

臺北市公共自行車與大眾運輸系統之關聯性：追蹤資料之實證分析*

王安民**

摘 要

[Extended abstract download](#)

公共自行車的是完善公共交通系統可及性的重要綠色運具，因此在世界各城市興起風潮而備受重視。本研究透過建立臺北市 319 個 YouBike1.0 站點共 12 期（2017 年 5 月至 2018 年 4 月）之追蹤資料，探討公共自行車與捷運、公車之關聯性。實證結果呈現以下重點。（1）與 YouBike 站點最近捷運站之「出站人次」以及「距離」，對於 YouBike 租借量分別具有顯著之正向與負向效果，因此判斷 YouBike 對於大眾捷運具有明顯之「互補」效果。（2）捷運站出站人次、捷運站距離兩變數之間具有顯著的「交互作用」，亦即，捷運站出站人次規模會對於捷運站有效影響 YouBike 使用量之空間範圍產生顯著效果。（3）四項與公車相關之解釋變數（公車站距離、300 公尺範圍內公車站數量、最近公車站路線數、距離與最近公車站路線數之交互作用項），皆無法達到顯著水準。進一步的分析發現，不同地區的土地使用與公共運輸現況，會改變不同公共運具之間的關聯

* 作者由衷感謝本刊編輯委員與兩位匿名審查人提出許多寶貴意見與指正，謹此致謝。惟本文若仍有疏漏之處，由作者自負。

** 國立臺北教育大學社會與區域發展學系副教授，本文通訊作者。E-mail：

amwang@tea.ntue.edu.tw

DOI：10.7086/TJAE.202412_(116).0004

收件日期：民國 113 年 5 月 3 日；修改日期：民國 113 年 8 月 6 日；

接受日期：民國 113 年 10 月 23 日。

性；在遠離捷運站的地區，YouBike 與公車呈現出較強的整合互補關係；鄰近捷運站之地區，YouBike 與公車應可能具有較強的競爭替代關係。（4）低租借量 Youbike 站點較不受氣溫影響，但受捷運出站人次與捷運站距離影響更為明顯；反之，高租借量站點則較不受捷運站距離之影響。高、低租借量組別呈現出明顯的對比樣態。

關鍵詞：公共自行車、捷運、公車、追蹤資料

JEL 分類代號：R15、R49

臺北市公共自行車與大眾運輸系統之關聯性：追蹤資料之實證分析

王安民

壹、導論

每日有數百萬人次通勤與行動於大臺北地區，此龐大之人流主要透過捷運與公車系統所編織的大眾運輸路網，來提供民眾安全、可靠與有效率的都市運輸服務系統；儘管如此，多數地區仍然並非能以捷運與公車來提供最初與最後到達之服務而提升其可及性 (accessibility)。近年，臺北微笑單車 YouBike（以下簡稱 YouBike）的引進即是為了增加更多地區的可及性，而公共自行車亦成為積極因應氣候變遷的綠色交通工具。臺北市自 2009 年開始設置公共自行車租賃系統，起初將 YouBike 定位為公共運具中的「第一哩」及「最後一哩」的低碳轉乘運具，經過多年營運，YouBike 已成為大台北都市系統中不可或缺的重要運具，並深具都市發展特色。

由於過去將 YouBike 定位為公共運具中的「第一哩」及「最後一哩」的轉乘運具（鍾智林與李舒媛，2018）¹，因此公共自行車傳統上被視為連結捷運與公車之附屬（轉乘）運具，亦即公共自行車對於捷運與公車在提供整體運輸服務上（旅次鏈）具有「互補性」；但隨著氣候變遷與綠色運輸觀念的興起，公共自行車似乎逐漸在都會區中發展出其獨特

¹ 鍾智林與李舒媛 (2018) 並未以統計模型探究公共自行車與大眾運輸系統之關係，而是直接將公共自行車視為捷運之接駁運具，分析 YouBike 租賃者轉乘捷運之特性。其結果顯示，YouBike 偶爾使用者之比例為 78%，且未轉乘捷運之旅次約為 80%；YouBike 經常與忠實使用者之比例分別為 17% 及 5%，其未轉乘捷運之旅次分別為 76% 與 73%。

的自行車文化，進而超越過去僅只為轉乘運具的既有範疇。基於晚近使用者行為與觀念的潛在轉變，以及國內甚少文獻對此議題進行實證之研究分析，因此本研究企圖透過蒐集 YouBike 站點以及相關地理與環境特徵之資料，分析公共自行車與大眾運輸系統（包含捷運與公車）之關聯性，除了探討運具間的「互補性」之外，特別是著重在是否公共自行車與捷運、公車之間已經明顯同時產生具替代效果之「競爭關係」，此為本文之主要研究目的。

儘管國內較少文獻針對公共自行車與大眾運輸系統（捷運及公車）之關聯性進行實證研究，但國外近年來已有部分文獻提出相關之實證研究結果。Kim and Cho (2022) 引用 Martin and Shaheen (2014) 之研究發現，說明公共自行車與大眾運輸系統（捷運及公車）的關係可以分為兩種類型：整合（互補）模式和替代（競爭）模式，且 Campbell and Brakewood (2017)、Griffin and Sener (2016)、Kim and Cho (2021) 之研究亦顯示，公共自行車往往會取代短程的公車旅次，並且連接到長程的捷運旅次。而 Kim and Cho (2022) 的研究亦呼應了上述的研究結果，其發現韓國首爾在 COVID-19 爆發之前，公車客流量增加會減少公共自行車使用量（負向影響），而捷運客流量則對公共自行車使用量產生正向影響。這些結果反應了公共自行車與公車之間的競爭關係，以及公共自行車與捷運之間的整合（互補）關係。

Kong et al. (2020)² 強調公共自行車與大眾運輸系統之間存在複雜的關聯性，但這種關聯性尚未得到大量與多樣化的量化模型進行足夠的分析與探討；其研究結果顯示，決定公共自行車與大眾運輸系統關係的主要因素並不是公共自行車旅次出發的地點，而是旅次發生的時間（工作日或週末以及一天中的什麼時段）以及使用者種類。而 Radzimski and Dzięcielski (2021)³ 的研究則強調雖然許多公共（共享）自行車旅次的研究模型都包括站點位置，但只有少數模型考慮了服務水準（地區之公共交通服務頻率）的異質性；

² Kong et al. (2020) 係使用行政區為樣本，以橫斷面的資料形式進行迴歸分析。

³ Radzimski and Dzięcielski (2021) 係使用自行車站點為樣本，以橫斷面的資料形式進行空間迴歸與地理加權迴歸模式之分析。

其研究發現中短途旅次的共享自行車更有可能與大眾運輸（公共交通頻率）產生「互補」關係，而在長途的共享自行車旅次則是更有可能和大眾運輸（公共交通頻率）產生「替代（競爭）」關係。

值得注意的是，Radzinski and Dzięcielski (2021) 的研究結果與 Kim and Cho (2021, 2022)、Campbell and Brakewood (2017)、Griffin and Sener (2016) 等文獻之結果並不一致，這也反映了 Kong et al. (2020) 所強調的：公共自行車與大眾運輸系統之間存在的複雜關係。本研究認為除了運具之間關聯的複雜性之外，不同的文獻使用了不同國家的資料（可能有地區文化與使用者特性之差異）、不同的資料型態（行政區資料或是自行車站點資料等）、不同的實證分析模型（一般迴歸模型、空間自迴歸 (spatial autoregressive models)、地理加權迴歸 (geographically weighted regression)、追蹤資料之向量自迴歸模型 (panel vector auto-regressive model)⁴等）。上述這些地區差異與研究方法差異的各種因素，都可能對實證結果產生了不同程度的影響，而使得公共自行車與大眾運輸系統之關聯性呈現出不同的樣貌。

本研究認為基於公共自行車與大眾運輸系統之間關聯的複雜性，以及不同國家研究者使用不同數據與研究設計所得到的實證結果，臺灣都市在進行公共自行車與大眾運輸系統整體規劃與檢討時，並不能完全根據國外之研究結果做為參考依據，而必須要有多方本土化的基礎實證成果，才能更清楚掌握國內使用者的行為特性。基於國內目前對於此議題仍未有豐富的計量經濟模型實證研究，本研究企圖建立臺北市 YouBike 微笑單車與相關自變數之追蹤資料 (panel data)，透過合宜之計量經濟模型進行實證估計，探究整體模型與各變數估計結果之合理性，並進一步推論臺北市公共自行車與大眾運輸系統間

⁴ Kim and Cho (2022) 使用 panel vector auto-regressive 模型進行研究，亦即，使用追蹤資料格式並進行向量自迴歸模型之估計，可量化內生變量之間的關係，以及可估計模型中隨時間變化的潛在相互作用。其使用 2018 年 1 月至 2020 年 12 月首爾的公共自行車、公車和捷運乘客量以及居住人口資料。將每個資料整合成「洞」（韓國的行政區）和每週追蹤資料之數據集。

之關聯性。

回顧國內外重要文獻有關於臺北市 YouBike 之相關研究，簡要綜整如下。儘管鍾智林、李舒媛 (2018) 的資料顯示，臺北市騎乘 YouBike 轉乘捷運之比例僅約為 20%-27%，但多數文獻仍支持（或直接假設）YouBike 具有銜接捷運系統完成第一哩或最後一哩之互補關聯性。Pai and Pai (2015) 係以問卷調查方式針對 YouBike 使用者進行使用行為分析，其結果發現 YouBike 租借站位置是影響使用者行為的最關鍵因素。Chen et al. (2023) 亦推論 YouBike 和捷運之間存在互補關係，而不是競爭關係，其推論理由為：大多數 YouBike 騎乘長度為可替代步行之距離 (0.7-2.7km)，而非替代搭乘捷運之距離，且大多數 YouBike 使用路線和停靠站都與使用捷運服務、學區或住宅區有關。呂千慈等人 (2018) 以 2015 年 1 月至 2016 年 3 月之 224 個 YouBike1.0 站點資料為基礎，以橫斷面資料並使用階層迴歸模型針對 YouBike 租借量進行實證估計，其結果顯示 YouBike 租借量與捷運站距離具顯著負向關係，但與捷運搭乘量之關係並不顯著（或結果不穩定），與公車站距離之關係亦不顯著。Yen et al. (2023) 將臺北市劃分為 400 多個分區，探討各分區之 YouBike 為捷運提供轉乘服務的供需平衡情況，以此強調 YouBike 確實為捷運系統提供第一哩和最後一哩之互補性服務功能，然而公車被排除在此研究之外。Fu et al. (2024) 透過臺北市 YouBike 騎乘時間之調查，利用存活模型 (survival model) 探討 YouBike 之使用模式，其結果顯示：(1)YouBike 除了具有延伸捷運服務的第一哩和最後一哩互補模式之外，在某些騎乘時間較長的情況下亦是具獨立性之主要模式；(2)此外，模擬結果顯示，公車服務頻率較高之地區，YouBike 之騎乘時間亦呈現增加之趨勢。

本研究與上述國內外重要文獻之差異點如下。第一，就研究方法而言，上述重要文獻尚未有以追蹤資料建立實證模型，而使用追蹤資料固定效果模型 (fixed effects model) 的優點在於可避免因遺漏不隨時間改變之重要變數（例如：建成環境、社會經濟條件等）而導致的內生性問題，因此非常適合面對在進行公共自行車之實證研究時，不可避免地會遭遇到各種建成環境、社會經濟條件為影響騎乘行為的重要解釋變數，卻無法完整將各變數建構於模型中之困境。第二，本研究藉由使用 Hausman-Taylor 模型，一方面可加入不隨時間變動之捷運與公車相關變數外，另一方面亦可透過進一步分析隨機效果模型

