

試乘民眾對於自動駕駛小巴的選擇行為 與偏好分析—以國立故宮博物院 南部院區為例

ANALYSIS OF PASSENGERS' CHOICE BEHAVIOR AND PREFERENCES FOR SELF-DRIVING SHUTTLE BUS — A CASE STUDY OF SOUTHERN BRANCH OF THE NATIONAL PALACE MUSEUM

杜建宏 Chien-Hung Tu¹

石豐宇 Feng-Yeu Shyr²

蘇祥愷 Hsiang-Kai Su³

(108 年 11 月 20 日收稿，110 年 5 月 31 日第一次修正，110 年 8 月 24 日第二次修正，
110 年 12 月 21 日第三次修正，111 年 2 月 17 日接受)

摘 要

近年來世界各國致力於發展自動駕駛技術，目前自動駕駛小巴除歐美等國已於不同類型場域進行測試外，我國亦於部份封閉場域舉辦短期的試乘活動，然而由於發展初期，目前有關國人對於自動駕駛小巴態度的瞭解較少，因此本研究欲從需求面出發，藉由國立故宮博物院南部院區舉辦的試乘活動，探討自動駕駛小巴試乘民眾之需求偏好。本研究以敘述性偏好法，模擬未來自動駕駛小巴提供故宮南院園區內的接駁服務，並運用多項羅吉特模式及巢氏羅吉特模式進行參數校估，建立故宮南院園區接駁之運

-
1. 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系助理教授（聯絡地址：40724 臺中市西屯區文華路 100 號 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系，電話：04-24517250 分機 3363，Email：chtu@fcu.edu.tw）。
 2. 國立成功大學都市計畫學系教授。
 3. 鼎漢國際工程顧問股份有限公司規劃師。

具選擇模型。研究結果顯示，路程時間和旅行成本對於試乘民眾的運具選擇具有顯著負向之影響，若未來自動駕駛小巴票價過高將導致其市占率大幅下滑。

關鍵詞： 自動駕駛小巴、敘述性偏好、羅吉特模式、運具選擇

ABSTRACT

Self-driving or autonomous vehicles are being developed throughout the world. Self-driving shuttle buses have been tested in different fields in Europe and the United States. Taiwan has also conducted brief test-ride activities in closed circuits. Taiwanese attitudes toward self-driving shuttle buses are unknown, and this study investigated passenger preferences regarding a self-driving shuttle bus during a test-ride activity at the Southern Branch of the National Palace Museum. The study used stated preference to simulate a self-driving shuttle bus service in the park and then used multinomial logit model and nested logit model to calibrate the parameters and establish the mode choice model. The results indicate that travel time and cost have a significant impact on mode choice. If the fare of a self-driving shuttle bus is too high, the market share of the bus will sharply decline.

Key Words : *Self-Driving Shuttle Bus; Stated Preference; Logit Model; Mode Choice*

一、前言

根據聯合國 (United Nations, UN)^[1]《2018 年版世界都市化展望》報告指出，1950 年全球有 30% 的人口居住在都市地區，2018 年此一比例增加至 55%，預計至 2050 年將達到 68%。面對人口發展重心快速由鄉村向都市轉移，造成能源消耗與效率降低等問題。為降低人口成長與都市化所帶來的衝擊，智慧城市 (Smart City) 的概念應運而生，期藉由資通訊科技 (Information and Communication Technology, ICT) 的運用，提高能源與資源的使用效率，或提供更有效率的公共服務^[2]，帶給民眾更加舒適便利的環境，並提升整體生活品質。

智慧城市其涵蓋了人民、經濟、生活、政府、環境與交通等面向，而交通運輸是各項社經活動重要的途徑，亦為智慧城市重要的技術與服務系統^[3,4]。為使智慧交通能夠進一步地完善，近年來政府部門積極透過公私協力 (Public Private Partnership, PPP) 之合作營運模式，建立媒合平台，並提供實證場域協助民間進行實驗和測試，幫助其方案的落實，以解決城市的交通問題，提升整體的運輸效能。

自動駕駛 (Self-Driving) 作為智慧交通發展的關鍵要素，為瞭解自動駕駛汽車的現狀和風險，2017 年 8 月臺北市完成了信義路雙向公車專用道自動駕駛小巴的夜間測試^[5]，後陸續又於全臺多個縣市進行不同類型場域的測試。於此同時，歐盟、日本、美國、中國、新加坡等國亦與不同的自動駕駛小巴業者合作，完成了各種不同類型場域的測試，期藉由測試獲取數據以及試驗民眾的市場接受度，並且針對其技術、法規、營運等面向的問題進行探討及改善，待未來各樣環境發展成熟時，提供民眾更便利的交通服務^[6]。

在智慧城市的概念下，自動駕駛可以為城市提供更有效率的公共服務，世界經濟論壇 (World Economic Forum) 與波士頓諮詢公司 (The Boston Consulting Group)^[7] 指出，自動駕駛的好處包含了社會層面及個人層面，在社會層面上，它可以改善道路安全、提升交通效率、釋出更多空間、減少各樣污染、增加可及性等；在個人層面上，它可以降低運輸成本和提供更好的服務。然而自動駕駛在各樣條件尚未發展成熟前，劉少山等人^[8] 則認為其在技術層面上必須突破惡劣天氣、行車安全、隱私保護、基礎設施不完善、頻譜分配不足等障礙，在社會層面上面臨著事故追責、行車立法等挑戰。

然而自動駕駛的優劣也可能存在於自動駕駛小巴，其可以透過減少人力開支進而降低票價，但也可能面臨駭客攻擊造成乘客生命財產的損失。Alessandrini 與 Mercier-Handisyde^[9]、Schoettle 與 Sivak^[10]、Portouli 等人^[11] 研究皆發現，自動駕駛設備和系統故障的相關安全問題，對自動駕駛小巴車輛運行安全和人身安全造成之影響，是民眾最為關注的議題，而在自動駕駛技術尚未普及的情況下，Salonen^[12]、Dong 等人^[13] 指出，民眾對於自動駕駛的熟悉度和安全感，皆會影響其對於自動駕駛小巴的接受程度，使它成為新技術成功應用的一大阻礙。

此外，世界經濟論壇與波士頓諮詢公司^[7]、Schoettle 與 Sivak^[14] 研究指出，中國和印度等開發中國家對於自動駕駛的接受度，相對於日本和美國等已開發國家高，其也意味著民眾對於自動駕駛的偏好也會因國情的不同而產生差異，因此在目前有關國人對於自動駕駛小巴態度瞭解比較少的情況下，本研究欲藉由國內自動駕駛小巴的測試，探討自動駕駛小巴試乘民眾之需求偏好，以瞭解試乘民眾所偏好之營運模式，以及不同社經和旅次特性的試乘民眾對於自動駕駛小巴之偏好，以幫助未來自動駕駛小巴的測試和落實，並提升整體公共運輸的效能。

二、文獻回顧

根據美國加州車輛法 (Vehicle Code) 定義，自動駕駛技術 (Autonomous Technology) 是指無須經由主動實體控制或人為監控亦能讓車輛行駛之技術，該技術是多個技術的整合，包含感測器、定位與深度學習、高精地圖、路徑規劃、障礙物檢測與規避、機械控制、

系統整合與最佳化、耗電與散熱管理等^[8]。而其車輛主要是透過雷達、光達 (LiDAR)、超聲波、攝影鏡頭等感測器獲取數據以識別周邊車輛、交通信號、道路標線等資訊^[15]。

自動駕駛小巴適合運用於小運量的 GRT (Group Rapid Transit) 系統，透過共乘的方式於專屬軌道上運行，其相較於其他運輸系統，無論在建設費用和營運成本上都更經濟實惠^[16]。而歐盟執行委員會 (European Commission) 於 2012 年至 2016 年間進行了 CityMobil2 的計畫，該計畫藉由歐盟 12 座城市自動駕駛小巴的實證，幫助未來自動駕駛小巴應用於自動道路運輸系統 (Automated Road Transportation System, ARTS)，在與其他道路使用者隔離、專用或共用的特定道路上，提供定期、預約或及門的服務，彌補傳統公車因營運成本過高，而無法提供的第一哩路和最後一哩路 (First Mile & Last Mile) 接駁服務^[9,17]。

藉由自動駕駛小巴的實證，可以針對民眾的主觀感受進行瞭解，在試乘民眾的態度方面，根據 Portouli 等人^[11] 於希臘、7Starlake^[18] 於臺灣、Nordhoff 等人^[19] 於德國、Mouratidis 等人^[20] 於挪威、Chen C.F.^[21] 於高雄和 Herrenkind 等人^[22] 於德國所做的調查發現，絕大多數民眾皆認為自動駕駛小巴是具有實用性的新型交通工具，且對於其車輛的舒適度皆相當滿意。但在與現有運具相比之下，7Starlake、Nordhoff 等人、Mouratidis 等人、Chen C.F 和 Herrenkind 等人研究皆指出，有較多的民眾認為自動駕駛小巴現行的車速仍有待改善，不過其主要原因歸咎於目前多數地區仍處於測試階段，使得自動駕駛小巴的行駛速度必須受到限制。

而在民眾最為關注的安全議題則包含人身安全與交通安全，Portouli 等人^[11]、Salonen^[12]、Roche-Cerasi^[23] 研究皆指出，大多數的試乘民眾認為自動駕駛小巴相較於傳統公車，在交通安全上的表現相當甚至更好，但是在車內人身安全和車輛危機處理的層面上，仍有多數試乘民眾認為兩者並無太大差異，甚至認為自動駕駛小巴不及傳統公車。顯示多數民眾所擔憂的並非自動駕駛小巴對交通安全層面造成之影響，而是他們在車內的人身安全以及在緊急情況下如何進行合理的應變處置。

