架構來探討消費者品牌忠誠度不連續變化的行為；Lange, McDade 以及 Oliva(2001)等學者應用劇變模型探討在具有網路效果的情況下，企業選擇應用軟體的決策過程，並說明此決策過程將如何表現在不同軟體市場之市佔率的不連續變化；Oliva, Oliver 以及 MacMillian (1992)則是運用尖點劇變模型來探討消費者滿意度的非線性行為，並進一步指出消費者的滿意(不滿意)與不滿意(滿意)行為有不同的轉折點；至於 Vikram 與 Ruth(1998)則是以尖點劇變模型來描述消費者資訊使用滿意度的非線性行為。

劇變論主要探討的課題在於當一個系統出現多重穩態(steady state)時，當系統參數改變時，該系統如何由某一穩態²變化到另一穩態的過程。若一個函數的參數在某一範圍內不只有一個極值時，那麼這個系統就有可能處於不穩定狀態。以吸子的概念來描述的話就是說此定點吸子並不穩定，分歧理論就是描述這種由定點吸子經由突現而形成 n 週期的現象，突變模型則是對這樣的分歧現象提供一個幾何分析的數學基礎。劇變理論假設系統 S 存在一個位勢函數(potential function) $f(x, c)$ ，則系統 S 的動力系統可以用位勢函數的位差向量場(gradient vector field) $grad f$ 來表示：

$$grad f(x, c) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \quad (1)$$

上式的動態系統可以改寫如下：

² 所謂的穩態是指系統或過程的某一狀態的持續出現，穩態系統具有相當程度的抗擾性，不會因為參數的些許改變而讓系統偏離此穩定狀態。

$$\frac{dX}{dt} = -\text{grad } f(x, c) = -\frac{\partial f(x, c)}{\partial x_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

若系統在長期的變動下，其狀態變數 X 可維持在相同位置，則稱 X 是 S 的平衡狀態，以 e_i 來表示：

$$e_i : \frac{dX}{dt} = -\text{grad } f = -\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

平衡狀態有穩定(attractor)與不穩定(repellor)之分，前者表示該平衡狀態附近的其他狀態均會沿著軌跡線逐漸趨向此平衡位置，相反的情況則為不穩定的平衡點，劇變論特別關心當系統出現多重穩定平衡狀態時，如何進一步描述當改變系統控制變數時，這些穩定平衡位置的不連續動態變化。系統的穩定性可以用赫斯判別式(Hessian discriminate)來判定。當赫斯判別式 ≥ 0 時，系統只會存在一個(或多個)穩定的平衡點，穩定平衡點的概念可以用吸子(attractor)來描述。若赫斯判別式 < 0 ，則系統除了會有一個(或多個)穩定的平衡點外，還會有一個(或多個)不穩定的平衡點，也就是所謂的驅子(repellor)。有別於吸子所描述的系統特性，驅子所描述的系統是指系統若處於某一個參數的組合時，雖然系統會擁有平衡狀態，但是此平衡狀態是極度不穩定的，以致於系統一旦偏離此參數組合時，系統將會遠離此平衡狀態，只要系統 S 具有穩定的平衡點，則我們就可以應用劇變論來分析此系統。

赫斯判別式(Hessian discriminate)如下式：

$$\begin{aligned} \text{attractor} : \det\left(\frac{\partial e_i}{\partial x_j}\right) &\geq 0 \\ \text{repellor} : \det\left(\frac{\partial e_i}{\partial x_j}\right) &< 0 \end{aligned} \quad (4)$$

在這裡我們簡單描述劇變論的數學結構：首先任意給定一個系統 S ，並假定可以使用 n 個適當的變數 x_1, x_2, \dots, x_n 來說明系統 S 在每一時間所處的狀況 $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，變數 x_1, x_2, \dots, x_n 稱為系統 S 的狀態變數(state variable)；其次，假定另外存在著 m 個獨立變數 c_1, c_2, \dots, c_m ，我們可以藉由特定的獨立變數 $C=(c_1, c_2, \dots, c_m)$ 的組合來表示系統 S 之狀態，變數 c_1, c_2, \dots, c_m 稱為控制變數(control variable)，每一組控制變數所描述的系統 S 可以對應出多重的穩定狀態。不同的控制變數可能會形成一個定點吸子(如 P_1 與 P_3)或一個有限循環吸子(如 P_2)。若系統 S 為一個動力系統，則任一組控制變數所對應之穩定狀態就是這個動力系統的穩定平衡點(stable equilibrium)，劇變論就是在描述(或關心)這些狀態變數發生不連續而突然變化的情況³。Thom 根據不同的狀態變數(狀態變數的數量不大於 2)與控制變數(控制變數的數量不大於 4)提出七種劇變模型。尖點劇變模型可以說是七種劇變模型中最被廣泛應用的模型，該模型的勢函數(potential function)可以表示如式(5)，在模型中兩個控制變數分別是分裂因子(splitting factor)的控制變數 u ，以及正則因子(normal factor)的控制變數 v 。

$$F(u, v, x) = \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{2}ux^2 - vx \quad (5)$$

由於缺乏適當的數學工具，因此早期劇變模型的應用大多僅扮演質化分析的角色，直到 Oliva 等人發展出校估劇變模型的方法後(GEMCAT 演算法)，劇變理論才進入量化研究的階段。GEMCAT 的基本想法是假設狀態變數 x 以及控制變數 u, v 是可以由其他變數經由線性組合而成的一個潛在變數(Olvia,

³ 就一個非線性的動力系統而言，系統的穩定平衡點包括幾種情況，最常見的是個別孤立的穩定平衡點，也就是所謂的定點吸子(fixed point attractor)，其次是有限循環吸子(limit cycle attractor)，其他的穩定平衡點，如環面吸子(tours attractor)以及奇異吸子(strange attractor)則不是劇變論所探討的範圍。

Desarbo, Day and Jedidi, 1987)，我們先定義下列的變數：

x_{it} ：第 t 個觀測項的第 i 種獨立變數的值

u_{jt} ：第 t 個觀測項的第 j 種控制變數(分裂因子)的值

v_{kt} ：第 t 個觀測項的第 k 種控制變數(正則因子)的值

$i = 1 \dots I$ ：組成狀態變數的個數

$j = 1 \dots J$ ：組成控制變數(分裂因子)的個數

$k = 1 \dots K$ ：組成控制變數(正則因子)的個數

$t = 1 \dots T$ ：觀察個數

根據上面變數的定義，Oliva 等學者重新定義尖點劇變模型中三種潛在觀察變數，如式(6)~(8)：

$$x_t^* = \sum_{i=1}^I \alpha_i x_{it} \quad (6)$$

$$u_t^* = \sum_{j=1}^J \beta_j u_{jt} \quad (7)$$

$$v_t^* = \sum_{k=1}^K \gamma_k v_{kt} \quad (8)$$

式(6)中參數 α_i 為狀態變數的校估係數，而式(6)及式(8)中的參數 β_j 、 γ_k 則分別是分裂因子以及正則因子的校估係數。根據式(6)~式(8)，我們以潛在變數的概念將尖點劇變模型的勢函數改寫為下式：

$$f(x_t^*, u_t^*, v_t^*) = \frac{1}{4} x_t^{*4} - v_t^* x_t^* - \frac{1}{2} u_t^* x_t^{*2} \quad (9)$$

Oliva 認為既然 CCM 關心的現象是發生在不同參數組合中，該勢函數穩定解的改變行為，則該以勢函數的一階微分方程組為校估的對象，，如式(10)：

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x_t^*, u_t^*, v_t^*)}{\partial x_t^*} &= 0 \\ &= x_t^{*3} - v_t^* - u_t^* x_t^* \end{aligned} \quad (10)$$

GEMCAT 演算法就是要對於式(10)進行求解，並以最小平方法的概念將求解的目標以式(11)來表示。當給定一組資料，並進一步選擇適當的狀態變數以及控制變數，經由 GEMCAT 演算法可以進一步校估出一組適當的參數(α_i 、 β_j 、 γ_k)讓 Φ 的值最小。

$$\begin{aligned} \text{Min}_{\alpha_i, \beta_j, \gamma_k} \Phi &= \|e_t\|^2 \\ &= \sum_{t=1}^T [x_t^{*3} - v_t^* - u_t^* x_t^*]^2 \end{aligned} \quad (11)$$

伍、結果與討論

● 變數說明與資料收集

本計畫以居住在北部(北市、新北市與宜蘭)的用路人為分析主體，經由網路問卷進行資料收集，共收集 492 份有效問卷，其中男性樣本有 186 位，占整體樣本比例的 37.8%，女性樣本有 306 位，其比例為 62.2%。