(random effects model) 中可能存在的內生變數，並藉由使用工具變數法解決隨機個體差異與內生變數具有相關性的問題，進而得到具一致性 (consistency) 之估計結果；否則內生變數在隨機效果模型與 pooled OLS 的估計結果，會與固定效果模型之估計結果產生相當大的差異，導致對於該變數影響效果的不當推論。第三，本研究亦透過捷運站距離差異、YouBike 租借量水準差異進行不同次樣本之實證估計，而得到更多具政策意涵之結果。值得強調的是，由於臺北市公車的智慧卡數據僅記錄上下車資訊，因此很難藉由智慧卡數據探討公車與其他運具間的關係 (Yen et al., 2023)，這使得過去文獻較少重視公車系統與 YouBike 間關係之議題；且臺北市公共自行車租賃站設置準則亦未考量到公車站點之位置，可能是缺乏基礎研究的參考依據。基於此，本研究企圖於實證模型中納入多種公車相關變數，提供不同面向之成果，以豐富 YouBike 與公車間關聯性之討論。

本文後續內容安排如下。第二部分為臺北市大眾運輸系統發展簡述；第三部分為實證模型建構與資料之說明；第四部分為實證結果之說明與分析；第五部分為結論與建議，將本研究之重要結果與相關研究進行比較說明，並提出相關政策意涵與後續研究建議。

貳、臺北市大眾運輸系統發展簡述

臺北市市區內之公共運輸架構係以捷運為骨幹，輔以廣泛的公車路網，再以公共自行車完成第一哩或最後一哩之服務，提供綿密及全面的大眾運輸服務系統。從歷史的進程觀之，公車是三者中最早發展之公共運具，自 1977 年臺北市開始實施聯營公車，近年來聯營公車路線發展已臻成熟穩定，路線數約 290 條，並約有 3200 處公車站，由 14 家業者提供運輸服務。

在聯營公車系統發展後約 20 年，臺北市第一條捷運路線「木柵線」於 1996 年正式通車，後續通車路線包括：淡水信義線（1997 年、2013 年）、松山新店線（1998 年、2014 年）、中和新蘆線（1998 年、2010 年、2012 年）及板南線（1999-2011 年）等 5 條主要路線，共 117 個營運車站，營運路網長度約 131.1 公里。捷運系統主要功能為紓解臺北市

發展成為大都會後日趨嚴重的交通壅塞問題，並藉以改善都市動線及機能。

臺北市捷運系統營運成功之關鍵因素之一，即是在捷運系統開通之前臺北市已先轉型為一個習於使用大眾運輸（公車）的城市，1985 年的公車使用率⁵已約達 70%，因此早期捷運旅次大多是由原來的公車旅次所轉移，這顯示捷運系統營運初期與公車系統呈現較強的競爭替代關係，之後隨著公車營運路線與策略逐步調整，捷運與公車系統逐漸演化為以相輔相成為主之互補關係。

在公車與捷運系統的成功之後，臺北市大眾運輸發展的重點轉變為如何滿足民眾「第一哩與最後一哩」的需求，因此公共自行車系統的引入填補了此一缺口。2009 年「YouBike 微笑單車」公共自行車系統於信義計畫區進行示範計劃營運，2011 年起持續推動全市公共自行車租賃系統建置及營運管理，並於 2017 年完成佈建 400 處 YouBike 1.0 租借站，每站平均服務半徑 200-500 公尺，服務範圍可涵蓋 90% 之臺北市平原面積⁶。2021 年 YouBike 2.0 正式於臺北市營運，原有 YouBike 1.0 系統的 400 處租借站於 2022 年 12 月起正式停用並更新為 YouBike 2.0 系統⁷。

根據 2016 年臺北市公共自行車租賃站設置準則，站點需先符合 6 項基本條件後，再確認是否符合設站距離標準，符合前述兩項設站條件者納入設站評估，並依以下原則評估設站優先順序：1.以土地使用屬性多元性進行評比，2.土地使用屬性評分同分者，再以下列原則決定優先性：(1) 設置區位有共識者優先設置，(2) 捷運站或重要公共運輸轉運站所在地優先設置，(3) 戶籍人口數較多者優先設置。因此許多 YouBike 租借站位於捷

⁵ 公共運輸使用率：係指所有旅次使用之運具次數中，公共運具次數所占之比率，可顯示公共運具之使用狀況。

⁶ 資料來源：臺北市議會第 13 屆第 1 次定期大會（交通委員會專案報告）。

⁷ 根據維基百科，截至 2024 年 8 月 27 日，共設有 1448 個站點，設點的行政區包括大安區（186 個）、臺大公館校區（58 個）、中山區（160 個）、內湖區（169 個）、信義區（108 個）、士林區（128 個）、松山區（88 個）、中正區（122 個）、北投區（96 個）、文山區（97 個）、大同區（62 個）、南港區（91 個）、萬華區（80 個）。

運站出口、旅遊景點、學校、公共機關、商辦大樓、百貨公司和醫院附近。且由上述設置準則可得知，YouBike 站點設置並未考量到公車站點之位置，再加入考量公共自行車與公車皆對捷運系統具有某種程度的互補/整合關係之情況下，使得進一步分析臺北市公共自行車與公車使用行為間究竟呈現何種關係，更具研究價值。

此外，根據 Yen et al. (2023) 之研究資料，臺北市 2020 年捷運、公車、YouBike 三種大眾交通模式之比例分別為：60.3%、37.2%、2.5%。該研究亦指出，公車的智慧卡數據僅記錄上下車資訊，因此很難釐清公車與 YouBike、捷運之間的關係，因此公車被排除在該研究之外，而將重點放在 YouBike 和捷運之間的轉移。這凸顯了由於臺灣交通資料特性的問題，YouBike 與公車之間的關聯性，仍是較難以探究的本土化議題。

參、實證模型與資料

一、模型設定

本研究採用追蹤資料進行分析，係將臺北市 2017 年 5 月至 2018 年 4 月之 319 個 YouBike1.0 站點資料依據不同月份 (1-12 月) 進行計算後再予以合併。近期國外文獻 Kim and Cho (2022) 採用追蹤資料進行公共自行車與大眾運輸系統之關聯性進行分析，國內則尚未有以追蹤資料進行公共自行車使用之相關研究。

本研究實證模型設定步驟如下。首先，以固定效果模型納入會隨時間改變數值之自變數（因此空間距離相關變數無法納入），估計對 YouBike 租借量之影響。接著在固定效果模型的基礎上，加入其他不隨時間改變數值之自變數（包含公車相關變數），以隨機效果模型估計之，隨後再針對隨機效果模型之合宜性進行檢定。若隨機效果模型無法通過合宜性檢定，再以 Hausman and Taylor (1981) 所提出之另一種隨機效果模型進行估計，以利建構完整納入各項捷運與公車相關變數之實證模型。此外，除了上述三種估計模式，本研究亦將 pooled OLS 之估計結果置於附錄 1，做為參照之用，並提供各解釋變

數之 VIF (variance inflation factor) 值，顯示並無多元共線性問題。各項實證估計模型依序說明如下。

(一)固定效果模型 (fixed effects model)

本研究之固定效果模型設定如下：

$$\begin{aligned} \log Ubike_out_{it} = & \beta_1^{FE} + \beta_2^{FE} \log mrtout_{it} + \beta_3^{FE} \log mrtout2_{it} + \beta_4^{FE} rainday_{it} \\ & + \beta_5^{FE} temperature_{it} + \beta_6^{FE} temperature2_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

式中， i 為站點代號， t 為月份代號， e_{it} 為站點之特徵誤差。模型表示，YouBike 之租借次數（ $\log Ubike_out$ ，已取對數轉換）除了受到站點差異的影響之外，亦受到最近捷運站出站總人次（ $\log mrtout$ ，已取對數轉換）、出站總人次二次項（ $\log mrtout2$ ，已取對數轉換）、下雨天數（ $rainday$ ）、氣溫（ $temperature$ ）、氣溫二次項（ $temperature2$ ）之影響。因此，固定效果模型可在控制天氣因素（下雨、氣溫）的影響下，分析 YouBike 使用量與捷運出站人次之關聯性。然而，固定效果模型無法進一步分析 YouBike 站點與捷運站之距離、YouBike 與公車相關之自變數、YouBike 站點鄰近土地使用現況（如：學校）等變數對公共自行車使用量之影響。

根據文獻，本研究將各自變數之預期影響效果假設之考量邏輯說明如下。(1) 最近捷運站出站總人次越多，YouBike 站點之租借次數越多，因此 YouBike 具有協助完成旅次最後一哩之功能；此外，本研究加入出站總人次二次項變數，係假設捷運站進出站人潮過多，可能導致騎乘環境較為擁擠或不便（人行道上行人優先，馬路車流大風險高），進而造成 YouBike 租借量隨著捷運人潮而產生增加量遞減的情形。(2) 當月下雨天數越多，會造成 YouBike 租借量下降。(3) 關於氣溫一次項與二次項的設定，係假設適中的氣溫能提升 YouBike 的租借量，但過低或過高的溫度則會降低 YouBike 租借量。

各變數資料來源與計算方式說明如下。YouBike 站點之租借次數（ $\log Ubike_out$ ）以及捷運站出站總人次（ $\log mrtout$ ）之原始資料，係由臺北市交通局所提供。下雨天數

(*rainday*) 與氣溫 (*temperature*) 之原始資料取自臺北市校園數位氣象網⁸，分別計算 YouBike 站點所在行政區之下雨天數與氣溫，氣溫之計算方式係將該行政區中各學校測站單一月份之日平均氣溫加總後，取其平均數，做為該行政區當月平均氣溫值。

(二)隨機效果模型 (random effects model)

隨機效果模型將式 (1) 中之 β_{1i} 拆解為固定的母體平均 $\overline{\beta_1^{RE}}$ ，以及隨機的站點差異 u_i ，並加入不隨時間變化之自變數（如下式 (2) 中，下標僅有 i 之變數）進行估計。本研究之隨機效果模型設定如下：

$$\begin{aligned} \log Ubike_out_{it} = & \overline{\beta_1^{RE}} + \beta_2^{RE} \log mrtout_{it} + \beta_3^{RE} \log mrtout2_{it} + \beta_4^{RE} \log mrtdis_i \\ & + \beta_5^{RE} mrt dx mrtout_{it} + \beta_5^{RE} \log busdis_i + \beta_6^{RE} busstop300_i \\ & + \beta_7^{RE} nearbusline_i + \beta_8^{RE} bus dx nearline_i + \beta_9^{RE} university500_i \\ & + \beta_{10}^{RE} highschool500_i + \beta_{11}^{RE} rainday_{it} + \beta_{12}^{RE} temperature_{it} \\ & + \beta_{13}^{RE} temperature2_{it} + (u_i + e_{it}) \end{aligned} \quad (2)$$

式 (2) 中隨機效果模型之解釋變數，除了包含固定效果模型中全部解釋變數之外，亦新增了：最近捷運站距離 (*logmrtdis*，已取對數轉換)、捷運站出站總人次與距離之交乘項 (*mrtoutxmrtdis*)、與最近公車站距離 (*logbusdis*，已取對數轉換)、YouBike 站點 300 公尺範圍內的公車站數量 (*busstop300*)、最近公車站路線數 (*nearbusline*)、公車站距離與公車站路線數交乘項 (*bus dx nearline*)、500 公尺範圍內是否有大學 (*university500*)、500 公尺範圍內是否有高中或國中 (*highschool500*) 等變數。

