

國立成功大學
都市計劃學系
碩士論文

運用調整蘭德指數及興趣點來解讀臺北市公共自行車
旅次群聚所代表的空間意涵

Interpreting the Spatial Implications of Taipei City's
Public Bicycle Trip Clusters Using Adjusted Rand Index and
Points of Interest

研究生：劉采瑜

指導教授：李子璋 博士

中華民國 一一三年六月

國立成功大學

National Cheng Kung University

碩士論文合格證明書

Certificate of Approval for Master's Thesis

題目：運用調整蘭德指數及興趣點來解讀臺北市公共自行車旅次群聚所代表的空間意涵

Title: Interpreting the Spatial Implications of Taipei City's Public Bicycle Trip Clusters Using Adjusted Rand Index and Points of Interest

研究生：劉采瑜

本論業經審查及口試合格特此證明

This is to certify that the Master's Thesis of LIU, TSAI-YU

論文考試委員：

has passed the oral defense under the decision of the following committee members

顧貞如

石豐亭

李修祿

指導教授 Advisor(s)：

李子靖

單位主管 Chair/Director：

胡太山

(單位主管是否簽章授權由各院、系(所、學位學程)自訂)

(The certificate must be signed by the committee members and advisor(s). Each department/graduate institute/degree program can determine whether the chair/director also needs to sign.)

2024/6/26

摘要

隨著環保意識的提升和智慧城市概念的普及，公共自行車系統（Public Bicycle System, PBS）成為都市交通的重要組成部分。然而，過往對於公共自行車系統與都市興趣點兩者空間分群區塊的意涵多以文字敘述和主觀經驗為主，缺乏客觀的量化支持。這限制了對於都市空間結構和活動模式的深入理解，進而影響科學的都市規劃與管理。

本研究旨在探討公共自行車旅次與都市興趣點（POI）之間的空間分群相似程度，並以量化的方法揭示這些分群背後的實質空間意涵。透過資料探勘技術探索公共自行車旅次數，結合具象指標興趣點數據進行深度挖掘，以及運用社會網絡分析、社群偵測及集群分析等方法進行空間分群。最後以調整蘭德指數（Adjusted Rand Index, ARI）量化公共自行車旅次與興趣點分群的相似度，揭示兩者之間的空間關係，來分析揭示空間分群背後的意涵。另外，針對不同分群數的圖層，本研究採用了合併集群（Cluster Merging）方法，透過調整分群數以提高調整蘭德指數的精確性，減少分群邊界的模糊性，進而揭示興趣點與公共自行車使用模式之間更清晰的關係。

同時，本研究為深入探討臺北市不同區域尺度下的空間分佈模式，範圍將涵蓋全市都會區的城市尺度和 15 分鐘鄰里生活圈尺度進行分析，此分析尺度類同於《新都市主義憲章》（Charter of the New Urbanism）中提到的概念。本研究鄰里生活圈選定市區外圍的內湖區和市中心的大安區，用以揭示群內互動上的差異。研究結果數據指出：大安區作為市中心，興趣點如銀行、車站、健身房等的 ARI 數值突出，反映出該區作為交通樞紐與金融文化設施密集的角色；相對地，內湖區為新興商業區與住宅區，健身房、學校和咖啡廳等的 ARI 數值較突出，顯示其區域重視健康與便利生活。以上這些發現有助於理解不同區域的都市空間結構與活動特性，對未來的都市規劃和交通管理提供了重要參考。

本研究最終透過量化分析公共自行車旅次與都市興趣點兩者間的分群差異，來揭示背後的空間意涵，填補過去研究中缺乏量化支持的缺口。研究結果不僅可幫助政府與都市規劃者準確地理解公共自行車系統與都市活動空間關係，制定更有效的規劃及策略，推動智慧城市建設，也為後續的都市空間結構與活動模式研究提供了科學的依據，具重要的學術與實踐價值。

本研究的突破點分成三個部分，首先，透過調整蘭德指數量化空間關係，提供了客觀的數據支持，克服過去主觀經驗的局限性；第二，結合動態的公共自行車旅次資料以及具象的興趣點指標解釋公共自行車分布的空間意涵，同時以不同尺度來觀察驗證，提供了對於都市活動模式的不同視角；最後測試了調整蘭德指數進行空間分群分析及合併集群方法的適切性，提升了研究的精確性與可靠性，為後續的都市規劃提供了更具科學性的依據。

關鍵字：公共自行車、大數據、資料探勘、社會網絡分析、興趣點 POI、調整蘭德指數、新都市主義、次分群、合併集群

Interpreting the Spatial Implications of Taipei City's Public Bicycle Trip Clusters Using Adjusted Rand Index and Points of Interest

Liu, Tsai-Yu

Lee, Tzu-Chang

Department of Urban Planning , College of Planning and Design

National Cheng Kung University

SUMMARY

With growing environmental awareness and the rise of smart cities, Public Bicycle Systems (PBS) have become integral to urban transport. However, prior studies on the spatial clustering of PBS and urban Points of Interest (POI) have largely relied on qualitative descriptions, lacking quantitative analysis, which limits the understanding of urban spatial structures and activity patterns.

This study quantifies the spatial clustering similarity between PBS trips and POIs in Taipei, employing data mining, social network analysis, and cluster analysis. The Adjusted Rand Index (ARI) is used to measure the similarity between clusters, offering insights into their spatial relationships. The study also utilizes Cluster Merging to refine cluster accuracy, reducing boundary ambiguities.

The research examines spatial patterns at both the citywide scale and the 15-minute neighborhood level, comparing the city center (Daan District) and a peripheral area (Neihu District). Findings reveal distinct POI clustering characteristics, highlighting the differing urban structures and activity patterns.

This study addresses the gap in quantitative analysis within previous research, providing a scientific foundation for urban planning and smart city strategies. Key contributions include the objective quantification of spatial relationships, the integration of dynamic PBS and POI data, and the validation of clustering methodologies, enhancing the precision and reliability of urban spatial analysis.

Keywords: Public Bicycle System (PBS), Big data , Data Mining , Social Network analysis, POI, Adjusted Rand Index, Sub-clustering ,Cluster Merging

INTRODUCTION

In recent years, with the growing awareness of environmental sustainability and the convenience of public bicycle systems (PBS), these systems have gained increasing popularity. Since the introduction of the first YouBike 1.0 system in Taipei in 2009, the number of users has rapidly expanded, along with the proliferation of rental stations. Most users rely on public bicycles to fulfill short-distance travel needs, such as the first or last mile of their journey, reflecting the characteristics of specific urban activity spaces.

As Michael Batty points out in his book *The New Science of Cities*: "To understand cities we must view them not simply as places in space but as systems of networks and flows; and to understand space, we must understand flows, and to understand flows, we must understand networks—the relations between objects that compose the system of the city" (Batty, 2013). Batty redefines the concept of the city, arguing that a city is not merely a geographic location or space as traditionally conceived in urban planning but is also a node within a complex network of relationships. This perspective challenges the conventional understanding of urbanism. He suggests that the urban spatial structure represents more than just the physical distribution patterns of a city; it encompasses the integrated interactions among various activities, people, and resources within the city, which involves the allocation of resources and travel demands within the urban environment. By analyzing factors such as population movement and activity intensity, the spatial structure of residents' daily lives can gradually be uncovered. Therefore, the urban spatial structure is a comprehensive manifestation of the interrelationships and organizational patterns of various elements within the city.

At the same time, with advancements in databases and technology, researchers have actively utilized big data to analyze public bicycle users' habits, travel characteristics, and destinations. Points of Interest (POIs) are often considered specific locations that are useful or interesting, serving as important landmarks and nodes within cities and frequently becoming focal points of urban activities. Currently, numerous studies identifying urban activity spaces often use POIs as a measure, and a significant body of research related to public bicycles also shows that the distribution of POIs can reveal the land use characteristics visited by individuals. Therefore, this study aims to reveal the spatial structure presented by Taipei's public bicycle data from the perspective of urban POIs and to examine whether there is a relationship between the spatial movement patterns of bicycles and the spatial clustering of POIs, as well as the underlying spatial implications.

MATERIALS AND METHODS

This study aims to investigate the spatial clustering similarity between public bicycle trips and urban Points of Interest (POIs) and to quantitatively reveal the underlying spatial implications of these clusters. Using Taipei City as the empirical site, the data was collected during peak hours between 7:00 and 9:00 AM on weekdays in March 2023, a period when travel patterns are typically more concentrated due to the singular nature of destinations as people commute from home. Public bicycle trip data were explored using data mining techniques, combined with in-depth analysis of POI data as concrete indicators. The spatial clustering was conducted using methods such as social network analysis, community detection, and cluster analysis. The similarity between public bicycle trip clusters and POI clusters was then quantified using the Adjusted Rand Index (ARI), revealing the spatial relationships between the two, and allowing for an analysis of the spatial meanings behind these clusters.

Furthermore, to thoroughly examine the spatial distribution patterns across different regional scales within Taipei City, this study analyzed both the citywide metropolitan scale and the 15-minute neighborhood living circle scale, which align with the concepts found in New Urbanism. The study selected Neihu District, on the city's periphery, and Daan District, in the city center, as the neighborhoods for analysis to reveal differences in intra-

cluster interactions. Additionally, for different cluster layers, a Cluster Merging method was employed to adjust the number of clusters, enhancing the precision of the ARI and reducing the ambiguity of cluster boundaries. This approach allowed for a clearer understanding of the relationship between POIs and public bicycle usage patterns.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of this study reveal a strong correlation between the spatial clustering of public bicycle trips and Points of Interest (POIs), underscoring a significant spatial relationship between the two. A comparative analysis of Neihu and Daan Districts highlighted distinct urban characteristics: Daan District, as the city center, exhibits high ARI values for POIs like banks, stations, gyms, museums, and restaurants, reflecting its role as a hub of transportation, finance, and culture. In contrast, Neihu District, an emerging commercial area, shows higher ARI values for fitness centers, schools, office buildings, and cafes, indicating a focus on education and lifestyle amenities. Additionally, the study identified "frog-jumped" interactions, revealing spatial discontinuities within clusters.

To enhance the precision of the Adjusted Rand Index (ARI), the study employed a Cluster Merging approach, which reduced boundary ambiguities and improved intra-cluster homogeneity, thereby providing a clearer understanding of the relationship between POIs and public bicycle usage patterns. The post-cluster merging data more accurately reflect the structural characteristics of urban spaces, offering a novel methodological contribution.

This research fills a critical gap by using quantitative analysis to elucidate the spatial implications behind clustering differences between public bicycle trips and POIs. The findings offer valuable insights for governments and urban planners, supporting the development of more effective strategies for smart city planning and providing a robust foundation for future studies on urban spatial structures and activity patterns.

CONCLUSION

In conclusion, the breakthroughs of this study are threefold: First, by quantifying spatial relationships through the Adjusted Rand Index (ARI), this research offers objective data support, overcoming the limitations of past subjective experiences. Second, the study integrates dynamic public bicycle trip data with concrete POI indicators to interpret the spatial implications of public bicycle distribution, while also validating observations across different scales, thus offering diverse perspectives on urban activity patterns. Finally, the study tests the suitability of using the Adjusted Rand Index for spatial clustering analysis and the Cluster Merging method, enhancing the precision and reliability of the research, and providing a more scientifically robust foundation for future urban planning.

誌謝

兩年的碩士生活在歡笑與淚水中即將畫上句點，回首這段在臺南的時光，既精采又充實。首先，謝謝碩論的指導教授李子璋老師這兩年的教導與照顧，從碩一每週的報文獻討論內容，然後漸漸聚焦在我感興趣的主題，到碩二後期針對我的論文給了許多建議，使我的論文更完整，實在受益良多；謝謝口委石豐宇、李俊霖和顧嘉安老師，您們的寶貴意見對我來說都十分重要；謝謝研究室志中學長、于庭學姊和Primo，使我快速融入研究室，每當課業與生涯規劃需要幫忙時都不厭其煩地回答我，期許自己也能夠像你們一樣優秀；謝謝研究室的范姜與旻加-我的Python智庫，總是cover我和教我，好想念那段互相學習彼此關心對方進度的日子，而且每次meeting都很歡樂，一邊喝著老師的手沖咖啡一邊吃著大家出去玩帶的伴手禮，使我短暫忘卻論文的痛苦與煩惱；謝謝研究室學弟們，協助我們口試，使整體更順暢；謝謝我的宿舍室友彩綸和泓怡，一起撐過了碩一實習以及碩二的論文地獄，那些熬夜趕報告訴苦的日子真的經歷過一次就好；謝謝香港小隊的大家，那四天一起吃好吃滿走好走滿十分精實，透過不同角度來認識香港，也完成了許多自己的Dream list與美食清單，回味無窮；謝謝班上的同學，雖然我不常待研究室，但偶爾碰面聊個天更新近況以及有時桌上不時會出現小點心，十分窩心；謝謝佔了我碩士生涯很大一部分-光操的各位/光操間歇團，每天大家都會準時下午五點操場集合，不論颶風天暴雨刮風閃電打雷總是有人在操場，從外人角度來看這群人應該都瘋了吧！跑步成為我在臺南每天的例行公事，畢竟這裡可是全台日照天數第一名以及全糖城市，再加上外物少和交通凌亂，只好用跑步來強健身心和紓解壓力，還能認識朋友，何樂不為；謝謝臺南的阿姨叔叔伯伯們與各位，你們偶爾的問候、關心與點心，讓我感受到這座城市的溫暖；謝謝我的阿公阿嬤們，每次回去你們總是塞零用錢獎學金給我，擔心我有沒有吃不飽錢不夠，我真是幸福的孫女；謝謝姊姊和弟弟們的包容，雖然我有時龜毛又任性，你們還是會順著我，也特別謝謝大弟願意跟我一同討論Rand index背後的邏輯，使我論文進行得更順利！最後，謝謝我的爸爸媽媽-最強大的後盾和金主，不論是面試、報到或是畢業典禮，你們總是親力親為，經常從臺北開車下來帶著補給來臺南找我。對於我想出國交換也是全力支持提供資源，能夠當你們的小孩是我的福氣！

還記得碩一剛來臺南很不習慣時常回家，直到遇見一群志同道合的朋友才漸漸融入臺南這溫暖的大家庭。只可惜太晚才領悟到臺南的好，好多事情還來不及做，有點後悔！兩年的點點滴滴與師長們的細心指導使我成長茁壯，沒有您們就沒有今天的我。很慶幸兩年前自己有下定決心來臺南讀書，跳脫生活已久的臺北舒適圈。雖然不太容易，但非常值得。八月鳳凰花開的尾季，即將要離開這座充滿人情味的城市，我會記得在這裡的所學，也為很想念這裡的一切（人事物和物價）。臺南，我們後會有期！

劉采瑜 上

目錄

摘要	3
誌謝	7
第一章 緒論	14
第一節 研究背景與動機	14
一、研究背景	14
二、研究動機	15
第二節 研究缺口與目的	15
一、研究缺口	15
二、研究目的	16
第三節 研究流程	17
第二章 文獻回顧	18
第一節 公共自行車系統起源、背景與相關特性研究	18
一、公共自行車起源、發展與趨勢	18
二、影響公共自行車使用因素與特性之相關研究	23
第二節 公共自行車結合大數據之應用	28
一、大數據的定義	28
二、交通領域結合大數據	29
三、公共自行車結合大數據	29
第三節 公共自行車的網絡結構	30
一、網絡基本概念	30
二、社會網絡分析	33
第四節 都市空間結構與活動	35
一、都市空間結構	35
二、辨識部分活動空間之相關研究	36
第五節 空間範圍比較分析	37
第三章 研究設計與方法	39
第一節 研究架構與流程	40
第二節 研究範圍與資料選定	41
一、研究範圍	41
二、資料來源與資料搜集	44
第三節 資料前處理	46
一、初始資料來源與囊整	46
二、資料清理	47
三、時間特徵辨識	48
四、空間邊界的界定	48
第四節 研究工具	50
一、社會網絡分析	50

二、社群偵測方法	51
三、都市空間結構分析	52
四、蘭德指數與調整蘭德指數	54
第四章 研究結果與討論	56
第一節 資料基本概況與時間特徵	56
一、基本資料概況	57
二、時間特徵辨識	58
第二節 社群偵測分析結果	59
一、模矩度分群	60
二、程度中心度	65
第三節 以調整蘭德指數量化都市活動空間	69
第四節 都市次分群的活動空間分析	71
一、次分群的社群偵測分析	71
二、空間分群之相似度比較	82
三、次分群合併集群之分析結果	89
第五章 結論與建議	94
第一節 研究結果	94
第二節 未來研究方向建議	96
參考文獻	97

圖目錄

圖 1 民國 98 年~112 年每月臺北公共自行車租借使用情形.....	14
圖 2 研究流程圖	17
圖 3 網絡示意圖	31
圖 4 規則網絡各式示意圖	32
圖 5 隨機網絡、小世界網絡、無標度網絡示意圖	32
圖 6 研究設計流程圖	40
圖 7 臺北市公共自行車站點位置分布圖	41
圖 8 研究範圍示意圖	42
圖 9 臺北市市區公共自行車租借次數	43
圖 10 臺北市 YOUTBIKE 每月使用量、數量（次數）	43
圖 11 臺北市 2023 年天氣_降雨	44
圖 12 自行車各站點原始資料表格	45
圖 13 自行車租借旅次原始資料格式	47
圖 14 資料清理流程圖	48
圖 15 VORONOI DIAGRAM IN A PLANE	49
圖 16 臺北市公共自行車站點 VORONOI DIAGRAM.....	49
圖 17 模矩度最佳化示意流程圖	52
圖 18 K-MEANS 分析演算法流程圖.....	54
圖 19 調整蘭德指數列聯表	56
圖 20 112 年 3 月份每日公共自行車使用數量直方圖.....	57
圖 21 112 年 3 月份平假日每小時公共自行車使用數量曲線圖.....	57
圖 22 112 年 3 月份每小時公共自行車使用數量直方圖.....	58
圖 23 112 年 3 月份自行車旅次資料前 50%主要高峰時段	59
圖 24 平日前 50%主要高峰時段次數統計圖.....	59
圖 25 臺北市分群網絡結構圖	60
圖 26 晨峰模矩度分群結果	61
圖 27 臺北市商辦分群	62
圖 28 臺北市銀行分群	62
圖 29 臺北市超市賣場便利商店分群	62
圖 30 臺北市車站分群	62
圖 31 臺北市運動場運動中心公園分群	63
圖 32 臺北市健身房分群	63
圖 33 臺北市電影院分群	63
圖 34 臺北市百貨公司地下街分群	63
圖 35 臺北市市場夜市分群	64
圖 36 臺北市醫院診所藥局分群	64
圖 37 臺北市學校分群	64
圖 38 臺北市補習班才藝班分群	64
圖 39 臺北市圖書館分群	65
圖 40 臺北市博物館美術館分群	65

圖 41 臺北市餐廳分群	65
圖 42 臺北市飲料店咖啡店分群	65
圖 43 OUT-INDEGREE 差值平面呈現	67
圖 44 IN-OUTDEGREE 差值平面呈現	68
圖 45 臺北市土地使用分區圖	68
圖 46 臺北市自行車分群網格化	70
圖 47 臺北市銀行分群網格化	70
圖 48 臺北市超市賣場便利商店分群網格化	70
圖 49 臺北市健身房分群網格化	70
圖 50 內湖區分群網絡結構圖	72
圖 51 內湖區自行車旅次之次分群圖	73
圖 52 內湖區商辦分群	75
圖 53 內湖區銀行分群	75
圖 54 內湖區超市賣場便利商店分群	75
圖 55 內湖區車站分群	75
圖 56 內湖區運動場運動中心公園分群	76
圖 57 內湖區健身房分群	76
圖 58 內湖區百貨公司地下街分群	76
圖 59 內湖區市場夜市分群	76
圖 60 內湖區醫院診所藥局分群	76
圖 61 內湖區學校分群	76
圖 62 內湖區補習班才藝班分群	77
圖 63 內湖區圖書館分群	77
圖 64 內湖區博物館美術館分群	77
圖 65 內湖區餐廳分群	77
圖 66 內湖區咖啡廳飲料店分群	77
圖 67 大安分群網絡結構圖	78
圖 68 大安自行車旅次之次分群圖	78
圖 69 大安區商辦分群	80
圖 70 大安區銀行分群	80
圖 71 大安區超市賣場便利商店分群	80
圖 72 大安區車站分群	80
圖 73 大安區運動場運動中心公園分群	81
圖 74 大安區健身房分群	81
圖 75 大安區百貨公司地下街分群	81
圖 76 大安區市場夜市分群	81
圖 77 大安區醫院診所藥局分群	81
圖 78 大安區學校分群	81
圖 79 大安區補習班才藝班分群	81
圖 80 大安區圖書館分群	81
圖 81 大安區博物館美術館分群	82
圖 82 大安區餐廳分群	82
圖 83 大安區咖啡廳飲料店分群	82

圖 84 內湖區自行車旅次網格化	83
圖 85 內湖區商辦網格化	83
圖 86 內湖區健身房網格化	84
圖 87 內湖區學校網格化	84
圖 88 內湖區咖啡廳飲料店網格化	84
圖 89 大安區自行車旅次網格化	87
圖 90 大安區銀行網格化	87
圖 91 大安區車站網格化	87
圖 92 大安區健身房網格化	87
圖 93 大安區博物館美術館網格化	87
圖 94 大安區餐廳網格化	87
圖 95 合併集群示意圖	90

表目錄

表 1 公共自行車的發展歷程	20
表 2 臺灣目前各縣市公共自行車租賃系統情況	21
表 3 臺北市 2023 年氣溫與降雨	44
表 4 POI 類型	46
表 5 資料取得來源	46
表 6 自行車租借資料屬性說明表	47
表 7 程度中心度前十名站點	66
表 8 臺北市程度中心度出入度差值表	66
表 9 各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI	69
表 10 內湖區各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI	83
表 11 內湖區調整蘭德指數輔助說明表	85
表 12 大安區各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI	86
表 13 大安區調整蘭德指數輔助說明表	88
表 14 內湖區自行車旅次合併集群與健身房相比較之 ARI 與 RI	90
表 15 內湖區自行車旅次合併集群與博物館美術館相比較之 ARI 與 RI	91
表 16 內湖區自行車旅次合併集群與百貨公司地下街相比較之 ARI 與 RI	92
表 17 大安區自行車旅次之合併集群與電影院之 ARI 以及 RI	94

第一章 緒論

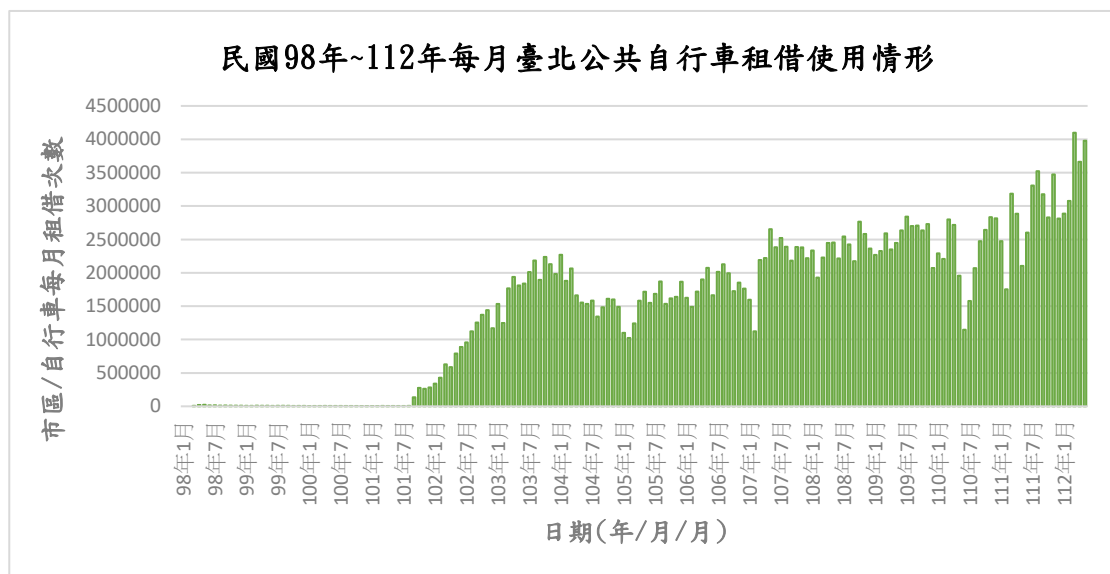
第一節 研究背景與動機

一、研究背景

當代城市面臨著嚴重的交通壅塞、空氣污染和能源浪費等問題，這些挑戰迫使社會尋求永續發展和環保的解決方案。在這樣的背景下，綠色運輸成為了改善城市交通問題的重要途徑之一，而自行車作為一種低碳環保的交通工具，已逐漸成為全球城市的焦點和首選。

「公共自行車租賃系統」(英語：Bicycle Sharing System，又作：Public Bicycle System, PBS) 作為促進環保出行的重要設施之一，透過可以甲地租乙地還之概念，提供便捷又環保的共享自行車服務，為「第一哩路」或「最後一哩路」的出行需求提供了有效的解決方案；全球各大城市紛紛投入公共自行車系統的建設與推廣，其中荷蘭阿姆斯特丹 OV-fiets 系統、美國紐約 Citi Bike 系統、丹麥哥本哈根 City Bike 系統等成功案例彰顯了公共自行車系統在城市可持續發展中的重要作用和價值；相較於國際上的發展，臺灣政府也積極推動綠色運輸政策，以減少溫室氣體排放、改善空氣品質，提升民眾生活品質。交通部運輸研究所在其 2020 年的「運輸政策白皮書-綠運輸」(交通部運輸研究所，2020)中，對公共運輸與私人運具使用情形、車輛能源效率標準與電動化、自行車、空運、海運等綠運輸發展情形進行了深入探討，為臺灣的綠色運輸發展提供了重要參考。

總體而言，公共自行車系統在推動城市綠色運輸、改善交通擁堵與減少空氣污染方面發揮了重要作用，騎乘人數也逐年快速攀升(圖 1)。在現代城市化進程中，以永續發展和環保為主題的交通模式已成為社會的共識，公共自行車系統無疑是城市交通發展中重要的角色。



資料來源：本研究彙整

圖 1 民國 98 年~112 年每月臺北公共自行車租借使用情形

二、研究動機

正如 Michael Batty 在其著作《The New Science of Cities》中所指出：「To understand cities we must view them not simply as places in space but as systems of networks and flows ; And to understand space, we must understand flows, and to understand flows, we must understand networks- the relations between objects that compose the system of the city. 」(Batty, 2013)。他重新定義了城市的概念，說明城市不只是傳統都市規劃所認為的地理位置或空間，還是一組複雜關係網絡中的節點，這觀點顛覆了傳統都市主義的理解方式；且透過複雜科學、社會物理學、城市經濟學、交通理論、區域科學和城市地理學的理論與方法，基於自身的前期工作，提出了揭示城市運作深層結構的理論與方法。

都市空間結構不僅是地理上的分佈形態，更代表了都市中各種活動、人類和資源之間的綜合相互作用，包括地形、建築、道路、綠地、水體等要素的組織方式和空間關係，涉及到都市內部資源的分配和旅行需求。透過對人口流動和活動強度等因素的分析，可以逐步揭示居民日常生活的空間結構。因此，都市空間結構是城市中各種要素相互關係和組織方式的綜合體現。現代人類交流的複雜性、長途移動的便利性以及跨區域政治邊界互動的增加，使地理邊界成為反映人類互動模式多尺度特性的關鍵因素。透過分析都市空間結構，可以更好地理解都市運作方式，為都市規劃和發展提供重要參考和建議。

與此同時，資料庫的發展和科技進步引領著大數據時代的來臨，公共自行車系統不斷生成的軌跡數據記錄了居民在城市中的移動，已成為洞察城市運行和居民行為的寶貴資源，而這些複雜的流動數據可以代表都市內部部分的互動模式，足以反映都市部分活動空間的特性。近年來國外有許多應用大數據進行都市空間結構之分析，且已建構其研究方法架構，惟國內研究仍處於初步成熟的階段。因此，本研究期望從都市興趣點的層面來揭示臺北市公共自行車資料庫所呈現的空間特性為何，並比較自行車的空間移動模式與都市興趣點的空間分群是否具相關性。

第二節 研究缺口與目的

一、研究缺口

目前國內大多數研究仍著重在運用數據歸納公共自行車的使用型態，並分析不同因子對各個使用型態的影響關係，大多僅專注在單一因素上分析公共自行車系統的效益及影響或者土地使用資訊不夠精準，使結果不盡期然，且目前尚未有空間範圍比較量化之方式。相關研究列舉如下：

顏郁慈（2022）展現人類旅次活動與都市空間結構的耦合關係，並提出了一套基於大數據的流程來檢視地區的空間結構。然而，該研究較著重在都市空間結構的功能與型態面向，尚缺乏聯繫面向，如交通出行與空間結構之間的關聯性。因此，若進一步探討不同數據和資料對都市型態的影響，可達到更加全面的都市空間結構描述；另外研究中辨識住宅及商業屬性細分類之功能分類，遊憩與學校等功能未能

被良好的呈現，其原因可能歸咎於空間研究單元的大小限制。後續研究可考慮以較小之單元規模作為研究基礎，如此就能得到更加詳細的功能區分；羅先豪 et al. (2022) 利用非負矩陣分解歸納出 48 個基本使用型態，揭示了公共自行車使用的多樣性使用型態。但研究僅以土地使用推論可及性為基礎，對於商業活動和其他興趣點等細分類功能的呈現還不夠精準。因此，後續的研究若能考慮使用更精確的業種業態資訊或興趣點(point of interest, POI)資訊來補充，以更精準地建立活動可及性因素的變數；蘇翊筑 (2022) 以社會網絡分析方法探討公共自行車旅次與興趣點的空間結構之間的比較。然而研究結果並未完全符合假說，切割出來的空間單元面積差異太大；另外核密度分析部分，僅有點位分布產生的熱區位置以及視覺化的呈現，無法具體的建立興趣點設施所影響的範圍邊界。因此，後續研究可針對如何界定與計算不同設施的分布所呈現的空間範圍與自行車旅次空間範圍的比較；另外此研究使用的資料為youbike1.0的旅次資料，而YouBike2.0的設站概念和機制可能更符合實際的旅次目的。因此，未來的自行車使用型態相關研究建議選用更新且資料量更大的YouBike2.0旅次資料，以更好地反映都市活動空間的實際情況。

綜整以上，可以觀察出目前的研究已經為公共自行車與都市空間結構的關聯性提供了重要的洞察，但仍有許多方面需要進一步的深入研究，例如：更精確的功能分類、空間單元切割方式的改進、利用更新的資料庫以及以量化的方式計算不同設施分布所呈現的空間範圍之比較等。再者，目前鮮少研究探討自行車旅次流動方向、活動類別或探討兩者間相互間的關係等層面。因此，若能將這些數據資料串聯起，了解數據背後蘊含的潛在價值，以及識別都市內人口流動方向與活動類別，將有助於解析複雜且連續的空間結構(Ratti et al., 2006)，對於未來城市交通規劃和永續發展具有一定的重要性，同時也能為都市交通規劃提供實證基礎。

二、研究目的

本研究旨在探討公共自行車旅次與都市興趣點(POI)之間的空間分群差異，並以量化的方法揭示這些分群背後的空間意涵。由於過往對於空間意涵的研究多以文字敘述和主觀經驗為主，缺乏客觀的量化支持。本研究試圖透過調整蘭德指數(Adjusted Rand Index, ARI)和具象指標興趣點來量化這些空間分群，以提供更精確的解釋。

綜合以上，本研究之目的摘要如下：

(一) 以具象的興趣點作為都市空間結構指標：

由於興趣點作為有用及有趣的特定位置點，指人們潛在興趣的地方或目的地，通常被視為都市中重要地標與節點，也經常成為都市活動的焦點，足以反映都市的功能區劃和居民活動的核心需求，幫助了解一個地區的趨勢與運作模式；而YouBike自行車租借的數據變化，對比站點周邊用地功能，可推測使用者特徵，利於挖掘站點空間本身真正的潛在價值機會，以及了解一個地區的趨勢與運作模式，期望能提供更精確的數據支持，以提升對都市空間結構和活動模式的理解。因此本研究將以興趣點作為解讀都市空間結構的指標。

(二) 量化公共自行車旅次與興趣點的空間分群差異：

傳統上，空間分群的解釋多依賴經驗和主觀判斷，因此本研究希望突破過去利用創新方式以量化發現特徵，用質化探究原因，採用調整蘭德指數和興趣點的類型與密度，客觀量化臺北市公共自行車旅次與都市空間結構的關聯性，

提升對空間分群差異的理解。當 ARI 值越高則表明兩者的空間分群相似度越高，這意味著此興趣點分群結果與人們真實活動空間的分布特徵更為吻合。

(三) 以小範圍分群驗證區域的空間特徵：

透過更小範圍的次分群分析，有助於精確地進行空間分析和模型建構。因為小尺度區域具有更相似的社會經濟特徵和人口結構，如此可以更精確地理解和比較不同地區的人類互動模式和都市結構。本研究將以臺北市的內湖區和大安區為例，逐一分析與說明兩區域在土地使用、人口結構、交通模式及政策導向上的特徵差異。

(四) 測試合併群集以提升調整蘭德指數之效果：

為了更準確地反映都市空間的結構特徵，本研究嘗試利用合併集群(Cluster Merging)的方式來調整分群數，以利提升調整蘭德指數(ARI)。這一方法有助於提升空間分群的相似程度，也為後續的城市規劃提供更科學的依據。

第三節 研究流程

本研究依序分為五大部分，包含緒論、文獻回顧、研究設計與方法、研究結果與討論以及結論與建議。在緒論後進行公共自行車、大數據與都市空間活動等面向的文獻回顧，並進行研究設計與實證，最後再根據實證分析提出結論與建議。

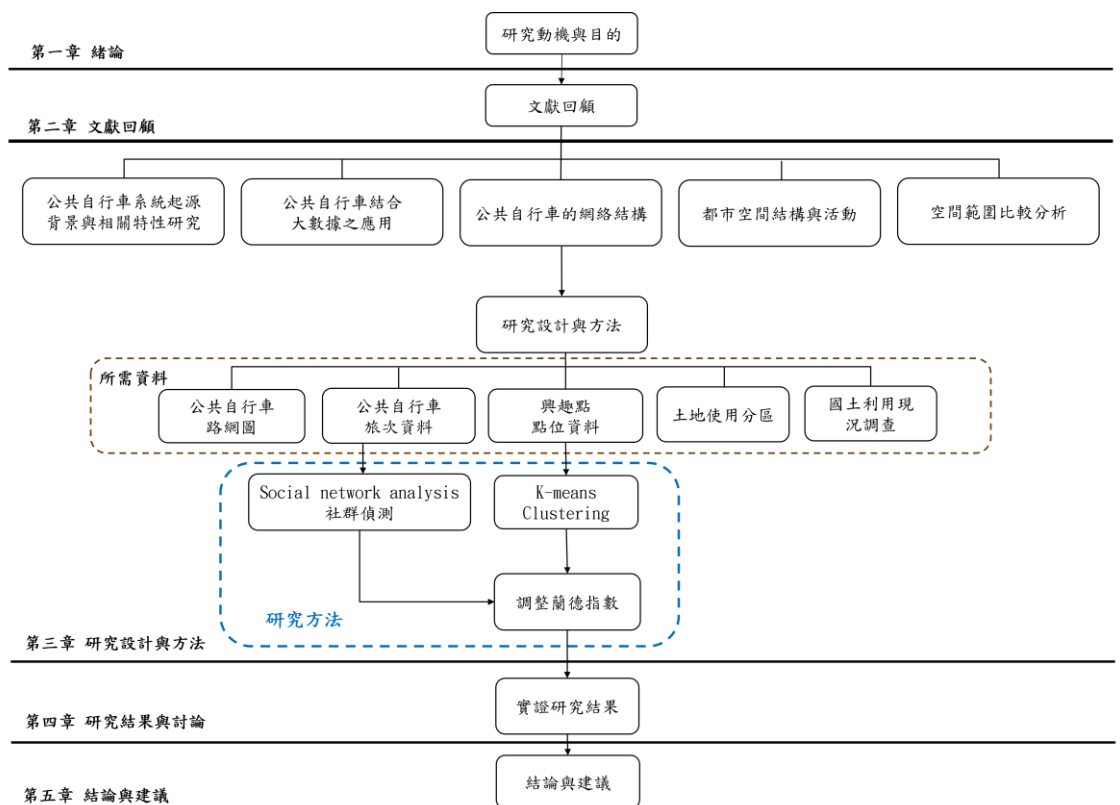


圖 2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

公共自行車滿足了騎乘者的短程的旅行需求，包括第一哩路或最後一哩路，這些旅次反映了都市部分活動空間的特性；與此同時，資料庫的發展和科技進步引領著大數據時代的來臨，研究者們積極利用這些資源來解析公共自行車的使用習慣、出行特性或目的；另外，興趣點(Point of interest)作為特定位置的指標，是人們潛在興趣的地方或目的地，足以反映都市的功能區劃和居民活動的核心需求，因此被許多學者廣泛應用於辨識都市空間結構(Urban Spatial Structure)，來幫助了解一個地區的趨勢與運作模式。

本研究旨在探勘公共自行車旅次資料庫，結合站點周邊的多元興趣點，分析某都市部分活動空間結構的特性，藉此更加了解公共自行車在都市空間中所帶來的重要性與意義。因此，本章包含第一節「公共自行車的起源、背景與相關特性」藉此回顧公共自行車的背景知識；第二節「影響公共自行車使用因素與特性之相關研究」；第三節「公共自行車的網絡結構」以及最後第四節「都市活動與空間結構」。

