

影響自駕公車決定倫理兩難決策因素 之初探¹

A PRELIMINARY STUDY ON THE DECISION-MAKING FACTORS AFFECTING THE ETHICAL DILEMMA OF SELF-DRIVING BUSES

黃昱凱 Yu-Kai Huang²

盧宗成 Chung-Cheng Lu³

方家為 Chia-Wei Fang⁴

(111 年 7 月 12 日收件，111 年 11 月 13 日第一次修正，112 年 3 月 7 日接受)

摘 要

自駕車是人工智慧的創新應用之一，自駕公車在道路上的行駛實驗也正在世界各地進行中。本研究以 Level 4 自駕公車為研究對象，建構尖點劇變模型來探討影響自駕公車倫理兩難的決策因素。本研究在臺北與上海以問卷調查收集資料，並且比較兩個城市的調查結果。研究結果顯示有 47% 的受訪者表示遇到自駕公車倫理兩難時，由「人類司機」或「AI 演算法」來進行決策都可接受，且偏好「人類司機」。此外，臺北的受訪者在自駕公車的知覺有用性、使用態度構面有較高的分數，而上海受訪者在知覺風險與知覺行為控制構面有較高的分數。最後，本研究根據所建構的尖點劇變模型進行質性分析，研究結果可提供政府部門研擬自駕公車相關政策時的參考。

-
1. 作者在此感謝國科會對於本文的研究經費支持（計畫編號：MOST 110-2410-H-343-005-MY3），此外，作者特別感謝兩位審查委員對於本文所提出的寶貴意見，讓本文得以更完整。
 2. 國立臺灣海洋大學海洋觀光管理學副教授兼學程主任。
 3. 國立陽明交通大學運輸與物流管理系特聘教授（聯絡地址：100003 臺北市中正區忠孝西路一段 118 號 4 樓，電話：02-23494960，Email: jasonccclu@nycu.edu.tw）。
 4. 國立陽明交通大學運輸與物流管理系碩士。

關鍵詞： 自動駕駛公車、倫理兩難、尖點劇變模型

ABSTRACT

Self-driving vehicles are one of the innovative applications of artificial intelligence (AI). On-road experiments with self-driving buses are conducted around the world. This study focuses on Level 4 self-driving buses. We explore decision-making factors of potential users who are faced with a ethical dilemma situation by using a cusp catastrophe model. This study collects data through questionnaire surveys in Taipei and Shanghai. Results of the two cities are compared. We find that 47% of the respondents find it acceptable to allow a "human driver" or an "AI algorithm" to control the Level 4 self-driving bus when faced with a ethical dilemma. However, they prefer "human drivers". In addition, respondents in Taipei perceive a higher usefulness of self-driving buses and have more positive attitudes toward them than respondents in Shanghai. The latter exhibit higher perceptions of risk and behavioral control. In addition, we conduct a qualitative analysis based on a cusp catastrophe model. The results of this study can serve as a reference for government authorities seeking to formulate policies for promoting self-driving buses.

Key Words : *Self-Driving ; Bus ; Ethical Dilemma ; Cusp Catastrophe Model*

一、緒 論

史丹佛大學人工智慧百年研究專案小組於 2016 年 9 月發布了首份人工智慧報告《2030 年的人工智慧與生活》，這份報告列舉了當前人工智慧的熱門研究領域，包括深度學習、機器人、電腦視覺、自然語言處理、眾包和物聯網 (IoT) 等。該報告也指出人工智慧在 2030 年時最可能的應用場景包括智慧汽車、交通規劃、即時交通、人機交互等技術變革在內的交通應用，家庭服務機器人領域的應用、人工智慧輔助的醫療應用以及智慧教育應用等，而自動駕駛為人工智慧在交通運輸領域最受到矚目的應用情境之一。自動駕駛最早是應用在航空運輸上，飛行員可在給定的條件下啟動自動駕駛來減輕駕駛員在執行長途飛行任務時的負擔，但萬一「人機合作」不成卻遇到「人機衝突」的情境就可能發生災難^[1]。2014 年 6 月在紐約綺色佳 (Ithaca) 就發生一個電車兩難的道路版悲劇，一輛卡車司機發現他的煞車失靈，為了避免撞上一群建築工人，司機選擇轉向另一邊的咖啡店，卻意外造成一名 27 歲女性服務生的死亡。這個不幸事件是發生在人類駕駛的情境，由人類駕駛做出決定，但若發生在自動駕駛呢？人類是交給 AI 決定還是即刻轉交給人類駕駛來做決定？

AI 可能需要具有倫理上的判斷，因為有些時候人類的倫理觀念可能是錯的，而在緊急情境下，人類會因為突發事件而無法即時作出反應。目前對於自駕車遇到複雜情境下的決

策邏輯有兩種看法，一種是模仿人類駕駛員的行為，這是屬於一種隨機模式，因為在缺少思考與反應時間下所做的決定，很難去計算這樣的直覺是如何生成的，因此讓自駕車也用隨機模式來處理突發的意外情境。這種設計的好處是藉由隨機的規則來設法避開由誰來負責的問題（一般來說，駕駛輔助系統的製造商、協同系統的服務商、自駕車廠商、交通管理單位、汽車駕駛員等是會被要求在交通事故中追訴責任）。另一種解決方法是由駕駛者事先根據不同情境下所做出的倫理選擇，經由 AI 來學習駕駛者的倫理觀，或由駕駛者事先決定遇到類似緊急情況下的處理原則。不過，認為人類的價值觀或倫理是可以計算的人可能誤解了倫理的特性，那就是忽略了倫理具有無法簡化性的特徵，有時候我們認為在發生交通意外時，不論是人或機器，都沒有權利決定由誰來承受傷害^[2]。

自動駕駛車被認為是提升道路安全、解決交通擁擠、減少能源消耗的有效方法^[3]，有關自動駕駛的研究議題相當的廣泛，包含自駕車對於社會的影響、自駕車的接受意願以及自駕車的安全與倫理兩難議題等。Evas^[4]的報告中指出自駕車會對以下層面帶來影響：民事責任（責任歸屬與保險理賠）、道路安全、數據相關（數據保護、隱私與共享）、基礎設施通訊相關（高效、可靠和通訊）和民生就業（創造與失去工作機會）。由上面的敘述知道當 Level 4 等級自駕情境越來越普遍後，有關人機合作或人機矛盾與衝突都會對交通系統產生衝擊，因此我們有必要在這些衝擊發生前，針對相關議題進行研究分析，來協助交通管理單位研議相關的管理制度。在 Level 4 與 Level 5 等級自駕車在汽車市場的發展過程中，有關人工智慧牽涉到的倫理問題已經是不可避免的課題，2018 年 11 月 30 日立法院完成《無人載具科技創新實驗條例》三讀，開啟了臺灣智慧交通發展的新里程，誠如王傑智教授在《自駕車革命》一書的序言所提“包含人在內的系統整合才是自駕車產業的關鍵”，也就是說，「人」才是自動駕駛最後一塊拼圖。本研究以自駕公車為分析主體，經由尖點劇變模型對於自駕車系統之量化研究的先導因素篩選進行初探，並以同屬華人的不同地區民眾對於 Level 4 自駕公車面對自駕公車遇到倫理兩難課題時的決策行為為分析對象，除經由建構劇變模型來分析決策行為的特徵，並根據分析的結果提出相關的管理意涵。

二、文獻回顧

2.1 自駕公車相關研究

自動駕駛汽車對於社會的影響包括安全、社會公平、能源等層面，Anderson et al.^[5]的研究認為自動駕駛的應用可以減少人類駕駛的錯誤進而拯救更多生命、可以提高燃料效率並促進替代能源使用、交通流量可以更有效分配以減少擁堵情況發生、提升身障人士的移動能力。美國高速公路安全保險協會（The Insurance Institute for Highway Safety, IIHS）認為自動駕駛優於人類駕駛，並主張應透過合理補貼、改善政策法規、落實責任分配來鼓勵該自動駕駛技術。波士頓顧問公司（BCG）的研究^[6]指出自動駕駛與共享汽車的普及將會使 2030 年美國城市的汽車數量減少 60%，排放減少 80%，交通意外事故減少 90%。但

自動駕駛也有安全性、數據隱私和倫理等議題。

有關乘客對於自駕車的接受度是許多學者關心的重點^[7]，Molnar 等人^[8]的研究顯示「信任」是自動駕駛汽車接受度最大的影響因素，而應對交通情境的能力、人機接管的處理時間、舒適度和控制偏好也會影響使用者對於自駕車的信任和使用。Nordhoff 等人^[9]以 Level 4 等級自駕車為情境，發現社會人口統計、移動特性、車輛特性、系統特性等 4 個因素會影自駕車的接受度。Becker 與 Axhausen^[10]的研究則認為性別、年齡、收入以及對於自動化趨勢的認知都與自駕車接受度呈現高度相關。López-Lambas 與 Alonso^[11]通過焦點團體訪談來探討阻礙自駕公車普及的因素，該研究發現人員成本的降低、減少擁堵的潛力、交叉路口的等待時間以及減少排放是發展自駕公車的有利因素，至於負面因素則包含車輛和基礎設施成本的增加、特定條件下的安全風險（例如系統故障、恐怖襲擊等）以及可能減少的就業機會。

自駕公車勢必會在公共運輸終將扮演重要角色，尤其是在時間成本在總旅行成本中佔份額較小的公共交通系統，引入自駕公車將具有明顯的潛在利益^[12]。自駕公車最有吸引力的好處是因為沒有司機成本，所以自駕公車的導入可能讓公車票價更低，Piao et al.^[13]的研究顯示如果一條路線上同時提供自駕公車和傳統公車，大約三分之二的受訪者會考慮乘坐自駕公車。Iclodea 等人^[14]認為目前世界各國對自駕公車的的法律規範極不平衡，且此因素會影響到自駕公車的開發與發展。此外，Iclodean 也指出現行自駕公車的的發展阻礙包含：(1) 需要一名人類操作員在車上監控、(2) 搭載乘客數量少、(3) 行駛速度低，與 (4) 造價高等困境，但自駕公車也擁有解決夜間無大眾運輸服務、封閉場域接駁旅客等優點。

車輛的安全性是消費者購買自駕車最關心的因子，除了個人因素外，區域文化因素也扮演著重要角色，不同國家對於自駕車的接受度以及顧慮的因素會有所不同，例如高收入國家對於車輛的資料傳輸有更多的疑慮。Koppel 等人^[15]建議製造商和政府除應針對特定的消費族群推廣自駕車的安全性外，並需增加消費者對於安全功能的認知來增加其購買動機。許多研究都說明舒適度和信任度對於自駕公車使用意向有正相關^[16]，而人口特徵、旅行習慣、服務特性和安全問題也是造成乘客是否接受自駕公車的重要因素^[17]。由於不同文化背景的人對於自駕公車的使用態度，以及對於自駕公車的相關風險看法不同，因此對於不同國家進行類似的研究，或針對不同國家或地區進行比較研究就成為發展自駕車過程中重要的研究課題。

Esterwood 等人^[18]以美國人為分析對象，經由網路收集 401 名參與者分析個體差異是否會影響乘坐自駕公車的意願，分析結果顯示自駕公車的信任因個人年齡和乘坐公車頻率而異，而對自駕公車的態度則會因個人年齡、種族和乘坐公車頻率而異，至於乘坐自駕公車的意圖則與年齡、性別、種族和乘坐公車頻率有關。Dong 等人^[19]使用混合 logit 模型並選擇賓夕法尼亞大學的學生為分析對象，探討哪些類型的乘客最願意乘坐無人駕駛公車。研究結果發現安全是所有模型中滿意度和行為意圖的關鍵驅動因素，其中，女性對於自駕公車較滿意，但不願意單獨乘坐。在芬蘭的樣本方面，Salonen 與 Haavisto^[20]應用人際行為理論 (TIB) 來分析芬蘭人對於無人駕駛穿梭巴士乘客的體驗、認知和感受，該研究

結果發現沒有人類司機對於參與實驗的乘客而言來說不是問題，參與研究的乘客對自己在自動駕駛汽車中的安全感感到驚訝。更具體地說，乘客的感知類似於乘坐地鐵或電車旅行時，乘客就算目睹司機的存在也很少與司機互動。不過該研究也指出人們對自動駕駛汽車造成的事故比人類更不能容忍。

敘述性偏好的研究設計是自駕車研究領域常用的方法，Winter 等人^[21]的研究發現與有人類駕駛的公車相比，人們更不願意乘坐無人駕駛的公車，且自駕公車的搭乘意願會受參與者性別、車上人員和位置的影響，當公共汽車位於美國以外或有兒童時，乘坐自駕公車的意願會急劇下降。該研究的分析也顯示目前美國人還沒有完全接受自駕公車的服務系統。Nordhoff 等人^[22]認為要讓自動駕駛汽車有效融入我們日常生活的一個必要條件是自動駕駛汽車內的乘客和外的行人和騎自行車的人接受它們，該研究以 119 名住在柏林的受測者為分析樣本，這些受訪者共參加了 62 次陪同試乘，平均搭乘自駕車的持續時間為 37 分鐘，研究結果發現自駕車的接受度不僅取決於車內的乘員（汽車司機和乘客），還取決於易受傷害的道路使用者，例如自動駕駛汽車外的行人和騎自行車的人。