隨機效果模型各項新增自變數之預期影響效果假設之考量邏輯說明如下。(1) 最近捷

⁸ <http://weather.tp.edu.tw/school/weather.html>，目前該網站已停止運作。

運站距離越遠，YouBike 站點之租借次數越少，亦即距離會降低 YouBike 協助完成旅次最後一哩之功能性。(2) 捷運站出站總人次與距離之交乘項假設為負值，表示捷運站出站人次對 YouBike 租借量影響的正向效果，會隨著距離增加而下降；以及，YouBike 站點與捷運站距離對 YouBike 租借量影響的負向效果，會隨著捷運站出站人次規模上升而擴大距離的負向效果。(3) 四項公車相關變數的討論較為複雜，將於後續根據估計結果進行綜合說明與討論。此外，300 公尺範圍內公車站牌數、最近公車站路線數兩變數可對應 Fu et al. (2024)所使用之「公車服務頻率」變數。(4) 500 公尺範圍內有大學、高中或國中，YouBike 站點之租借次數會增加。

各新增變數資料來源與計算方式說明如下。YouBike、捷運、公車之點位資料係由交通部之「交通網路地理資訊倉儲系統」平台上下載圖層資料，利用 GIS 軟體將圖層疊圖後，再以路徑分析功能計算最近捷運站之步行距離（*logmrtdis*）、最近公車站之步行距離（*logbusdis*）、300 公尺步行範圍內的公車站數量（*busstop300*）。最近公車站路線數（*nearbusline*）則是以 google map 點選其大眾運輸選項，以人工方式計算各租借站之最近公車站路線數。學校之點位資料係以「臺北市資料大平臺」所提供之臺北市各級學校分布圖，計算 500 公尺步行範圍內是否有大學、高中或國中。

(三)隨機效果模型是否合宜之檢定

關於隨機效果模型合宜性之檢定，主要分為兩個部分。首先，個體之隨機異質性主要使用 Breusch 與 Pagan 建立之 Lagrange multiplier (LM) 檢定（Hill et al., 2018），檢定式 (2) 中 u_i 之變異數是否顯著異於 0。再者，隨機效果模型估計時通常可能伴隨著內生性的問題，亦即，個體的隨機差異效果 u_i 與模型中之解釋變數具有相關性，此問題會造成隨機效果模型的估計式不具一致性（即使在大樣本下仍然存在偏誤）。Hausman (1978) 檢定可以針對上述內生性問題檢驗隨機效果模型之估計式是否可靠，若無法通過 Hausman 檢定，採用固定效果模型之估計結果會是較為安全的選擇。

(四) Hausman-Taylor 模型

值得強調的是，執行 Hausman 檢定不是為了區分「全部」或「沒有」解釋變數與隨機個體效果 u_i 具有相關性（Baltagi, 2023），許多實證研究面臨的情況是「部分」解釋變數與 u_i 具有相關性，但是一旦造成無法通過 Hausman 檢定，則無法採用隨機效果模型之估計結果，也使得無法將不隨時間變化之重要解釋變數放入模型中。為此，Hausman and Taylor (1981) 提出了另一種隨機效果模型（Hausman-Taylor 模型），其允許部分解釋變數與隨機個體效果相關，並且可以放入在固定效果模型中無法被估計的不隨時間變化之解釋變數（Baltagi, 2023）。Hausman-Taylor 模型所使用之應變數與各項解釋變數，與式 (2) 之隨機效果模型相同。

Hausman-Taylor 模型是一種應用於隨機效果模型的工具變數估計方法（Hill et al., 2018），其基本模型如下所示：

$$y_{it} = \beta_1 + \mathbf{X}_{it,exog} \beta_2 + \mathbf{X}_{it,endog} \beta_3 + \mathbf{Z}_{i,exog} \beta_4 + \mathbf{Z}_{i,endog} \beta_5 + u_i + e_{it}$$

將解釋變數分為四個類別：

$\mathbf{X}_{it,exog}$ ：隨時間與個體變化之外生變數， $\mathbf{X}_{it,endog}$ ：隨時間與個體變化之內生變數， $\mathbf{Z}_{i,exog}$ ：不隨時間變化之外生變數， $\mathbf{Z}_{i,endog}$ ：不隨時間變化之內生變數。

Hausman and Taylor (1981) 以 $\tilde{\mathbf{X}}_{it,endog}$ 做為 $\mathbf{X}_{it,endog}$ 之工具變數，以 $\tilde{\mathbf{X}}_{it,exog}$ 做為 $\mathbf{X}_{it,exog}$ 之工具變數，以 $\bar{\mathbf{X}}_{i,exog}$ 做為 $\mathbf{Z}_{i,exog}$ 之工具變數， $\mathbf{Z}_{i,exog}$ 可被視作他們自己的工具變數。將個別變數以 w 表示，可將上述中各變數之定義如下：

$$\tilde{w}_{it} = w_{it} - \bar{w}_i, \quad \bar{w}_i = \frac{1}{T_i} \sum_{t=1}^{T_i=12} w_{it}$$

透過工具變數之估計結果，建立一個一般化最小平方法（generalized least squares,

GLS) 之估計模型，如下所示：

$$y_{it}^* = \beta_1 + \mathbf{X}_{it,exog}^* \beta_2 + \mathbf{X}_{it,endog}^* \beta_3 + \mathbf{Z}_{i,exog}^* \beta_4 + \mathbf{Z}_{i,endog}^* \beta_5 + u_i^* + e_{it}^* \quad (3)$$

將個別變數以 w 表示，式 (3) 中各變數之定義如下所示：

$$w_{it}^* = w_{it} - \theta_i \bar{w}_i, \quad \theta_i = 1 - \left(\frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_e^2 + T_i \hat{\sigma}_u^2} \right)^{1/2}$$

式中， $\hat{\sigma}_e^2 = \text{RSS}/(N - n)$ ，RSS 為固定效果模型之殘差平方和， N 為追蹤資料之全部樣本數， n 為橫斷面個體數。 $\hat{\sigma}_u^2$ 則是需要透過一個較為複雜的工具變數迴歸過程予以估計，執行細節可參考 Wooldridge (2010)。

在統計軟體的實際操作中，需指定模型中哪些變數為內生變數，以及需注意隨時間變化之外生變數 ($\mathbf{X}_{it,exog}$) 數量，必須至少相等於不隨時間變化之內生變數 ($\mathbf{Z}_{i,endog}$) 數量。關於內生變數的選取，本研究係將式 (2) 隨機效果模型中之隨機個體差異 u_i 計算並儲存為變數後，將其與所有解釋變數進行 Pearson 積差相關檢定。檢定結果顯示 u_i 與 $\log mrtout$ 、 $\log mrtout2$ 以及 $rainday$ 三個解釋變數具有顯著線性相關，因此將上述三變數設定為內生變數後進行 Hausman-Taylor 模型之估計。

進一步討論捷運站出站人次 ($\log mrtout$) 以及下雨天數 ($rainday$) 為內生變數之合理性。本研究認為捷運站出站人次係土地使用強度的關鍵指標之一，出站人次多代表該地區可能有高人口居住密度、高強度之商業或遊憩觀光活動（如：商圈），或是高密集程度之辦公大樓等，因此該地區亦有高旅次產生並且使用 YouBike 做為第一哩之功能，而非單純僅為銜接捷運服務之最後一哩功能。基於此，土地使用強度同時影響捷運出站人次以及 YouBike 租借量，使得捷運出站人次成為內生變數。同理，土地使用强度高之地區，其產生使用 YouBike 做為第一哩之旅次量會受到下雨天之影響而顯著下降，因此下雨天與土地使用強度之旅次產生差異具有明顯相關性，使得下雨天數成為內生變數。

二、研究資料

本研究採用 2017 年 5 月至 2018 年 4 月（共 12 個月）之 YouBike1.0 系統租借資料，此資料係由臺北市交通局所提供。由於採用一整年的週期性資料，本研究可較完整掌握租借資料因時間差異而產生的動態效果。此外，由於 YouBike 站點會隨時間逐漸擴增，本研究採用 2017 年 5 月前已完成建置之 319 個 YouBike1.0 站點（橫斷面資料），進而將 319 站點每一天之租借次數建構成每一月份 319 站點之合計租借次數（依變數），以及捷運站出站人次、公車路線數等與本研究相關之資料（自變數），整合成一份具有 $319 \times 12 = 3828$ 樣本數之追蹤資料（panel data），其概念等同於將 319 站點進行 12 次重複測量之模型。各項變數之定義與基礎統計量整理於表 1。

採用 2017 年 5 月至 2018 年 4 月之 YouBike1.0 租借資料係考量了以下幾點因素。第一，由表 2 可知，YouBike 系統於 2012 年 11 月 30 日正式啟用後，歷經約兩年半的成熟營運後，於 2015 年 4 月 1 日取消騎乘前 30 分鐘「免費」之優惠，而導致使用人次大幅下降⁹；後來民眾逐漸習慣後，2017 年 5 月之租用次數開始超過取消補貼前租用次數。第二，2020 年 1 月開始新加入 YouBike2.0 系統之試營運，並於 2021 年初開始大量設置 2.0 車柱；由於 1.0 與 2.0 車柱無法相互替代且站點並不一致，民眾會在借還車的方便性考量下，改變其租借行為。第三，很重要的是 2020 年 1 月 21 日發生臺灣首例 COVID-19 確診個案，臺灣開始進入 COVID-19 之防疫階段，由於民眾對於防疫的重視，會改變其對於公共運具的使用行為（Kim and Cho, 2022）。綜上所述可以發現，2017 年 5 月至 2019 年 12 月為 YouBike1.0 系統的營運穩定與成熟期，且未遭受其他重要事件影響而干擾民眾對於公共自行車的使用行為，因此本研究採用 2017 年 5 月至 2018 年 4 月之 YouBike1.0 租借資料，分析臺北市公共自行車與大眾運輸系統（捷運及公車）之關聯性，具有一定程度之合理性。

⁹ 黃俊良（2016）研究發現：取消使用前 30 分鐘免費措施後，假日旅次量減少 43%，平日則減少 14%，總平均減少 26%。

表 1 變數一覽表與基礎統計量

變數名稱	定 義	平均數	標準差	最小值	最大值
<i>Ubike_out</i>	YouBike 站點單月總租借次數（次）。	5,262.51	4,636.81	1.00	38,414.00
<i>logUbike_out</i>	將 <i>Ubike_out</i> 取對數轉換。	8.21	0.98	0.00	10.56
<i>mrtdis</i>	YouBike 站點與最近捷運站之距離（公尺）。	676.61	659.19	4.10	4520.00
<i>logmrtdis</i>	將 <i>mrtdis</i> 取對數轉換。	5.86	1.42	1.41	8.42
<i>mrtout</i>	YouBike 站點最近捷運站單月出站總人次（千人）。	686,814.6	508,777.1	51,120.0	5,403,578.0
<i>logmrtout</i>	將 <i>mrtout</i> 取對數轉換。	13.22	0.69	10.84	15.50
<i>logmrtout2</i>	將 <i>logmrtout</i> 取平方。	175.31	17.991	117.55	240.33
<i>mrtoutxmrtdis</i>	<i>logmrtout</i> × <i>logmrtdis</i>	--	--	--	--
<i>busdis</i>	YouBike 站點與最近公車站之距離（公尺）。	107.00	73.31	4.00	475.40
<i>logbusdis</i>	將 <i>Busdis</i> 取對數轉換。	4.43	0.75	1.39	6.16
<i>busstop300</i>	YouBike 站點 300 公尺範圍內公車站總數。	4.66	2.40	0.00	13.00
<i>nearbusline</i>	YouBike 站點最近公車站公車路線數（300 公尺範圍內）。	9.84	8.34	0.00	42.00
<i>busdxnearline</i>	<i>logbusdis</i> × <i>nearbusline</i>	--	--	--	--
<i>university500</i>	YouBike 站點 500 公尺內是否有大學。（虛擬變數。有：1，無：0）	0.08	0.28	0.00	1.00
<i>highschool500</i>	YouBike 站點 500 公尺內是否有高中或國中。（虛擬變數。有：1，無：0）	0.21	0.41	0.00	1.00
<i>rainday</i>	YouBike 站點所屬行政區當月下雨總天數。	12.89	4.31	5.00	22.00
<i>temperature</i>	YouBike1.0 站點所屬行政區當月平均氣溫（℃）。	23.52	5.23	14.45	31.41
<i>temperature2</i>	將 <i>temperature</i> 取平方。	580.69	242.64	208.77	986.59