第一節 公共自行車系統起源、背景與相關特性研究

一、 公共自行車起源、發展與趨勢

(一) 起源與發展歷程

公共自行車，原文為Bicycle Sharing System，或稱Public Bicycle System (PBS)，最早起源於歐洲，屬於綠色交通運輸工具的一種。為提供大眾租賃腳踏車使用權的一種服務，其發展歷程雖然已久，但在近二十年才又因永續發展的議提倡綠色交通而受到重視。公共自行車主要概念是在都會區內以免費或平價的租賃的方式，共享自行車使用權，讓大眾使用自行車來代替其他大眾運輸工具或私有車輛進行短程的通勤，達到紓解交通擁塞、減低噪音和空氣污染的目的。通常也被認定作為解決大眾運輸系統中的「最後一哩路(last mile)」的方式之一，透過連接使用者住家或目的地與大眾運輸系統網絡形成點到點之串聯，增加便利性與靈活度。

第一代公共自行車的概念最早起源於1968年荷蘭阿姆斯特丹(Amsterdam)的「白色自行車計畫」(White Bikes Program 或荷蘭文:Witte Fietsen)，作為進步時代的意識形態，由一群青年在阿姆斯特丹將數十輛單車漆上白漆，放置街上供人們自行取用。其計畫理念主張單車不上鎖，模式與今日的無樁式共享單車有些類似。不過最後因當時的科技尚未成熟，再加上許多單車遭竊，因此計畫只好中止(DeMaio, 2003)。

直到1995年，第二代公共自行車才於丹麥哥本哈根以「城市自行車計畫(Copenhagen Free Bike Program, Bicyklen)」出現，又稱為「硬幣押金階段(coin-deposit generation)」，除了改善第一代系統之缺點，如：改用具有特殊車體的設計、提供鎖車和借還車的指定租借站，以及用於解鎖自行車的硬幣押金制度等特色；同時為了改善第一代系統路邊亂停無管理的制度，於市中心包括交通場站、停車場、購物場域等特定地點設有專門停放自行車的固定站點，同時須透過約3美

元押金借還車, 來降低車輛失竊的問題(Shaheen et al., 2010)。

隔年 1996 年, 英國樸茨茅斯大學 (University of Portsmouth) 推出磁卡租借的公共自行車系統, 大幅改善了自行車的遺失率; 接著隔兩年法國雷恩(Rennes)推出「智慧管理公共自行車計畫」(Smart Bike), 可在市內各處停放點取車還車, 刷會員卡開鎖; 不久, 歐洲許多城市也陸續重視並推出共享自行車, 有樁式共享單車漸成流行, 此階段為**第三代公共自行車**。

直到 2005 年 5 月, 於法國里昂 (Lyon) 建置的公共自行車系統 Vélo'v, 為世界上第一座公共自行車系統, 由一個法文單詞 vélo (腳踏車) 和一個英文單詞 love (愛) 所組成的, 意為愛的腳踏車, 是里昂市內的自助式自行車網絡。當時法國政府一共設立了 2000 多輛自行車, 100 多個 Vélo'v 站的自助式自行車網絡, 受到市民們的熱烈歡迎; 另外又於 2007 年, 與戶外廣告公司 JCDecaux 合作在巴黎(Paris)推出的 Vélib (法文單車 vélo 與自由 liberté 字結合), 而此系統成為了當時發展最成熟的共享單車服務系統, 已於 2018 年更名為 Vélib' Métropole, 。

第四代公共自行車又更近一步, 提出**需求反應多模式系統**(demand-responsive, multimodal systems)的新定義與改進方向。透過建立在第三代自行車系統的基礎上, 除了具備高效能租借站(如可移動式站點、太陽能供電站點)、車輛調度派遣系統、觸控式服務機台以及支援電子票證之租借模式之外, 還更強調整合交通運輸系統的串接, 透過「一卡通」的方式連接其他交通工具如: 公車、捷運等, 打造方便的運輸交通環境; 其中第四代首度於 2008 年在匈牙利布達佩斯 MOL BuBi 出現, 縮寫 Budapest 和 Bicikli (匈牙利語中的自行車), 意思是「泡沫」, 其設計宗旨為在盡量降低租借站的空置與滿載的風險。而為了實現這一目標, 車站的規模將根據預期的交通量而變化, 且每輛自行車都配備了額外的鎖, 如果鎖定就會向廠商發送警報, 接著再由廠商重新分配自行車; 同時, 採用會員制的租借管理, 使用者可依據自身旅次需求購買特定費率方案, 而營運商可同時憑藉租借者的個人資訊管理自行車使用情況, 整體透過高效能租借站來達到更有效率及完善的服務。後續又有許多國家城市採取此模式, 例如: 加拿大蒙特婁 BIXI 系統、美國芝加哥 Divvy 系統、紐約市 Citi Bike 系統與灣 YouBike2.0 系統等。

根據多數的文獻記載, 都市公共自行車的發展歷程大致可分為四個階段 (Midgley, 2011; Parkes et al., 2013)。以下為整理的表格(表 1):

表 1 公共自行車的發展歷程

公共自行車系統	時間	特色	經典例子
第一階段- 免費自行車階段	1965 年	● 設施僅為政府提供的公共自行車而已,並沒有可供自行車停放的租賃站點。 ● 公共與私有自行車區別明顯:自行車沒有配鎖 ● 使用公共自行車免費:沒有固定的自行車站點。	荷蘭阿姆斯特丹初期的「白色自行車」(White Bikes)計畫
第二階段- 硬幣存取階段	1992~1995 年	● 設施不僅包含自行車,還增設了可供停放的站點 ● 額外增加了專門的自行車站點,存取自行車需要使用硬幣作為定金,且自行車均配有車鎖, ● 自行車免費使用	丹麥哥本哈根 Bicyklen 系統
第三階段- 智慧卡階段	1998 年	● 將硬幣存取的借用方式改為使用智慧卡租借,費率制度為前三十分鐘免費。 ● 同時該階段還設有專門的服務站點以辦理智慧卡和進行服務證詢。 ● 後期新增電動自行車,並擁有專門站點提供即時的車輛供給情況查詢服務 ● 車輛配有 GPS 追蹤設備,以防止自行車失竊	法國里昂 Vélo'v
第四階段- 需求反應多模式系統階段	2008 年 至今	● 改成高效能租借站,例如:可移動式站點、太陽能供電站點、車輛調度派遣系統、觸控式服務機台以及支援電子票證之租借模式。 ● 強調公共自行車系統與其他大眾運輸系統的串接,透過「一卡通」的方式整合多種公共交通運具,打造無縫運輸的交通環境。(DeMaio, 2009; Shaheen et al., 2010; 白詩榮 & Pai, 2014)	匈牙利布達佩斯 MOL BUBI、加拿大蒙特婁 BIXI、美國芝加哥 Divvy、紐約市 Citi Bike、臺灣 YouBike2.0

回顧上述四代公共自行車的發展歷程,可得知過去公共自行車系統發展歷程中,由於科技和技術的限制,許多方面包括自行車設施、政府政策和管理能力都有待加強;然而,近年來科技迅速發展,公共自行車系統的服務水平大幅提升。同時,配合政府統一支付方式且提供轉乘公車、捷運(環狀線、機場捷運與輕軌)等優惠,使得連結更加方便順暢,大幅提高了民眾騎乘公共自行車的意願。

(二) 臺灣公共自行車發展歷程

臺灣首座公共自行車系統為 2009 年高雄市啟用的接駁行公共自行車系統 C-Bike，由於當時臺北與高雄兩座公共自行車系統於 2009 年啟用初期營運績效不佳，使得高雄 C-Bike 合作廠商放棄經營權改由高雄捷運公司接手經營，而臺北則由臺北市政府交通局以 BOT 模式委託本土自行車大廠巨大機械（捷安特）建置和營運，並以「YouBike 微笑單車」作為對外的服務品牌名稱，是全臺灣第 2 座採無人化自助式服務的公共自行車租賃系統，也是全台第 1 個 YouBike1.0 系統。

臺北 Youbike 於 2009 年 3 月 11 日開始示範營運，最初僅在信義計畫區周邊設置 11 個站點及 500 輛踏車，針對該地區所呈現出來的問題進行改善。經試營運期過後，2012 年 11 月 30 日正式啟用時，YouBike 微笑單車已發出超過 13 萬張會員卡，累計的租賃次數超過 100 萬，且截至 2023 年 8 月 17 日，租借次數已累積到 268,716,225 車次。

另外，由於 YouBike1.0 設站標準較高且複雜，因此設站硬體需求較低的 YouBike2.0 系統於 2020 年 1 月 15 日推出。最初僅試辦於臺北公館捷運站及臺大校總區周邊區域三個月，後來因回饋良好，政府決定在 2022 年底前將原 1.0 淘汰並替換成 2.0 的系統，同年 9 月高雄市也全面改成 YouBike2.0 系統取代原 CityBike 系統；陸續嘉義市、臺中市、新北市、新竹市、新竹科學園區、苗栗縣、新竹縣、臺南市與屏東縣也都紛紛加入或汰換成 YouBike2.0 系統；臺南市與屏東縣也於 2023 年 3 月改換成 YouBike2.0 微笑單車系統。根據 2023 年統計，臺灣本島目前有建置公共自行車租賃系統的地區僅剩彰化縣及雲林縣採用非 YouBike 系統。以下表 2 為全臺目前各縣市公共自行車租賃系統：

表 2 臺灣目前各縣市公共自行車租賃系統情況

租賃系統	設定區域	啟用日期	備註
臺北市公共自行車 (YouBike)	臺北市	2009-03-11	採用 YouBike 微笑單車 1.0 → 2.0 系統
新北市公共自行車 (YouBike)	新北市	2008-10-31 臺北縣公共自行車 租借系統 2013-09-02 NewBike 2014-01-01 YouBike	2015 年 4 月之後全面採用 YouBike 微笑單車 1.0 系統 2021 年 9 月 1 日後為 YouBike 微笑單車 1.0 → 2.0 系統
桃園市公共自行車 (YouBike)	桃園市	2016-02-04	採用 YouBike 微笑單車 1.0 系統 → 2.0 系統
新竹市公共自行車 (YouBike)	新竹市	2016-05-26	採用 YouBike 微笑單車 1.0 → 2.0 系統
新竹科學園區公共自行車 (YouBike)	新竹科學 園區	2017-08-30	採用 YouBike 微笑單車 1.0 系統 → 2.0 系統
新竹縣公共自行車 (YouBike)	新竹縣	2022-06-27	採用 YouBike 微笑單車 2.0 系統

租賃系統	設定區域	啟用日期	備註
苗栗縣公共自行車 (YouBike)	苗栗縣	2018-06-26	採用 YouBike 微笑單車 1.0 系統
臺中市公共自行車 (YouBike)	臺中市	2014-07-18	採用 YouBike 微笑單車 1.0 → 2.0 系統
彰化縣公共自行車 (MOOVO)	彰化縣	2014-05-22 YouBike 2021-09-01 MOOVO	2021 年 6 月 29 日 YouBike 合約終止，同 年 7 月 27 日由 MOOVO 商短暫營運原 YouBike 系統 2021 年 9 月 1 日全面改 為 MOOVO 無樁系統，為 臺灣本島首個未採用 YouBike 系統之縣市。
雲林縣公共自行車 (MOOVO)	雲林縣	2023-08-03	採用 MOOVO 無樁系統
嘉義市公共自行車 (YouBike)	嘉義市	2016-02-03 eBike 2020-12-15 YouBike	2019 年 4 月 8 日 eBike 終止營運，2020 年 12 月 15 日採用 YouBike 微笑單車 2.0 系統
嘉義縣公共自行車	嘉義縣	預計 2024 年中	預計 2024 年中啟用
臺南市公共自行車 (YouBike)	臺南市	2016-08-08(T-Bike) 2023-02-23(YouBike)	水靈科技研發系統與 營運 2023 年 2 月 23 日之後 陸續採用 YouBike 微 笑單車 2.0 系統
高雄市公共自行車 (YouBike)	高雄市	2009-03-01 2013-12-04 City Bike 2020-07-01 YouBike	2009 年 3 月 1 日系統由 水靈科技設計、統立營 運 2011 年 8 月 18 日改由 高捷公司接手、2013 年 12 月 4 日命名 City Bike 2020 年 7 月之後陸續採 用 YouBike 微笑單車 2.0 系統
屏東縣公共自行車 (YouBike)	屏東縣	2014-12-14 Pbike 2023-02-01 YouBike	高捷公司研發系統與 營運 2023 年 2 月之後陸續採 用 YouBike 微笑單車 2.0 系統
金門縣公共自行車 (K Bike)	金門縣	2017-04-16 2018-12 (暫停服務) 2019-05 (恢復服務) 2023-12-31 (結束營運)	--

另外，由於各國自行車共享系統發展歷程的內容及計畫名稱有所差異，對於自行車共享系統的原文及譯名有多種說法，在我國有自行車共享系統、公共自行車系統(public bicycle scheme or public bicycle system, PBS)」（解鴻年 & 張馨文, 2011）、公共自行車計畫(public bicycle program)、公共自行車租賃計畫(bike-sharing service program)等皆為類似相通的概念(白詩榮 & Pai, 2014)。因此，以下內容本研究將統一以「公共自行車系統」為名。

二、 影響公共自行車使用因素與特性之相關研究

公共自行車相較於捷運、火車、高鐵或公車等其他大眾交通運具，所造成的污染及能源消耗皆為最低，對於環境亦為非常友善，僅次於步行；同時，若同樣單位時間內，自行車所騎乘之距離遠遠大於步行的距離，可大幅提升單位時間內的移動距離；另外，因設有固定停放的自行車站點，較無須擔心停放問題，對於公共自行車使用者從住家騎乘至大眾運輸場站周邊停放等地方都非常方便。因此，公共自行車可說是漸漸融入都市人的生活中。

目前以公共自行車系統作為研究主題所涉略的面向包含極為廣泛，例如：時間面向、空間面向、使用需求特性面向等，以下文獻將從部分面向的角度切入與回顧：

(一) 時間與空間面向

Buck and Buehler (2012)分析了華盛頓特區 Capital Bikeshare 系統的自行車共享使用的空間決定因素。結果顯示，自行車道供給和自行車站附近的人口密度對自行車需求產生積極的影響。Daddio 和 McDonald 還對 Capital Bikeshare 系統的乘客數據進行了回歸分析，得出的結論是靠近零售設施、地鐵站和自行車共享系統中心與自行車共享出行產生呈正相關。

Hampshire and Marla (2012)將客流量數據在巴塞隆納和塞維亞的次城區(SCD)層面進行匯總，並按小時進行客流量使用分析。研究結果發現，巴塞隆納和塞維亞的自行車共享系統的自行車使用模式與人們的日常通勤行為一致，人口和就業密度以及土地利用屬性與較高的公共自行車使用率相關。例如：巴塞隆納和塞維亞的公共自行車較高客流量與早上工作出行的增加有相關；晚上則是更多元的出行目的，而這些夜間出行距離較上班更短且離家更近。

He et al. (2019)發現近年來自行車共享計劃變得越來越受歡迎，作者認為此計劃有助於城市可持續的交通發展。然而共享電動自行車仍處於發展的早期階段，與傳統自行車相比，電動自行車(e-bike)透過電動踏板輔助電機提供額外的助力，從而可以更輕鬆地在丘陵地形的城市(例如 Park City, Utah)行駛。Park City 的 Summit 自行車共享系統是美國第一個全電動自行車共享系統(e-BSS)，引入 Summit 自行車共享系統旨在為當地居民和遊客提供便捷的城市出行方式，並減少交通擁堵和空氣污染。研究透過對 Summit Bike Share 歷史出行數據進行分析，呈現系統的性能體驗並評估用戶特徵和出行行為，以及利用泊松回歸分析來研究影響該 e-BSS 的電動自行車共享使用的因素。結果顯示包括溫度與風速在內的天氣因素有顯著影響公共電動自行車的使

用，甚至發現在週末、夏季、人口密度高、靠近公共交通中心、娛樂中心以及自行車道對於電動自行車的需求產生更積極影響。研究結果可以幫助 Summit Bike Share 的營運商更好地了解用戶和他們的 e-BSS，同時也為目前處於規劃階段的其他電動自行車項目提供指導。

倪如霖 (2016)為了讓公共自行車系統資源效益最大化以及達到永續運輸之目的，認為有探討對於影響公共自行車使用量之重要因素的必要。透過臺北市 YouBike 公共自行車系統為研究樣本，分別對於租借量空間與時間分佈進行分析。最終結果透過地理加權迴歸和函數資料分析方法得出例如：社會經濟變數、距離公共運輸遠近之變數、私人運具之變數與平假日差異等不同因素對於不同地區和時間的租借量產生不同影響的程度，且結果顯示地理權迴歸模式的解釋能力較全域型迴歸模式要來得佳。

鍾凱如 (2022)由於近年來關於公共自行車的研究論文大多為採用短期橫斷面數據或以抽樣、問卷調查形式評估其使用特性及影響因素。因此，想欲透過運用臺北市 YouBike 系統長時間下使用者之租借情況與分佈型態，加上考量縱向時間與空間差異概念，建構公共自行車使用需求趨勢模型。實證結果顯示，歷年租借時間趨勢相似且大部分為短程使用，而熱門租借站點與騎乘路線大多鄰近捷運站和學校周邊；另外，影響公共自行車使用量顯著因素的變數有：人口數、從業員工人數、站點數量、假日與降雨天數。影響使用變化量之顯著因素則為：人口數、與捷運站點距離及站點數量。透過地域型的迴歸模型結果得知不同變數考量空間特徵下之影響程度和顯著性檢定皆有所差異，且應用多尺度地理加權迴歸可更有效地解釋空間變異下不同因素對於公共自行車使用之影響。最後，也針對研究結果提出系統站點佈局、容量調整、車輛調度以及自行車道路網規劃等相關策略建議，來提升整體公共自行車使用量。

蘇翊筑 (2022)公共自行車系統具備主動出行與短距離旅次的特性，拜科技進步所賜，使用者的租借資料被詳細記錄下來，形成龐大的數據資料庫，而這些數據能夠提供分析都市移動的重要資訊，有助於研究都市中的旅運行為與個人移動的空間分布；然而，過去研究中對於都市結構的分析沒有標準的框架或程序，故此研究以臺北市為研究範圍，分析公共自行車的使用資料呈現的旅次型態，應用社會網絡的概念分析公共自行車旅次資料所呈現的都市活動型態，並透過社群偵測的模矩度指標指認自行車站點的階層式組織結構。研究成果得出單一設施的空間分布與自行車使用型態的空間分布比較結果成效並不是非常好，後續可針對這部分加以改善。另外，此研究有助於理解都市活動背後所反映的空間結構也加強對於自行車使用型態的分析，分析旅次型態的框架可以作為都市空間規劃的基礎資訊。

(二) 使用需求特性面向

● 建成環境

Duran-Rodas et al. (2019)為了確定影響公共自行車使用量的因素對於政策制定以及檢查可轉移性以及性能和可靠性方面是必要的，因此透過制定數據驅動的方法，應用於德國六個城市以及歐洲北美三個城市。結果表明，該模型的性能取決於不同時間段內租借行為的變化。其中影響最大的變量與城市人口、距市中心的距離、休閒相關設施和交通相關基礎設施有關。而這種數據驅

動的方法可以作為支持決策工具來實施或擴展自行車共享系統。

Lee et al. (2015)透過韓國昌原市（世界公共自行車系統領先城市之一）的案例研究，分析社區環境對居民使用公共自行車的影響。該研究採用分層線性模型提供統計分析。結果表明，公共自行車通勤或上學的使用受到公共自行車基礎設施的影響，例如公共自行車終點站和自行車道等。作者也提到若為了提高公共自行車的使用，規劃者應考慮定性因素，例如提高自行車道、自行車設施的質量、街道環境的多樣性、土地利用和設施的可及性等有關建成環境面向。

劉鴻錡 (2017)為探討建成環境對於公共自行車使用時空型態的影響關係，以臺北市與新北市之 Youbike 公共自行車系統為研究對象。經由階層式分群演算法加以分群，歸納出雙北市公共自行車的使用類型，並使用建成環境 6D 分類變數進行選取。研究結果證實 6D 建成環境變數(密度、多樣性、設計、目的地可及性、大眾運輸場站距離以及公共自行車系統分布)皆會影響公共自行車使用的時空型態，且平假日與租借歸還行為間的影響也有所差異。同時，此研究結果還可事先推測不同土地利用環境之公共自行車站點的使用時空型態類型，提供公共自行車站點規劃與營運上的策略建議。

● 整合與轉乘

夏明達 (2018)由於整合自行車及大眾捷運系統就能夠提升公共運輸的可及性，進而減少私有車輛的使用，因此改善車站及周圍的自行車友善環境就是一項重要課題；作者希望基於使用者特性，提出以使用者為導向之自行車捷運整合基礎設施發展模式，探討臺北都會區發展情形。研究中首先依照國際守則提出自行車與公共運輸系統整合的架構。接著，針對自行車與公共運輸系統整合的設施，進行使用者的問卷調查及使用者偏好的評比，並應用序位羅吉特機率模型分析重要影響偏好的元素。最後，研究結果再依據地區使用者偏好以及國際守則建議，針對數個捷運站點提出相關整合設施的新設計。

孔令傑 (2021a)認為公共運輸系統在空間上的分佈狀況以及各運具間的搭配為規劃時的重要資訊，且公共自行車具備了提高公共運輸服務範圍的特性，是連接公共交通最後一哩路的關鍵運具；然而由於臺北市在大眾運輸導向型發展(Transit-oriented development, TOD)規劃上鮮有法規與相關規範，使得 TOD 規劃上難有所依循。因此為了確認公共運具間相互連接轉乘的特性用於社會網絡之概念有發展及分析的可能，以模矩度最佳化分群對轉乘網絡進行分群，建立公共自行車尺度之 TOD 範圍。研究結果發現社群多以捷運場站為核心，且受到地理因素影響，具有跨區現象；另外，亦計算各公共自行車站點的程度中心度並作為應變數，藉由地理加權迴歸討論影響各站點之相關變數。最後藉由前述分析對相關建成環境與政策進行檢討，做為未來 TOD 相關規劃與公共自行車轉乘提升之參考。

王博群 (2021)透過大數據掌握公共自行車轉乘捷運騎乘距離的趨勢，以機率模型方式釐清都市環境中影響該趨勢的關鍵因素及因果關係，研究範圍及對象為臺北市的公共自行車租借站與捷運站。研究結果顯示公共自行車轉乘捷運騎乘距離趨勢約為 2 公里，而影響該趨勢的主要因素為站點的配置與捷運站周邊的商業使用強度，故建議先以捷運站 2 公里服務範圍內改善自行車的騎乘環境來促進轉乘的使用，並可藉由公共自行車站與商業使用的規劃調配，決定理想的公共自行車轉乘捷運騎乘距離趨勢，進而使 TOD 揮出更大的效益。

羅先豪 et al. (2022)公共自行車系統的廣泛使用產生了巨量的出行數據，成為分析都市活動的數據來源之一。儘管許多文獻嘗試運用此數據來總結公共自行車的使用模式，並分析不同因素對各個使用模式的影響關係，然而卻鮮有對租賃借站的借還行為的組成特性來分析。因此透過此研究缺口的角度切入，藉以更全面了解臺北公共自行車使用型態的特性。透過將公共自行車使用模式進行分類，評估位置因素與 BSS 使用之間的關係，並採用非負矩陣分解 (Non-negative matrix factorization, NMF)，表現了各個使用分佈對各個最大化的尖峰使用現象的影響。研究結果顯示出整體借還現象可以被解讀為基本使用類型態的最強結構。總體而言，此研究對於公共自行車使用行為的知識背景有了些貢獻，不僅促進相關城市的學術，也更理解在實務上提供交通與都市規劃領域之規劃者對於自行車相關的政策決策參考。

● 交通與土地使用

王少谷 (2015)基於都市中的土地利用、區位因素會影響人們的出行模式，以及隨著科技進步都市中的各種出行行為被詳實地記錄，透過以高雄市公共自行車系統 C-bike 為研究對象，利用不同的量測指標分析公共自行車租用特性與土地使用之關聯性。將租借站座標透過地理資訊系統的地址定位，便可探究都市中不同區位租借站所表現出的旅運行為，其分析結果，將有助於規劃者與系統營運者了解不同區位條件下公共自行車租借站的使用狀況，進而研擬適當的土地使用與交通計畫。

李家農 (2006)藉由大眾運輸導向發展(transit-oriented development, TOD)的概念逐漸興盛，沈思當前台灣現行都市規劃與管理方式。從回顧過往土地使用與交通運輸的研究與發展演變，從中獲取二者整合規劃之趨勢，並以智慧型成長為目標，以大眾運輸導向發展作為土地使用與交通運輸的整合策略的目標，引導都市發展邁向永續性目標及有效的分配土地使用。

李家農 and 賴宗裕 (2009)交通運輸與土地使用之間相互影響重要又密切，因此發展了許多交通運輸與土地使用整合的都市發展的模式。從文獻回顧發現雖然全球許多城市規劃於 1990 年代開始，朝向大眾運輸導向發展(transit-oriented development, TOD)的都市模式邁進，但各個城市原屬於何種都市模式，無論在量化或質化的分類，尚無研究可以明白的界定、分類與實證。且推動 TOD 的過程中無法因地制宜，將降低預期之效益與效率。因此，此研究透過全球 36 個城市的實證分析，發展出都市模式分類的量化與質化標準，並將這些城市予以分類。最後從土地使用與交通運輸的連結觀點，提供運輸與都市整合發展之策略，提高大眾運輸程度以及土地使用的緊密度作為各國擬定政策之參考。

李家農 and 謝翊楷 (2015)認為近年臺灣發展的 TOD 尚停留在規劃者的想法，並未考量民眾的需求。因此以新北市新板特區為研究範圍及對象，欲透過 TOD 作為概念目標，應用「空間型構法則」之理論與步行導向設計理念為基礎，分析步行環境與周圍土地使用配置的合理性，並檢視捷運場站周圍土地使用該如何調整，以符合 TOD 所述的步行環境。研究結果發現，步行環境之便捷度與距離場站之遠近並非絕對、新板特區土地使用配置強弱與步行路網便捷值高低不相同以及傳統 TOD 規劃思維與步行導向規劃思維。因此若能跳脫傳統且單調的規劃方式，依據空間便捷值的高低來規劃不同土地使用發展強弱，進一步整合讓 TOD 區塊的土地使用能更具適地性。

● 房屋與住宅價格

江穎慧 et al. (2017)由於公共自行車的廣泛設站，大幅提升了大眾運輸服務範圍的可及性與便利度，以及具休閒與觀光等功能，能夠促進站點周圍的發展。為印證過去大多相關文獻都支持交通設施將透過資本化效果對周圍不動產帶來正向影響的論點，此研究欲試圖釐清公共自行車系統是否對於周圍地區不動產價格會產生影響效果。透過公共自行車系統站點資料，運用特徵價格模型，進行公共自行車對鄰近周圍 400 公尺住宅價格影響效果之分析。實證結果證實了公共自行車的設站對於鄰近地區住宅價值有正向且顯著的提升，且場站對低總價住宅正向影響大於高總價住宅，顯示出低總價住宅住戶較偏好使用公共自行車，可提供作為未來場站設置於低總價住宅區的參考；另外，通勤與非通勤(休閒)不同類型場站對周圍住宅價格影響不同，通勤類型價差約 3.1%，顯示通勤類型場站效用較大，亦可提供未來場站多設置通勤類型參考。

● 自然因素

Corcoran et al. (2014) 發現公共自行車共享計劃 Public Bicycle Sharing Programs (PBSPs)在不到十年的時間裡已發展到五大洲 200 多個計劃了。儘管此綠色交通方式迅速崛起，但對這些計劃的潛在動態的研究仍然有限，也使研究人員缺乏可用的詳細數據。因此文章的研究目的為查詢旅行級別數據使更深入了解 PBSP 旅行的動態，並透過探索外部影響（包括天氣條件與日曆事件（即國定假期和周末））。最後，強調此類分析的結果可作為政策制定者證據基礎的一部分，提供對「最佳實踐」的見解，對未來的 PBSP 擴展提供信息，以進一步提高這種非機動城市交通方式的採用。

開奕臻 (2022)目前已有許多國家城市設有公共自行車系統，為了提升運行系統效率以及增加使用量，必須了解影響公共自行車使用的關鍵因素有哪些。過去有關熱點的研究主要探討了環境、社會經濟對自行車使用的影響，然而這兩者較不會短暫快速地影響，反而是天氣變化的影響。因此，若能了解天氣因子是如何影響自行車使用，對於即時調整或長期規劃都有極大的貢獻。研究透過加入不同溫度、濕度、風速等天氣因子的自變數，以及選擇同站點、同時分段租借次數的變化量作為應變數，並以隨機森林模型作為方法，有效處理多維且類型不同的變數，以即求解天氣因子和租借量之間的非線性關係，在預測數值方面也趨於一般的線性回歸。研究結果也證實天氣因子對於不同特性的自行車旅次造成的影響有所差異。

● 需求使用

陳靖昇 (2016)由於公共自行車供需不平衡，使此研究提出一種動態自行車之調度模式，於各站營運期間，進行即時之自行車數量調度。透過最佳化模式在最小總成本的目標內，提供公共自行車系統營運者即時之調度策略。而總重新分配時間可以為公共自行車共享系統運營商提供洞察力，可滿足各車站上之實際需求及最小化營運者調度總成本。

● 旅次型態

Jäppinen et al. (2013) 公共自行車在許多國家城市已被認定是減少空氣污染、交通擁堵和碳排放的有效手段。在這項研究中，研究範圍選定是芬蘭的大赫爾辛基地區，對其共享自行車系統進行建模，並量化其對公共交通出行時間的空間影響。透過應用程序編程接口執行廣泛的數據挖掘，發現:1. 開放的交通資訊可以提供新的有效手段來評估城市地區的多式聯運可達性模、2. 自行車

共享系統的推出可以平均縮短公共交通出行時間 10%以上，意味著每次行程約 6 分鐘。因此藉由自行車共享系統補足傳統公共交通運輸系統的不足可以提高可持續城市交通方式的競爭力和吸引力，從而幫助城市促進可持續的日常出行。最後也強調，城市交通信息的開放數據源的可用性對於多式聯運城市出行模式的分析至關重要。

洪承佑（2015）為了提高可及性的公共運輸系統，並完善公共運輸系統中第一哩路或最後一哩及門服務的部分，欲建立一個結合公共自行車系統之旅次規劃演算法，將各種運具皆納入考量並探討各運具之間的使用限制與特性，透過結合公共自行車縮短運具間轉乘之縫隙，讓旅客得到最完整之旅運資訊，以提昇民眾搭乘公共運輸之意願。

總整前面的回顧可以得知已經有許多關於公共自行車的研究論文，也可以觀察出一些重要的結論和趨勢。首先，這些研究深入探討了公共自行車系統的運作、影響以及可持續性等，從不同角度提供了對城市交通和環境的洞察與見解；其次，文獻作者針對自行車使用者的行為、站點分布、運營模式等進行了深入分析，有助於更好理解公共自行車在城市中的角色。

隨著大數據時代的到來，資料庫的應用也成為探究公共自行車系統的一個重要方向。因此，以下將探討公共自行車與大數據的結合，以及探索如何透過數據收集、分析和應用，更好地優化公共自行車系統的運營和服務，並將其融入到整體都市交通規劃中。

第二節 公共自行車結合大數據之應用

一、大數據的定義

大數據（英語：big data），臺灣又稱為巨量資料，指的是傳統資料處理應用軟體不足以處理的大或複雜的資料集的術語；也可定義成來自各種來源的大量非結構化或結構化資料，甚至包括了數據的種類、速度和價值。通常大數據指的是由極大量、高速生成的數據，這些數據來自於各種數位來源，包括傳感器、社交媒體、移動設備、網絡交互等。不僅在數量上遠遠超越了傳統數據，更具備多樣性、速度快和複雜性高的特點，需要使用新的技術和方法來處理和分析。

一般而言，大數據通常包括「3V」特點，是由(Laney, 2001)定義出來的，分別為資料量(Volume)、資料即時性(Velocity)和資料多樣性(Variety)。至今陸續又發展包括真實性(Veracity)、價值(Value)、有效性(Validity)、可變性(Variability)、虛擬性(Virtual)、可視化(Visualization)以及複雜性(Complexity)以上共「6V+1C」之屬性。

在當今信息時代，大數據已成為一個廣泛討論的話題，許多領域正利用此方法引領科技、經濟和社會走向新的世代，成為科技研究、企業經營和政府治理的關鍵驅動力。透過大數據的蒐集、處理和分析，使能夠從龐大的數據中挖掘出隱含的信息和模式，進而做出準確的預測、制定有效的政策與改善產品和服務等。例如：市場方面，大數據可以幫助企業了解消費者行為，從而優化市場營銷策略；醫療領域可以透過分析大數據來預測疾病的傳播和流行趨勢；規劃

領域則可以利用大數據來優化城市的交通管理，提高公共服務的品質等。

總體而言，大數據已成為現代社會中不可忽視的力量，透過資料蒐集與分析，揭示數據背後的價值，從而促進更多領域的創新和進步。因此，接下來將結合公共自行車系統之主題做進一步的討論。

二、交通領域結合大數據

近年來，都市交通的可持續性和效率一直是都市規劃和交通管理的重要關注領域之一。公共自行車系統作為一種環保、便捷與易騎乘的交通工具，已在全球迅速發展並深受歡迎。同時，隨著數據科學和大數據技術的快速發展，都市中不斷生成的數據已成為洞察城市運行和居民行為的寶貴資源。研究者們也意識到可以利用大數據來優化公共自行車系統，掌握居民的出行模式，提供個人化的交通建議來實現交通智能化。因此，將公共自行車系統與大數據相結合，進行深入分析和應用，成為了實現智慧城市交通管理的重要一步。

目前已有許多交通領域的研究結合大數據做應用，例如：基於深度信念網絡(Deep Belief Networks, DBN)和多任務學習的方法來預測交通流量，來改進及提高準確性和效能(Huang et al., 2014)；為了識別不同的功能區以及制定更好的城市規劃，讓城市規劃者了解其空間結構是非常重要的。透過挖掘市民出行行為的數據，蒐集北京的SCD (smart card Data) 以及興趣點，並基於降維和EM (expectation-maximization) 演算法的DZoF(discovering zones of different functions)模型和聚類分析，發現識別的結果出與北京市實際土地利用情況相符的功能區。此方法不僅可以幫助城市規劃者和公眾了解複雜的城市空間結構，同時也能為城市地理學和城市規劃的學術界做出貢獻(Long et al., 2015)；藉由記錄各種移動物體（例如人、車輛和動物）挖掘其軌跡數據，闡述軌跡數據挖掘(Trajectory Data Mining)的概觀，並旨在總結和介紹軌跡數據挖掘領域的主要內容、技術、方法和應用(Zheng, 2015)；透過挖掘悠遊卡的資料來了解民眾真實的旅運型態，以了解當前社會公共運輸服務認知的缺口(林浩瑋, 2016)；利用大數據技術，從時空角度估算了共享單車對上海能源使用以及二氧化碳和氮氧化物排放的影響，理解到隨著共享單車快速發展，在降低能源消耗和排放方面具有巨大潛力(Zhang & Mi, 2018)等研究。

綜整這些研究，可以得出結合大數據的應用涵蓋領域極為廣泛，且在多個方面已取得了顯著且重要的成果與影響。從軌跡數據挖掘到能源消耗分析，從交通流量預測到旅運型態理解，都在不同領域展現了大數據的重大影響力。因此，接下來將回顧有關公共自行車結合大數據的文獻，並探討大數據在公共自行車領域的應用，並尋找未來可能的創新點與研究方向。

三、公共自行車結合大數據

在大數據興起的背景下，許多專家學者紛紛著眼於公共自行車領域，探討如何結合大數據來深入理解公共自行車的運作、使用模式與影響。以下將更深入探討部分相關研究：

Borgnat et al. (2011) 主張從信號處理和數據分析的角度，探討法國里昂的Vélo'v城市中公共自行車系統，藉由生數據足跡揭示城市在時間和空間上

的活動，例如：關注公共自行車系統的運作模式、使用者行為、系統效能以及對城市交通的影響等方面，了解與可視化 Vélo'v 自行車在城市中的流動情況；Romanillos et al. (2016) 表示大數據已開始對城市和交通規劃產生重大影響，目前關於自行車數據的研究的已呈現爆炸式增長。此研究旨在調查自行車研究人員可用的大數據源，大致分為 GPS 數據、實時點數據和旅程數據。這些數據遵循不同的數量和速度模式，表明不同的問題領域並產生不同的分析方法。討論從小規模 GPS 研究到健身和休閒應用程序或特定騎行計劃持有的「大 GPS」數據集的變化、自行車共享計劃 (BSP) 對及時點數據可用性的影響以及歷史記錄的潛力，用於趨勢分析和模式識別的旅程數據；顏郁慈 (2022) 基於多元大數據的都市空間結構識別，結合信令資料探索臺北市活動人口的強度變化，最終透過綜合流動人口結構特徵及活動人口時序變化，了解以大數據為基礎解析臺北市的空間結構。此研究體現了人類的旅次活動與都市空間結構的耦合關係，除了探討實證地區之都市空間結構外，也確立了一套基於大數據檢視地區空間結構的流程。