Guo 等人^[23]在斯德哥爾摩分析公眾對自駕公車的接受度，並探討影響自駕公車使用和口碑意圖的關鍵影響因素。該研究分析的結果顯示用路人的需求類型對使用自駕公車的意願會有所影響，不過該研究也發現個人的行為意圖對實際行為沒有顯著影響，也就是說採用意圖和推薦行為可能與用戶接觸真實自駕公車服務時表現出不一致。

在中國的研究方面，Chen 等人^[24]以重慶市居民為調查對象，並以擴展科技模型(UTAUT)分析無人駕駛公共汽車的行為意向，該研究發現個人創新性和感知風險是影響公眾接受自駕公車意願的最關鍵因素。此外，性別、年齡和受教育程度也會對自駕公車的態度具有不同程度的調節作用。不過，由於無人駕駛公共交通在中國尚未廣泛投入市場應用，大多數受訪者沒有實際使用經驗，因此這個限制或多或少會導致一些偏差，雖然該研究並無法完全說明自駕公車的實際行為，但是對於尚未普及的自駕公車系統的研究而言，通過行為意向此類的變數來間接探索乘客對此類未來運輸系統的使用意向是一個可行的研究方向。

蘇祥愷^[25]透過情境模擬建立一套自駕公車提供往返故宮南院與嘉義高鐵站的接駁服務，並利用個體選擇模型分析不同社經背景和旅次特性的民眾的搭乘偏好。該研究指出雖然有超過半數的民眾願意嘗試搭乘自駕公車，但對於交通安全、緊急狀況處理等層面仍有疑慮，所以系統安全是影響未來發展的重要因素，提升民眾對於安全性的認知可以提高自駕公車的使用意願和信任感。此外，該研究也發現路程時間和旅行成本對於自駕公車的選擇有顯著的影響。

在多國樣本的比較分析方面，Anania 等人^[26]以性別和國籍為研究變量，分析父母允許他們的孩子乘坐自動校車的意願，研究發現與傳統的人工駕駛車輛相比，參與者更不願意讓他們的孩子乘坐無人駕駛校車，不過駕駛員類型、參與者性別和國籍之間存在顯著的相互作用，統計分析的結果顯示美國女性的意願不如印度女性，總體而言，美國人樣本對於自駕校車的接受度意願低於印度人。Nordhoff 等人^[27]的研究則發現消費者對於自動駕

駛的接受程度與 GDP、國民平均壽命呈現負相關，該研究發現有 85% 的印度人和 75% 的中國人會使用全自動駕駛汽車，但卻只有 36% 的日本人以及 40% 的德國人和荷蘭人願意使用自駕車。

Esterwood 等人^[18]透過問卷調查的方式探討美國民眾選擇乘坐自駕公車的影響因素，該研究結果顯示個體間的差異會影響乘坐自駕公車的信任、態度與意圖，這份研究顯示亞裔、拉丁裔美國人較白人美國人對自駕公車的乘坐意願更高。此外，此研究也認為民眾對於自駕公車的信任則會受到年齡與乘坐公車的頻率而異，較年輕的民眾比 65 歲以上的民眾更信任自駕公車、經常乘坐公車的民眾比不常搭公車的民眾更信任自駕公車；而對自駕公車的態度會受到年齡、種族與乘坐公車的頻率而異，較年輕的民眾比 65 歲以上的民眾對自駕公車的態度更正面、經常乘坐公車的民眾比不常搭公車的民眾對自駕公車的態度更正面；亞裔美國人較白人美國人對自駕公車的態度更正面。

Goldbach 等人^[28]指出信任和經驗等因素發現會影響民眾使用自駕公車的既定意圖，而透過整合型科技接受模型發現，努力期望、績效期望與社會影響等因素會影響民眾對自駕公車的使用意圖。在自駕公車的研究領域中，分析沒有乘務員情況下民眾乘坐自駕公車的感知安全是發展自駕公車的重要議題，Claudia 等人^[29]透過不同情境，包含 (1) 乘客自行乘坐無乘務員的自駕公車、(2) 乘客在搭乘無乘務員的自駕公車時必須與其他乘客互動、(3) 乘坐無乘務員自駕公車時面臨到兩種技術困境下民眾做出反應等情境下，分析當自駕公車成為公共交通的一部分時，民眾對於安全感知的挑戰。該研究發現影響民眾感知安全最重要的因素就是自駕公車的駕駛方式與乘客對科技技術的信任感，而讓乘客得以隨時聯繫上自駕公車控制室的人員則會有效提升乘坐無人駕駛自駕公車的安全感。

為了分析自駕公車上若有人員監控車輛時，是否會強化乘客的安全意識，進而正向影響乘客自駕公車的看，Nordhoff 等人^[22]透過問卷調查與深度訪談的方式探討 119 名民眾在柏林試乘在混合車流的感受，分析的結果顯示自駕公車上的監控員身份若沒隱藏則會提升試乘民眾乘坐無人自駕公車的安全感受。該研究也發現乘客對於自駕車的意見分為三類：感知安全、在道路交叉環境下的自駕公車交互情況、與自駕公車的溝通。乘客所感知到的自駕公車安全問題可以分為三類，分別是：與車輛相關的安全問題、與個人相關的安全問題、與環境相關的安全問題。在道路交叉環境下的自駕公車交互的情況中，民眾認為相較於一般公車，會對自駕公車更為謹慎；此外，乘客也會在意自駕公車是否有提供旅程中相關訊息、自駕公車行駛行為的可預測性以及行駛行為的相關訊息。Dong 等人^[19]的研究也說明只要有司機在自駕公車上，許多乘客就會願意搭乘早期的自動化公車，此外，男性和年齡較小的族群比女性和年齡較大的族群更願意乘坐無人駕駛公車。

信任和使用態度兩個常受個體差異影響科技接受度的重要預測因素，要發展自駕公車就不可忽略乘客對自駕公車上缺乏人身安全的看法^[20]，許多研究發現信任是乘客使用自駕公車的關鍵因素^[29]，擁有值得信賴的自駕系統將有助於解決使用者對自駕公車的擔憂。Bierman 等人^[30]評估信任標籤是否可以當作自駕公車的信任標準，研究結果顯示信任標籤的想法廣受大家的接受，而當該標籤的整體評價越正面，越可以提升對該自駕公車

的信任程度。該研究認為若要提升自駕公車服務的可信度，標籤需要包含可衡量的評估標準並清楚透明的顯示出來；至於民眾感知到因為標籤產生的擔憂，則可以透過讓標籤具有法律效應提升其可信度，該研究也發現透過清晰、簡潔、可識別的方式設計標籤可以提升民眾對於標籤的可信度。

自動駕駛的倫理兩難是發展智慧交通運輸系統不可避免的政策議題，雖然目前已經有許多文獻在討論關於自動駕駛的接受度或倫理兩難之調查研究，但這些研究中的大多數都針對自西方國家的樣本進行分析，例如法國、瑞士、德國、美國、英國和澳大利亞^[31]，而針對華人分析自駕車相關課題的研究則相對缺乏。雖然有些自駕車的研究是屬於跨國性的研究，如 Nordhoff 等人^[27] 在 2018 年所做的「無人駕駛汽車的接受度」研究，該研究分析了 116 個國家的 7,755 名受訪者的數據，但是細分到各國家卻因為每個國家的樣本數大約為 66 份，這個樣本數的限制讓該研究並沒有進行不同國家的分群分析。此外，另一篇最常被引用的自駕車跨國研究則是 Awad 等人^[32] 與 Noothigattu 等人^[33] 通過麻省理工學院的倫理機器網站收集 130 萬人的偏好數據所做的分析，該研究將樣本區分為東方（如中國、臺灣、日本、韓國等受到儒家思想影響的國家）、西方（基督教或天主教）與南太平洋等三個部分，分析的結果顯示自駕車遇到倫理困境時的用路人決策會因為不同文化背景而有所不同，西方國家對於保護動物的傾向比東方國家多，東方國家對於傾向保護行人的看法也比西方國家強烈，但是該研究也未將東方的樣本進行細分，因此對於同屬華文生活圈的地區，有關兩岸華人對於自駕車或自駕公車遇到倫理兩難時的決策類型是否有所不同也就成為一個值得探討的問題。

2.2 自動駕駛倫理兩難

即便自動駕駛比人類駕駛安全也不代表自動駕駛不會有安全問題，自動駕駛的安全議題是政府、保險公司、汽車製造商不可避免的挑戰，萬一發生自動駕駛事故時，如何進行責任劃分將會是一個重要課題。Kalra and Paddock^[34] 的研究指出需要透過電腦模擬、數學模型運算、不同的情境及行為測試等多方面的研究才能得到自動駕駛是否比人類駕駛更為可靠的結論。對自動駕駛的安全意識與風險認知是探討自動駕駛應用時不可忽略的重要課題，且政府必須開始制定隨著技術發展的適應性法規，以便社會能夠更安全地使用這些快速發展的自動駕駛技術。Patrick^[35] 提到設計自動駕駛的演算法必須得到民眾的支持，因民眾是關鍵的利害關係者，若不參考民眾的倫理偏好，將導致自動駕駛技術的發展面臨潛在的風險，產生大量不確定性。

人工智慧技術的強大不只是改變我們的生活，AI 還可能會挑戰人類的倫理與價值觀。經典的「電車難題」也是自駕車最常被討論的倫理。制定自動駕駛系統的倫理觀以便做出最佳的倫理決定可採取下列三個策略：(1) 根據一個通用原則制定合理的倫理系統將事故影響降至最低，例如受傷比死亡好；(2) 使用深度學習技術來研究人類是如何在事故時做出決定，進而樹立類似的價值觀；(3) 讓自駕車使用自然語言表達自己的決定，讓人們能了解並且糾正。Rhim 等人^[36] 的研究探討人類倫理的推理過程並讓自駕車保持和人類一樣

的價值觀，透過倫理兩難的設計來降低決策的抽象性，影響倫理強度的因素有事故後果的嚴重程度、當下的反應時間、社會對於倫理的共識，該研究並倡導發展專屬於自駕車且以人為本的倫理文化來提高決策的透明度。建構符合倫理的自駕車決策系統無疑是 AI 應用在交通系統中最艱鉅的挑戰之一，Frank 等人^[37]的研究提到建構有關倫理決策的機器倫理模型的主要挑戰在於人類倫理決策中的偏見。近年來已經有許多文獻在探討人類在自動駕駛汽車倫理兩難中的可能存在的決策偏見，如 Noothigattu 等人^[33]與 Awad 等人^[32]的研究都主張不同國家的文化特徵以及現代化程度會影響該地區之用路人對於自駕車遇到倫理兩難的屬性偏好，並建議製造商和政府在设计系統時應關注該國家民眾的倫理偏好。雖然 Awad 等人^[32]的研究結果在不同倫理學派間亦存在爭議，但至少與德國倫理委員會在 2017 年所頒佈的自動駕駛與聯網車輛倫理規範 (Ethics Commission: Automated and Connected Driving) 第 7 條的規定「在遭遇兩難的情況下應優先保護人類生命」的精神有類似之處。

自動駕駛所遭遇到的倫理兩難與倫理選擇所牽連到的利害關係者，不僅僅是與駕駛、用路人、製造商、政府、倫理學者或工程師進行研究後就可以逕自根據研究的結果來確認所謂的倫理價值，自動駕駛所牽涉到的公眾價值是考慮不同文化或時空背景等外在因素，這些都讓自駕車的倫理課題變得十分複雜。Nyholm^[38]分析有關自駕車交通安全責任的法律文獻，發現法律責任與人類倫理的整合是發展自動駕駛不可避免的議題。Martinho 等人^[39]從研發自動駕駛技術公司的技術報告中探討責任分配和倫理相關議題，該研究認為自動駕駛若應用到公共運輸將會面臨集體利益的衝突，此時倫理的模糊性會使自駕公車系統的設計帶來挑戰，強調彙總社會倫理偏好能確保自動駕駛可以符合人類的價值觀。

除了自駕車的倫理兩難外，自駕車所面臨的社會困境 (Social Dilemma) 也是一個課題，當我們想要發展自動駕駛時，便避免不了有關個人利益或公共利益的衝突。許多研究都顯示以行人角度考慮自駕車的倫理兩難時，人們會選擇犧牲自駕車上的乘客而非行人，但是當轉換角色觀點時，比如換成自己就是自駕車上的乘客，則多半的人會希望自駕車能夠選擇保護坐在自駕車上的乘客。Wilson and Theodorou^[40]也支持上述的看法，該研究指出人們對於自駕車倫理兩難的決策除了會受到人們自身的偏好所影響外，也會與以哪種角度 (如行人、乘客或第三者) 的觀點來面對與思考自駕車倫理兩難有關。上述文獻的研究結果均顯示人們對於自駕車的倫理準則看法會受到不同的觀點所影響，這無疑增加我們想要建構一套演算法來試圖描繪公眾輿論進而針對自駕車倫理兩難進行決策的困難。此外，也有學者認為應用自動駕駛的任何演算法進行決策都應從倫理角度考慮，且不是僅侷限在危險情況，Dietrich and Weisswange^[41]認為符合倫理規範的決策行為非常重要，因為自動駕駛汽車與其他交通參與者一樣，都是在共享的公共空間中操作，每個行為決策後果都會影響到其他用路人的安全與行為。Hong 等人^[42]表示當人類或機器犯同樣的錯時，多半人會對於機器犯錯更無法容忍，而這也是為何當自駕車遇到倫理兩難時，由 AI 來決定的方式會受到更嚴格的關注。由於我們在未來可能對數百萬輛具有自動駕駛功能的汽車賦予自主權，因此嚴肅對待演算法的倫理兩難將會是一個十分重要的課題。

