

以尖點劇變模型探討油價與高鐵折扣票 價對城際運具選擇行為之影響

EXPLORING THE EFFECTS OF OIL PRICE AND HSR TICKET DISCOUNTS ON INTERCITY MODAL CHOICE BEHAVIORS BASED ON A CUSP CATASTROPHE MODEL

郭奕姝 Yi-Wen Kuo¹

(101 年 5 月 8 日收稿，101 年 7 月 20 日第一次修改，101 年 9 月 6 日定稿)

摘 要

因應高油價時代的來臨與綠色運輸政策的推動，本研究課題著重於探討小汽車與高鐵兩城際運具間，受運具使用成本差價影響下的競爭關係。有別於過去研究多採線性個體選擇模式，本研究嘗試應用尖點劇變模型，試著從非線性觀點分析城際旅運者的運具選擇行為，並了解可能存在的非線性特徵，同時採定量與定性分析方法。實證研究主要針對高鐵市場的潛在旅客小汽車駕駛人進行問卷調查，共蒐集 614 份長程旅次樣本。有關運具選擇行為模型的校估，係以運具選擇意向作為狀態變數，至於控制變數之正則因子與分裂因子則分別設定為運具使用成本差價與移轉障礙，並檢定控制空間中六個區域的樣本結構分布比例的差異性，進一步解釋運具選擇行為可能產生之發散性、突變性、滯後性與雙重性等劇變特徵，以及其於行銷管理應用上之意涵。駕駛人認知的移轉障礙較高，且當油價漲至 34 元/公升以上，趁勢搭配 6 折以下的高鐵票價折扣優惠時，運具選擇行為最易發生不連續變化現象。

1. 樹德科技大學運籌管理系副教授 (聯絡地址: 82445 高雄市燕巢區橫山路 59 號樹德科技大學運籌管理系; 電話: 07-6158000 ext.4514; E-mail: shauai.tt91g@nctu.edu.tw)。

關鍵詞：油價；高鐵折扣票價；運具選擇行為；移轉障礙；尖點劇變模型

ABSTRACT

Realizing the effects of the price difference between cars and high speed rail on drivers' modal choice behavior is a crucial issue for making intercity travel decisions. Differing from previous studies, in which discrete choice models were used to discuss drivers' modal choice behavior, this paper attempts to apply the cusp catastrophe model to discuss drivers' modal choice behavior under various modal price scenarios and describe their non-linear characteristics through quantitative and qualitative analysis. According to the empirical study, the questionnaire survey that was conducted received 614 valid samples from freeway drivers who travel long-distance in Taiwan. The proposed behavioral model used "modal choice intention" as the state variable while "switching barrier" and "modal price difference" were used as the splitting factor and normal factor of the control variable, respectively. The test of independence was performed to check sample structures for six areas of the control space, and the catastrophe characteristics (such as divergence, catastrophe, hysteresis, and bimodality) of switching behavior were discussed. A higher switching barrier would easily cause discontinuous behavior especially while encountering higher oil prices (NT\$34/litre) with 60% discounts implemented for HSR tickets.

Key Words: Oil price; HSR ticket discounts; Modal choice behavior; Switching barrier; Cusp catastrophe model

一、緒論

臺灣高鐵 (Taiwan High Speed Rail, THSR) 甫於 2007 年 1 月營運通車，雖擔負西部城際運輸走廊重要角色，轉移了國內航空客運、國道客運與臺鐵等替代運具的部分運量，惟其平均載客率逐年成長緩慢，以 2012 年 2 月為例，其客座利用率仍僅占 52.43%^[1]。就城際運具間的競爭關係來看，由於臺灣高鐵在各大眾運輸替代運具間的票價相對較高，因此，僅票價水準與旅行時間相似的國內航空客運明顯受衝擊，而導致其運量嚴重萎縮，至於臺鐵與國道客運雖受到高鐵採行的多項價格促銷優惠影響，但由於其票價仍相對低廉，且其營運路線之可及性與便利性仍較高，因此，其受影響轉移至高鐵的運量相當有限。

雖然高鐵營運至今推出多項票價優惠方案，惟以城際旅客對票價接受度來看，高鐵至今運量的成長，仍只能吸引部分時間價值較高的城際大眾運輸旅客，對慣於依賴私人運具便利及戶性與機動性高等優勢的小汽車駕駛人來說，高鐵票價相對較高且轉乘不便等限制，使得轉搭高鐵的意願仍甚低，私人運具的平均使用率仍高達 74.1%^[2]。因此，從擴展大眾運輸市占率的角度來看，在大眾運輸市場各運具運量有限的情況下，如何吸引更多私

人運具轉搭高鐵以突破營運發展困境，確實為日後亟需思考的重要課題。

在國際原油價格節節調漲的衝擊下，國內無鉛汽油的平均浮動油價已於去年（2011年）衝破每公升 30 元大關，近期（2012 年 4 月）九五無鉛汽油更首度飆漲超過 35 元／公升^[3]，宣告高油價時代的來臨；加上汽車燃料稅隨油徵收的政策議題再度被提出討論，更使得私人運具的使用成本負擔加重，此外，隨著近來環保意識的推波助瀾，強調節能減碳的綠色軌道運輸工具因而再度受到重視。就國內城際軌道運輸市場而言，此時亦為高鐵搶攻城際運輸潛在客源之重要契機，因此激發本研究動機，期能針對高鐵票價與私人運具使用成本間的競爭關係，進一步討論其對城際運具選擇行為的影響。

過去國內外有關高鐵營運對城際運具選擇行為的研究^[4-15]，多半著墨於票價水準、旅行時間或服務品質等量化或質化變數對旅運需求的影響，以推估各城際替代運具的市占率，且有關運具選擇行為模式的校估，也多半採個體選擇模式等線性研究方法。然而，觀察高鐵營運以來所推出的一連串價格促銷方案，包括自由座、藍橘雙色優惠、四人同行一人免費、回數票與定期票、早鳥優惠等價格折扣方案，雖然確實能提昇部分運量，惟其究竟能吸引多少私人運具轉乘，其成效仍有待評估，且高鐵票價折扣比例與私人運具轉搭意願亦不必然呈線性關係。個體選擇模式主要是以解釋變數預測旅運者選擇運具的可能機率，惟觀察旅運者對運具使用成本的變化，多半會有一段維持既有選擇決策的容忍期，可視為選擇行為反應的遲滯效果，多半需達到一定的運具使用成本門檻，旅運者才會無法容忍既有運具使用成本的改變，進而產生突變性的運具選擇行為，種種屬於非線性的行為現象，均適合以非線性的劇變理論（catastrophe theory, CT）來解釋及判斷旅運者可能存在的劇變行為特徵。

已有學者認為選擇行為屬於一種非連續、且會產生突然變化的非線性系統，並採用法國數學家 René Thom (1923-2002) 提出的劇變理論分析其非線性的不連續變化現象^[16-18]，劇變理論在消費者選擇行為方面的研究已相當成熟^[19-23]。目前尚未有研究運用劇變理論於解釋旅運者運具選擇之非線性行為現象，且由於本研究初步判定運具選擇行為應具有劇變模式中突變性（catastrophe）、雙重性（bimodality）與遲滯性（hysteresis）等劇變特徵，可利用劇變模型描述旅運者各種可能的運具選擇非線性行為特徵。由於尖點劇變模型（cusp catastrophe model, CCM）具有簡單且便於解釋的優點，是最常被運用的劇變模型^[24]，因此，本研究嘗試應用尖點劇變模型，分析小汽車駕駛人在面臨運具使用成本差價的變動下（即小汽車使用成本與高鐵折扣票價的差價），可能調整的城際運具選擇行為，以判定那些駕駛族群會因油價調漲與高鐵票價促銷優惠的影響而改搭高鐵，或者不受運具使用成本的變動影響仍維持繼續行駛高速公路，抑或是運具選擇決策傾向兩者均可接受的駕駛族群。

爰此，本研究目的在於透過敘述性假設情境模擬各種可能的運具使用成本差價情境，同時考量小汽車油價變化與高鐵折扣票價等量化成本因素，以及影響小汽車駕駛人運具選擇之重要內在質化因素，運用尖點劇變模型建構城際運具選擇行為模型，並了解旅運者運具選擇可能存在的非線性選擇行為特徵，可同時從定量與定性角度分析運具選擇行為，期

能解釋更多的行為特徵。本研究結果將可供後續交通管理單位研訂城際旅運需求管理策略之參酌，亦有利於協助高鐵營運行銷效果之評估。

二、文獻探討與研究架構

2.1 文獻探討

有鑑於傳統鐵路運輸效能難以滿足城際運輸需求，加上能源價格日益調漲與環境保護意識高漲，具備快速、安全、準點、高運能與節能低污染等特性的高鐵，已逐漸在許多先進國家取得城際運輸的競爭優勢，並期能藉此帶動區域發展。近期國內外有關高鐵相關研究^[4-15]，主要評估高鐵加入城際運輸市場營運前後，對城際旅運者運具選擇行為的影響，研究課題多半著重於分析替代運具間（如國內航空、傳統鐵路、客運與小汽車）的競爭關係與市占率的消長，以及相關影響因素。

考量既有小汽車、公車與租用公車等現有運具的競爭條件，Hensher^[4]預測澳洲雪梨至坎培拉的高鐵潛在營運交通量，包括轉變的和誘生的旅次需求量；該研究以敘述性偏好法設計調查問卷，主要變數包括高鐵旅行時間、服務班次、費率範圍與折扣比例等，藉以評估旅客運具選擇偏好。Park 與 Ha^[5]調查韓國高鐵（KTX）營運對國內航空市場的影響，研究範圍界定在首爾至大邱間，利用敘述性偏好設計問卷，以金浦機場、大邱機場的旅客為研究對象，將起點至高鐵車站或機場的接駁時間與接駁費用，以及航空或高鐵的班次為主要變數；利用多項羅吉特模式校估結果發現，受訪者對高鐵的偏好明顯大於國內航空，且費用是旅客選擇運具時主要考量的變數。