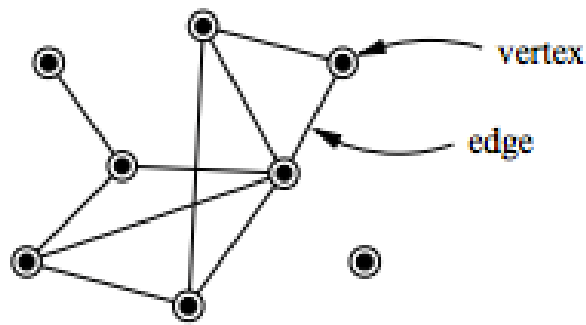
綜整以上關於大數據結合公共自行車的文獻，可揭示使用者的出行行為、活動類別與人流的動向等。這些資訊能夠提供更具體以及更深入的洞見，有助於優化公共自行車系統的運營，提升出行便捷性，並在城市交通規劃和可持續發展方面發揮積極作用。

第三節 公共自行車的網絡結構

本研究欲以社會網路分析探討臺北市公共自行車旅次間的互動關係，進而了解其所表現出的都市空間特性。故本小節分為以下：網絡的基本概念以及社會網絡的分析以上兩部分進行說明。

一、網絡基本概念

在數學、計算機科學和網絡科學中，網絡理論是圖論(Graph Theory)的一部分。圖論是一門以圖(Graph)為研究對象的理論，網絡可以定義為節點與邊具有屬性（例如名稱）的圖。網絡理論透過其（離散）組件之間的對稱關係或不對稱關係來分析這些網絡(維基百科, 2023b)。近年來，多數研究者也會從網絡結構的角度來分析都市內的交通移動性，透過點線面串聯建構成的拓撲結構，深入探討事物之間的互動關係。



資料來源：維基百科（擷取日期 112/7/5）

圖 3 網絡示意圖

過去幾十年來，對於網絡分析的空間方法，主要集中在傳統的平面和技術網絡，這些方法通常是基於經典的圖論，不過針對非平面網絡的研究（如社會學和物理學）極為有限且分散。直至 Watts and Strogatz (1998) 引進的小世界網絡 (Small-world network) 模型以及 Barabási et al. (2000) 發現無標度網絡（或稱無尺度網絡，Scale-free network）模型後逐漸受到關注，特別是在空間維度上。透過回顧以上複雜網絡研究如何融入地理學和區域科學，可揭示地理學家之間的高度異質性，並增強他們在多學科網絡研究中的角色的關鍵方向。這也表明空間維度對於理解網絡結構和功能的影響至關重要，並推動了跨學科研究的發展 (Ducruet & Beauguitte, 2014)。同時，網絡結構的其他方面也逐漸引起了人們的關注。

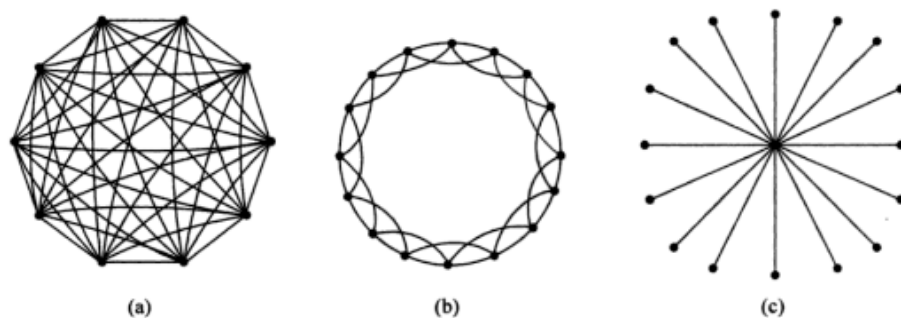
另外，在網絡分析中，理解不同網絡結構類型與其特性之間的相互關係至關重要，以便更精準地進行網絡分析並建立合適的模型。目前研究者主要提出四種實體網絡的類型，包括規則網絡、隨機網絡、小世界網絡和無標度網絡，以下將簡單說明每種類型其獨特的特點：

1. 規則網絡 (Regular Network)：具有高度有序的結構，其中每個節點都與相同數量的鄰居相連，並且具有相似的連接模式。規則網絡往往不具有現實世界的複雜性，但在某些研究和應用中仍然有價值。例如：全域耦合網絡、最鄰近耦合網絡和星形網絡 (圖 4)。

2. 隨機網絡 (Random Network)：具有高度隨機性的連接結構，節點之間的連接是隨機生成的，沒有固定的規則。通常用於模擬隨機事件和機率分佈，例如在傳染病傳播模型中。

3. 小世界網絡 (A Small World Network)：介於規則網絡和無標度網絡之間的結構，其字面「小」代表近的意思，不只是距離上的近，而是關係上的緊密。在小世界網絡中大部份的節點彼此並不相連，但絕大部份節點之間經過少數幾步就可到達，此為小世界網絡的特性。通常出現在現實世界的社會網絡中，例如社交媒體中的好友關係網絡。

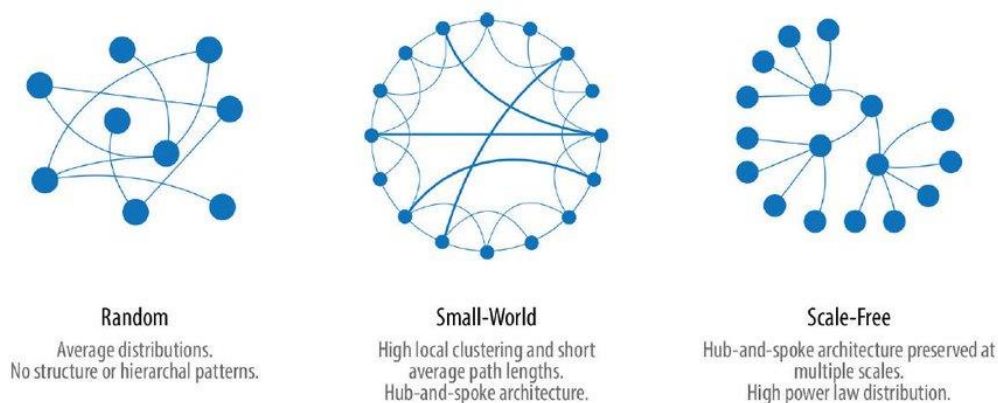
4. 無標度網絡 (Scale-Free Network)：為極具特殊性的網絡型態，存在少數極度連接的節點，而大多數節點只有少量連接。無標度網絡結構反映了現實世界中的不平等現象，例如網際網絡中的網站連接模式或社交網絡中的影響力用戶。



資料來源：汪小帆 et al. (2006)

圖 4 規則網絡各式示意圖

(a)全域耦合網絡 (b)最鄰近耦合網絡 (c)星形網絡



資料來源：Neo4j

圖 5 隨機網絡、小世界網絡、無標度網絡示意圖

另外關於小世界網絡的應用，Thiemann et al. (2010) 認為地理邊界的識別和量化以及全面評估對於理解人口移動過程非常重要。由於現代人類交流的複雜性、長途移動的便捷性以及跨越政治邊界互動的增加，使地理邊界的定義與評估變得更加複雜。其中，地理邊界又最能反映當今人類居住地區中連通模式的多尺度性質，因此使用了小世界網絡模型，以研究邊界在網絡結構中的角色和特性。結果發現小世界網絡中的邊界不僅存在於物理空間上，還存在於虛擬空間中，並且這些邊界在網絡中起了重要的結構性作用。而有效邊界與現有行政邊界僅部分重疊，還有一些最強的流動性邊界位於意想不到的地區，且這些邊界的結構特性在不同尺度下呈現出不同的變化，這表明了邊界的多尺度性質。總結這項研究提出了一種新穎的、基於大數據的方法，用於評估現有地理邊界的適切性，也證明了邊界在網絡中的複雜性和重要性。

網絡理論若應用於都市交通網絡上，則代表都市內各種交通模式（如道路、公共交通與自行車等）相互連接和交織形成的網狀結構，用以支持都市居民和資源的移動，包括道路、橋樑、交通樞紐、火車站、公共汽車站、自行車

道等交通基礎設施以及交通運輸服務的提供者。其主要功能是實現人們和貨物的高效移動，以支持都市的經濟活動和社會互動。同時，都市交通網絡的性能和結構對都市的運作和居民的生活品質具有重大影響，研究此方面可以更好地理解交通流動模式、交通擁擠現象以及不同交通模式之間的關聯。透過優化都市交通網絡，則可改善都市內的運輸效率，實現未來可持續性的都市交通發展目標。

三、 社會網絡分析

近年來，社會網絡引起了人們極大的關注與興趣，很大程度上是因為與各種社會過程相關，例如：信息處理、社會影響力的擴散或人事物間的互動關係等。以下將探討社會網絡分析以及社群偵測之概念以及應用在公共自行車的相關研究。

(一) 社會網絡分析與社群偵測

● 社會網絡與社會網絡分析定義

社會網絡 (Social network) 是由許多節點間關係構成的一個網路結構，節點通常指個人或組織 (又稱社團)。社會網路代表各種社會關係，經由這些社會關係把各種人們或組織串連起來。社會網路依賴於一種到多種關係而形成，如價值觀、理想、觀念、興趣愛好、友誼、血緣關係與貿易等，由此產生的網路結構往往是非常複雜的。

社會網絡分析 (Social network analysis, SNA) 則是用來檢視節點、連結之間的社會關係的分析方式，透過使用網絡和圖論來調查社會結構的過程。最原始的社群網絡是由一種節點 (node) 與邊 (edge) 所組成的圖形結構 (graph)，它透過節點 (網絡中的個體參與者、人或事物) 以及連接它們的紐帶、邊緣或鏈接 (關係或交互) 來表徵網絡結構 (Scott, 2012)，且通常會以可視化的方式表示關聯性。

● 社會網絡分析於交通旅次分析中的基本概念

社會網絡是一個關於個體、團體和組織之間相互聯繫和互動的研究領域，其被廣泛應用於社會學、心理學、商業、政治學、流行病學等領域，可以用於研究社交網絡、影響力傳播、組織結構、犯罪分析等。

以下彙整了社會網絡分析應用在交通領域中的重要概念：

- A. 節點 (Node)：在社會網絡中，節點代表個體、人員、組織或實體。這些節點可以是人、公司、社交媒體帳戶等。在交通領域中，節點代表交通路口、車站、交通樞紐等位置點，可說是交通系統的關鍵要素。
- B. 邊 (Edge)：邊表示兩個節點之間的聯繫或互動。這些邊可以是雙向的 (代表互相的關係) 或單向的 (代表單向影響或互動)。於交通領域中，邊表示兩個節點之間的道路、路線或通勤路徑，描述了不同地點之間的連接。
- C. 權重 (Weight)：表示兩個節點之間的關係或連接的強度或程度。這些權

重可以是數值，用來量化兩個節點之間的關係強度。權重的具體定義和解釋可以根據研究問題和網絡的性質而有所不同。另外，沒有權重的網絡結構表示所有邊的權重都是相等的。在交通領域中，可以依照交通流量、車道數量等參數調整權重，自行車分析中則經常以旅次量作為權重的計算。

- D. 度 (Degree)：一個節點的度表示其與其他節點相連的數量。高度連接的節點可能在網絡中具有更高的重要性。
- E. 中心度 (Centrality)：中心度指標衡量了節點在網絡中的重要性程度。常見的中心度指標包括：度中心度(degree centrality)、介數中心度(betweenness centrality)及接近中心度(closeness centrality)等。在交通領域中，中心度指標衡量了交通網絡中節點的重要性，主要呈現節點在網絡中的關係，如度中心度可以展現節點的重要程度、接近中心度代表一個節點到其他所有節點的距離總和，數值越高表示這個節點越容易抵，以及介數中心度計算網絡結構中所有節點間的最短路徑，可以辨識出關鍵連結兩子圖的重要節點。

● 社群偵測方法 (Community Detection Methods)

主要集中在識別網絡中的社群或群體，即在網絡中具有類似屬性或連接模式的節點的集合。目的是尋找節點的集群，以便進一步分析其特性，可以應用於社交媒體分析、網絡社群的識別等；從社群網絡的圖形結構來看，一個網絡社群是一個成員間彼此緊密連接 (densely connected) 且與其他社群之成員連結較為稀疏 (sparsely connected) 的子圖 (subgraph)，即為組內密集連接，組間連接稀疏。

在社群偵測(community detection)方法的創新者中，Girvan and Newman (2002)發揮了主要作用，針對具有無向和未加權邊的圖提出了一種基於邊介數中心性 (edge betweenness centrality) 的社群檢測方法，利用網絡中每條邊的介數中心性來識別並拆分社群結構；於2004年又定義了一種稱為「模矩度」(Modularity)的衡量標準，用於判斷所形成的分區或社區的質量，而提出的模矩度已被研究人員廣泛接受和使用，以衡量從與更好的社區結構相對應的高模塊化社區檢測算法獲得的模塊的優劣性，甚至模矩度函數的優化在文獻中受到了極大的關注(Newman & Girvan, 2004)。

社群偵測之目的是自動地找出存在於一個社群網絡的所有網絡社群。因此社群偵測是網絡分析中的重要過程，其主要使用的技術包括：最小分割法 (Minimum-cut method)、階層式分群法(Hierarchical clustering)、模組度最佳化(Modularity maximization)等，著重於發現整個網絡中的社群結構，從中可以獲取不同社群之間的關聯性。

(二) 公共自行車與社會網絡分析相關研究

目前也有許多公共自行車的研究以社會網絡分析法進行分析，如：孔令傑 (2021b) 以社會網絡方法探討公共自行車與捷運轉乘所呈現之 TOD 空間特性，透過運用電子票證大數據資料，以模矩度最佳化分群對轉乘網絡進行分群，以此建立公共自行車尺度之 TOD 範圍。同時亦計算各公共自行車站點的程度中心度，了

解不同站點在轉乘網絡中的重要性。藉由前述分析對相關建成環境與政策進行檢討，做為未來 TOD 相關規劃與公共自行車轉乘提升之參考；蘇翊筑（2022）應用社會網絡之理論分析 2020 年 11 月臺北市公共自行車的使用資料呈現的旅次型態，並以社群偵測的模組化指標指認自行車站點的階層式組織結構。其中，社群偵測所建構的公共自行車使用型態社群內能反映出特定的都市活動與分佈；Zhang et al. (2021)探索新加坡大都市區的集體自行車行為模式，按照月份匯整每個 O-D 之間的自行車出行流量，使用社群偵測來探索出行產生的空間集群，以了解研究期間新加坡自行車使用的社區結構，並討論其旅次產生與吸引的影響因素。

綜整這些文獻可以發現多數研究仍專注於網絡結構的影響，較少針對分群結果差異以量化之方式進行深入的討論與比較，僅在資料圖像化後以主觀描述帶過，缺少更進一步的量化指標作為分析基準；而自行車的流動代表了實質性的空間結構，這些結構可以增進對於都市的了解，並呈現了空間與空間相互作用的關係。因此，本研究基於以上對於社會網絡分析的文獻回顧，欲以社會網絡分析角度切入，探討臺北市公共自行車使用分群結構的網絡特徵，並比較與興趣點所建構出的空間網絡差異。

第四節 都市空間結構與活動

一、都市空間結構

都市空間結構一詞在當今社會中沒有單一固定的解釋說詞，主要取決於觀察者的角度。且若談到都市空間結構，大多都會回溯到《Urban Spatial Structure》(Anas et al., 1998)此本書，對於都市計畫領域有著深遠的影響。作者們提出經濟學可以解釋城市空間結構並從中學習的觀點，且著重在描述和解釋城市空間結構及其演變，透過地理經濟學及中地理論等角度，探討城市內部的空間分佈、建築型態、交通流動模式以及城市發展與經濟增長之間的關係。

都市空間結構(Urban Spatial Structure)指的是都市空間的佈局，涉及都市形態及其相互作用所產生的一系列關係，包括人、貨物、物質和資訊的互動(Rodrigue, 2020)。同時，人類活動的複雜性重新定義了都市空間的使用和資源的配置。作為物質的載體，推動著都市的物質、金錢、人員和資訊之間的轉移；另外，由於人類活動對都市結構產生相當大的影響，導致都市結構發生改變，因此，也會將人類行為所引起的一些都市網絡變化描述為「都市流動結構」。

而目前現代都市空間結構在很大程度上是由交通和通訊的進步所塑造的(Anas et al., 1998)。因此，若以出行作為空間互動的代表，目標在確定都市空間結構的以下基本元素：

- 樞紐(Hubs)指連結城市資源最重要的區域，它們在城市結構中充當不同社區之間的空間橋樑。
- 中心(Centers)指累計的城市資源中最相關的區域，可能與樞紐不同，但通常是相同的。
- 邊界(Borders)由聚合的旅行位置選擇產生的社會經濟界限，將城市劃

分為更小的社區(communities)。

近年來隨著電腦科技的快速發展，資料庫管理系統和人工智慧技術逐漸成熟，有助於大數據的分析。因此，現今也有許多研究透過分析智慧卡的資料，改善公共交通規劃和營運方面，或解讀個人在都市的活動情形，又或是檢測都市空間結構的變化，期待為人類運動的動態提供新的見解。例如：Park et al. (2008)由於韓國首爾公車和地鐵的智慧卡使用比例非常高，為確定資料的可靠性，因此比較了智慧卡資料與運輸公司所提供的資料，最終結果得出智慧卡數據可顯示搭乘者的使用特點，例如：換乘次數、乘車時間、不同交通方式的每小時出行次數分佈、以及所有交通方式和用戶類型的出行時間分佈，可以用來預測未來交通發展趨勢，因此也是一項有價值的研究；Liu et al. (2009)透過資料探勘技術了解密集城市深圳地區人們的流動性，展示如何利用這些有關數位足跡的位置與強度的數據來推斷城市的文化及地理方面，並揭示城市中人類運動相對應的城市流動模式，研究結果展現了尖峰時段的旅次模式深圳作為中心商業區(Central Business District ,CBD)的角色；Zhong et al. (2014)透過調查智慧卡的數據資料並基於拓樸理論以及各式網絡分析，探討新加坡不同年間的城市空間結構變化，研究結果發現社區結構明顯的細分成不同區域，將人口的活動空間分為更小的社區，且產生的邊界與現有的行政邊界不同。因此由三年的時間序列可得知，新加坡正快速地向多中心與多樣化的城市形態發展，非常符合現今新加坡的城市的總體規劃。

綜整以上，發現目前已有許多研究透過資料探勘技術分析智慧卡數據來探究人類出行行為的空間維度與都市空間結構。因此，本研究欲採用相同資料探勘的技術分析臺北市公共自行車旅次資料庫，期望發現一些潛在都市活動空間的型態，也有助於未來都市空間上的規劃。

二、辨識部分活動空間之相關研究

在Lynch (1964)《The Image of the City》中，提出了城市中的五個基本要素，包括：「節點」(Nodes)、「邊緣」(Edges)、「路徑」(Paths)、「區域」(Districts)和「地標」(Landmarks)，這些要素反映了城市的結構，同時也影響了人們對於城市的感知與認知。

興趣點(Point of interest, POI)，為電子地圖上的某個地標，其包含了名稱、類別、經度、緯度、海拔等資料，相關數據須從 Google Places 應用程式編程介面(Application Programming Interface ,API) 中爬蟲技術抓取的。興趣點通常被認為是有用或有趣的特定位置點，被視為城市中的重要地標和節點之一，也經常成為城市活動的焦點。目前，已許多辨識都市活動空間上的研究經常以興趣點作為衡量的標準，且大量公共自行車相關研究也顯示興趣點的分佈可以揭示個人拜訪過的土地利用特徵(Sun et al., 2007; Yuan et al., 2012)。

參考過去的文獻資料，發現結合興趣點與公共自行車數據旅次資料，有助於揭示公共自行車用戶的出行的目的，如：Bao et al. (2017)結合智慧卡數據與興趣點來調查紐約公共自行車Citi Bike 出行模式與出行目的，透過 K-means 聚類分析與潛在狄利克雷分配 (Latent Dirichlet allocation ,LDA)

方法得知紐約市最普遍的出行目的為騎乘公共自行車去吃飯，其次是購物和轉乘其他公共交通工具；此外，居住在公共自行車站點周邊的人們更有可能在早高峰時換乘其他交通工具，下班後則是騎乘公共自行車回家。

另外，也有些研究利用興趣點進行站點最佳化、需求預測以及自行車再平衡等方法，如：Liu et al. (2015)提出了一種考慮多種影響因素的紐約公共自行車 Citi Bike 網絡最佳化方法，目標是選出正確的站點位置來提高服務品質和效率。透過從人類移動數據、興趣點以及車站網絡結構中提取細粒度的判別特徵，接著利用人工神經網絡 (Artificial Neural Network, ANN) 的預測模型來預測車站需求與平衡；此外，基於遺傳算法的最佳化策略旨在透過從大量站點位置中選擇最佳站點位置來最大化站點網絡需求並最小化不平衡站點的數量；陈红 et al. (2021)利用寧波市公共自行車數據、興趣點、氣象和空氣品質等資料，深入挖掘公共自行車使用的時空特徵及站點租還車需求預測。透過 K-means 分析以及基於興趣點數據的站點用地類型識別方法，將站點分為居住類、交通設施類、辦公類和商業休閒類，最後以借還車需求作為目標變量的隨機森林預測模型，並與常用的 BP (Back Propagation)神經網絡、K 最近鄰方法(k-nearest neighbors algorithm, k-NN)進行比較。結果顯示隨機森林(Random forests)模型的精度更高適用性更強，此結果不僅可作為未來站點平衡調度的依據，可推廣應用於公共自行車系統，甚至可為改善服務水平提供技術和理論支撐。

綜整以上內容得知，近年來公共自行車相關研究經常利用興趣點作為輔助旅次型態的分析，用於辨識活動強度、旅次目的的判定、旅次型態分群後的功能以及需求預測等；然而，卻鮮少有研究基於探索興趣點本身的空間分布位置對應到實際都市空間活動的結構，因此本研究後續將針對興趣點位置空間分布與都市活動空間分群進行比較分析。

第五節 空間範圍比較分析

在許多研究領域中如醫學分類、影像分割、分類學及網絡資料分析等，人們經常透過找出有意義的分群或分區為目標，大多使用聚類分析來作為研究的方法之一(Hennig et al., 2015; Jain, 2010; Kaufman & Rousseeuw, 2009)。且研究人員為了評估其分析的效能，會利用聚類的有效性指數作為衡量標準。其中，有效性指數是基於三個不同的標準來定義，分為：內部標準、相對標準以及外部標準(Jain & Dubes, 1988)。

內部標準指數基於評估聚類演算法強加的結構與單獨使用資料的資料之間的擬合度(應用在資料上的適合程度)；相對標準指數則為比較多個結構(例如由不同演算法產生)，並判斷其在某些方面的優劣；至於外部標準指數，則是透過與真實類別標籤的匹配程度來評估聚類的結果。

通常，聚類結果大多是利用外部標準指數來做評估(Warrens & van der Hoef, 2020)。而評估分區之間一致性的指標大致又可以分為三類，包括：分類計數成對(Pair-counting measures)、信息理論指標(Information theoretic measures)以及集合匹配指數(Set matching measures)(Rezaei & Fränti, 2016)。

以下將進行更細項的說明：

- (一)**分類計數成對**:基於對放置在相同群和不同群中的物件對數進行計數，包括：蘭德指數(Rand index)、調整蘭德指數(Adjusted rand index)、等。假如第一個分區中的一個集群中的兩個物件也位於第二個分區中的同一集群中，則視為一致。
- (二)**信息理論指標**:比較聚類的方式包含熵(Entropy)、相互資訊(Mutual Information, MI)和資訊變異(Variation of information)等。由於相互資訊沒有上限，因此需要標準化以便於解釋和比較。Vinh et al. (2009)也對這組指標進行了系統性研究，包括一些現有的流行指標和最近提出的指標。
- (三)**集合匹配指數**:包含 Jaccard 係數(Jaccard coefficient)、Fowlkes - Mallows 指數(Fowlkes-Mallows index)、F 度量(F measure)、標準 H (Criterion H) 和 Van Dongen 等，直接比較聚類結果中的集合或群組的匹配情況，而非只考慮單個樣本對的匹配。根據 Meilă (2007)，該組中現有的指標存在集群不成對不參與比較的問題，兩個配對集群的不匹配部分也不被考慮。利用分區和質心之間的緊密聯繫，集群相似性指數（例如質心指數和質心比）採用集群代表而非點級分區。然而，集群級別的指標缺乏點級資訊。

綜整上述，這些指標各有特點，例如：第一類指標根據物件在不同分區的配對情況進行評估、第二類以資訊論為基礎，第三類則是採用集合匹配的方式；然而，部分指標仍存在著特定限制，例如：集群不成對不參與比較的問題以及集群相似性指標的缺乏點級資訊(Rezaei & Frănti, 2016)。另外，若兩者分區之間一致性高則表示參考群結構有良好反映與還原真實聚類結構的能力(Pfützner et al., 2009)。

不過聚類分析的評估需要考慮不同的指標和其特點，以全面評估其效能和結果的準確性。本研究最終目的欲探討臺北市公共自行車旅次呈現的都市空間結構與都市興趣點位所呈現的都市活動兩者間的差異，經上述文獻整理後可歸類屬於第一種計算物件成對。且目前計算物件成對評估分區之間一致性最為流行且多人使用的評估指數為蘭德指數(Rand, 1971)和 Hubert-Arabie 調整蘭德指數(Hubert & Arabie, 1985)。後者為蘭德指數的修正版，另外考慮了偶然一致性。同時，有些研究也建議可使用調整後的蘭德指數作為聚類驗證研究的標準工具(Milligan & Cooper, 1986)之一。

目前也有需多文獻利用蘭德指數來比較空間分群邊界的差異，例如：Rinzivillo et al. (2012) 提出了一種確定影響力的通用方法於特定地理區域內的社會和流動行為，以評估當前程度行政邊界代表了人類真正的流域移動。透過資訊圖表演算法(Infomap algorithm)及採用了兩個不同的策略來概括帶時間戳的位置(timestamped locations): 1. 起點-終點 (Origin-Destination, OD)只考慮第一點和最後一點與 2. Segment (SEG) 來概括每個空間細分軌蹟的時間戳點，並應用於義大利個城市中。研究結果發現與現有行政邊界有良好的吻合，不過也提出了未來有需要定義新的方法來比較使用不同空間和時間分辨率以及不同社區發現算法獲得的聚類結果；Ratti et al. (2010) 欲了解英國官方定義的區域邊界是否符合人們跨越空間互動的自然方式，因此

利用英國一個月內的電話數據資料，提出了一種新的即更細粒度的區域劃分方法，並展示不重疊區域的情況，同時最小化減少對每個人聯繫的干擾。研究一開始將電話數據轉換成無向鏈接組成的網絡，並分割成像素網格且視它為空間節點。接著測量其與其他像素的連接強度，這些也代表了英國數千個不同地區的連接緊密程度。最後透過光譜優化算法(spectral optimization algorithm)及不斷軼代使模矩度增加，得到模矩度優化區域的邊界與傳統邊界大致一致的結果；且許多電信區域（對應於蘇格蘭、西南部、倫敦和英格蘭東部）與歷史上和行政上重要的區域的形式密切匹配。甚至透過蘭德指數(Rand index, R)等空間範圍比較方法計算發現大約有 80%的像素落在相應的（按最大重疊）電信區域內。這項研究結果證實了一開始的假設：期望行政邊界與人類互動中的邊界為一致。由此可知，人類互動與邊界兩者之間存在相互的影響，社會內部的凝聚力促進了行政管理的變革，邊界也同時影響著人類的互動；Sobolevsky et al. (2013)透過將歐洲、亞洲和非洲不同規模國家（法國、英國、意大利、比利時、葡萄牙、沙烏地阿拉伯和象牙海岸）的官方行政區界與各國領土範圍內的電話通訊數據進行網絡分群以及比較，透過模矩度最佳化對電話網絡進行社群偵測，接著使用兩種經典的聚類相似性度量，即同一組位置的兩個不同分區的匹配程度：蘭德指數(Rand index, R)與福克斯-馬洛斯指數(Fowlkes - Mallows index, F)來量化分區重疊。結果顯示歐洲大小國家皆緊鄰國家的大部分官方邊界，只有沙烏地阿拉伯和象牙海岸的吻合重疊數少於其他國家。其原因可能由於人口密度低以及數據稀疏，因人口分佈受氣候地形影響非常不平均；另外，象牙海岸的情況與歐洲國家相比，政治區域的偏差更大，一方面暗示了人口或手機信號塔分佈的不均勻性，另一方面則可能源於該國行政結構的年輕化，在經歷過兩次內戰仍處在社會重組階段，導致目前政治邊界與早期的部落結構並不完全一致。總結實證結果可得知，檢測到的區域具連貫性，幾乎不會分裂成不連續的部分以及大多數檢測到的區域的邊界都非常吻合現有的政治或社會經濟邊界。

綜整上述，可以發現蘭德指數(Rand index, R)是作為衡量空間範圍常用的方法之一。且透過本章節的文獻回顧內容，可以幫助在有限的篇幅內對於公共自行車、網絡結構與都市活動空間等相關文獻進行系統性的回顧，也具備了基礎的相關知識背景；同時，也凸顯了本研究欲探討的主要議題與研究方向，以利進行後續的研究設計與方法。

第三章 研究設計與方法

本章節旨在介紹研究設計細節以及應用到的方法，第一節「研究架構與流程」主要為說明本研究的整體設計與操作流程；第二節「研究範圍與資料選定」則說明本研究選址的原因及資料選定之依據標準為何；第三節「資料前處理」說明研究所需及資料包含的各細項以及第四節「研究工具」說明了相關重要指標及所採用的方法。

第一節 研究架構與流程

本研究操作流程如下圖 6，主要分為五個階段：自行車旅次資料處理、興趣點的選擇、自行車社會網絡分析社群偵測與分群、自行車旅次與興趣點空間結構的比較以及透過合併集群調整分群數。

1. **第一階段**著重於對臺北市的公共自行車旅次資料進行探究與分析，同時疊合 Youbike2.0 自行車租賃站點位置。接著進行初步資料清理程序以及時間特徵辨識，以確保資料的完整性和準確性。
2. **第二階段**探討代表都市空間結構的關鍵興趣點(POI)類型，透過廣泛的文獻回顧，辨識出能夠具有代表性的興趣點類型；接著，利用 QGIS 中的 OSM(Open Street Map)取得臺北市的興趣點數據資料，例如：商業、交通、運動休閒娛樂、醫療保健、教育和餐飲之類型，從而建立研究所需的資料庫。
3. **第三階段**依照時間特徵辨識篩選公共自行車旅次資料的尖峰時段旅次，透過社會網絡分析的指標進行社群偵測分群。最後，根據分群結果結合自行車站點位置進行 Voronoi Diagram 以界定空間範圍，來建構公共自行車網絡的空間分布。
4. **第四階段**旨在運用調整蘭德指數(*Adjusted Rand index, ARI*)的方法量化自行車旅次與興趣點兩種不同的空間分群結果，再以小尺度之次分群分析(內湖區與大安區)比較兩者之間的差異，為後續研究成果提供實質的數據資料以利解釋說明。
5. **第五階段**則為測試合併集群方法，透過調整分群數量使自行車旅次與興趣點兩分群達到同樣分群數再進行計算，用以提升調整蘭德指數之數據表現。

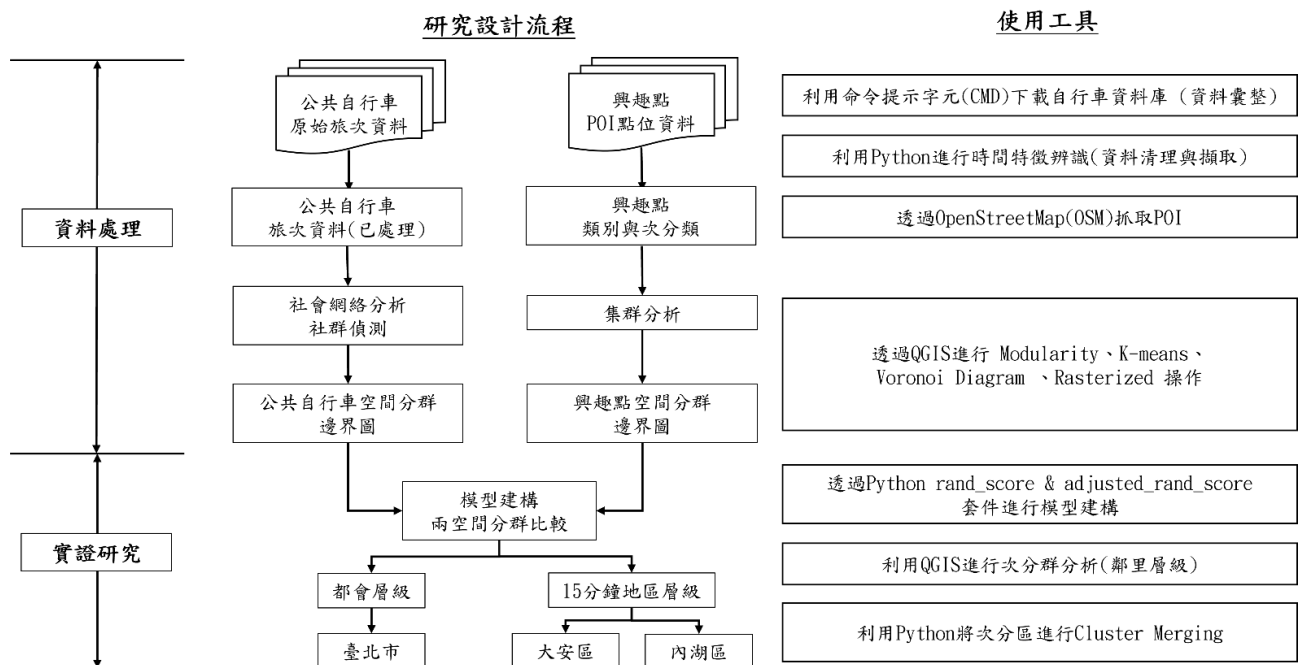


圖 6 研究設計流程圖

第二節 研究範圍與資料選定

一、 研究範圍

(一) 空間範圍

本研究將依照資料內容選定適合的空間範圍進行操作, 資料取得及研究範圍的選定的說明如下:

目前臺灣已有許多縣市設有公共自行車系統, 其中臺北市公共自行車系統相較其他縣市擁有全面性的規劃, 透過拓展城市運輸路網, 增設自行車專用道; 另外, 與其他交通運輸工具的結合也十分緊密, 不僅擁有多元化的交通運具選擇(公車、捷運、火車和高鐵等), 也提供了更方便及友善的出行環境。整體上, 不僅為居民和遊客提供了方便快捷的出行方式, 同時也體現了城市可持續發展和綠色環保的理念。此系統的成功經驗對其他城市在發展類似的公共運輸系統方面具有借鑒價值, 同時也反映了臺北市在交通規劃和城市管理上的卓越成就; 再者, 由於臺北市公共自行車系統資料完整度高, 取得也相較其他縣市容易, 適合進行公共自行車使用特性的研究分析。因此, 本研究最終將以臺北市公共自行車系統作為研究範圍, 以圖 7 與圖 8 進行呈現。

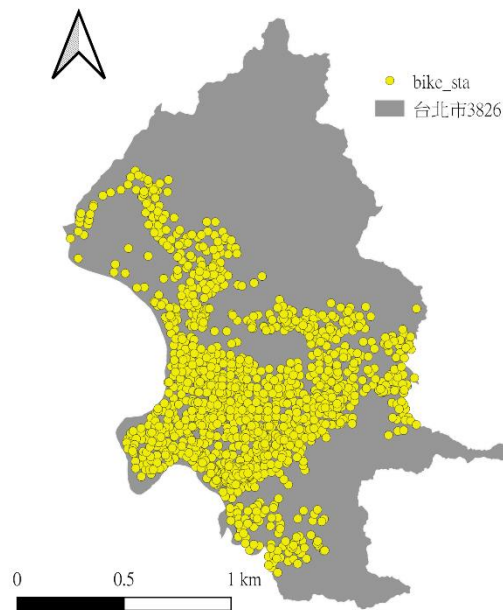


圖 7 臺北市公共自行車站點位置分布圖



資料來源:維基百科 (2023c) (擷取日期:2023/08/28)

圖 8 研究範圍示意圖

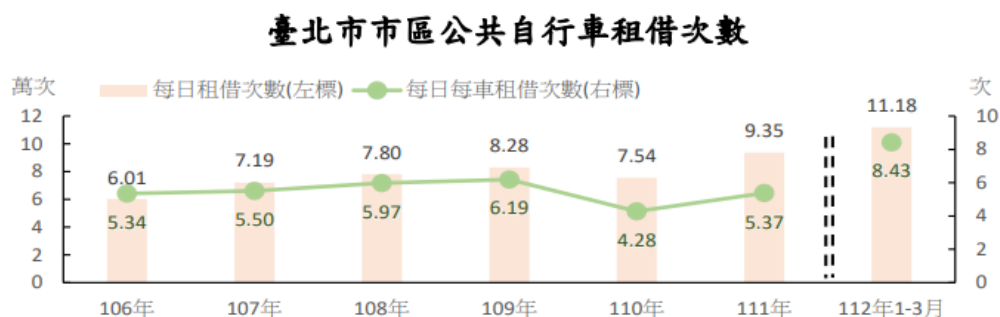
(二) 時間範圍

由於嚴重特殊傳染性肺炎(新冠肺炎/COVID-19)疫情對臺灣的影響，自從 2020 年 1 月 21 日臺灣確認首例 COVID-19 病例，2 月初至中旬隨著全球 COVID-19 疫情爆發，臺灣確診病例數開始逐漸增加，因此政府開始實施旅遊限制和許多的隔離措施。而這一系列的防範措施也打亂了人們的生活。