2.3 劇變理論與相關研究

劇變理論為討論非線性系統的結構穩定性提供了一套數學模型，劇變模型藉由控制變數的擾動來分析系統穩定的敏感程度。一般最常用的劇變理論為尖點劇變方法 (Cusp Catastrophe Method, CCM)，該模型為藉由改變兩個控制因子和一個狀態變數，觀測用來描述個體行為改變的狀態變數來解釋動態非連續的系統。Theofilatos^[43] 探討高速公路的即時車流量與天氣狀況對於事故頻率的影響，該研究目的為檢查高速公速系統的安全性，透過尖點劇變模型觀察系統從安全到不安全的突然跳動特性，最後比較尖點劇變模型與負二項模型等傳統統計模型，結果發現尖點劇變模型可以有效地描述系統車流量對於事故頻率的非線性特徵。Huang 等人^[44] 應用尖點劇變模型對鐵路危險品運輸系統風險狀態變化進行分析，將風險因素分為五類，包括人類行為錯誤、機器故障、運輸材料、環境問題和管理問題，並分別建構尖點劇變模型來觀測內部不連續的動態特徵，發現除滯後性外其餘劇變模型的特徵皆有滿足，控制變數若與分歧點相交時會導致系統中風險的能量大幅增加導致安全性的結構破壞。

應用尖點劇變模型分析系統須選擇合適的控制變數和狀態變數來表示劇變系統的特徵，Wang 等人^[45] 利用尖點劇變模型的特徵來描述鐵路系統安全變化以及鐵路系統意外事故的突然跳動性，分別將控制變數設為錯誤等級和保護等級，並分析這兩變數的變動以及鐵路系統安全性相關變化。Chen 等人^[46] 以劇變模型分析工廠爆炸的關鍵因素以及造成災難的內在原因，該研究設定控制變數為人為因子（包含員工安全意識、違規操作、職業素養）和物件因子（包含通風設備、保護系統），該研究認為可應用劇變模型來了解工廠安全程度的動態變化。Lin 等人^[47] 建構尖點劇變模型來分析高人口密度的地區突然發生火災時的疏散行為，並將控制變數設定為該地區平均流量和平均佔有率，狀態變數設定該地區的平均速度，經由觀察模型從穩定狀態到不穩定狀態的變化過程之相關資訊，提供管理單位建立災區交通流量控制和防止災區陷入混亂的策略。

2.4 文獻評析

目前有關自駕車的研究多半集中在私人運具，且研究主題多半集中在購買意願^[32]、接受程度、自駕車技術的限制^[32]、自駕車對交通運輸系統的影響^[12,15]、倫理議題^[33,37]，以及決策偏見^[27, 32]，而到目前為止在有關自駕公車的相關研究中，探討人與 AI 運輸系統的交互影響所知之文獻甚少。目前自駕公車的研究包含自駕公車的風險 (López-Lambas et al.^[11])、自駕公車的運輸成本 (Piao et al.^[13]; Ryousuke A^[12])、自駕公車的搭乘意願 (Dong et al.^[19])、對自駕公車的信任 (Salonen 與 Haavisto^[20])、自駕公車的接受度 (Anania et al.^[26]; Chen et al.^[24])。

由文獻分析的結果可以發現，近年來探討有關自駕車面臨倫理兩難的議題則是較受關注的研究主題，倫理本身是一個多重目標且複雜的認同課題，對於人與機器如何協同合作來處理自駕車面對倫理兩難的議題將是一個重要的研究方向^[48]。由於自駕公車是人工智

慧技術在交通運輸系統中最重要應用類型之一，不過以往針對自駕公車面臨倫理兩難則較缺乏相關研究文獻。雖然目前已經有一些文獻在討論關於自動駕駛的調查研究，但這些研究中的大多數都針對自西方國家的樣本進行分析，例如法國、瑞士、德國、美國、英國和澳大利亞^[31]，而針對華人分析自駕車相關課題的研究則相對缺乏。

蘇祥愷^[25]認為自駕公車應用在混合車流中存在著大量的不確定性，因此目前國內外盛行的自駕公車大多是以低速行駛的接駁車形式為主，並主要行駛於封閉、固定的環境中，如機場、主題樂園等。而隨著臺灣法律限制的鬆綁，自駕公車的實驗場域逐漸從封閉場域邁向公共道路。不管是臺灣或是其他國家在自駕公車領域中，技術應用、服務模式和法規監管等問題都還需要經過大量的研究與改善。目前臺灣有關自駕公車的實驗計畫仍聚焦在車輛硬體與營運測試的穩定，對於有關乘客遇到緊急交通狀況時的決策行為相關研究仍相對缺乏^[49]。

隨著 AI 技術以越來越快的速度進入我們的日常生活，人們越來越需要 AI 系統與人類協同工作^[50]，這就要求 AI 系統表現出人類可以解釋的行為。由於目前針對華文地區進行自駕車使用態度的比較研究仍相對缺乏^[51]，而美國與歐盟都要求自駕車需要對於面對倫理困境時需有所因應，因此進一步以華文地區進行自駕車使用態度，來對不同華文地區對於自駕車需要對於面對倫理困境時的態度是否有所不同進行比較研究將有其必要性。此外，臺北與上海分屬華人社會的重要都市，預計也將是未來自駕公車優先普及的地方（如上海的「上海嘉定區無人之境自動駕駛示範體驗區」以及臺北的「臺北市信義路公車專用道自駕巴士創新實驗計畫」），因此本研究選取針對臺北及上海兩個都市的自駕公車為研究主體。

三、研究設計與分析

3.1 研究設計

麻省理工大學媒體實驗室在 2016 年以 Level 5 自動駕駛的情境來探討自駕車的電車困境問題，該研究所建立倫理機器的網站吸引來自兩百多個國家超過數百萬人參與調查，其中一個研究設計情境如下：「當一台自動駕駛的汽車載著一位乘客在路上，此時若不幸發生自駕車的煞車、網路系統或號誌控制失靈時，因此若繼續往前開會撞上十個路人，您認為自駕車應該：(1) 轉動方向盤拯救路人，但自駕車會撞上牆壁造成車上乘客犧牲，或 (2) 繼續直走保護自駕車上乘客，但是自駕車會撞上路人並造成路人犧牲」，調查結果顯示有 76% 的人選擇「轉動方向盤，犧牲乘客來拯救路人」。本研究探討影響乘客搭乘具有自動駕駛技術公車的使用意向，在研究設計上則是以麻省理工大學媒體實驗室自駕車困境為情境基礎，並參考 Awad 等人^[32]、黃昱凱等人^[50, 51]的研究來設計本文之研究架構，如圖 1 所示。

由圖 1 可以知道本文的分析場景是當自駕公車在路口因系統異常而面臨倫理兩難，分

析影響人類決策的因子與決策類型；分析的重點是在探討人類對於「AI 處理倫理兩難的能力看法」與「賦予 AI 多少權力來處理倫理兩難」等兩個因素對決策類型的影響。研究情境設定為：「若現在有一台具有自動駕駛技術的公車，該公車在行駛時均啟動自動駕駛，司機員僅是遇到交通危難情境時才會介入駕駛。」，並收集受訪者對於自動駕駛技術公車的「風險認知」、「信任程度」，以及遇到交通危難情境時，自動駕駛是否「有權力」去執行駕駛決策來達到交通管理目標(如降低傷亡)等意見的看法。根據受訪者對於本文所建構自駕公車倫理兩難的描述，若受訪者認為該情境下人類司機的決策能力低於 AI 自駕公車的軟體決策能力，且受訪者也認為應該賦予 AI 的執行權力時，那麼受訪者可能會傾向由 AI 來主導該情境的自駕車困境；相對的，若受訪者認為 AI 沒有權力執行該情境下的操作，那麼受訪者可能會支持由人機合作來處理該情境下的自駕公車倫理兩難。

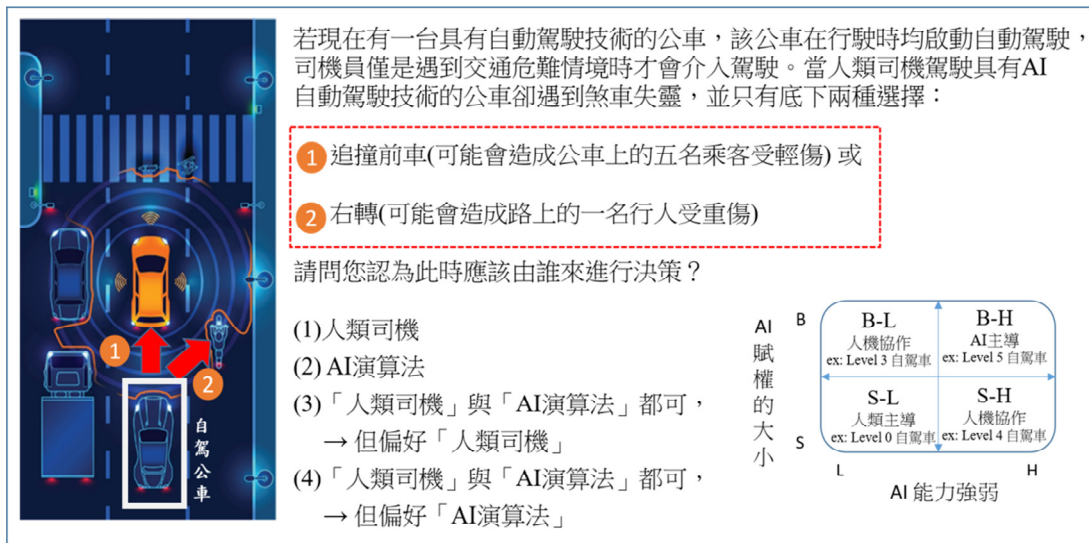


圖 1 自駕公車倫理兩難情境設計

過去有文獻指出決策行為具有雙重性與非線性特徵，並認為劇變模型是一個分析雙重性行為的可行工具 (馮正民與黃昱凱^[52])，由於自駕公車 (Level 4 等級)面臨倫理困境時，乘客可以選擇 (或希望) 由 AI 或者人類司機來執行自駕公車面對倫理困境的決策與執行該項決策，因為此類倫理困境有兩種的決策可以選擇 (人類 vs. AI)，因此符合決策行為的雙重性，因此，本研究根據以往有關劇變模型分析的文獻，進一步建構尖點劇變模型來針對兩岸華人面對自駕公車倫理困境決策因素之初探分析。

以往在處理決策 (選擇) 行為的文獻中，常見的分析方法除了傳統的統計分析技術 (如因素分析、統計檢定、迴歸、判別分析) 外，還有結構方程模型 (用來分析影響決策行為的因素以及這些因素的結構關係，並探討影響選擇行為的主要因素與其影響路徑)、Logit 模型 (經由建構效用函數來分析選擇某決策的機率，並可針對效用函數變數進行彈性分

析)、聯合分析(經由直交表設計產生不同模擬情境,分析受訪者選擇某項決策的主要考慮變數與該變數的哪項屬性最為重要,進而協助研究者發展較有效的行銷方案)。但消費者的決策行為有時會有雙重性(如 A 方案與 B 方案都可接受),若要針對決策行為具有雙重性的相關行為特徵進行分析,則劇變模型會比上述方法可以提供更多決策行為的訊息(如發散性、突變性、遲滯性等)。由於任何分析決策行為的方法都有其優點與其核心處理課題,而本文主要是要關心「賦予 AI 執行權力」以及「AI 判斷自駕公車遇到倫理困境時決策能力」等構面的認知程度與狀態變數-「自駕公車遇到倫理困境時期望的決策型態」進行分析,而狀態變數可分為「傾向由 AI 來決策」,以及「傾向由人類司機來決策」等兩種,但考慮到選擇行為在雙重性時可能仍具有「AI 與人類司機都可,但傾向 AI」,以及「AI 與人類司機都可,但傾向人類司機」的情況,因此在分析本文所思考的情境時,相對於其他方法而言,劇變模型就可以提供分析控制變數與狀態變數時更多的資訊。

為了後續建構尖點劇變模型進行選擇行為質性分析所需,本文所建構的問卷中將包含與模型有關的相關變數,有關本研究各構面的操作型定義與量表的衡量問項說明如下:

1. 態度:態度是指受訪者對於自駕公車在交通運輸所扮演角色的綜合看法^[34, 36]。
2. 知覺有用性:知覺有用性是指受訪者對於有關自駕公車的性、舒適度等與運輸能力有關的指標^[37, 38]。
3. 知覺風險:知覺風險是指受訪者對於有關自駕公車的疑慮或相關風險的認知^[36, 39]。
4. 知覺行為控制:知覺行為控制是指受訪者對於自駕公車的是否有權力執行電車困境的看法或憂慮^[39, 40]。