González-Savignat^[6]預測西班牙高鐵營運後，小汽車駕駛者對小汽車與高鐵的運具選擇行為，以費用、旅行時間與高鐵班次為主要考量變數，蒐集短、長程旅次與商務、休閒旅次等受訪者偏好資料，並以多項羅吉特模式進行校估；該研究結果顯示若高鐵開始營運，多數小汽車駕駛人會移轉至搭乘高鐵，且費用為其運具選擇的關鍵因素。此外，Roman 等人^[7]則針對西班牙高鐵營運後對國內航空市場之影響進行研究，利用多項與巢式羅吉特模式進行校估，設計不同的旅行時間與票價組成之高鐵或航空選擇情境，供城際客運、國內航空、傳統鐵路的使用者、小汽車駕駛者與乘客等受訪者選擇；分析結果顯示，無論國內航空的旅行時間與票價下降幅度再大，選擇國內航空的人數仍為少數。

Correnti 等人^[8]則以歐洲 25 個城市為研究範圍，研究旋翼機加入城際運具市場的可能性，了解旅客對高鐵、一般民航機與旋翼機的選擇偏好，並以旅行時間、費用與班次為研究變數，運用多項羅吉特模式建構城際運具選擇模式；研究結果顯示，在 400 公里以下且交通量較高的城市中，選擇高鐵的機率較高，至於交通量少且距離長的城市中，旅客選擇旋翼機與一般民航機的機率則相對較高；旋翼機則因飛行時間較短且不需跑道，對時間價值較高的旅客較具吸引力。Ortúzar 和 Simonett^[9]研究智利的高鐵與國內航空業之間的

競爭關係，以旅行時間、票價、舒適度與準點性等變數設計九種假設情境，針對客運、傳統鐵路與航空的旅客進行調查；使用巢式羅吉特模式校估發現，準點性為影響運具選擇的主要變數，其次為旅行時間、費用與舒適度；其中，高所得受訪者時間價值明顯高於低所得者，低所得受訪者對費用的在意程度明顯高於高所得者。

國內亦有相關研究探討臺灣高鐵營運對城際運具選擇行為的影響，王盈惠^[10]分析臺灣高鐵對中長途運輸市場的衝擊，該研究蒐集臺北、臺中、高雄三地搭乘航空、台鐵、國道客運及自行開車的駕駛者之旅運行為資料，由旅客旅次頻率分析衍生需求的變化，以多項羅吉特模式進行校估；研究結果發現，高鐵營運對國內航空市場的影響最大，且高鐵增加了 1.14% 的衍生需求量，其中接駁時間、職業與月收入高低等為影響選擇運具的重要因素。謝尚行與徐翊庭^[11]調查臺北至高雄、臺北至臺中、臺中至高雄三條路線使用高鐵、航空、臺鐵、客運及小汽車的城際旅運者，以多項羅吉特模式之校估結果發現，總旅行時間、起迄點接駁時間、性別、學歷、個人所得、職業、擁有車輛數等，均會影響選擇行為。

Yang 與 Sung^[12]則探討臺灣高鐵對旅運者選擇行為與整體運輸市場的影響，以混合羅吉特模式建構城際運具選擇模式並繪製定位圖，考量個體偏好的異質性與方案的市場定位，主要變數為旅行時間、票價、班次與是否擁有哩程酬賓卡等；研究結論發現高鐵加入後，旅運者對時間的在意程度提高，但個體異質性卻沒有顯著差異，而台鐵自強號與立榮航空的乘客轉移至高鐵的機率最大，票價則是決定各運具市場定位的重要因素。從高鐵與飯店服務異業結合的角度，鄭永祥等人^[14]探討旅行成本、旅行時間、有無限定搭乘時間、退票額度限制與訂位時間等不同的運具變數水準值，對原先台北至高雄間使用高鐵、客運與小汽車等旅客的選擇行為影響；分析結果顯示，當高鐵票價調降至六成，再搭配某些套票之使用限制，將使高鐵搭配飯店之產品市占率提高至五成以上。

由上述有關高鐵對城際各替代運具影響之相關研究可知，其研究方法仍以線性模型為主，例如採線性的個體選擇模式 (Discrete Choice Models) 進行校估，從個人效用最大化的觀點預測運具選擇行為的改變。由於個體選擇模式主要是以各解釋變數去預測旅運者選擇運具的可能機率，該模式主要假設各解釋變數與選擇行為間存在著線性關係。然而，若觀察旅運者實際的運具選擇行為，即可發現各解釋變數對運具選擇行為的影響常會有非線性關係發生；以旅運者對運具使用成本變化的反應為例，即便運具使用成本逐漸調高，旅運者多半會有一段維持既有選擇決策的容忍期，此即隱含著選擇行為反應的遲滯現象，直至運具使用成本調高到一定的門檻後，旅運者終究無法容忍進而產生突變性的運具選擇行為，種種均屬於非線性的行為特徵，則適合應用非線性模式 (如劇變模型) 進行討論。

回顧過去其他行為研究^[20-21]，即指出選擇行為本身具有非線性特徵，認為法國數學家 Thom 於 1970 年代所建構的劇變模型，對非線性選擇行為具很好的解釋能力，後續劇變理論亦已廣泛地應用於不同研究領域^[16-21,25-28]。Zeeman^[19]是最早將劇變理論大力推廣應用於社會科學領域，至今劇變理論在選擇行為的研究領域應用最為廣泛。例如 Oliva、Oliver 及 MacMillan^[20]運用尖點劇變模型探討消費者滿意度的非線性行為；Lange、McDade 及 Oliva^[21]則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，並說明不同軟體市場市占率的不連續變化；Chidley、Lewis 與 Walker^[27] 以尖點劇變模型分析品牌價格影響消費者品牌忠誠度的不連續變化行為；Vikram 與 Ruth^[28] 則以尖點劇變模型描述消費者資訊使用滿意度的非線性行為；Dou 與 Ghose^[29] 利用尖點劇變模型探討線上零售店的競爭力。Mao、Ding 與 Lee^[30] 則以尖點劇變模型比較分析非典型性肺炎 (SARS) 發生時，日本、香港與美國等國家來臺觀光旅遊人數突然變化與恢復的情形，並提出改善滯後性特徵的宏觀與微觀策略。

至於劇變模型在運輸領域的研究課題，過去主要集中於車流理論的應用^[31-36]，以流量與占有率作為控制變數，探討對狀態變數-車速可能產生的劇變現象，用以解釋高速公路車流速率在擁擠與非擁擠車流之間所產生的跳躍行為，以及分析意外事件發生時之車流模式。至於旅運選擇行為的相關研究，則甚少應用劇變模型解釋非線性特徵；不同於過去研究多半採個體選擇模式分析，郭奕姝^[37] 嘗試應用尖點劇變模型，透過定量與定性分析方法，探究小汽車駕駛人在高速公路不同假設性擁擠通行費率情境下之路線移轉行為，選定路線移轉行為作為狀態變數，單位通行費率與移轉障礙則分別為控制變數之正則因子與分裂因子，了解路線移轉行為可能存在的發散性、突變性、滯後性與雙重性等非線性特徵；該研究指出，當小汽車駕駛人認知的移轉障礙較高，且在高速公路擁擠通行費率每公里訂為 1.2 及 1.5 元時，路線移轉行為最易發生不連續變化現象。

由於尖點劇變模型簡單便於解釋的優點，在過去許多研究常被運用來解釋非線性行為，有助於提供不同於線性系統的更多資訊；然而，值得注意的是，劇變模型的運用，只是試著從非線性角度判斷不同於線性模型思維的行為特徵，不應被誇大其功能，且無論是線性模型或非線性模型的運用均有其存在的價值，兩者思考邏輯與分析角度並不相同，不適宜比較其間優劣。從回顧相關文獻可知，至今尚未有研究從非線性觀點解釋運具間的競爭關係，以及可能產生的非線性運具選擇行為特徵，因此，本研究認為可嘗試運用非線性的劇變理論探討此研究議題，用來解釋運具使用成本對高鐵與小汽車間運具選擇的非線性影響關係，期能獲致更多行為特徵訊息。

2.2 研究課題分析

綜觀上述國內外有關運具選擇相關文獻，茲將本研究課題作以下評述：

1. 無論是從國內外高鐵營運預測與經驗來看，高鐵加入城際運輸市場營運，確實對各替代運具的運量造成一定衝擊，且運具使用成本多半為影響運具選擇的關鍵因素。由於臺灣高鐵營運至今運量成長緩慢，對於開拓私人運具潛在客源轉移方面仍未有明顯突破，適逢小汽車使用成本日益高漲的時機，若能輔以高鐵票價折扣優惠策略的實施，確實有機會吸引更多的小汽車駕駛人調整其運具選擇決策。惟兩者間的運具使用成本差價如何影響運具選擇行為，仍須從需求面深入了解小汽車駕駛人對小汽車油價成本與高鐵折扣票價實施之感受與其旅運決策的變化，作為高鐵研議因應票價策略之參酌。
2. 過去探討運具選擇行為的研究，多半以個體選擇模式之個人效用最大化的線性觀點，去預測其選擇行為改變的機率，目前尚未有研究引用非線性的劇變模型探討運具選擇行

為，而選擇兩運具方案符合劇變理論之雙重性特徵，在小汽車油價成本與高鐵折扣票價的角力拉扯下，運具選擇行為亦可能產生其他劇變特徵，如發散性、突變性與遲滯性等非線性特徵。因此，本研究嘗試運用尖點劇變模型，試著從非線性觀點分析城際旅運者的運具選擇行為，同時以劇變模型兼具的定量與定性分析方法，解釋不同駕駛人群體在不同運具選擇成本差價情境下之運具選擇行為，所可能呈現的非線性變化現象，其分析角度將有別於一般線性模型觀點。