底下進一步以科技接受模型與計畫行為理論為基礎，建構「有用性」、「態度」、「知覺行為控制」、「主觀歸」與「行為意向」關係之結構方程模型，在對潛在變數進行路徑分析前，必須先解決潛在變數的衡量問題，當潛在變數能夠充分有效的衡量後，資料才能正確估計路徑係數。衡量模式的驗證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA)便是確認所調查的資料是否能將潛在變數精確地衡量出來。目前社會科學研究中最常被使用出計算量表信度的指標為 Cronbach's 係數(Cronbach, 1955)，若 Cronbach's 係數愈大，顯示該量表或該量表因素內各測量問項之相關性愈大，量表內部一致性愈高。一般研究中，信度至少應達 0.7 以上才可被接受，但應視測量性質與目的而定，其介於 0.7 至 0.9 之間，皆可算是高信度值。此外組成信度(Composite Reliability, CR)0.7 是可接受的門檻(Hair, 1997)，Fornell and Larcker (1981)建議值為 0.6 以上；而 Fornell and Larcker (1981)建議平均變異數萃取量(Average Variance Extracted; AVE)其標準值須大於 0.5，而標準化因素負荷量至少要達到 0.5 的門檻。

本研究運用驗證性因素分析(Confirmatory Factor Analysis)對結構方程模型各變數量表進行驗證，信度與效度的分析結果如表 1 所示。以「知覺有用性」量表為例，該構面的衡量問項有「我認為該款 APP 對於我的旅行時間規劃是有幫助的(PU₁)」、「我認為該類型的 APP 對於抒解交通時間是有幫助的(PU₂)」和「我認為當越多人使用該類型的 APP 時，對於整體用路人的幫助是更大的(PU₃)」；根據表 1 可以知道「知覺有用性」量表的 Cronbach's 值均大於 0.9，CR 均大於 0.9，AVE 均大於 0.8，因素負荷量也皆大於 0.5，顯示此衡量結果具有高信度。結構方程模型其他構面的各量表之因素分析結果請參考表 1，因素分析結果得知「態度」、「知覺行為控制」、「主觀規範」與「行為意向」等構面之信度與效度均符合以往文獻的規範。

表 1 各變數信度與效度分析

構面名稱	代號	衡量指標	因素負荷量	建構信度	平均變異萃取量	Cronbach α
知覺有用性 (PU)	PU ₁	1. 我認為該款 APP 對於我的旅行時間規劃是有幫助的	0.81	0.870	0.692	0.789
	PU ₂	2. 我認為該類型的 APP 對於抒解交通時間是有幫助的	0.87			
	PU ₃	3. 我認為當越多人使用該類型的 APP 時，對於整體用路人的幫助是更大的	0.82			
態度 (AT)	AT ₁	4. 我認為該類型的 APP 對我而言會越來越重要	0.82	0.816	0.603	0.806
	AT ₂	5. 我對於使用該類型 APP 持正面的看法	0.88			
	AT ₃	6. 我認為更改出發時間便可節省 1-2 兩時的旅行時間是值得的	0.60			

表 1 各變數信度與效度分析 (續)

構面名稱	代號	衡量指標	因素負荷量	建構信度	平均變異萃取量	Cronbach α
知覺行為控制 (PC)	PC ₁	7. 很多時候，出發的時間不是我一個人說了算	0.86	0.872	0.773	0.648
	PC ₂	8. 我對於 APP 旅行時間的預測準確率沒有很大的信心	0.85			
主觀規範 (SN)	SN ₁	9. 我會因為政府的宣導而下載並使用該類型的 APP	0.50	0.827	0.630	0.800
	SN ₂	10. 我會因為男(女)友或家人的推薦而下載並使用該類型的 APP	0.99			
	SN ₃	11. 我會因為好友的推薦而下載並使用該類型的 APP	0.81			
行為意向 (BI)	BI ₁	12. 我會願意嘗試並下載使用該類型的 APP 來協助我規劃旅行出發時間	0.76	0.747	0.501	0.752
	BI ₂	13. 我願意推薦他人下載並使用該類型的 APP	0.80			
	BI ₃	14. 我認為我會持續使用該類型的 APP 來協助我規劃旅行出發時間	0.58			

● 結構方程模型分析

圖 1 說明結構方程模型分析結果，而表 2 則是結構方程模型各項配適度指標。根據圖 1 可以發現，「有用性」、「態度」與「主觀規範」對於使用 APP 來規劃旅行出發時間的「行為意向」有正向的影響，而「知覺行為控制」對於「行為意向」則有負向的影響，且都達到統計顯著水準，其中，「態度」對於「行為意向」的直接效果最為強，其數值為 0.51，其他變數如「有用性」、「主觀規範」與「知覺行為控制」對於「行為意向」的直接效果之數值分別為 0.36、0.17、0.13。此外，「有用性」除了對於「行為意向」有直接效果外，亦會經由「態度」構面對於「行為意向」有間接的效果，其關係為有用性→態度→行為意向，其間接效果的數值為 $0.48(0.97 \times 0.51)$ ，也就是說「有用性」影響「行為意向」的總效果為直接效果+間接效果，其數值為 0.84。因此若考慮直接效果與間接效果，則影響「行為意向」最重要的變數為「知覺有用性」。

表 2 結構方程模型各配適度指標(Goodness of Fit Statistics)

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.11
Normed Fit Index (NFI) = 0.90
Comparative Fit Index (CFI) = 0.92
Incremental Fit Index (IFI) = 0.92
Critical N (CN) = 125.71
Standardized RMR = 0.060
Goodness of Fit Index (GFI) = 0.89
Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI) = 0.83
Parsimony Goodness of Fit Index (PGFI) = 0.58

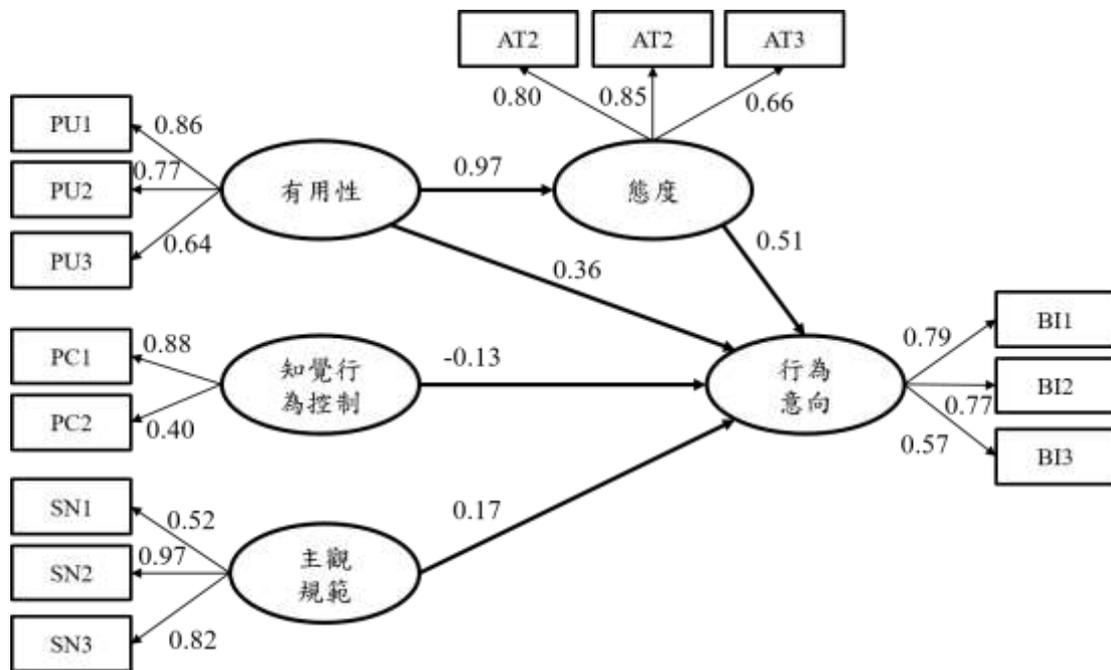


圖 1 結構方程模型分析結果

● 情境分析

表 3 是根據下述情境分析的結果，由表 3 知道原本出發時間以早上(06-08)的比例最高，其次則是晚上(22-24)，在假設的情境下(APP 顯示只剩下早上(06-08)及晚上(22-24)行車時間正常)，多數人會根據 APP 的資訊改變出發時間，其中又以原本選擇早上(08-10)與中午(16-18)族群改變出發時間的比例最高。

- 每次連續假日收假國道五號都面臨塞車的風險，若您是宜蘭居民但在台北租屋工作。並假設下週是連續假日且你預計回宜蘭陪家人並在假日最後一天回台北，請問您最可能選擇的時間是？
①早上(06-08) ②早上(08-10) ③早上(10-12) ④中午(12-14) ⑤下午(14-16)
⑥下午(16-18) ⑦晚上(18-20) ⑧晚上(20-22) ⑨晚上(22-24)
- 假設現在此款 APP 所預告的旅行時間準確率為 75%，且此時 APP 的頁面顯示只剩下早上(06-08)以及晚上(22-24)行車時間正常，請問此時您的選擇行為是？
①維持原來的時間 ②早上(06-08) ③早上(08-10) ④早上(10-12) ⑤中午(12-14)
⑥下午(14-16) ⑦下午(16-18) ⑧晚上(18-20) ⑨晚上(20-22) ⑩晚上(22-24)