3.2 資料收集與檢定分析

由於目前針對華文地區進行自駕車使用態度的比較研究仍相對缺乏,而美國與歐盟都要求自駕車需要對於面對倫理困境時需有所因應,因此進一步以華文地區進行自駕車使用態度,來對不同華文地區對於自駕車需要對於面對倫理困境時的態度是否有所不同進行比較研究將有其必要性。此外,臺北與上海分屬華人社會的重要都市,預計也將是未來自駕公車優先普及的地方(如上海的「上海嘉定區無人之境自動駕駛示範體驗區」以及臺北的「臺北市信義路公車專用道自駕巴士創新實驗計畫」),因此本研究選取針對臺北及上海兩個都市的自駕公車為研究主體。

在研究樣本的抽樣方面,目前絕大部分有關自駕車使用行為意向的相關研究幾乎都是線上問卷,如 Becker 與 Axhausen^[31] 分析了 16 篇有關自動駕駛使用行為的研究,該文章發現大多數的研究樣本都是以線上問卷徵求受訪者的方式進行的,且常見以敘述性偏好方式進行。而除了大規模的跨國研究的樣本數超過千人外,其他有關自駕車行為意向的研究的樣本數多半為 300-500 之間,如黃昱凱^[50] 的 547 份、Zmud 與 Sener^[53] 的 556 份、Disehan 與 Can^[54] 的 391 份,以及 Schoettle 與 Sivak^[55] 的 505 份,且都是利用網路線上問卷方式進行資料收集。

本文屬於探索性研究，研究目的是為了日後學者建構尖點劇變模型分析影響自駕公車決策因素時，要選擇哪些變數來建構尖點模型的初探研究。而在分析樣本方面，本文是以臺北與上海兩地的潛在自駕公車使用者為分析對象，但由於無法獲得母體資料，因此採非隨機方式進行，問卷抽樣方式以便利抽樣 (convenience sampling) 法並在網路進行發放。資料收集期間為 110 年 7 月 21~30 日為期 10 天，共收集 676 份有效問卷 (臺北地區為 343 份有效樣本、上海地區則為 333 份有效樣本)，研究樣本以女性比例較高 (58.9%)，年齡則是以 18~29 歲最多 (51.5%)，其次為 30-50 歲 (31.8%)，其他樣本特徵如表 1 所示。

表 1 樣本人口統計樣本

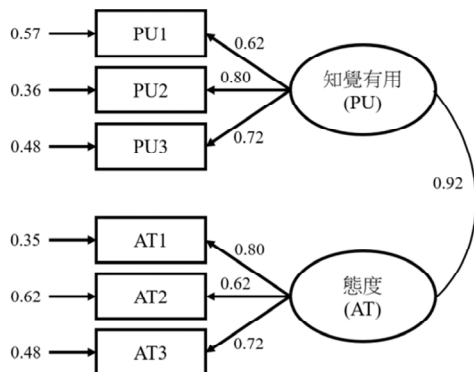
變數	類型	百分比	變數	類型	百分比
居住地	臺北	50.7%	性別	男性	41.1%
	上海	49.3%		女性	58.9%
職業	學生	31.1%	年齡	18~29 歲	51.5%
	上班族	38.5%		30-50 歲	31.8%
	軍公教	15.7%		51-65 歲	16.7%
	其他	14.8%	學歷	大學以下	68.5%
-		研究所以上		31.5%	

圖 2 與表 2 的說明「知覺有用」、「態度」、「知覺行為控制」以及「知覺風險」等四個構面的信度與校度的分析結果，根據表 2 可以知道本研究各構面的 Cronbach α 均大於 0.7，達到文獻對於信度的要求標準 (Cronbach α 大於 0.7)，而各構面的建構信度則是 0.7~0.8，以及平均變異萃取量也都大於文獻建議需大於 0.5 的標準，顯示本文所建構的研究構面均具有一定程度的信度與效度。圖 2 說明模型構面因素分析 (測量模型) 的分析結果，底下以「知覺有用」為例來說明因素分析的結果，根據圖 2 可以發現衡量「知覺有用」的指標 PU1 (我認為具有 AI 技術的公車可有效避免人為失誤)、PU2 (我認為搭乘具有 AI 技術的公車比人類駕駛更安全) 以及 PU3 (我認為搭乘具有 AI 技術的公車比人類駕駛更舒適)，其因素負荷量分別是 0.62、0.80、0.72，都達到大於 0.5 的標準，此外，根據表 3 可以發現「知覺有用」的建構信度、平均變異萃取量，以及 Cronbach α 分別是 0.8、0.5，以及 0.8，這些分析結果顯示「知覺有用」構面量表的具有信度與校度。

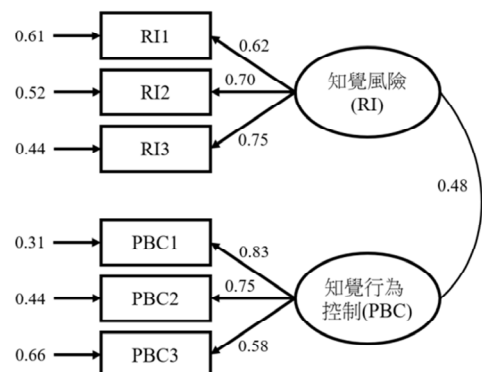
根據圖 2 因素分析的結果可以知道，「知覺有用」與「態度」等兩個構面的相關係數達到 0.92 (相關係數範圍在 0.5~1 表示具有中等程度的相關性 Buda 等人^[56])，表示這兩個構面可能存在一個高階的測量模型；而「知覺行為控制」以及「知覺風險」這兩個構面的相關係數則為 0.48 (相關係數範圍在 0.3~0.5 表示具有中等程度的相關性 Buda 等人^[56])，這些結果說明此兩個構面也會存在一個高階的測量模型。

表 2 研究變數各構面因素分析測量模型分析結果

構面名稱	代號	衡量指標	建構信度	平均變異萃取量	Cronbach α
知覺有用(PU)	PU ₁	我認為具有 AI 技術的公車可有效避免人為失誤	0.8	0.5	0.8
	PU ₂	我認為搭乘具有 AI 技術的公車比人類駕駛更安全			
	PU ₃	我認為搭乘具有 AI 技術的公車比人類駕駛更舒適			
態度(AT)	AT ₁	我認為使用具有 AI 技術的公車可以增加運輸安全	0.8	0.5	0.8
	AT ₂	我認為使用具有 AI 技術的公車將是一個不可避免的趨勢			
	AT ₃	我比較信任由 AI 技術來處理公車所遇到危難情境			
知覺風險(RI)	RI ₁	我認為公車應用 AI 技術會降低人類司機的應變能力	0.7	0.5	0.7
	RI ₂	我認為目前公車的 AI 技術仍不成熟			
	RI ₃	我認為與公車 AI 肇事責任有關的法規並不完善			
知覺行為控制(BC)	BC ₁	我認為 AI 技術沒權力決定要犧牲車上乘客或車外的行人	0.8	0.5	0.7
	BC ₂	我會擔心 AI 技術的誤判而讓我受傷			
	BC ₃	我認為 AI 技術沒有權力來執行交通危難情境的決策			



正則因子 (v)：處理倫理兩難時AI相對於人類之決策能力



分裂因子 (u)：賦予AI執行倫理兩難之權力

圖 2 模型構面測量模型分析結果

底下我們進一步計算研究各構面的因素分素，並將因素分素標準化後的數值進行處理，將標準化數值小於 0 的編碼為 1，標準化數值大於 0 的編碼為 2，上述處理的目的是將原本屬於連續的資料轉換為類別變數，將該構面進一步以數值的高低重新編碼為兩種不同的屬性⁵。重新編碼後的各構面之因素分數就會轉換為「高」或「低」等兩種屬性的類別變數，表 3 說明臺北與上海兩個城市的樣本，分別對於重新編碼後的構面進行卡方分析的結果。根據表 3 可以知道臺北與上海兩地在各構面的看法均達到統計顯著水準 (p -value 均小於 0.05)，進一步對臺北與上海兩個城市進行比較分析可以發現：

- (1) 臺北的樣本在「知覺有用性」、「態度」等兩個構面上，屬性為「高」的比例均超過六成五，而上海地區的樣本在這三項構面的屬性被標註為「高」的比例則都低於三成五，顯示臺北的樣本在自駕公車的「知覺有用性」與「態度」的認同度比上海的樣本來的高。
- (2) 在自駕公車的「知覺風險」認知方面，臺北地區的樣本有過半數會擔心自駕公車風險的議題 (54.3%)，但是上海地區的樣本卻與臺北樣本的特徵相反，反而有 53.6% 的上海受訪者表示不擔心自駕公車的風險議題。
- (3) 在「知覺行為控制」構面，上海地區的樣本也表現出與臺北樣本不同的看法，上海地區有過半數 (53.1%) 的受訪者表示會擔心自駕公車有關「知覺行為控制」的議題，但臺北地區的樣本卻有過半數 55.5% 的受訪者表示並不擔心這個議題。

表 3 不同城市各構面的卡方分析

構面名稱	屬性	臺北	上海	p -value
知覺有用性	低	36.0%	64.0%	0.000**
	高	65.9%	34.1%	
知覺風險	低	46.4%	53.6%	0.024*
	高	54.3%	45.7%	
態度	低	29.9%	70.1%	0.000*
	高	68.2%	31.8%	
知覺行為控制	低	55.5%	44.5%	0.016*
	高	46.9%	53.1%	

表 4 說明研究各構面與人口特徵的卡方分析結果，根據表 4 可以知道在臺北的樣本部

5. 若某樣本該構面的編碼為 1，表示該樣本在該構面的同意程度相較其他樣本來的低，因此將其標註為「低」的屬性。以知覺有用性為例，若受訪者 A 在知覺有用性的三項衡量指標的同意程度低於整體樣本的平均值，那麼樣本 A 在知覺有用性的標準化因素分數的數值就會小於 0，因此受訪者 A 在知覺有用性的數值就會以 1 來重新標註，說明受訪者 A 在知覺有用性的感受上，低於整體受訪者的看法。

分，「知覺有用性」與「學歷」、「態度」與「性別」等組合達到統計檢定水準；而在上海的樣本部分，「態度」與「學歷」的組合達到統計顯著水準，表 5 與表 6 說明這些達到統計顯著水準的交叉分析結果，茲將主要發現條列如下：

1. 臺北樣本：男性樣本在自駕公車的「態度」認同度高於女性樣本，研究所以學歷的樣本對於「知覺有用性」構面的看法高於大學(含)以下的樣本。
2. 上海樣本：研究所以學歷的樣本對於自駕公車的「知覺有用性」構面認知高於大學(含)以下的樣本。

表 4 研究構面與人口特徵卡方分析

() 內數數字表 p-value

	知覺有用性	知覺風險	態度	知覺行為控制
性別	上海 (0.076) 臺北 (0.065)	上海 (0.204) 臺北 (0.364)	上海 (0.309) 臺北 (0.013*)	上海 (0.390) 臺北 (0.463)
年齡	上海 (0.653) 臺北 (0.829)	上海 (0.149) 臺北 (0.335)	上海 (0.242) 臺北 (0.377)	上海 (0.523) 臺北 (0.931)
職業	上海 (0.686) 臺北 (0.384)	上海 (0.072) 臺北 (0.078)	上海 (0.308) 臺北 (0.227)	上海 (0.925) 臺北 (0.577)
學歷	上海 (0.227) 臺北 (0.042*)	上海 (0.371) 臺北 (0.108)	上海 (0.025*) 臺北 (0.454)	上海 (0.560) 臺北 (0.368)

表 5 態度構面與性別的交叉分析表

() 內數數字表 p-value

地區	臺北	
構面屬性	態度 ($p\text{-value}=0.013$)	
性別	高	低
男生	79.5%	20.5%
女生	68.2%	31.8%

表 6 知覺有用性、態度構面對學歷達統計顯著性的交叉分析表

地區	臺北		上海	
構面屬性	知覺有用性 ($p\text{-value}=0.042$)		態度 ($p\text{-value}=0.025$)	
學歷	高	低	高	低
大學(含)以下	58.8%	41.2%	33.5%	66.5%
研究所以以上	68.4%	31.6%	56.5%	43.5%

3.3 尖點劇變模型質性分析

尖點劇變模型是由兩組控制變數 (u, v) 來描述系統的一組狀態變數 (x) 所組成的非線性模型，該模型的參數空間也稱為控制空間 (control space)，尖點劇變模型的勢函數 (potential function) 可以表示如式 (1) Gilmore^[57]、Saunders^[58]：

$$F(u, v, x) = -\frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ux^2 + vx \quad (1)^6$$