直到 2023 年基於國內外疫情漸趨緩穩定，2 月起防疫措施鬆綁且發現未明顯影響疫情。同時，為了減少確診對民眾影響、減輕醫療端逐案通報之負擔，決定調整方向與國際防疫一致，邁向後疫情的新生活。政府也於 2023 年 3 月 20 日宣布調整「嚴重特殊傳染性肺炎」疾病通報定義，並鬆綁相關政策；再者，根據臺北市政府主計處的統計資料顯示(圖 9)持續觀察近 6 年平均每日租借次數變動情形，除了 110 年受 COVID-19 疫情影响租借次數下降外，其餘均呈現逐漸上升趨勢，顯示民眾對公共運具的使用頻率日漸提高。

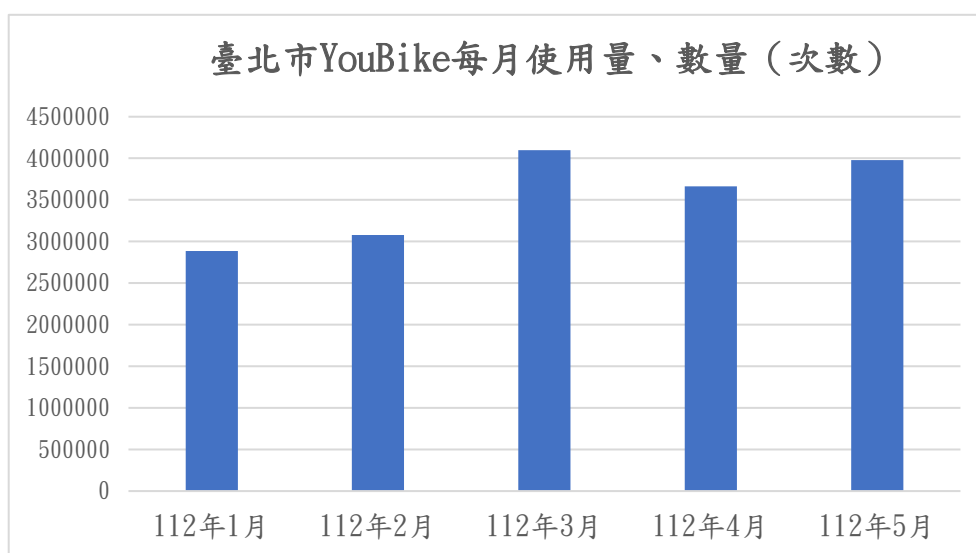
因此，在撇除連續假日或是國定假日的影響，並考量氣候及新冠肺炎疫情影响容易影響居民出行意願的因素以及追求更精準的數據資料避免偏差，再加上參考下方圖 9 與圖 10 公共自行車每月使用量以及圖 11 與表 3 可得

出 3 月分天氣相較穩定，故本研究的时间範圍最後選定 2023 年 3 月份作為本研究的時間範疇，而臺北市 2023 年 3 月 Youbike2.0 公共自行車資料則為本研究的對象。



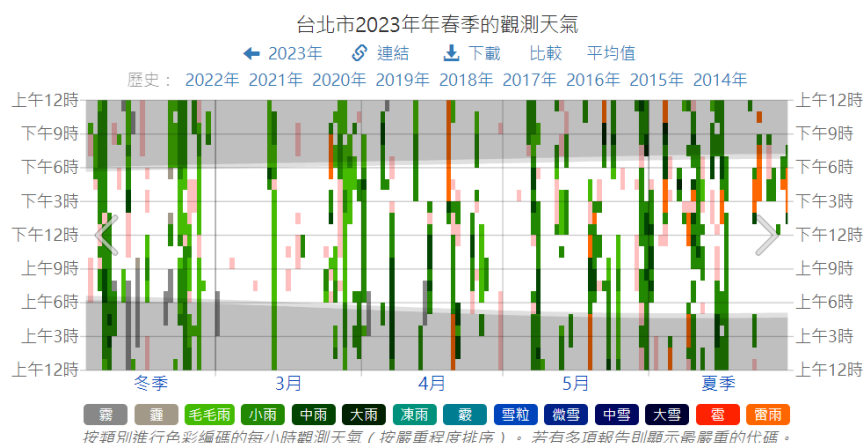
資料來源:臺北市政府主計處 (2023)

圖 9 臺北市市區公共自行車租借次數



資料來源:臺北市交通局

圖 10 臺北市 YouBike 每月使用量、數量 (次數)



資料來源：Spark (2023)

圖 11 臺北市 2023 年天氣_降雨

表 3 臺北市 2023 年氣溫與降雨

	平均氣溫 (攝氏)	平均相對濕度 (%)	日照時數 (小時)	降水量 (毫米)	降雨天數 (日)
112/3	20.0	72	151.0	23.5	7
112/4	22.6	75	111.9	109.5	9
112/5	25.8	76	136.4	182.5	13

三、資料來源與資料搜集

(一) 自行車資料庫

本研究透過從臺北市資料大平台上下載 Youbike2.0 公共自行車旅次的開放資料。自行車各站點資料表格式如圖 12，設點的行政區包括：大安區 (170 個)、臺大專區 (53 個)、中山區 (136 個)、內湖區 (155 個)、信義區 (96 個)、士林區 (115)、松山區 (79 個)、中正區 (112 個)、北投區 (84 個)、文山區 (81 個)、大同區 (59 個)、南港區 (87 個) 與萬華區 (69 個)，截至 2023 年 8 月 11 日統計，目前共計有 1296 個站點。

	A	B	C	D
1	id	Label	lat	lng
2	1	捷運市政府站(3號出口)	25.04085789	121.5679044
3	2	捷運國父紀念館站(2號出口)	25.041254	121.55742
4	3	台北市政府	25.03779722	121.5651694
5	4	市民廣場	25.03603611	121.562325
6	5	興雅國中	25.03656389	121.5686639
7	6	臺北南山廣場	25.034047	121.565973
8	7	信義廣場(台北101)	25.03303889	121.5656194
9	8	世貿三館	25.03521389	121.5636889
10	9	松德站	25.031785	121.57448
11	10	台北市災害應變中心	25.02866111	121.5661167
12	11	三張犁	25.034937	121.55762
13	12	臺北醫學大學	25.026679	121.561747
14	13	福德公園	25.03809	121.58367
15	14	榮星花園	25.06424	121.54037
16	16	松山家商	25.036084	121.579135
17	17	民生光復路口	25.05862	121.55514
18	18	臺北市藝文推廣處	25.049408	121.55261
19	19	象山公園	25.02863	121.56981
20	20	捷運科技大樓站	25.02605	121.5436
21	21	民生敦化路口	25.057985	121.548982
22	22	松山車站	25.048824	121.57845
23	23	東新國小	25.055074	121.602798
24	24	信義建國路口	25.03293	121.53747
25	25	永吉松信路口	25.04543	121.57205

資料來源：臺北市交通局

圖 12 自行車各站點原始資料表格

(二) 興趣點資料庫

興趣點 (Point of Interest, POI) 已廣泛應用於都市空間結構的研究，並成為其中一項重要的指標。同時多數興趣點在特定區域內也扮演樞紐 (hub) 的角色。本研究選擇的興趣點類型，主要參考自 Bao et al. (2017) 所提出的 POI 分類。由於本研究旨在全面性地測試各類興趣點與臺北市都市活動空間相似度的契合程度，因此在選取興趣點時，不會預先排除晨峰時段人們不太可能前往的類型，以確保分析的全面性。

操作過程利用 OpenStreetMap(OSM) 抓取免費的點線面開放資料，並透過 QGIS 進行後續操作。預計分成六種類型的 POI，分別為：商業、交通、運動休閒娛樂、醫療保健、教育和餐飲，共計 16 項(表 4)。

表 4 POI 類型

POI 類別	次分類
商業	商辦大樓、銀行、超市賣場便利商店
交通	車站(捷運站出入口、公車站點、火車、高鐵、機場)
運動休閒娛樂	運動場運動中心公園、健身房、電影院、百貨公司地下街、市場夜市
醫療保健	醫院診所藥局
教育	學校、補習班才藝班、圖書館、博物館美術館
餐飲	餐廳、咖啡店飲料店

(三) 其他資料

本研究預計參考其他圖資作為都市活動空間的輔助，以下為所需要的圖資以及資料取得方式(表 5)。

表 5 資料取得來源

圖資	資料取得(單位)
公共自行車路網圖	臺北市政府交通局、QGIS
臺北市土地使用分區	臺北市政府都市發展局
國土利用現況調查	內政部營建署

第三節 資料前處理

此階段本研究主要利用 Python、命令提示字元(CMD)以及 QGIS3.22 作為資料處理以及視覺化呈現的工具，將分成初始資料來源與整理、資料清理、時間特徵辨識以及空間邊界的界定。

一、初始資料來源與彙整

由於資料庫龐大，處理階段需花費相當大的時間和心力，為了讓研究更有效率的完成，將先利用命令提示字元進行公共自行車旅次資料的匯入，並透過 Python 處理，以利後續的研究更順利進行。

本研究以臺北市公共自行車旅次資料與臺北市興趣點資料作為模型建構之數據。透過從臺北市資料大平台上下載 Youbike2.0 公共自行車旅次的開放資料，其資料內容含自行車借還日期與時間、自行車借還站點以及騎乘時長等(圖 13 與表 6)。

	A	B	C	D	E	F
1	rent_time	rent_station	return_time	return_station	rent	infodate
2	2023/3/1 00:00	康寧金湖路口	2023/3/1 00:00	康寧路一段156巷20弄口	00:03:00	2023/3/1
3	2023/3/1 00:00	捷運南京復興站(5號出口)	2023/3/1 00:00	河堤國小	00:35:54	2023/3/1
4	2023/3/1 00:00	南港軟體園區(新民街)	2023/3/1 01:00	工建橋樹一路口	00:43:45	2023/3/1
5	2023/3/1 00:00	松德虎林街口	2023/3/1 00:00	信義松德路口	00:03:40	2023/3/1
6	2023/3/1 00:00	泰和里民活動中心	2023/3/1 00:00	吳興街260巷	00:05:01	2023/3/1
7	2023/3/1 00:00	建國長春路口(北側)	2023/3/1 00:00	民生復興路口	00:07:35	2023/3/1
8	2023/3/1 00:00	中山行政中心	2023/3/1 01:00	捷運南京復興站(5號出口)	00:29:06	2023/3/1
9	2023/3/1 00:00	中山行政中心	2023/3/1 00:00	中山行政中心	00:09:10	2023/3/1
10	2023/3/1 00:00	中山行政中心	2023/3/1 00:00	林森長春路口	00:10:15	2023/3/1
11	2023/3/1 00:00	捷運台北101/世貿站(2號出口)	2023/3/1 00:00	臺北醫學大學	00:20:15	2023/3/1
12	2023/3/1 00:00	龍門廣場	2023/3/1 00:00	健安新城	00:13:11	2023/3/1
13	2023/3/1 00:00	北投公園露天溫泉	2023/3/1 00:00	捷運北投站(1號出口)(北投路側)	00:05:11	2023/3/1
14	2023/3/1 00:00	捷運北投站(1號出口)	2023/3/1 00:00	國防大學政治作戰學院	00:09:31	2023/3/1
15	2023/3/1 00:00	捷運北投站(1號出口)	2023/3/1 00:00	秀山區民活動中心	00:13:13	2023/3/1
16	2023/3/1 00:00	松山車站	2023/3/1 00:00	福德國小公車站	00:10:27	2023/3/1
17	2023/3/1 00:00	松山車站	2023/3/1 01:00	松山永吉路口	00:30:26	2023/3/1
18	2023/3/1 00:00	捷運西湖站(2號出口)	2023/3/1 00:00	西康公園	00:07:00	2023/3/1
19	2023/3/1 00:00	捷運西湖站(2號出口)	2023/3/1 01:00	環山路二段25巷口	00:06:19	2023/3/1
20	2023/3/1 00:00	捷運西湖站(2號出口)	2023/3/1 00:00	文湖國小	00:06:49	2023/3/1
21	2023/3/1 00:00	捷運西湖站(2號出口)	2023/3/1 00:00	濱江國小游泳池	00:04:03	2023/3/1
22	2023/3/1 00:00	士林3號廣場	2023/3/1 00:00	芝山國小	00:09:02	2023/3/1
23	2023/3/1 00:00	士林3號廣場	2023/3/1 00:00	忠誠路一段173巷口	00:06:01	2023/3/1
24	2023/3/1 00:00	北勢湖環保公園	2023/3/1 00:00	樂群二堤頂大道口	00:02:55	2023/3/1
25	2023/3/1 00:00	臺北市立大學(博愛校區)	2023/3/1 00:00	貓公園(中興橋頭)	00:16:05	2023/3/1

圖 13 自行車租借旅次原始資料格式

表 6 自行車租借資料屬性說明表

欄位名稱	欄位說明
rent_time	租借時間
rent_station	租借站點
return_time	歸還時間
return_station	歸還站點
rent	租借時長
infodate	各場站來源資料更新時間

二、資料清理

本研究主要以 2023 年 3 月的公共自行車數據資料進行分析，資料處理上利用命令提示字元(CMD)與 Python 進行資料的讀取及篩選，透過軟體將數據進行清洗和預處理，其中包括：

1. **刪除重複的數據或空值**：確保每個旅次僅出現一次，針對重複數據或空值進行刪除處理。
2. **異常值與極值之刪除**：檢查數據中的異常值，針對例如：借還時間不合理（時長超過一天）、新北市借臺北市還或臺北市借新北市還的跨市租借之情況等以上這些異常值進行刪除。
3. **篩選天氣**：由於騎乘自行車容易受到天氣的影響，因此為了達到更精準的數值，將刪除天氣不穩定的天數。而許多研究結果顯示自行車租借量與降雨量多呈現反向之關係，當降雨量越多，騎乘者越少。因此，本研究將排除 2023 年臺北市 3 月份降雨量大於 1 毫米(mm)的天數(開奕臻，2022)。

4. **數據格式規範化**：針對日期、時間等字段進行統一格式，確保數據格式一致，以便後續的時間序列分析的進行。

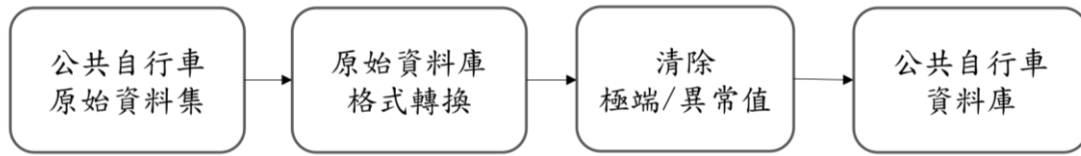


圖 14 資料清理流程圖

三、時間特徵辨識

時間特徵辨識 (Temporal Feature Recognition) 是一種數據分析技術，主要用於從時間序列數據中識別和提取出具有特定時間模式或趨勢的特徵。時間特徵辨識的目標是從數據中識別出隱含的時間相關信息，並進行分析和預測。

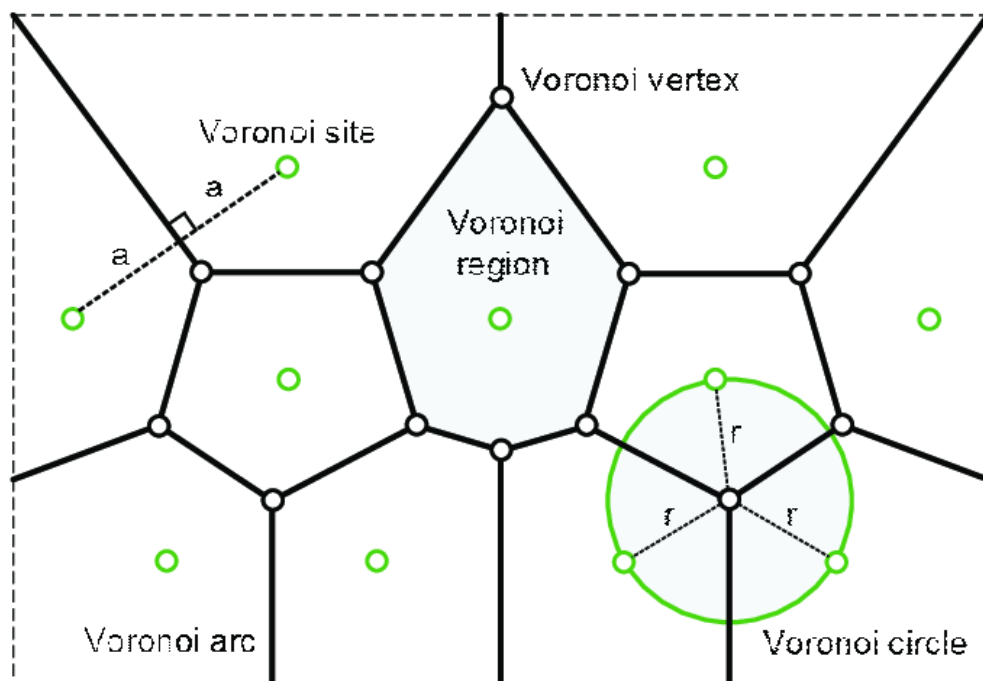
本研究將透過選取自行車當月日均量前 50% 作主要高峰時段，以利資料更集中及精準，使研究更具代表性。而這部分可再拆分成五個時段，分別為：晨峰 (Morning Peak)、中午尖峰 (Noon Peak)、下午尖峰 (Afternoon Peak)、昏峰 (Evening Peak) 以及晚峰 (Night Peak) 以上五個時段，透過區分這些時段，更能夠了解不同時段租借公共自行車使用者的使用型態。

四、空間邊界的界定

本研究的兩個研究對象為臺北市 Youbike2.0 公共自行車站點資料與興趣點資料。為了使兩者能夠代表都市活動的空間結構，研究欲以 Voronoi Diagram 界定其影響範圍，並將空間劃分成不同的小區域，根據需求計算和分析這些區域的相關屬性，呈現對應的都市空間結構。

繪製 Voronoi Diagram 時需要計算每個點的最近鄰點，然後根據這些最近鄰點劃分出區域。因此，每個 Voronoi Diagram 區域的邊界是由與鄰近點相等距離的點組成的，而這些點通常位於兩個鄰近點的中垂線上；另外，Voronoi Diagram 單元劃分方式會將所有節點連起來構成許多三角形，再將其所有外心相連所得，故此方法會將研究區域劃分為許多的多邊形地區，每個地區包含一個網絡節點，因此能夠準確地呈現每個節點影響(服務)的區域，並擁有較高的空間依賴性(圖 15)。

總結上述，Voronoi Diagram 在空間上能夠代表點位間的拓撲關係、最近鄰近點、距離最短以及理解空間的結構和模式等資訊。因此，將利用此方法應用在臺北市公共自行車站點分群上(圖 16)。



資料來源:Jan (2018)

圖 15 Voronoi diagram in a plane

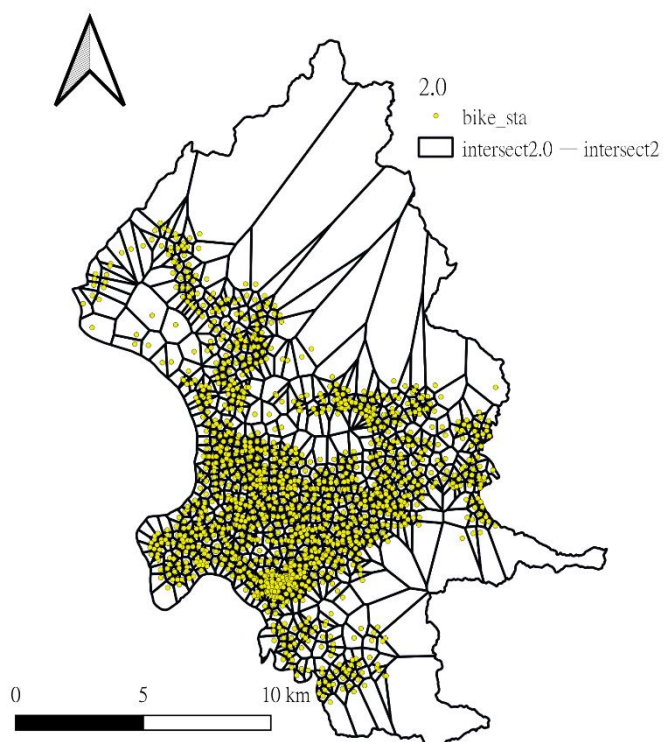


圖 16 臺北市公共自行車站點 Voronoi diagram

第四節 研究工具

一、社會網絡分析

本研究擬以社會網絡分析的技術應用在臺北市公共自行車旅次資料使用型態的分群上，並搭配 Gephi0.10 軟體以及 Python 進行資料的運算以及視覺化處理。最後再將資料和數據匯入 QGIS 進行空間分析。

根據第二章文獻回顧內容，交通領域的中心度(centrality)指標衡量了交通網絡中節點的重要性，主要呈現節點在網絡中的關係，如：程度中心度(degree centrality)、接近中心度(Closeness Centrality)以及介數中心度(Betweenness centrality)。

另外，因本研究僅關注起訖點，即旅次 O-D(Origin-Destination)之概，且程度中心度為第一個以及概念與計算上最簡單的中心度，它被定義為節點具有的聯繫數量，即擁有的邊的數量。而該程度可以解釋為節點捕獲流經網絡的任何內容的直接風險。因此，本研究以下僅以程度中心度作為衡量之標準繼續探討。

(一) 程度中心度(degree centrality)

程度中心度計算一個有 g 個節點的社會網絡中， i 節點與其他 $g - 1$ 個節點的連結程度，計算方式為將與某節點與其他節點的連結程度相加總，如下式(1)。

$$k_i = \sum_{j=1}^g x_{ij} (i \neq j) \quad (1)$$

k_i ：節點 i 的程度中心度，在本研究中代表租借站於整個公共自行車網絡之重要程度；

x_{ij} ：節點 i, j 之間的連結關係， $x_{ij} = 0$ 或 1 ，在本研究中代表旅次關係。

(二) 出度(out-degree)

$$k_i^{out} = \sum_{j \neq i \in E} x_{ij}^{out} (i \neq j) \quad (2)$$

k_i^{out} ：節點 i 的出度，在本研究中代表租借站於整體自行車網絡之輸出程度；

x_{ij} ：節點 x_{ij} 之間的連結關係， $x_{ij} = 0$ 或 1 ，在本研究中表由節點 i 流入 j 的旅次關係。

(三) 入度(in-degree)

$$k_i^{in} = \sum_{j \neq i \in E} x_{ij}^{in} (i \neq j) \quad (3)$$

k_i^{in} : 節點*i*的入度, 在本研究中代表租借站於整體自行車網絡之輸入程度;
 x_{ij} : 節點*x_{ij}*之間的連結關係, $x_{ij} = 0$ 或 1 , 在本研究中表由節點*j*流入*i*的旅次關係。

當程度中心度在有向網絡的情況下, 通常定義兩個單獨的度中心度為入度和出度, 入度為指向該節點的聯繫數的計數, 而出度則是該節點指向其他節點的聯繫數。

二、社群偵測方法

社群偵測是社會網絡分析中用以辨識社群結構(community structure)的分析方法之一, 其中又以模矩度(modularity)作為最常分類社群的指標。模矩度最佳化法(Modularity optimization)旨在將網絡劃分成數個集群, 目標是希望集群內具有高度內部連接和相對較少外部連接的群體(圖 17)。

模矩度*Q*為衡量社群內部的緊密程度, 其值的大小主要取決於網絡中節點的模塊分配*C*, 即網絡的社群劃分情況。當值越接近 1, 則表示劃分出的社區結構強度越強。因此, 可以透過模矩度最大化*Q*來獲得最佳化的劃分, 其演算法概念是基於不斷重複計算, 直到模矩度不再增加, 得到最大化模矩度值。且模塊化的優點還可以適應不同類型的網絡, 不需要事先知道社群的數量(Clauset et al., 2004; Newman & Girvan, 2004), 公式如下式(4)。

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left[x_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(C_i C_j) \quad (4)$$

Q: 模矩度

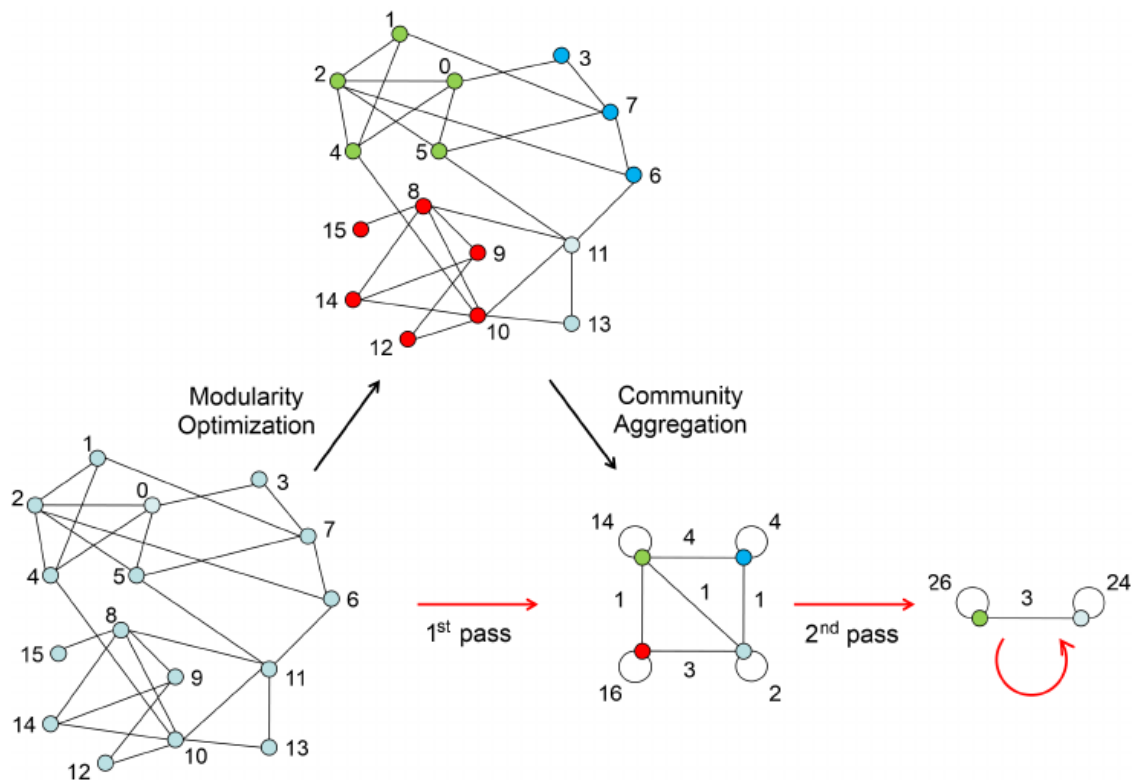
x_{ij} : 節點*i, j*之間的連結關係, $x_{ij} = 0$ 或 1

k_i : 節點*i*的度數(即式(1)的程度中心度)

C_i : 表示節點*i*被分配到的社群

$\delta(C_i C_j)$: 虛擬變數, 若 $C_i = C_j$ 則為 1, 否則為 0

m: 圖中所有邊的權重, $2m$ 代表有向網絡的關係。(如果沒有加權圖, 則為整個網絡中邊的總數)



資料來源:Blondel et al. (2008)

圖 17 模矩度最佳化示意流程圖

三、都市空間結構分析

本研究目的為解析臺北市公共自行車旅次資料和興趣點兩者複雜且連續的空間結構差異。近幾年，隨著大數據時代來臨，大量利用興趣點資料進行城市研究的文獻不斷湧現且蓬勃發展。根據興趣點的特性在城市中的研究應用包括：城市使用分區的識別、城市中心區與邊界的劃分、商業集聚識別和興趣點推薦等。

集群化(clustering)是應用於資料分析(data analysis)的非督導式技術之一。主要功能是將一群在多維度空間(multi-dimensional space)中的資料，依照資料的屬性或特徵來分類。因此，相似性高的會被分為一群，而分群後的資料，稱為集群化。另外，集群分析中如何衡量物件間的相似性也會依據不同的理論有各種相似度的計算和分群。

再者，分析城市 POI 數據的方法有很多種，例如：K-means 聚類分析(K-means Clustering)、核密度分析(Kernel Density Estimation)、DBSCAN(Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)和聚合式階層分群法(Agglomerative hierarchical clustering)等分析技術。

根據 Bao et al. (2017)研究中測試結果：K-means 和 DBSCAN 的聚類質量皆明顯高於聚合式階層分群法，且兩者的輪廓係數(Silhouette)都非常接近(輪廓係數指簇中所有點之間的平均距離，與點之間的平均距離與其到最近簇的距離相比)。此外，K-means 分析還可以輸出聚類中心，描述同一聚類中項目的普遍

特徵(MacQueen, 1967)，而分析結果更好地說明不同公共自行車站點類型的特徵。因此，以下介紹本研究欲使用的 K-means 空間分群方法。

● K-means 集群分析

K-means 是一種向量量化的方法，最初用於信號處理，其主要目標是將 n 個樣本觀察值分為 k 個集群，最後每個樣本觀察值會被分類到最接近中心點集群中。同時，K-means 也屬於非監督式學習(Unsupervised learning)，為常見的分群方法之一。以下介紹其公式：

已知觀測集 $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ，其中每個觀測都是一個 d 維度的實向量，k-means 要把這 n 個觀測值劃分到 k 個集合中 ($k \leq n$)，使 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$ 達到組內平方和 (within-cluster sum of squares, WCSS) 最小。

換句話說，目標是找到滿足下面公式的聚類：

$$\arg \min_s \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 = \arg \min_s \sum_{i=1}^k |S_i| \text{Var } S_i \quad (5)$$

其中 μ_i 是 S_i 中點的平均值(也稱為質心)，也就是說

$$\mu_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x \in S_i} x \quad (6)$$

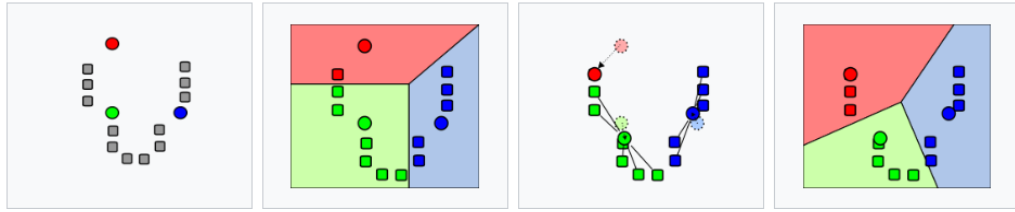
$|S_i|$ 的大小是 S_i ，而 $\|\cdot\|$ 通常是 L^2 標準化。等同於最小化同一集群中點之間的成對平方偏差：

$$\arg \min_s \sum_{i=1}^k \frac{1}{|S_i|} \sum_{x, y \in S_i} \|x - y\|^2 \quad (7)$$

這種等效性可以從以下恆等式推導出來 $|S_i| \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2 = \frac{1}{2} \sum_{x, y \in S_i} \|x - y\|^2$ 。由於總變異量是恆定的，因此這相當於最大化不同集群間點之間的平方和 (between-cluster sum of squares, BCSS)。這種確定性關係還與概率論中的總變異量定律相關。

以下為演算法步驟 (圖 18)：

1. 先設定好要分成多少 k 集群。
2. 在 feature space 隨機給 k 個中心點。
3. 計算每個樣本觀察值與每個中心點的距離(通常是歐式距離 Euclidean distance)
4. 將樣本觀察值的分類結果判給距離最近的中心點集群中。
5. 每個中心點都會受被分類過來的樣本觀察值所影響，移至新的中心點位置。
6. 一直重複步驟 3~5，直到所有中心點不再變動，即收斂分析才結束。



資料來源:維基百科 (2023a) (擷取日期:2023/9/6)

圖 18 K-means 分析演算法流程圖

本研究擬以 K-means 作為界定都市邊界的分析方法，利用興趣點的地理座標作為特徵值進行分群。藉由 K-means 的演算概念將距離相近的點分類成同一群，並產生邊界進行比較。由此可發現，以地理座標作為特徵點的興趣點分群，除了能夠表現出點位群聚的現象，亦能客觀地界定的都市邊界。

四、蘭德指數與調整蘭德指數

統計學中的蘭德指數(The Rand index)或稱蘭德度量(The Rand measure)是以 William M. Rand 命名的，用於衡量兩個數據聚類之間的相似性，確定鏈接是否屬於群或簇的準確性；調整後的蘭德指數(adjusted Rand index)則定義為一種針對元素的機會分組進行調整的形式。

蘭德指數目前仍是評估分區之間一致性最流行的指數之一，原因為不依賴研究者的主觀判斷，是基於兩個空間範圍之間對應點的匹配程度來計算，因此可以提供較為客觀的評估，來衡量空間範圍之間的相似性或差異性。其計算方式也相對簡單，取值範圍僅在 0 到 1 之間，0 表示兩個空間範圍之間完全不吻合，1 表示完全一致，使研究者可相對輕鬆理解以及解釋其結果；然而，當使用隨機分區或分配的基準時，蘭德指數可能小於 0，其原因為蘭德指數的計算方式考慮了與隨機分區相關的情況，若兩個分區之間的相似性低於隨機分區的相似性，那麼蘭德指數可能小於 0 (Meilă, 2007)。

因此，調整蘭德指數 (Adjusted Rand Index, ARI) 被視為蘭德指數的優化版本，透過調整使其能夠更好地應對樣本數量不平衡和隨機分配的情況 (Santos & Embrechts, 2009)。調整蘭德指數取值在 -1 到 1 之間，負數代表結果不好，越接近於 1 則表示聚類結果越好。而目前沒有文獻明確定義出多少數值 ARI 代表具有良好的相似程度，但在一些後續的研究文獻和應用經驗提出了若 ARI 值大於 0.5，通常可以被認定是具有相當好的聚類效果，而大於 0.4 則表明具有一定程度的相似性。

調整蘭德指數調整了期望值和最大值，從而得到了一個更加合理的分數，能夠更準確地反映分類結果的相似度，如：在樣本數量不平衡的情況下，蘭德指數容易受到大類別的影響，進而忽略了小類別的重要性，調整蘭德指數則透過調整期望值，解決此問題；另外，在隨機分配的情況下，蘭德指數的分數會接近於 0，這使得難以判斷分類結果的好壞，調整蘭德指數則可調整最大值，進而得到一個更合理的分數範圍，使其能夠反映出分類結果的真實情況。因此，調整蘭德指數可說是蘭德指數優化的版本，能夠更佳應對樣本數量不平衡以及

隨機分配等情況，在實際應用中更可靠與準確；再者，蘭德指數也廣泛適用於各種類型的空間範圍比較，包括：地理空間、社會網絡、圖像分割等；另外，也可應用在許多領域，如：地理資訊科學、電腦視覺和社會學等。總體來說，蘭德指數作為衡量空間範圍相似性的工具具有客觀性、適用性、易解釋性和廣泛使用等優點，因此成為了許多研究中首選的方法。

因此，綜上所述本研究將採用調整蘭德指數作為比較分析空間分群邊界的重疊相似程度之工具，針對公共自行車旅次呈現的都市空間結構與都市興趣點位所呈現的都市活動之間空間結構上的差異進行測試。以下針對蘭德指數以及調整蘭德指數的定義與概念進行說明。

(一) 蘭德指數 *Rand Index, R*

根據 Rand (1971) 對於蘭德指數 R 其定義為給定一組 n 元素 $S = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_n\}$ 和兩個分區 S 比較， $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_r\}$ ，將 S 劃分為 r 個子集，並且 $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_s\}$ ，將 S 劃分為 s 個子集，定義與公式如下(8、9)：

$$R = \frac{a + b}{a + b + c + d} = \frac{a + b}{\binom{n}{2}} \quad (8)$$

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (9)$$

a , 元素對的數量 S 位於同一子集 X 中，並且在同一個子集 Y 中

b , 元素對的數量 S 位於不同的子集 X 中，並在不同的子集 Y 中

c , 元素對的數量 S 位於同一子集 X 中，並在不同的子集 Y 中

d , 元素對的數量 S 位於不同的子集 X 中，並且在同一個子集 Y 中

同時，也可以將蘭德指數視為做出正確決策的百分比衡量標準的算法，以下為計算公式(10)：

$$RI = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (10)$$

TP 為真陽性； FP 為假陰陽性； FN 為假陰性； TN 為真陰性

(二) 調整蘭德指數 *Adjusted Rand Index, ARI*

給定一個包含 n 個元素的集合 S ，以及這些元素的兩個分組或分區（如聚類），即 $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_r\}$ 和 $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_s\}$ ， X 和 Y 之間的重疊可以總結

在列聯表中 $[N_{ij}]$ ，其中每一項目 N_{ij} 表示之間的共有的數量 X_i 和 Y_j ， $N_{ij} = |X_i \cap Y_j|$ 。

$$ARI = \frac{(RI - Expected\ RI)}{(\max(RI) - Expected\ RI)} \quad (11)$$

RI : 蘭德指數； $Expected\ RI$: 期望值 RI ； $\max(RI)$: 最大值 RI

$X \backslash Y$	Y_1	Y_2	$\cdots$	Y_s	sums
X_1	n_{11}	n_{12}	$\cdots$	n_{1s}	a_1
X_2	n_{21}	n_{22}	$\cdots$	n_{2s}	a_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
X_r	n_{r1}	n_{r2}	$\cdots$	n_{rs}	a_r
sums	b_1	b_2	$\cdots$	b_s	