3. 過去運輸領域有關劇變模型的應用，主要在於討論車流理論三變數間的關係，其中，劇變模型中的狀態變數與控制變數（包括車速、流量與占有率）屬量化變數，均可直接測得或計算所得。至於選擇行為研究則多半需將質化變數納入模型中討論，因此，本研究擬參酌其他社會科學行為研究，在尖點劇變模型之狀態變數與控制變數的判斷上，除了運具使用成本差價等關鍵量化變數的選定外，亦將選擇屬觀測樣本主觀認知或態度等質化變數（如移轉障礙、使用意向等），採李克特（Likert）尺度衡量，再轉換成量化變數進行模式校估，與過去車流理論選用的變數特性不同，可同時將質化與量化變數合併討論，期能獲致更多選擇行為的分析特性。

2.3 研究架構

本研究重點在於了解城際旅運者對油價調漲與高鐵票價折扣的雙重影響下之運具選擇行為，由於著重在討論高鐵潛在客源的分析，因此，研究對象將以目前慣常使用小汽車的駕駛人為主，並試著採用尖點劇變模型討論小汽車駕駛人在不同運具使用成本差價下的非線性運具選擇行為特徵，將以敘述性偏好法設計不同的運具使用成本差價情境（同時考量小汽車油價成本與高鐵折扣票價），並以問卷調查方式蒐集國內實證資料，以獲取小汽車駕駛人對各假設情境下之運具選擇行為的偏好資料，以及旅運特性（如旅次目的、移轉障礙認知等）與社經條件（如性別、年齡、教育程度、個人月所得等）等資料。利用尖點劇變模型分別進行定量與定性分析，即模型參數校估及劇變特徵分析等，以描述駕駛人運具選擇行為之非線性現象。

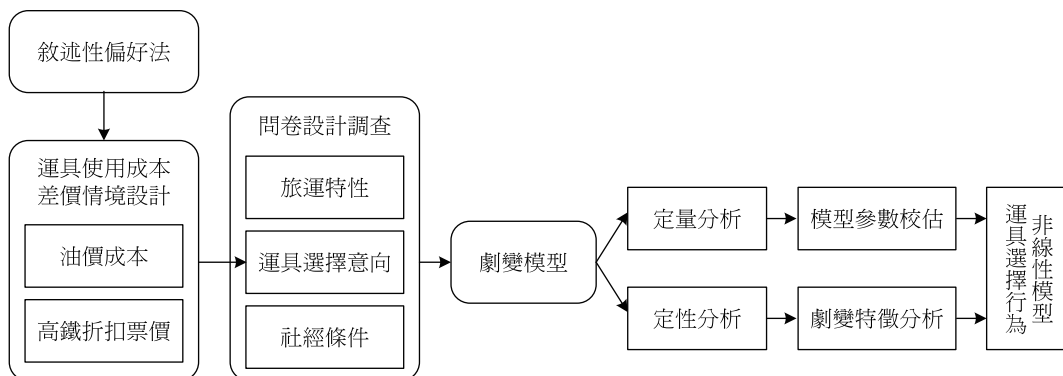


圖 1 研究架構

三、研究方法

3.1 尖點劇變模型

法國數學家 Thom 所建構的劇變理論 (catastrophe theory) 屬於拓樸理論 (topological theory) 的一種，探討當系統出現多重穩態 (steady state) 時，系統從某一穩態至另一穩態的過程；所謂的穩態，是指系統某一狀態的持續出現，穩態系統具有相當程度的抗擾性，系統不會因參數些許改變而偏離此穩定狀態。若一函數的參數在某一範圍內不只有一個極值時，則此時的系統極有可能處於不穩定狀態，劇變模型就是對這樣的分歧現象，提供一個幾何分析的數學基礎 [16-17,37]。

假定可以使用 n 個適當的狀態變數 (state variable) 描述任意一系統 S 在每一時間所處的狀況，並藉由 m 個特定的獨立控制變數 (control variable) 組合表示系統 S 的狀態，每一組控制變數所描述的系統 S 可對應出多重的穩定狀態，劇變理論即是用來描述這些狀態變數發生不連續而突然變化的情況。劇變理論之所以會被廣泛運用的主要原因即在於該理論可讓研究者藉由數學模型探討系統的不連續變化情形，因此，當研究的系統具有一個 (或多個) 穩定 (或不穩定) 的平衡點，則適合應用劇變理論進行分析 [38]。

尖點劇變模型 (cusp catastrophe model, CCM) 是劇變理論中最典型的模型，系統的狀態變數 (x) 可由兩組控制變數 (u, v) 描述；其中，控制變數 u 稱為分裂因子 (splitting factor)，其數值的不同會造成狀態變數連續變化或不連續變化的主因，至於控制變數 v 則稱為正則因子 (normal factor)，兩者組成的參數空間稱為控制空間 (control space)。由於尖點劇變模型較為簡單，且 Thom 所提出 7 種劇變模型的特徵均可在該模型中找到，並可解釋許多系統的非線性行為，因此，該模型是最常被運用的劇變模型 [24]。

尖點劇變模型的勢函數 (potential function) 如式(1)所示：

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

不同控制參數的數值，會有不同結構的勢函數，對式(1)微分，可求得勢函數的穩定解，得到其穩定曲面 M_F (equilibrium surface)：

$$\frac{\partial F}{\partial x} = x^3 - ux - v = 0 \quad (2)$$

$$M_F : \{(u, v, x) \mid x^3 - ux - v = 0\}$$

對式(2)求算赫斯判別式 (Hessian discriminate)，並令其為零，可得到奇異點集 K

(singularity set) :

$$3x^2 - u = 0 \quad (3)$$

由式(2)及式(3)消去狀態變數 x ，可得到分歧點集 B (bifurcation set)，是指當方程式出現多重解之所有控制變數的集合，又稱為 Cardan 判別式 (以 Δ 表示)：

$$\begin{aligned} 4u^3 &= 27v^2 \\ \Delta &= 27v^2 - 4u^3 \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 劇變特徵

經由不同控制變數的參數組合，可捕捉到尖點劇變模型複雜行為的 5 個重要特徵 (如圖 2 所示)，分述說明如后：

1. 發散性 (divergence)

原先相當接近的兩個狀態變數 a 、 b 兩點，會隨著控制變數 u 的平滑移動，在控制空間上分別由 a 點移動至 c 點、 b 點移動至 d 點；至於控制空間相對應的狀態變數 x ，在曲面 M_F 上會分別沿著路徑 A 與路徑 B 產生分歧現象，最後會停留在兩個完全不同的位置上 (即 c 、 d 兩點)。

2. 突變性 (catastrophe)

當控制變數 $u > 0$ 時，控制變數 v 通過分歧點集 B 時會造成狀態變數 x 不連續變化，由於此時狀態變數 x 正位處於模型轉折的邊緣，控制變數 v 微小的變化致使狀態變數 x 產生突然性且不連續的跳動現象。意即雖然系統中兩控制變數 u 、 v 維持在平滑而連續的變化，但其狀態變數 x 卻從某一種穩定平衡突然跳躍到另一種穩定平衡，呈現不連續性的改變。例如控制空間中的 e 點，固定控制變數 u 後變動正則因子 v ，觀察控制空間的 e 點將經由 f 點、 g' 點移動至 h 點；對照曲面 M_F 上路徑 C (e 點 $\rightarrow f$ 點 $\rightarrow g'$ 點 $\rightarrow h$ 點) 的移動，會產生不連續的突變現象。

3. 滯後性 (hysteresis)

當控制變數 $u > 0$ 時，控制變數 v 平滑的變化會造成狀態變數 x 不連續的變化，這種不連續的變化在控制變數 v 落入分歧點集 B 時會有不對稱發生的現象。例如控制空間中的 e 點，當固定控制變數 u 而變動正則因子 v ，會由 e 點經 f 點移動至 g' 點，此時以狀態變數的勢函數而言，點 g' 會比點 g 更為穩定，因此曲面 M_F 的狀態變數 x 應該以 g' 點的形式出現，但是只要控制變數沒有超過 g' 點，狀態變數 x 仍會以 g 的形式出現，此現象稱為滯

後性。

4. 雙重性 (bimodality)

雖然相同的控制空間參數多半只會對應到一組狀態變數，然而當系統的 Cardan 判別式小於 (或等於) 0 的時候，相同的控制空間參數會對應到 3 組(或兩組)的控制空間，即系統可同時具有兩個 (或多個) 不同的穩定狀態，如曲面 M_F 中的 c 點與 c' 點均對應到控制空間中 c 點的現象，此種特性無法根據所收集的橫斷面資料確定系統的狀態。劇變模型僅能說明不同的參數組合會有那些可能的穩態，系統會處於何種穩態通常需視系統所選擇的慣用法則決定。

5. 不可接近性 (inaccessibility)

控制變數處於分歧點集 B 時，狀態變數會有一個解是不穩定的，在所觀察的系統中很不容易發生，即使發生也很容易退化到另一個解中，如點 P 即是系統的一個不穩定解，點 P 很容易退化成點 c 或點 c' 。

在分析某一個體 (或群體) 行為時，很難根據某些自然律先行寫下一組描述這些行為的方程式，再用劇變理論分析這組方程式具有那些劇變特徵；相反的，應用劇變理論常是先觀察這些個體 (或群體) 有那些可辨認的劇變特徵，只要觀察到所要研究的系統出現這些劇變特徵中的任何一個特徵時，即可假設此系統的內在動力機制適合使用劇變模型進行其非線性行為的定性或定量分析，然後選取適當的控制變數與狀態變數，進而決定一個適當的劇變模型分析系統，解釋所觀察到的現象 [16-17,37]。