表 2 臺北市 YouBike 系統設置與 COVID-19 疫情重要相關事件彙整表

時 間	YouBike 與 COVID-19 疫情重要相關事件
2012 年 11 月 30 日	YouBike1.0 租賃系統正式啓用
2015 年 4 月 1 日	取消騎乘前 30 分鐘由臺北市政府全額補貼，改爲收費新臺幣 5 元。該月份使用人次立即大幅下降 20%
2017 年 5 月	回復並超過取消補貼前租用次數
2020 年 1 月 15 日	YouBike2.0 系統於捷運公館站及國立臺灣大學周邊區域試辦三個月
2020 年 1 月 21 日	發生臺灣首例 COVID-19 確診個案
2021 年初	開始大量設置 2.0 車柱，並逐漸取代 1.0 系統（過渡期間 1.0 不會立即撤下，而是待站點中 2.0 的使用量足以取代 1.0 後才進行撤收）
2021 年 5 月 8 日	YouBike2.0 系統正式在臺北市營運
2022 年 12 月 3 日	YouBike1.0 系統退場，全面使用 YouBike2.0 系統
2023 年 3 月 20 日	衛生福利部疾病管制署停止統計 COVID-19 確診病例

資料來源：整理自維基百科「臺北市公共自行車租賃系統」、「嚴重特殊傳染性肺炎臺灣疫情」。

肆、實證結果

一、固定效果模型

固定效果模型（式(1)）之估計結果顯示於下表 3（模型 1、2），模型 1 係先將模型 2 中的二次項變數排除，以先行確認一次項變數之主要效應顯著程度。此外，爲了避免多元共線性（multicollinearity）的問題對模型估計結果產生重大影響，本研究對於模型中涉及到二次項與交互項的部分，皆使用了置中（centering，或稱爲中心化、平減）的變數轉換，例如定義兩個變數的乘積作爲交互項之前先分別減去各自的平均數，因此置中變數（centered variable）的平均數近似等於 0。將變數置中轉換之說明可參考 Hamilton (2016)、Mehmetoglu and Jakobsen (2017)、邱皓政（2017）。此外，當交互效果的兩項變數皆爲連續變數時，將變數置中轉換並使用於交互項的迴歸模型，不僅能避免共線性的問題，其係數值也更容易解釋，例如：主效應之係數可被解釋爲「另一變數（調節變數）等於其平均數時的影響效果」。

模型 2 結果顯示在控制下雨天數以及氣溫的影響因素下，YouBike 站點最近捷運站出站總人次（*logmrtout*）對於 YouBike 租借量有非常顯著的正向效果，但其二次項變數（*logmrtout2*）並不顯著，此二次項之估計結果可解釋爲：YouBike 租借量並不會因爲捷運站出站人潮過多，而代表捷運站周邊土地使用强度高，以及導致騎乘環境較爲擁擠或不便（人行道上行人優先，馬路車流大風險高），進而造成 YouBike 租借量隨著捷運人潮而產生增加量遞減的情形發生。簡言之，很明顯的，捷運站出站人次越多，YouBike 租借量亦會跟著持續穩定增加。此外，根據模型設定與估計參數之結果可得知，在控制下雨及氣溫條件不變下，與 YouBike 站點最近捷運站出站總人次每增加 1%，YouBike 租借量會隨之增加約 0.594%，因此呈現出顯著的「互補關係」。

表 3 固定效果與隨機效果模型實證結果（應變數 *logUbike_out*）

	固定效果模型		隨機效果模型	
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
<i>logmrtout</i>	0.993*** (0.092)	0.721*** (0.095)	0.538*** (0.055)	0.427*** (0.053)
<i>logmrtout2</i>	--	0.057 (0.070)	--	-0.045 (0.033)
<i>logmrtdis</i>	--	--	-0.300*** (0.026)	-0.316*** (0.026)
<i>mrtoutxmrt dis</i>	--	--	--	-0.106*** (0.025)
<i>logbusdis</i>	--	--	0.055 (0.055)	0.062 (0.051)
<i>busstop300</i>	--	--	0.008 (0.017)	0.011 (0.017)
<i>nearbusline</i>	--	--	-0.003 (0.004)	-0.005 (0.004)
<i>busdxnearline</i>	--	--	--	-0.002 (0.006)
<i>university500</i>	--	--	0.637*** (0.126)	0.636*** (0.127)
<i>highschool500</i>	--	--	0.106 (0.090)	0.095 (0.087)
<i>rainday</i>	-0.017*** (0.002)	-0.023*** (0.002)	-0.016*** (0.002)	-0.023*** (0.002)
<i>temperature</i>	0.020*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.019*** (0.004)	0.014*** (0.004)
<i>temperature2</i>	--	-0.004*** (0.0003)	--	-0.004*** (0.0003)
截距項	8.424*** (0.024)	8.591*** (0.043)	8.312*** (0.085)	8.527*** (0.086)
個體數(站點數)	319	319	319	319
總樣本數	3826	3826	3826	3826
Prob. > χ^2 (test all $\beta_i = 0$)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Prob. > χ^2 (robust Hausman test)	--	--	<0.0001	0.0002

註 1：***表示在 99% 信心水準達到顯著；**表示在 95% 信心水準達到顯著；*表示在 90% 信心水準達到顯著。

註 2：固定效果模型之係數欄中括號內數值為標準誤。隨機效果模型之係數欄中括號內數值為強韌標準誤；文獻中多建議應考量個體特性而造成的異質變異問題，因此本研究隨機效果模型亦採用強韌(robust)估計法針對個體的叢集 (cluster) 特性進行標準誤之修正。

此外，根據表 3 之結果，下雨天數 (*rainday*) 每增加一天，YouBike 租借量會平均減少約 0.022%。而隨著氣溫 (*logtemperature*) 上升，YouBike 使用量亦會跟著提高，但是由於具有二次項 (*logtemperature2*) 的顯著負向效果，表示一旦氣溫過高時，YouBike 使用量會不增反減；此結果反映了一個合理的情況，當氣溫太低或太高時，民眾就會選擇降低使用公共自行車之可能性。再者，由於個體截距項是否具有差異之 *F* 檢定達顯著，顯示 YouBike 站點具有顯著之差異效果（不同之截距項），因此使用固定效果模型進行估計具有合理性。

二、隨機效果模型

相較於固定效果模型，在隨機效果模型中（式(2)）加入了以下多項新的解釋變數（因不隨時間變化而無法放入固定效果模型中）。在 (1) 大眾捷運部分，加入了 YouBike 站點與最近捷運站之距離 (*logmrtdis*)，以及最近捷運站出站總人次、捷運站距離兩變數之交互項 (*mrtoutxmrt dis*)。在 (2) 公車部分，加入了 YouBike 站點與最近公車站之距離 (*logbusdis*)、YouBike 站點周邊 300 公尺範圍內公車站數 (*busstop300*)、最近公車站之公車路線數 (*nearbusline*)、以及最近公車站之距離與公車路線數的交互項 (*busdxnearline*)。在 (3) 土地使用部分，加入了 YouBike 站點 500 公尺範圍內是否有大學 (*university500*)、500 公尺範圍內是否有高中或國中 (*highschool500*) 等兩項虛擬變數。

隨機效果模型之估計結果顯示於表 3（模型 3、4），模型 3 係先將模型 4 中的二次項與交互項變數排除，以先行確認一次項變數之主要效應顯著程度。模型 4 之結果顯示：(1) 在大眾捷運部分，除了得到與固定效果模型同質的結果之外，亦發現 YouBike 站點與最近捷運站之距離具有顯著的負向效果，亦即，距離捷運站越遠 YouBike 使用量亦隨之下降，這些結果皆符合理論預期；並且，透過交互作用項（*mrtoutxmrtdis*）的顯著影響效果可發現，捷運站出站人次對 YouBike 使用量影響的正向效果，會隨著距離增加而下降；以及，YouBike 站點與捷運站距離對 YouBike 使用量影響的負向效果，會隨著捷運站出站人次規模上升而擴大距離的負向效果。(2) 在公車部分，本研究所建立與設計的四個解釋變數，全部都未能產生顯著之影響效果，顯示仍然無法進一步清楚釐清公車系統與公共自行車之間的關聯性。(3) 在土地使用部分，YouBike 站點距離 500 公尺範圍內若有大學，對於 YouBike 使用量有顯著正向影響，但是若有高中或國中，其影響效果則未顯著。(4) 在天氣條件的部分，得到與固定效果模型同質的結果。

然而必須注意到的是，在表 3 中亦顯示隨機效果模型並未通過 Hausman 檢定（robust Hausman test）¹⁰，亦即，YouBike 站點的隨機差異效果 u_i 與模型中部分的解釋變數具有相關性，此問題會造成隨機效果模型的估計式不具一致性，必須進一步修正隨機效果模型以得到更為可靠之估計結果。

¹⁰ 由於使用傳統 Hausman test 會產生卡方檢定值為負數之問題，以及在進行隨機效果模型之估計時，採用強韌 (robust) 估計法針對個體的叢集 (cluster) 特性進行標準誤修正，因此本研究使用 Wooldridge (2002) 所建議之 robust Hausman test 進行檢定。

三、Hausman-Taylor 模型

由於 Hausman-Taylor 模型可以允許部分解釋變數與隨機個體效果相關，在模型執行上要先設定哪些解釋變數是與隨機個體效果相關之變數。因此本研究將上述式 (2) 隨機效果模型中之隨機個體效果 u_i 計算與儲存為變數後，與所有解釋變數進行 Pearson 的積差相關檢定。檢定結果顯示 u_i 與 $\log mrtout$ 、 $\log mrtout2$ 以及 $rainday$ 三個解釋變數具有顯著線性相關，因此將上述三變數設定為內生變數後進行 Hausman-Taylor 模型之估計。

Hausman-Taylor 模型之估計結果顯示於表 4（模型 5、6），模型 5 係先將模型 6 中的二次項變數排除，以先行確認一次項變數之主要效應顯著程度。模型 6 之估計結果顯示，Hausman-Taylor 模型得到與隨機效果模型（模型 4）同質的結果（達到顯著程度的變數相同，顯著程度亦相當一致），但估計係數值有部分差異。由於文獻上多認為利用固定效果模型去估計追蹤料模型是很安全的（不偏），因此本文接下來主要目的係比較隨機效果模型與 Hausman-Taylor 模型，何者的估計係數值更為接近固定效果模型之結果。

若隨機差異效果 u_i 與模型中之解釋變數不具相關性，在大樣本時，固定效果與隨機效果模型之估計值應該近似相等（Hill et al., 2018）。而根據表 5 之估計係數值對照，Hausman-Taylor 模型之估計係數值更為接近固定效果模型之結果。在最近捷運站出站人次（ $\log mrtout$ ）方面，是與隨機效果模型係數值差異最大的變數，也是本研究最主要的研究變數之一；固定效果與 Hausman-Taylor 模型之估計係數約為 0.72~0.73，但隨機效果模型之估計係數約為 0.43。再者，天氣相關變數之估計結果在三種模型中非常接近；下雨天數在三個模型中的估計係數相當一致，皆約為 -0.023；氣溫變數方面，固定效果與 Hausman-Taylor 模型之估計係數皆約為 0.015，而隨機效果模型之估計係數約為 0.014；氣溫變數二次項，三個模型中的估計係數則相當一致，皆約為 -0.004。整體而言，Hausman-Taylor 模型之估計結果與固定效果模型趨於一致，並且具有可加入不隨時間變化之變數的優點。