然而在民眾對於自動駕駛技術仍有疑慮之下，Lipson 與 Kurman^[24] 認為最初人們對自動駕駛的應用非常謹慎，主要是以低速行駛的接駁車形式存在，應用於封閉的、固定化的環境中，因此自動駕駛小巴目前大多應用於機場、工業區、主題樂園、醫院、大學校園、會議中心等場域，提供路程範圍從 0.5 到 5 公里的接駁服務，並且可以透過智慧化的乘客大數據搜集與遠端艦隊管理演算系統，達成全天候尖峰與離峰最優化之派遣服務，以彈性排程協助更有效率的運具轉乘^[16]。因此自動駕駛小巴之相關研究，除可探討民眾對於自動駕駛小巴的主觀感受，亦可針對其所偏好之營運場域及營運模式進行瞭解。

自動駕駛小巴營運共包括園區、市區、郊區及鄉村四個場域，而四個場域的代表案例分別為新加坡濱海灣花園^[25] 及香港西九文化區^[26]、澳洲達爾文^[27]、美國加州^[28]、荷蘭阿珀爾斯哈^[29]，自動駕駛小巴的營運場域除了可以應用在園區外，市區、郊區和鄉村亦為其潛在的發展地區，有關四個場域的代表案例及其營運模式之說明如表 1 所示。

表 1 自動駕駛小巴營運場域案例綜理表

場域	營運地點	概述
園區	 新加坡濱海灣花園 (Gardens by the Bay, Singapore)	此為亞洲第一個自動駕駛小巴商業營運模式的案例，其於 2016 年 6 月開始營運，使用的是 Easymile 自動駕駛小巴 EZ10，路程由濱灣前廣場至花園內，路線長度為 2 公里，路程時間約為 20 分鐘，票價為 5 元新幣，每日共有 2 輛自動駕駛小巴運行，行駛在與行人和自行車共用的道路上。
	 香港西九文化區 (West Kowloon Cultural District, Hong Kong)	其於 2017 年 7 月開始試行至今，使用的是 NAVYA 自動駕駛小巴，車輛行駛於西九文化區的園區內，共設置 6 個站點，路程時間約為 30 到 40 分鐘，目前為開放所有民眾免費搭乘，僅有 1 輛自動駕駛小巴運行。
市區	 澳洲達爾文 (Darwin, Australia)	其於 2017 年 2 月至 9 月於達爾文濱海區 (Darwin Waterfront Precinct) 和中心商業區進行三階段的測試，使用的是 Easymile 自動駕駛小巴 EZ10，第一階段為濱海區內的一般道路測試，路線長度為 1 公里；第二階段為濱海區內行人徒步區的測試，路線長度為 510 公尺，路程時間約為 10 到 15 分鐘；第三階段為中心商業區的道路測試，路程長度為 4 公里 (Darwin Waterfront Corporation, 2017)。

郊區	 美國加州 (California, USA) Bishop Ranch 自動駕駛小巴	此為加州政府第一個批准自動駕駛小巴行駛於該州公共道路上的案例，其於 2018 年 3 月開始測試，使用的是 Easymile 自動駕駛小巴 EZ10，營運路線為提供上班族至 Bishop Ranch 商業中心之接駁，路程長度為 1 公里，行駛在與行人、自行車和機動車輛共用的道路上。
鄉村	 荷蘭阿珀爾斯哈 (Appelscha, Netherlands)	其於 2016 年 9 月至 10 月於該地區的自行車道進行測試，使用的是 Easymile 自動駕駛小巴 EZ10，路程長度為 2.5 公里，期間開放所有居民和遊客免費搭乘，共有 2 輛自動駕駛小巴運行 (Boersma, Arem, & Rieck, 2018)。

實證研究上，Alessandrini 等人^[30]將自動駕駛小巴分為：「主要設施」、「市中心」、「交通場站與主要設施間」、「交通場站與住宅區間」等四種不同類型之營運場域，研究結果發現主要設施內（如校園、科學園區等）的試乘民眾對於自動駕駛小巴的接受度相較於其他三種場域高，顯示民眾在認知上，認為交通安全在園區封閉道路仍相較於開放混合道路來得安全。而有別於過去多數研究以都市道路作為實證地區，Bos^[31]針對荷蘭偏遠地區的自動駕駛小巴進行研究，研究指出有 13% 的受訪者未來願意搭乘自動駕駛小巴，另外有 40% 的受訪者未來並不反對搭乘自動駕駛小巴，此外 Nesheli 等人^[32]的研究則針對 33 個試點計畫（包含來自加拿大的 4 個，8 個來自歐洲，來自美國 13 個，來自澳大利亞的 2 個，以及來自亞洲的 6 個）探討自動駕駛巴士的發展課題，內容提到成功的試點計畫以各種不同的情境條件試營運。包含環境條件與路線配置及班距間隔以及運轉速度，最具成效的應用就是在人口稀少的偏遠地區提供撥招式 (DRT) 的服務作為最後一哩路的接駁，可見自動駕駛小巴作為增加偏遠地區可及性的發展潛力。

而在營運模式方面，Dong 等人^[13]、Alessandrini 等人^[30]、Bos^[31]皆運用敘述性偏好探討不同營運模式對於受訪者搭乘意願之影響，藉由設計不同變數所構成的替選方案，供

受訪者進行選擇，以瞭解何種變數將影響受訪者的搭乘意願。Alessandrini 等人指出，若自動駕駛小巴收取的費用高於傳統公車，民眾的搭乘意願將會顯著降低。而 Bos 研究發現「每 30 分鐘一班」和「可隨招隨停」的自動駕駛小巴最受荷蘭偏遠地區的民眾歡迎。

此外，民眾對於車輛有無隨車人員也存在偏好上的差異，Nordhoff 等人^[19]針對自動駕駛小巴試乘民眾進行調查，結果顯示有 51.6%的試乘民眾希望由遠端來監控車輛；另外有 33.5%希望車輛配有隨車人員；其餘 14.9%則認為完全不需要有人來監控車輛。而隨車人員也會影響民眾的搭乘意願，Dong 等人^[13]曾針對一般通勤族進行調查，研究指出有隨車人員在車上監控車輛營運並提供乘客服務時，有 66%的受訪者願意搭乘，而沒有隨車人員在車上時，僅有 13%的受訪者願意搭乘。故根據上述文獻顯示，前者研究因受訪者具有搭乘經驗，對於自動駕駛小巴有較高程度的信任，但兩者皆有部份比例的民眾仍偏好車輛配有隨車人員。

在上述文獻中，除了探討全體受訪者對自動駕駛小巴之偏好外，亦分別針對受訪者個別的社經特性和旅次特性對於自動駕駛小巴之偏好進行分析。Salonen^[12]、Dong 等人^[13]、Alessandrini 等人^[30]皆指出性別對於受訪者的搭乘意願具有顯著影響，男性對於自動駕駛小巴之偏好皆相較於女性高，而 Portouli 等人^[11]、Dong 等人^[13]、Bos^[31]也發現年輕人相較於年長者更願意搭乘自動駕駛小巴，但 Nordhoff 等人^[19]研究則發現，年長者雖然認為自動駕駛小巴的效率相較於現有交通工具低，但其相較於年輕人未來更願意搭乘自動駕駛小巴，此研究結果與過去相關研究有不同的發現。此外 Guo, J 等人^[33]的研究發現，受訪者旅行目的、旅行距離、天氣條件和旅伴等因素，對自動駕駛巴士與傳統巴士選擇的影響也有差異性。惡劣的天氣會降低公共運輸服務品質，因此偏好選擇自動駕駛巴士，但如果是以工作為目的或有伴同行的長途旅行，就會選擇傳統巴士而非自動駕駛巴士。其原因在於自動駕駛巴士的可靠性與穩定性尚未讓受訪者擁有足夠的信心。

綜觀自動駕駛小巴需求偏好之相關研究與實證案例，由於自動駕駛小巴於國內發展時間較短，相關研究較少，因此大多是以發展時間較長的歐美國家為主，其主要是針對使用者的主觀感受，以及不同實證場域、營運模式、社經特性、旅次特性等因素對於搭乘意願之影響進行探討，然而僅有少數案例已進入商業營運模式，多半仍處於試行或測試階段，而在測試時間部份，可能多半為配合政府計畫，或受限於路權和法令的限制，少有超過一年的時間，因此也無法達到車隊的規模，僅靠 1 至 2 輛自動駕駛小巴在運行。研究結果表明自動駕駛小巴具有潛在的市場需求，儘管不同性別和年齡的使用者可能存在偏好上之差異，但多數民眾認為自動駕駛小巴能為市區交通安全和偏遠地區可及性帶來正面幫助，並且可以透過營運模式的改善，如降低票價、調整班次頻率、安排隨車人員等，提升民眾的搭乘意願。

因此本研究參考 Alessandrini 等人^[30]之研究結果提出主要設施內（如校園、科學園區等）的試乘民眾對於自動駕駛小巴的接受度相較於其他三種場域高，選擇同樣為園區接駁的故宮南院試乘活動進行實證研究，除了探討不同社經和旅次特性的試乘民眾對於自動駕駛小巴之偏好，亦採納上述影響民眾搭乘意願之相關因子，探討自動駕駛小巴營運模式對

於使用者搭乘意願之影響，並針對其影響程度進行分析。然而過往研究較為偏重自動駕駛小巴單一運具之研究，較少著墨自動駕駛小巴對於現有運具的市場衝擊，故本研究嘗試以該場域現有的運具作為替選方案，使研究能夠更貼近實證地區的現實情況。