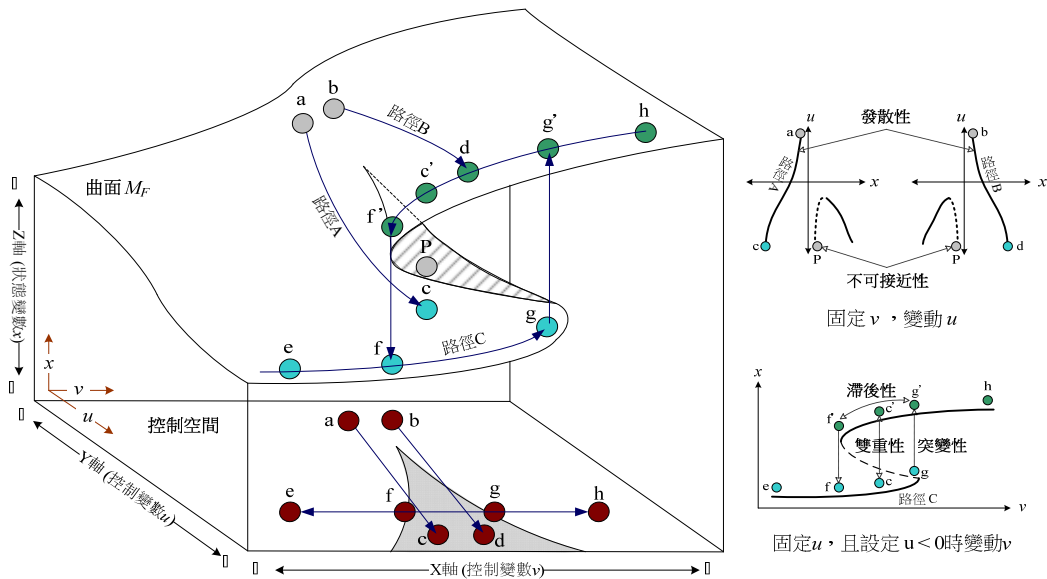


圖 2 尖點劇變模型特徵

3.3 模型參數校估

早期應用劇變理論的研究多半停留在定性分析，惟為使劇變理論能更廣泛且深入地應用在學術研究上，則勢必需解決如何將實際調查所蒐集到的資料進行劇變模型的參數校估之根本問題。由於非線性模型所具有的不連續變化特徵，會使得模型的校估產生實質上的困難，幸而此課題透過 Cobb^[39]、Guastello^[40] 及 Oliva 等人^[41] 的努力獲得解決。

Cobb^[39] 首先在 1978 年發展劇變模型校估方法，提出以機率密度函數校估尖點劇變模型，可讓研究者在某個參數組合情況下，判別系統的穩定狀態及其穩定位置，適合於研究橫斷面的資料類型。Guastello^[40] 則沿用 Cobb^[39] 參數校估方法進行尖點劇變模型校估，有別於 Cobb^[39] 機率密度函數的概念，Guastello^[40] 認為既然劇變理論關心的是發生在穩定曲面的狀態變數行為，所以建議將勢函數的一階微分為零的方程式改成迴歸形式進行尖點劇變模型的校估，Guastello^[40] 的優點是適合研究時間序列的資料。

Oliva 等人^[41] 所提出之 GEMCAT (A GEneral Multivariate methodology for estimating CATastrophe models) 演算法，允許讓研究者在其建構的劇變模型中逕行指定由多重變數所組成的控制變數及狀態變數，其校估的劇變模型並不侷限於尖點劇變模型，亦適用於研究橫斷面資料類型。雖然 GEMCAT 無法讓研究者判別系統穩定狀態的確實位置，不過卻可讓研究者以多重變數建構劇變系統的控制變數，以便讓研究者藉此進一步了解與控制所觀察的劇變系統，且 GEMCAT 演算法具有可校估 Thom 所提出的 7 種劇變模型^[42] 之優勢，在應用上較為廣泛。因此，本研究選定 GEMCAT 演算法作為尖點劇變模型的參數校估方法。

GEMCAT 的基本想法，係假設狀態變數 x 及控制變數 u 、 v 可由其他變數經線性組合成一個潛在變數^[41]，變數定義如下：

$i = 1 \dots I$ ：狀態變數的個數；

$j = 1 \dots J$ ：分裂因子的個數；

$k = 1 \dots K$ ：正則因子的個數；

$t = 1 \dots T$ ：觀察個數；

x_{it} ：第 t 個觀測項的第 i 種獨立變數；

u_{jt} ：第 t 個觀測項的第 j 種分裂因子；

v_{kt} ：第 t 個觀測項的第 k 種正則因子。

根據上述變數定義，Oliva 等人^[41] 重新定義尖點劇變模型中的 3 種潛在觀察變數：

$$x_t^* = \sum_{i=1}^I \alpha_i x_{it} \quad (5)$$

$$u_t^* = \sum_{j=1}^J \beta_j u_{jt} \quad (6)$$

$$v_t^* = \sum_{k=1}^K \gamma_k v_{kt} \quad (7)$$

式(5)中變數 α_i 為狀態變數的校估係數，而式(6)及式(7)中 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(5)~式(7)，以潛在變數的概念，將尖點劇變模型的勢函數改寫為：

$$f(x_t^*, u_t^*, v_t^*) = \frac{I}{4} x_t^{*4} - v_t^* x_t^* - \frac{I}{2} u_t^* x_t^{*2} \quad (8)$$

如同 Guastello^[40] 的想法，Oliva 等人^[41] 認為既然尖點劇變模型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對象，如式(9)：

$$\frac{\partial f(x_t^*, u_t^*, v_t^*)}{\partial x_t^*} = x_t^{*3} - v_t^* - u_t^* x_t^* = 0 \quad (9)$$

GEMCAT 演算法係針對式(9)求解，並以最小平方方法的概念將求解的目標以式(10)示之：

$$\text{Min}_{\alpha_i, \beta_j, \gamma_k} \Phi = \|e_t\|^2 = \sum_{t=1}^T \left[x_t^{*3} - v_t^* - u_t^* x_t^* \right]^2 \quad (10)$$

在此 e_t 表示誤差項，當給定一組資料，並進一步選擇適當的狀態變數及控制變數，經由 GEMCAT 演算法可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，Oliva 等人^[41] 並建議以一個修正後的 CRS (controlled random research) 搜尋法來處理式(10)的問題。

雖然 Oliva 等人^[41] 在 1987 年即已發展出 GEMCAT 演算法，但因該演算法求解需進行相當繁瑣的程式撰寫過程，此限制亦間接影響其實用性；直至 1999 年發展出 GEMCAT II 應用軟體，使得 GEMCAT 演算法的應用進入更為實用的階段。

四、運具選擇行為模型建構

4.1 變數定義

有關城際旅運者運具選擇行為的議題，本研究擬從使用小汽車與搭乘高鐵抗衡競爭的角度，探討其間可能存在的非線性劇變運具選擇行為特徵。為建構運具選擇行為之尖點劇變模型，需先擇定適當的控制變數與狀態變數，由於判斷小汽車駕駛人是否會受小汽車油

價成本變動與高鐵折扣票價影響而改變其運具選擇行為，係為本研究探討之重要課題，且運具選擇意向為行為模型之重要表徵，因此，本研究選擇「運具選擇意向」作為尖點劇變模型之狀態變數。

有關控制變數中分裂因子與正則因子的決定，考量分裂因子是造成狀態變數連續變化或不連續變化的主因，從小汽車駕駛人一系列選擇行為的研究^[37,43-44]中，得知「移轉障礙」對駕駛人路線移轉行為具高度負相關，且參酌相關劇變研究^[16,20,28,37]對分裂因子的設定，因此，本研究將「移轉障礙」設定為控制變數中的分裂因子，以了解小汽車駕駛人內在阻力因素對運具選擇意向的影響。至於控制變數中的正則因子，則適合納入本研究欲討論之小汽車與高鐵兩種運具相較之下的旅運成本進行分析，選定「運具使用成本差價」作為正則因子，即以小汽車使用成本相較於高鐵折扣票價的差價作為計算基準；其中，小汽車使用成本主要考量油價成本與高速公路通行費等城際旅運成本，至於高鐵則僅以折扣後的票價作為其旅運成本。

茲將本研究所建構之尖點劇變模型的各變數定義如下：

1. 狀態變數 x ：運具選擇意向

考量小汽車不同油價成本與高鐵各種折扣票價的影響情境下，小汽車駕駛人選擇兩種城際運具之可能性程度，有關「運具選擇意向」問項以李克特五點尺度衡量，分別為「非常不可能」、「不可能」、「普通」、「有點可能」及「非常可能」等運具選擇偏好程度，表示小汽車駕駛人改搭高鐵的可能性傾向。

2. 控制變數（正則因子） v ：運具使用成本差價

為小汽車與高鐵兩運具的相對使用成本，即小汽車使用成本扣除高鐵折扣後的票價。其中，小汽車使用成本包括油價成本加上高速公路通行費率，設定每公升平均油價分別為 28 元、30 元、32 元、34 元與 36 元等 5 種油價水準，且考量車輛加減速因素，假設平均 1 公升油可行駛 10 公里；至於高鐵折扣票價水準的設定，則依各起訖站原票價分別設定 5.5 折、6 折、6.5 折、7 折、7.5 折與 8 折等 6 種票價折扣。依 5 種油價水準與 6 種高鐵折扣票價水準的搭配，共有 30 種可能的運具使用成本差價組合情境。

3. 控制變數（分裂因子） u ：移轉障礙

有關小汽車駕駛人內在對運具選擇所認知的移轉障礙，共包括 4 個衡量問項 $u_1 \sim u_4$ ，分別代表小汽車駕駛人認知的使用慣性、可及性、便利性與時間價值等運具特性評估意涵。受訪者對此 4 個衡量問項均需回答，以李克特 5 點尺度衡量，分別表達對各問項「非常不同意」、「不同意」、「普通」、「有點同意」或「非常同意」等意見，並計算此 4 個衡量問項的算術平均數作為「移轉障礙」的數值。

u_1 ：我習慣使用固定的運具進行城際運輸目的，而不傾向改變使用其他運具

u_2 ：使用該運具能否直接到達旅運目的地或轉乘方便對我而言非常重要

u_3 ：使用該運具可隨時出發搭乘的便利性對我而言非常重要

u_4 ：使用該運具能否節省旅運時間對我而言非常重要

4.2 問卷設計與樣本蒐集

由於本研究旨在了解在小汽車油價成本與高鐵折扣票價雙重影響下，是否會造成小汽車駕駛人運具選擇行為的改變，因此，研究對象主要選定高速公路小汽車駕駛人，問卷調查方式主要是於高速公路服務區進行面訪調查，由於高鐵相對於私人運具的競爭優勢在於長途城際運輸，因此，有關兩運具競爭客源的探討目標設定在長程旅次（依臺灣高鐵的定義，旅運長度在兩百公里以上即為長程旅次），依高鐵起訖站的設置，包括臺北至嘉義、臺北至台南、臺北至左營、桃園至嘉義、桃園至臺南、桃園至左營、新竹至臺南及新竹至左營等 8 種長程起迄旅次，有關兩運具使用成本的計算，則以小汽車起迄交流道旅次所對應最近的高鐵起迄站進行比較。本研究之調查時間為民國 100 年 11 月，蒐集平日、假日及各種旅次目的之長程旅次樣本。