表 3 情境分析結果

原始 出發時間與人數	早上 (06-08)	早上 (08-10)	早上 (10-12)	中午 (12-14)	中午 (14-16)	中午 (16-18)	晚上 (18-20)	晚上 (20-22)	晚上 (22-24)	調整 之後
122 早上(06-08)	121	37	10	2	8	9	3	7	9	206
62 早上(08-10)		16	7	2		1			6	32
42 早上(10-12)		1	15	2		1		1		20
30 中午(12-14)		2	6	16	10	3	2			39
46 中午(14-16)				1	18	3	1	1		24
36 中午(16-18)				1	1	9		3		14
34 晚上(18-20)		1		1	2	2	12	1		19
55 晚上(20-22)		1	1	2	3	2	5	24	1	39
65 晚上(22-24)	1	4	3	3	4	6	11	18	49	99

● 蝴蝶劇變模型建構與分析

蝴蝶劇變模型與尖點劇變模型相異處在於控制變數的個數以及狀態變數的解，尖點劇變模型具有兩個控制變數與一個狀態變數，其狀態變數有三個極值，包含一個極大值在最外側與兩個極小值在中間；至於蝴蝶劇變模型則具有四個控制變數與一個狀態變數，其狀態變數有五個極值，兩個極大值在最外側與三個極小值在中間。蝴蝶劇變分析可藉由探討參數變數組合(t, u, v, w)所決定的四維超曲面，分析不同變數組合下系統狀態變數所呈現的二重根、三重根之劇變特徵。當 $t > 0$ 時，蝴蝶劇變模型會退化成尖點劇變模型，若 $t < 0$ ，則蝴蝶劇變的狀態變數會存在兩個極大值與三個極小值。

我們在此設定變數 t 為行動載具與行動上網的普及程度、變數 u 則是有關規劃(或預約)旅行出發時間 APP 的下載量(有多少比例的用路人使用)以及服務品質屬性(如易用性、有用性等)的綜合性指標、變數 w 為消費者的知覺行為控制(如人格特質、知覺風險等)、變數 v 則是消費者對於該 APP 的使用態度，圖 2 說明了不同變數屬性組合下，不同情境下的蝴蝶劇變模型。根據上述模式各變數的設定，我們除了設計問卷收集資料進行模式校估，並經由調整蝴蝶劇變模型的變數範圍會得到不同的使用情境。

經由圖 2 可以知道，當行動載具與行動上網的普及程度仍低的時候，不論 APP 所提供的整體績效為何，用路人會使用 APP 協助進行交通旅行出發時間的決策只會有兩種情境：「沒有使用」與「偶爾使用」。但是當行動載具與行動上網的普及程度越來越高時($t < 0$)，隨著 APP 的易用、有用、預測準確度高等優質 APP 相繼出現後，APP 使用行為除了「沒有使用」與「偶爾使用」這兩個型態外，也會開始出現「一定會使用」人口。若 APP 發展已經十分成熟，且對協助用路人在選擇最佳的出發時間有很大助益時，此時使用 APP 的模式就只會剩下「偶爾使用」與「一定會使用」的模式。

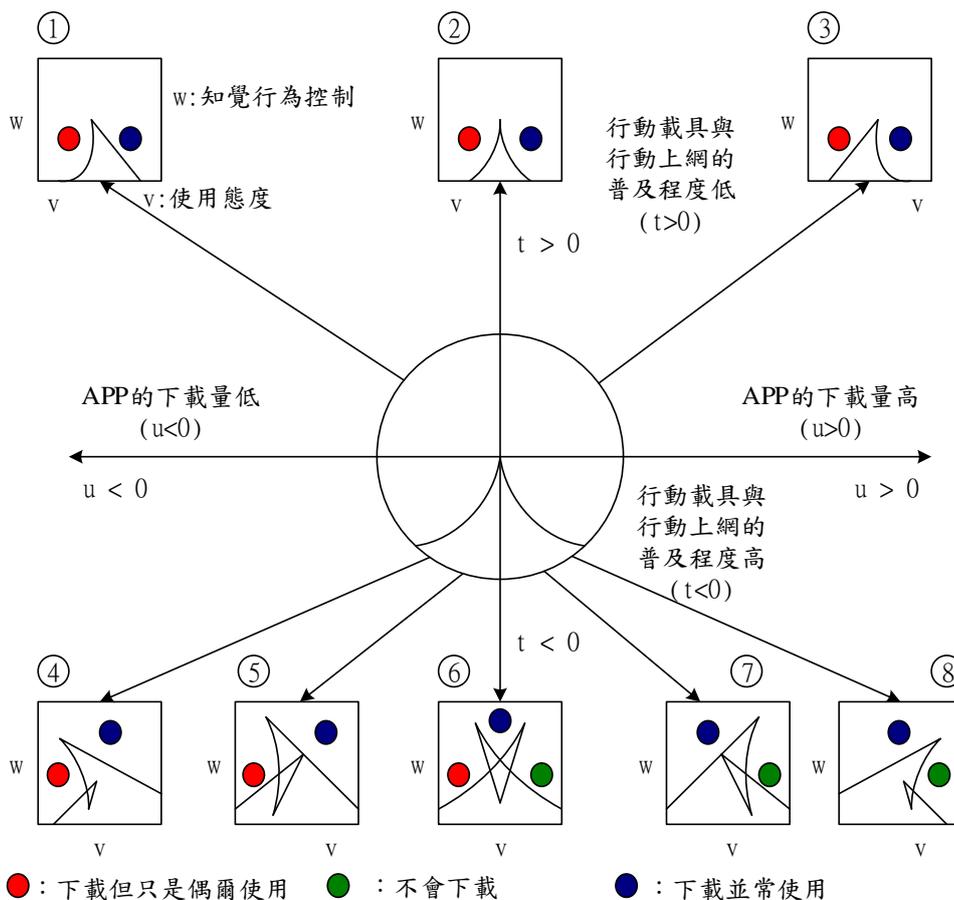


圖 2 不同情境下之蝴蝶劇變模型

進一步根據設定變數 t 小於零(行動載具與行動上網的普及程度高)、變數 u 等於零(有關規劃(或預約)旅行出發時間 APP 的下載量)的蝴蝶劇變模型(如圖 3 所示)，由圖 3 可以知道用路人在「不會下載該 APP」、「會下載該 APP 但偶爾使用」與「會下載該 APP 並常使用」等三種使用該 APP 的轉換行為有七種不同的路徑。對於交通管理主管機關而言，明確定位 APP 的功能與角色定位將有助於協助釐清 APP 在交通需求預測相關領域中，逐漸成熟的過程與最有可能的變化路徑，若知道較有可能的變化路徑，便可以進一步藉由蝴蝶劇變模型的特徵去思考相對應的營運策略。

以圖 3 為例，蝴蝶劇變模型建構同時存在「不會下載 APP」、「會下載 APP 且偶爾使用」以及「會下載 APP 並經常使用」等三個行為狀態之蝴蝶劇變模型，並藉由模型的分析探討影響因素的管理意涵。首先將使用該 APP 的行為形態區分為下面六種情境，分別是：(A)不會下載 APP；(B)會下載 APP 且偶爾使用；(C)會下載 APP 並經常使用；(D)有可能是「不會下載 APP」也可能是「會下載 APP 且偶爾使用」；(E)有可能是「不會下載 APP」也可能是「會下載 APP 並經常使用」；(F)可能僅「會下載 APP 且偶爾使用」也可能僅「會下載 APP 並經常使用」；(G)可能僅「不會下載 APP」也可能僅「會下載 APP 且偶爾使用」或「會下載 APP 並經常使用」等不同類型。圖 3 中狀態變數的 A 區表示該樣本為「不會下載 APP」的狀態，若要將這類型用路人之選擇變更為「會下載並常使用」(C 區)的話，有四種路徑可以運用，分別是：

- I. 路徑 1：此路徑的選擇行為屬於漸變模式，會由行為 A 逐漸變化最後變更為 C
- II. 路徑 2：此路徑會先產生兩個突變行為，首先由 A 變為 B，再由 B 變為 C
- III. 路徑 3：此路徑會先產生一個突變行為，狀態 A 會經過狀態 G 後，最後由 A 突變為 C
- IV. 路徑 4：此路徑會先產生一個突變行為，狀態 A 會突變為 C