表 4 Hausman-Taylor 模型實證結果（應變數 *logUbike_out*）

	模型 5		模型 6	
	係數	p 值	係數	p 值
<i>logmrtout</i>	0.973*** (0.121)	< 0.001	0.730*** (0.104)	< 0.001
<i>logmrtout2</i>	--	--	0.052 (0.082)	0.524
<i>logmrtdis</i>	-0.308*** (0.030)	< 0.001	-0.317*** (0.028)	< 0.001
<i>mrtoutxmrtdis</i>	--	--	-0.096*** (0.029)	0.001
<i>logbusdis</i>	-0.006 (0.067)	0.931	0.023 (0.058)	0.689
<i>busstop300</i>	-0.006 (0.020)	0.762	0.003 (0.018)	0.890
<i>nearbusline</i>	-0.001 (0.005)	0.799	-0.004 (0.005)	0.376
<i>busdxnearline</i>	--	--	-0.003 (0.007)	0.686
<i>university500</i>	0.604*** (0.145)	< 0.001	0.626*** (0.135)	< 0.001
<i>highschool500</i>	0.160 (0.103)	0.119	0.150 (0.091)	0.100
<i>rainday</i>	-0.017*** (0.002)	< 0.001	-0.023*** (0.002)	< 0.001
<i>temperature</i>	0.020*** (0.004)	< 0.001	0.015*** (0.004)	< 0.001
<i>temperature2</i>	--	--	-0.004*** (0.0004)	< 0.001
截距項	8.368*** (0.104)	< 0.001	8.498*** (0.101)	< 0.001
	Prob.> $\chi^2(9)$ (test all $\beta_i = 0$)	< 0.0001	Prob.> $\chi^2(13)$ (test all $\beta_i = 0$)	< 0.0001
個體數/站點數	319		319	
總樣本數	3826		3826	

註：***表示在 99% 信心水準達到顯著；**表示在 95% 信心水準達到顯著；*表示在 90% 信心水準達到顯著。係數欄中括號內數值為針對個體的叢集特性進行修正後之強韌標準誤。

表 5 三種模型（模型 2、4、6）之共同解釋變數估計係數值對照

	模型 2	模型 4	模型 6
	固定效果	隨機效果	Hausman-Taylor
<i>logmrtout</i>	0.721***	0.427***	0.730***
<i>logmrtout2</i>	0.057	-0.045	0.052
<i>rainday</i>	-0.023***	-0.023***	-0.023***
<i>temperature</i>	0.015***	0.014***	0.015***
<i>temperature2</i>	-0.004***	-0.004***	-0.004***
截距項	8.591***	8.527***	8.498***

註：***表示在 99% 信心水準達到顯著

根據表 4（模型 6）之 Hausman-Taylor 模型實證結果，當 *logmrtdis*（捷運站距離取對數）等於自身平均數時，捷運站出站人次每增加 1%，預測的 YouBike 租借量會隨之增加 0.73%。當 *logmrtout*（捷運站出站人次取對數）等於自身平均數時，YouBike 站點與捷運站距離每增加 1%，預測的 YouBike 租借量會隨之減少 0.317%。再者，值得注意的是，捷運站出站人次、YouBike 站點與捷運站距離兩變數之間具有顯著的交互作用，表示：(1) 捷運站出站人次增加，YouBike 租借量會隨之增加，但在與捷運站較遠的 YouBike 站點，其租借量受出站人次增加影響成長較少；(2) 捷運站距離增加，YouBike 租借量會隨之減少，而在捷運站出站人次較多的 YouBike 站點，其租借量受距離增加影響減少更多。根據估計係數計算，當 *logmrtout* 等於平均數時（表示當月捷運出站人次約為 552,662 人次），YouBike 站點與捷運站距離約 350 公尺時，捷運出站人次對 YouBike 租借量影響效果趨近於 0。另一方面，當 *logmrtdis* 等於平均數時（表示 YouBike 站點與捷運站距離約為 350 公尺），捷運站當月出站人次需高於 552,662 人次，對該距離之 YouBike 站點租借量才具有實質影響效果。

再者，本研究設計四項與公車相關之解釋變數，皆無法達到顯著水準，表示實證結果沒有提供變數之間相關性的合理證據。目前僅能單純以估計係數之正負號所代表之意

義進行簡單說明，更多關於 YouBike 與公車關聯性之分析，將於下一小節中提供。(1) 與最近公車站距離 (*logbusdis*) 之係數為正值，表示 YouBike 站點與公車站距離越遠，YouBike 使用量傾向越高，顯示公車與 YouBike 可能存在「競爭」關係；(2) 而 YouBike 站點 300 公尺範圍內的公車站數量 (*busstop300*) 之係數為正值，表示公車站數量越多，YouBike 使用量傾向越高，顯示公車與 YouBike 可能「互補」與「競爭」關係同時存在；(3) 與 YouBike 站點最近公車站路線數 (*nearbusline*) 之係數為負值，表示最近公車站路線數越多，YouBike 使用量傾向越低，顯示公車與 YouBike 可能存在「競爭」關係。然而必須再次提醒，這些可能存在的關聯性皆未達顯著水準。

最後，在土地使用部分，YouBike 站點距離 500 公尺範圍內若有大學，對於 YouBike 使用量有顯著正向影響，大約平均可增加 0.6% 的 YouBike 租借量。但是若有高中或國中，影響效果則未達顯著。

四、公車相關變數之進一步分析

由於前述模型 6 之公車相關解釋變數無法達到顯著水準，本研究試圖透過以下兩種方式進一步探索公車與 YouBike 使用之關聯性。第一種方式，係透過減少捷運變數的控制維度後，觀察公車相關變數估計結果之變化，並討論其估計結果改變所可能代表之意義。本研究選擇減少對「捷運距離」變數之控制，係考量此變數為不隨時間改變之變數，將其排除於模型外較不會產生遺漏重要變數之內生性問題。

第二種方式，本研究考量捷運站周邊地區與遠離捷運站地區，可能對使用公車與 YouBike 具有不同之樣態，因此先利用與捷運站之距離，將 YouBike 站點進行篩選後，再進行模型之估計。設計此方式的理由在於，應注意到 YouBike 距公車站之平均距離遠低於 YouBike 距 MRT 站之平均距離（見表 1 之基礎統計量）之交通環境特性，許多距離 MRT 站較遠之地區仍在公車路網的服務範圍，因此對於遠離 MRT 站地區的民眾，其使用大眾運輸工具的行為樣態很有可能產生不同之變化。

估計結果呈現於表 6（含模型 7-9）。模型 7 顯示，當與捷運站之距離變數（*logmrtdis*）未納入模型時，與 YouBike 站點最近公車站路線數（*nearbusline*）之係數轉為正值（對比模型 6 與 8），且達到顯著水準（ $p = 0.037$ ）¹¹，表示最近公車站路線數越多，YouBike 使用量傾向越高；然而，這樣的關聯性在控制了與捷運站之距離變數後就無法達到顯著水準（如模型 6 與 8 所示）。本研究認為公車路線數變數轉為不顯著的可能原因在於，許多路線數較多之公車站係具有鄰近捷運站之特性，因此一旦捷運與 YouBike 具有較強之互補關係時，即便公車與 YouBike 具有互補關係也不易於統計模型中呈現顯著。

模型 9 顯示，當 YouBike 站點與捷運站距離大於 800 公尺時，YouBike 與最近公車站距離變數（*logbusdis*）之係數轉為負值（對比模型 6 與 8），表示 YouBike 站點與公車站距離越遠，YouBike 使用量傾向越低，且達到顯著水準（ $p = 0.036$ ）¹²。對於這樣的結果，本研究認為在遠離捷運站的地區，民眾會轉為較為依賴使用公車（相較於捷運有較高可及性）；因此在那些地區，較多民眾在下公車後轉騎乘 YouBike，較少民眾直接騎乘 YouBike 至捷運站，使得與公車站越遠的 YouBike 租借點呈現出更少的租借量趨勢，而呈現出較強的整合互補關係。此結果亦凸顯一重點，不同地區的土地使用與公共運輸現況，會改變不同公共運具之間的關聯性，因此反思鄰近捷運站之地區，公車與 YouBike 應可能具有較強的競爭關係（因使用全部樣本之模型 6 與 8，*logbusdis* 之係數為正值，而模型 9 之係數為顯著負值），更多民眾會選擇直接騎乘 YouBike 至捷運站或其他興趣點（point of interest, POI），而與公車形成競爭。

¹¹ 將其他不顯著之公車變數刪除後，*nearbusline* 之顯著性更為提高（ $p = 0.031$ ）。

¹² 將其他不顯著之公車變數刪除後，*logbusdis* 之顯著性更為提高（ $p = 0.019$ ）。

表 6 其他 Hausman-Taylor 模型實證結果 (1) (應變數 *logUbike_out*)

	模型 7	模型 8	模型 9
	未控制捷運站距離	控制捷運站距離	捷運站距離>800 公尺之樣本
<i>logmrtout</i>	0.778*** (0.121)	0.723*** (0.104)	0.646*** (0.061)
<i>logmrtdis</i>	--	-0.319*** (0.028)	-1.195*** (0.232)
<i>mrtoutxmrtdis</i>	--	-0.093*** (0.029)	--
<i>logbusdis</i>	0.057 (0.067)	0.030 (0.058)	-0.169** (0.085)
<i>busstop300</i>	0.022 (0.020)	0.005 (0.018)	0.031 (0.029)
<i>nearbusline</i>	0.011** (0.005)	-0.004 (0.005)	0.005 (0.008)
<i>university500</i>	0.454*** (0.145)	0.604*** (0.135)	0.630*** (0.190)
<i>rainday</i>	-0.023*** (0.002)	-0.023*** (0.002)	-0.022*** (0.001)
<i>temperature</i>	0.015*** (0.004)	0.015*** (0.004)	0.019*** (0.002)
<i>temperature2</i>	-0.004*** (0.0003)	-0.004*** (0.0004)	-0.003*** (0.0002)
截距項	8.467*** (0.104)	8.543*** (0.101)	9.632*** (0.373)
個體數 (站點數)	319	319	86
總樣本數	3826	3826	1032

註：***表示在 99% 信心水準達到顯著；**表示在 95% 信心水準達到顯著；*表示在 90% 信心水準達到顯著。係數欄中括號內數值為針對個體的叢集特性進行修正後之強韌標準誤。

此外，關於 YouBike 站點 300 公尺範圍內的公車站數量 (*busstop300*) 之係數，在模型 6-9 中皆為不顯著之正值，本研究認為此結果可能代表公車與 YouBike 之間「互補」

與「競爭」關係同時存在。理由在於公車站數量越多之地區，代表該地區具有土地使用强度高、旅次產生量高、YouBike 站點密度高等特性，因此民眾產生 YouBike 使用需求之樣態包括：可能直接租借 YouBike 替代搭乘公車（競爭），亦有可能下公車後再利用 YouBike 到達旅次終點（互補），兩種不同的關聯性皆會造成 YouBike 租借量增加，因此可推論公車與 YouBike 可能「互補」與「競爭」關係同時存在。反之，若 YouBike 租借量呈現減少之趨勢，則表示該地區民眾大多選擇便捷的公車系統，而抑制了 YouBike 的使用。進一步思考，當一個地區旅次產生量大時，可能會增加 YouBike 之使用需求，同時也可能因為附近便捷的公車系統，而抑制了 YouBike 的使用。兩種相反的作用力同時存在，可能是造成本研究此一變數（*busstop300*）無法達到顯著水準的原因。