調查問卷內容主要分為 3 個部分：第 1 部分在於了解小汽車駕駛人最常行駛高速公路的頻率與曾經搭乘高鐵的頻率、旅次目的等，以及了解受訪者對兩運具特性之認知看法，包括運具使用慣性、可及性、便利性與時間價值等評估。第 2 部分則以敘述性偏好法設計各種運具使用成本差價情境，調查受訪者在不同小汽車使用成本（考量 5 種油價水準）與高鐵折扣票價（共 6 種票價折扣水準）差價組合下之運具選擇行為。每份問卷將隨機選擇 3 種不同運具使用成本情境組合供受訪者填答，以北—高長程旅次為例，高鐵（臺北至左營）票價 75 折為 1,118 元，小汽車使用成本為 1,054 元（當平均油價為 30 元／公升時）。第 3 部分則是調查受訪者的社會經濟基本資料，主要包括性別、年齡、教育程度與個人月所得等。

本研究調查期間共蒐集 614 份有效問卷，依受訪者的社會經濟特性分析，以男性駕駛人居多（65.0%），八成以上集中在年齡層 25~54 歲（83.3%），大學專科學歷者占五成五（55.0%），約六成左右的受訪者之個人月所得為 2~6 萬（61.2%）。至於從受訪者的旅次目的劃分，分別為休閒旅遊旅次 30.4%、返鄉旅次 28.1%、商務洽公旅次 19.5%、工作旅次 10.2%、社交旅次 6.1% 及其他旅次（如醫療目的、上學等）5.8%。

4.3 尖點劇變模型校估

（一）模型參數校估

本研究藉由小汽車與高鐵兩運具使用成本差價和移轉障礙等控制變數間的關係，建構尖點劇變模型，以分析小汽車駕駛人運具選擇意向的劇變行為特徵。由於 GEMCAT 演算法可讓研究者以多重變數發展尖點劇變模型中之狀態變數與控制變數，因此，本研究是以

GEMCAT 演算法校估上述式(8)勢函數，所有變數需先經標準化過程，依式(5)～式(7)可將本研究定義之狀態變數（運具選擇意向： x^* ）、分裂因子（移轉障礙： u^* ）與正則因子（運具使用成本差價： v^* ）改以式(11)～式(13)示之：

$$x^* = \sum_{i=1}^I \alpha_i \cdot x_i = \alpha \cdot x \quad (11)$$

$$u^* = \sum_{j=1}^4 \beta_j \cdot u_j = \beta_1 \cdot u_1 + \beta_2 \cdot u_2 + \beta_3 \cdot u_3 + \beta_4 \cdot u_4 \quad (12)$$

$$v^* = \sum_{k=1}^I \gamma_k \cdot v_k = \gamma \cdot v \quad (13)$$

利用劇變模型參數校估軟體（GEMCAT II）執行資料校估，各項變數 x^* , u^* , v^* 之校估結果如式(14)～式(16)所示：

$$x^* = 1.0000 \cdot x \quad (14)$$

$$u^* = 3.6633 \cdot u_1 + 0.2678 \cdot u_2 + 1.1482 \cdot u_3 + 1.4229 \cdot u_4 \quad (15)$$

$$v^* = 0.1412 \cdot v \quad (16)$$

觀察式(15)分裂因子（ u^* ）的校估結果可知，影響移轉障礙這項控制變數中最大的變數為使用慣性（ u_1 ），其參數值最大（ β_1 ：3.6633），顯示對受訪者而言，仍受制於習慣使用固定的城際運具進行旅運目的，而不傾向改變使用其他運具；其次為運具選擇時的時間價值（ u_4 ）認知，其參數值 β_4 為 1.4229，亦為影響城際旅運者不願改變運具的關鍵因素；至於使用該運具時感受到的便利性（ u_3 ）與可及性（ u_2 ）等變數，亦為運具選擇時城際旅運者將顧慮的阻力因素。在正則因子（ v^* ）部分，其影響變數的參數值為正，顯示小汽車相對於高鐵運具的使用成本差價愈高時，表示小汽車使用成本相對較高，受訪者愈傾向選擇高鐵的票價折扣方案。

（二）系統狀態描述

二維控制空間是由標準化後之運具使用成本差價（ v^* ）與移轉障礙（ u^* ）等兩項控制變數所組成，控制空間內的樣本資料為圖 3 中左側曲面 M_F 之樣本點投影資料，研究樣本於控制空間內的分布情形如圖 3 中右側圖示。橫軸表示標準化後之小汽車與高鐵的相對運具使用成本差價（ v^* ），共有 30 種可能的差價水準，愈往右表示小汽車使用成本相對於高鐵折扣票價為高；縱軸則表示城際旅運者認知的移轉障礙（ u^* ），越往下數值為正的部分，表示該研究樣本認知的移轉障礙高於其他樣本，越往上數值為負則表示移轉障礙相對較低。依據移轉障礙高低、運具使用成本差價的高低與 Cardan 判別式 Δ 的正負號（分歧點集 B）等指標，可將控制空間分割成 A～F 6 個區域，各區域於狀態空間與控制空間的位

置標示於圖 3；其中 E 區與 F 區的 Cardan 判別式 Δ 小於 0，表示位於 E 區與 F 區的研究樣本落入分歧點集合。

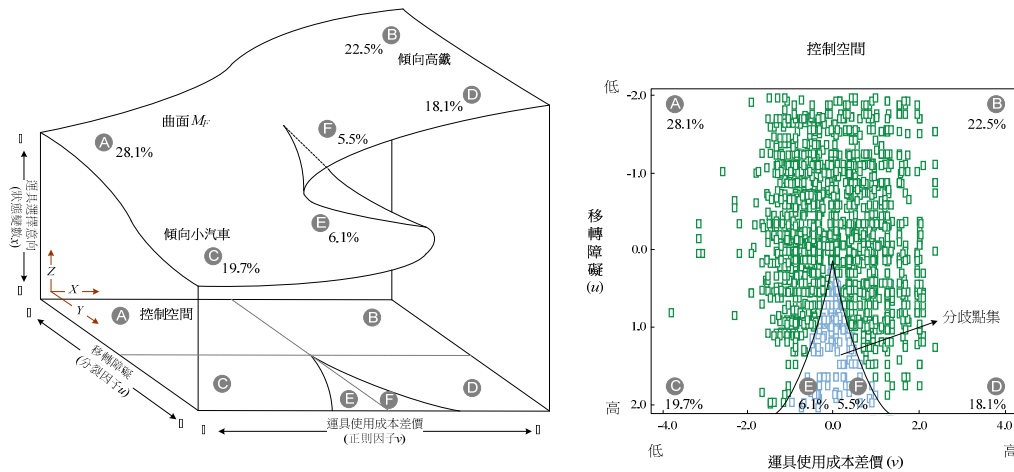


圖 3 控制空間之樣本分布

有關控制空間中不同區域之系統狀態比較，以落於 A 區的研究樣本（占整體樣本的 28.1%）來看，其認知的移轉障礙相對較低，且面臨小汽車使用成本與高鐵折扣票價之差價甚低的情境，因此，在油價不高且未有較低的高鐵票價折扣誘因吸引下，A 區樣本仍將傾向於選擇使用小汽車以完成其旅次目的；此種情況最容易發生在移轉障礙較低的城際旅運者面臨低油價（如 28 元公升與 30 元／公升）搭配低高鐵票價折扣（如 7.5 折與 8 折）的情境。至於相對於 A 區的 B 區研究樣本，占整體樣本的 22.5%，由於其面臨高鐵實施較低的票價折扣，或者適逢油價調漲，小汽車使用成本相對於高鐵折扣票價之差價較高，在其較不受移轉障礙限制的情況下，極有可能改搭高鐵；移轉障礙較低的城際旅運者較易在面臨較高油價（如 34 元／公升與 36 元／公升）搭配較優惠的高鐵票價折扣（如 5.5 折與 6 折）時傾向選搭高鐵。

C 區研究樣本（占整體樣本的 19.7%）認知的移轉障礙較高，由於其與 A 區面臨同樣的運具使用成本差價情境（低油價搭配低高鐵票價折扣），且此時小汽車使用成本相對於高鐵折扣後之票價較低，使用小汽車較搭高鐵便宜許多，因此較不易激發慣常使用小汽車的駕駛人改搭高鐵的動機，狀態變數顯示大部分的樣本將維持使用小汽車；而 D 區研究樣本（占整體樣本的 18.1%）的移轉障礙雖然較高，但面臨高鐵實施較優惠的票價折扣方案，或因油價上漲導致小汽車使用成本飆升，城際旅運者在衡量相對的運具使用成本差價（高油價搭配較高的高鐵票價折扣）下，將傾向選擇改搭高鐵。落入 A～D 這 4 個區域的樣本，是屬於狀態變數較明確者，即傾向維持使用小汽車或改搭高鐵。