三、研究方法

為瞭解自動駕駛小巴在不同營運模式下試乘民眾之運具選擇行為，本研究採用國內外相關運輸專業研究公認為最佳分析旅運者運具選擇行為之方法一個體選擇模式 (Discrete Choice Model) 進行分析，其乃是基於假設消費者皆為理性之決策者，在面對眾多可以選擇的替選方案中，會選擇效用最大的方案，而消費者效用大小則受到各個替選方案屬性以及決策者本身屬性的影響，然這些受影響之屬性必須透過問卷訪問個人得到資料，方能建立模式及分析，故以下將分別針對本研究所採用之資料蒐集和模式分析方法進行說明。

3.1 敘述性偏好法

敘述性偏好法 (Stated Preference, SP) 又可稱為實驗室模擬法，引用自企業行銷方法，其意義為運用受控制的實驗設計以模擬真實情境，以使受訪者在假設情況下所做的決策。此法的分析過程為：研究者以一些事先決定的屬性 (Attributes) 及其水準值 (Level)，組合成各種運輸環境，再由這些客觀的運輸情境構成替選方案，供受訪者以評分、等級排序或優先選擇的方式，評估其對替選方案的整體偏好，研究者再根據各替選方案的整體偏好資料，校估偏好函數的參數。

相較於顯示性偏好 (Reveal Preference, RP) 是根據決策者在真實環境中已經發生的結果，直接透過問卷調查方式，將真實的狀況記錄下來，顯示在問卷的答案上，敘述性偏好可以模擬尚未存在運輸設施的情境，進行旅運需求預測。而由於自動駕駛小巴仍處於測試階段，試乘活動中所提供的相關服務屬性 (如：車速、票價) 仍與未來正式營運有所差異，係屬尚未存在的運輸設施，故本研究將以敘述性偏好設計問卷，藉由模擬未來自動駕駛小巴所提供的服務屬性，以瞭解受訪者在假設情況下的運具選擇。

敘述性偏好法之實驗設計主要分為二因素法 (two-factor at-a-time procedure) 及整體輪廓法 (full-profile approach) 等兩大類，相較於二因素法受訪者每次只對一對屬性中各水準值的不同組合加以評估，整體輪廓法可將替選方案中每一個屬性皆同時列出，較接近事實，但亦容易因受訪者所需評估的替選方案太多，超出其所能負擔的範圍，因此本研究採用直交排列法進行情境的設計，根據各屬性變數及其水準值所產生的排列組合，選用相對應的田口直交表 (Taguchi's Orthogonal Arrays)，藉此縮減情境數目並增加實驗效率，並將本研究所設計的水準值，套用至相對應的直交表，即能產生不同的情境組合，而為避免問卷情境數目過多影響受訪者的填答意願，必須根據情境組合的數量，將其均分至不同式的問卷當中，以供受訪者填答。

3.2 羅吉特模式

個體選擇模式假設當旅運者 n 面對多種替選運具時，將選擇帶來最大效用的替選運具 i ，而效用屬於一種感受，每位旅運者的感受不同，故一般假設效用函數 U_{in} 為隨機變數，包含可衡量部份 (V_{in}) 以及不可衡量部份 (ε_{in})，如式 (1) 所示：

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

而多項羅吉特模式 (Multinomial Logit Model, MNL) 為假設效用函數 U_{in} 之不可衡量隨機誤差項 ε_{in} 為彼此獨立且相同 (I.I.D) 之岡伯 (Gumbel) 分配，透過分配的累積機率密度函數積分，可推導出多項羅吉特模式，故旅運者 n 選擇替選方案之集合為 (A_n)，選擇替選方案 i 之機率 (P_{in}) 如式 (2) 所示：

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{i \in A_n} e^{V_{in}}} \quad (2)$$

然而多項羅吉特的機率模式為各替選方案之間為完全獨立，即不相關替選方案之獨立性 (Independence of Irrelevant Alternatives, IIA)，為了改善 IIA 的缺點，後續研究 McFadden^[34] 亦發展出以誤差項相同但替選方案為不獨立分配所推導出的巢式羅吉特模式 (Nested Logit Model, NL)，以改良多項羅吉特模式推估結果有所偏誤之缺點。

而為檢驗多項羅吉特模式是否具有 IIA 的特性，McFadden 與 Hausman^[35] 提出 Hausman test 的檢定模式，以觀察排除某一選項是否會對原參數的估算結果造成系統性的影響，其統計檢定值如公式 (3) 所示：

$$HM = (\hat{\beta}_R - \hat{\beta}_F)' [\hat{V}_R - \hat{V}_F]^{-1} (\hat{\beta}_R - \hat{\beta}_F) \quad (3)$$

其中， R 為刪除某些選項方案組合後的受限制資料 (Restricted-Choice Data)； F 為完整選項組合的全部資料 (Full-Choice Data)； $\hat{\beta}_R$ 、 $\hat{\beta}_F$ 分別為 R 與 F 選項方案估計值的向量； $\hat{V}_R$ 、 $\hat{V}_F$ 分別為 R 與 F 選項方案集合的共變異矩陣。

然由於 Hausman test 的虛無假設是不同選項資料的係數結果一致，因此統計值須呈現不顯著，方能符合 IIA 的性質；若檢定值呈現顯著，則顯示該模型違反 IIA 的假設，亦即後續須進行巢式羅吉特模式之校估。

為解決替選運具方案間存在相關性的問題，發展出將有相關性之替選運具放在獨立同一巢層中，並以包容值 (Inclusive Value) μ_m 計算各替代運具間的相關性，一併計算效用函數。以兩層巢式羅吉特模式為例，假設模式中有 M 個巢，每一巢 m 有 N_m 方案，則選擇方案 i 於巢 m 的機率為 P_i ，如公式 (4)、(5) 所示：

$$P_i = P_{i/m} \times P_m = \frac{\frac{V_i}{e^{\mu_m}}}{\sum_{i' \in N_m} \frac{V_{i'}}{e^{\mu_m}}} \times \frac{\left(\sum_{i' \in N_m} \frac{V_{i'}}{e^{\mu_m}} \right)^{\mu_m}}{\sum_m \left(\sum_{i' \in N_m} \frac{V_{i'}}{e^{\mu_m}} \right)^{\mu_m}} \quad (4)$$

$$\gamma_m = \ln \sum_{i \in N_m} e^{\frac{v_{i|}}{\mu_m}} \quad (5)$$

其中， $P_{i|m}$ 為方案 i 於巢 m 中被選到的條件機率； P_m 為巢 m 被選到的邊際機率； μ_m 為巢 m 的包容值係數； γ_m 為巢 m 的包容值變數。

為使巢式羅吉特模式滿足效用最大理論，所推估之包容值係數 μ_m 須介於 0 與 1 之間。若包容值係數 μ_m 愈接近 0 時，表示方案間之相關性愈高。若包容值係數 μ_m 等於 1 時，表示巢內各方案之間並無相關，即代表巢式羅吉特模式與多項羅吉特模式無異。

本研究採用上述多項羅吉特模式和巢式羅吉特模式進行模式建構，以尋求解釋能力最佳之模式，並進行市場占有率之模擬分析。

3.3 研究限制

研究過程雖然力求多方考量，但受限於主觀之人為因素與客觀之環境因素，故仍有如下之限制，說明如下：

3.3.1 主觀之人為因素限制

由於國內尚未有正式營運之自動駕駛小巴，故樣本的選取不能對無搭乘經驗之民眾進行問卷調查。因此本研究在調查樣本上為取得「具有自動駕駛小巴搭乘經驗之民眾」的調查樣本，與自動駕駛小巴業者喜門史塔雷克 (7Starlake) 合作，並配合該公司 2018 年 10 月 6 日至 7 日於故宮南院舉辦之試乘活動來進行問卷調查。由於受訪者皆搭乘過自動駕駛小巴，故對於自動駕駛小巴的偏好程度可能會比預期來的高。

3.3.2 客觀之環境因素限制

在客觀之環境因素上，因為國內受限於交通法規尚未有正式營運之自動駕駛小巴進行載客之服務。即便在測試運轉之場域都是有相當限制條件下試運轉，因此無法反應出真實的環境狀況。所以在研究地區的限制上，配合自動駕駛小巴業者喜門史塔雷克 (7Starlake) 於 2018 年 10 月 6 日至 7 日在故宮南院舉辦之試乘活動，試乘路線較短也僅針對園區內之短程接駁，可能對於預期的研究成果有些許落差。

四、問卷設計與調查

4.1 問卷設計

4.1.1 問卷內容

問卷內容主要分為三個部份。第一部份為自動駕駛小巴試乘調查；第二部份為敘述性偏好調查；第三部份則個人基本資料調查。

第一部份自動駕駛小巴試乘調查，主要探討受訪者如何得知活動訊息及試乘的主要動機，以瞭解受訪者選擇試乘的原因。

第二部份敘述性偏好調查，模擬未來自動駕駛小巴提供往返於故宮南院遊客中心及借展廳出入口之「園區接駁服務」，該路線即為試乘活動所行經的路線。此部份將以自動駕駛小巴與該場域現有的運具作為替選方案，並依各替選方案之營運現況，分別設定不同的屬性變數及其水準值，供受訪者選擇其所偏好的運具，以瞭解自動駕駛小巴服務屬性對於使用者搭乘意願之影響。

第三部份個人基本資料調查，根據自動駕駛小巴相關文獻可將其分為社經特性和旅次特性兩部份，其中社經特性包含性別、年齡、學歷、職業、現居地區等，而旅次特性則包含最常使用之交通工具、大眾運輸使用頻率等，藉由受訪者社經特性及旅次特性的蒐集，以瞭解不同客群對於自動駕駛小巴之偏好。