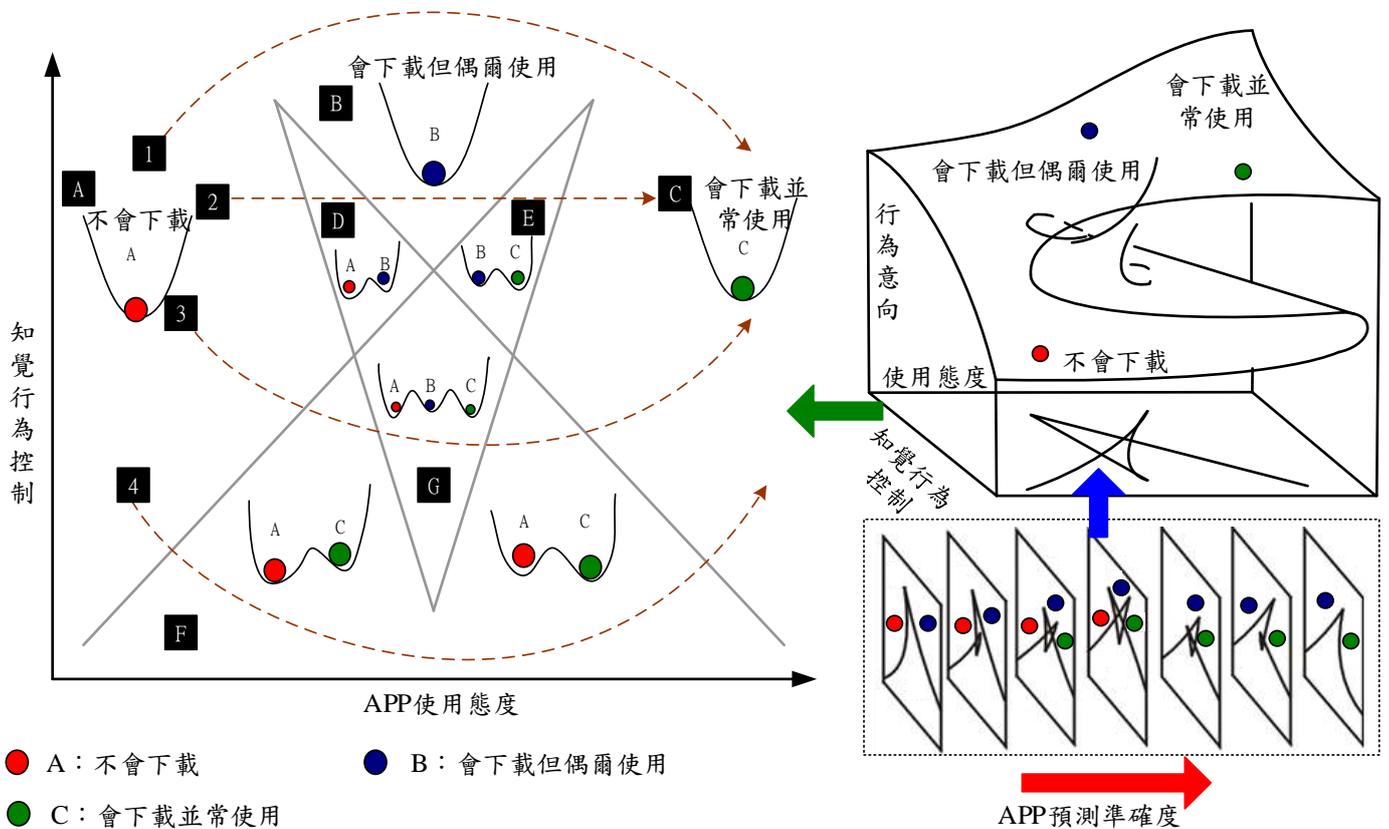


圖 3 下載 APP 行為之蝴蝶劇變模型幾何結構

圖 4 說明蝴蝶劇變模型中各行為狀態的比例與動態變化，各區的比例分別是：(A)不會下載 APP(5.9%)；(B)會下載 APP 且偶爾使用(25.3%)；(C)會下載 APP 並經常使用(22.9%)；(D)有可能是「不會下載 APP」也可能是「會下載 APP 且偶爾使用」(13.7%)；(E) 有可能是「不會下載 APP」也可能是「會下載 APP 並經常使用」(22.6%)；(F)可能僅「會下載 APP 且偶爾使用」也可能僅「會下載 APP 並經常使用」(7.2%)；(G)可能僅「不會下載 APP」也可能僅「會下載 APP 且偶爾使用」或「會下載 APP 並經常使用」(2.4%)。

由圖 4(1)可以知道，明確屬於「不會下載 APP」的族群佔整體樣本的 5.9%，屬於「會下載 APP 且偶爾使用」的族群佔整體樣本的 25.3%，至於屬於「會下載 APP 並經常使用」的族群則是佔整體樣本 22.9%。藉由蝴蝶劇變模型的控制空間，我們可以分析不同使用 APP 的類型在不同情境下的轉移過程，參考圖 4(2)，若由 A 區到 C 區走的是路徑 1，則使用行為會由「不會下載 APP」逐漸慢慢轉為「會下載 APP 並經常使用」，若走的是路徑 2，則使用行為會經過幾次不連續的變化後由原本的「不會下載 APP」最後轉為「會下載 APP 並經常使用」。若交通主管機關可以知道目前用路人的情境，將可以藉由蝴蝶劇變模型根據不同的改變路徑研擬相對應的行銷與管理策略。

圖 4(2)則是情境分析的結果，本研究詢問受訪者若該 APP 的預測結果的準確性由原本的 75%，提高到 95%後，其使用 APP 的服務來決定其出發時間的行為是否會發生變化，其可能的路徑如圖 4(1)所示。對比改善準確性為 95%後與現況的比較，根據圖 4(2)可以發現在「不會下載 APP」的族群比例由原本的 5.9%下降到 2.1%(降低 3.8%)，而「會下載 APP 且偶爾使用」的比例則由 25.3%上升到 30.7%(上升 5.4%)，至於「會下載 APP 並經常使用」的比例則是由 22.9%上升到 42.4%(上升 19.5%)。進一步將區域 A(「不會下載 APP」)移轉到區域 C(「會下載 APP 並經常使用」)的三種路徑說明如下：

- I. 路徑 1：此為漸變模式，用路人會由「不會下載 APP」逐漸改為「會下載 APP 並經常使用」
- II. 路徑 2：用路人行為會由「不會下載 APP」經由兩次突變後改為「會下載 APP 並經常使用」
- III. 路徑 3：此為突變模式，用路人會由「不會下載 APP」突變為「會下載 APP 並經常使用」