至於 E 區（占整體樣本的 6.1%）與 F 區（占整體樣本的 5.5%）表示 Cardan 判別式 Δ

<0 的區域，研究樣本的移轉障礙較高，此時系統有兩個穩定解，劇變模型說明此時的參數組合資訊不足以確認其狀態，意即無法確知者兩個區域內的研究樣本會選擇那種運具，這個狀況下無論是維持使用小汽車或改搭高鐵，均是其可能選擇的方案。此種情況最易發生在油價介於 32 元左右，且同時搭配 6.5 折或 7 折的高鐵票價折扣時，無法判斷城際旅運者的運具選擇決策為何。原先傾向使用小汽車的研究樣本，可能受移轉障礙高的顧慮，在運具使用成本差價不明顯的情況下，仍維持使用小汽車；原先傾向改搭高鐵的研究樣本，則可能因高鐵的折扣票價尚在其可接受的範圍內，仍傾向改搭高鐵。由此可知，當油價訂定在 32 元上下區間，高鐵若實施 6.5 折或 7 折的票價折扣優惠，在小汽車駕駛人尚可接受的旅運成本負擔情況下，不易收到吸引小汽車駕駛人轉搭高鐵的明顯成效。

(三) 區域樣本結構

有關不同特性的分群樣本在圖 3 中 A~F 6 個區域之分布比例差異，本研究採交叉分析與卡方檢定進行類別資料分析，以獨立性檢定 (test of independence)^[45] 了解各區域與各變數 (即旅運特性與社經條件) 間是否具有關聯性。卡方檢定是利用卡方值的顯著與否，以判定各區域的樣本結構分布比例是否具顯著差異，若某變數在各區域的分布比例相近，則表示此變數與區域間無關聯，反之，若其間有顯著差異，則表示兩者間具有關聯性。本研究分別針對旅次目的、性別、年齡、教育程度與個人月所得等變數分布於各區域的比例，進行交叉分析與卡方檢定，茲將檢定結果彙整於表 1，所選定之分群變數均通過卡方顯著性檢定，表示這些變數在此六個區域的分布比例是明顯的不一致。

不同旅次目的在各區域的分布比例呈現明顯差異，其中，工作旅次的研究樣本移轉障礙較高，且落入 E、F 區的比例明顯低於其他旅次，由於此旅次具通勤特性，旅運決策需較為明確，反映在其運具選擇意向上，亦較不會落入不確定性高的分歧點集內；相對地，由於商務洽公旅次多半旅運費用毋須自行支付，且旅次發生頻率相對較通勤旅次少，旅次彈性亦較大，因此，其研究樣本落入 E、F 區的比例則明顯較高，意即在部分運具使用成本差價不大時，兩種運具均是商務洽公旅次可選擇的方案。

從研究樣本的社經條件來看，女性的移轉障礙略高於男性；高齡者 (55 歲以上) 的研究樣本移轉障礙較高，但其運具選擇決策較為明確，落入 E、F 區的比例較低；高中職以下的移轉障礙較低，但落入 E、F 區的比例則相對較高，表示小汽車與高鐵兩運具均是可接受的選擇；個人月所得偏低者 (4 萬以下) 的移轉障礙較高，且易受運具使用成本差價調整的影響，落入 E、F 區的比例較高。

4.4 劇變特徵分析

本研究選擇運具使用成本差價及移轉障礙，建構描述城際旅運者非線性運具選擇行為的尖點劇變模型，以下針對尖點劇變模型幾項重要特徵進行定性分析，藉此討論運用劇變理論分析運具選擇行為時，這些劇變模型的特徵在不同情境下之高鐵營運管理意涵。值得

注意的是，就單一旅運情境而言，並無法觀察到所有的劇變特徵，部分劇變特徵（如發散性、突變性與滯後性）多半發生在旅運情境改變時才可觀察到，即控制變數產生變化時，無論是正則因子（運具使用成本差價）的改變，抑或分裂因子（移轉障礙），而此正隱含運具管理政策上可調整著力之處。

表 1 各區域樣本結構分布比例及卡方檢定結果

變數類別	區域別	A	B	C	D	E	F
旅次目的	休閒旅遊	32.5%	18.2%	20.0%	19.3%	5.0%	5.0%
	返鄉	26.5%	21.5%	22.1%	18.8%	5.8%	5.3%
	商務洽公	24.4%	19.2%	20.6%	18.9%	9.7%	7.2%
	工作	17.0%	16.2%	32.3%	30.2%	3.2%	1.1%
	社交	25.9%	17.9%	20.5%	18.8%	10.6%	6.3%
	其他	22.6%	21.7%	24.5%	19.8%	5.7%	5.7%
性別	男	29.8%	22.0%	19.1%	17.0%	6.5%	5.6%
	女	24.8%	23.6%	20.6%	20.3%	3.6%	7.1%
年齡	24 歲以下	19.0%	21.3%	29.8%	19.5%	5.2%	5.2%
	25~34 歲	25.7%	21.3%	23.6%	17.6%	4.7%	7.1%
	35~44 歲	34.4%	26.4%	14.9%	13.3%	5.2%	5.8%
	45~54 歲	25.9%	19.2%	20.8%	18.9%	9.1%	6.1%
	55 歲以上	19.5%	18.0%	33.1%	23.3%	2.3%	3.8%
教育程度	高中職以下	25.7%	30.2%	17.5%	14.6%	7.2%	4.8%
	大學專科	27.7%	31.6%	18.9%	15.1%	3.5%	3.2%
	研究所以上	28.8%	23.2%	17.0%	21.9%	5.0%	4.1%
個人月所得	2 萬元以下	21.6%	23.9%	22.1%	19.2%	8.5%	4.7%
	2~4 萬元	27.9%	22.8%	18.4%	19.7%	5.4%	5.8%
	4~6 萬元	29.0%	20.3%	23.0%	20.2%	3.3%	4.2%
	6~8 萬元	35.9%	30.9%	9.2%	13.5%	4.6%	5.9%
	8 萬元以上	21.2%	12.6%	14.6%	28.3%	9.1%	14.2%

註：1.表格中數值代表任一區域內各變數類別所占百分比。

2.表格中所有變數以 $p=0.05$ 進行卡方檢定均達顯著水準，顯示各變數於不同區域的分布比例具有顯著差異。

由於劇變特徵其一的不可接近性，在尖點劇變模型的系統中不易發生，因此，本研究主要針對尖點劇變模型的其他 4 個重要特徵（包括發散性、突變性、滯後性與雙重性）加以說明，並描述其於管理上之意涵。茲將城際旅運者運具選擇行為可能產生的劇變特徵繪如圖 4 所示，狀態空間中的研究樣本 S_i 可對應到控制空間中的 C_i 。

(一) 發散性

1. 定性分析

在控制空間中認知的移轉障礙相同，但面對兩運具使用成本差異不大的 S_1 與 S_2 兩研究樣本（分別對應至圖 4 控制空間的 C_1 與 C_2 ），依 C_1 座落在控制空間的區位，表示該研究樣本原先些微偏好使用小汽車，至於 C_2 則些微傾向使用高鐵。當運具使用成本差價固定（固定正則因子 v ），但移轉障礙由低轉高時（變動分裂因子 u ），原先在狀態空間很接近的 S_1 與 S_2 兩點，會隨著分裂因子 u （移轉障礙）的變化在狀態空間中逐漸遠離，最後分別停留在狀態空間中的 S_8 與 S_5 兩點，對應在控制空間中的 C_4 與 C_5 。原先運具使用意向即已較偏向維持使用小汽車或選搭高鐵運具的城際旅運者，當其認知的移轉障礙增加時，將更加確認其運具選擇行為，選擇繼續使用小汽車或選搭高鐵。

2. 管理意涵

對原先傾向使用小汽車行駛高速公路的城際旅運者而言，在面臨相同的運具使用成本差價時，若其感受到的移轉障礙增加，可能是顧及旅運目的，更習慣於使用小汽車，或者更享受小汽車運具在旅運上的高可及性與高便利性，這群特性的小汽車駕駛人仍不易改搭高鐵，此時高鐵實施的票價折扣策略成效不佳，無法吸引私人運具轉乘。對此，建議營運管理單位應著重於降低此特性城際旅運者之移轉障礙認知，可從提高高鐵運具的可及性、便利性，以及利用其旅運時間較短的優勢著眼。

例如所提供的高鐵接駁服務班次需更密集與便利，減少轉乘等候時間，或者增加接駁車行駛路線，提高旅運可及性；抑或提供小汽車停車轉乘優惠，增加旅運接駁的便利性，以吸引小汽車駕駛人轉搭高鐵；甚或多提供長程旅次之蛙跳式營運班次，透過行車時間節省的誘因，吸引更多時間價值較高的旅客；亦可透過結合其他旅遊景點或展演活動的完整套裝行程規劃，讓過去較少搭乘高鐵的旅客，體驗不同於過去使用小汽車的旅程經驗，享受高鐵快速便捷的便利性，藉以抵減依賴小汽車運具的慣性行為。

(二) 突變性

1. 定性分析

認知的移轉障礙較高且原先選擇使用小汽車運具的 S_9 研究樣本（對應在控制空間中的 C_9 ），若其認知的移轉障礙不變（固定分裂因子 u ），但面臨小汽車相對於高鐵之使用成本差價逐漸擴大時（變動正則因子 v ），無論是油價成本調漲，抑或高鐵票價折扣更優惠，剛開始還可能維持使用小汽車的運具決策，一旦當運具使用成本差價超過其可容忍的水準時（如 S_{11} ），易產生突變現象（由 S_{11} 跳至 S_6 ），此時該城際旅運者會突然轉而偏好搭乘高鐵。

2. 管理意涵

為有效達到吸引私人運具轉而使用大眾運輸的目標，當營運管理單位欲吸引慣於使用小汽車的駕駛人轉搭高鐵時，若當此類小汽車駕駛人具有突變特性，雖其原先具有較高的

移轉障礙，但透過高油價政策或高鐵票價折扣優惠策略的實施，部分堅持使用小汽車運具決策的駕駛人，在容忍一定時間的高油價或觀望高鐵優惠票價後，將可能在兩運具使用成本差價到一定程度時，突然改變心意轉而改搭高鐵。惟此情況需發生在高油價時代（如平均油價在 34 元／公升以上）趁勢搭配相當低的高鐵票價折扣優惠時（如 5.5 折至 6 折），高鐵票價優惠策略方可明顯奏效；建議可提供小汽車停車轉乘優惠方案結合單次購買多張組合優惠票券的方式促銷，以經濟實惠的方式吸引此特性城際旅運者。