圖 19 調整蘭德指數列聯表

$$ARI = \frac{\sum_{ij} \binom{n_{ij}}{2} - [\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2}] / \binom{n}{2}}{\frac{1}{2} [\sum_i \binom{a_i}{2} + \sum_j \binom{b_j}{2}] - [\sum_i \binom{a_i}{2} \sum_j \binom{b_j}{2}] / \binom{n}{2}} \quad (12)$$

其中 N_{ij}, a_i, b_j 屬於列聯表 (Contingency table) 的值。

第四章 研究結果與討論

本章節旨在進一步探討前幾章節所述的文獻回顧和研究方法，以臺北市為研究範圍進行實證分析。主要分為四節：第一節闡述了公共自行車旅次資料經清理後的基本使用特徵與特性；第二節探討了社群偵測方法中的最佳模矩度分布及其對應到現實生活中的情況；第三節結合旅次結構分布和興趣點的空間分群，利用調整蘭德指數進行比較；第四節則是都市次分群的活動空間分析，並闡釋實證結果。

第一節 資料基本概況與時間特徵

第一階段將臺北市公共自行車旅次資料導入，並透過初步資料清理，進行時間

特徵辨識。本節根據前一章研究方法中列舉的步驟逐一進行資料清理，結果包含旅次基本資料概況、社會網絡圖等。

一、基本資料概況

本研究選用臺北市公共自行車 112 年 3 月份的旅次資料，原始資料約為 378 萬 (3774370) 筆資料(圖 20)。再經過初步資料處理，包含刪除一日降雨量大於 1 毫米 (mm) 的天數、只選擇平日以及其他異常值與極端值；接著，透過時間特徵辨識，選取每日旅次量前百分之五十作主要高峰時段，以利資料更集中及精準。

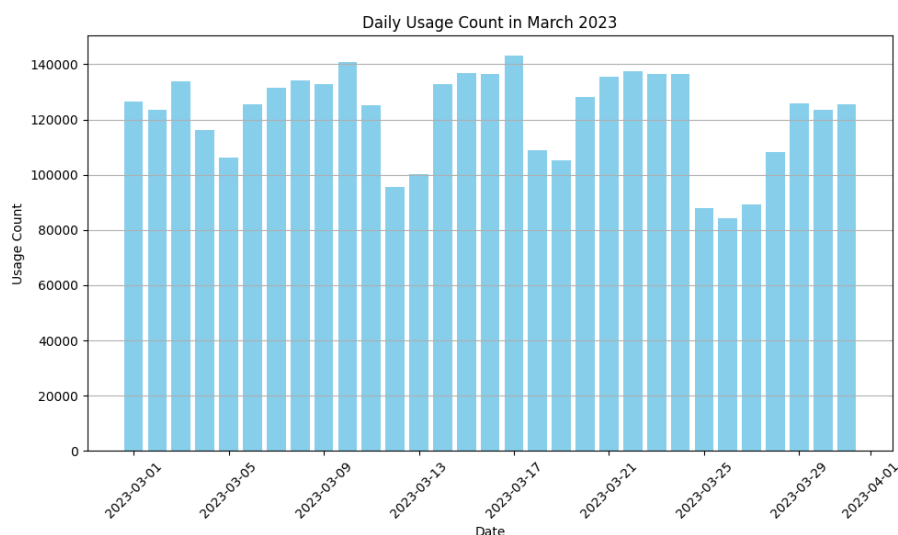


圖 20 112 年 3 月份每日公共自行車使用數量直方圖

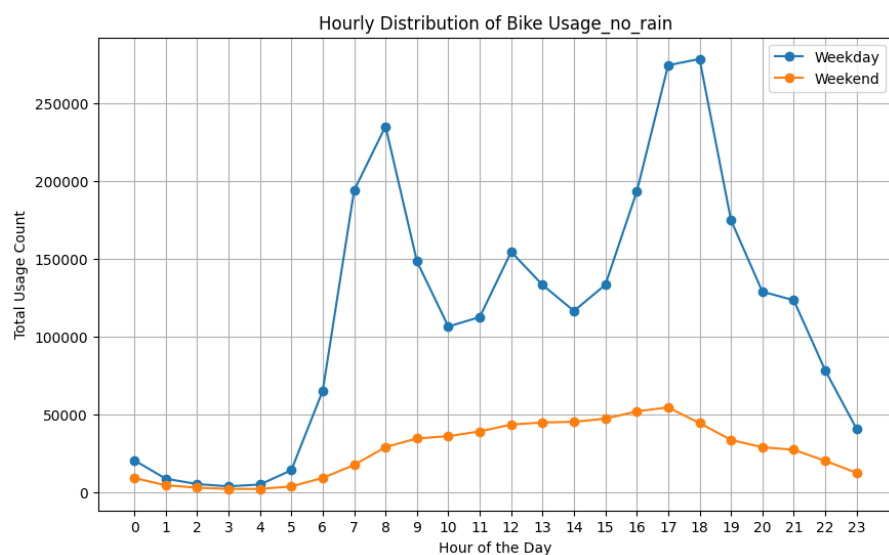


圖 21 112 年 3 月份平假日每小時公共自行車使用數量曲線圖

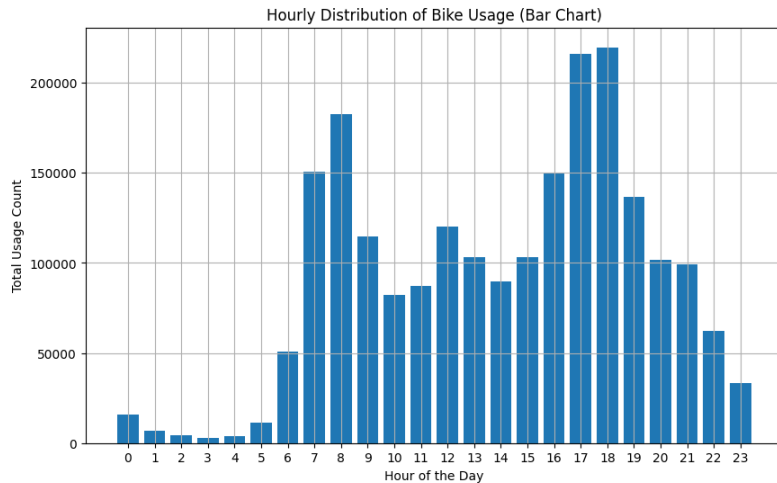


圖 22 112 年 3 月份每小時公共自行車使用數量直方圖

從圖中可以觀察出一些情形，以下將進行詳細說明：

- 若臺北市當天為下雨天，公共自行車的使用量就會下跌許多，例如：3/12(日)、3/25(六)、3/27(一)以及 3/28(二)以上這四天的 24 小時累計降雨量大於 1mm，可以推論出人們騎乘自行車的習慣會受到天氣有所改變。
- 從每日 24 小時圖中可以看出人們主要騎乘自行車的時段，平日與假日的分布曲線截然不同，平日有兩個高峰及一個小高峰時段，為人們上下班與學生上放學以及中午吃飯的時段；假日則屬於漸進式小高峰，且主要活躍時段在下午，這個情況可能與假日人們休息較晚起有關。

三、時間特徵辨識

接著，藉由四分位計算方式，取出旅次前百分之五十作為主要高峰時段，並以平日為例子，晨峰時段約 7~9 點、中午尖峰 12~13 點、下午尖峰 15~16 點、昏峰 17~19 點以及晚峰 20~21 點，共計約為 220 萬(2169829)筆資料(圖 23)。

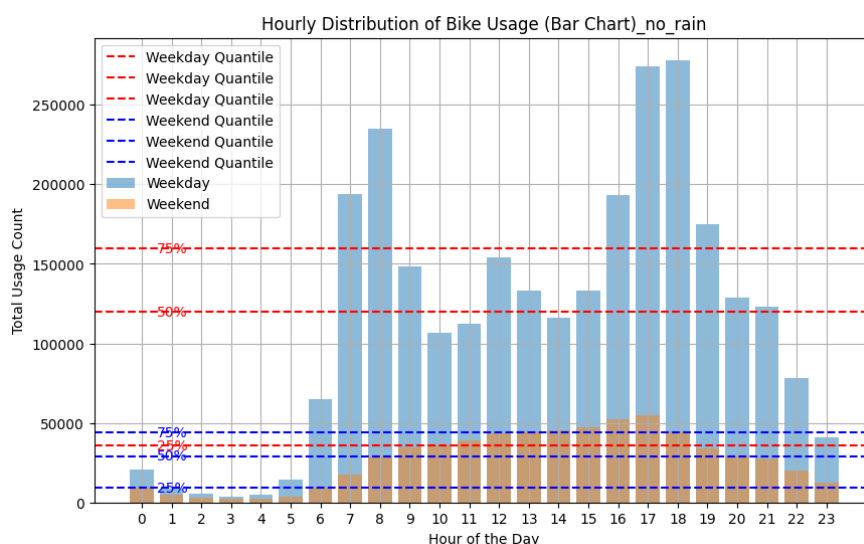


圖 23 112 年 3 月份自行車旅次資料前 50%主要高峰時段

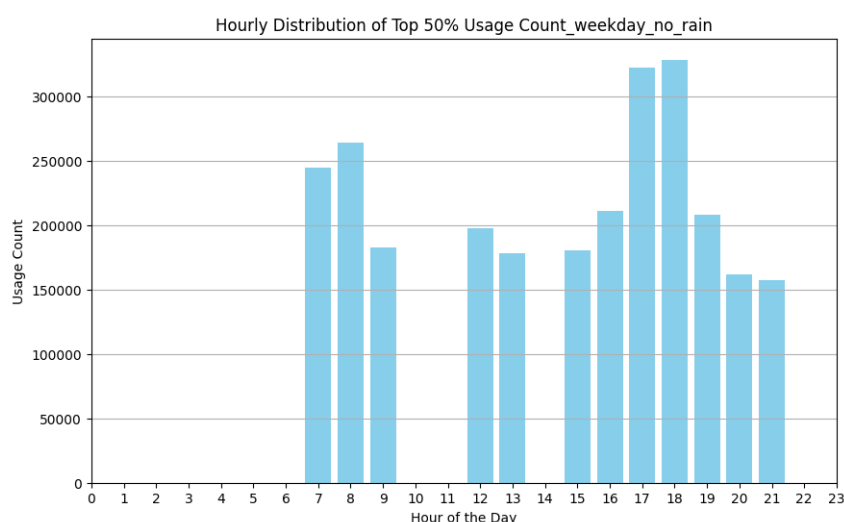


圖 24 平日前 50%主要高峰時段次數統計圖

另外，為避免部分旅次的關係影響整體分布趨勢，決定刪除跨市騎乘之旅次。且為了更清楚地觀察使用者欲到達之目的地的使用類型，早晨使用者大多以家為起點出發至目的地，出行目的較單一，因此決定選用平日晨峰早上七點至九點這段區間作為對象，共計約 56 萬筆(561373)資料。

第二節 社群偵測分析結果

社群的邊界是有意義的討論方向，因為在不同分類屬性下的社群變化可體現於各社群中邊界的變化，邊界能展現自行車使用型態的空間範圍以及興趣點的空間分群。

一、模矩度分群

(一) 自行車分群

首先，利用社會網絡結構圖探討節點間的互動關係，使用 2023 年 3 月平日晨峰的自行車旅次資料以網絡視覺化軟體 Gephi 計算出的社會網絡結構分布與其視覺化圖(圖 25)以及初步的社群偵測分群。透過社群偵測方法(Community detection)計算最佳化模矩度(Modularity)後，可以得出臺北市自行車最佳化集群分群數為九群(圖 26)。同時，從圖中可以觀察到經過初步的社群偵測分群後，生成的社群具有區域性範圍，相同社群的節點以相似的颜色表示，而這些社群通常在地理分佈上呈現出聚集的趨勢。

在圖論和網絡分析中，連結的權重(edge weight)為一項數值，代表兩個節點之間連接的強度或重要性，其設置取決於具體的應用場景和數據來源，如在社會網絡中，則表示兩者間的互動次數或關係的強弱。在本研究中以臺北市公共自行車旅次為例，連結權重代表每條路線(即 Source 到 Target)出現的總次數，數值範圍從 1 到 1598。這意味著數值越大，代表該連結發生的頻率越高。因此，在計算模矩度時多考慮連結的權重(use edge weight)可以更加準確地反映網絡中節點之間的關聯強度。

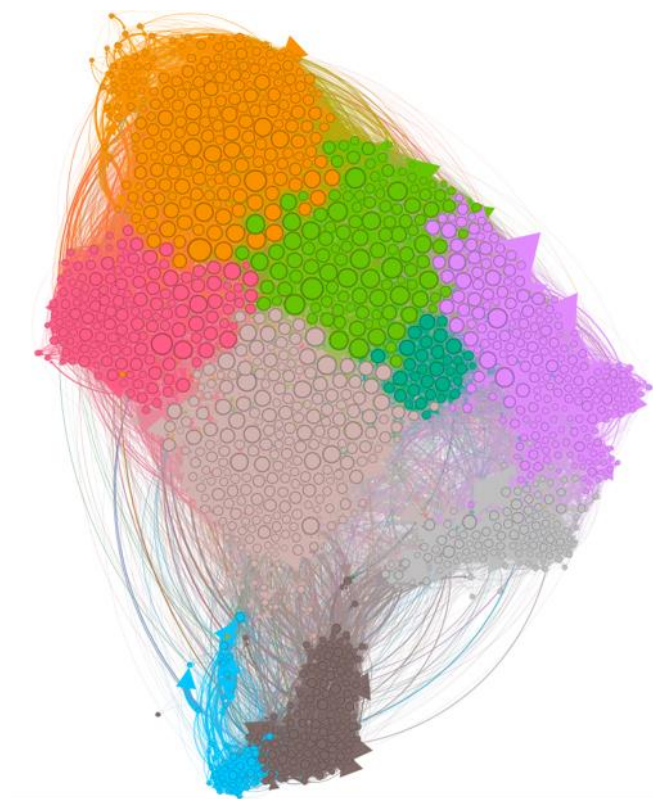


圖 25 臺北市分群網絡結構圖

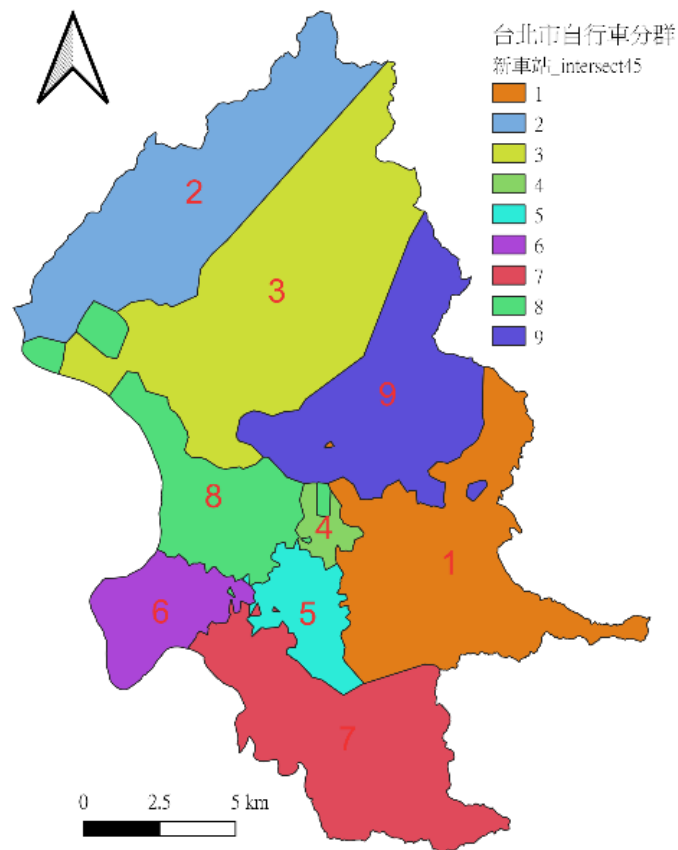


圖 26 晨峰模矩度分群結果

從圖 26 中可以看出臺北市公共自行車旅次主要分為九大群，大分群分布合理，僅有一些特殊的小區塊。如：

1. 左上角社子島地區有兩塊第八分群，分別為綠色的社子島島頭公園以及社子島濕地解說小築，旅次主要多穿梭在士林、中山和大稻埕這些地區。
2. 第九分群中有小塊橘色為海德堡科技大樓站，主要互動來自於內湖南港松山，因此被分到一號群集中。
3. 第四分群中有一塊第八分群為民權運動公園站，其旅次主要環繞在中山區民權東路與松山區以及捷運站。由於民權公園為松山區唯一的公園，場地功能性強，設施完善，且附近為民生社區，是民眾運動的好去處。
4. 第五分群中有一小塊為第七分群的站點-捷運大安站(5 號出口)，旅次大多是與大安、文山、信義與中正區有所連結，大安站位於捷運淡水信義線與文湖線交界處，且文湖線又位於高架上，推論出人們可能不太願意爬升再轉乘，因此改採騎乘自行車方式作為附近 5 至 10 分鐘短距離的代步工具。
5. 第六分群中也有一小塊為第八分群的站點-仁愛金山路口(東南側)，主要旅次來往於捷運站忠孝新生、東門以及善導寺站以及光華商場周遭，位於主要幹道上，周邊有公車站，推論提供人們騎乘至捷運站的代步工具。
6. 最後則是第一分群中有一個第九分群小區塊-康寧公園(北側)，主要來往的地方為東湖國小、東湖國中、捷運東湖/大湖公園/葫洲站、臺北市網球中心、康寧醫院以及國防醫學院以及同站借還，可以推論早晨人們騎乘自行車去上班、上課或著去醫院及運動等。

(二) 興趣點分群

接著，採用同樣方式將臺北市興趣點分群，興趣點的分群數則採用臺北市自行車的最佳化分群數 9 群作為標準進行分群，後續較好進行比較，以下為各個興趣點的圖示(圖 27~42)。

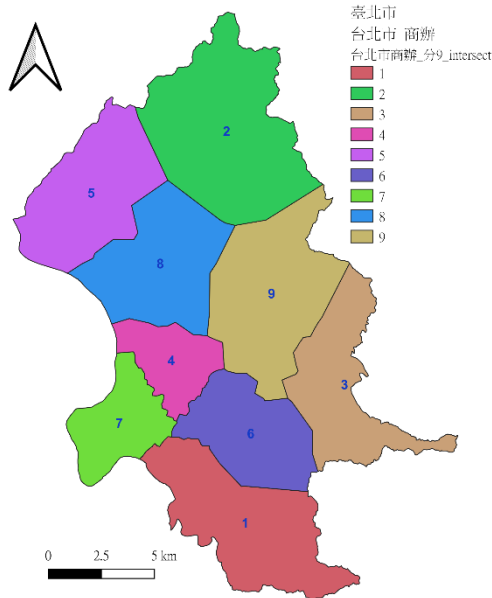


圖 27 臺北市商辦分群

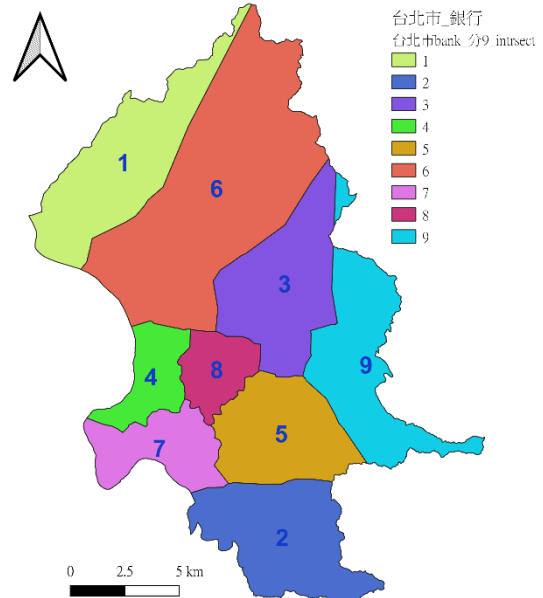


圖 28 臺北市銀行分群

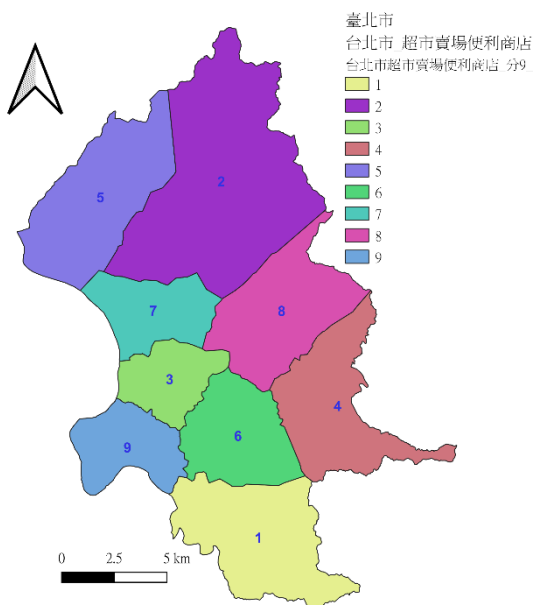


圖 29 臺北市超市賣場便利商店分群

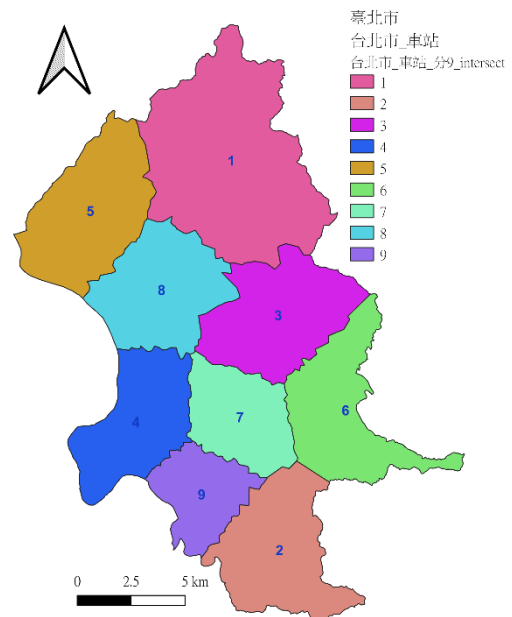


圖 30 臺北市車站分群

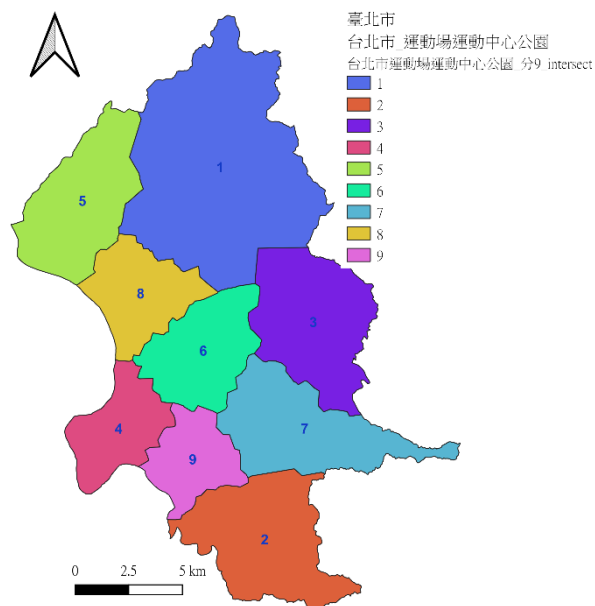


圖 31 臺北市運動場運動中心公園分群

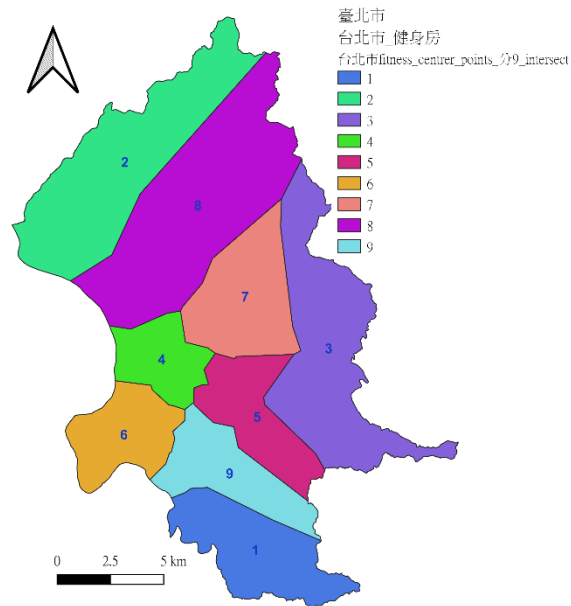


圖 32 臺北市健身房分群

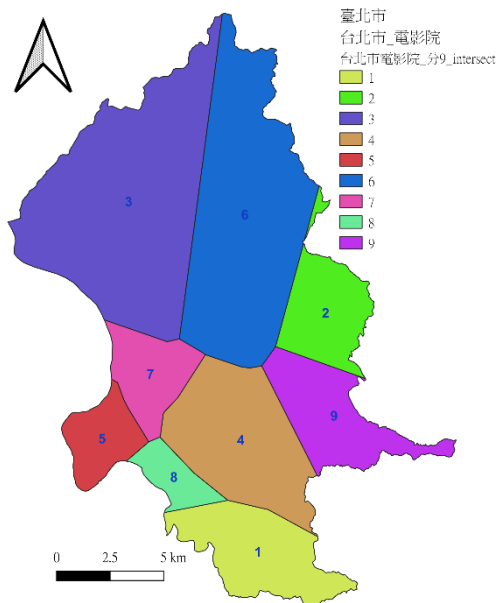


圖 33 臺北市電影院分群

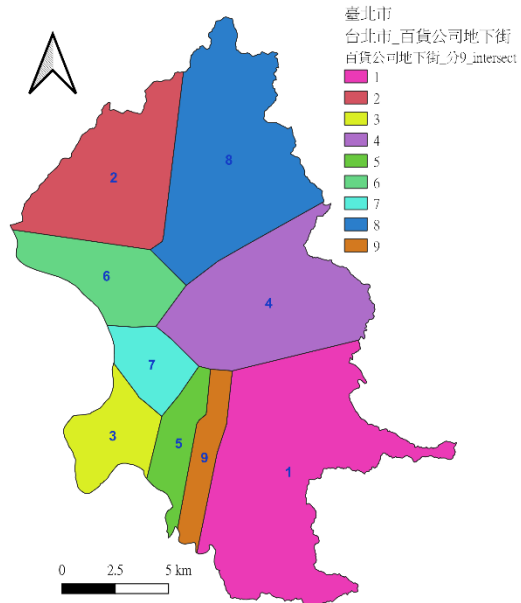


圖 34 臺北市百貨公司地下街分群

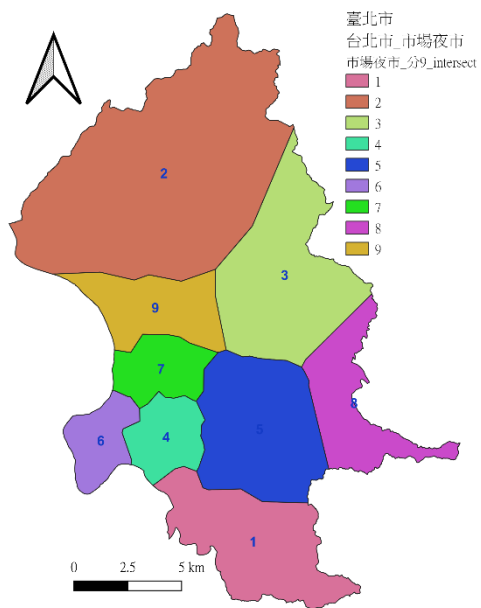


圖 35 臺北市市場夜市分群

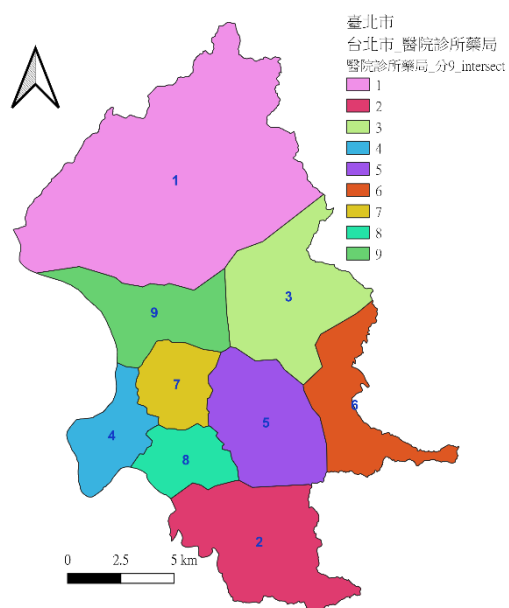


圖 36 臺北市醫院診所藥局分群

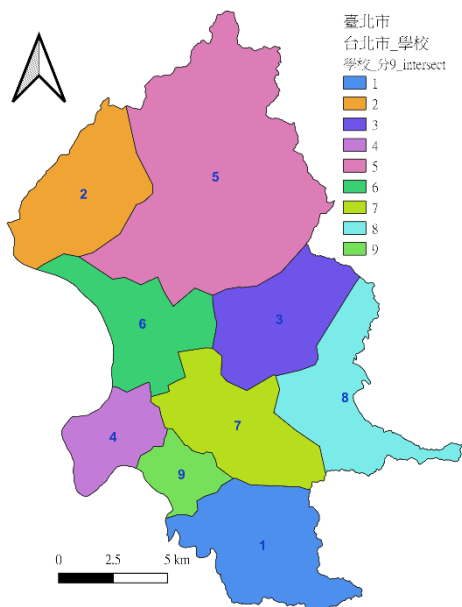


圖 37 臺北市學校分群

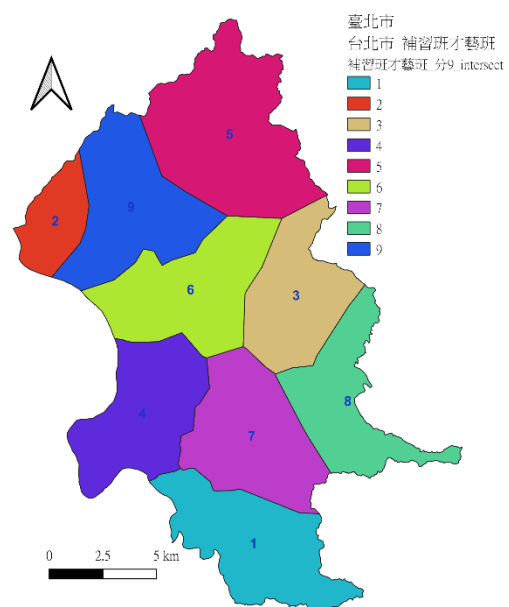


圖 38 臺北市補習班才藝班分群

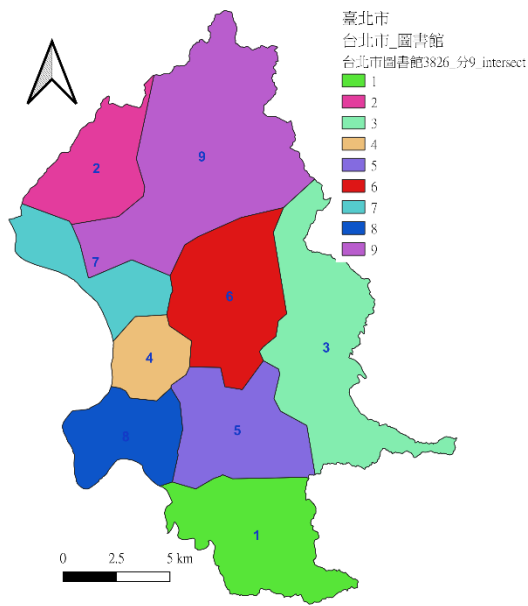


圖 39 臺北市圖書館分群

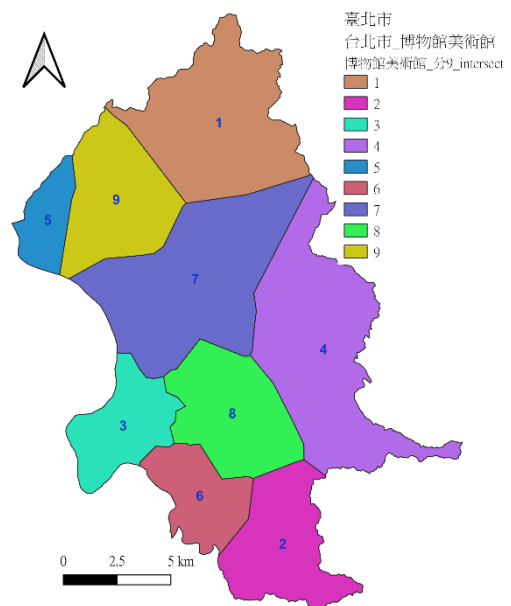


圖 40 臺北市博物館美術館分群

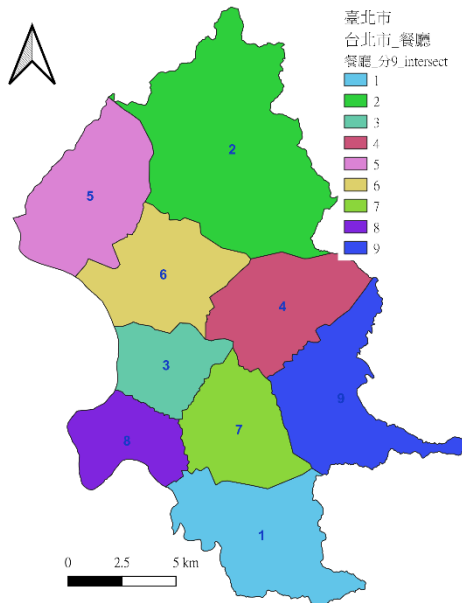


圖 41 臺北市餐廳分群

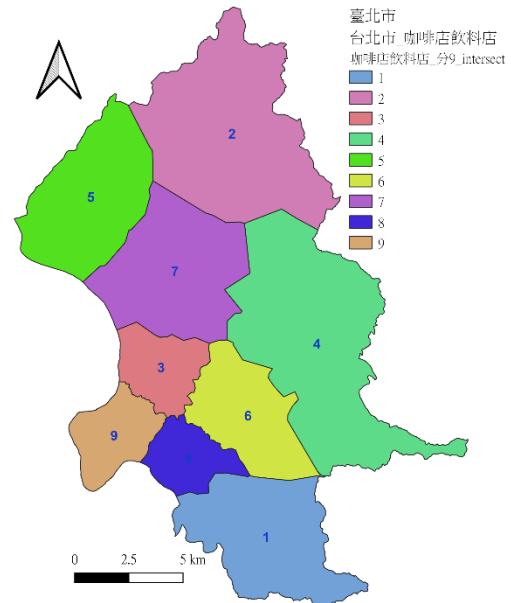


圖 42 臺北市飲料店咖啡店分群

三、程度中心度

接著為基礎資料分析，此部分為檢視臺北市社群偵測下所測得節點(node)的中心度(Centrality)。在圖論與網絡分析中，中心度指標為圖中的節點分配與其網絡位置相對應的數字或排名。應用包括:識別社交網路中最有影響力的人、網路或城市網路中的關鍵基礎設施節點、疾病的超級傳播者以及大腦網絡等。其中，程度中心度(Degree Centrality)為最容易計算的指標，對於某個節點而言，度(degree)就是指該節點的連結(edge)數量，也是該節點與其他節點直接連接的總數。因此，若

該節點的 degree 值越高，則代表此節點在此網絡中扮演越重要的影響力。

經過計算後，從下方表格觀察到單一社群下自行車站點中心度有明顯的旅次型態差異，可以輕易區分出市區以及市郊的差異。且早上的都市活動多以通勤旅次為主，因此旅次可能組合大多為家-工作地、家-轉乘地以及轉乘地-工作場所等情況。中心度最高的站點為臺灣師範大學(圖書館)為中心度 474、其次為仁愛醫院為中心度 446 以及捷運科技大樓站為中心度 434，以上這些站點幾乎分布於學校、醫院以及捷運站周邊的自行車租借站，符合常見的公共自行車的使用特性。另外，因受篇幅關係，下方僅列出程度中心度前十名之站點做為示意(表 7)。

表 7 程度中心度前十名站點

Id	Modularity	indegree	outdegree	degree	weighted indegree	weighted outdegree	weighted degree
臺灣師範大學(圖書館)	7	276	198	474	3002	1195	4197
仁愛醫院	5	244	202	446	1591	1036	2627
捷運科技大樓站	7	215	219	434	3600	4453	8053
捷運臺大醫院站(4號出口)	6	248	170	418	1377	1262	2639
捷運國父紀念館站(2號出口)	5	240	173	413	2158	2320	4478
捷運忠孝復興站(2號出口)	5	213	196	409	1661	2040	3701
捷運六張犁站	5	173	233	406	2911	3459	6370
松山車站	1	170	218	388	2597	2918	5515
信義敦化路口	5	199	187	386	1408	1515	2923
捷運南京復興站(5號出口)	5	230	154	384	1675	2041	3716

註：Id=站點名稱；Modularity=模矩度分群結果；indegree=入度；outdegree=出度；degree=入度+出度；weighted-indegree=加權入度值；weighted-outdegree=加權出度值。

另外下列為臺北市程度中心度出入度的差值表，因篇幅關係僅列出前五名站點做為示意，以下將進行說明：

表 8 臺北市程度中心度出入度差值表

sna	Modularity	indegree	outdegree	Out-indegree	In-outdegree	degree
敦化南路	5	273	95	-178	178	368

二段	103					
巷口						
臺大女九	7	221	57	-164	164	278
舍西南側						
洲子二號	9	193	40	-153	153	233
公園						
松仁路 95	1	238	96	-142	142	334
巷口						
臺大社會	7	189	56	-133	133	245
系館南側						