4.1.2 情境設計

敘述性偏好調查為模擬本次自動駕駛小巴試乘活動往返於故宮南院遊客中心及借展廳出入口的接駁路線，該路線目前可藉由步行、公共自行車、無障礙接駁車（高爾夫球車）等運具往返兩地。而由於至美橋僅供遊客步行通過，公共自行車及無障礙接駁車需沿著至善湖西側的道路行駛，方能到達遊客中心或借展廳，但因該條道路路幅較窄，若未來自動駕駛小巴加入營運，將無法同時容納高爾夫球車與自動駕駛小巴，故本研究於情境設計上，假設未來自動駕駛小巴取代現有的無障礙接駁車，因此僅設定步行、公共自行車、自動駕駛小巴三種替選方案提供受訪者選擇，如圖 1 所示。



資料來源：國立故宮博物院南部院區

圖 1 模擬路線示意圖

然根據自動駕駛小巴之相關文獻回顧，本研究選擇旅行時間、旅行成本、班次頻率、有無隨車人員等作為屬性變數，並分別針對步行、公共自行車、自動駕駛小巴三種替選方案，設定其屬性變數之水準值，如表 2 所示。其水準值說明如下：

表 2 敘述性偏好問卷屬性變數及水準值表

【模擬路線】：遊客中心—借展廳				
運具別	旅行時間(分鐘)	旅行成本(元)	班次頻率	隨車人員
步行	5、7	0	—	—
公共自行車	5、7	5、10	—	—
自動駕駛小巴	3、5	0、15	固定每 10 分鐘一班 、提前 10 分鐘預約	有、無

- 旅行時間：即上車到下車所花費的路程時間。
 - (1) 步行：可行經至美橋到達遊客中心或借展廳，路程約為 400 公尺。本研究實際測量步行時間約 5 分鐘，故假設步行時間為 5 分鐘及 7 分鐘。
 - (2) 公共自行車：需沿著至善湖西側的道路行駛，路程約為 800 公尺。本研究假設騎乘時間為 5 分鐘及 7 分鐘。
 - (3) 自動駕駛小巴：需沿著至善湖西側的道路行駛，路程約為 800 公尺。本次試乘活動自動駕駛小巴平均時速約為每小時 6 至 7 公里，路程時間約為 7 分鐘，本研究假設未來時速提升後，路程時間為 3 分鐘及 5 分鐘。
- 旅行成本：即該路程每人所需花費的車資或租賃費用。
 - (1) 步行：無需額外花費。
 - (2) 公共自行車：目前遊客中心有提供自行車租賃的服務，費用為每日每台 100 元。但由於此變數是指該路程所花費的費用，故本研究改使用一般公共自行車每小時的租賃費率，假設租賃費用為 5 元及 10 元。
 - (3) 自動駕駛小巴：本研究假設未來自動駕駛小巴取代現有的無障礙高爾夫球車，因此參考現無障礙高爾夫球車的費率及一般公車的費率，假設車資為免費及 15 元。
- 班次頻率：即車輛為固定時間發車或需提前預約。
 - (1) 自動駕駛小巴：本次試乘活動自動駕駛小巴採固定班次，約每 20 分鐘一班。本研究假設未來自動駕駛小巴速度提升後可縮短至每 10 分鐘一班，或者可以採預約方式，提前 10 分鐘預約車輛。
- 隨車人員：即該路程是否有安排隨車人員於車內監控車輛運行。
 - (1) 自動駕駛小巴：現行《無人載具科技創新實驗條例》第五條第十三項規定：「確保無人載具與監控操作人員間之通訊連結不發生中斷，且於發生或預期發生故障或危害時，得透過雙向通訊取得控制權限或因應措施…」。因此本次試乘活動自動駕駛

小巴皆有 1 至 2 位隨車人員於車內監控車輛運行，本研究另假設未來自動駕駛小巴不需設有隨車人員，改由遠端控管自動駕駛小巴車隊。

4.1.3 實驗設計

在各屬性變數之水準值設定完成後，將產生相對應的直交表，藉此縮減情境數目並增加實驗效率。而本研究藉由產生相對應的直交表，最終縮減為 12 種情境組合，然為避免問卷情境數目過多影響受訪者的填答意願，會將此 12 種情境組合平均分配至 6 種 (A-F) 問卷當中，故每種問卷僅有 2 種情境組合，亦即每位受訪者僅會填寫到 2 種情境組合的問卷。

4.2 問卷抽樣與調查

本研究為取得「具有自動駕駛小巴搭乘經驗之民眾」的調查樣本，與自動駕駛小巴業者喜門史塔雷克 (7Starlake) 合作，並配合該公司 2018 年 10 月 6 日至 7 日於故宮南院舉辦之試乘活動來進行問卷調查，本次試乘活動兩天共計 9 個小時，路線為往返故宮南院遊客中心及借展廳出入口，單趟路程約為 7 分鐘。

而試乘活動所選用的自動駕駛小巴為法商 Easymile 所生產之 EZ10，其為高度自動化 (SAE Level 4) 的智慧型車輛，車輛可承載 12 人，包含 6 個座位及 6 個站位，而在試乘活動中，每趟最多可承載 10 位民眾，並有 1 至 2 位隨車人員於車內監控車輛運行，兩天試乘活動共計 499 人次搭乘，活動當中並無發生任何車輛事故。

問卷調查採隨機抽樣方式，在民眾試乘完自動駕駛小巴之後，於下車站點（遊客中心與借展廳）進行問卷調查，並由調查員從旁協助，以避免填答發生問題和疏漏。本研究共回收 309 份問卷，扣除 34 份填寫不完全或有瑕疵的無效問卷，實際有效問卷為 275 份，而每份問卷有 2 種情境組合，故相當於取得 550 份有效的敘述性偏好樣本，達 95% 信心水準，抽樣誤差為 4.2%。



資料來源：7Starlake

圖 2 自動駕駛小巴 EZ10

4.3 樣本特性分析

有關受訪者特性統計資料如表 3 所示，在受訪者性別方面，男性與女性的比例分別為 45.82% 和 54.18%。年齡層以 21-60 歲居多，佔總樣本的 80.73%，而 21 歲以下和 61 歲以上的受訪者也各佔總樣本的 9.09% 和 10.18%，顯示自動駕駛小巴為老少咸宜的運具，亦有不少高齡長者搭乘。在學歷方面，以大學專科以上的學歷居多，佔總樣本的 67.63%。職業則以從事一般服務業的受訪者最多，其次為工商服務業，兩者共佔總樣本的 38.18%。而受訪者現居地區以實證地區所在地南部最多，佔總樣本的 57.82%，顯示故宮南院遊客仍以鄰近縣市的民眾為主。

表 3 受訪者特性統計表

特性	選項	比例	特性	選項	比例
性別	男	45.82%	現居地區	北部	13.45%
	女	54.18%		中部	27.27%
年齡	20 歲(含)以下	9.09%		南部	57.82%
	21-30 歲	17.45%		東部	0.73%
	31-40 歲	23.64%		國外	0.73%
	41-50 歲	25.09%	最常使用交通工具	步行	4.00%
	51-60 歲	14.55%		機車	41.82%
	61 歲以上	10.18%		汽車	41.09%
學歷	國中(含)以下	13.10%		自行車	2.18%
	高中職	19.27%		計程車	0.36%
	大學專科	54.18%		公車	5.45%
	研究所以上	13.45%		捷運	3.27%
職業	軍公教	12.36%		臺鐵	0.73%
	農漁牧	1.82%		高鐵	0.73%
	工商服務業	18.91%		其他	0.37%
	一般服務業	19.27%	大眾運輸使用頻率	每天 1 次(以上)	10.91%
	科技業	5.82%		每週 4-5 次	8.73%
	自由業	8.36%		每週 2-3 次	9.46%
	學生	12.36%		每週 1 次	5.45%
	家管	11.27%		每兩週 1 次	10.18%
	退休	4.00%		每月 1 次	23.27%
	其他	5.83%		每半年 1 次(以下)	32.00%

受訪者最常使用的交通工具仍以私人運具汽、機車為主，兩者共佔總樣本的 82.91%，而大眾運輸則以公車的使用率最高，佔總樣本的 5.45%，顯示多數受訪者現階段仍是偏好使用私人運具，也因此在大眾運輸使用頻率上，每月使用大眾運輸 1 次（含）以下的受訪者，共佔總樣本的 55.27%，顯示多數受訪者除偏好使用私人運具，亦較少有機會使用大眾運輸工具。

五、模式校估與分析

本研究採用多項羅吉特模式進行模式建構，並以 Gauss 9.0 進行羅吉特模式之參數校估，以尋求解釋能力最佳之模式，以下將針對模式建構方式與校估結果進行說明，並利用最佳之模式進行市場占有率之模擬分析。

5.1 多項羅吉特模式

5.1.1 模式建構方式

本研究將多項羅吉特模式中的自變數分為四類，分別為方案特定常數、共生變數、方案特定變數及社會經濟特性之特定變數，各變數設定方式及說明如表 4 所示。

1. 方案特定常數 (Alternative Specific Constants)

此常數項之目的在於吸收並表達其他變數無法完全表達出來運具間之差異，園區接駁之替選方案為步行、公共自行車及自動駕駛小巴等三種運具，如圖 3 所示，本研究令「步行」方案之特定常數為 0，以校估其他運具之特定常數。