(三) 滯後性

1. 定性分析

滯後性的特徵會發生在 Cardan 判別式 $\Delta < 0$ 的區域，由於此時系統有兩個穩定解，無法藉由運具使用成本差價與移轉障礙等控制變數的組合，預測研究樣本實際的運具選擇行為。若城際旅運者選擇使用小汽車，隨著油價逐漸調漲或高鐵推出更優惠的票價時，具滯後性特性的小汽車駕駛人因其認知的移轉障礙較高，例如仍慣於使用小汽車、享受小汽車可及性與便利性高的優勢等因素，雖然小汽車駕駛人需付出較高的旅運成本（包括小汽車油價使用成本與時間成本），但該特性駕駛人依然會呈現維持使用小汽車行駛高速公路的滯後行為。即原先維持使用小汽車的 S_9 研究樣本，經 S_{10} 落入分歧點集 B 時（對應在控制空間中的 C_3 ），只要尚未超過 S_{11} 點（對應在控制空間中的 C_6 ），就不會發生上述突變性特徵，狀態變數就不會落入另一個運具選擇決策中，此即為滯後性特徵。

2. 管理意涵

滯後性特徵在選擇行為中常可觀察到，認知移轉障礙較低的城際旅運者，例如非自費的商旅出差或旅運時間較彈性等旅次特性，滯後性的特徵相對較不明顯；至於受制於認知移轉障礙較高的城際旅運者，例如需花費較高高鐵轉乘時間、同行人數較多的家庭或團體等旅次特性，滯後性的特徵則相對明顯。此意味著當營運管理單位在高油價時代搭配較佳的高鐵票價折扣優惠時，在一定的運具使用成本差距下，少部分高移轉障礙的小汽車駕駛人，依舊可能忍受此高油價，對高優惠的高鐵票價不為所動，繼續維持使用小汽車，此時高優惠票價仍無法達到吸引私人運具轉搭的預期效果。基本上，具高滯後性特性的城際旅運者明顯偏好維持使用小汽車，可能是使用慣性與旅運特性所致，因此，即便是採調高高鐵票價折扣優惠的策略，對此類的小汽車駕駛人效果仍相當有限，除非油價繼續調漲到其無法忍受的範圍以上，方可迫使其產生運具改變行為。

(四) 雙重性

1. 定性分析

當研究樣本落入系統 Cardan 判別式 $\Delta < 0$ 的區域時，系統可同時具有兩個穩定狀態，如狀態空間中的 S_4 與 S_8 研究樣本對應到控制空間之研究樣本均為 C_4 ，落在圖 4 控制空間中的分歧點集內，此時無法由控制變數組合辨別這些研究樣本實際的運具選擇行為，此區

域的研究樣本是可同時接受使用小汽車或高鐵運具的雙重選擇。這種情況較常發生在油價僅微幅調漲時（如平均油價在 32 元／公升左右時），抑或高鐵票價折扣數仍不夠吸引城際旅運者時。

2. 管理意涵

當營運管理單位實施運具使用成本調控策略時，若油價調漲與高鐵票價優惠折扣不夠高時，即油價設定在 32 元／公升、且高鐵票價折扣在 6.5～7 折時，易發生具雙重性的運具選擇現象，此時的高鐵票價優惠策略常無法確知其效果為何。由此可知，若城際旅運者已慣於使用小汽車作為通勤運具，即便高鐵實施優惠票價方案，仍會有部分城際旅運者維持使用小汽車，尤其是具較高移轉障礙認知者，除非適逢油價大幅調漲時推出更吸引人的高鐵票價優惠方案，方可奏效。

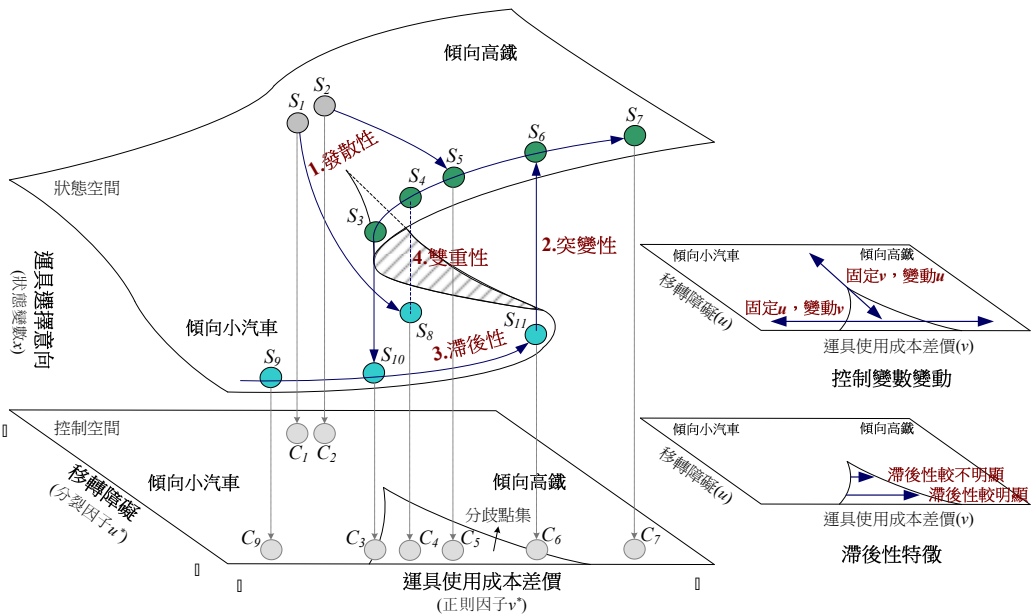


圖 4 運具選擇劇變特徵

五、結論與建議

本研究利用尖點劇變模型之定量與定性分析方法，嘗試從非線性觀點探討運具使用成本的變化對小汽車駕駛人移轉至高鐵的意願，有助於了解油價波動配合高鐵優惠票價的實施對城際運具選擇行為的影響。此次調查共蒐集高速公路長程旅次之研究樣本 614 份進行實證模式校估分析，並據以建構運具選擇行為之尖點劇變模型，探討各種運具使用成本差

價假設情境下，小汽車駕駛人運具選擇行為可能產生的劇變特徵，及提出相關管理意涵供營運管理單位參酌。茲將本研究運用尖點劇變模型於運具選擇研究課題上獲致之重要結論與策略意涵摘述如下：

1. 運具選擇行為模型意涵

配合本研究課題針對油價與高鐵折扣票價對城際運具選擇行為的影響分析，尖點劇變模型的校估係將狀態變數設定為城際旅運者的「運具選擇意向」，以了解不同變數影響下對該行為狀態變數的影響，控制變數中的分裂因子則選取城際旅運者顧慮的質化因素「移轉障礙」，至於關鍵議題「運具使用成本差價」則作為正則因子，據以建構運具選擇行為模型。依城際旅運者所認知的「移轉障礙」高低，以及其所面臨小汽車油價與高鐵折扣票價的「運具使用成本差價」多寡，可搭配不同的油價與高鐵折扣票價調整策略因應。

對於認知移轉障礙較低的城際旅運者，運具使用成本的調整策略最易在其運具選擇意向向上產生明顯變化，若欲提高小汽車駕駛人轉搭高鐵的意願，可於油價逐漸調漲之際，當駕駛人感受小汽車使用成本增加的情況下，適時搭配較以往優惠的高鐵票價行銷策略，即可獲致明顯轉搭高鐵的運具移轉效果。然而，對於認知移轉障礙較高的城際旅運者而言，受制於對既有小汽車使用慣性與機動性的依賴，抑或旅運特性的限制，即便高鐵施以優惠的折扣票價策略，仍不易發揮明顯效益，除非適逢高油價時（如 36 元／公升）趁勢推出相當優惠的高鐵票價折扣策略（如 5.5 折）吸引，轉搭高鐵的行為才較有可能發生。

至於當油價水準調漲在駕駛人尚可忍受的範圍內（如 32 元／公升左右），且高鐵票價折扣不甚高時（如 6.5 折至 7 折間），此時實施的運具使用成本策略效果將不明顯，城際運具者對兩種運具均可接受，多半會維持既有運具選擇決策，意即原有使用小汽車的駕駛人亦將不會有改搭高鐵的動機。

2. 劇變特徵分析

在面臨不同的「移轉障礙」與「運具使用成本差價」等控制變數設定情境調整時，城際旅運者之「運具選擇意向」將可能存在發散性、突變性、滯後性及雙重性等 4 種劇變特徵。

當運具使用成本差價固定，但移轉障礙由低轉高時，易產生發散性效果，原先些微差異的運具偏好將更為明顯，原先即偏好使用小汽車的駕駛人將更不易改搭高鐵，此時高鐵實施的票價折扣策略成效不佳，難以吸引私人運具轉乘；應著重於降低此類旅運者之移轉障礙認知，善用高鐵運具的可及性、便利性及時間成本低的優勢，提出吸引小汽車族群的優惠配套措施。至於突變性特徵則最易發生在認知移轉障礙較高時的情境，當此特性旅運者承受油價節節高漲的壓力（如平均油價調整至 36 元／公升），若能趁勢提出如多張組合優惠票券等經濟實惠的高鐵票價折扣方案（如 5.5～6 折），將可刺激此類旅運者產生突變性的運具選擇行為，轉而選擇搭乘高鐵。

滯後性則隱含即便在高油價時代搭配較佳的高鐵票價折扣優惠時，在一定的運具使用成本差距下，少部分高移轉障礙的小汽車駕駛人，依舊可能忍受此高油價而繼續維持使用小汽車；即便是推出相當低廉的高鐵折扣票價，對此類旅運者而言仍可能不為所動，各式票價促銷方案的成效均相當有限。雙重性特徵則容易出現在油價調漲與高鐵票價優惠折扣不夠高時，即油價設定在 32 元／公升左右、且搭配高鐵票價折扣在 6.5～7 折時，此時的高鐵票價優惠策略常無法確知其效果為何，難以吸引小汽車駕駛人改變其運具選擇決策。