尖點劇變模型是劇變理論中最常被應用的模型，該模型擁有兩個控制變數與一個狀態變數，不同控制參數的數值組合會形成不同結構的勢函數，而要經由控制變數描述狀態變數只要對模型勢函數微分求出穩定曲面 (equilibrium surface)，就可以知道狀態變數的穩定解。應用尖點劇變模型的主要目的之一就是要找出模型的分歧點集 (bifurcation set)，分歧點集是指尖點劇變模型的 Cardan 判別式小於 0 的控制變數集合。在劇變論中，Cardan 判別式常以 Δ 表示，如式 (2)。當 Δ 小於 0 的控制變數集合，在分歧點集所對應的狀態變數會出現多重穩定解。

$$4u^3 = 27v^2 \quad (2)$$

由式 (2) 可以知道分歧點集是由尖點劇變模型中的控制變數所組成的，在劇變論中，這兩個控制變數有其特殊的名稱，分別是被稱為分裂因子 (splitting factor) 的控制變數 u ，以及被稱為正則因子 (normal factor) 的控制變數 v 。本節將建構尖點劇變模型並以定性分析的方式來探討影響用路人面對本研究所設定的自駕公車倫理兩難時的決策以及影響。

本文關心之議題是兩岸華人在面臨自駕車倫理兩難時的決策類型，以及影響決策類型的可能因素。根據圖 2 有關本文自駕公車倫理兩難情境設計得知，當研究樣本面臨本研究所給定自駕公車倫理兩難情境時，受訪者可以選擇由「人類司機」或「AI 演算法」等兩個決策類型，在實際上，此類決策行為除了「人類司機」或「AI」等兩種類型外，還存在著「AI 與人類司機都可，但傾向 AI」以及「AI 與人類司機都可，但傾向人類司機」等兩種可能型態，而劇變模型中的分歧點集合就是用來描述此類決策 (選擇) 行為雙重性的特徵。在劇變模型中，決策 (選擇) 行為雙重性除對應分歧點集函數外，當控制變數通過分歧點集時還會表現出突變性與遲滯性的特徵，這些都是非線性行為的表徵。

建構劇變模型的第一個步驟就是先辨識系統是否有符合劇變模型特徵的任一種 (Saunders^[58])，本文所設定的決策行為有兩種不同的可能，符合劇變模型雙重性特徵；第二步驟就是針對劇變模型中各變數給定操作型定義，最後則是根據劇變模型探討選擇行為在不同變數組合下的模型特徵進行質性分析。本文所分析的情境是具有兩種選擇決策的尖

6. 有關尖點劇變模型的推導與更多的數學說明可參考馮正民與黃昱凱等人^[52]、Gilmore^[57]、Saunders^[58] 的文章。

點劇變模型，該劇變模型的分析是考慮由 $F(x) = 0$ 所決定，並由 (u, v) 兩個控制變數所組成的二維控制空間上。在本文中，我們設定變數 u 則是指認同賦予 AI 執行權力的程度，變數 v 為影響受訪者對於「人類司機」或「AI」來判斷自駕公車遇到本文所設定的倫理兩難時的相對決策能力的判斷，變數 x 指用路人使用本文所給定的自駕公車倫理兩難之情境下，希望由「人類司機」或「AI」來執行該自駕公車應如何運作的行為意向。圖 3 描述不同變數屬性組合下的尖點劇變模型，模型各變數的定義如下：

1. 狀態變數 (x) 是指用路人使用本文所給定的自駕公車倫理兩難之情境下，希望由「人類司機」或「AI」來執行該自駕公車應如何運作的行為意向。本研究設定狀態變數 (x) 數值的高或低分別會對應「由人類司機決定」以及「由 AI 來決定」等兩種選擇。
2. 屬於分裂因子的控制變數 (u) 是指認同賦予 AI 執行權力的程度，這些因素包含「知覺風險」與「知覺行為控制」等構面，本文設定當 $u < 0$ 表示受訪者比較可以同意或認同賦予 AI 執行自駕公車倫理兩難的權力，而 $u > 0$ 則表示受訪者對於賦予 AI 執行自駕公車倫理兩難的權力感到不安或不恰當。
3. 屬於正則因子的控制變數 (v) 設定為影響受訪者對於「人類司機」或「AI」來判斷自駕公車遇到本文所設定的倫理兩難時的相對決策能力的判斷，影響此類判斷的因素有「知覺有用性」與「態度」等，當 $v < 0$ 表示受訪者認為人類司機在判斷本文所設定的倫理兩難會比 AI 好，而 $v > 0$ 則表示受訪者認為 AI 在判斷本文所設定的倫理兩難會比人類司機好。

圖 3 是根據上述變數設定所建構的尖點劇變模型，表 7 則是尖點劇變模型狀態變數各屬性比例分析結果。根據表 7 可以知道受訪者在面對本文所建構的自駕公車倫理兩難時，有高達 64.5% 的受訪者認為「人類司機」與「AI」都可（對照圖 3 就是屬於控制空間中的編號 3），但這當中偏好「人類司機」來進行決策與執行的比例有 47.0%，而偏好由「AI」的比例則是 17.5%；此外，選擇交由「人類司機」的比例則有 25.6%（對照圖 3 就是屬於控制空間中的編號 1），至於選擇「AI」的比例僅有 9.9%（對照圖 3 就是屬於控制空間中的編號 2）。表 7 也說明臺北與上海樣本對於此情境的選擇存在顯著的差異，臺北的樣本比上海的樣本更可能傾向由 AI 決策。

表 7 尖點劇變模型狀態變數各屬性比例分析

選擇 地區	人類 司機	AI	「人類司機」與「AI」都 可，但偏好「人類司機」	「人類司機」與「AI」都 可，但偏好「AI」	p-value
臺北	21.9%	11.7%	44.9%	21.6%	0.04*
上海	29.4%	8.1%	49.2%	13.2%	
整體	25.6%	9.9%	47.0%	17.5%	-

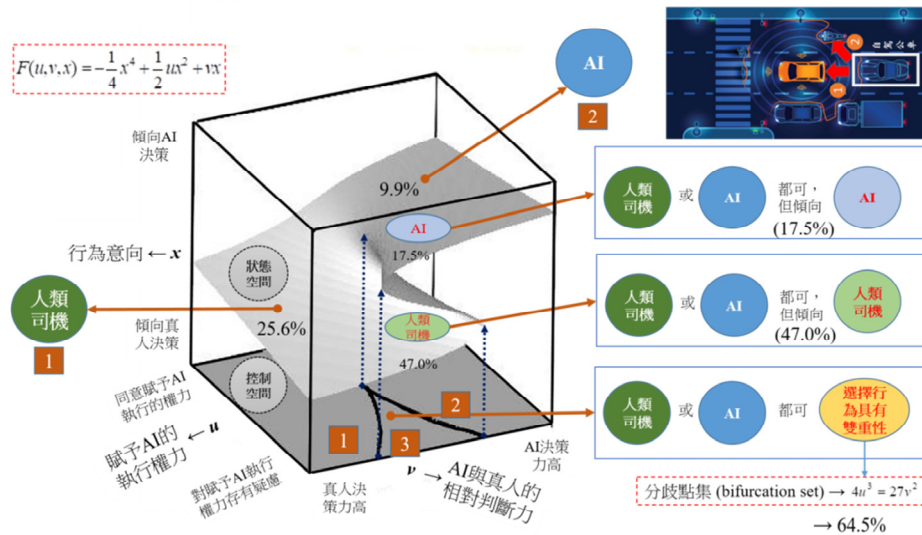


圖 3 尖點劇變模型

表 8 說明劇變模型各控制變數構面與選擇行為的卡方檢定結果，由分析結果知道除了風險構面與選擇行為沒有達到統計顯著水準外，其他用來建構尖點劇變模型的控制變數與狀態變數的關係均達到統計顯著水準，底下說明控制變數與狀態變數的關係符號一致性：

1. 正則因子 (v)：本研究所建構的正則因子是指 AI 與人類司機在面對本文所設定的自駕車困境中的決策與判斷能力。由表 8 的卡方檢定結果可以知道，當受訪者對於自駕公車的「知覺有用」感受越高時，受訪者越可能希望由 AI 來執行判斷自駕公車遇到本文所建構倫理兩難。以知覺有用性為例，當其屬性屬於「高」的時候，表示傾向由「AI」或「人類司機或 AI 都可，但偏好 AI」的比例分別是 67.20%與 75.40%，而屬性屬於「低」的樣本傾向由「AI」或「人類司機或 AI 都可，但偏好 AI」的比例則只有 32.80%與 24.60%，同樣的情形也可以在「態度」構面得到驗證。由此可知，本文所選擇與建構尖點劇變模型有關的正則因子是「知覺有用」與「態度」等兩個構面，其與狀態變數的方向性是符合邏輯的，且兩者間也達到統計顯著水準。
2. 分裂因子 (u)：本文所選定模型中分裂因子的變數有「知覺風險」以及「知覺行為控制」，表 8 的結果顯示「知覺行為控制」與狀態變數的關係達到統計顯著水準。當受訪者對於自駕公車的「知覺行為控制」感受越高時，就會對於是否可以交由 AI 來執行自駕車遇到倫理兩難的決策而感到不妥，進而會傾向由人類司機來執行決定自駕車遇到倫理兩難的決策。以知覺行為控制的屬性為「高」的樣本為例，此時該群樣本有高達 67.1%認為應該由人類司機來執行決定自駕車遇到倫理兩難的決策，而即便是屬於人類司機或 AI 都可的樣本，也有接近六成(59.4%)的受訪者表示偏好人類司機。這些結果亦說明本文所選擇與建構尖點劇變模型有關的分裂因子(知覺行為控制)與狀態變數的方向性是符合邏輯的，且兩者間也達到統計顯著水準。

表 8 各構面與選擇行為的卡方檢定

構面	屬性	人類司機	AI	人類司機或 AI 都可，但偏好人類司機	人類司機或 AI 都可，但偏好 AI	p-value
知覺有用	低	67.10%	32.80%	55.00%	24.60%	0.000**
	高	32.90%	67.20%	45.00%	75.40%	
態度	低	66.5%	25.4%	45.0%	28.0%	0.000**
	高	33.5%	74.6%	55.0%	72.0%	
知覺風險	低	37.6%	49.3%	45.9%	50.8%	0.108
	高	62.4%	50.7%	54.1%	49.2%	
知覺行為控制	低	32.9%	76.1%	40.6%	52.5%	0.000**
	高	67.1%	23.9%	59.4%	47.5%	

表 8 也顯示構成控制變數（分裂因子）中的知覺風險構面與狀態變數的卡方分析結果並未達到 0.05 的統計顯著水準，底下說明這個分析結果的可能原因。本文參考相關文獻後，所建構的知覺風險量表包含底下三個衡量問項：「我認為公車應用 AI 技術會降低人類司機的應變能力」、「我認為目前公車的 AI 技術仍不成熟」，以及「我認為與公車 AI 肇事責任有關的法規並不完善」。表 8 是針對知覺風險與 Level 4 等級自駕公車遇到倫理兩難的決策類型進行卡方分析，結果顯示 p-value 為 0.108，表示不同知覺風險感受的受訪者對於自駕公車面對倫理兩難時，希望由 AI 或人類司機，或者是兩者皆可的決策類型並為達到統計顯著水準。但若觀察表 8 的分析結果，可以發現雖然由傾向 AI 駕駛或 AI 或人類兩者皆可的樣本中，知覺風險的高低並無明顯不同，但是進一步分析在傾向希望由人類駕駛的樣本中，則可發現有高達 62.4% 的比例具有較高的知覺風險（認為由 AI 來駕駛會有比較高的不同類型風險），因此在希望由人類駕駛的樣本中，知覺風險仍可能會扮演一定的影響。

此外，分析結果雖未達以往文獻常用的 $p < 0.05$ 的標準，但對於一個初探型的探索性研究而言，其 p 值仍接近達到 $p < 0.1$ 的標準，對於探索性的初探研究可以放寬統計分析中 p 值的顯著標準，因為對於探索性研究而言，有關變數構面內涵或模型成熟度均處於一個發展的過程，因此探索性的分析結果與相關線索雖未達較為嚴謹的標準，但其分析結果所提供的線索或可提供學者進一步根據分析結果的線索進行後續研究設計。不過，表 2 與圖 2 有關模型構面測量模型分析結果也暗示「知覺風險」構面的衡量問項應有改進的空間，如建構信度的數值為 0.7，相對其他構面的數值而言是較低的，而「知覺風險」的衡量指標「我認為公車應用 AI 技術會降低人類司機的應變能力(RI1)」的因素負荷量為 0.62，也是相對知覺風險構面其他衡量指標較低的，這些訊息都說明本文所建構的「知覺風險」構面

的衡量問項或許改善空間。

根據本文所建構之尖點劇變模型之模型特徵，若正則因子數值較高的樣本，表示這些族群較同意 AI 判斷自駕公車遇到倫理兩難時決策能力會比人類司機好，因此控制變數中的正則因子數值較高的樣本，其狀態變數（當自駕公車遇到倫理兩難時的決策型態）會比較傾向由 AI 來執行自駕公車所面臨的倫理兩難。因此若「正則因子」與「狀態變數」的卡方檢定達到統計顯著水準，且其交叉分析的意涵符合尖點劇變模型的預期特徵，則我們就可以說明本研究模型與變數相關之實證結果合理性，底下進一步以正則因子與狀態變數卡方分析來說明本文實證結果之合理性。