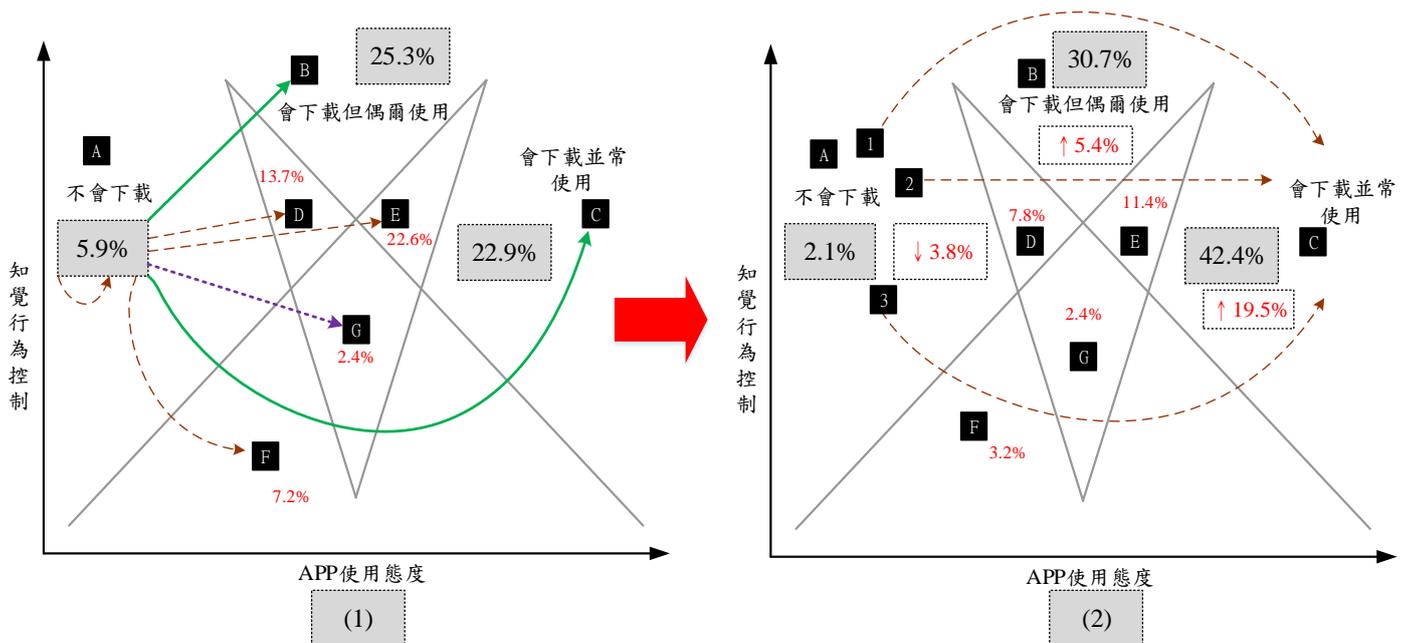


圖 4 蝴蝶劇變模型中各行為狀態的比例與動態變化

● 尖點劇變模型建構與分析

底下本文藉由尖點劇變模型分析用路人是否會經由 APP 的建議而更動其出發時間之行為，在尖點劇變模型中，系統狀態變數(x^*)可經由兩個控制變數(分裂因子： u^* ，正則因子： v^*)來描述，而由控制變數(u^* 、 v^*)所組成的參數空間亦稱為控制空間(Control Space)，狀態變數所處的系统為則為狀態空間(State Space)。正則因子係指一般人的常態思維，例如人的內在偏好；而分裂因子則是指常態下會被忽略的控制變數，例如社會常模、其他外在的環境或本身資源的限制，導致原有的情形不如預期。如圖 5 所示，「行為意向」是本文所關心的狀態變數，續而由前述的分析知道本文將「知覺有用性」作為劇變模型中的「正則因子」。此外，具有「知覺有用性」的顧客不代表「行為意向」比較高，故本研究選擇「知覺行為控制」作為劇變模型中的「分裂因子」。透過操控控制變數，來探討在用路人在選擇是否使用該 APP 軟體服務來變更其出發時間的「行為意向」。

利用尖點劇變模型進行分析，最重要的貢獻則是根據不同 Cardan 判別式($\Delta = 27v^2 - 4u^3$)以及控制變數的不同組合，進而將控制空間(u, v)分成若干區域，當 $\Delta > 0$ 時表示系統存在一個穩定的解，此區域僅有一個極值；若 $\Delta < 0$ 則表示系統落入「雙重模態區」有兩個穩定解，即分歧點集 (Bifurcation Set)，該區有三個極值：一個極大值與兩個極小值，此時無法根據系統參數來判別狀態變數的情況。因此根據知覺風險和知覺有用性的高低以及 Cardan 判別式的正負號可將參數空間劃分為五個區域，詳如圖 5 所示。

根據圖 5 可以知道，不同區域樣本的行為模式與比例，分述如右：「雖然我相信 APP 的預測準確率，但仍傾向不更換旅行時間」(11.6%)、「我相信 APP 的預測準確率，因此傾向更換旅行時間」(14.8%)、「我對於 APP 的預測準確有疑慮，因此傾向不更換旅行時間」(8.3%)、「我對於 APP 的預測準確有疑慮，因此會考慮不更換旅行時間」(14.8%)、「我對於 APP 的預測準確雖有疑慮，但是仍會考慮更換旅行時間」(36.4%)、「我對於 APP 的預測準確雖有疑慮，但仍傾向更換旅行時間」(14.0%)。

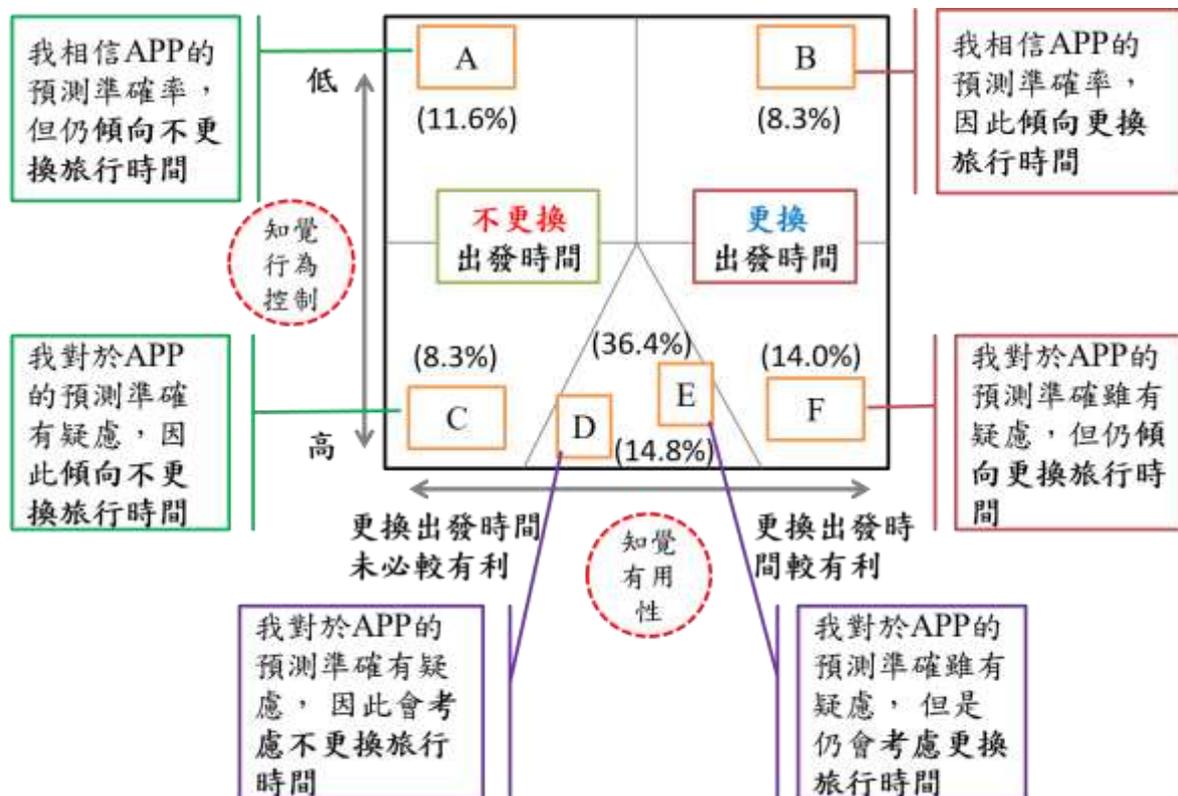


圖 5 是否用 APP 的建議更改出發時間之尖點劇變模型

以圖 5 參數空間的 A 區為例，A 區樣本占整體樣本的 11.6%，因受到知覺行為控制⁴較低的影響，A 區的用路人較其他樣本更容易在「更改出發時間」或「不更改出發時間」間進行轉換，因此當 A 區的用路人因行銷活動等因素對於該 APP 軟體的改善或行銷的刺激下，原本比較傾向不更改出發時間的用路人會開始轉變為傾向使用該 APP 的建議來更改出發時間。

尖點劇變模型中， $\Delta < 0$ 的樣本是落入「雙重模態區」的狀態，落入此區域的樣本有兩個穩定解，也就是圖 5 中的 D 區（佔整體樣本的 14.8%）與 E 區（佔整體樣本的 36.4%），即分歧點集佔整體樣本的（佔整體樣本的 51.2%）屬於知覺風險較高的區域，意味著這兩區的受訪者不容易改變原有的選擇行為，D 區與 E 區的樣本是我們最感興趣的族群，因為該樣本的控制變數組合落入分歧點集，具有雙元性，表示樣本對於「變更出發時間」或「不變更出發時間」具有模擬兩可的情況。參照圖 5 所示，「雙重模態區」的樣本對應至狀態空間則會有兩種狀態，也就是說，落入分歧點集的用路人雖然對於該 APP 的知覺有用性的感受彼此差異不大（對照參數空間的「雙重模態區」），但是該區所對應的狀態空間的兩種狀態卻明顯不同，也就是說狀態空間可能是「變更出發時間」，但也可能是「不變更出發時間」等兩個不同的選擇行為。

藉由尖點劇變模型可以將樣本劃分為不同區域，找尋關鍵特殊用路人可協助交通運輸主管機關思考針對不同區域的用路人，應採取哪些不同的行銷方案，來達到變更改用路人出發時間進而降低交通擁擠的機率。針對行銷對於選擇行為的改變，本文以一個假設的情境進行分析，我們詢問受訪者，若「該 APP 的旅行時間預測準確率達到 95%，且該款 APP 會給予不同的用路人一個建議的出發時間，若接受該段時間且遵守該時間出發的話，該次的高速公路通行費給予免費優惠，請問您會接受嗎？」，分析的結果表示如右：「會接受建議變更出發時間的機會很高」有 45.9%，表示「有可能會接受建議變更出發時間維持原本的出發時間」的比例則有 45.5%，而「不變更原本出發時間的決定」則是 8.5%