註:sna=站點名稱;Modularity =模矩度分群結果;indegree=入度;outdegree=出度;out-indegree=出度-入度差值;in-outdegree=入度-出度差值;degree=入度+出度

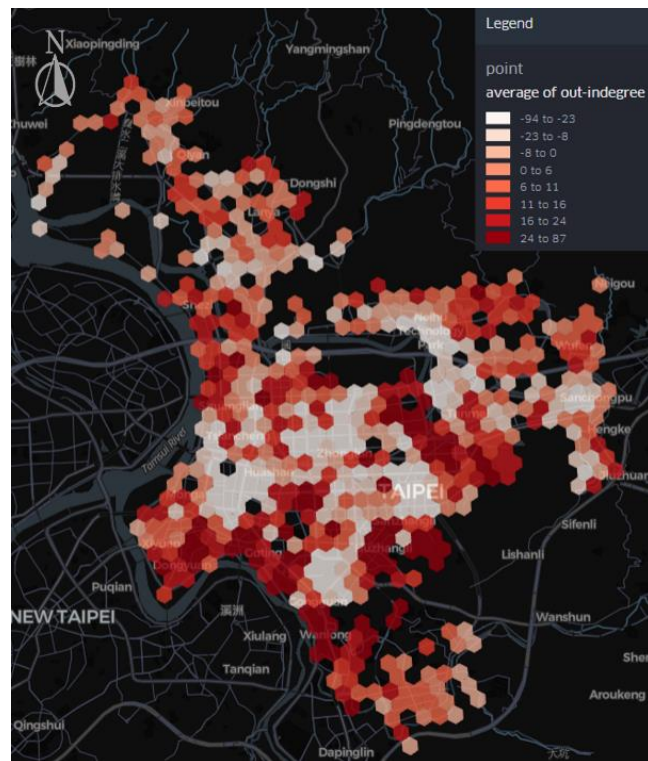


圖 43 out-indegree 差值平面呈現

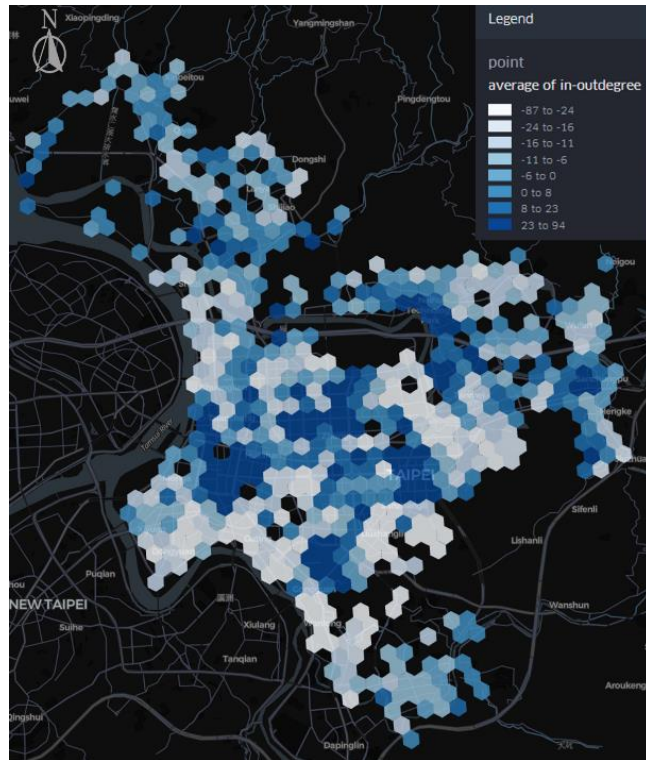


圖 44 in-outdegree 差值平面呈現

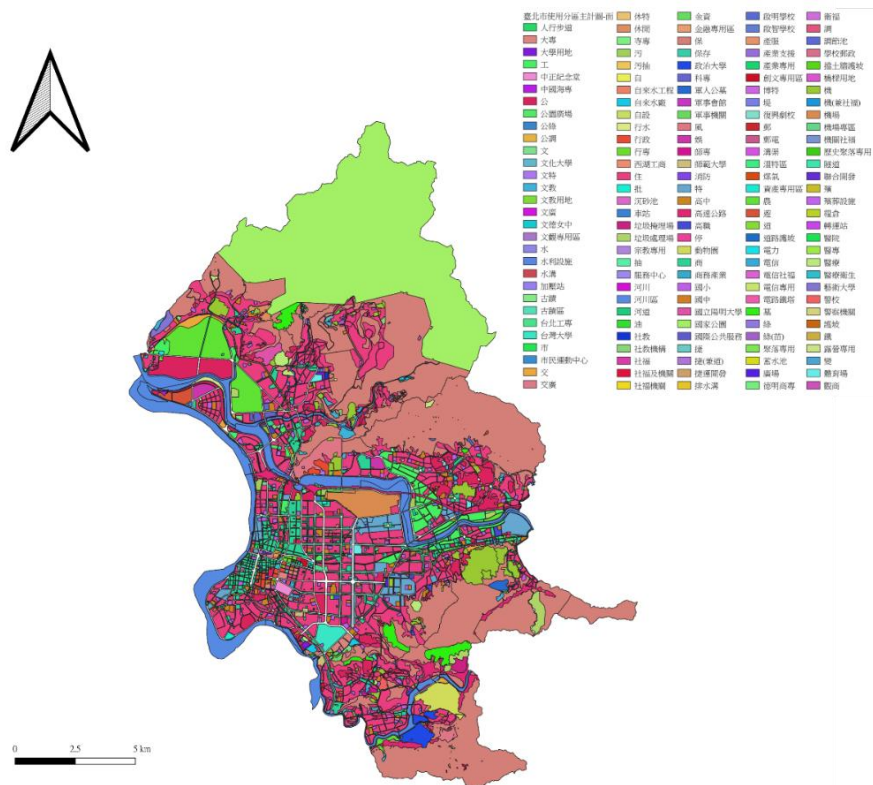


圖 45 臺北市土地使用分區圖

若將上面的臺北市程度中心度差值表欄位透過視覺化軟體 kepler.gl 呈現，並參考臺北市土地使用分區圖(圖 43~45)，可以發現出度-入度為正值代表離開人口大於湧入的情況，主要分布於市郊住宅區，如：萬華、文山、大同區、內湖山區與六張犁等，可推測早晨人們從家裡出發，透過騎乘自行車前往市中心如：公司、學校、捷運站、交通工具場站或其他場所等；相反地，若是入度-出度為正值則代表湧入人口大於離開情況，主要分布於市中心與中心商業區，為城市中的重要地標吸引人們前往，如：臺北車站、信義區、中山區、松山區、美麗華、內湖與南港軟體園區、臺大附近，以及部分士林與關渡地區；另外，自然邊界在地理空間上也產生了阻隔作用，使社群偵測的分群被區隔開來，而松山機場則是受到管制使中心度為空值，周邊數值也受其影響整體數值偏低。

第三節 以調整蘭德指數量化都市活動空間

本研究透過 QGIS 將其自行車旅次以及興趣點分群圖層進行網格化(Rasterized)，網格大小則參考國內外都市公共自行車系統研究，通常範圍設置在 200 至 500 公尺之間，這樣解析度能夠提供足夠的精細度以進行有效的空間分析，同時保持計算的高效性。因此，本研究網格單元最終設以 250m*250m 為標準，將圖層轉換成網格後，另外輸出。接著透過 Python 軟體中計算各類型興趣點與公共自行車旅次分群的蘭德指數(RI)以及調整蘭德指數(ARI)，如下表 9。

表 9 各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI

number	type	ARI	RI
1	commercial_office	0.493377334	0.879303373
2	bank	0.581686995	0.891898589
3	supermarket_convenience_store	0.554729796	0.888370704
4	station	0.441255857	0.865188494
5	sportgroundcenter_park	0.4516491	0.860831754
6	fitness_centre	0.597661941	0.900161787
7	theater	0.388043456	0.832161898
8	departmentstore_underground	0.438342845	0.850388475
9	market_nightmarket	0.504715392	0.860098518
10	hospital_clinic_pharmacy	0.504748164	0.85802066
11	school	0.48627447	0.864666044
12	cranschool_talent	0.425971742	0.865050909
13	library	0.461842828	0.865200369
14	museum_art	0.37714988	0.846049397
15	restaurant	0.480562444	0.872685345
16	coffee_beverage	0.437114242	0.857417839

由於篇幅關係，以下僅示意臺北市自行車與興趣點分群比較的前三高數據的興趣點分群網格化之圖，並進行說明(圖 46~49)。



圖 46 臺北市自行車分群網格化

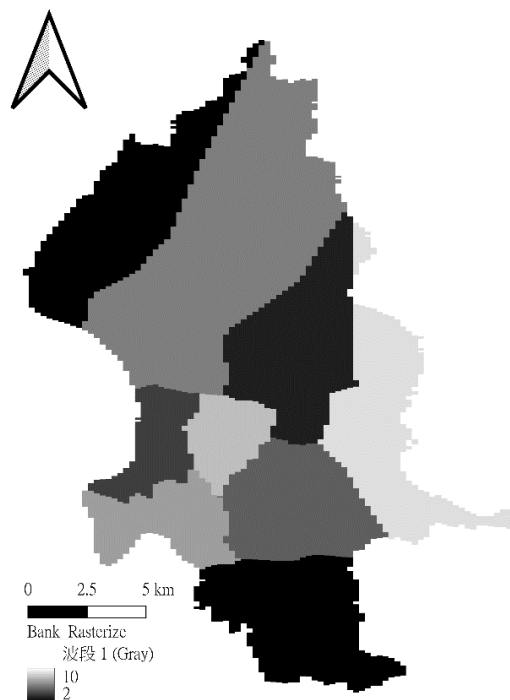


圖 47 臺北市銀行分群網格化

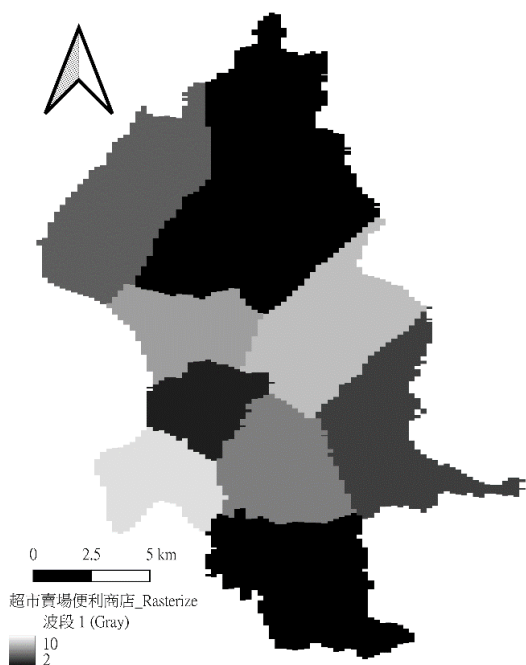


圖 48 臺北市超市賣場便利商店分群網格化

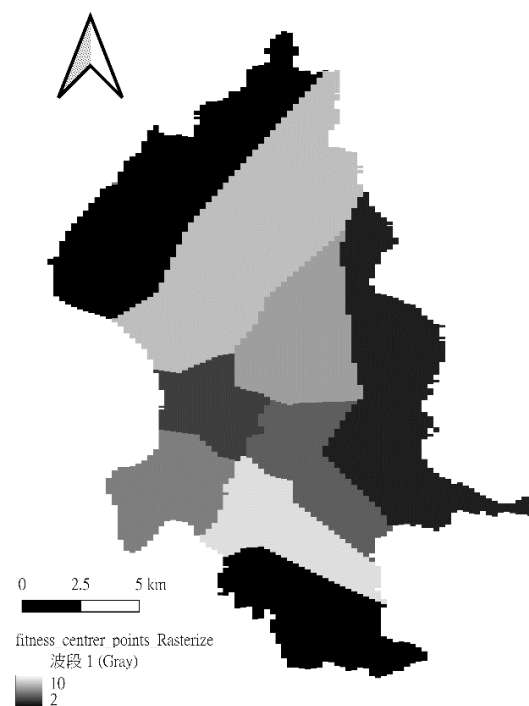


圖 49 臺北市健身房分群網格化

觀察上方表格的蘭德指數數據以及興趣點分群網格化，發現了一些顯著的趨勢，如 ARI 的編號 2、3、6、9 和 10 其值均大於 0.5，代表這些類型的興趣點與自行車分群具有一定程度之相似度。其中，又以銀行、超市賣場便利商店和健身房的數值更為突出，這意味著人們通常在早晨騎乘自行車前往銀行辦理事務，或前往超市賣場採買食物，甚至去健身房運動。基於這樣的觀察，可以說明興趣點類型會呈現不同層級的活動，可藉此推斷這些地點在都市空間結構中具有重要的地位，反映了都市居民的日常活動模式和需求。而這三項興趣點與目前臺北市公共自行車的使用分群較相似，未來或許能作為衡量臺北市都市空間結構的指標之一。若更進一步了解興趣點的類型和密度，有助於更好地理解都市活動空間的特性，可以為地方設施和政策的制定提供參考。

第四節 都市次分群的活動空間分析

The Congress for the New Urbanism (1996)所發表的《新都市主義憲章》強調都市規劃應涵蓋不同尺度的綜合考量，如：The Region-Metropolis, City, and Town；The Neighborhood, The District, and The Corridor；The Block, The Street, and The Building，從整體區域規劃到鄰里單元，再延伸到更細緻的生活圈與街道設計。在都市尺度層級，新都市主義主張多核心城市結構，透過有機組織的方式，促進都市內不同區域間功能互補與協同發展，並減少長距離通勤對環境的負面影響。這種結構打破傳統的單一功能分區，強調不同區域應擁有混合使用的功能，提供工作、居住、休閒與文化活動等多元化的空間組合，從而提升都市整體的可持續性與宜居性；放大尺度來看，鄰里層級的規劃強調可步行性的服務設施、公共空間的品質和鄰里內的社會互動，這一層級側重於社區內部的功能整合與居民的日常生活便利性，目標是居民在不依賴機動交通工具的情況下滿足日常生活所需，這與 15 分鐘生活圈的概念不謀而合。

因此在本研究中城市尺度和鄰里尺度的雙重分析，正是基於新都市主義憲章中所倡導的多層級規劃理念。本節旨在透過探討臺北市不同行政區內公共自行車使用模式與都市興趣點的空間分佈，試圖揭示這些尺度下的空間結構特徵，並提供規劃建議，以促進都市空間的合理發展與居民生活質量的提升。這樣的研究框架，不僅符合新都市主義的核心理念，也為未來都市規劃提供了新的思路與實踐依據。

一、次分群的社群偵測分析

內湖區，位於臺灣臺北市東部，其地形特徵為多山丘，形成多處小盆地地貌，當地人以臺灣話稱山坳地為「湖」，因此內湖一詞意指「內部盆地」。其內部的活動區域劃分明顯，主要道路包括內湖路、民權東路、成功路及國道一號，在不考慮轄內山區的情況下，零售店鋪較活躍的地區主要以成功路與國道一號高速公路為界，區分為成功路以東的東湖、成功路以西的西湖，以及國道一號以南的舊宗與重劃區，整體將內湖分為三個地緣區。

內湖區的工作與居住區域分界相對明顯，如：內湖科技園區等工作區域在上班時間人潮熙攘，擁有許多辦公大樓，附近有較多商業設施、辦公大樓和交通設施，吸引

大批上班族；而居住區多位於工作區域周邊或較遠處，使人們在工作時間之外享受相對寧靜的生活環境。這種工作與居住區域分界明顯的情況，是因為內湖區的都市規劃和土地利用所致。

相比之下，臺北市南部的大安區，其名稱源自舊地名「大安庄」，位於臺北盆地東南側，境內除東南部丘陵外，皆為平原地形。大安區人口約 29.2 萬人，人口密度每平方公里約 2.6 萬人，是臺北市人口最多、人口密度最高的行政區，也是全臺灣所有三級行政區中人口密度第三高的區域。區內主要道路系統呈棋盤狀，東西向包括忠孝、仁愛、信義、和平等路，南北向則有敦化、復興、建國、新生等路。

大安區的工作與居住區域分界相對模糊，主要為住商混合使用，使得居住地與商業區共存，形成獨特的都市生活氛圍。商業設施、辦公大樓和住宅區緊密相鄰，人們的生活和工作在同一區域內進行，無需長途通勤，便利性極高。

因此，本研究嘗試劃分更小範圍的次分群區域，並利用內湖區工作與居住分界明顯以及大安區住商混合兩個區域進行觀察。透過觀察次分群市中心與市區外圍兩者之間的差異，了解都市活動模式和空間結構的運作，這將有助於對公共交通需求和都市規劃提出相應的挑戰和機遇。

(一)內湖區公共自行車旅次分群

本研究透過軟體 Gephi 針對內湖區的旅次進行社會網絡分析(圖 50)，並利用模矩度計算最佳化分群的數值，最終結果內湖區將分為六個次分區(如圖 51)。

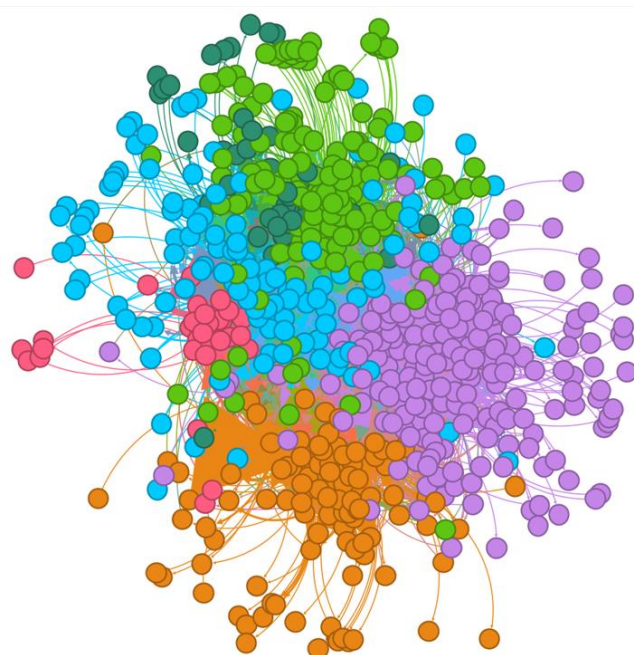


圖 50 內湖區分群網絡結構圖

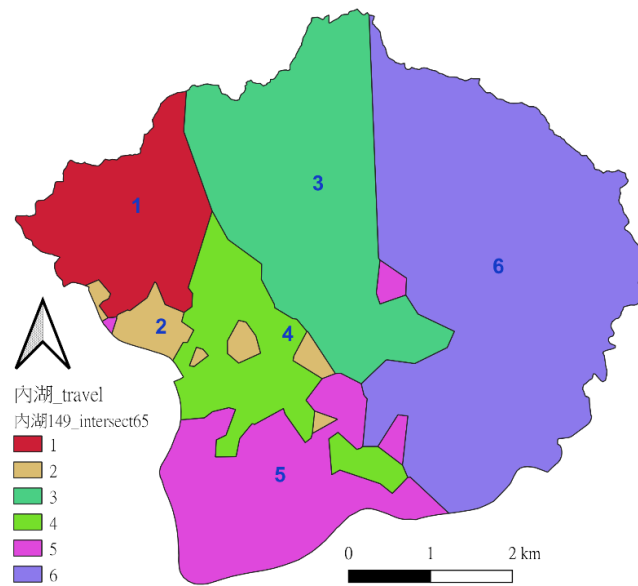


圖 51 內湖區自行車旅次之次分群圖

觀察上圖，可以發現內湖區自行車次分群圖如第一、三、五與第六分群算完善，有點類似小社區的都市結塊(urban agglomeration)現象。這意味著內湖區的某些地區可能具有相對完整以及互補的生活機能區和社區設施，使居民能夠在周邊區域內完成各種日常活動，且擁有獨立的商業、教育、娛樂和文化設施，因此居民不需長途跋涉即可滿足大部分的日常需求；此外，部分小範圍的內湖地區公共自行車旅次呈現蛙躍式(leapfrog)和不連續的破碎化(fragmentation)使用型態，如第二與第四分群，其中可能推斷是：

1. **地形和地理特徵**：內湖地區的地形可能不均勻，且存在自然或人為的地理障礙，如河流、山脈或道路等。這些地形和地理特徵可能導致不同區域之間的交通連通性不佳，使得出現斷裂和跳躍式的情況。

2. **城市規劃**：內湖地區的城市發展可能受到不同時期的規劃影響，導致不同區域之間發展不平衡。如內湖西南地區屬於早期開發，而其他區域如內科或東湖則在後來才進行開發，這將導致發展出現落差，進而出現蛙躍式的情況。

3. **土地使用和用途**：內湖區內部的不同功能分區如：科技園區、住宅區和商業區等之間可能存在一定距離，而這些不同的用途將導致不同區域的發展模式存在差異性，進而形成蛙躍式的發展型態。

以下為針對內湖區各個次分群進行更詳細的說明：

第一分群位於西湖生活圈內，範圍內包括一小塊的北勢湖工業區、國小國中科技大學等學校用地、住宅區以及大片的金面山保護區，南邊西湖捷運站北邊處也有西湖市場，整體算是完整的小型社區，能夠自成一分群。且觀察捷運站周邊自行車的旅次發現起訖點多為學校與公園，可以推論出大多數人騎乘公共自行車的目的為上學或是公園。

第二分群則屬於跳躍式分群，主要大群中心圍繞在捷運西湖站周邊，同時分散到五個小群，其中最西邊群為靠近北勢湖環保公園等3個站點，對面有著名的來來豆漿店經常吸引觀光客前往，以及左側馬路旁是中山區大直美麗華商圈極為熱鬧，許多旅

次往返此處；再來則是宏匯瑞光廣場(瑞光路)站，為內科之心的 BOT 大樓，具有商辦、t.hub 以及醫院之性質，為內湖重要據點之一，可推論出人們早晨搭乘捷運並轉乘自行車前來上班等行為；接著瑞陽公園站，推測由於附近多為第三種住宅區，周遭有文德捷運站及西湖圖書館，旅次與左側工業區密切來往且同屬一集群，再加上對街也有著名 737 巷早市與夜市，可推測人們早上出行目的可能為上班上課、吃飯或採買；而陽光公園站臨內湖國高中旁，旅次多來自國宅、捷運站與公園，由此可推測自行車為學生早上通勤的交通工具；最後則是內湖行政中心，由於附近為公家機關辦公大樓，但周遭無捷運站，可推測可能是早上人們搭乘捷運並轉自行車前來辦事或上班。

第三分群位於大湖生活圈內，包含了捷運內湖站，周邊有豐富的山水資源，成功路湖光市場及原德安百貨附近為主要商圈。配合捷運文湖線，結合車坪寮山山系觀光遊資源，是購物、休閒、親山親水的優質居住區。從旅次紀錄可以發現多為往返碧山公園、碧湖公園、社區小公園以及內湖區農會等，推測人們可能搭乘捷運來內湖，並轉乘自行車前來上班或步道爬山等，又或是從住家附近公園的自行車站出發前往捷運站進行轉乘的動作。

第四分群位於部分西湖生活圈與區域醫療中心生活圈，西側靠基隆河為科技工業區，其餘主要為住宅區，周邊生活機能完善自成一群。觀察旅次紀錄可以發現主要來往為麗山國高中、環山路、宏匯瑞光廣場、內湖運動中心與瑞湖陽光街口，可推測說人們早上騎乘目的為前往上學、運動、爬山或上班辦事等；另外還有一小群分布於內湖四期重劃區，由於附近無捷運線經過，因此旅次主要來往捷運站周邊與一些重要景點地標。另外，還有許多人會騎乘自行車橫跨區至基隆河對岸的松山及南港站轉乘捷運與火車、騎乘自行車前往臨內湖行政中心與內科的三民國中(民權東路六段 47 巷)站、騎乘至旁邊為高爾夫球練習場的民權東路六段 15 巷站、騎乘至臨內湖工業區的文德三號公園(江南街 71 巷 16 弄)站與瑞光公共住宅(瑞光路)站，由於公共住宅無捷運抵達交通不便，因此人們選擇騎乘自行車到此。

第五分群包括區域醫療中心生活圈與基隆河河濱工業區，位於三軍總醫院以及內科與南港經貿園區、軟體工業園區之轉軸地區，主要以工業區機能再造，促進產業升級、改善生產環境為主，且中山高環繞，區位條件良好。不過由於此處無捷運經過，因此北側多為自行車往返捷運站以及前往醫院及北邊步道之旅次；另外分群南邊內的五期重劃區，以美式生活圈著稱，棋盤式道路規劃，緊鄰高架橋、快速道路和眾多量販店賣場，全區採住商分離，綠覆率高，吸引包括遠雄、國泰、宏泰、長虹和華固等各大建商進駐推案，歷經多年開發，生活圈已然形成，因此旅次多群內互動。另外，臨基隆河河濱工業區發展具高附加價值的臺北企業總部園區，由於具有多棟辦公大樓，上班通勤人數眾多，因此旅次多為往返捷運站或是附近的住宅區的周邊站點。

第六分群位於包含大湖與東湖生活圈以及三軍總醫院周邊，康寧路與東湖路口發展快速，為東湖地區重要商圈。而自行車捷運大湖公園站多來往大湖國小站，推測因鄰近大溝溪治水生態園區，為運動踏青的好地方。且北邊周邊多為住宅區，因此人們須前往南邊捷運葫洲與東湖站商圈附近從事其他活動；再加上東湖商圈生活機能完善，不僅有量販店與超市，亦有傳統市場，再加上學區優良，距南軟近，更有著名的賞櫻勝地樂活公園，且康寧交流道可直上國道一號，交通極為方便，因此旅次主要集中於捷運周遭，往返於東湖國中、康寧大學、康湖一二號公園、國防醫學院等學。而二期重劃區也位於康寧醫院附近，推測使用目的多為上班與上課居多；另外，西邊的內湖四期重劃區主打純住宅區，由於當地交通不便捷運未到達，主幹道尖峰時間車流量大，內科周邊上下班時間易塞車，主要旅次皆往返捷運站或松山車站沿河堤各站以及附近

的商場、公園與辦公大樓，推測人們騎乘自行車至捷運站轉乘或至辦公大樓上班辦事。

綜整以上，針對內湖區的公共自行車各個分群做了初步的分析，接著透過同樣方式將各式興趣點類型進行空間分群，最後透過計算調整蘭德指數找出最符合貼近自行車分群的興趣點類型為何。

(二) 內湖區興趣點分群

內湖區興趣點分群數則採與內湖區自行車旅次分群數相同的六個分群，以及因內湖區 OSM 地圖中僅有一個電影院點位，無法構成分群，因此排除此項目。另外，也因內湖區健身房、博物館美術館以及百貨公司地下街分群數個數較少，分群數將小於六群。以下為內湖區其餘各式興趣點的空間分群(圖 52~66)：