我們將正則因子設定為「知覺有用性」與「態度」的綜合指標，首先將「知覺有用性」與「態度」的因素分析結果所得知標準化因素分數相加，並將相加所得知分為數值小於零（數值小於零表示正則因子為負值，研究樣本的正則因子為負（低），表示這些樣本認為當自駕公車遇到倫理兩難時，由人類司機來決策能力會比 AI 好）與數值大於零的部分（數值大於零表示正則因子為正值（高），研究樣本的正則因子為正時，表示這些樣本認為當自駕公車遇到倫理兩難時，由 AI 來決策能力會比人類司機好）。表 9 說明正則因子與狀態變數的卡方分析結果，分析結果顯示卡方分析的 p-value 為 0.000，達到統計顯著水準，觀察交叉分析的結果顯示當正則因子較高時，有 70.1% 的受訪者傾向由 AI 來處理自駕公車遇到倫理兩難的決策；相對的，若當正則因子較低時，則有 69.4% 的樣本認為應該由人類司機來處理自駕公車遇到倫理兩難的決策。這樣的分析結果顯示本研究模型不論在統計顯著水準與方向性都達到劇變模型預期的合理性，圖 4 與表 9 說明交叉分析的次數分析結果。進一步根據表 9 有關控制變數中的正則因子 (v) 與狀態變數 (x) 的交叉分析結果可發現，「知覺有用」與「態度」等構面對於受訪者對於自駕車面臨倫理兩難的決策類型會有所不同，當受訪者的正則因子 (v) 越高時，表示這些樣本比較信任由 AI 來處理本文所設定自駕車倫理兩難的決策與判斷能力，而當正則因子 (v) 越高時，交叉分析的結果也顯示受訪者也有更高的比例 (74.6%) 傾向由 AI 來處理該倫理兩難的決策（選擇同樣的決策類型只有 25.4% 的受訪者的正則因子數值較低），顯示劇變模型在此類決策行為具有一定的解釋力。

3.4 綜合討論

本文選擇尖點劇變模型探討自駕車公車面臨倫理兩難的決策類型，探討選擇行為的雙重性是應用劇變模型進行分析最主要的目的之一，根據問卷收集的資料顯示，有高達 64.5% 的受訪者表示「人類司機」與「AI」都可以接受，表示樣本有可能落入分歧點集，也就是選擇行為在此時會有雙重性的特徵。根據尖點劇變模型的特徵，可以知道若系統落入分歧點集時，會有許多非線性的行為特徵，如「發散性」、「突變性」，以及「遲滯性」等，進一步觀察分歧點集控制變數的不同組合對狀態變數的影響，是尖點劇變模型可以提供研究者分析系統非線性行為的重要貢獻。圖 5 是本文應用尖點劇變模型的進行質性分析的管理意涵，茲分別說明如下：

表 9 尖點劇變模型 (p-value=0.000)

控制變數	屬性	人類駕駛的道德觀點來處理緊急情況	製造商建構的 AI 道德模型的來處理緊急狀況	「人類駕駛」與「AI」都可以，但偏好「人類駕駛」	「人類駕駛」與「AI」都可以，但偏好「AI」	小計
正則因子	低	69.4%	29.9%	50.0%	25.4%	48.7%
	高	30.6%	70.1%	50.0%	74.6%	51.3%
占比		25.6%	9.9%	47.0%	17.5%	100%

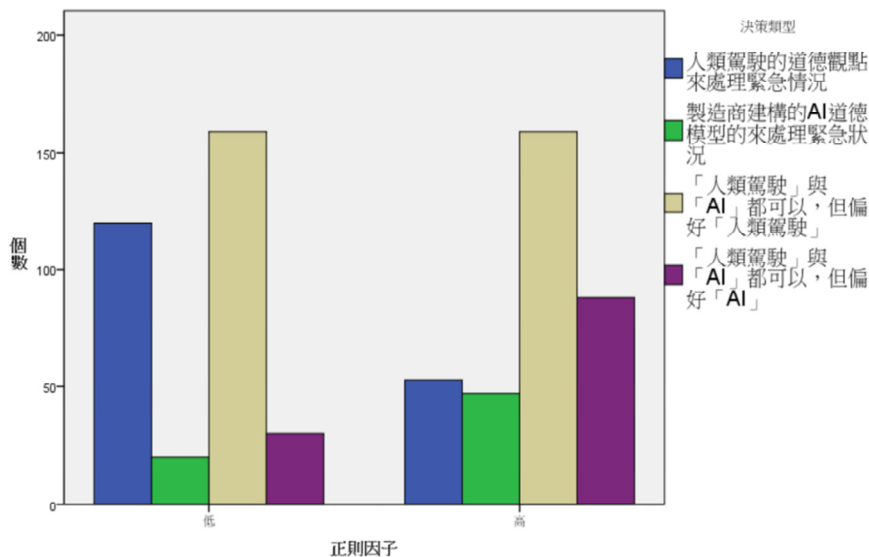


圖 4 尖點劇變模型

1. 「漸變」與「突變」的管理意涵：圖 5 左方以路徑 A 與路徑 B 為例，說明當系統處於分歧點集時，控制分裂因子與正則因子對於狀態變數的不同影響。以同樣處於控制變數空間的 p 點為例，若選擇路徑 a (對比狀態空間的路徑 A)，路徑 a 是由路徑 a1 與路徑 a2 所組合的，意思是先降低用路人對於自駕公車的風險疑慮 (控制變數空間的路徑 a1，對照狀態空間的路徑 A1)，然後在增加自駕公車的決策能力讓用路人對於 AI 決策能力的信心增加 (控制變數空間的路徑 a2，對照狀態空間的路徑 A2)，經過這兩個變化後，用路人會由原本傾向選擇「人類司機」來處理自駕公車的倫理兩難轉變為選擇「AI」來處理(狀態空間的變化為 $P \rightarrow P_1$)。但若沒有先處理用路人對於自駕公車的風險疑慮的話，僅僅是單純增加自駕公車的決策能力 (控制變數空間的路徑 b，對照狀態空間的路徑 B)，此時因為系統狀態空間原本所處的 P 點落入控制變數空間的分歧點集 (控制變數空間的 p 點)，因此控制空間路徑 b 的量變並不會讓狀態空間產生質變，也就是說此時

用路人仍傾向選擇「人類司機」來處理自駕公車的倫理兩難（狀態空間的變化為 $P \rightarrow P_2$ ）。這個現象說明雖然在不同分裂因子的情況下，對於正則因子給予同樣的變化會對狀態變數產生不同的影響。

2. 發散性的管理意涵：考慮圖 5 右方狀態空間原本很接近的兩個點 Q_{11} 與 Q_{21} （對照控制變數空間的 q_{11} 與 q_{21} ），隨著對於賦予 AI 執行權力的疑慮逐漸增加，原本對於面對自駕公車電車困境是由「人類司機」或「AI」來處理的意見沒有很大的不同的兩個樣本 Q_{11} 與 Q_{21} ，最終會分道揚鑣， Q_{11} 的樣本會傾向由「人類司機」來決定（ $Q_{11} \rightarrow Q_{12}$ ），而的 Q_{21} 樣本則是會傾向由「AI」來決定（ $Q_{21} \rightarrow Q_{22}$ ）。尖點劇變模型的發散性特徵，說明了系統對於起始條件的敏感性，原本對於自駕公車面臨倫理兩難的決策方式看似差異不大的兩個群體，最後卻會各自轉型為各有特定主張的不同群體，這個現象說明了對於釐清樣本起始特徵的重要性。以 Q_{11} 為例，若能在一開始增加 Q_{11} 群體對於 AI 決策能力的信心，則最終 Q_{11} 族群也會轉而傾向選擇「AI」的決策方案。

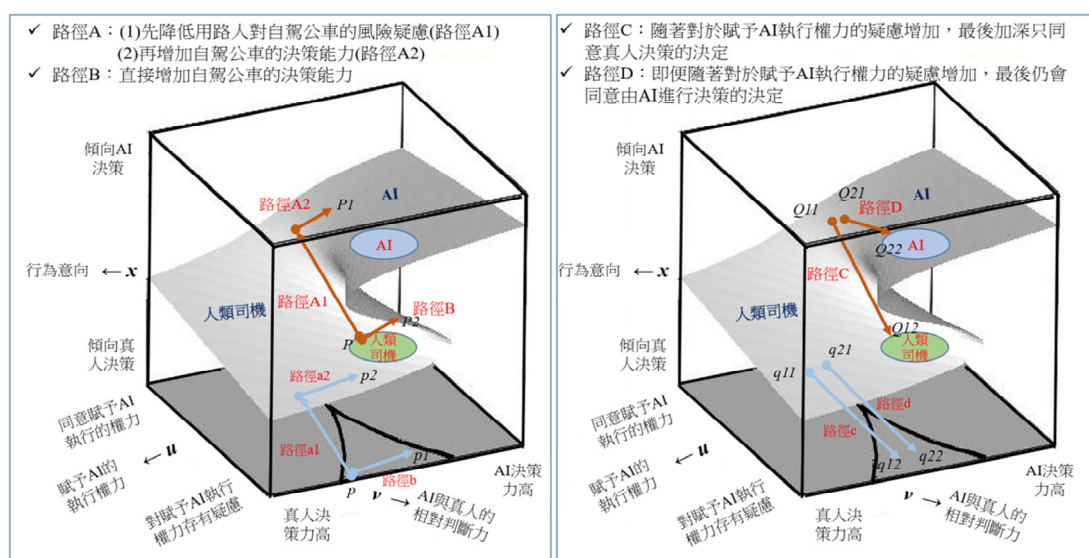


圖 5 尖點劇變模型的質性分析

為了瞭解臺北與上海的樣本對於自駕公車面臨倫理兩難時的決策類型，本文以「賦予 AI 執行權力的程度」以及「AI 判斷自駕公車遇到倫理兩難時決策能力」為控制變數，並以自駕公車遇到倫理兩難時希望自駕公車的決策型態為狀態變數建構尖點劇變模型進行質性分析。表 10 針對兩地樣本的人口特徵與選擇行為具有統計顯著性的結果，根據分析結果可以知道臺北樣本中，不同年齡的選擇行為（狀態變數）會有所不同，雖然所有族群比例最高的行為都是「人類司機與 AI 都可」，但偏好人類司機，但是年紀為 51-65 歲與 18-29 歲等兩個族群，其行為屬於「人類司機與 AI 都可，但偏好 AI」的比例則是次高，這兩類

族群的行為與 30-50 歲以「人類司機」為次高選擇的特徵不同；同樣是年齡層的分析，在上海樣本方面則是 51-65 歲的族群則是以「人類司機」的比例最高，年紀為 18-29 歲與 30-50 歲等兩個族群則是以選擇「人類司機與 AI 都可，但偏好人類司機」的比例最高，而次高比例的選擇則是「人類司機」。

另外，上海地區的樣本在不同的性別或學歷對於選擇行為的特徵也會有所不同，以性別為例，雖然不同性別在「人類司機與 AI 都可，但偏好人類司機」的比例都是最高，但是女性的比例超過五成 (53.4%)，男性樣本則只有 42.5%，兩者差距超過 10%。同樣的現象也可以在學歷上發現，大學(含)以下學歷的樣本選擇「人類司機與 AI 都可，但偏好人類司機」的比例為 50.6%，而研究所以上學歷的樣本則只有 30.4%，兩者差距超過 20%。進一步分析分歧點集的人口特徵將有助於我們釐清在選擇行為雙重性的樣本中，哪些內在特徵可以提供給交通管理單位參考。表 11 說明人口統計變數在分歧點集的檢定達到統計顯著水準的組合，臺北樣本在不同年齡有不同的表徵，而上海的樣本則是在職業與學歷的表現不同，以下說明這些差異：

1. 在臺北的樣本中，雖然所有年齡層在分歧點集中大都是偏好選擇人類司機，但比例上則明顯不同，30-50 歲族群的比例最高，達到 78.0%，但是 51-65 歲的族群在偏好人類司機 (52.2%) 或 AI (47.8%) 的比例則沒有明顯差別。
2. 在上海的樣本中，大學(含)以下偏好人類司機的比例高達 80.5%，而研究所以上的學歷則沒有明顯不同；此外，學生、上班族與軍公教族群選擇偏好人類司機的比例都幾乎超過八成，但其他職業卻是以選擇 AI 的比例最高，佔比過半 (54.5%)。

表 10 人口統計變數與選擇行為的卡方檢定

人口變數 (地區)	屬性	人類司機	AI	人類司機與 AI 都可，但偏好人類司機	人類司機與 AI 都可，但偏好 AI	p-value
性別 (上海)	男性	38.6%	8.7%	42.5%	10.2%	0.027
	女性	23.8%	7.8%	53.4%	15.0%	
年齡 (臺北)	18~29 歲	19.6%	12.5%	41.1%	26.8%	0.008
	30-50 歲	22.8%	8.9%	53.3%	15.0%	
	51-65 歲	21.5%	15.9%	32.7%	29.9%	
年齡 (上海)	18~29 歲	29.8%	6.5%	51.0%	12.7%	0.013
	30-50 歲	22.9%	22.9%	40.0%	14.3%	
	51-65 歲	50.0%	-	16.7%	33.3%	
學歷 (上海)	大學(含)以下	30.0%	7.1%	50.6%	12.3%	0.012
	研究所以上	21.7%	21.7%	30.4%	26.1%	