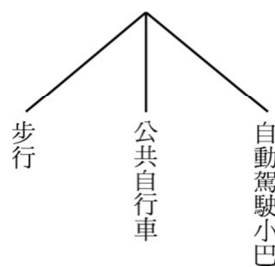


圖 3 多項羅吉特模式架構圖

2. 共生變數 (Generic Variable)

共生變數是指某一變數存在於各替選方案的效用函數且參數值相同者，本研究所採用之共生變數為路程時間、候車時間及旅行成本，路程時間為步行時間、公共自行車騎乘時間和自動駕駛小巴行駛的時間；候車時間為自動駕駛小巴固定和預約班次所需等待的時間，固定班次為每 10 分鐘一班，故將平均候車時間設定為 5 分鐘，預約班次為提前 10 分

鐘預約，故將候車時間設定為 10 分鐘；而旅行成本則為公共自行車的租借費用和自動駕駛小巴的乘車票價。

3. 方案特定變數 (Alternative Specific Variable)

方案特定變數是指某一變數僅存在某一替選方案之效用函數中，本研究所採用的方案特定變數為不同營運屬性選擇特定方案之變數，並將其設定為 0 與 1 之虛擬變數 (Dummy Variable)，以進行模式校估，在此是令自動駕駛小巴有隨車人員為 1，否則為 0，並將其指定於自動駕駛小巴。

4. 社會經濟特性之特定變數

社會經濟特性之特定變數是將個別社會經濟特性指定為替選方案特定變數，本研究所採用的社會經濟特性之特定變數包含受訪者之性別、年齡、學歷、職業、大眾運輸使用頻率等，為瞭解不同社會經濟特性族群的偏好程度，將性別、職業大眾運輸使用頻率、無收入和年齡設定為虛擬變數，但因學歷變數為一累積之事實，且為校估學歷越高越偏好搭乘自駕小巴意願的假設，將學歷設定為連續變數 (Continuous Variables) 後，分別指定於特定替選方案，以進行模式校估。

表 4 變數設定方式

變數設定	變數名稱	設定方式	預期符號
方案特定常數	公共自行車	相對於步行 (=0)	未知
	自動駕駛小巴		未知
共生變數	路程時間	[步行] 步行時間	負號 (-)
		[公共自行車] 騎乘時間	
		[自動駕駛小巴] 行駛時間	
	候車時間	[步行] 無需候車 (=0)	負號 (-)
		[公共自行車] 無需候車 (=0)	
		[自動駕駛小巴] 固定和預約候車時間	
	旅行成本	[步行] 無需花費 (=0)	負號 (-)
		[公共自行車] 租借費用	
		[自動駕駛小巴] 乘車票價	
方案特定變數	營運屬性	有隨車人員 [自動駕駛小巴]	正號 (+)
社會經濟特性之特定變數	性別	男性 [自動駕駛小巴]	正號 (+)
	學歷	學歷 [自動駕駛小巴]	正號 (+)
	職業	學生 [自動駕駛小巴]	正號 (+)
	大眾運輸使用頻率	大眾運輸使用頻率 [自動駕駛小巴](每周 5 次以上=1)	未知
	無收入	[自動駕駛小巴](學生、家管 = 1)	-
	年齡	[自動駕駛小巴](40 歲以下 = 1)	正號 (+)

5.1.2 模式校估結果

多項羅吉特模式分為三個階段進行校估，如表 5、表 6 所示。模式 1 僅加入方案特定常數和共生變數進行校估，模式 2 則加入不同的營運屬性作為方案特定變數，然結果顯示有無隨車人員對於自動駕駛小巴運具選擇之影響並不顯著，因此模式 3 將該變數剔除，並加入社會經濟特性之特定變數進行校估，模式 4 則加入無收入者與年齡在 40 歲以下者之社會經濟特性之特定變數進行校估。在 4 個模式中，其概似比指標皆介於 0.2 至 0.4 之間，表示模式具有很高的適合度，其中又以模式 3 之概似比指標 0.3268 最為良好。

在共生變數部份，路程時間、候車時間及旅行成本參數之校估結果皆為負值，符合先驗知識，其中模式 3 與模式 4 的路程時間和旅行成本皆與試乘民眾的運具選擇具有顯著相關，表示路程時間和旅行成本越高，選擇該運具之效用越低，唯候車時間的顯著性並不高，主要原因有二：一為本研究受訪對象皆為觀光休閒之旅次目的，其通常較無時間壓力；二為短程接駁相較於城際運輸時間誤差較小，因此在園區接駁中，受訪者的運具選擇也較不受候車時間之影響。

而在方案特定變數部份，經由模式 2 之結果顯示，自動駕駛小巴有隨車人員時的顯著性並不高，顯示該變數對於選擇自動駕駛小巴的影響差異並不大，可能原因為相較於過往 Dong 等人^[13]研究以一般民眾作為探討對象，本研究的受訪對象為自動駕駛小巴試乘民眾，而在試乘車輛的運行途中鮮少有隨車人員的介入，可能為其對此營運屬性較不敏感之原因。

至於在社會經濟特性之特定變數部份，經由模式 3 與模式 4 之結果顯示，男性參數之校估結果為負值，表示男性搭乘自動駕駛小巴的意願相較於女性低，反而是女性較為偏好選擇自動駕駛小巴作為接駁運具，推論其原因有三，一為回顧國內相關調查與統計資料則發現，交通部^[36]《從性別看交通運具使用情形》提到，雖然女性駕駛肇事數量較低，但發生交通事故的比例（包含輕微擦撞）卻略高於男性，可能與女性使用車輛的習慣與先天特質有關，導致小擦撞之類事故偏多，顯示以肇事機會來看，相較於男性，女性的駕車能力較差；二為依據交通部^[37]108 年「自用小客車駕駛人男女比率」及 109 年「運具次數公共運輸市占率」^[38]統計資料顯示，男性使用自用小客車比率高於女性且女性使用公共運輸的市占率皆高於男性；三為自駕小巴相對於自行車及步行而言，其舒適度是較高的。

其次，學歷參數之校估結果為負值，表示學歷越高者，搭乘自動駕駛小巴的意願相對越低，此結果可能與其他兩種替選方案（步行、公共自行車）較有吸引力有關，一方面該族群多為青壯年，短程步行相對容易，另一方面，高學歷者亦較常使用公共自行車作為代步工具^[39]。而學生參數之校估結果為負值，表示學生搭乘自動駕駛小巴的意願相較於其他族群低，此結果可能與學生族群普遍較為年輕，因此在步行可及範圍內，偏好成本較為低廉的方案有關。至於大眾運輸使用頻率參數之校估結果則為正值，與預期符號相符，表示越常使用大眾運輸者，搭乘自動駕駛小巴的意願相對越高，越不常使用大眾運輸者，搭乘自動駕駛小巴的意願則相對越低，此結果顯示偏好搭乘大眾運輸者更願意接受自動駕駛

形式的大眾運輸工具。模式 4 則加入收入條件與年齡的社會經濟特定變數，無收入者（職業別為學生和家管）之參數校估值為負值且稍微顯著，顯示無收入者並不偏好使用自動駕駛小巴，推測原因可能為園區接駁之距離並不長（僅 800M），在能力許可下並不需要選擇自動駕駛小巴作為使用之運具。此外在年齡方面為負值且稍微顯著，文獻回顧中 Portouli 等人^[11]、Dong 等人^[13]、Bos^[31] 之研究均提出年輕人相較於年長者更願意搭乘自動駕駛小巴，故與預期結果不符，但是在 Nordhoff 等人^[19] 研究則發現，年長者雖然認為自動駕駛小巴的效率相較於現有交通工具低，但其相較於年輕人未來更願意搭乘自動駕駛小巴，此研究結果與過去相關研究有不同的發現，因此本次研究模式校估的結果可能來自於自動駕駛小巴的效率相較於現有交通工具低，特別是在短程的園區接駁上，年輕人可能多數選擇其他方式（步行、自行車）完成該旅次的旅運行為。

在時間價值部份，經由模式 3 與模式 4 之結果顯示，路程時間價值為每分鐘 2.04 元、1.90 元，候車時間價值為每分鐘 0.97 元、1.00 元，前者時間價值高於後者，表示路程時間價值相較於候車時間價值寶貴，此結果與先驗知識不符，主要原因有二：一為候車時間相對於路程時間，受訪者較能自行運用，從事其他活動；二為本研究受訪對象為自動駕駛小巴試乘民眾，因此願意搭乘並填寫問卷者，多半亦為願意等待候車試乘的人，故候車時間可能對於本研究受訪者而言並非如此重要。

表 5 多項羅吉特模式校估結果

		模式 1 (PARK_1-1)		模式 2 (PARK_1-2)	
		係數	T 值	係數	T 值
方案特定 常數	步行 (基準方案)	—	—	—	—
	公共自行車	-0.8094	-4.084**	-0.8093	-4.083**
	自動駕駛小巴	1.6398	4.762**	1.6666	4.699**
共生變數	路程時間	-0.0950	-1.573	-0.0942	-1.559
	候車時間	-0.0524	-1.408	-0.0520	-1.397
	旅行成本	-0.0585	-4.757**	-0.0585	-4.753**
方案特定 變數	有隨車人員 (自駕小巴)	—	—	-0.0576	-0.310
時間價值	路程時間	1.62 元/分		1.61 元/分	
	候車時間	0.90 元/分		0.89 元/分	
樣本數		550		550	
LL(0)		-604.2355		-604.2355	
LL(β)		-432.1636		-432.1158	
p^2		0.2848		0.2849	