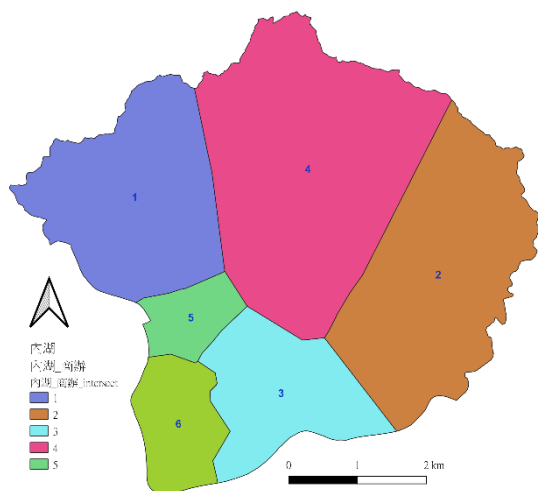


圖 52 內湖區商辦分群

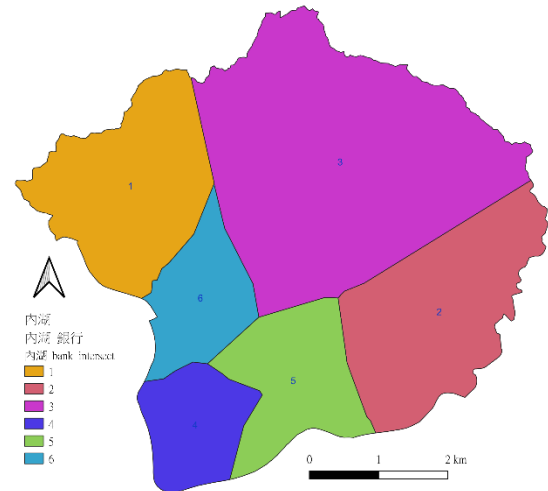


圖 53 內湖區銀行分群

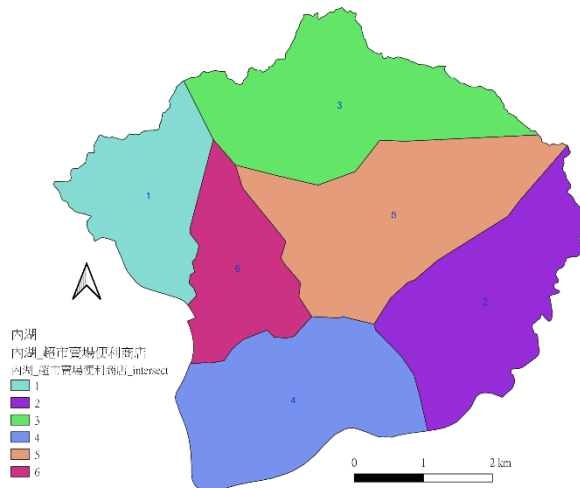


圖 54 內湖區超市賣場便利商店分群

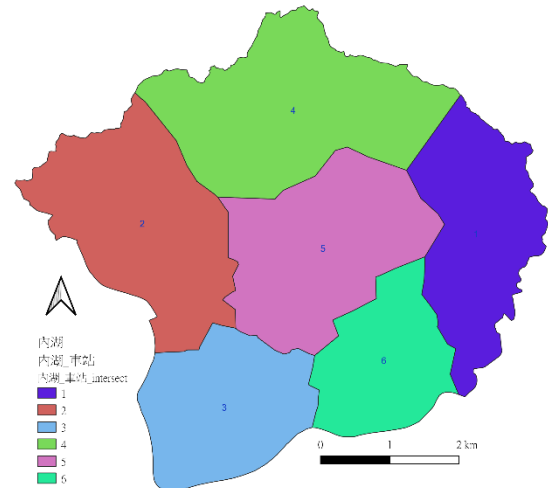


圖 55 內湖區車站分群

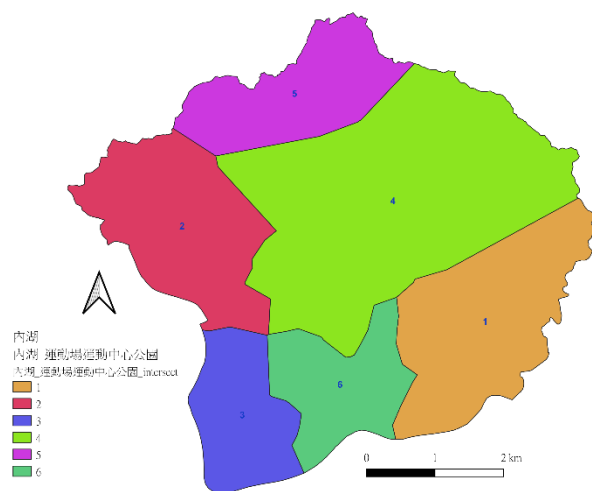


圖 56 內湖區運動場運動中心公園分群

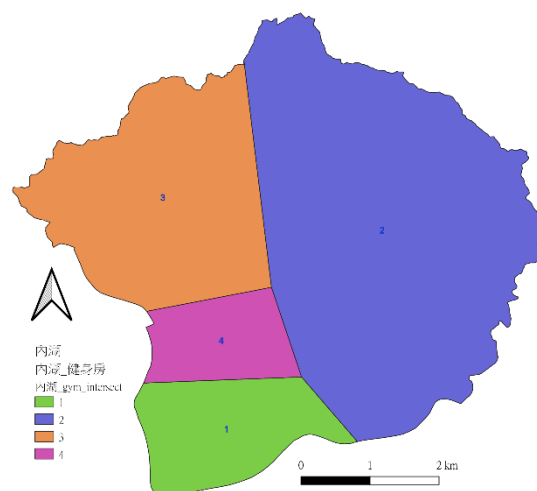


圖 57 內湖區健身房分群

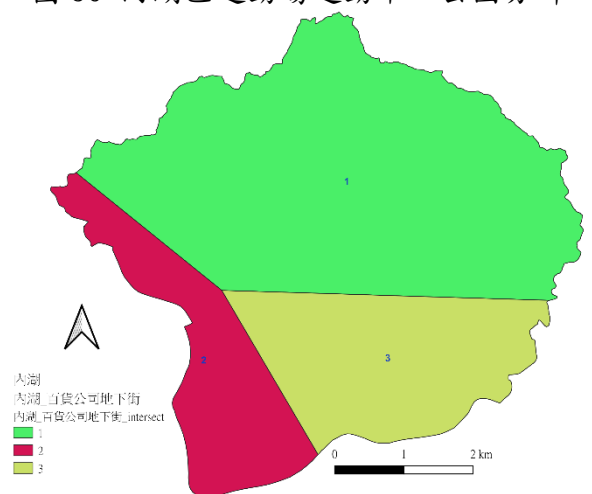


圖 58 內湖區百貨公司地下街分群

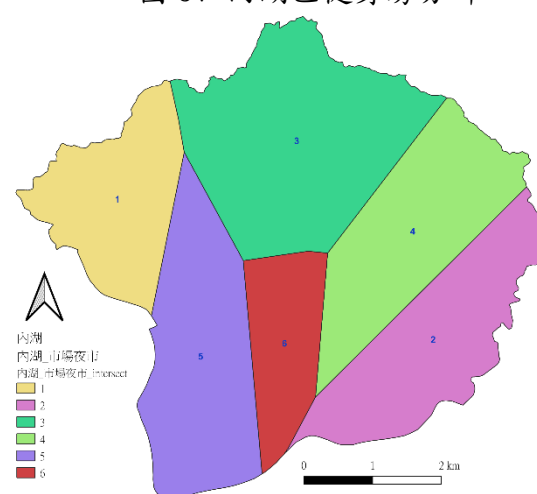


圖 59 內湖區市場夜市分群

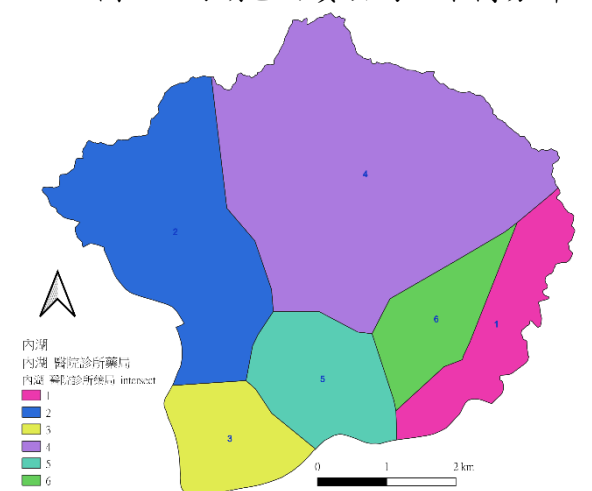


圖 60 內湖區醫院診所藥局分群

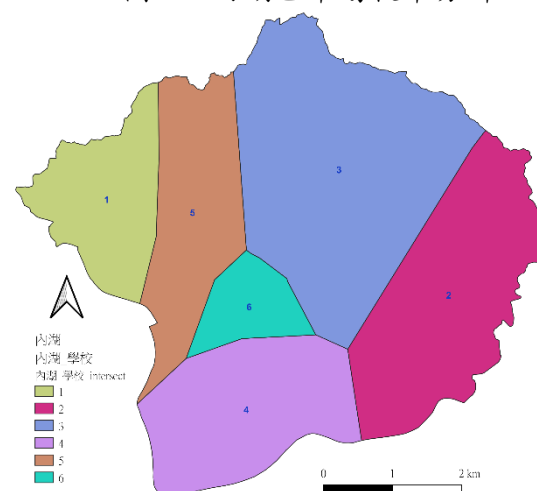


圖 61 內湖區學校分群

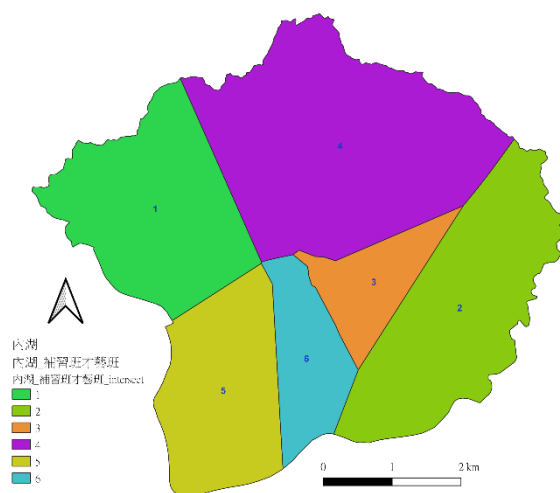


圖 62 內湖區補習班才藝班分群

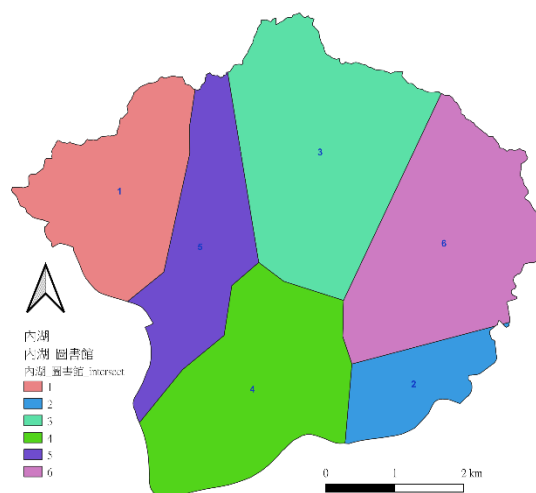


圖 63 內湖區圖書館分群

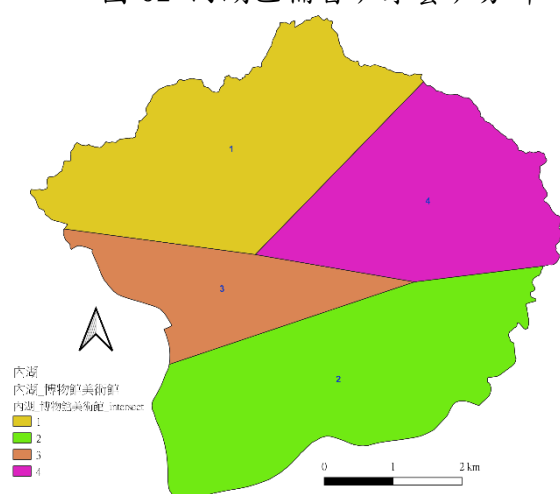


圖 64 內湖區博物館美術館分群

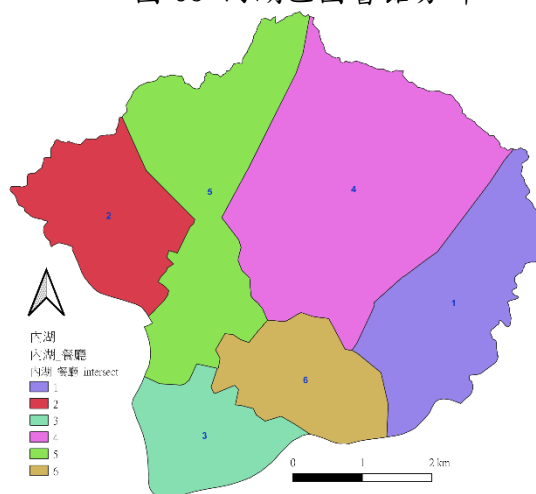


圖 65 內湖區餐廳分群

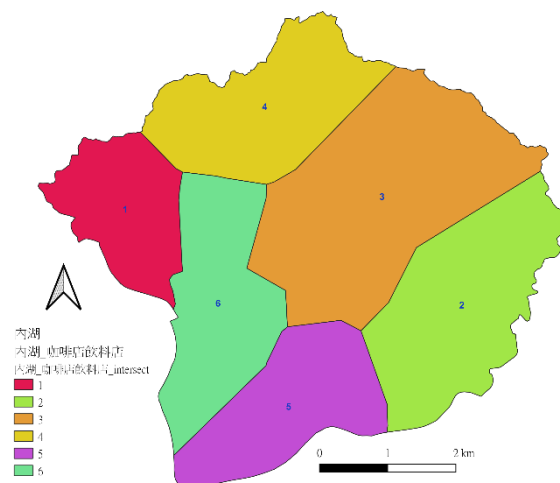


圖 66 內湖區咖啡廳飲料店分群

(三) 大安區公共自行車旅次分群

本研究透過軟體 Gephi 針對大安區的旅次進行社會網絡分析(圖 67)，並利用模

矩度去計算最佳化分群數值，結果得出大安區將被分成五個次分區(圖 68)。

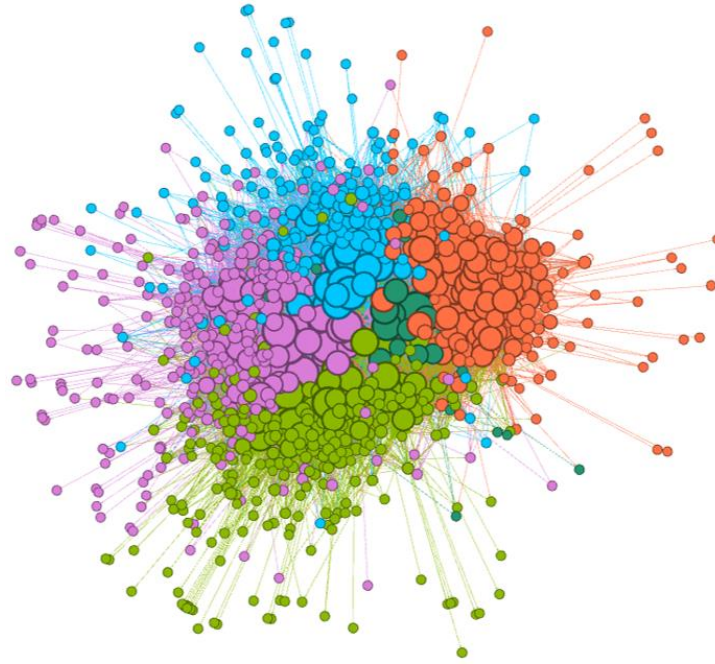


圖 67 大安分群網絡結構圖

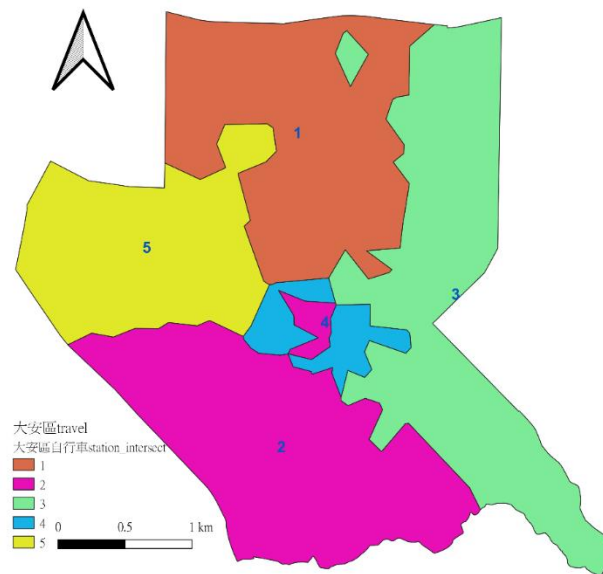


圖 68 大安自行車旅次之次分群圖

相較於前段內湖區的蛙躍式分群，大安區的自行車旅次分群顯得相對整齊有序。推測可能原因是大安區作為臺北市的中心地區，住宅與商業區混合程度較高，導致土地使用上較不容易出現蛙躍式分群現象。

以下是針對大安區第一至第五分群的詳細解釋：

第一分群位於大安區的北部，主要為學校用地以及第三種住宅區與商業區，人口密度較高。該區域內的東區商圈和許多公共服務設施，為居民的日常生活提供便利。該區域還有一些小型公園吸引居民進行戶外活動，而這些特性使公共自行車使用率較高，形成明顯的旅次分群；另外，分群中嵌入了一小塊第三分群，該區域的自行車站點為瑠公公園，因附近百貨公司林立，又有東區頂好商圈和假日市集，吸引大量人流。由於周遭捷運站位於不同線上，轉乘不便，加上忠孝東路周邊設置了完善的自行車道，使得 YouBike 成為短程代步工具的理想選擇。

第二分群涵蓋大安區的南部，為教育和文化設施的集中區。該範圍包括多所學校，如臺灣大學、臺灣科技大學、和平高中、龍門國中、龍安國小、銘傳國小、公館國小、新民國小等，這些學校吸引大量學生和文化活動參與者，產生高頻次的出行需求。此區域內公共自行車站點數最多且最密集，便於學生、居民和上班族的短程旅運需求。同時，良好的自行車道和公共交通接駁設施更進一步提高了公共自行車的使用率。

第三分群位於大安區的東部，土地使用以混合用途為主，包含住宅、商業、教育和醫療設施。北邊旅次主要圍繞在仁愛圓環、臨江街夜市等重要地標附近。學校和醫院的集中帶來大量出行需求，學生和醫療人員以及上班族的日常通勤和生活需求，使公共自行車成為方便快捷的交通工具。

第四分群是大安區的核心商業區，國科會及科技大樓位於此處，銀行商辦大樓林立，商業活動繁忙。此外，該區域內有一些知名的餐飲和娛樂場所，吸引大量訪客，使得公共自行車使用率極高，形成密集的旅次分群；另外，分群中嵌入了一小塊第二分群，位於捷運科技大樓站旁，包括復興南路二段 273 號前、和平復興路口西北側、復興南路二段 280 號前以及復興南路二段 340 巷口等站點。而這些站點的主要旅次對象為臺大各系館與宿舍、臺大商圈以及捷運公館站周邊，且這些目的地若搭乘捷運需要再轉乘其他捷運線，因此可推測人們利用公共自行車作為短程轉乘和最後一哩路的替代交通工具。

第五分群位於大安區的西部，主要為學校、住宅區以及公園。此區域的永康商圈及古亭師大商圈擁有許多著名餐廳，吸引大量遊客和外國人，而大安森林公園提供居民運動、休閒和社交的場所，增加了公共自行車的使用頻率。東北側的建國南路一段 279 巷口站點鄰近建國花市和延平高中，周圍有許多住宅大樓，與第五分群互動頻繁，促使該站點的自行車使用頻率和模式與第五分群其他區域相似，反映了高頻次、短途出行的特徵。

總結大安區各個公共自行車旅次分群，反映了區域內不同的土地使用和人口活動特徵。每個分群的形成與住宅、商業、教育和文化設施的分佈密切相關，同時政策和基礎設施的設置也對自行車旅次的分佈產生重要影響；相比於內湖區的蛙躍式分群，大安區的分群顯得更為整齊有序，其主要原因為大安區身為臺北市中心地區，住宅與商業區混合程度較高，土地使用上較不易出現都市結塊的現象。

綜整以上，針對大安區的公共自行車分群也做了初步的分析，接著透過同樣方式將各式興趣點類型進行空間分群，最後透過計算調整蘭德指數找出最符合貼近自行車分群的興趣點類型為何。

(四) 大安區興趣點分群

大安區興趣點分群數則採與大安區自行車旅次分群數相同的五個分群。另外因大安區電影院分群數個數少，因此分群數小於五群。以下為大安區各式興趣點的空間分群(圖 69~83)：

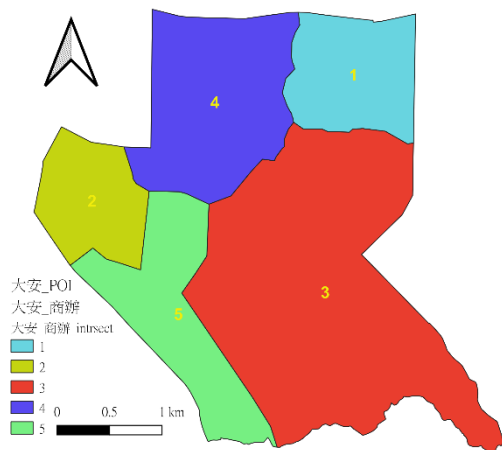


圖 69 大安區商辦分群

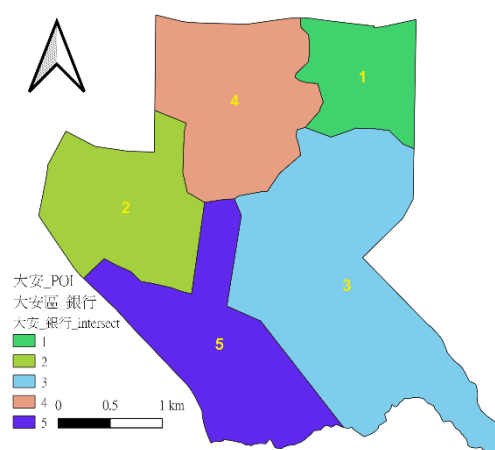


圖 70 大安區銀行分群

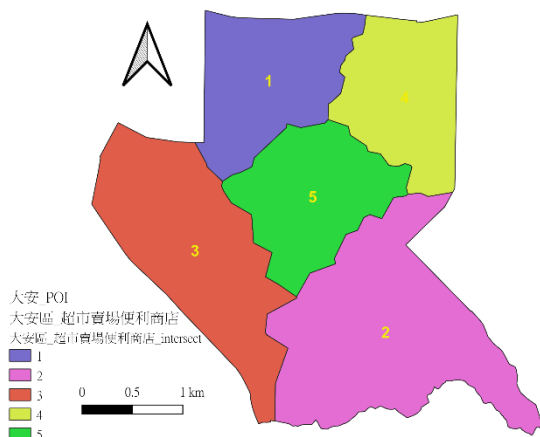


圖 71 大安區超市賣場便利商店分群

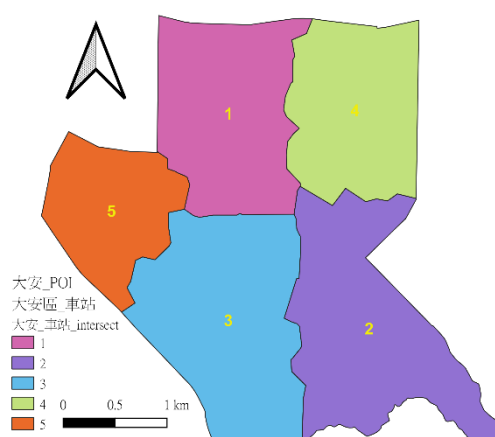


圖 72 大安區車站分群

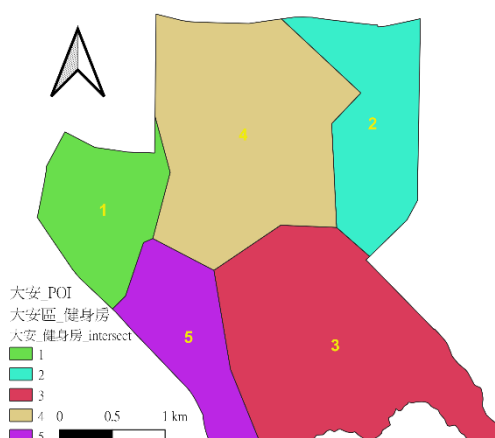
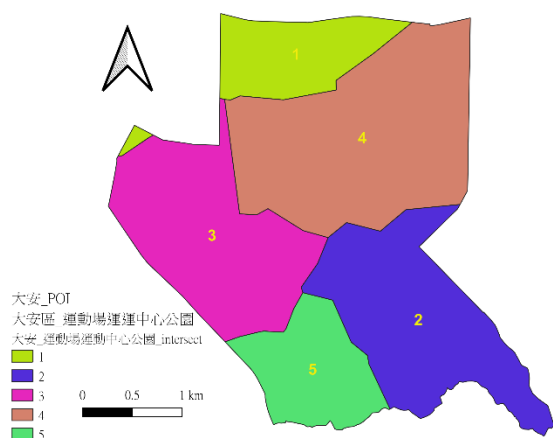


圖 73 大安區運動場運動中心公園分群

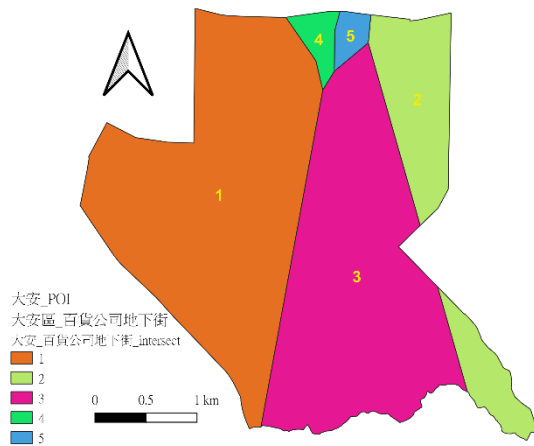


圖 74 大安區健身房分群

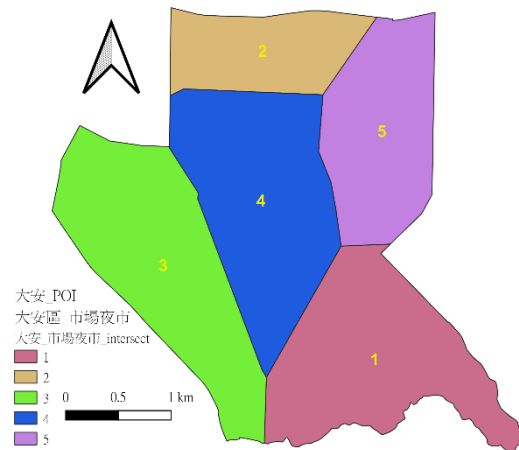


圖 75 大安區百貨公司地下街分群

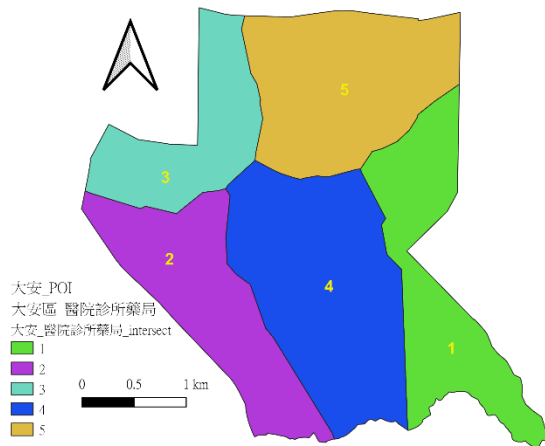


圖 76 大安區市場夜市分群

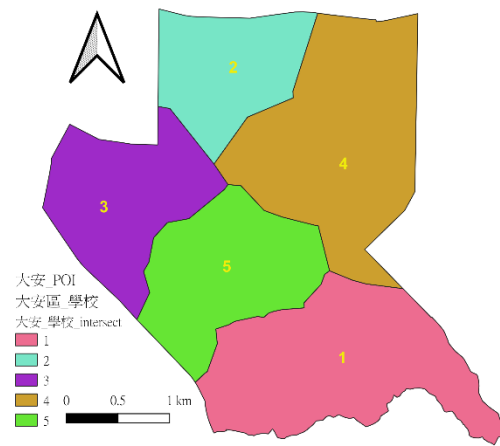


圖 77 大安區醫院診所藥局分群

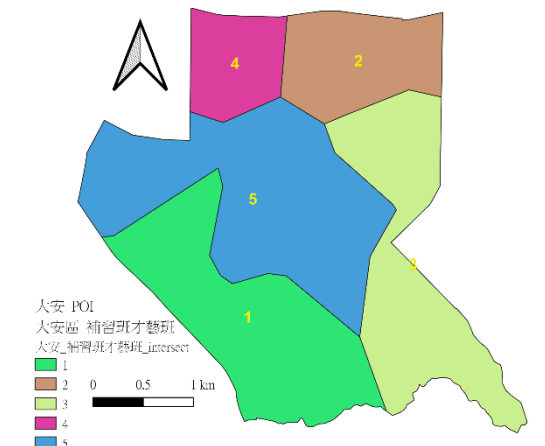


圖 78 大安區學校分群

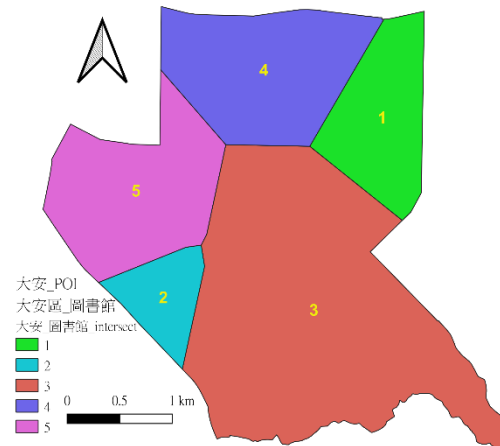


圖 79 大安區補習班才藝班分群



圖 80 大安區圖書館分群



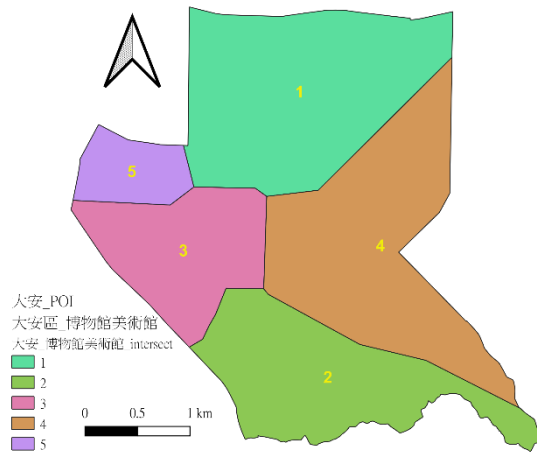


圖 81 大安區博物館美術館分群

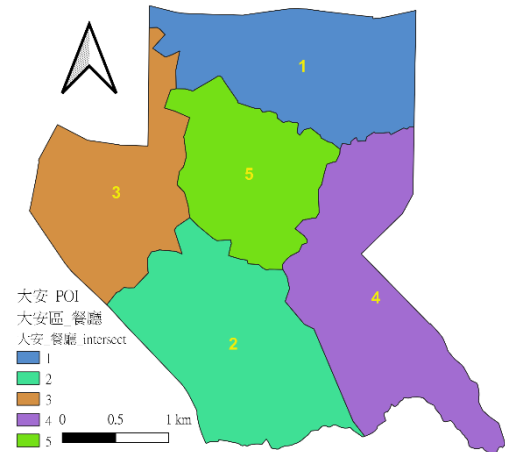


圖 82 大安區餐廳分群

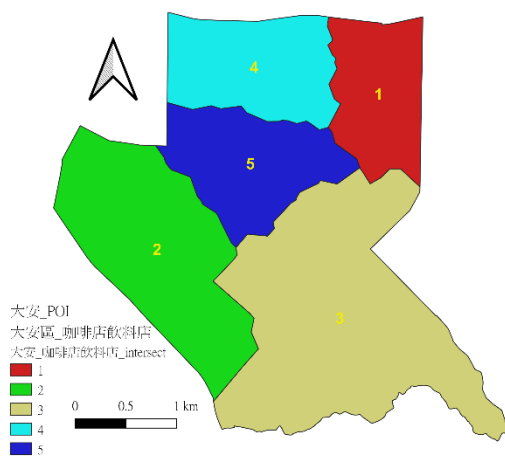


圖 83 大安區咖啡廳飲料店分群

二、空間分群之相似度比較

完成上述行政區的公共自行車旅次以及興趣點的空間分群後，接著採用量化且客觀的調整蘭德指數來計算兩個次分群的相似程度。

(一)內湖區的調整蘭德指數與蘭德指數

本研究透過 QGIS 將其內湖區的自行車旅次以及興趣點分群圖層進行網格化 (Rasterized)，並以網格單元 250m*250m 為標準，將圖層轉檔並另外輸出。接著以 Python 軟體計算內湖區公共自行車旅次分群與各類型興趣點的蘭德指數(RI)以及調整蘭德指數(ARI)，如下表 10。

表 10 內湖區各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI

number	type	Neihu_ARI	Neihu_RI
1	commercial_office	0.430767621	0.791914822
2	bank	0.391224568	0.774067566
3	supermarket_convenience_store	0.38378416	0.791300643
4	station	0.315085443	0.768827601
5	sportgroundcenter_park	0.315787039	0.752053225
6	fitness_centre	0.504992762	0.780004318
8	departmentstore_underground	0.181858826	0.612573946
9	market_nightmarket	0.367751415	0.784221295
10	hospital_clinic_pharmacy	0.319933876	0.739002018
11	school	0.44791447	0.803390229
12	cranschool_talent	0.356704373	0.771005226
13	library	0.37292902	0.784620941
14	museum_art	0.302101181	0.730166248
15	restaurant	0.371465706	0.777503755
16	coffee_beverage	0.400626679	0.794365987

由於篇幅關係，以下僅示意內湖區自行車與興趣點分群比較 ARI 大於 0.4 的興趣點分群網格化之圖進行說明(圖 84~88)。

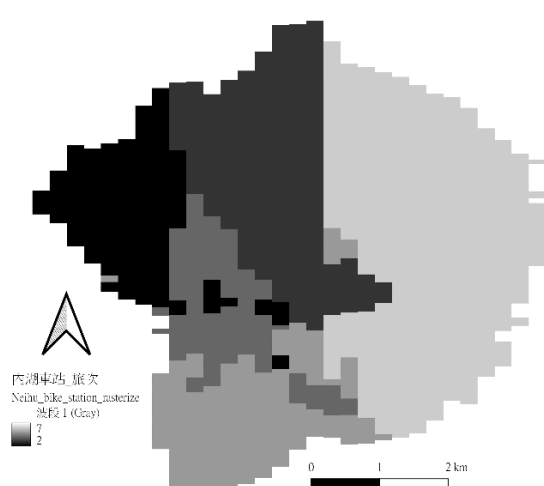


圖 84 內湖區自行車旅次網格化

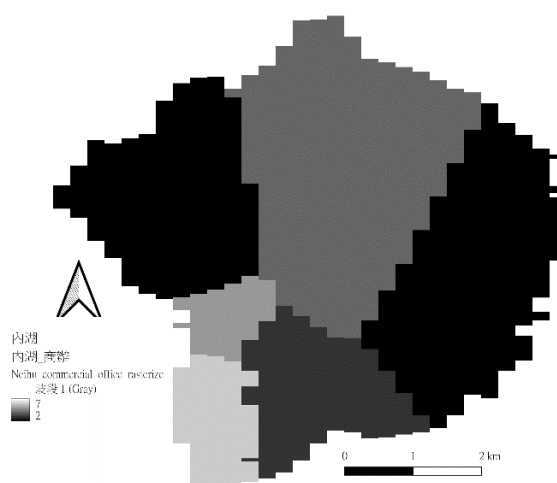


圖 85 內湖區商辦網格化

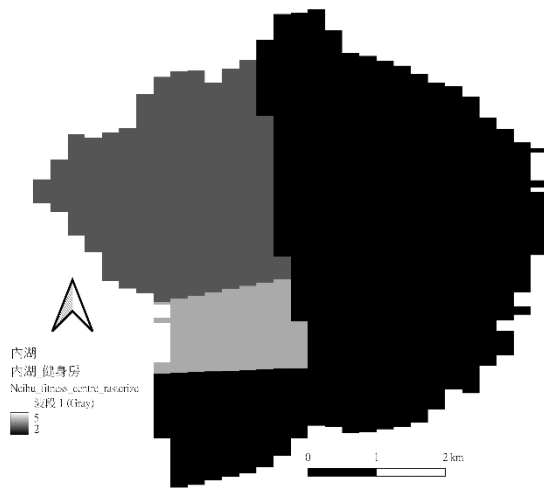


圖 86 內湖區健身房網格化

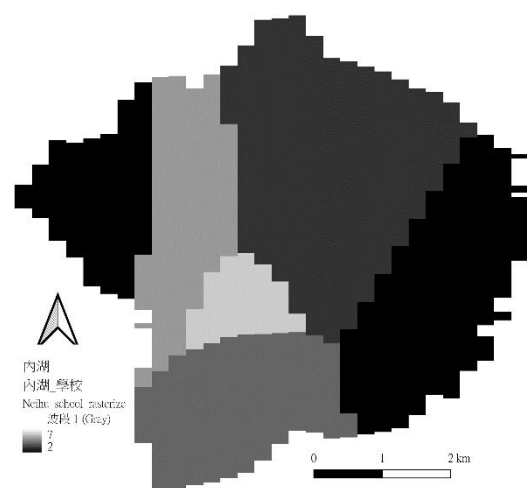


圖 87 內湖區學校網格化

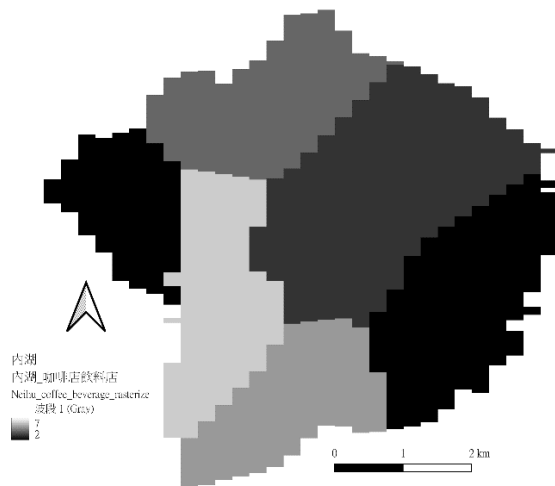


圖 88 內湖區咖啡廳飲料店網格化

觀察內湖區的調整蘭德指數，可以反映出部分都市空間的結構。興趣點（POI）涵蓋多樣的類型，每項指標代表不同規模和活動層級。內湖區作為臺北市的新興商業區，擁有大量商辦樓宇和科技園區，這些商辦區通常是城市中活動最為密集的核心地帶，吸引了大量的通勤人口和商業活動。因內湖區的學校數量眾多，教育資源集中，這些學校因其大規模的學生和教職員群體，形成了穩定且高頻次的出行需求。相比之下，咖啡廳、飲料店和健身房等較小的活動場所，主要服務於特定的生活和娛樂需求，咖啡廳和飲料店可能是社交聚會的場所，而健身房則反映了居民對健康和休閒的需求。以下為詳細說明：

表 11 內湖區調整蘭德指數輔助說明表

興趣點	ARI	論述
健身房	0.50	● 設置意涵：通常設置在居民區或商業區附近，以方便居民日常健身需求。 ● 設置尺度：由於服務範圍較大，通常會吸引周邊較廣範圍的居民，因此在內湖區這樣的市郊，健身房的分布與自行車旅次有較高的相似性 ● 推論：健身房的設置考慮到了居民的日常生活和健身需求，因此其分布對自行車使用有顯著影響。市郊區域居民對自行車的依賴性較高，特別是在前往健身房這類設施時。
學校	0.44	● 設置意涵：通常設置在適合學生上下學的區域，考慮到交通便捷性和安全性。 ● 設置尺度：學校的服務範圍相對較小，學生多數來自附近區域，因此學校周圍的自行車旅次分布較為集中 ● 推論：學校的設置對於當地的自行車使用模式有重要影響。內湖區的學生和家長可能更多依賴自行車作為上下學的交通工具，特別是在學校周圍。
商辦	0.43	● 設置意涵：通常設置在商業活動密集的区域，以便於商務活動和通勤需求。 ● 設置尺度：商辦的分布會影響周邊的交通模式和自行車使用情況。內湖區的商辦與自行車旅次的相似性較高，顯示出商務區域對自行車的需求 ● 推論：商辦的設置考慮到了商務活動的便利性，並對於當地的交通模式有顯著影響。市郊區域的通勤者可能更多依賴自行車作為前往商辦區域的交通工具。
咖啡廳 飲料店	0.40	● 設置意涵：通常設置在商業區、辦公區或居民區，旨在提供便捷的休閒飲食服務，吸引居民、上班族和遊客。 ● 設置尺度：這些場所的服務範圍較小，但密度較高，尤其是在商業活動和辦公活動集中的區域。 ● 推論：表明咖啡廳和飲料店對自行車使用者有一定吸引力。內湖區的居民和上班族可能選擇自行車作為前往這些飲食場所的交通工具，反映出這類場所在日常生活中的便利性和高頻率使用特性

當興趣點分群與公共自行車分群高度相似時，這表明公共自行車的使用模式與城市空間結構密切相關。換句話說，公共自行車站點周邊的興趣點類型和密度反映了該區域的都市活動特徵和空間功能。例如：商辦區和學校周邊的自行車站點使用頻率較高，這反映出這些地區人群的高流動性和短途通勤需求。同樣，咖啡廳、飲料店和健身房等場所周邊的自行車站點也顯示出較高的使用率，表明這些地區居民和訪客頻繁使用自行車作為短程出行工具。

(二)大安區的調整蘭德指數與蘭德指數

本研究同樣地透過 QGIS 將其大安區的自行車旅次以及興趣點分群圖層進行網格化(Rasterized)，並以網格單元 250m*250m 為標準，將圖層轉檔並另外輸出。接著在 Python 軟體中計算大安區公共自行車旅次分群與各類型興趣點的蘭德指數(RI)以及調整蘭德指數(ARI)，如下表 12。

表 12 大安區各式興趣點與自行車分群結果之 ARI 以及 RI

number	type	Daan_ARI	Daan_RI
1	Daan_commercial_office_rasterized	0.267464222	0.712936277
2	Daan_bank_rasterized	0.423409621	0.789641375
3	Daan_supermarket_convenience_store_rasterized	0.299785569	0.751949889
4	Daan_station_rasterized	0.448539291	0.806766167
5	Daan_sportgroundcenter_park_rasterized	0.306212627	0.748734464
6	Daan_fitness_centre_rasterized	0.413594394	0.783934884
7	Daan_theater_rasterized	0.142479133	0.56580253
8	Daan_departmentstore_underground_rasterized	0.193264161	0.650411672
9	Daan_market_nightmarket_rasterized	0.305566115	0.755952892
10	Daan_hospital_clinic_pharmacy_rasterized	0.297799306	0.753029982
11	Daan_school_rasterized	0.362034507	0.774719399
12	Daan_cramschool_talent_rasterized	0.336746422	0.758360363
13	Daan_library_rasterized	0.30879262	0.723678297
14	Daan_museum_art_rasterized	0.447904537	0.797880358
15	Daan_restaurant_rasterized	0.479388747	0.819069572
16	Daan_coffee_beverage_rasterized	0.335447709	0.754171211

由於篇幅關係，以下僅示意大安區自行車與興趣點分群比較 ARI 大於 0.4 的興趣點分群網格化之圖進行說明(圖 89~94)。

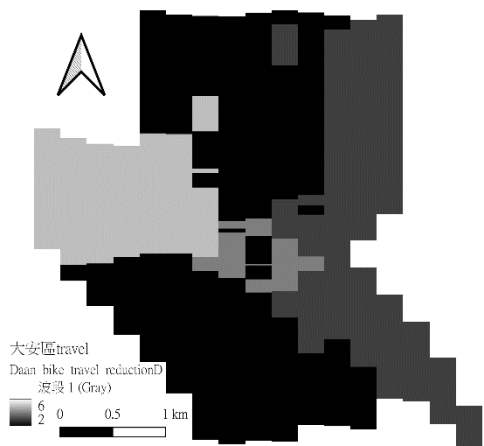


圖 89 大安區自行車旅次網格化

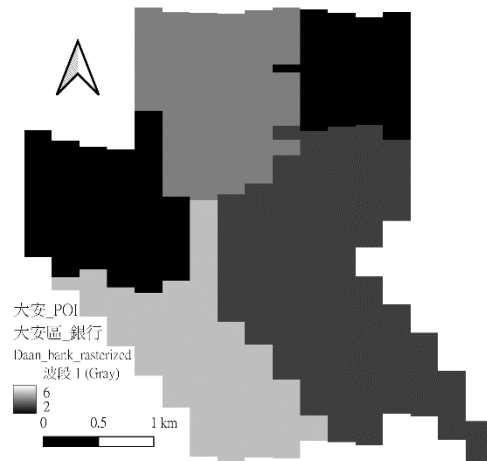


圖 90 大安區銀行網格化

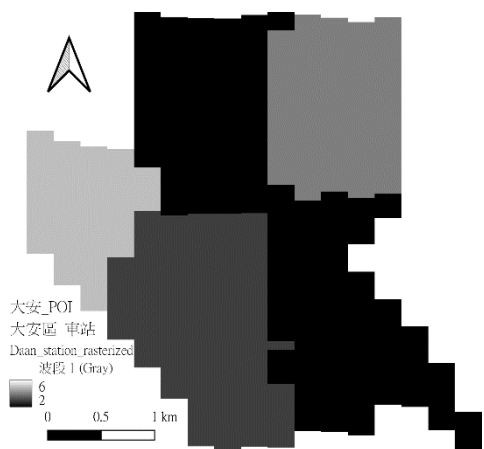


圖 91 大安區車站網格化

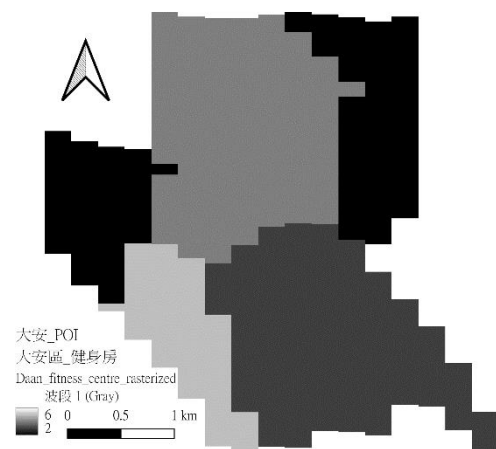


圖 92 大安區健身房網格化

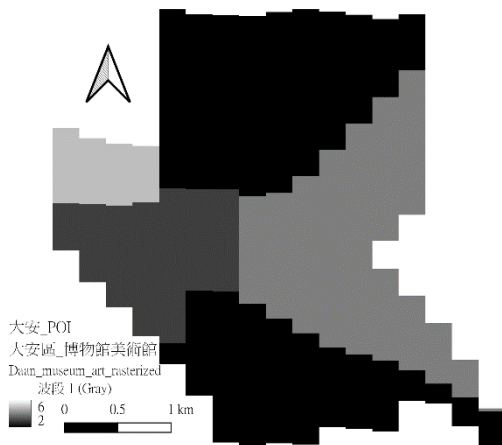


圖 93 大安區博物館美術館網格化

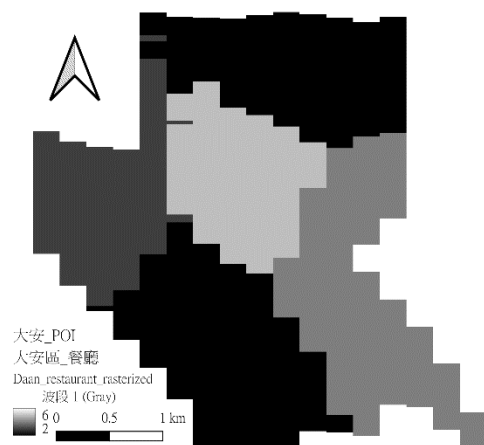


圖 94 大安區餐廳網格化

經計算蘭德指數數據並進一步探討這些興趣點的類型和密度，可以揭示都市空間的結構特徵。大安區作為臺北市的核心區域，擁有高度混合的土地使用模式。銀行和車站在大安區的 ARI 大於 0.4，反映了該區商業活動和交通樞紐的密集分佈。金融業務活躍的銀行吸引大量辦理業務的居民和企業主；車站作為重要公共交通節點，促進