● 討論與管理意涵再詮釋

本節將藉由模型的特徵分析不同情境下的管理意涵，如圖 6 所示。首先觀察圖 6 編號 1 的圖形， C_i 與 S_i 分別表示參數組合與該參數組合所對應的系統狀態，不同的 C_i 可以對應到特定的 S_i ，而不同的參數組合（ C_i ）隱藏著行為上的特定意涵。首先觀察知覺行為控制較低的參數組合 C_4 與 C_6 （分別對應狀態空間的 S_4 與 S_6 ）， C_4 表示對樣本對於使用 APP 軟體並更改出發時間的行為意向較低，因此對應狀態變數 S_4 表示該樣本是屬於「不會更改出發時間」的情況。

其次觀察知覺行為控制較高的參數組合 C_5 與 C_8 （分別對應狀態空間的 S_5 與 S_8 ），比較 C_4 與 C_5 所對應的 S_4 與 S_5 ，相較於參數組合 C_4 只對應到單一狀態變數 S_4 ，參數組合 C_5 因落入分歧點集，因此參數組合 C_5 會存在兩個狀態變數（ S_5 與 S_7 ），也就是說此時系統會出現「雙重模態性」的特徵。此時我們無法藉由控制變數的組合（特定的知覺行為控制與知覺有用性）來預測系統的狀態，也就是說當樣本具有較高的知覺行為控制且落入分歧點集時，即使用路人對於使用 APP 的建議而更動出發時間的意願較高，

由於此時系統具有「雙重模態性」特徵，因此我們無法藉由控制變數的特定組合確認該受訪者是否就一定會改變出發時間。前述分析的重點在於說明當樣本具有較高的知覺行為控制，且該樣本對於是否對於改變出發時間的知覺有用性沒有很大的差別時，若原本樣本是屬於不會改變出發時間的行為，此時即使用路人因為其對 APP 的服務更滿意，知覺有用性的態度也更高，但因為此時的受訪者具有較高的知覺行為控制，因此其行為仍會停留在不會更改出發時間的情況。

⁴ 知覺行為控制是由「很多時候，出發的時間不是我一個人說了算」以及「我對於 APP 旅行時間的預測準確率沒有很大的信心」等兩個問項所組成。

底下我們藉由劇變模型說明知覺行為控制的高低對於行為的不同影響，考慮三個同樣屬於「不會改變出發時間」但各自具有不同知覺行為控制之樣本（如圖 6 的編號 2 中的 C_{11} 、 C_{21} 與 C_{31} ），若因為知覺有用性或對於使用 APP 的態度更正面進而強化其行為意向時，此外在刺激(如根據 APP 的建議更改出發時間將享有高速公路通行折扣)會將控制變數由 C_{11} 、 C_{21} 與 C_{31} 移動到 C_{12} 、 C_{22} 與 C_{32} ，讓這三個原本比較傾向「不會更改出發時間」的用路人會開始轉變為傾向「會更改出發時間」，此時這三個樣本的狀態會由原先的 S_{11} 、 S_{21} 與 S_{31} 分別移動到 S_{12} 、 S_{22} 與 S_{32} ，觀察編號 2 的圖可以發現知覺行為控制最高的樣本，由於移動後的控制變數 C_{32} 仍停留在分歧點集，表示系統的狀態 (S_{32}) 仍處於「不會更改出發時間」之狀態。我們也可以利用牛頓第二運動定律 $F = m \times a$ 來解釋將知覺行為控制較高的情況：給定相同的外在刺激或影響 (F)，對於具有不同知覺行為控制的樣本而言 (具有不同的 m)，所獲得的效果會不一樣 (a)，因此當知覺行為控制較高時 (參數組合 S_{31} 所對應的狀態 C_{31})，同樣的外在刺激便無法達到應有的效果。也就是說想要影響知覺行為控制較高的用路人行為，所要花費教育或溝通成本往往會比知覺行為控制較少的用路人來的多。

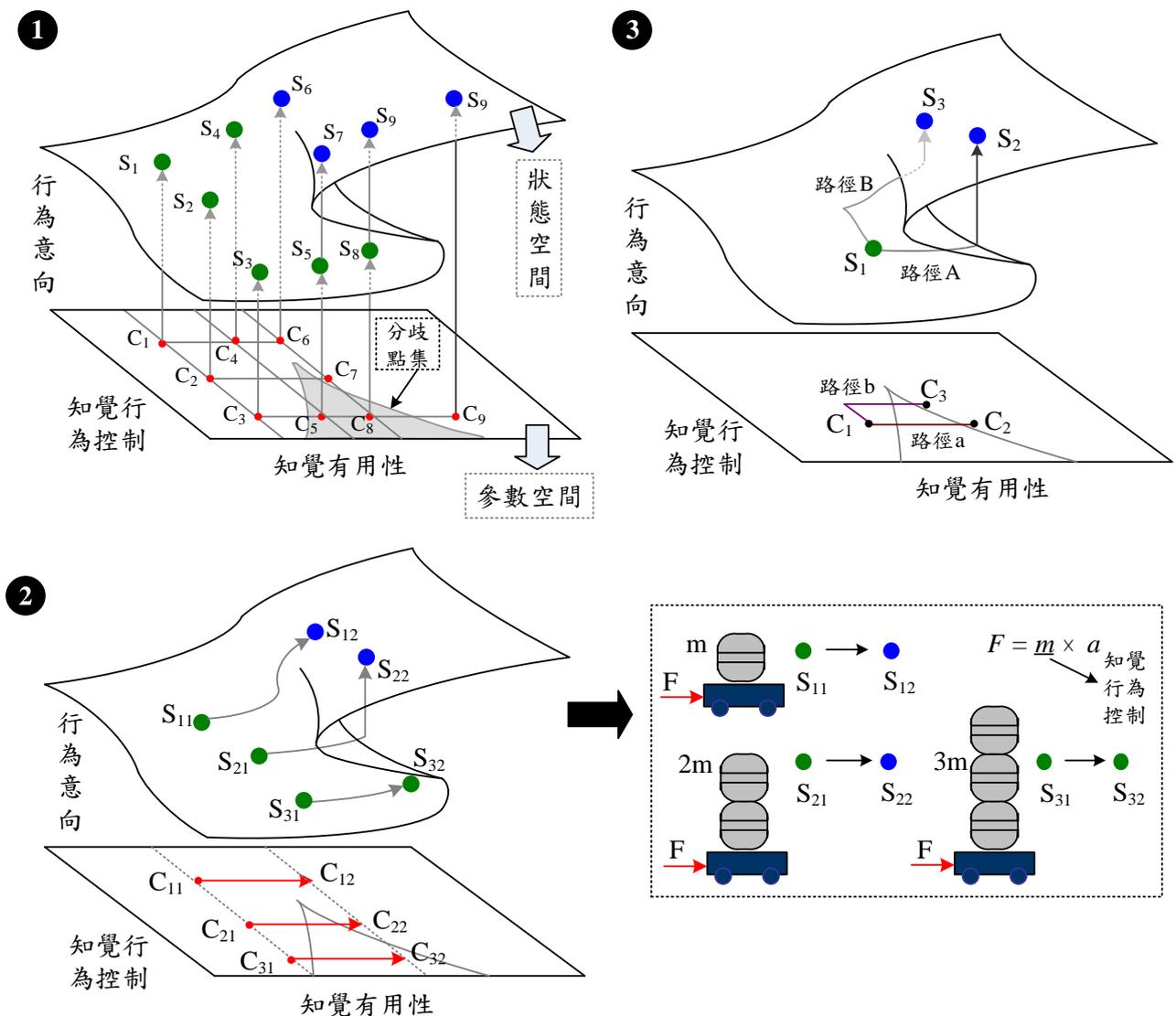


圖 6 尖點劇變模型的管理意涵再詮釋

接續前面的分析，考慮圖 6 編號 3 的情況，變參數組合 C_i 的所對應的狀態變數為 S_i ，該樣本表示對於在對於 APP 建議更改出發時間的建議時，會真的更改出發時間的行為意向較低，因此其行為是屬於「不會更改出發時間」的狀態。對於高速公路管理單位而言，有兩種策略可以改變參數組合 C_i 的選