表 6(續) 多項羅吉特模式校估結果

		模式 3 (PARK_1-3)		模式 4 (PARK_1-4)	
		係數	T 值	係數	T 值
方案特定常數	步行 (基準方案)	—	—	—	—
	公共自行車	-0.8201	-4.102**	-0.8278	-4.148**
	自動駕駛小巴	4.0256	7.341**	2.0515	4.979**
共生變數	路程時間	-0.1193	-1.901*	-0.1082	-1.73*
	候車時間	-0.0564	-1.443	-0.057	-1.463
	旅行成本	-0.0584	-4.492**	-0.0568	-4.402**
方案特定變數	有隨車人員 (自駕小巴)	—	—	—	—
社會經濟特性之特定變數	男性 (自駕小巴)	-0.5135	-2.612**	-0.5119	-2.609**
	學歷 (自駕小巴)	-0.5345	-4.294**	-1.1693	-4.275**
	學生 (自駕小巴)	-0.9141	-2.974**	—	—
	大眾運輸使用頻率 (自駕小巴)	0.1818	3.997**	0.6016	3.087**
	無收入(自駕小巴)	—	—	-0.3816	-1.839*
	40 歲以下(自駕小巴)	—	—	-0.3514	-1.789*
時間價值	路程時間	2.04 元/分		1.90 元/分	
	候車時間	0.97 元/分		1.00 元/分	
樣本數		550		550	
LL(0)		-604.2355		-604.2355	
LL(β)		-406.7839		-409.1137	
p^2		0.3268		0.3229	

註：「*」表於 $\alpha = 0.1$ 下為顯著；「**」表於 $\alpha = 0.05$ 下為顯著

經過比較模式 3 與模式 4，雖然模式 4 校估較多之變數但模式配適度 0.3229 略遜於模式 3 之 0.3268，在變數的顯著性上模式 4 也無較大之突破，此外校估之變數收入及年齡也與過往研究及預期符號不同，因此模式 4 並未能提升模式 3 之解釋能力。此外，多項羅吉特的機率模式假設為各替選方案之間為完全獨立，並無相關性，本研究為瞭解試乘民眾的運具選擇，是否會因為其他替選方案的加入或替除而改變，因此利用 Hausman test 的檢定模式，依序替除某一替選方案，以檢驗上述多項羅吉特模式是否具有 IIA 的特性。然 IIA 檢定結果，如表 7 所示，多數受限制模型的 IIA 假設並不成立，亦即替選方案間並非相互獨立的，故巢式羅吉特模式應相較於多項羅吉特模式來得適用，後續須進行巢式羅吉特模式之校估，以改善多項羅吉特模式 IIA 的缺點。

表 7 IIA 檢定結果

受剔除方案	chisq	P-value	檢定結果
步行	80.198	0.0000**	不成立
公共自行車	-4.257	1.0000	成立
自動駕駛小巴	19.513	0.0004**	不成立

註：「*」表於 $\alpha = 0.1$ 下為顯著；「**」表於 $\alpha = 0.05$ 下為顯著

5.2 巢式羅吉特模式

5.2.1 模式建構方式

本研究為改善多項羅吉特模式 IIA 的缺點，將以多項羅吉特模式為基礎，進行巢式羅吉特模式之校估。以下將根據不同運具屬性作為分巢之依據，分別假設民眾的運具選擇會依替選方案「是否需要步行」或其「驅動方式」作為優先考量，建構不同型態之巢式羅吉特模式，以尋求提升解釋能力的最佳模式，如圖 4、圖 5 所示。

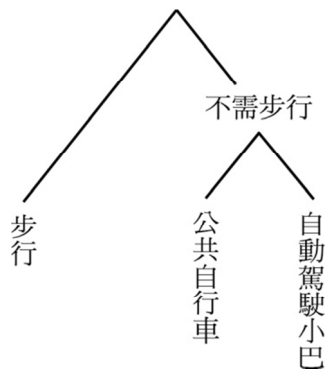


圖 4 巢式羅吉特模式架構圖 (依步行與否分巢)

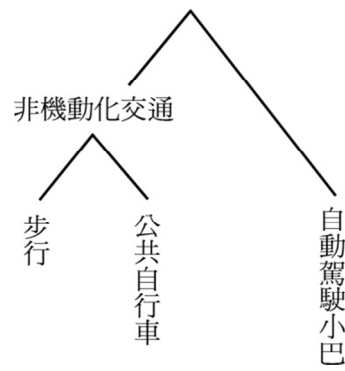


圖 5 巢式羅吉特模式架構圖 (依驅動方式分巢)

5.2.2 模式校估結果

巢式羅吉特模式將上述兩種分巢型態分別進行校估，並以多項羅吉特模式所加入的變數為基礎，分為三個階段校估，如表 8、表 9 所示。在此兩種分巢型態中，分別以模式 3 (PARK_2-3 與 PARK_3-3) 之概似比指標 0.3270、0.3273 最為良好，皆略高於多項羅吉特模式最佳之概似比指標 0.3268，顯示巢式羅吉特模式的解釋能力優於多項羅吉特模式，且兩者的包容值皆介於 0 與 1 之間，落於合理範圍之內，並且呈現顯著。

表 8 巢式羅吉特模式校估結果 (依步行與否分巢)

		模式 1 (PARK_2-1)		模式 2 (PARK_2-2)		模式 3 (PARK_2-3)	
		係數	T 值	係數	T 值	係數	T 值
方案特定常數	步行 (基準方案)	—	—	—	—	—	—
	公共自行車	-0.5419	-0.771	-0.5560	-0.781	-0.5767	-1.314
	自動駕駛小巴	1.6109	4.699**	1.6367	4.603**	3.8796	6.505**
共生變數	路程時間	-0.0904	-1.514	-0.0900	-1.507	-0.1127	-1.834*
	候車時間	-0.0488	-1.313	-0.0487	-1.309	-0.0521	-1.366
	旅行成本	-0.0557	-3.845**	-0.0559	-3.866**	-0.0551	-3.995**
方案特定變數	有隨車人員 (自駕小巴)	—	—	-0.0508	-0.283	—	—
社會經濟特性之特定變數	男性 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.4867	-2.506**
	學歷 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.5078	-3.930**
	學生 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.8495	-2.691**
	大眾運輸使用頻率 (自駕小巴)	—	—	—	—	0.1770	3.986**
包容值	不需步行	0.8691	2.579**	0.8762	2.570**	0.8689	3.985**
時間價值	路程時間	1.62 元/分		1.61 元/分		2.05 元/分	
	候車時間	0.88 元/分		0.87 元/分		0.95 元/分	
樣本數		550		550		550	
LL(0)		-604.2355		-604.2355		-604.2355	
LL(β)		-432.0998		-432.0597		-406.6315	
p^2		0.2849		0.2849		0.3270	

註：「*」表於 $\alpha = 0.1$ 下為顯著；「**」表於 $\alpha = 0.05$ 下為顯著

在此兩種分巢型態中的共生變數部份，參數校估結果皆為負值，符合先驗知識，與多項羅吉特模式之結果相符，唯「依驅動方式分巢」相較於多項羅吉特模式，在路程時間的顯著性稍加提升之外，其他共生變數之顯著性並無太大改變，路程時間和旅行成本仍與試乘民眾的運具選擇具有顯著相關，候車時間的顯著性則依舊不高。

而在方案特定變數和社會經濟特性之特定變數部份，經由模式 2 和模式 3 之結果顯示，兩者的參數校估結果皆與多項羅吉特模式的符號相符，顯著性也並無太大改變，自動駕駛小巴有隨車人員時依然不顯著，而男性、高學歷者、學生族群和越常使用大眾運輸者搭乘自動駕駛小巴的意願則相較於其他族群低。

至於時間價值部份，在此兩種分巢型態中，經由模式 3 之結果顯示，兩者的路程時間價值分別為每分鐘 2.05 和 2.38 元，候車時間價值則分別為每分鐘 0.95 和 1.04 元，路程時

間價值依然高於候車時間價值，與多項羅吉特模式之結果並無太大差異。

綜整上述兩種分巢型態的校估結果，儘管兩者的解釋能力皆優於多項羅吉特模式，但「依驅動方式分巢」的概似比指標較為良好，且在共生變數部份，路程時間的顯著性相較於「依步行與否分巢」和多項羅吉特模式佳，具有更好的解釋能力，因此在巢式羅吉特模式足以改善多項羅吉特模式 IIA 的缺點，並且提升模式解釋能力之情況下，本研究選用「依驅動方式分巢」之模式 3 (PARK_3-3) 作為最佳模式。

表 9 巢式羅吉特模式校估結果 (依驅動方式分巢)

		模式 1 (PARK_3-1)		模式 2 (PARK_3-2)		模式 3 (PARK_3-3)	
		係數	T 值	係數	T 值	係數	T 值
方案特定常數	步行 (基準方案)	—	—	—	—	—	—
	公共自行車	-0.3657	-0.869	-0.3622	-0.866	-0.3620	-0.984
	自動駕駛小巴	1.4709	3.936**	1.4966	3.917**	3.8570	6.883**
共生變數	路程時間	-0.1107	-2.171**	-0.1104	-2.169**	-0.1283	-2.480**
	候車時間	-0.0517	-1.393	-0.0514	-1.383	-0.0559	-1.433
	旅行成本	-0.0547	-4.008**	-0.0546	-3.996**	-0.0539	-3.809**
方案特定變數	有隨車人員 (自駕小巴)	—	—	-0.0593	-0.319	—	—
社會經濟特性之特定變數	男性 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.5159	-2.630**
	學歷 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.5313	-4.279**
	學生 (自駕小巴)	—	—	—	—	-0.9072	-2.959**
	大眾運輸使用頻率 (自駕小巴)	—	—	—	—	0.1825	4.023**
包容值	非機動化交通	0.6086	1.633	0.6053	1.633	0.5939	1.836*
時間價值	路程時間	2.02 元/分		2.02 元/分		2.38 元/分	
	候車時間	0.95 元/分		0.94 元/分		1.04 元/分	
樣本數		550		550		550	
LL(0)		-604.2355		-604.2355		-604.2355	
LL(β)		-431.9728		-431.9222		-406.4902	
p^2		0.2851		0.2852		0.3273	