了自行車與其他交通方式的銜接；博物館和美術館等文化設施在大安區的興趣點分佈中尤為突出，吸引大量文化活動參與者和遊客，增加區域內的出行需求；餐廳則反映了該區豐富的飲食文化和許多著名的餐廳，特別是永康商圈和師大夜市，因這些地區的餐飲業繁榮帶動了大量的短途出行需求。

大安區作為臺北市的核心區域，擁有高度混合的土地使用模式。銀行和車站在大安區的ARI大於0.4，反映了該區商業活動和交通樞紐的密集分佈。金融業務活躍的銀行吸引大量辦理業務的居民和企業主；車站作為重要公共交通節點，促進了自行車與其他交通方式的銜接；博物館和美術館等文化設施在大安區的興趣點分佈中尤為突出，吸引大量文化活動參與者和遊客，增加區域內的出行需求；餐廳則反映了該區豐富的飲食文化和許多著名的餐廳，特別是永康商圈和師大夜市，因這些地區的餐飲業繁榮帶動了大量的短途出行需求。以下為詳細說明(表13)：

表 13 大安區調整蘭德指數輔助說明表

興趣點	ARI	論述
銀行	0.42	● 設置意涵：銀行通常設置在商業區和辦公區，以方便居民和上班族進行金融交易。 ● 設置尺度：銀行的服務範圍集中且密度較高，特別是在商業和辦公活動頻繁的區域。 ● 推論：上班族和居民可能選擇自行車作為前往銀行辦理業務的交通工具，反映出銀行在日常生活中的便利性和高頻率使用特性。
車站	0.44	● 設置意涵：車站是城市公共交通的重要節點，旨在提供便捷的交通連接，促進居民和遊客在城市內的移動。 ● 設置尺度：車站的服務範圍廣泛，涵蓋大量的通勤者和遊客。交通樞紐的密集分佈 ● 推論：這表明車站對於自行車使用有顯著影響，特別是作為城市內公共交通的接駁工具。居民和遊客經常利用自行車來往於車站和其他目的地，反映出車站作為交通樞紐的高使用率和便捷性。
健身房	0.41	● 設置意涵：健身房設置在居民區和商業區，旨在提供便捷的運動和健身服務。 ● 設置尺度：健身房的服務範圍通常較小，但分布密度較高，尤其是在健康意識較強的區域。 ● 推論：居民和上班族可能選擇自行車作為前往健身房的交通工具，反映出這類場所在日常生活中的便利性和高頻率使用特性。
博物館 美術館	0.44	● 設置意涵：通常設置在文化區或旅遊區，以吸引居民和遊客的參觀，促進文化教育和旅遊活動。 ● 設置尺度：這些文化場所的服務範圍可能相對較小，但其吸引力較大，尤其是對於文化愛好者和遊客。

餐廳	0.47	● 推論：居民和遊客可能選擇自行車作為前往這些文化場所的交通工具，反映出文化設施在城市中的重要地位和其對於短距離交通的促進作用。 ● 設置意涵：餐廳通常設置在商業區、辦公區和居民區，旨在提供便捷的餐飲服務，吸引居民、上班族和遊客。 ● 設置尺度：餐廳的服務範圍較小，但分布密度高，特別是在商業活動和辦公活動集中的區域。 推論：居民和上班族可能選擇自行車作為前往餐廳的交通工具，反映出餐廳在日常生活中的高頻率使用特性和便利性。（永康商圈和師大夜市）
----	------	--

在觀察臺北市內湖區與大安區的公共自行車旅次分群及興趣點分佈後，研究發現這兩個區域在調整蘭德指數（ARI）上的些微差異。內湖區 ARI 大於 0.4 的興趣點主要包括商辦、學校、咖啡廳飲料店及健身房，而大安區則集中在銀行、車站、健身房、博物館美術館及餐廳。這些差異反映了兩個區域在土地使用、人口結構、交通模式及政策導向上的不同特徵。

具體來說，本研究透過分析興趣點類型與公共自行車使用模式的關聯，為未來公共設施的配置和交通規劃提供了參考。例如，大安區商業活動集中於金融和文化領域，可在未來加強這些產業的發展，而內湖區則可規劃新興商業與教育設施，吸引相關產業進駐；此外，根據各區域的需求特徵，更有效地分配公共資源，例如，大安區可增加文化設施的投入，內湖區則可強化學校與運動設施的建設。這些發現不僅揭示了公共自行車使用模式與都市空間結構的緊密聯繫，還顯示了興趣點分群與公共自行車分群之間的高度相似性，對於未來都市規劃和公共交通策略的制定提供了實質性參考。

本研究透過量化分析，探討不同鄰里尺度下都市空間結構的差異。這些研究成果不僅豐富了對臺北市內湖區與大安區的理解，亦為其他城市的都市規劃和管理提供了寶貴的參考範本，具備重要的學術與實踐價值。

三、次分群合併集群之分析結果

然而，因部分興趣點的分群數與原公共自行車旅次的空間分群數不同，而本研究最終目的旨在比較內湖區和大安區的公共自行車旅次與不同類型興趣點的空間分群結果，以了解次分群之特性。因此嘗試兩種情況，一為在原始分群數不同情況下進行比較，以及透過合併集群（Cluster merging）方式使分群數相同後再進行比較，並利用計算調整蘭德指數（ARI）來評估這些分群結果之間的相似性。合併集群示意圖如下：（圖 95）

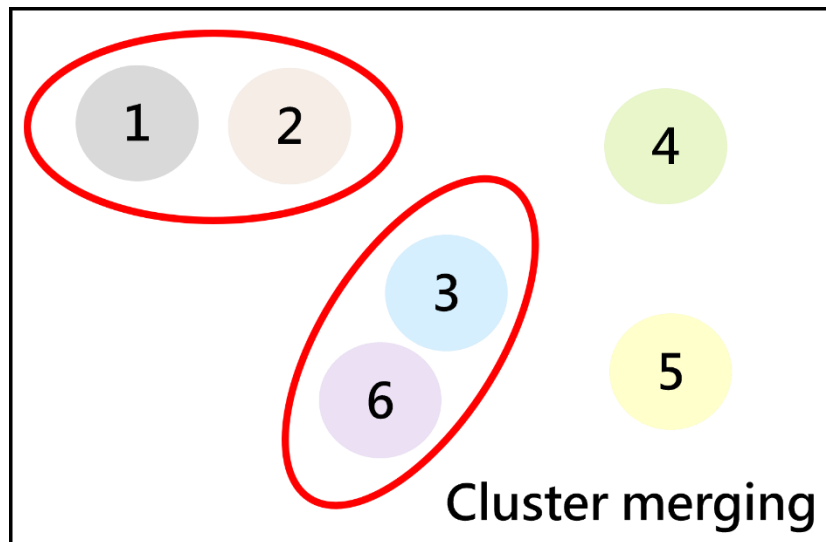


圖 95 合併集群示意圖

本研究興趣點分群數與原公共自行車旅次的空間分群數不同的興趣點有四項，分別為：內湖區的健身房（4 群）、博物館與美術館（4 群）以及百貨公司地下街（3 群），而大安區則是電影院（3 群），以下將進行各項合併集群的操作與說明。

首先，將內湖區的公共自行車旅次分群數合併至 4 群，以便與健身房的分群數一致，合併後可生成 65 種不同的組合，接著將這些組合與健身房的分群進行比較，獲取最佳調整蘭德指數。結果如下方表格(表 14)，兩分群的最佳化 ARI 從原始的 0.5049 提高到 0.5994。

表 14 內湖區自行車旅次合併集群與健身房相比較之 ARI 與 RI

Neihu_fitness	ARI	RI	Neihu_fitness	ARI	RI
0	0.202276	0.605962	33	0.356477	0.690301
1	0.380101	0.712316	34	0.533652	0.771255
2	0.419031	0.734999	35	0.248213	0.640669
3	0.539785	0.773689	36	0.458889	0.746272
4	0.576861	0.794601	37	0.590776	0.800316
5	0.349847	0.692008	38	0.370544	0.703008
6	0.364008	0.704715	39	0.303213	0.670617
7	0.453846	0.749804	40	0.463159	0.752359
8	0.362245	0.665589	41	0.401161	0.723979
9	0.357347	0.701525	42	0.402744	0.723092
10	0.427562	0.708244	43	0.306156	0.673802
11	0.32684	0.680371	44	0.435194	0.743016
12	0.318239	0.672665	45	0.364606	0.699978
13	0.276029	0.655424	46	0.396479	0.724255
14	0.298631	0.664665	47	0.32682	0.686745
15	0.449691	0.750115	48	0.51213	0.779617

Neihu_fitness	ARI	RI	Neihu_fitness	ARI	RI
16	0.554869	0.782	49	0.379115	0.712685
17	0.326676	0.684911	50	0.457059	0.753316
18	0.356675	0.696332	51	0.341999	0.694284
19	0.355736	0.7015	52	0.473788	0.762036
20	0.591785	0.80214	53	0.442711	0.747646
21	0.402474	0.724916	54	0.488178	0.769168
22	0.458009	0.754067	55	0.599434	0.805786
23	0.415215	0.731473	56	0.501693	0.771086
24	0.220693	0.622231	57	0.335116	0.68996
25	0.445696	0.747325	58	0.454955	0.749109
26	0.405194	0.724945	59	0.410591	0.728562
27	0.357252	0.694508	60	0.435274	0.743322
28	0.155398	0.580463	61	0.485653	0.764961
29	0.312889	0.678154	62	0.469572	0.75851
30	0.30619	0.674143	63	0.501362	0.7725
31	0.436685	0.711125	64	0.496391	0.772383
32	0.343955	0.687263			

同樣地，將這 65 種合併成 4 群的內湖區自行車旅次分群與博物館美術館分群互相比較，取最佳調整蘭德指數。結果如下方表格(表 15)，兩分群的最佳化 ARI 從 0.3021 提高到 0.3793。

表 15 內湖區自行車旅次合併集群與博物館美術館相比較之 ARI 與 RI

Neihu museum	ARI	RI	Neihu museum	ARI	RI
0	0.242079	0.63039	33	0.379325	0.713397
1	0.183453	0.651557	34	0.112116	0.573261
2	0.255278	0.694278	35	0.119903	0.599504
3	0.114994	0.57239	36	0.326008	0.705762
4	0.143269	0.597121	37	0.144352	0.593199
5	0.307286	0.690777	38	0.289964	0.685794
6	0.211465	0.663175	39	0.178593	0.635013
7	0.265778	0.695637	40	0.359272	0.73023
8	0.117031	0.514644	41	0.221794	0.672926
9	0.172479	0.646266	42	0.195316	0.657354
10	0.081353	0.522551	43	0.162845	0.632431
11	0.177813	0.631142	44	0.229171	0.685356
12	0.293006	0.675157	45	0.313323	0.695628
13	0.139687	0.612046	46	0.211806	0.675213
14	0.273982	0.669405	47	0.190081	0.652312

Neihu museum	ARI	RI	Neihu museum	ARI	RI
15	0.28585	0.709821	48	0.287372	0.713865
16	0.149044	0.592326	49	0.217067	0.668026
17	0.195595	0.650374	50	0.250747	0.695151
18	0.325027	0.701028	51	0.207325	0.660884
19	0.211743	0.664854	52	0.285671	0.712461
20	0.158859	0.605693	53	0.254007	0.698797
21	0.21235	0.669849	54	0.275483	0.710163
22	0.279242	0.70761	55	0.147912	0.600292
23	0.236407	0.681774	56	0.349089	0.728476
24	0.127979	0.591118	57	0.189905	0.650632
25	0.260308	0.696786	58	0.331837	0.720013
26	0.228701	0.673466	59	0.200067	0.664448
27	0.307227	0.688534	60	0.235162	0.688545
28	0.186706	0.598783	61	0.357186	0.735025
29	0.175735	0.640994	62	0.265968	0.699957
30	0.195453	0.647517	63	0.375747	0.743597
31	0.141377	0.548247	64	0.274874	0.708483
32	0.227164	0.650316			

若將內湖區自行車旅次的分群數合併至 3 群可得出 90 種組合方式，將這些組合與百貨公司地下街分群相比較，結果如下方表格(表 16)，ARI 最佳值從原本的 0.18 顯著提高到 0.39252。

表 16 內湖區自行車旅次合併集群與百貨公司地下街相比較之 ARI 與 RI

Neihu department	ARI	RI	Neihu department	ARI	RI
0	-0.04441	0.476488	45	0.047485	0.528896
1	0.030275	0.499108	46	0.243748	0.622287
2	0.234193	0.610054	47	0.076182	0.54558
3	0.021869	0.519729	48	-0.00368	0.498295
4	-0.03291	0.485049	49	0.39252	0.691972
5	0.073564	0.525469	50	0.056423	0.536269
6	0.025786	0.48647	51	0.05831	0.535978
7	0.288949	0.640518	52	0.289374	0.646728
8	0.013687	0.516149	53	0.049925	0.531435
9	-0.01258	0.499732	54	0.176875	0.59838
10	0.01401	0.515168	55	0.281579	0.636986
11	0.309941	0.657253	56	0.167109	0.592088
12	0.261321	0.631331	57	0.270623	0.636594

Neihu department	ARI	RI	Neihu department	ARI	RI
13	0.028971	0.52329	58	0.164264	0.591284
14	-0.00745	0.503752	59	0.145713	0.577844
15	-0.031	0.472475	60	0.38806	0.689921
16	0.109377	0.52888	61	0.176484	0.598332
17	0.339802	0.656185	62	0.150916	0.583733
18	0.050005	0.526362	63	0.311874	0.658985
19	0.034583	0.515236	64	0.174698	0.596677
20	0.069362	0.521872	65	0.037529	0.529639
21	0.253053	0.620562	66	0.209283	0.617967
22	0.065786	0.535691	67	0.046343	0.537411
23	0.004442	0.499318	68	0.108068	0.568808
24	0.061688	0.531112	69	0.098775	0.564226
25	0.268373	0.633699	70	0.08327	0.55124
26	0.373545	0.68106	71	0.208797	0.615353
27	0.061298	0.533521	72	0.126957	0.578279
28	0.056376	0.530341	73	0.055314	0.54278
29	-0.01811	0.488253	74	0.184457	0.605535
30	0.125554	0.565752	75	0.009513	0.513443
31	0.110519	0.569155	76	0.041228	0.530929
32	-0.01953	0.492469	77	0.306166	0.655992
33	-0.00862	0.504012	78	0.072766	0.544087
34	0.084042	0.552896	79	0.202905	0.61138
35	0.181438	0.601251	80	0.180412	0.603216
36	0.012529	0.507195	81	-8.13E-05	0.510302
37	0.167096	0.588796	82	0.323111	0.664787
38	0.088354	0.558156	83	0.034624	0.53156
39	0.146377	0.582749	84	0.097901	0.561237
40	0.113118	0.568437	85	0.291322	0.648429
41	0.010198	0.515451	86	0.101168	0.565009
42	0.334385	0.660028	87	0.163355	0.592571
43	0.061682	0.538368	88	0.091461	0.5547
44	0.070807	0.523989	89	0.189514	0.604506

最後，將大安區自行車旅次的分群數透過合併方式從 5 群降至 3 群，得出 25 種組合方式，將這些組合與電影院分群相比較，結果如下方表格(表 17)，ARI 最佳值從原本的 0.14 提高到 0.3643。

表 17 大安區自行車旅次之合併集群與電影院之 ARI 以及 RI

Daan theater	ARI	RI	Daan theater	ARI	RI
0	0.173673	0.584273	13	0.058536	0.530274
1	0.364394	0.680084	14	0.00545	0.500368
2	0.334098	0.668428	15	0.011502	0.502848
3	0.200084	0.598694	16	0.286018	0.64039
4	0.183085	0.589637	17	0.084256	0.538613
5	0.185559	0.589978	18	-0.1158	0.44637
6	0.308814	0.651927	19	-0.00403	0.497191
7	0.04955	0.521371	20	0.185959	0.592391
8	-0.06779	0.467714	21	0.066326	0.532615
9	0.003656	0.499757	22	-0.00787	0.493298
10	0.043469	0.519168	23	0.057862	0.526549
11	0.129087	0.56151	24	0.140916	0.56855
12	0.050582	0.521682			

綜整以上，可以得出利用合併集群的方式可以顯著提高某些數據集的 ARI，這意味著在同群數的條件下，不同數據集之間的分群結果更為一致；然而，並非所有情況下的合併集群結果都優於原始分群數。同時也需考慮到部分數據集在合併後可能會導致聚類效果變差，出現信息損失或分群邊界模糊的現象。例如：合併集群過程中，原本的集群可能包含了較多的細節和差異，而這些細節在降維時被合併，導致聚類結果不再能很好地反映原始數據的特徵；或者，ARI 考慮了隨機分群的期望值，將自行車集群合併時，可能人為地調整了集群的分佈，使得這些集群更接近於隨機分佈，這樣在計算 ARI 時，期望值（隨機分群的得分）可能更高，導致 ARI 反而降低；以及當兩者的分群數相同時，聚類結果需要在每一個集群上有更多的一致性才能取得高分，若自行車旅次的聚類結果在合併集群後無法很好地與興趣點群集數對應，那麼 RI 和 ARI 自然會變低。

因此總結上述，合併集群雖然在某些情況下能夠顯著提高聚類結果的一致性，但在其他情況下可能導致結果變差，這也提醒了在應用合併集群方法時需要仔細評估和選擇。

第五章 結論與建議

本章節彙整本研究的成果並提出後續的研究建議，第一節為根據實證結果所做出的結論，第二節則是針對相關研究提出未來可行的建議。

第一節 研究結果

本研究利用臺北市公共自行車旅次數數據，從社會網絡分析的角度探討公共自行車使用型態下的網絡結構，並解析其所呈現的都市空間結構。透過資料探勘方法，

挖掘和分析自行車資料庫中的使用模式與特性，並利用興趣點的分佈和密度作為指標，解釋其周邊情況與都市空間結構。

接著，透過量化且客觀的方法—調整蘭德指數 (Adjusted Rand Index, ARI) 來比較興趣點分佈與公共自行車使用分群的空間相似度，發現部分興趣點的分佈與公共自行車使用分群高度吻合。隨後更針對小尺度之鄰里空間進行次分群分析，並嘗試以合併集群方式優化 ARI 數據。

以下為依照本研究之結果與發現，逐一進行說明：

1. 藉由實驗設計探討不同群狀況下的表現，來解讀自行車資料庫的分群與實際情況。在方法方面，提出了一種客觀且有效的方法—調整蘭德指數，用於判斷不同空間分割的相似程度，這有助於更準確地理解都市空間結構的特性，並提供有效的規劃建議。
2. 以臺北市作為實證對象，更能夠深入地了解都市空間、分群特徵及活動聚集的情況。首先觀察 YouBike2.0 借還資料，對比附近興趣點，並搭配站點周邊土地使用功能，推測騎乘者使用目的，以便挖掘站點空間本身真正的潛在價值機會。研究結果發現興趣點的分布情形可以具象的描述部分公共自行車起迄空間群聚所代表的意涵，這不僅提供了對都市活動空間的新視角，更反映了都市空間的結構特徵。
3. 小尺度的鄰里次分群揭示了內湖區與大安區的群內互動，發現了一些具有蛙躍式互動以及地域性的現象。這也說明了兩行政區域在一定距離內都具有同質區以及生活互補區域。當機能為互補與跨區距離是大家可接受時，會出現蛙躍的現象。
4. 大安區作為市中心區域，公共交通發達，金融和文化設施密集，餐飲業繁榮，因此銀行、車站、健身房、博物館美術館和餐廳的興趣點 ARI 數值突出；相對地，內湖區作為市中心外圍區域，新興商業區域發展迅速，教育和生活設施集中，對健康和便利生活重視，因此健身房運動中心、學校、商辦與咖啡廳飲料店的興趣點 ARI 數值突出。以上的差異反映出兩個區域在都市空間結構與活動空間特性上不同的特點，以及都市中扮演不同的角色定位，對於未來都市規劃和交通管理提供了重要參考。
5. 研究過程中，面臨到挑戰—分群數的不同，本研究嘗試以合併集群 (Cluster Merging) 的方法來處理分群數的差異，再利用調整蘭德指數來量化分群間的差異。透過找尋所有可能的集群組合，得到在某些情況下可顯著提高聚類結果的一致性和準確性，這也為空間分群的相似度比較上帶來了一定的貢獻。同時，也展示了調整蘭德指數來評估聚類結果相似性中的應用價值。

本研究利用量化發現特徵，以質化探究原因。研究突破點主要分成三個部分：首先，透過調整蘭德指數量化空間關係，提供了客觀的數據支持，克服過去主觀經驗的局限性；第二，結合動態的公共自行車旅次資料以及具象的興趣點指標解釋公共自行車分布的空間意涵，同時以不同尺度來觀察驗證，提供了對於都市活動模式的不同視角；最後，測試了調整蘭德指數進行空間分群分析及合併集群方法的適切性，提升了研究的精確性與可靠性，為後續的都市規劃提供了更具科學性的依據。

第二節 未來研究方向建議

為了進一步提升對公共自行車使用模式及其與都市興趣點關係的理解，未來的研究應從更多面向來進行深入的探討。首先，當前的研究主要聚焦於單一興趣點類型，但實際上人們的出行目的通常涉及多種類型的興趣點。因此，未來可以考慮對多項興趣點類型進行量化比較，並引入加權方法來衡量其對公共自行車使用模式的影響。而此方式可以透過調整蘭德指數（ARI）的加權版本實現，如此可更精確地反映興趣點分佈對公共自行車使用的影響。

其次，現有模型的處理過程仍依賴手動操作和部分 Python，這使得分析過程繁複且耗時。為了提高研究效率和準確性，未來可以考慮利用人工智慧（AI）、隨機森林和深度學習等自動化技術來優化數據處理和分析過程，這樣可以顯著縮短計算時間並提升結果的可靠性。而針對合併集群技術的自動化探索也是未來研究的重要方向，可以考慮應用高效的算法，自動化尋找最佳的合併組合，並將這些方法應用於不同類型的數據庫以驗證其普適性和穩定性。這不僅能提高分析的精確性，還能拓展技術的應用範圍；另外，綜合其他聚類評估指標，如純度（purity）和相互資訊（mutual information）或許能夠提供更全面的分析結果。這些指標有助於更深入地了解分群的適切性，從而進一步提升對公共自行車使用模式與興趣點之間關係的理解。

最後，擴展數據收集範圍並增加研究的時間點，可以捕捉更多的出行模式與興趣點變化，例如涵蓋不同季節、假期、特殊事件以及一天中不同時段的數據，這將提供更具代表性與全面性的分析結果。此外，若將本研究結果應用於不同城市或地區，並比較其與臺北市的異同，將有助於驗證研究成果的普遍性。

總結本以上，這些建議不僅能幫助未來研究在理解都市空間結構與公共自行車系統之間的關係方面獲得更深入的洞見，也將提升分析的科學性與實用性。以上為本研究的未來建議。

參考文獻

- Anas, A., Arnott, R., & Small, K. A. (1998). Urban spatial structure. *Journal of economic literature*, 36(3), 1426-1464.
- Bao, J., Xu, C., Liu, P., & Wang, W. (2017). Exploring bikesharing travel patterns and trip purposes using smart card data and online point of interests. *Networks and Spatial Economics*, 17, 1231-1253.
- Barabási, A.-L., Albert, R., & Jeong, H. (2000). Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 281(1-4), 69-77.
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT press.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10), P10008.
- Borgnat, P., Abry, P., Flandrin, P., Robardet, C., Rouquier, J.-B., & Fleury, E. (2011). Shared bicycles in a city: A signal processing and data analysis perspective. *Advances in Complex Systems*, 14(03), 415-438.
- Buck, D., & Buehler, R. (2012). Bike lanes and other determinants of capital bikeshare trips. 91st Transportation research board annual meeting, Washington, DC.
- Clauset, A., Newman, M. E., & Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Physical review E*, 70(6), 066111.
- Corcoran, J., Li, T., Rohde, D., Charles-Edwards, E., & Mateo-Babiano, D. (2014). Spatio-temporal patterns of a Public Bicycle Sharing Program: the effect of weather and calendar events. *Journal of Transport Geography*, 41, 292-305.
- DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of public transportation*, 12(4), 41-56.
- DeMaio, P. J. (2003). Smart bikes: Public transportation for the 21st century. *Transportation Quarterly*, 57(1), 9-11.
- Ducruet, C., & Beauguitte, L. (2014). Spatial science and network science: review and outcomes of a complex relationship. *Networks and Spatial Economics*, 14(3-4), 297-316.
- Duran-Rodas, D., Chaniotakis, E., & Antoniou, C. (2019). Built environment factors affecting bike sharing ridership: data-driven approach for multiple cities. *Transportation research record*, 2673(12), 55-68.
- Girvan, M., & Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(12), 7821-7826.

- Hampshire, R. C., & Marla, L. (2012). An analysis of bike sharing usage: Explaining trip generation and attraction from observed demand. 91st Annual meeting of the transportation research board, Washington, DC.
- He, Y., Song, Z., Liu, Z., & Sze, N. (2019). Factors influencing electric bike share ridership: Analysis of Park City, Utah. *Transportation research record*, 2673(5), 12-22.
- Hennig, C., Meila, M., Murtagh, F., & Rocci, R. (2015). *Handbook of cluster analysis*. CRC press.
- Huang, W., Song, G., Hong, H., & Xie, K. (2014). Deep architecture for traffic flow prediction: Deep belief networks with multitask learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(5), 2191-2201.
- Hubert, L., & Arabie, P. (1985). Comparing partitions. *Journal of classification*, 2, 193-218.
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.
- Jain, A. K., & Dubes, R. C. (1988). *Algorithms for clustering data*. Prentice-Hall, Inc.
- Jan, P. P. (2018). Constrained construction of planar delaunay triangulations without flipping. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*, 14(2), 154-174.
- Jäppinen, S., Toivonen, T., & Salonen, M. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography*, 43, 13-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.010>
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2009). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons.
- Laney, D. (2001). 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. *META group research note*, 6(70), 1.
- Lee, K. H., Won, D. H., & Ko, E. J. (2015). The multiple impacts of the neighbourhood environment on the use of public bicycles by residents: an empirical study of Changwon in Korea. *International Journal of Urban Sciences*, 19(2), 224-237.
- Liu, J., Li, Q., Qu, M., Chen, W., Yang, J., Xiong, H., Zhong, H., & Fu, Y. (2015). Station site optimization in bike sharing systems. 2015 IEEE International Conference on Data Mining, Atlantic City, NJ, USA.
- Liu, L., Hou, A., Biderman, A., Ratti, C., & Chen, J. (2009). Understanding individual and collective mobility patterns from smart card records: A case study in Shenzhen. 2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO, USA.

- Long, Y., Shen, Z., Long, Y., & Shen, Z. (2015). Discovering functional zones using bus smart card data and points of interest in Beijing. *Geospatial analysis to support urban planning in Beijing*, 193-217.
- Lynch, K. (1964). *The image of the city*. MIT press.
- MacQueen, J. (1967, June). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, Oakland, CA, USA.
- Meilă, M. (2007). Comparing clusterings—an information based distance. *Journal of multivariate analysis*, 98(5), 873-895.
- Midgley, P. (2011). Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. *United Nations, Department of Economic and Social Affairs*, 8, 1-12.
- Milligan, G. W., & Cooper, M. C. (1986). A study of the comparability of external criteria for hierarchical cluster analysis. *Multivariate behavioral research*, 21(4), 441-458.
- Newman, M. E., & Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical review E*, 69(2), 026113.
- Park, J. Y., Kim, D.-J., & Lim, Y. (2008). Use of smart card data to define public transit use in Seoul, South Korea. *Transportation Research Record*, 2063(1), 3-9.
- Parkes, S. D., Marsden, G., Shaheen, S. A., & Cohen, A. P. (2013). Understanding the diffusion of public bikesharing systems: evidence from Europe and North America. *Journal of transport geography*, 31, 94-103.
- Pfitzner, D., Leibbrandt, R., & Powers, D. (2009). Characterization and evaluation of similarity measures for pairs of clusterings. *Knowledge and Information Systems*, 19, 361-394.
- Rand, W. M. (1971). Objective criteria for the evaluation of clustering methods. *Journal of the American Statistical association*, 66(336), 846-850.
- Ratti, C., Frenchman, D., Pulselli, R. M., & Williams, S. (2006). Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban analysis. *Environment and planning B: Planning and design*, 33(5), 727-748.
- Ratti, C., Sobolevsky, S., Calabrese, F., Andris, C., Reades, J., Martino, M., Claxton, R., & Strogatz, S. H. (2010). Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions. *PloS one*, 5(12), e14248.
- Rezaei, M., & Fränti, P. (2016). Set matching measures for external cluster validity. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 28(8), 2173-2186.
- Rinzivillo, S., Mainardi, S., Pezzoni, F., Coscia, M., Pedreschi, D., &

- Giannotti, F. (2012). Discovering the geographical borders of human mobility. *KI-Künstliche Intelligenz*, 26, 253–260.
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The geography of transport systems*. Routledge.
- Romanillos, G., Zaltz Austwick, M., Ettema, D., & De Kruijf, J. (2016). Big data and cycling. *Transport Reviews*, 36(1), 114–133.
- Santos, J. M., & Embrechts, M. (2009). On the use of the adjusted rand index as a metric for evaluating supervised classification. International conference on artificial neural networks, Washington, D.C.
- Scott, J. (2012). *What is social network analysis?* Bloomsbury Academic.
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. *Transportation research record*, 2143(1), 159–167.
- Sobolevsky, S., Szell, M., Campari, R., Couronné, T., Smoreda, Z., & Ratti, C. (2013). Delineating geographical regions with networks of human interactions in an extensive set of countries. *PloS one*, 8(12), e81707.
- Spark, W. (2023). 臺北市 2023 年的天氣歷史. Retrieved 2023/9/2 from <https://tw.weatherspark.com/h/y/137170/2023/%E5%8F%B0%E5%8C%97%E5%B8%82%E3%80%81%E5%8F%B0%E7%81%A32023%E5%B9%B4%E6%AD%B7%E5%8F%B2%E5%A4%A9%E6%B0%A3>
- Sun, H., Forsythe, W., & Waters, N. (2007). Modeling urban land use change and urban sprawl: Calgary, Alberta, Canada. *Networks and spatial economics*, 7, 353–376.
- The Congress for the New Urbanism. (1996). *The Charter of the New Urbanism*. Retrieved August 22 from <https://www.cnu.org/who-we-are/charter-new-urbanism>
- Thiemann, C., Theis, F., Grady, D., Brune, R., & Brockmann, D. (2010). The structure of borders in a small world. *PloS one*, 5(11), e15422.
- Vinh, N. X., Epps, J., & Bailey, J. (2009). Information theoretic measures for clusterings comparison: is a correction for chance necessary? Proceedings of the 26th annual international conference on machine learning, Montreal, Quebec, Canada.
- Warrens, M. J., & van der Hoef, H. (2020). Understanding the rand index. In *Advanced Studies in Classification and Data Science* (pp. 301–313). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-3311-2_24
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *nature*, 393(6684), 440–442.
- Yuan, J., Zheng, Y., & Xie, X. (2012, August 2012). Discovering regions of different functions in a city using human mobility and POIs. Proceedings of the 18th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, Beijing, China.

- Zhang, X., Shen, Y., & Zhao, J. (2021). The mobility pattern of dockless bike sharing: A four-month study in Singapore. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 98, 102961.
- Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bike sharing: A big data-based analysis. *Applied energy*, 220, 296-301.
- Zheng, Y. (2015). Trajectory data mining: an overview. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 6(3), 1-41.
- Zhong, C., Arisona, S. M., Huang, X., Batty, M., & Schmitt, G. (2014). Detecting the dynamics of urban structure through spatial network analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11), 2178-2199.
- 孔令傑. (2021a). 以社會網絡方法探討公共自行車與捷運轉乘所呈現之 TOD 空間特性
- 孔令傑. (2021b). 以社會網絡方法探討公共自行車與捷運轉乘所呈現之 TOD 空間特性. 49(2).
- 王少谷. (2015). 公共自行車租用與都市土地使用型態關聯性之探討
- 王博群. (2021). 以機率模型探討公共自行車轉乘捷運的騎乘距離與都市環境之關係
- 白詩榮, & Pai, S. Y. (2014). 臺北公共自行車使用行為特性分析與友善環境建構之研究
- 交通部運輸研究所. (2020). 2020 年版運輸政策白皮書：綠運輸. 交通部.
- 江穎慧, 莊喻婷, & 張金鶚. (2017). 臺北市公共自行車場站對鄰近住宅價格之影響 [The impact of public bike station on residential housing price in taipei city]. *運輸計劃季刊*, 46(4), 399-428.
- 李家儂. (2006). 交通運輸與土地使用整合規劃之演變~ 大眾運輸導向發展的都市發展模式. *土地問題研究季刊*, 5(3), 70-83.
- 李家儂, & 賴宗裕. (2009). 交通運輸與土地使用連結下的都市模式演變—全球 36 個主要城市比較分析 [Transport and Land Use Relationship Defining Urban Form in Historical Context: A Comparative Analysis of 36 Global Cities]. *都市與計劃*, 36(1), 25-49.
<https://doi.org/10.6128/cp.36.1.25>
- 李家儂, & 謝翊楷. (2015). 以空間型構法則及步行導向理念檢視 TOD 區內土地使用配置的合理性 [Using Space Syntax and Pedestrian-Oriented Design Concepts to Examine the Rationality of the Land Use Configuration of TOD Districts]. *運輸計劃季刊*, 44(1), 1-24.
- 汪小帆, 李翔, & 陳關榮. (2006). 複雜網絡理論及其應用. 清華大學出版社有限公司.
- 林浩瑋. (2016). 悠遊卡大數據應用於大眾運輸乘客旅運型態之研究.
- 陳紅, 陳恒瑞, 史转转, 張敏, & 劉至真. (2021). 公共自行車使用時空特性挖掘及租還需求預測. *交通運輸系統工程與信息*, 21(2), 238.
- 洪承佑. (2015). 考量公共自行車系統之公共運輸旅次規劃演算法之研究.
- 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 (Publication Number 2016 年) 國立交通大學].

AiritiLibrary.

- 夏明達. (2018). *自行車及大眾捷運系統整合基礎設施之評估研究* (Publication Number 2018 年) 國立臺灣大學]. AiritiLibrary.
- 陳靖昇. (2016). *考量公共自行車站上需求之動態自行車調度策略* (Publication Number 2016 年) 國立臺灣大學]. AiritiLibrary.
- 開奕臻. (2022). *探討天氣狀況對公共自行車使用的影響*
- 解鴻年, & 張馨文. (2011). 新竹科學城民眾使用公共自行車意願分析. *Journal of architecture*, 12(3), 237-263.
- 維基百科. (2023a). *K-means clustering*. Retrieved Online; accessed 2023, 09, 06 from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=K-means_clustering&oldid=1226686614
- 維基百科. (2023b). *網路理論*--- 維基百科, 自由的百科全書. . Retrieved Online; accessed 2023, 07, 05 from <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E7%BD%91%E7%BB%9C%E7%90%86%E8%AE%BA&oldid=77813710>
- 維基百科. (2023c). *臺北市*. Wikipedia. Retrieved 2023/8/28 from <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%87%BA%E5%8C%97%E5%B8%82&oldid=82865327>
- 臺北市政府主計處. (2023). *臺北市政統計週報(第 1230 號)*. 臺北市政府主計處 Retrieved from <https://www-ws.gov.taipei/001/Upload/367/refile/46908/8974682/29644daa-32a3-4f1b-b100-33ba280aa47d.pdf>
- 劉鴻錡. (2017). *建成環境對公共自行車使用時空型態之影響* (Publication Number 2017 年) 國立臺灣大學]. AiritiLibrary.
- 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* (Publication Number 2022 年) 國立政治大學]. AiritiLibrary.
- 顏郁慈. (2022). *探討多元大數據下的都市空間結構-以臺北市為例*
- 羅先豪, 孔令傑, 王博群, & 李子璋. (2022). 公共自行車轉乘捷運架構下之大眾運輸導向發展概念調整 [Adjustments of Transit-Oriented Development Concepts under Popular Transport Mode Transfer between the Public Bicycle Sharing System and the Mass Rapid Transit System]. *都市與計劃*, 49(2), 181-198. [https://doi.org/10.6128/cp.202206_49\(2\).0003](https://doi.org/10.6128/cp.202206_49(2).0003)
- 蘇翊筑. (2022). *公共自行車使用型態與都市活動的空間結構比較*