擇行為，策略 A 是持續不斷的藉由 APP 的改善或行銷刺激，經由強化 APP 使用的態度與知覺有用性來達到強化其「更改出發時間」的行為意向，直到用路人的行為轉變為「會更改出發時間」的狀態為止，參數空間的路徑 a 就是策略 A 的情境。另一種策略 B 是考慮到樣本的知覺行為控制，並試圖先降低其知覺行為控制，如透過教育宣導使用 APP 來規劃出發時間的好處，獲持續改善 APP 得預測準確率。當這些降低知覺行為控制的策略奏效後，再設法藉由行銷溝通來強化其變出發時間的知覺有用性，進而達到希望用路人會根據 APP 的建議來更改出發時間的目的，參數空間的路徑 b 便是說明這樣的策略路徑。策略 A 與策略 B 都可以達到讓用路人原本屬於「不會更改出發時間」的狀態，轉變為「會更改出發時間」狀態的目標，相對於策略 B 而言，策略 A 需要花費較多的資源來改進教育與行銷溝通，而策略 B 則是藉由先降低用路人的知覺行為控制後，便可以用較有效率的行銷溝通來讓用路人會根據 APP 的建議來更改出發時間。

● 結論與建議

隨著智慧型手機的普及以及第三方應用軟體(底下簡稱 APP)的應用層面廣泛，道路使用者可透過國道路況即時通 APP，了解國道高速公路、快速道路即時影像(CCTV)、路況、行車速率，以及沿線道路壅塞、施工、散落物等即時事件資訊。雖然民眾可從 APP 得知國道五號的即時路況壅塞情形，以及各路段的資訊，但目前國道路況相關 APP 無法提供道路使用者未來的預測流量，在無法選擇其他路徑的情況下，民眾仍無法確切決定更動的出發時間點，則不能分散車流，因此道路壅塞的問題依舊存在。由上述的分析可以知道，造成道路壅塞的因素除了天候、事故外，用路人的預期心理因素也是一個不可忽視的因素。本計畫提出用路人使用 APP 軟體的建議來變更出發時間的策略，期望藉由改變關鍵少數的用路人來達到舒緩交通擁塞的目標。本計畫首先以「知覺有用性」、「知覺行為控制」、「態度」、「主觀規範」來建構影響「行為意向」的結構方程模型，研究結果發現「知覺有用性」是影響「行為意向」最主要的因素；其次經由設定變數 t 為行動載具與行動上網的普及程度、變數 u 則是有關規劃(或預約)旅行出發時間 APP 的下載量(有多少比例的用路人使用)以及服務品質屬性(如易用性、有用性等)的綜合性指標、變數 w 為消費者的知覺行為控制(如人格特質、知覺風險等)、變數 v 則是消費者對於該 APP 的使用態度來建構蝴蝶劇變模型，來分析用路人是否會下載該 APP 或下載 APP 後使用的頻率；最後則是以「知覺有用性」與「知覺行為控制」來建構是否會改變出發時間的「行為意向」之尖點劇變模型，並經由模型的動態分析探討相關的交通管理意涵。研究結果可供運輸業者研擬營運策略藉此提供更符合使用者的需求服務，同時亦可作為政府部門研擬有關大數據分析平台相關計畫之參考。

參考文獻

1. 王盈惠(2007)，台灣高速鐵路營運後對城際間運送能量影響之研究，逢甲大學交通工程與管理所碩士論文。
2. 布侃南 (M. Buchanan)，2007，隱藏的邏輯：掌握群眾行為的不敗公式 (葉偉文譯)，天下文化。
3. 西成活裕，2008，壅塞學，究竟出版社。
4. 曹雅博(2006)，實施共乘計程車對旅運者行為之影響，逢甲大學交通工程與管理所碩士論文。
5. 童啟晟(2012)，巨量資料 (Big Data) 市場發展現況與商機探討，MIC 產業情報研究所，財團法人資訊工業策進會。
6. 楊耿瑜、葉乃嘉(2015)，巨量資料應用發展趨勢，政府機關資訊通報第 331 期。
7. 詹森 (N. Johnson)，2011，大科學：解析群眾行為、金融風暴、流行病毒、戰爭衝突背後的共通脈絡(林俊宏譯)，天下文化。
8. 劉益豪(2006)，應用資料採礦探討航空旅客之線上購票行為，中華大學科技管理研究所碩士論文。
9. 閻仕為(2014)，智慧型手機應用程式對運具選擇行為之影響研究，國立臺灣大學土木工程學研究所

碩士論文。

10. 戴廷芳 (2014) , 2020 年 全 球 資 料 量 將 成 長 至 44ZB , 取 自 iThome , 網 址 <http://www.ithome.com.tw/article/87190> 。
11. Australia Government (2014), 2014 Australian Government Information Security Manual Principles, http://www.asd.gov.au/publications/Information_Security_Manual_2014_Principles.pdf.
12. Ben-Elia, E., D. Ettema (2011), Rewarding rush-hour avoidance: A study of commuters' travel behavior, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 45, No. 7, pp. 567-582.
13. Berry, M.J. & Linoff, G. (1997), *Data Mining Techniques: For Marketing, Sales, and Customer Support*, NY: John Wiley and Sons Inc.
14. Beyer, M.A. and Laney, D. (2012), The Importance of "Big Data": A Definition, Gartner.
15. Brakewood, C., et al. (2014), An experiment evaluating the impacts of real-time transit information on bus riders in Tampa, Florida, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 69, pp. 409-422.
16. Cabena, P., Hadjinian, P., Stadler, R., Verhees, J., Zanasi, A. (1998), *Discovering data mining: from concept to implementation*, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA
17. Carven, M.W., Shavlik, J.W. (1997), Using neural networks for data mining, *Future Generation Computer System*, Vol. 13, No. 221-229.
18. Chidley, J., Lewis, P., Walker, P. (1978), The Cusp Catastrophe as a Market Planning Aid, *Behavioral Science*, Vol. 23, pp. 351-354.
19. Curt, H. (1995), The Devil's in the Detail: Techniques, Tools, and Application for Database mining and Knowledge Discovery-Part 1, *Intelligent Software Strategies*, Vol. 6, No. 9, pp. 1-15.
20. Dendrinis, D. S. (1978), Operating speeds and volume-to-capacity ratios: the observed relationship and the fold catastrophe, *Transportation Research*, Vol. 12, pp. 191-194.
21. Dillon, D. S., Hall, F. L. (1987), Freeway Operations and the Cusp Catastrophe: an Empirical Analysis, *Transportation Research Record*, pp. 66-76.
22. Dziekan, K., K. Kottenhoff (2007), Dynamic at-stop real-time information displays for public transport: effects on customers, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 41, No. 6, pp. 489-501.
23. Eleni I. Vlahogianni, Byungkyu Brian Park, J.W.C. van Lint (2015), Big data in transportation and traffic engineering, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 58, Part B, pp. 161.
24. Erev, I., Ert, E., Roth, A. E. (2010), A choice prediction competition for market entry games: An introduction, *Games*, Vol. 1, pp. 117-136.
25. Ettema, D., et al. (2012), How in-vehicle activities affect work commuters' satisfaction with public transport, *Journal of Transport Geography*, Vol 24, pp. 215-222.
26. Frawley, W. J., Paitetsky-Shapiro, G., Matheus, C. J. (1991), Knowledge Dis-cover in Databases: An Overview, *Knowledge Discovery in Databases*, California, pp. 1-30.
27. Frawley, W. J., Paitetsky-Shapiro, G., Matheus, C. J. (1991), Knowledge Dis-cover in Databases: An Overview, *Knowledge Discovery in Databases*, pp. 1-30.
28. Fu (1997), Statistical tests of neutrality of mutations against population growth, hitchhiking and background selection, *Genetics*, Vol, 147, No, 2, pp. 915-25.
29. Gilmore, R. (1981), *Catastrophe Theory for Science and Engineers*, New York: John Wiley & Sons.
30. Gopalkrishnan, V., Steier, D., Lewis, H., Guszczka, J. (2012), Big data, big business: bridging the gap, 1st International Workshop on Big Data, Streams and Heterogeneous Source Mining: Algorithms, Systems,