註：「*」表於 $\alpha = 0.1$ 下為顯著；「**」表於 $\alpha = 0.05$ 下為顯著

5.3 情境模擬分析

根據上述巢式羅吉特模式校估結果 (PARK_3-3) 顯示，路程時間和旅行成本會影響民

眾於園區內的運具選擇行為，因此本研究藉由情境模擬分析，將影響民眾運具選擇行為的路程時間和旅行成本進行調整，以探討自動駕駛小巴服務水準變數改變後，對於民眾選擇機率之影響，並作為後續政策建議之依據。

5.3.1 自動駕駛小巴路程時間調整

由於自動駕駛小巴仍處於測試階段，因此在車速受到限制的情況下，遊客中心與借展廳單趟路程約為 7 分鐘，假設未來自動駕駛小巴速度提升後，將大幅縮減路程所需的時間，其市占率變化如圖 6 所示。

若自動駕駛小巴路程時間由 7 分鐘縮減為 3 分鐘，其市占率將成長 6.56%，且改搭者以原本選擇步行的民眾居多。

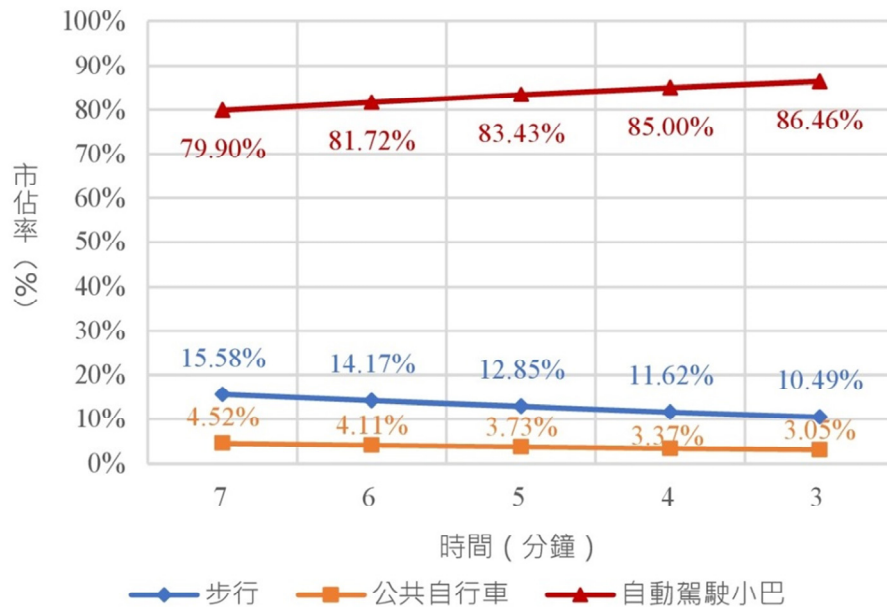


圖 6 自動駕駛小巴路程時間調整之市占率變化

5.3.2 自動駕駛小巴票價調整

現行自動駕駛小巴為開放所有民眾免費試乘，假設未來自動駕駛小巴由免費搭乘改為需要收取費用後，其市占率變化如圖 7 所示。

若自動駕駛小巴票價由免費搭乘提高至 30 元費用時，其市占率將大幅縮減，減少幅度 23.95%，但是市占率仍高達 65.69%，顯示價格調整雖然會減少自動駕駛小巴的市占率約 1/4，仍然是最受民眾歡迎的方案。

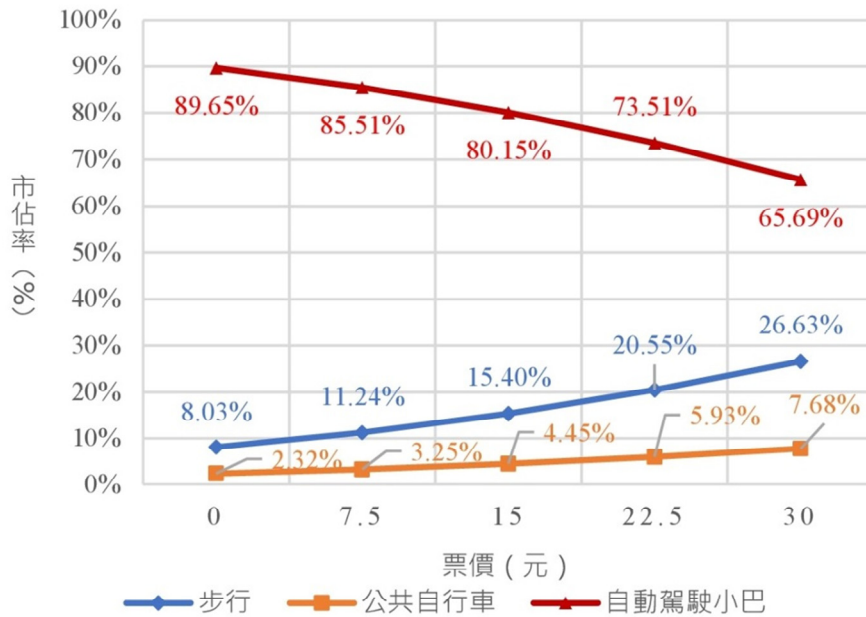


圖 7 自動駕駛小巴票價調整之市占率變化

六、結論與建議

本研究以自動駕駛小巴試乘民眾為研究對象，建構其於故宮南院園區內之運具選擇模型，並分析不同營運條件（如：路程時間、候車時間、旅行成本、自動駕駛小巴有無隨車人員等），對於試乘民眾選擇步行、公共自行車、自動駕駛小巴等三種運具之影響，以及不同社經和旅次特性的試乘民眾對於自動駕駛小巴之偏好，最終再以所建構之最佳羅吉特模式，模擬自動駕駛小巴服務水準變數改變後之市占率變化，本研究所獲得之結論與建議分述如下。

6.1 結論

本研究利用巢式羅吉特模式，將園區內的三種運具依據其驅動方式分集，所得之概似比指標為 0.3273 (PARK_3-3)，略高於多項羅吉特模式 (PARK_1-3，概似比指標為 0.3268)，且包容值介於合理範圍之內，並且呈現顯著，顯示其為本研究最佳之羅吉特模式。

該模式共生變數之校估結果顯示，路程時間和旅行成本對於試乘民眾的運具選擇皆有顯著負向之影響，亦即路程若是需要更多的時間和額外的開銷，選擇該運具之效用也會顯著降低，與先驗知識之結果相符，而候車時間則受到試乘民眾皆為觀光休閒之旅次目的，且多為願意等待候車的人影響，因此在較無時間壓力之下，自動駕駛小巴所需的候車時間，並不會影響試乘民眾的運具選擇。

在方案特定變數部份，自動駕駛小巴於試乘活動過程中鮮少有隨車人員的介入，導致試乘民眾對於未來車輛是否需要配置隨車人員較不敏感，因此自動駕駛小巴有無隨車人員並不會影響試乘民眾的搭乘意願。

至於不同社經特性的民眾也存在偏好上的差異，研究結果顯示，女性搭乘自動駕駛小巴的意願相較於男性高，此結果與過往 Salonen^[12]、Dong 等人^[13]、Alessandrini 等人^[30] 研究之結果有所差異，此結果可能與女性駕車能力較差^[36]、男性使用自用小客車比率高於女性^[37]、女性使用公共運輸的市占率高於男性^[38] 及自駕小巴相對自行車及步行之舒適度較高有關。此外，學生族群、高學歷搭乘自動駕駛小巴的意願則相較於其他族群低，然而經常使用大眾運輸者，則依然偏好自動駕駛小巴。

而本研究藉由故宮南院自動駕駛小巴試乘活動進行問卷調查，多數試乘民眾雖然是以好奇嘗鮮的心態前來搭乘，但仍有 6 至 7 成的試乘民眾未來願意選擇自動駕駛小巴作為園區內的接駁運具，顯示民眾的接受度相當高。若未來自動駕駛小巴提供故宮南院園區內的接駁服務，路程時間由現行 7 分鐘縮短為 3 分鐘，其市占率將成長 6.56%，至於旅行成本部份，若自動駕駛小巴的票價由免費搭乘提高至 30 元時，其市占率將下滑 23.95%，此結果與過往 Alessandrini 等人^[30] 研究發現自動駕駛小巴票價過高，將導致民眾搭乘意願顯著降低之結果相似，研究的結果可以提供未來相關單位規劃主要設施內的接駁服務之重要參考。

6.2 建議

經由本研究結果發現，女性搭乘自動駕駛小巴的意願相較於男性高，因此未來自動駕駛小巴提供故宮南院園區內的接駁服務，可以鎖定女性客群，並配合故宮南院所舉辦的夜間活動（如：試乘活動期間的藝術光雕秀），加開自動駕駛小巴班次，於園區內提供配有隨車人員的接駁服務，以保障女性遊客的人身安全。而自動駕駛小巴路程時間的縮短，將有助於市占率些微的成長，因此相較於自動駕駛小巴試乘期間的車速，其未來車速仍有提升的空間，以吸引更多民眾前來搭乘，至於在票價的部份，未來自動駕駛小巴票價過高，將導致其市占率大幅下滑，有鑑於此，自動駕駛小巴的票價不宜超過傳統公車的市場行情，建議應維持低費率，抑或結合院內展覽提供套票優惠，如此可以避免老弱婦孺及行動不便的遊客因票價過高而卻步，以保障其在園區內能享有便捷舒適的移動服務。