表 11 人口統計變數在分歧點集的卡方檢定

人口變數 (地區)	屬性	偏好人類司機	但偏好 AI	<i>p</i> -value
年齡 (臺北)	18~29 歲	60.5%	39.5%	0.001
	30-50 歲	78.0%	22.0%	
	51-65 歲	52.2%	47.8%	
職業 (上海)	學生	82.1%	17.9%	0.044
	上班族	78.8%	21.3%	
	軍公教	80.0%	20.0%	
	其他	45.5%	54.5%	
學歷 (上海)	大學(含)以下	80.5%	19.5%	0.034
	研究所以上	53.8%	46.2%	

四、結論與建議

4.1 結論

人工智慧技術大量應用在交通領域的時代即將來到，而自駕車則是人工智慧在交通運輸系統中最受矚目的創新應用，自動駕駛技術的應用勢必會讓人類與 AI 必須共同合作，如 Level 3 的自動駕駛有嚴格的規範人類需隨時注意路況以便接手駕駛，未來的道路運輸將會由越來越多的 Level 3 與 Level 4 等級的自駕車所組成，因此勢必會出現由人與由 AI 為基礎的自駕車所組成之「人機合作」的交通系統。以往有關自駕車倫理困境的分析都以西方人的樣本與觀點進行分析，本文是第一篇針對兩岸華人對於自駕公車倫理困境的文章進行比較分析的文獻。本文是以兩岸華人為樣本（臺北與上海），探討乘客面臨自駕公車遇到倫理困境時的決策特徵的探索性研究，是少數以兩岸華人為觀點針對自駕公車倫理困境的研究文獻。

本文針對兩岸華人面對自駕公車遇到倫理兩難時的決策類型進行比較分析，根據控制變數對人口統計特徵的卡方分析結果顯示，臺北樣本在不同年齡有不同的表徵，而上海的樣本則是在職業與學歷的表現不同，這些資訊以及劇變模型之質性分析都可以提供未來自駕車導入上海及臺北之具體都市運輸政策之參考。比如說，上海或臺北要導入自駕公車時，勢必需要針對自駕公車面對倫理兩難提出反應的方式（呼應歐盟與美國對 Level 5 等級自駕車上線前所需提出的應變說明之條件），而這些有關自駕公車對於倫理兩難的應變方式有必要針對不同國家或不同地區的文化差異提出不同的反應措施。此外，要增加自駕公車的信任或搭乘意願，在進行大眾運輸行銷策略時，進一步釐清那些關鍵少數（如落入選擇行為雙重性特徵之族群）的樣本特徵，也可協助研擬較為有效運輸政策。

由於自駕車相關研究對於用路人而言仍屬一項新興科技，因此無法明確描述潛在母體，因此多數有關自駕車行為意向的研究多數是以便利抽樣技術並以網路問卷的形式收集研究樣本。本研究參考 Dirsehan 與 Can^[54] 有關自駕車行為意向的研究，問卷以敘述性偏好方式進行設計，並以便利抽樣法經由網路問卷收集研究樣本，共收集 676 份有效樣本，研究設計參考上述與自駕車相關文獻之研究設計架構。在劇變模型質性分析方面，本文以「賦予 AI 執行權力的程度（對照劇變模型控制變數中的正則因子）」以及「AI 判斷自駕公車遇到倫理兩難時決策能力（對照劇變模型控制變數中的分裂因子）」為控制變數，並以自駕公車遇到倫理兩難時希望自駕公車的決策型態（對照劇變模型中的狀態變數）來建構尖點劇變模型，並以臺北與上海為樣本經由尖點劇變模型分析兩岸華人面對自駕公車倫理兩難時的決策類型。本研究的主要發現說明如下：

1. 「知覺行為控制」與「知覺風險」可用於建構尖點劇變模型的分裂因子 (u)，而「知覺有用性」與「態度」則可用於建構尖點劇變模型的正則因子 (v)。
2. 臺北的樣本比上海的樣本更可能傾向由 AI 決策：面對自駕公車倫理兩難時，偏好「人類司機」來進行決策與執行的比例有 47.0%，而偏好由「AI」的比例則是 17.5%，兩者合計顯示有高達 64.5% 的受訪者認為「人類司機」與「AI」都可。此外，選擇只能交由「人類司機」來決策的比例則有 25.6%，至於選擇只能給「AI」的比例僅有 9.9%。
3. 臺北與上海的樣本在分歧點集合具有不同的人口特徵：認為「人類司機」與「AI」都可的樣本對照劇變模型就是分歧點集合，進一步針對分歧點集的內部進行分析可以發現在臺北的樣本中，30-50 歲的族群在分歧點集中偏好選擇人類司機的比例高達 78.0%，但是 51-65 歲的族群在偏好人類司機或 AI 的比例則沒有明顯差別；而在上海的樣本中，大學(含)以下偏好人類司機的比例高達 80.5%。
4. 臺北與上海的樣本在劇變模型中的分裂因子之認知不同：本文設定「知覺風險」與「知覺行為控制」為尖點劇變模型中的分裂因子，統計檢定的分析顯示臺北地區的樣本有過半數會擔心自駕公車風險的議題 (54.3%)，但是上海地區的樣本反而有 53.6% 的上海受訪者表示不擔心自駕公車的風險議題；此外，上海地區有過半數 (53.1%) 的受訪者表示會擔心自駕公車有關「知覺行為控制」的議題，但臺北地區的樣本卻有過半數 55.5% 的受訪者表示並不擔心這個議題。
5. 臺北的樣本部分，「知覺有用性」與「學歷」、「態度」與「性別」以及「學歷」等組合達到統計檢定水準：男性樣本在自駕公車的「態度」認同度高於女性樣本，研究所以以上學歷的樣本對於「知覺有用性」構面的看法高於大學(含)以下的樣本。
6. 在上海的樣本部分，「態度」與「學歷」的組合達到統計顯著水準：研究所以以上學歷的樣本對於自駕公車的「知覺有用性」構面認知高於大學(含)以下的樣本。

自動駕駛所牽涉到的社會倫理問題要關注的不應只有科技還有人對於科技的使用態度，在未來，決定系統的優劣不是只看自動駕駛本身，還有我們如何在大眾運輸工具管理與應用自動駕駛技術^[41,42]。本文所分析的結果除了可以提供後續研究者在建構自駕公車

決策行為時，相關控制變數選擇的參考外，劇變模型的質性分析結果也提供一些管理上的資訊。如本文有關劇變模型分歧點集的分析為例，若交通管理單位想要增加自駕公車的搭乘意願時（讓用路人對於 AI 決策的正面態度增加），並想藉由針對關鍵少數的用路人（處於分歧點的樣本）進行相關的宣導來達到增加自駕公車的搭乘意願的目標時，本文的分析顯示臺北的樣本在分歧點集中大都是偏好選擇人類司機，且 30-50 歲族群的比例高達 78.0%，但在 51-65 歲的族群在偏好人類司機或 AI 的比例則沒有明顯差別；至於在上海的樣本中，大學（含）以下偏好人類司機的比例高達 80.5%，而研究所以上的學歷則沒有明顯不同，這些分析結果都可以提供交通管理單位在未來發展自駕公車相關行銷策略或管理政策的參考依據。

4.2 建議

本研究針對 Level 4 等級自駕公車在遇到倫理兩難情境為分析案例，並經由建構尖點劇變模型針對人與 AI 共同面自駕車倫理兩難的議題進行初探，研究成果有助於我們在 AI 的發展過程中，釐清影響人與 AI 共同合作的重要變數與其他衍生出的管理課題，協助交通管理單位建構更完善交通環境的重要參考依據。有關研究限制與後續建議說明如下：

1. 研究限制與後續研究建議

- (1) 目前有關自駕公車的研究仍無法大量收集有實際自駕公車經驗的研究樣本，這樣的限制是目前對自駕公車相關議題調查的普遍缺陷 (Dischan 與 Can^[54])。儘管如此，這類研究對於揭示用路人對自駕車或自駕公車的態度所可以提供的線索仍很重要。目前有關自駕車的研究多半以敘述性偏好方式設計問卷，並經由便利性抽樣透過線上徵求受訪者收集研究樣本為主要研究設計方式，建議後續研究者可以影片、圖文解說等方式來提供受訪者更完整的自駕車相關資訊。雖然有部分自駕車研究是在實驗場域針對有實際搭乘經驗的人進行實證分析，但僅有一次搭乘經驗，或僅具有封閉場域的搭乘經驗是否就可以消除可能的統計偏誤仍有待商榷，因此若能盡可能以比較有效率的型態提供更多資訊給受訪者，將有助於降低有關此類自駕車研究可能的統計偏誤。
- (2) 以往的文獻通常使用陳述的偏好調查來了解對新的或知之甚少的技術的行為反應 Dong 等人^[19]，為更好地了解用路人在面對自駕公車倫理兩難時的決策類型，我們選擇劇變模型來分析自駕公車面臨倫理兩難的決策類型。由於本文對於尖點劇變模型是以定性分析的方式來進行的探索性研究，建議後續研究可參考本文所選定的變數，進一步修改或調整控制變數的內涵來強化模型的解釋能力，或以定量分析的方式進行模型參數校估。
- (3) 可考慮設計更多自駕公車的情境觀察並利用 Logit 模型分析技術來分析樣本的不同特徵對於自駕公車倫理兩難決策的影響，以及影響這些決策的變數與變數屬性的重要程度。此類研究將有助於我國引進人工智慧進入交通運輸相關領域時，針對自駕

公車的決策行為與倫理課題提供相關政策研擬之參考。

- (4) 儘管安全與隱私是自動駕駛最被關心的課題，但「倫理」或「價值觀」或許是自動駕駛避免不了的最終問題，因為關於倫理或價值觀，在人類的世界也未必有一個完美或統一的答案，但是自動駕駛卻必須在這個層面上提出看法，以及根據由何而來？當面對一個重大災難時，自動駕駛車輛如何利用資料與軟體，而非人類的直覺來計算最佳反應。這個決策是普世價值？還是需要因地制宜？這個決策是需要根據誰的觀點來進行最佳化的運算？是車主還是其他受到影響的路人？是以保險公司的角度還是交通管理單位的角度？若後續研究者可以針對上述議題進行分析，將可以協助交通管理單位發展更為完備成熟的自駕運輸系統。
- (5) 自動化偏見 (automation bias) 源於社會心理學研究，是指人們在與自動化系統互動時，出於信任、依賴或過度自信等原因，過分相信自動化系統所提供的資訊或建議，從而影響人們對事物的判斷和決策。簡單來說，就是人們對自動化系統的過度依賴和信任，而忽略了自己的直覺和經驗，從而產生了錯誤的決策或行為。當決策依賴於計算機或其他自動化輔助工具並且人類處於觀察員角色但能夠做出決策時，往往會發生自動化偏差錯誤。避免自動化偏差的影響是未來探討自動駕駛系統的重要課題。若能對於自駕車制定合理的培訓和使用規範，建立有效的監督和回饋機制，將有助於減少自動化偏差的發生。

2. 實務建議

- (1) 自駕公車的發展勢必會有導入期、成長期、成熟期等不同階段，在不同階段想要對用路人進行溝通並希望多一點用路人選擇自駕公車，就有必要在自駕公車的發展階段選擇主要的目標用路人來進行溝通，也就是說，選擇正確的「關鍵少數」來進行溝通將是發展交通政策重要的步驟。本文所應用的尖點劇變模型分析架構，將可以協助交通主管單位經由劇變模型中的「分歧點集」的特性來找出在不同發展階段的「關鍵少數」用路人，針對這些關鍵族群研擬適當的交通行銷方案將有助於自駕公車的推廣。
- (2) 本研究發現臺北與上海的樣本在知覺風險、知覺行為控制、態度以及決策類型等存在人口統計變數的差異，這說明即便同屬華人具有相似的文化、語言等背景，在自駕公車倫理兩難的決策看法仍有所不同。因此若要發展更為全面的自駕運輸系統，就有必要考慮不同地區的決策差異，讓未來的自駕運輸系統具備「同理心」、「反應力」、「保證」與「可靠」等特徵。
- (3) 當 AI 的能力明顯高於人類，且我們也同意賦予 AI 權力來執行時，此時人機合作的型態會以 AI 主導為主，反之則是由人類主導；而介於這兩者之間的人機關係則可能是人機合作（如 AI 能力強但未賦予 AI 權力的 Level 3 等級之自動駕駛）或機器輔助（如 AI 能力弱但賦予 AI 權力的 Level 2 等級之輔助駕駛）。上述的分類說明在自駕運輸系統中，人類與 AI 必定存在某種型態的人機協作，因此建議交通主管機關需對自駕車應用所產生的人機協作進行風險分析，並針對法律規範較不完備的部分開始研

擬相關法規的修正。

- (4) 目前已經有越來越多的人選擇具有 Level 3 功能的自駕車並在特定的條件下選擇啟動自動駕駛功能時，然而我們在面對有關 Level 4 等級自駕車事故的肇責分析、自動駕駛與人類駕駛所產生新的混合車流等議題時，不論是在交通法規、保險制度或是交通基礎建設的調整等方面似乎都還沒有準備好。因此探討有哪些因素是影響駕駛者使用 Level 4 功能自駕車時，遇到交通危難情境時的決策模式，將有助於釐清引進人工智慧進入交通運輸相關領域時須關心的議題為何？而釐清這些議題與時間有關的優先順序為何將會我們由輔助駕駛邁向 Level 5 自動駕駛的重要研究步驟。