以 YouBike 的實際使用樣態來思考，部分民眾會以 YouBike 直接替代原先所使用的公車甚至是捷運（例如：兩端點鄰捷運站之異站借還），部分民眾會先搭乘公車後轉騎乘 YouBike 至旅次終點，因此公車與 YouBike「既競爭且互補」的關聯性必定存在於實際使用的情況中，而統計模型的推論則是協助判斷在不同情境下何種關聯性為相對主要的交通行為模式。

五、YouBike 高、低租借量站點之差異

本研究將 Youbike 站點年總租借量由高至低排列，前 33%（年租借總次數高於 64,985）定義為高租借量組，67% 之後（年租借總次數低於 33,874）定義為低租借量組，將兩組 YouBike 站點樣本分別以 Hausman-Taylor 模型估計之。

估計結果呈現於表 7（含模型 10-12）。模型 10 估計結果顯示，低租借量 YouBike 站點較不受氣溫影響其租借量（氣溫變數不顯著），表示低租借量組之租借量在各月份呈現相對穩定的情況。但相較於模型 8，低租借量站點受捷運出站人次與捷運站距離影響更為明顯，交互項之影響程度亦更大。經檢視資料，低租借量組有 49 個 YouBike 站點在距離捷運站 800 公尺之外，56 個站點在 800 公尺之內。

表 7 其他 Hausman-Taylor 模型實證結果 (2) (應變數 *logUbike_out*)

	模型 10	模型 11	模型 12
	YouBike 低租借量組	YouBike 高租借量組	YouBike 高租借量組
<i>logmrtout</i>	1.173*** (0.283)	0.592*** (0.130)	0.702*** (0.145)
<i>logmrtdis</i>	-0.599*** (0.151)	-0.075* (0.038)	-0.083** (0.040)
<i>mrtoutxmrtdis</i>	-0.315*** (0.103)	-0.062 (0.046)	--
<i>logbusdis</i>	-0.180 (0.121)	-0.004 (0.088)	-0.009 (0.093)
<i>busstop300</i>	0.019 (0.047)	0.004 (0.021)	0.006 (0.023)
<i>nearbusline</i>	0.005 (0.008)	-0.003 (0.007)	-0.002 (0.007)
<i>university500</i>	0.716** (0.306)	0.367** (0.164)	0.370*** (0.173)
<i>rainday</i>	-0.027*** (0.006)	-0.019*** (0.002)	-0.019*** (0.002)
<i>temperature</i>	0.013 (0.008)	0.019*** (0.001)	0.019*** (0.001)
<i>temperature2</i>	--	-0.004*** (0.0002)	-0.004*** (0.0003)
截距項	8.330*** (0.340)	9.186*** (0.128)	9.160*** (0.138)
個體數(站點數)	105	105	105
總樣本數	1260	1260	1260

註：***表示在 99% 信心水準達到顯著；**表示在 95% 信心水準達到顯著；*表示在 90% 信心水準達到顯著。係數欄中括號內數值為針對個體的叢集特性進行修正後之強韌標準誤。

模型 11 與 12 之估計結果顯示，高租借量 YouBike 站點較不受捷運站距離之影響，因為相較於模型 8，模型 11 捷運站距離變數之係數與顯著程度皆下降，且捷運站距離與出站人次之交乘項變數轉為不顯著。經檢視資料，高租借量組有 10 個 YouBike 站點在距

離捷運站 800 公尺之外，95 個站點在 800 公尺之內。

以上結果呈現出一個明顯的對比樣態，YouBike 高租借量組站點受捷運站距離影響小，低租借量組則受捷運站距離影響大。本研究認為高租借量組站點應是位於土地使用強度高的地區，因此捷運站周邊會有較多興趣點可促進延長步行距離，以及在稍微遠離捷運站之地區仍有產生許多旅次之機會而直接使用 YouBike，使得這些租借站受捷運站距離影響較小。

本研究將綜合模型 9（捷運站距離 > 800 公尺）、模型 10（低租借量組）、模型 12（高租借量組）之結果，於下一節中提出相關政策意涵之說明。

伍、結論與建議

一、綜合討論

公共交通系統提供了一種可負擔的且具永續性的旅運選擇，但其旅次兩端的交通便利性（通常稱之為第一哩和最後一哩），被認為是改善都市旅運需求可及性的主要關鍵之一。而公共自行車系統的產生即是完善公共交通系統可及性的重要綠色運具，因此在世界各都市興起風潮而備受重視。近年來，越來越多的國外文獻（例如：Campbell and Brakewood, 2017；Griffin and Sener, 2016；Kim and Cho, 2021, 2022；Radzimski and Dziecielski, 2021）對於公共自行車與大眾運輸系統（包含捷運與公車）之間的關聯性提出了更多的實證分析，並強調其關聯的複雜性。然而，國內對此議題的實證研究仍相當有限，特別是以計量經濟方法之實證研究。儘管以計量經濟方法針對此議題進行整體性之分析有其侷限性，但是透過對於多元變數的控制以及內生性問題的排除後，計量經濟模型仍然能對不同公共運具之間的關聯性提供可靠的推論分析。

國內除鍾凱如（2022）之外尚未有以追蹤資料模型進行公共自行車使用之相關研究

¹³。本研究透過建立臺北市 319 個 You1.0 站點共 12 期（月份，2017 年 5 月至 2018 年 4 月）之追蹤資料，探討公共自行車與捷運、公車之關聯性。相較於橫斷面資料，使用追蹤資料探討大眾運輸工具關聯性的優點在於進行推論的結果更為可靠，可避免因遺漏重要地理特徵（依時不變）變數導致自變數與殘差項具相關性的內生性問題，而對於模型產生非一致性的估計結果。

值得說明的是，由於公共自行車的使用往往與當地土地使用情況以及建成與騎乘環境（例如：人口密度、商業區或住宅區面積、主要道路長度、自行車道路長度等）息息相關，但這些變數皆屬於不隨時間變化之變數，而透過追蹤資料模型，可藉由分析被解釋變數隨時間發生的變化，而消除那些個體間具有差異但不隨時間變化的遺漏變數之影響（Stock and Watson, 2018）。因此，本研究所建立之模型雖然並未控制許多土地使用情況以及建成環境之重要變數，但仍然可得到具一致性的估計結果。

二、重要結果

本研究之實證結果呈現以下重點。（1）與 YouBike 站點最近捷運站之「出站人次」以及「距離」，對於 YouBike 租借量分別具有顯著之正向與負向效果，因此綜合判斷之，YouBike 對於大眾捷運具有明顯之最後一哩「互補」效果¹⁴。距離變數之效果與倪如霖（2016）、鄭雨桐（2016）相同，但該二研究並未同時控制捷運站出站人次。鍾凱如（2022）

¹³ 由於鍾凱如（2022）之論文全文尚未公開，本文僅能依據該論文摘要進行研究結果比較。

¹⁴ 必須強調，本文所稱 YouBike 對於大眾捷運具有「互補」效果，係指 YouBike 協助捷運乘客完成旅次的「最後一哩」，並未涉及到以 YouBike 完成旅次「第一哩」後轉乘捷運之互補效果。「第一哩」之互補效果應以 YouBike 站點之「還車量」分析之，或者更詳細地將 YouBike 旅次資料進行整理與區分使用型態。為避免分析與討論過於複雜與冗長，本文僅將「第一哩」之議題列於後續研究建議中。

實證結果顯示臺北市 YouBike 使用量之顯著影響因素並未包含捷運站距離，但 YouBike 使用「變化量」之顯著影響因素則包含了捷運站距離，此結果與其他相關文獻不同，且同樣未同時控制捷運站出站人次。此外，本研究亦確認了 YouBike 租借量並不會因為捷運站進出站人潮過多，導致騎乘環境較為擁擠或不便（人行道上行人優先，馬路車流大風險高），進而造成 YouBike 租借量隨著捷運人潮而產生增加量遞減的情形發生，此結果未在其他相關文獻中被提出。

（2）捷運站出站人次、捷運站距離兩變數之間具有顯著的「交互作用」，亦即，捷運站出站人次規模會對於捷運站有效影響 YouBike 使用量之空間範圍產生顯著效果，此發現在其他相關文獻中未曾被提到與實際估計。根據本研究模型之估計結果，若平均每月捷運出站人次約為 55 萬人次，可推估 YouBike 站點與捷運站距離約 350 公尺時，捷運出站人次對 YouBike 租借量影響效果趨近於零。

（3）本研究設計四項與公車相關之解釋變數（最近公車站距離、300 公尺範圍內公車站數量、最近公車站路線數、距離與最近公車站路線數之交互作用項），皆無法達到顯著水準。然而進一步的分析發現，不同地區的土地使用與公共運輸現況，會改變不同公共運具之間的關聯性；在遠離捷運站的地區，YouBike 與公車呈現出較強的整合互補關係；鄰近捷運站之地區，YouBike 與公車應可能具有較強的競爭關係。此外亦發現，一旦捷運與 YouBike 具有較強之互補關係時，即便公車與 YouBike 具有互補關係也不易於統計模型中呈現顯著。因此本研究呼應 Kong et al. (2020) 強調公共自行車與大眾運輸系統之間存在複雜關聯性之論點，認為公車與 YouBike 之間「既競爭且互補」的關聯性必定存在於實際使用的情況中，而統計模型的推論則是協助判斷在不同情境下何種關聯性為相對主要的交通行為模式。與其他相關文獻之結果比較，沙昱（2019）針對美國紐約市的花旗公共自行車進行橫斷面資料的多元迴歸分析，發現公車站距離對於公共自行車使用量具有小幅的正向影響，但其並未同時控制捷運站之影響。倪如霖（2016）使用橫斷面資料發現 500 公尺內的公車站數量對於 YouBike 使用量並未有顯著效果。

(4) 在土地使用部分，YouBike 站點距離 500 公尺範圍內若有大學，對於 YouBike 使用量有顯著正向影響。但是若有高中或國中，其影響效果則未達顯著。此結果不同於沙昱（2019），其發現自行車站點「附近高中個數」會小幅正向影響公共自行車使用量，但其並未同時控制大學之影響效果。倪如霖（2016）則發現 YouBike 站點與大學及高中間的距離，皆未對 YouBike 使用量產生顯著影響。

(5) 在氣候條件方面，下雨天數對於 YouBike 使用量有顯著負向效果，此與鍾凱如（2022）、呂千慈等（2018）之結果相同。此外，本研究發現氣溫對於 YouBike 使用量之影響不僅止於一次項之正向效果達到顯著水準，其二次項之負向效果亦達到顯著。此結果反映了一個合理的情況，當氣溫太低或太高時，民眾就會選擇降低使用公共自行車之可能性。多數公共自行車的相關研究並未控制氣溫的影響，而本研究的氣溫二次項效果亦未在其他相關文獻中被提出。

(6) 將 YouBike 站點之年總租借量區分為高、低兩組別分別估計，可發現低租借量 YouBike 站點較不受氣溫影響其租借量，表示其租借量在各月份呈現相對穩定的情況；但受捷運出站人次與捷運站距離影響更為明顯。高租借量之 Youbike 站點則較不受捷運站距離之影響。因此，高、低租借量組別呈現出明顯的對比樣態。這些結果在過去的文獻中未被提出。

三、政策意涵

(1) 由於 90% 以上的 YouBike 高租借量組站點位於捷運站步行 800 公尺範圍內，且租借量較不受捷運站距離影響，因此，本研究認為高租借量組所在的土地使用高強度地區，仍可在站點較稀少之區位佈建新站點，即便稍微遠離捷運站，也可積極納入評估。