- Programming Models and Applications, pp. 7-11.
31. Guo, Z. (2011), Mind the map! The impact of transit maps on path choice in public transit, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 45, No. 7, pp. 625-639.
 32. Han, J., Kamber, M. (2000), *Data Mining: Concepts and Techniques*, CA: Morgan Kaufman.
 33. Haque, M. M., et al. (2013), Sustainable, safe, smart-three key elements of Singapore's evolving transport policies, *Transport Policy*, Vol. 27, pp. 20-31.
 34. ICO (2014), Big Data and Data Protection, Web site: <https://ico.org.uk/media/for-organisations/documents/1541/big-data-and-data-protection.pdf> .
 35. Jinlun Zhang (2007), Increasing Antarctic Sea Ice under Warming Atmospheric and Oceanic Conditions, *J. Climate*, Vol. 20, pp. 2515–2529.
 36. John E. Disbro, Michael Frame (1989), Traffic Flow Theory and Chaotic Behavior, *Transportation Research Record* 1225, pp. 109-115.
 37. King, Ruth C., Vikram Sethi (1998), The Impact of Socialization on the Role Adjustment of Information Systems Professionals, *Journal of management*, Vol. 14, No. 4.
 38. Kleissner, C. (1998), Data Mining for the Enterprise, *Proceedings of the 31st Annual Hawaii International Conference On System Sciences*, pp. 295-304.
 39. Kusnetzky, D. (2010), What is "Big Data?" Retrieved January 24, 2015, from ZDNet, Web site: <http://www.zdnet.com/article/what-is-big-data>
 40. Kwan, I. S. Y., Fong, J., & Wong, H. K. (2005). An e-customer behavior model with online analytical mining for internet marketing planning. *Decision Support Systems*, 41(1), 189-204.
 41. Lange, R., McDade. S., Oliva. T. A. (2001), Technological choice and network externalities: a catastrophe model analysis of firm software adoption for competing operating systems, *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 12, pp. 29-57
 42. Manyika J, Chui M, Brown B, Bughin J, Dobbs R, Roxburgh C, Byers AH (2011), Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute.
 43. Mayer-Schonberger, V., Cukier, K. (2013), *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*, Geneva, IL: Eamon Dolan/Houghton Mifflin Harcourt.
 44. Oliva T, Desarbo W, Day D, Jedidi K (1987), GEMCAT: A general multivariate methodology for estimating catastrophe models, *Behavioral Science*, Vol. 32, No. 2, pp. 121-137.
 45. Oliva, T., R. L. Oliver, I. MacMillan (1992), A Catastrophe Model for Developing Service Satisfaction Strategies, *Journal of Marketing*, Vol. 56, pp. 83-95.
 46. Rahman, M. M., et al. (2013). "Users' views on current and future real-time bus information systems." *Journal of Advanced Transportation* Vol. 47, No. 3, pp. 336-354.
 47. Rakesh Agrawal, Tomasz Imieliński, Arun Swami (1993), Mining association rules between sets of items in large databases, *Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp.207-216.
 48. Satiennam, T., et al. (2015), Potential for modal shift by passenger car and motorcycle users towards Bus Rapid Transit (BRT) in an Asian developing city, IATSS Research.
 49. Scott, N. (2006), The basis for biblio mining: frameworks for bringing together usage-based data mining and biblio metrics through data warehousing in digital library services, *Information Processing & Management*, Vol. 42, pp. 785-804.

50. Shaw, M. J., Subramaniam, C., Tan, G. W., Welge, M. E. (2001), Knowledge management and data mining for marketing, *Decision Support Systems*, pp. 127-137.
51. Silver, N. (2012), *The signal and the noise: why so many predictions fail-but some don't*, New York: Penguin Press.
52. Smyth, P., Burl, M., Fayyad, U., Perona, P. (1996), Modeling Subjective Uncertainty in Image Annotation, In *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 517–540.
53. Stewart, I. N., Peregoy, P. L. (1982), Catastrophe theory modeling in psychology, *Psychological Bulletin*, Vol. 94, pp. 336-362.
54. Tang, L., P. Thakuriah (2012), Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* Vol. 22, pp. 146-161.
55. Wales, D. J. (2001), A microscopic basis for the global appearance of energy landscapes, *Science*, Vol. 293, pp. 2067-2070.
56. Watkins, K. E., et al. (2011), Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 45, No 8, pp. 839-848.
57. White, T. (2012), *Hadoop: The Definitive Guide*, 3rd Edition, CA: O'Reilly Media Yahoo Press.
58. Xiaoyan Zhang, David F. Jarrett (1998), Chaos in a dynamic model of traffic flows in an origin-destination network, *Chaos*, Vol. 8, No. 2, 503-513.
59. Y Xue, C Kuang, S Li, Z Gu, X Liu (2012), Sharper fluorescent super-resolution spot generated by azimuthally polarized beam in STED microscopy, *Optics express*, Vol. 20, No. 16, pp. 17653-17666.
60. Zeeman, E. C. (1974), On the unstable behavior of stock exchanges, *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 1, pp. 39-49.

南華大學專任教師移地研究報告書

2017 年 2 月 5 日

報告人姓名	黃昱凱	服務單位 及職稱	南華大學 文化創意事業管理系
移地研究時間	2016/12/26-2017/1/ 25	移地研究地點	日本東京（明治大學）
計劃名稱	何時出發較好：以劇變模型分析出發時間的決策行為 計畫編號：105-2410-H-343 -007 -		
移地研究經過	<ul style="list-style-type: none">● 12/26：台北搭機前往日本明治大學● 12/27：拜會明治大學大学院許佑旭特任准教授● 12/28~12/30：相關研究文獻資料收集● 1/4：前往明治大學大学院許佑旭特任准教授實驗室研究生進行專題演講● 1/6：拜會明治大學大学院商學研究科菊池一夫教授¹● 1/9~1/11：研究時間● 1/12：seminar(許佑旭特任准教授)● 1/13：拜會日本大學生產工學部阿部忠教授²● 1/16~1/17：研究時間● 1/23：seminar(菊池一夫教授)● 1/24：seminar(許佑旭特任准教授)● 1/25：日本東京搭機返回台灣		

¹ http://www.meiji.ac.jp/dai_in/commerce/faculty/02/6t5h7p00000bb939.html

² <http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/45/0004404/profile.html>

<p>移地研究心得 與建議</p>	<p>這次有機會前往日本明治大學進行與大數據分析有關的移地研究，首先謝謝科技部經費補助，以及南華大學長官的支持。這次前往日本明治大學發現幾個現象：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 日本大學很多都有很多校區，向日本大學、東京大學、明治大學等的都是，建議南華大學可以參考。 ● 人工智能的相關研究與圖書十分多，也受到很多重視，除了學校開課、研究經費補助、相關圖書與雜誌也很多，這方面的研究在台灣仍屬較為缺乏，建議學者可以多投入。
<p>考察參觀活動</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 1/5：田野調查（考察東京公共運輸與私人運具利用新科技的整合現況） ● 1/18：參加 Measurement and Analysis for Electronics Manufacturing and R&D 會議³ ● 1/19：參加 3rd WEARABLE EXPO -Wearable Device & Technology 展覽⁴ ● 1/20：參加 Connected Car 展覽⁵
<p>攜回資料名稱 及內容</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 大數據與統計分析相關圖書 兩冊 ● 人工智能相關圖書 五冊 ● 機器人 相關圖書 一冊

³ http://www.nepconjapan.jp/en/About/ELECTROTEST_JAPAN/

⁴ <http://www.wearable-expo.jp/en/>

⁵ <http://www.connected-car.jp/en/>

105年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：黃昱凱			計畫編號：105-2410-H-343-007-				
計畫名稱：何時出發較好：以劇變模型分析出發時間的決策行為							
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇		
		研討會論文		0			
		專書		0	本		
		專書論文		0	章		
		技術報告		0	篇		
		其他		0	篇		
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			
	技術移轉	其他		0			
		件數		0	件		
	收入		0	千元			
	國外	學術性論文	期刊論文		1	篇	運輸計畫季刊，已投稿，審查中
			研討會論文		1		International Conference on Business and Social Science (ICBASS), 2018, 論文編號：ICBASS-0028
專書			0	本			
專書論文			0	章			
技術報告			0	篇			
其他			0	篇			
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			

		著作權	0		
		品種權	0		
		其他	0		
	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	
		碩士生	2		兩位
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

Explore the decision behavior of departure time based on butterfly model, International Conference on Business and Social Science (ICBASS)（已接受，論文編號：ICBASS-0028）

何時出發較好：以劇變模型分析出發時間的決策行為，運輸計畫季刊（已投稿）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

隨著智慧型手機的普及以及第三方應用軟體(底下簡稱APP)的應用層面廣泛，道路使用者可透過國道路況即時通APP了解國道高速公路即時事件資訊。雖然民眾可從APP得知國道五號的即時路況壅塞情形，但目前國道路況相關APP無法提供道路使用者未來的預測流量，民眾若無法確切決定更動的出發時間點，則不能分散車流，因此道路壅塞的問題依舊存在。本計畫提出用路人使用APP軟體的建議來變更出發時間的策略，期望藉由改變關鍵少數的用路人來達到舒緩交通擁塞的目標。本計畫首先以「知覺有用性」、「知覺行為控制」、「態度」、「主觀規範」來建構影響「行為意向」的結構方程模型，研究結果發現「知覺有用性」是影響「行為意向」最主要的因素；其次經由設定變數t為行動載具與行動上網的普及程度、變數u則是有關規劃(或預約)旅行出發時間APP的下載量以及服務品質屬性的綜合性指標、變數w為消費者的知覺行為控制、變數v則是消費者對於該APP的使用態度來建構蝴蝶劇變模型，來分析用路人是否會下載該APP及使用頻率；最後則以「知覺有用性」與「知覺行為控制」來建構是否會改變出發時間的「行為意向」之尖點劇變模型，並經由模型的動態分析探討相關的交通管理意

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關交通部，
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

說明：(以150字為限)

是