參考文獻

1. Amy, W., *The Signals are Talking: Why Today's Fringe is Tomorrow's Mainstream*, Public Affairs, New York, 2016.
2. Geisslinger, M., Poszler, F., Betz, J., Lütge, C., & Lienkamp, M., "Autonomous Driving Ethics: from Trolley Problem to Ethics of Risk", *Philosophy & Technology*, Vol.34, No.4, 2021, pp.1033-1055.
3. 胡大瀛、李承威、莊筑涵，「台灣採用自動駕駛車之初步偏好研究」，中華民國運輸學會 107 年學術論文國際研討會，中華民國運輸學會，民國 107 年，頁 2248-2271。
4. Evas, T., "Public Consultation on Robotics and Artificial Intelligence: First Results of Public Consultation", European Parliamentary Research Service, Brussels, <https://www.europarl.europa.eu/cmsdata/130181/public-consultation-robotics-summary-report.pdf>, 2017.
5. Anderson, J. M., Kalra, N., Stanly, K. D., Sorensen, P., Samaras, C. & Oluwatola, O. A., *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*, California, Rand Corporation, 2014.
6. Lang, N., Rüßmann, M., Mei-Pochtler, A., Dauner, T., Komiya, S., Mosquet, X., Doubara, X., *Self-Driving Vehicles, Robo-Taxis, and The Urban Mobility Revolution*, The Boston Consulting Group and World Economic Forum, Boston, 2016.
7. 黃昱凱、馮正民、涂詠然，「影響自駕車選擇行為因素之初探」，*運輸學刊*，第 32 卷，第 3 期，民國 109 年，頁 229-267。
8. Molnar, L. J., Ryan, L. H., Pradhan, A. K., Eby, D. W., St. Louis, R. M., Zakrajsek, J. S., "Understanding Trust and Acceptance Of Automated Vehicles: An Exploratory Simulator Study of Transfer of Control Between Automated and Manual Driving", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.58, 2018, pp.319-328.
9. Nordhoff, S., Arem, B., Happee, R., "A Conceptual Model to Explain, Predict, and Improve User Acceptance of Driverless Vehicles", Proceedings of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2016.
10. Becker, F., Axhausen, K., "Literature review on behavioural experiments for autonomous vehicles", In: Proceedings of the 96th Annual Meeting of the Transportation Research

Board, Washington D.C., 2017.

11. López-Lambas M. E. and Alonso A., “The Driverless Bus: An Analysis of Public Perceptions and Acceptability”, *Sustainability*, Vol.11, No.18, 2019, pp.4986.
12. Ryousuke A., “Introducing Autonomous Buses and Taxis: Quantifying The Potential Benefits In Japanese Transportation Systems”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.126, 2019, pp.94-113.
13. Piao J., McDonald M., Hounsell N., Graindorge M., Graindorge T. and Malhene N., “Public Views towards Implementation of Automated Vehicles in Urban Areas”, *Transportation Research Procedia*, Vol.14, 2016, pp.2168-2177.
14. Iclodean, C., Cordos, N., & Varga, B. O., “Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation: A Review”, *Energies*, Vol.13, No.11, 2020, pp.2917.
15. Koppel, S., Charlton, J., Fildes, B., Fitzharris, M., “How Important is Vehicle Safety in The New Vehicle Purchase Process”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.40, Iss.3, 2008, pp.994-1004.
16. Paddeu D., Parkhurst G. and Shergold I., “Passenger Comfort and Trust on First-Time Use of A Shared Autonomous Shuttle Vehicle”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.115, 2020, 102604.
17. Caronline P., Aline A. and Laurence P. F., “Factors of Acceptability, Acceptance and Usage for Non-Rail Autonomous Public Transport Vehicles: A Systematic Literature Review”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.81, 2021, pp.251-270.
18. Esterwood C., Yang X. J. and Robert L. P., “Barriers to AV Bus Acceptance: A National Survey and Research Agenda”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol.37, No.15, 2021, pp.1391-1403.
19. Dong X., DiScenna M. and Guerra E., “Transit User Perceptions of Driverless Buses”, *Transportation*, Vol.46, 2019, pp.35-50.
20. Salonen A. O. and Haavisto N., “Towards Autonomous Transportation. Passengers’ Experiences, Perceptions and Feelings in a Driverless Shuttle Bus in Finland”, *Sustainability*, Vol.11, No.3, 2019, pp.1-19.
21. Winter S. R., Rice S., Mehta R., Walters N. W., Pierce M. B., Anania E. C., Milner M. N. and Rao N., “Do Americans Differ in Their Willingness to Ride in A Driverless Bus?”, *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, Vol.6, No.4, 2018, pp.267-278.
22. Nordhoff S., Stapel J., Arem B. V. and Happee R., “Passenger Opinions of The Perceived Safety and Interaction with Automated Shuttles: A Test Ride Study with ‘Hidden’ Safety Steward”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.138, 2020, pp.508-524.
23. Guo J., Susilo Y., Antoniou C., Pernestål A., “Word of Mouth and Behavioural Intentions of The Automated Bus Service”, *The International Journal of Urban Policy and Planning*, 2022, Vol.126, pp.103662.
24. Chen J., Li R., Gan M., Fu Z. and Yuan F., “Public Acceptance of Driverless Buses in

- China: An Empirical Analysis Based on an Extended UTAUT Model”, *Discrete Optimisation for Complex and Smart Transportation Systems*, Vol.2020, No.4, 2020, pp.1-13.
25. 蘇祥愷, 「自動駕駛小巴試乘民眾需求偏好之研究-以國立故宮博物院南部院區為例」, 國立成功大學都市計劃學系碩士論文, 民國 108 年。
26. Anania E. C., Rice S., Winter S. R., Miliner M. N., Walters N. W. and Pierce M., “Why People are Not Willing to Let Their Children Ride in Driverless School Buses: A Gender and Nationality Comparison”, *Social Sciences*, Vol.7, No.3, 2018, pp.1-17.
27. Nordhoff, S., De Winter, J., Kyriakidis, M., Van Arem, B., & Happee, R., “Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study”, *Journal of Advanced Transportation*, Vol.2018, 2018, pp.1-22.
28. Goldbach, C., Sickmann, J., Pitz, T., & Zimasa, T., “Towards Autonomous Public Transportation: Attitudes and Intentions of The Local Population”, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol.13, 2022, 100504.
29. Claudia L. B., Cornelia Z., Karin K., Veronika H. P. and Karl R., “Factors Influencing and Contributing to Perceived Safety of Passengers during Driverless Shuttle Rides”, *Future Transportation*, Vol.1, No.3, 2021, pp.657-671.
30. Biermann, H., Philipsen, R., & Ziefle, M., A Matter of Trust-Identification and Evaluation of User Requirements and Design Concepts for a Trust Label in Autonomous Driving, In Congress of the International Ergonomics Association, Springer, Cham, 2021, pp.560-567
31. Becker F. and Axhausen K. W., “Literature Review on Surveys Investigating The Acceptance of Automated Vehicles”, *Transportation*, Vol.44, 2017, pp.1293-1306.
32. Awad, E., Dsouza, S., Kim, R., Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J. F., and Rahwan, I., “The Moral Machine Experiment”, *Nature*, Vol.563, 2018, pp.59-64.
33. Noothigattu, R., Gaikwad, S., Awad, E., Dsouza, S., Rahwan, I., Ravikumar, P., & Procaccia, A., “A Voting-Based System for Ethical Decision Making”, The Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2017, pp.1587-1594.
34. Kalra, N., Paddock, S. M., “Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?”, *Transportation Research Part A :Policy and Practice*, Vol.94, 2016, pp.182-193.
35. Patrick, L., “Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects”, Why Ethics Matters for Autonomous Cars, Daimler und Benz-Stiftung, Ladenburg, 2015, pp.69-85.
36. Rhim, J., Lee, G. B., Lee, J. H., “Human Moral Reasoning Types in Autonomous Vehicle Moral Dilemma: A Cross-Cultural Comparison of Korea And Canada”, *Computers in Human Behavior*, Vol.102, 2020, pp.39-56.
37. Frank, D. A., Chrysochou, P., Mitkidis, P., and Ariely, D., “Human Decision-Making Biases in The Moral Dilemmas of Autonomous Vehicles”, *Science Report*, Vol.9, No.13080, 2019, pp. 1-19.
38. Nyholm, S., “The Ethics of Crashes with Self-Driving Cars: A Roadmap, II”, *Philosophy*

- Compass*, Vol.13, No. 7, 2018, pp.1-10.
39. Martinho, A., Herber, N., Kroesen, M., & Chorus, C., “Ethical Martinho, A., Herber, N., Kroesen, M., & Chorus, C., “Ethical Issues in Focus by The Autonomous Vehicles Industry”, *Transport Reviews*, Vol.41, No.5, 2021, pp.556-577.
40. Wilson, H. and Theodorou, A. “Slam the Brakes: Perceptions of Moral Decisions in Driving Dilemmas” , *AI Safety: Workshop in Artificial Intelligence Safety*, Collected Papers, 2019.
41. Dietrich, M. & Weisswange, T. H., “Distributive Justice as an Ethical Principle for Autonomous Vehicle Behavior beyond Hazard Scenarios, Sociology”, *Ethics and Information Technology*, Vol.21, Iss.3, 2019, pp.227-239.
42. Hong, J. W., Wang, Y., & Lanz, P., “Why Is Artificial Intelligence Blamed More? Analysis of Faulting Artificial Intelligence for Self-Driving Car Accidents in Experimental Settings”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol.36, No.18, 2020, pp.1768-1774.
43. Theofilatos, A., “Utilizing Real-time Traffic and Weather Data to Explore Crash Frequency on Urban Motorways: A Cusp Catastrophe Approach”, *Transportation Research Procedia*, Vol. 41, 2019, pp.471-479.
44. Huang, W., Zhang, R., Xu, M., Yu, Y., Xu, Y., & De Dieu, G. J., “Risk State Changes Analysis of Railway Dangerous Goods Transportation System: Based on The Cusp Catastrophe Model”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol.202, 2020, 107059.
45. Wang, A. P., Weidmann, U. A., Wang, H. S., “Using Catastrophe Theory to Describe Railway System Safety and Discuss System Risk Concept”, *Safety Science*, Vol.91, 2017, pp.269-285.
46. Chen, H., Zhang, Y., Liu, H., Meng, X., & Du, W., “Cause Analysis and Safety Evaluation of Aluminum Powder Explosion on The Basis of Catastrophe Theory”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.55, 2018, pp.19-24.
47. Lin, X., Song, S., Zhai, H., Yuan, P., & Chen, M., “Using Catastrophe Theory to Analyze Subway Fire Accidents”, *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, Vol.11, 2020, pp.223-235.
48. Kambhampati, S., Sreedharan, S., Verma, M., Zha, Y., & Guan, L., “Symbols as A Lingua Franca for Bridging Human-Ai Chasm for Explainable and Advisable AI Systems”, *In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Vol.36, No.11, 2022, pp. 12262-12267.
49. 林俊佑,「國內自駕車道路測試概況」, *車安通訊季刊*, 第 109 卷, 第 3 期, 頁 23-31。
50. 黃昱凱,「Level 4 等級自駕車道德困境決策行為初探:電車困境的應用」, *運輸學刊*, 第 32 卷, 第 4 期, 民國 109 年, 頁 427-462。
51. 黃昱凱,「人機合作與衝突:由非線性關係觀點探討高齡者安全意識與自動駕駛使用行為的關係」, *保險專刊*, 第 37 卷, 第 1 期, 民國 110 年, 頁 109-141。
52. 馮正民、黃昱凱,「劇變理論與應用」, *物理雙月刊*, 第 27 卷, 第 6 期, 民國 94 年, 頁 803-807。
53. Zmud J. P., Sener I. N., “Towards an Understanding of the Travel Behavior Impact of

- Autonomous Vehicles”, *Transportation Research Procedia*, Vol.25, 2017, pp.2500-2519.
54. Dirsehan T. and Can C., “Examination of Trust and Sustainability Concerns in Autonomous Vehicle Adoption”, *Technology In Society*, Vol.64, 2020, 101361.
55. Schoettle, B., & Sivak, M., Motorists’ preferences for different levels of vehicle automation: 2016, University of Michigan Sustainable Worldwide Transportation, 2016.
56. Buda, G., Koller, F., & Ulrych, J., “Petrochemistry of Variscan Granitoids of Central Europe: Correlation of Variscan Granitoids of The Tisia And Pelsonia Terranes with Granitoids of The Moldanubicum, Western Carpathian and Southern Alps. A Review: Part I”, *Acta Geologica Hungarica*, Vol.47, Iss.2-3, 2004, pp.117-138.
57. Gilmore, R., *Catastrophe Theory for Scientists and Engineers*, New York, John Wiley & Sons, 1981.
58. Saunders, P. T., *An Introduction to Catastrophe Theory*, Cambridge University Press, 1980.