在研究建議部份，本研究參考 Alessandrini 等人^[30] 之研究結果提出主要設施內（如校園、科學園區等）的試乘民眾對於自動駕駛小巴的接受度相較於其他三種場域高，因此選擇同樣為園區接駁的故宮南院試乘活動進行實證研究，但研究受限於國內尚未有正式營運之自動駕駛小巴，故樣本的選取不能對無搭乘經驗之民眾進行問卷調查。因此本研究在調查樣本上為取得「具有自動駕駛小巴搭乘經驗之民眾」的調查樣本。由於受訪者皆搭乘過自動駕駛小巴，故對於自動駕駛小巴的偏好程度可能會比預期來的高。此外在故宮南院舉辦之試乘活動，試乘路線較短也僅針對園區內之短程接駁，可能對於預期的研究成果有

些許落差，因此本研究之自動駕駛小巴的偏好程度並無法代表廣泛的自動駕駛小巴的選擇行為與偏好，但對於新型運具的選擇行為與偏好程度仍然具有相當的參考價值。另試乘民眾多以好奇嘗鮮的心態前來搭乘，而民眾對於此類新型交通工具的搭乘意願，也可能受到嘗鮮期長短之影響，因此在運具市占率的預測上，可能會有所偏誤，故建議後續研究可以設計更多情境。例如偏鄉地區接駁服務納入班距與票價差異之情境設計，可將不具有搭乘經驗的民眾一同納入調查，以探討有無搭乘經驗對自動駕駛小巴偏好之差異，使研究探討的面向更為全面。至於在自動駕駛小巴安全性方面之探討，本研究受限於屬性變數數量上的限制，因此僅參考過往自動駕駛小巴需求偏好之相關研究，將車速對路程時間之影響（交通安全）和自動駕駛小巴有無隨車人員（人身安全）作為其安全性之影響變數，並未再考量其他的安全性影響因子，故建議後續研究可納入其他安全性影響因子（如：肇事紀錄、共乘人數等）作為屬性變數，以瞭解更多影響民眾安全感知的重要因素。

參考文獻

1. United Nations, *2018 Revision of World Urbanization Prospects*, New York, 2019.
2. 李永展，「智慧城市發展之芻議」，*經濟前瞻*，第 176 期，民國 107 年，頁 48-51。
3. 沈怡如，「智慧交通與車聯網發展趨勢」，*機械工業雜誌*，第 418 期，民國 107 年，頁 70-75。
4. 林信亨，「全球智慧城市發展現況與趨勢」，*電工通訊季刊*，2017 年第 2 季，民國 106 年，頁 42-49。
5. 陳學台、鍾惠存、李慧，「臺北市智慧運輸之發展」，*土木水利*，第 45 卷，第 2 期，民國 107 年，頁 55-59。
6. 林欽榮，「城市治理與智慧城市產業驅動臺北策略」，*國土及公共治理季刊*，第 5 卷，第 4 期，民國 106 年，頁 82-91。
7. The Boston Consulting Group, "Self-Driving Vehicles in an Urban Context", World Economic Forum, 2015.
8. 劉少山、唐潔、吳雙、李力耘，*無人駕駛真的來了：第一本從技術面深入的實作書*，初版，佳魁數位，臺北，民國 107 年。
9. Alessandrini, A. and Mercier-Handisyde, P., *CityMobil2 Final Publication: "Experience and Recommendations"*, European Commission, Brussels, 2016.
10. Schoettle, B. and Sivak, M., *Motorists' Preferences for Different Levels of Vehicle Automation*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 2015.
11. Portouli, E., Karaseitanidis, G., Lytrivis, P., Amditis, A., Raptis, O., and Karaberi, C., "Public Attitudes Towards Autonomous Mini Buses Operating in Real Conditions in a Hellenic City", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Vol. IV, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp.571-576.

12. Salonen, A. O., “Passenger's Subjective Traffic Safety, In-Vehicle Security and Emergency Management in the Driverless Shuttle Bus in Finland”, *Transport Policy*, Vol.61, 2018, pp.106-110.
13. Dong, X., DiScenna, M., and Guerra, E., “Transit User Perceptions of Driverless Buses”, *Transportation*, Vol. 46, 2019, pp.35-50.
14. Schoettle, B. and Sivak, M., *Public Opinion About Self-Driving Vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia*, The University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan, U.S.A., 2014.
15. 柴占祥、聶天心、Becker, J., **自動駕駛改變未來**，初版，機械工業出版社，北京，民國 106 年。
16. 7Starlake, 7Starlake_Press_kit, <https://7starlake.com/Market/EZ10/download>, 擷取日期：2023 年 3 月。
17. Madigan, R., Louw, T., Dziennus, M., Graindorge, T., Ortega, E., Graindorge, M., and Merat, N., “Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): An Adaptation of the UTAUT Model”, *Transportation Research Procedia*, Vol.14, 2016, pp.2217-2226.
18. 高雄市政府交通局，**106 年度高雄市自動駕駛電動巴士系統試運行計畫委託服務案期末報告書**，民國 107 年。
19. Nordhoff, S., de Winter, J., Madigan, R., Merat, N., van Arem, B., and Happee, R., “User Acceptance of Automated Shuttles in Berlin-Schöneberg: A Questionnaire Study”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.58, 2018, pp.843-854.
20. Mouratidis, K., and Serrano, V. C., “Autonomous Buses: Intentions to Use, Passenger Experiences, and Suggestions for Improvement”, *Transportation research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.76, 2021, pp.321-335.
21. Chen, C. F., “Factors Affecting the Decision to Use Autonomous Shuttle Services: Evidence from a Scooter-Dominant Urban Context”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol.67, 2019, pp.195-204.
22. Herrenkind, B., Brendel, A. B., Nastjuk, I., Greve, M., & Kolbe, L. M., “Investigating end-User Acceptance of Autonomous Electric Buses to Accelerate Diffusion”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.74, 2019, pp.255-276.
23. Roche-Cerasi, I., “Public Acceptance of Driverless Shuttles in Norway”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 66, 2019, pp.162-183.
24. 林露茵、金陽 (Lipson, H. and Kurman, M.原著)，**無人駕駛**，初版，文匯出版社，上海，民國 106 年。
25. Garcia, A. D., “Denver’s Amazon Bid Included this Futuristic, Driverless Shuttle”, <https://denverite.com/2017/11/14/denver-amazon-bid-driverless-shuttle/>，2017/11/14。
26. 巴士之訊，「西九文化區引入自動巴士」，<https://www.busfocus.info/public-transport/west-kowloon-cultural-district-to-introduce-autonomous-buses/>，2017/7/7。
27. Darwin Waterfront Corporation. & Northern Territory Government, “2017 Northern Territory Driverless Bus Trial Evaluation Summary”, <https://www.aph.gov.au/>

- DocumentStore.ashx?id=998e8062-8eb9-491f-a39f-a3c26c4e032d&subId=673056, 擷取日期：2023 年 3 月。
28. Noebel, A., “California’s First Driverless Bus Hits the Road in San Ramon”, <https://www.bishopranch.com/californias-first-driverless-bus-hits-the-road-in-san-ramon/>, 2018/3/6。
 29. Boersma, R., van Arem, B., & Rieck, F., “Application of Driverless Electric Automated Shuttles for Public Transport in Villages: The Case of Appelscha”, *World Electric Vehicle Journal*, Vol.9, No.1, 2018.(<https://doi.org/10.3390/wevj9010015>)
 30. Alessandrini, A., Site, P. D., Gatta, V., Marcucci, E., and Zhang, Q., “Investigating Users’ Attitudes Towards Conventional and Automated Buses in Twelve European Cities”, *International Journal of Transport Economics*, Vol.43, No.4, 2016, pp.413-436.
 31. Bos, P., “Self-Driving Buses to Improve Accessibility of Rural Areas in the Netherlands: Peplemover as a First- and Last Mile Solution”, Radboud University Nijmegen Master’s Thesis, 2017.
 32. Nesheli, M. M., Li, L., Palm, M., & Shalaby, A., “Driverless Shuttle Pilots: Lessons for Automated Transit Technology Deployment”, *Case Studies on Transport Policy*, Vol.9, No.2, 2021, pp.723-742.
 33. Guo, J., Susilo, Y., Antoniou, C., & Pernestål, A., “When and Why do People Choose Automated Buses Over Conventional Buses? Results of a Context-Dependent Stated Choice Experiment”, *Sustainable Cities and Society*, Vol.69, 2021. (<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102842>)
 34. McFadden, D., “Modeling the Choice of Residential Location,” *Transportation Research Record*, Vol. 672, 1978, pp.72-77.
 35. Hausman, J. and McFadden, D., “Specification Tests for the Multinomial Logit Model”, *Econometrica*, Vol.52, No.5, 1984, pp.1219-1240.
 36. 交通部統計處，從性別看交通運具使用情形，民國 104 年。
 37. 交通部統計處，自用小客車使用狀況調查報告，民國 108 年 10 月。
 38. 交通部統計處，109 年民眾日常使用運具狀況調查摘要分析，民國 110 年 4 月。
 39. 李恒綺、楊大輝、楊明德、巫妮蓉，「公共腳踏車使用者特性及偏好分析－以高雄市 C-Bike 為例」，*運輸計劃季刊*，第 45 卷，第 4 期，民國 105 年，頁 331-356。