有別於以往國內外運具選擇行為相關研究主要以個體選擇模式等線性方法探討運具的選擇機率，本研究為應用尖點劇變模型解釋城際運具非線性選擇行為之初探，同時進行定量與定性分析，期能獲致小汽車與高鐵兩城際運具間考量旅運成本下的競爭關係，以及了解運具選擇行為可能產生的劇變特徵。後續可因應研究議題的不同，設定不同的正則因子與分裂因子，探討不同的控制變數對運具選擇行為的影響；或可替換不同運具進行選擇行為分析；亦可嘗試利用不同的劇變模型進行非線性行為解釋，有關劇變理論應用於旅運行為仍有相當多的研究空間。尖點劇變理論所提供簡潔的數學模型，有助於提供更多有別於線性系統的資訊，獲取從非線性角度判斷得知的訊息，惟任何理論的運用不應被誇大其功能，因此，不適宜與線性模型比較其間優劣。

參考文獻

1. 交通部，「交通統計－交通統計月報電子書」，<http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=580&parentpath=0,6,578>，民國 101 年。
2. 交通部，「交通統計－公共運輸使用率」，<http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=54&parentpath=0,6&mcustomize=statistics101.jsp>，民國 101 年。
3. 經濟部能源局，「國內油品價格查詢」，<http://www.moeaboe.gov.tw:80/oil102/>，民國 101 年。
4. Hensher, D. A. and Prioni, P., "A Service Quality Index for Area-Wide Contract Performance Assessment", *Journal of Transport Economic and Policy*, Vol. 36, No. 1, 2003, pp. 93-113.
5. Park, Y. and Ha, H. K., "Analysis of the Impact of High-Speed Railroad Service on Air Transport Demand", *Transportation Research Part: E Logistics and Transportation Review*, Vol. 42, No. 2, 2006, pp. 95-104.
6. González-Savignat, M., "Will the High-Speed Train Compete against the Private Vehicle?", *Transportation Reviews*, Vol. 24, No. 3, 2004, pp. 293-316.
7. Roman, C., Espino, R., and Martín, J. C., "Competition of High-Speed Train with Air Transport: The Case of Madrid-Barcelona", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 13, No. 5, 2007, pp. 277-284.
8. Correnti, V., Capri, S., Ignaccolo, M., and Inturri, G., "The Potential of Rotorcraft for Intercity Passenger Transport", *Journal of Air Transport Management*, Vol.13, No. 2, 2007, pp. 53-60.
9. Ortúzar, J. de D. and Simonetti, C., "Modelling the Demand for Medium Distance Air Travel

- with the Mixed Data Estimation Method”, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 14, No. 6, 2008, pp. 297-303.
10. 王盈惠, 「臺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學系碩士論文, 民國 96 年。
 11. 謝尚行、徐翊庭, 「高鐵通車前後臺灣西部走廊旅客運具選擇行為之比較分析」, *育達學院學報*, 第 18 卷, 第 3 期, 民國 98 年, 頁 111-126。
 12. Yang, C. W. and Sung, Y. C., “Constructing a Mixed-Logit Model with Market Positioning to Analyze the Effects of New Mode Introduction”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 18, 2009, pp. 171-182.
 13. 石豐宇、謝正宏, 「應用賽局理論研擬高速鐵路通車後之國道客運競爭策略」, *運輸計劃季刊*, 第 38 卷, 第 1 期, 民國 98 年, 頁 69-83。
 14. 鄭永祥、郭蕙瑜, 「探討兩種不可儲存服務商品結合之旅客選擇行為—以高鐵與飯店服務為例」, *運輸計劃季刊*, 第 39 卷, 第 4 期, 民國 99 年, 頁 381-412。
 15. 徐智鏢, 「臺灣高鐵營運對長程國道客運需求價格彈性之影響：以國光客運公司臺北-高雄路線為例」, 臺灣大學農業經濟學研究所碩士論文, 民國 100 年。
 16. 馮正民、黃昱凱, 「轉移成本與服務品質對店配取貨點選擇行為之影響」, *運輸計劃季刊*, 第 35 卷, 第 4 期, 民國 95 年, 頁 391-426。
 17. 郭奕姝、黃昱凱、楊敬怡, 「以劇變模型發展選擇行為之行銷策略：以選擇旅行社網站為例」, 2008 管理評論評論年會暨第一屆前瞻管理學術研討會, 財團法人光華管理策進基金會, 民國 97 年。
 18. Feng, C. M. and Huang, Y. K., “An Analysis on Choice Behavior on the Pick-Up Point for the E-commerce Retailing Delivery Using a Cusp Catastrophe Model”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7, 2007, pp. 918-932.
 19. Zeeman, E. C., “On the Unstable Behavior of Stock Exchanges”, *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 1, 1974, pp. 39-49.
 20. Oliva, T. A., Oliver, R. L., and MacMillan, I. C., “A Catastrophe Model for Developing Service Satisfaction Strategies”, *Journal of Marketing*, Vol. 56, 1992, pp. 83-95.
 21. Lange, L., McDade, S., and Oliva, T. A., “Technological Choice and Network Externalities: A Catastrophe Model Analysis of Firm Software Adoption for Competing Operating Systems”, *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 12, 2001, pp. 9-57.
 22. Byrne, D. G., Mazanov, J., and Gregson, R. A. M., “A Cusp Catastrophe Analysis of Changes Adolescent Smoking Behaviour in Response Smoking Prevention Programs”, *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, Vol. 5, No. 2, 2001, pp. 115-137.
 23. Zeeman, E. C., *Catastrophe Theory: Selected Papers (1972-1977)*, Addison-Wesley, New York, 1977.
 24. Kauffman, R. G. and Oliva, T. A., “Multivariate Catastrophe Model Estimation: Method and Application”, *Academy of Management Journal*, Vol. 37, No. 1, 1994, pp. 206-221.
 25. Alexander, R. A., Herbert, G. R., Deshon, R. P., and Hanges, P. J., “An Examination of Least Squares Regression Modeling of Catastrophe Theory”, *Psychological Bulletin*, Vol. 111, No. 2,

- 1992, pp. 366-374.
26. Wales, D. J., "A Microscopic Basis for the Global Appearance of Energy Landscapes", *Science*, Vol. 293, 2001, pp. 2067-2070.
 27. Chidley, J., Lewis, P., and Walker, P., "The Cusp Catastrophe as a Market Planning AID", *Behavioral Science*, Vol. 23, 1978, pp. 351-359.
 28. Vikram, S. and Ruth, C. K., "An Application of the Cusp Catastrophe Model to User Information Satisfaction", *Information & Management*, Vol. 34, 1998, pp. 41-53.
 29. Dou, W. and Ghose, S., "A Dynamic Nonlinear Model of Online Retail Competition Using Cusp Catastrophe Theory", *Journal of Business Research*, Vol. 59, 2006, pp. 838-848.
 30. Mao, C. K., Ding, C. G., and Lee, H. Y., "Post-SARS Tourist Arrival Recovery Patterns: An Analysis Based on a Catastrophe Theory", *Tourism Management*, Vol. 31, 2010, pp. 855-861.
 31. Navin, F., "Traffic Congestion Catastrophes", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 11, 1986, pp. 19-25.
 32. Hall, F. L., "An Interpretation of Speed-Flow Concentration Relationships Using Catastrophe Theory", *Transportation Research*, Vol. 21A, 1987, pp. 335-344.
 33. Persaud, B. N. and Hall, F. L., "Catastrophe Theory and Patterns in 30-Second Freeway Data-Implications for Incident Detection", *Transportation Research*, Vol. 23A, 1989, pp. 103-113.
 34. Acha-Daza, J. A. and Hall, F. L., "A Graphical Comparison of the Predictions for Speed Given by Catastrophe Theory and Some Classic Models", *Transportation Research Record* 1457, 1993, pp. 119-124.
 35. Acha-Daza, J. A. and Hall, F. L., "The Application of Catastrophe Theory to Traffic Flow Variables", *Transportation Research*, Vol. 28B, 1994, pp. 235-250.
 36. Pushkar, A., Hall, F. L., and Acha-Daza, J. A., "Estimation of Speeds from Single-Loop Freeway Flow and Occupancy Data Using Cusp Catastrophe Theory Model", *Transportation Research Record* 1398, 1994, pp. 149-157.
 37. 郭奕奴, 「以劇變模型分析高速公路實施擁擠收費之駕駛人路線移轉行為」, *運輸計劃季刊*, 第 40 卷, 第 2 期, 民國 100 年, 頁 133-160。
 38. Saunders, P. T., *An Introduction to Catastrophe Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
 39. Cobb, L., "Parameter Estimation for the Cusp Catastrophe Model", *Behavioral Science*, Vol. 26, 1981, pp. 75-78.
 40. Guastello, S. J., "Catastrophe Modeling of Equity in Organizations", *Behavioral Science*, Vol. 26, 1981, pp. 63-74.
 41. Oliva, T. A., Desarbo, W. S., Day, D. L., and Jedidi, K., "GEMCAT: A General Multivariate Methodology for Estimating CATastrophe Models", *Behavior Science*, Vol. 32, 1987, pp. 121-137.
 42. Gilmore, R., *Catastrophe Theory for Science and Engineers*, John Wiley & Sons, New York, 1981.

43. 馮正民、郭奕姝，「廣播資訊接受度及移轉障礙對高速公路小汽車駕駛人路線移轉行為意向之影響」，**運輸計劃季刊**，第 36 卷，第 1 期，民國 96 年，頁 1-30。
44. 馮正民、郭奕姝，「路線資訊類型對高速公路小汽車駕駛人路線移轉行為之影響」，**運輸計劃季刊**，第 36 卷，第 4 期，民國 96 年，頁 477-508。
45. 邱皓政，**量化研究與統計分析**，五南圖書出版股份有限公司，臺北，民國 97 年。