(2) 在 YouBike 低租借量組方面，可將捷運站步行 800 公尺範圍之內外分別考慮。首先，由於受捷運出站人次與捷運站距離影響更為明顯，本研究認為 800 公尺範圍內之低租借量站點，應可通盤檢討是否具有與捷運站距離更近的合宜區位，並應優先考慮出站人次較多之捷運站周邊為第一期檢討規劃區。再者，基於模型 9 之結果，捷運站 800

公尺範圍外之 YouBike 低租借量站點，應可重新評估與鄰近公車站之區位關係，若能同時降低與公車站、捷運站距離之合宜區位，應為優先方案。

四、後續研究建議

Kim and Cho (2022) 指出韓國首爾在 COVID-19 爆發之前，公車客流量增加會減少公共自行車使用量（與公車呈競爭關係），而捷運客流量則對公共自行車使用量產生正向影響（與捷運呈互補關係）；而在 COVID-19 爆發後，上述之競爭關係與互補關係皆受到疫情影響而減弱。基於此國外最新的研究發現，本研究認為未來後續研究應可再加入公車站點之客流量資料，以補強本研究對於公車與 YouBike 使用之因果關聯性證據力不足之缺點。再者，亦可建立 COVID-19 爆發期間臺北市公共交通系統之追蹤資料，並與 Kim and Cho (2022) 之研究發現進行比較。最後，亦可參考戴威（2018）之研究，將 YouBike 各站點之使用旅次區分為不同型態，包括：(1) 鄰捷運站之同站借還、(2) 非鄰捷運站之同站借還、(3) 兩端點鄰捷運站之異站借還、(4) 兩端點非鄰捷運站之異站借還、(5) 一端點鄰捷運站之異站借還，如此應能對於公共自行車與大眾運輸系統之關聯性探索出更為豐富的研究貢獻，例如：公共自行車雖然與捷運具有明顯的互補關係，但也可能同時存在著明顯的競爭關係。

附錄 1

附表 1 pooled OLS 與模型 6 (Hausman-Taylor) 結果 (應變數: *logUbike_out*)

	模型 6		pooled OLS		
	係數	p 值	係數	p 值	VIF 值
<i>logmrtout</i>	0.730*** (0.104)	< 0.001	0.308*** (0.065)	< 0.001	1.16
<i>logmrtout2</i>	0.052 (0.082)	0.524	-0.113** (0.050)	0.025	1.15
<i>logmrtdis</i>	-0.317*** (0.028)	< 0.001	-0.317*** (0.026)	< 0.001	1.13
<i>mrtoutxmrtdis</i>	-0.096*** (0.029)	0.001	-0.116*** (0.035)	0.001	1.09
<i>logbusdis</i>	0.023 (0.058)	0.689	0.070 (0.049)	0.156	1.11
<i>busstop300</i>	0.003 (0.018)	0.890	0.012 (0.016)	0.456	1.11
<i>nearbusline</i>	-0.004 (0.005)	0.376	-0.005 (0.004)	0.184	1.17
<i>busdxnearline</i>	-0.003 (0.007)	0.686	-0.001 (0.006)	0.875	1.07
<i>university500</i>	0.626*** (0.135)	< 0.001	0.633*** (0.125)	< 0.001	1.05
<i>highschool500</i>	0.150 (0.091)	0.100	0.065 (0.087)	0.454	1.06
<i>rainday</i>	-0.023*** (0.002)	< 0.001	-0.012*** (0.004)	0.005	1.12
<i>temperature</i>	0.015*** (0.004)	< 0.001	0.017*** (0.004)	< 0.001	1.09
<i>temperature2</i>	-0.004*** (0.0004)	< 0.001	-0.004*** (0.0004)	< 0.001	1.12
截距項	8.498*** (0.101)	< 0.001	8.408*** (0.096)	< 0.001	--
Prob.> χ^2 (13) (test all $\beta_i = 0$)	< 0.0001		F(13, 318) = 91.86 R ² = 0.3230		Mean VIF = 1.11

附表 1 pooled OLS 與模型 6 (Hausman-Taylor) 結果 (應變數：*logUbike_out*) (續)

	模型 6		pooled OLS		
	係數	p 值	係數	p 值	VIF 值
個體數 (站點數)	319		319		
總樣本數	3826		3826		

註：***表示在 99% 信心水準達到顯著；**表示在 95% 信心水準達到顯著；*表示在 90% 信心水準達到顯著。係數欄中括號內數值為針對個體的叢集特性進行修正後之強韌標準誤。

估計結果顯示，pooled OLS 與 Hausman-Taylor 模型得到相似的結果（達到顯著程度的變數相同，顯著程度亦相當一致），但部分變數之估計係數值有較大差異，分別為捷運出站總人次 (*logmrtout*) 與下雨天數 (*rainday*) 兩變數。

參考文獻

一、中文部分

- 呂千慈、鍾易詩與馮正民，2018，「環境空間與站點數對公共自行車租借量之影響分析」，*運輸學刊*，30(2)：113-137。(Lu, C. T., Y. S. Chung, and C. M. Feng, 2018, “Investigating the Effect of Environmental Context and Number of Stations on Bike-Sharing Usage”, *Journal of the Chinese Institute of Transportation*, 30(2): 113-137.)
- 沙昱，2019，「城市公共自行車使用量與建成環境的關係分析」。國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。(Sha, Y., 2019, “The Relation between Urban Built Environment and Public Bicycle Usage”, Master's Thesis, Graduate Institute of Geography and Environmental Resources, National Taiwan University.)
- 邱皓政，2017，多層次模式與縱貫資料分析：Mplus 8 解析應用，臺北：五南。(Chiou, H. J., 2017, *Multilevel Modeling and Longitudinal Data Analysis: Applications of Mplus 8*, Taipei: Wu-Nan.)
- 倪如霖，2016，「公共自行車租借量之影響因素分析-地理加權迴歸和函數資料分析方法之應用」，淡江大學運輸管理學系碩士論文。(Ni, J. L., 2016, “The Factors Contributing to Youbike Usage: Application of Geographically Weighted Regression and Functional Data Analysis”, Master's Thesis, Department of Transportation Management, Tamkang University.)
- 黃俊良，2016，「臺北市公共自行車系統旅次特性分析」，淡江大學運輸管理學系碩士論文。(Huang, C. L., 2016, “Trip Characteristics Analysis of the Taipei City Public Bike System”, Master's Thesis, Department of Transportation Management, Tamkang University.)

- 鄭雨桐，2016，「建成環境對公共自行車使用之影響」，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。(Cheng, Y. T., 2016, “The Influences of Built Environment on Public Bike Usage”, Master's Thesis, Graduate Institute of Geography and Environmental Resources, National Taiwan University.)
- 戴威，2018，「臺北市 YouBike 開放大數據為基礎的公共自行車旅次與租賃站特性分析」，淡江大學運輸管理學系碩士論文。(Tai, W., 2018, “Characteristics analysis of public bike trips and stations: Evidence from the open big data of Taipei City YouBike”, Master's Thesis, Department of Transportation Management, Tamkang University.)
- 鍾凱如，2022，「臺北市公共自行車使用特性與空間分佈型態之趨勢變化分析」，國立政治大學地政學系碩士論文。(Chung, K. J., 2022, “Analysis on the Trend Change of the Use Characteristics and Spatial Distribution Patterns of Public Bicycles in Taipei City”, Master's Thesis, Department of Land Economics, National Chengchi University.)
- 鍾智林與李舒媛，2018，「以悠遊卡大數據初探 YouBike 租賃及轉乘捷運行為」，都市交通，33(1)：16-36。(Chung, C. L. and S. Y. Li, 2018, “Preliminary EasyCard Big Data Analysis of YouBike Rental and Its MRT Transfer Behavior”, *Urban Traffic Biannually*, 33(1): 16-36.)

二、英文部分

- Baltagi, B. H., 2023, “The Two-way Hausman and Taylor Estimator”, *Economics Letters*, 228: 111159.
- Campbell, K. B. and C. Brakewood, 2017, “Sharing Riders: How Bikesharing Impacts Bus Ridership in New York City”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100: 264-282.
- Chen, A. H. L., K. Cheng, and W. J. Chang, 2023, “Unravelling Commuters' Modal Splitting Behaviour in Mass Transportation Service Operation”, *Public Transport*, 15: 813-838.
- Fu, C., B. T. H. Yen, and C. J. Yeh, 2024, “The Analysis of The Shared Bike Usage Pattern: Application of Survival Model to Taiwan YouBike”, *Asian Transport Studies*, 10: 100125.

- Griffin, G. P. and I. N. Sener, 2016, "Planning for Bike Share Connectivity to Rail Transit", *Journal of Public Transportation*, 19(2): 1-22.
- Hamilton, L. C., 2016, *Statistics with STATA: Updated for Version 12*, Boston, MA: Cengage Learning.
- Hausman, J. A., 1978, "Specification Tests in Econometrics", *Econometrica*, 46(6): 1251-1271.
- Hausman, J. A. and W. E. Taylor, 1981, "Panel Data and Unobservable Individual Effects", *Econometrica*, 49: 1377-1398.
- Hill, R. C., W. E. Griffiths, and G. C. Lim, 2018, *Principles of econometrics*, John Wiley & Sons.
- Kim, M. and G. H. Cho, 2021, "Analysis on Bike-Share Ridership for Origin-Destination Pairs: Effects of Public Transit Route Characteristics and Land-Use Patterns", *Journal of Transport Geography*, 93: 103047.
- Kim, M. and G. H. Cho, 2022, "Examining the Causal Relationship Between Bike-Share and Public Transit in Response to the COVID-19 Pandemic", *Cities*, 131: 104024.
- Kong, H., S. T. Jin, and D. Z. Sui, 2020, "Deciphering the Relationship Between Bikes sharing and Public Transit: Modal Substitution, Integration, and Complementation", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85: 102392.
- Martin, E. W. and S. A. Shaheen, 2014, "Evaluating Public Transit Modal Shift Dynamics in Response to Bikes sharing: A Tale of Two US Cities", *Journal of Transport Geography*, 41: 315-324.
- Mehmetoglu, M. and T. G. Jakobsen, 2017, *Applied statistics using Stata: a guide for the social sciences*, Los Angeles: SAGE.
- Pai, J. T. and S. Y. Pai, 2015, "User Behaviour Analysis of The Public Bike System in Taipei", *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 3(2): 39-52.
- Radzinski, A. and M. Dzięcielski, 2021, "Exploring the Relationship Between Bike-Sharing and Public Transport in Poznań, Poland", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 145: 189-202.
- Stock, J. and M. Watson, 2018, *Introduction to Econometrics* (4th edition), New York:

Pearson.

Wooldridge, J. M., 2002, *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* (1st edition), Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Wooldridge, J. M., 2010, *Econometric Analysis of Cross Section and Panel data* (2nd edition). Cambridge, Massachusetts: MIT press.

Yen, B. T. H., C. Mulley, and C. J. Yeh, 2023, “How Public Shared Bike Can Assist First and Last Mile Accessibility: A Case Study of The MRT System in Taipei City, Taiwan”, *Journal of Transport Geography*, 108: 103569.

Relationship Between Public Bicycles and Mass Rapid Transit System in Taipei: An Empirical Analysis Using Panel Data

An-Ming Wang*

Abstract

Public bicycles are a crucial green mode of transport that enhance the accessibility of a comprehensive public transportation system. This study explores the relationship between public bicycles and metro and bus services in Taipei by collecting panel data from 319 YouBike 1.0 stations between May 2017 and April 2018. The empirical findings are as follows. (1) The number of passengers exiting a metro station has a significantly positive correlation with YouBike rental volume, and distance from metro station to YouBike station has a significantly negative effect on YouBike rental volume. This finding confirms that YouBike serves a complementary role with respect to the mass transit system. (2) A significant interaction effect exists between number of passengers exiting a metro station and distance to metro station, implying that the scale of metro station exits influences the spatial extent of the station's effect on YouBike usage. (3) Four bus-related explanatory variables (distance to the nearest bus stop, number of bus stops within a 300-meter radius, number of bus routes at the nearest bus stop, and the interaction term between distance and number of bus routes) did not

* Associate Professor, Department of Social and Regional Development, National Taipei University of Education. Corresponding Author. Email: amwang@tea.ntue.edu.tw

DOI: 10.7086/TJAE.202412_(116).0004

Received May 3, 2024; Revised August 6, 2024; Accepted October 23, 2024.

reach statistical significance. Land use and public transportation conditions in different areas alter the relationships between various modes of transport. In areas farther from metro stations, YouBike and buses exhibit a stronger complementary integration, whereas in areas near metro stations, YouBike and buses likely exhibit a more competitive substitution relationship. (4) Low-volume YouBike stations are less affected by temperature and more affected by number of passengers exiting a station and distance to a metro station.

Keywords: Public bicycles, Mass rapid transit, Bus, Panel data

JEL Classification: R15, R49

Extended Abstract

I. Introduction

In 2009, Taipei implemented a public bicycle rental system called YouBike. Initially envisioned as a low-carbon transit option serving as the “first mile” and “last mile” connection within the public transportation network, YouBike has evolved into an essential and distinctive component of the Greater Taipei urban transit system. This study collects panel data on Taipei’s YouBike system and related independent variables and investigates the relationship between this system and the mass rapid transit (MRT) network.

This study distinguishes itself from the literature on YouBike in several key aspects. First, no empirical studies have employed panel data to examine the YouBike system. The advantage of using a fixed-effects model with panel data lies in its ability to mitigate endogeneity problems arising from omitted variables that remain constant over time, such as built environment and socioeconomic conditions. This method is particularly suitable for empirical research on public bicycles, where crucial explanatory variables affecting cycling behavior cannot always be comprehensively included in the model due to the complexity of the built environment and socioeconomic factors.

Second, by employing the Hausman–Taylor model, this study integrates time-invariant variables related to metro and bus services while also analyzing potential endogenous variables within the random-effects framework. Using instrumental variable techniques, the study addresses the correlation between unobserved individual heterogeneity and endogenous variables, yielding estimates with consistency. Otherwise, the estimates of endogenous variables in random-effects and pooled ordinary least squares models would differ considerably from those in the fixed-effects model, leading to erroneous inferences about the effects of variables.

Third, this study conducts empirical estimations by using various subsamples

differentiated by metro station proximity and YouBike rental volume, yielding results with richer policy implications. Research has struggled to analyze the relationships between bus systems and other modes of transportation because of the limitations of Taipei's bus smart card, which only records boarding and alighting information (Yen et al., 2023). Consequently, interactions between the bus and YouBike systems have not been explored in detail. Additionally, the criteria for establishing public bicycle rental stations in Taipei have not considered the locations of bus stops, possibly due to a lack of foundational research references. In response, this study incorporates various bus-related variables into its empirical model, offering a more nuanced discussion of the relationship between the YouBike and bus systems.

II. Methodology

A. Data

The data used in this study consist of information collected from 319 YouBike 1.0 stations in Taipei between May 2017 and April 2018. The data were aggregated by month (from January to December) and combined for analysis.

B. Model

This study performs estimation by primarily employing an alternative random-effects model proposed by Hausman and Taylor (1981), known as the Hausman–Taylor model. This model allows for some independent variables to be correlated with random individual effects while incorporating time-invariant variables that cannot be estimated in a fixed-effects model. The final empirical model comprehensively encompasses various MRT- and bus-related variables.

The model indicates that the dependent variable, the number of YouBike rentals (*logUbike_out*), is influenced not only by station differences but also by the following independent variables: the total number of exits at the nearest MRT station (*logmrtout*), the quadratic term of total exits (*logmrtout2*), the number of rainy days (*rainday*), temperature (*temperature*), the quadratic term of temperature (*temperature2*), the distance to the nearest MRT station (*logmrtdis*), the interaction term of total exits and distance (*mrtoutxmrtdis*), the distance to the nearest bus stop (*logbusdis*), the number of bus stops within a 300-meter radius of the YouBike station (*busstop300*), the number of bus routes at the nearest bus stop (*nearbusline*), the interaction term of bus stop distance and number of routes (*busdxnearline*), the presence of a university within a 500-meter radius (*university500*), and the presence of a high school or junior high school within a 500-meter radius (*highschool500*). The variables *logmrtout*, *logmrtout2*, and *rainday* were set as endogenous variables.

III. Results

A. Estimation results of Hausman–Taylor model

Table 4 Empirical results of Hausman–Taylor model (dependent variable:
logUbike_out)

	Model 5		Model 6	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
<i>logmrtout</i>	0.973*** (0.121)	< 0.001	0.730*** (0.104)	< 0.001
<i>logmrtout2</i>	--	--	0.052 (0.082)	0.524
<i>logmrtdis</i>	-0.308*** (0.030)	< 0.001	-0.317*** (0.028)	< 0.001
<i>mrtoutxmrtdis</i>	--	--	-0.096*** (0.029)	0.001
<i>logbusdis</i>	-0.006 (0.067)	0.931	0.023 (0.058)	0.689
<i>busstop300</i>	-0.006 (0.020)	0.762	0.003 (0.018)	0.890
<i>nearbusline</i>	-0.001 (0.005)	0.799	-0.004 (0.005)	0.376
<i>busdxnearline</i>	--	--	-0.003 (0.007)	0.686
<i>university500</i>	0.604*** (0.145)	< 0.001	0.626*** (0.135)	< 0.001
<i>highschool500</i>	0.160 (0.103)	0.119	0.150 (0.091)	0.100
<i>rainday</i>	-0.017*** (0.002)	< 0.001	-0.023*** (0.002)	< 0.001
<i>temperature</i>	0.020*** (0.004)	< 0.001	0.015*** (0.004)	< 0.001
<i>temperature2</i>	--	--	-0.004*** (0.0004)	< 0.001
constant	8.368*** (0.104)	< 0.001	8.498*** (0.101)	< 0.001
	Prob.> $\chi^2(9)$ (test all $\beta_i = 0$)	< 0.0001	Prob.> $\chi^2(13)$ (test all $\beta_i = 0$)	< 0.0001
Number of ind.	319		319	
Number of obs.	3826		3826	

Note: */**/***/ denotes significance at 0.1/0.05/0.01 levels. The values in parentheses represent robust standard errors adjusted for individual cluster characteristics.

B. Further estimation results of bus-related variables

Table 6 Additional empirical results from Hausman–Taylor model (1) (dependent variable: *logUbike_out*)

	Model 7	Model 8	Model 9
	without controlling for metro station distance	with controlling for metro station distance	Sample of stations more than 800 meters from the MRT station
<i>logmrtout</i>	0.778*** (0.121)	0.723*** (0.104)	0.646*** (0.061)
<i>logmrtdis</i>	--	-0.319*** (0.028)	-1.195*** (0.232)
<i>mrtoutxmrtdis</i>	--	-0.093*** (0.029)	--
<i>logbusdis</i>	0.057 (0.067)	0.030 (0.058)	-0.169** (0.085)
<i>busstop300</i>	0.022 (0.020)	0.005 (0.018)	0.031 (0.029)
<i>nearbusline</i>	0.011** (0.005)	-0.004 (0.005)	0.005 (0.008)
<i>university500</i>	0.454*** (0.145)	0.604*** (0.135)	0.630*** (0.190)
<i>rainday</i>	-0.023*** (0.002)	-0.023*** (0.002)	-0.022*** (0.001)
<i>temperature</i>	0.015*** (0.004)	0.015*** (0.004)	0.019*** (0.002)
<i>temperature2</i>	-0.004*** (0.0003)	-0.004*** (0.0004)	-0.003*** (0.0002)
constant	8.467*** (0.104)	8.543*** (0.101)	9.632*** (0.373)
Number of ind.	319	319	86
Number of obs.	3826	3826	1032

Note: */**/***/ denotes significance at 0.1/0.05/0.01 levels. The values in parentheses represent robust standard errors adjusted for individual cluster characteristics.

C. Differences between high- and low-volume YouBike stations

Table 7 Additional empirical results from Hausman–Taylor model (2) (dependent variable: *logUbike_out*)

	Model 10	Model 11	Model 12
	Youbike low-rental group	Youbike high-rental group	Youbike high-rental group
<i>logmrtout</i>	1.173*** (0.283)	0.592*** (0.130)	0.702*** (0.145)
<i>logmrtdis</i>	-0.599*** (0.151)	-0.075* (0.038)	-0.083** (0.040)
<i>mrtoutxmrtdis</i>	-0.315*** (0.103)	-0.062 (0.046)	--
<i>logbusdis</i>	-0.180 (0.121)	-0.004 (0.088)	-0.009 (0.093)
<i>busstop300</i>	0.019 (0.047)	0.004 (0.021)	0.006 (0.023)
<i>nearbusline</i>	0.005 (0.008)	-0.003 (0.007)	-0.002 (0.007)
<i>university500</i>	0.716** (0.306)	0.367** (0.164)	0.370*** (0.173)
<i>rainday</i>	-0.027*** (0.006)	-0.019*** (0.002)	-0.019*** (0.002)
<i>temperature</i>	0.013 (0.008)	0.019*** (0.001)	0.019*** (0.001)
<i>temperature2</i>	--	-0.004*** (0.0002)	-0.004*** (0.0003)
constant	8.330*** (0.340)	9.186*** (0.128)	9.160*** (0.138)
Number of ind.	105	105	105
Number of obs.	1260	1260	1260

Note: ***/** denotes significance at 0.1/0.05/0.01 levels. The values in parentheses represent robust standard errors adjusted for individual cluster characteristics.

IV. Conclusion

The use of public bicycles is closely related to local land use and the built and cycling environment (i.e., population density, area of commercial or residential zones, length of major roads, and extent of bike lanes). These variables are time-invariant. By using a panel data model, temporal changes in the dependent variable can be analyzed, effectively eliminating the influence of omitted variables that differ between individuals but do not change over time (Stock and Watson, 2018). Therefore, the model constructed in this study does not control for many crucial land use and built environment variables but still yields consistent estimation results.

The empirical results of this study highlight the following key points. (1) The number of passengers exiting a metro station and the distance from nearest metro station to YouBike station have significant positive and negative effects, respectively, on YouBike rental volume. This finding confirms that YouBike serves a clear complementary role for last-mile connectivity with respect to the MRT system. (2) A significant interaction effect was observed between the number of passengers exiting a metro station and the distance to the station. In other words, the scale of metro station exits significantly influences the spatial extent of the station's effect on YouBike usage. (3) The four bus-related explanatory variables did not reach statistical significance. However, further analysis revealed that land use and public transportation conditions in different areas alter the relationships between various modes of transport. In areas farther from metro stations, YouBike and buses exhibit a stronger complementary integration, whereas in areas near metro stations, YouBike and buses are likely to share a more competitive relationship. (4) When YouBike stations are divided into high- and low-volume groups on the basis of annual total rental volume, low-volume YouBike stations are found to be less affected by temperature and more affected by the number of passengers exiting the nearest metro station and the distance to the nearest metro station. Finally, this study emphasizes that the real-world relationship between buses and YouBike is inherently

both competitive and complementary. The statistical model's inferences help determine which relationship reflects the dominant mode of transportation behavior under different conditions.