

公共自行車時空分析法之構建與營運策略改善 —以臺北微笑自行車為例

A temporal-spatial model for public bike operations: a case study of Taipei U-bike

鍾智林¹ 簡佑勳²

摘要

公共自行車因甲租乙還的時段性不對稱需求，往往造成租賃站一車或一位難求。為有效掌握此現象，本研究構建時空分析模型，採六步驟與五指標界定缺車熱點與缺位熱點，並探討各該熱點之特性及自行車使用率與熱點間的關聯。本研究以台北市公共自行車系統為例，依據時空模型搜尋平日與假日缺車與缺位熱點，並以現況使用型態為基礎，分析不同自行車使用率下的熱點指標，發現使用率在 60%~70%時系統可維持最高的正常營運比例，使用率過高或過低皆會造成租賃站缺車或缺位的問題。文末提出相關營運建議及後續研究方向。

關鍵詞：公共自行車、缺車熱點、缺位熱點、營運管理

Abstract

Due to imbalanced rental demand, public bike stations confront such issues as few bikes or few parking slots available. This study builds a temporal-spatial model to capture the above hot spots via 6 steps and 5 indicators. Operational characteristics of the hot spots were assessed based on a case study of Taipei U-bike. It was found the preferred bike utilization would be around 60%~70% to remain a well-functioning system. Conclusions and suggestions were made at the end for future research.

Keywords: public bike, few-bike hot spot, few-space hot spot, operation management

¹ 淡江大學運輸管理學系暨運輸科學研究所助理教授；台灣新北市 25137 淡水區英專路 151 號；Tel: 886-2-2621-5656 ext 2518; Email: cchung@mail.tku.edu.tw。

² 淡江大學運輸科學研究所碩士生。

一、緒論

海峽兩岸自 2008 年起積極推動公共自行車，發展至今中國大陸已有 39 個城市建置公共自行車系統，包括杭州、北京、上海、廣州等；2009 年台北於信義區建置自助式公共自行車租賃系統(又稱為 Ubike 微笑自行車)，初期有 11 座租賃站與 500 台公共自行車，現有 63 站、2,132 輛自行車，遍及六大行政區，每月使用車次逾 40 萬並持續成長，預計 2013 年底公共自行車將擴充至 162 座租賃站、5,350 輛自行車之規模。此外，高雄亦於 2009 年初啟用了公共自行車租賃系統(又稱為 Cbike)，現有 90 站、7,000 輛自行車，每月使用車次逾 15 萬，預計於 2015 年將擴增至 250 座租賃站。

公共自行車研究可分為選址調度、車輛配置、營運管理及使用者行為等層面，選址調度問題如(張勻威，2011)與(謝昉叡，2011)以系統規畫者角度，考量實務營運目標與相關限制條件，針對公共自行車「甲租乙還」、「甲租甲還」租賃行為之隨機需求建立整數規劃模型以解決自行車佈署問題。(洪菁蓬，2011)除考慮租賃站設置位置、設站容量及自行車配置方式外，亦考慮自行車輛配置運補路線問題，以粒子群演算法求解最佳之運補車路線。

關於車輛配置問題，(劉宜青，2012)發現營運單位若未針對各租賃站設置適當的初始自行車總量，使用者便可能面臨「無車可租」或「無位可還」，進而降低整體服務水準而減少使用率；該研究利用啟發式演算法與模擬最佳化方法求得最佳初始車輛配置方式與運補車數量。(楊瑞宇，2012)則利用時空網路建構車輛配置模式，並以 GAMS 的 MINOS 求解器進行模式求解得到各站最佳車輛配置數，當中亦考量不同購車成本、維護成本、調度成本、車輛租賃站滯留、車輛不足等情況對求解結果之影響。

關於營運管理問題，(廖敏婷，2012)先以混和整數規劃模式決定最小成本之設站地點與車輛配置方式，再探討如何在營運中以暫時人力運補的方式調動車輛，以及夜間如何以靜態運補方式指派運補車至各站調度，減少系統「無車可租」和「無位可還」的情況。(王俊偉，2011)則以系統模擬的方式分析各種營運策略最租賃系統服務品質可能的影響，當中亦考慮租還需求在時間上的變動性，結果發現善用系統的歷史及即時租賃資訊能有效改善營運績效。(楊大輝，2010)以啟發式解法求解整體路網成本最小化，提出公共自行車系統設置的關鍵因素，亦從使用者與營運者觀點進行分析，結果發現公共自行車系統設置之關鍵為租賃站數量與站點車輛數、租賃站間自行車道的設置、使用者起迄點的選擇及租賃站的可租車輛庫存量。

關於使用者行為研究，(余書玫，2009)以多項羅吉特模式建構台北市公共自行車個體選擇行為模式，預測不同收費水準及車外接駁時間變動下使用機率的改變，發現民眾選擇公共自行車的主要因素為使用成本。(黃仁皇，2010)利用問卷和統計分析研究公共自行車騎乘特性、服務便利性、滿意度等議題。(解鴻年、張馨文，2011)以 Rasch 模式量測營運中的公共自行車系統，了解其運作績效與各因子之關連性，並分析新竹民眾使用公共自行車的意願。

隨著公共自行車服務範圍與使用量擴大，因甲租乙還的時段性不平衡需求，導致租賃站無車可租或無位可還的情況日益明顯。上述文獻回顧可知，既有研究已涵蓋公共自行車租賃站選址、調度、車輛配置、營運管理等問題，或針對

使用者行為作探討，然而如何依據自行車租賃站分時車輛與車位資訊，進行時空特性分析，發現缺車與缺位熱點並研擬改善策略，係提升自行車使用滿意度的關鍵因素。

二、研究方法

本研究採下列步驟構建公共自行車時空分析模型。

1. 擇定某一公共自行車系統，蒐集該系統各租賃站每日的分時可用車輛數及可用車位數等歷史資料。
2. 依據前述資料，將租賃站營運分為五種狀態。
 - (1)無車：該租賃站於該時段無車可租；
 - (2)少車：該租賃站於該時段可租車輛偏低，若短時間內有大量使用者欲租車(如捷運車輛離站後、商業/科技園區中午用餐與上下班時段、校園下課時段)，則有車輛不足的可能；
 - (3)正常：該租賃站於該時段可租車輛與可停車位數適中；
 - (4)少位：該租賃站於該時段可停車位偏低，若短時間內有大量使用者欲還車，則有車位不足的可能；
 - (5)無位：表該租賃站於該時段無位可停。
3. 為能系統性涵蓋前述狀態，使經營者、使用者、決策者有效掌握公共自行車租賃站整體及個別運行狀態，將分站、分時資訊呈現於時空圖，並以三種灰階顏色呈現五種狀態，其中無車以淺灰底黑框呈現、少車以淺灰底無框呈現，兩者合稱缺車熱點；正常狀態以白底呈現；少位以深灰底無框呈現、無位以深灰底黑框呈現，兩者合稱缺位熱點，如圖 1 所示。

空間\時間	時段 1	...	時段 j-1	時段 j	時段 j+1	...	時段 m
租賃站 1							
租賃站 2							
...							
租賃站 i							
租賃站 n							

圖 1 缺車熱點與缺位熱點之時空示意圖

4. 以使用者為導向的經營目標即為缺車熱點以及缺位熱點極小化，讓使用者於各站、各時段都有車可租、有位可還。然而缺車熱點及缺位熱點牽涉到少車及少位門檻之訂定，可依經營者或決策者可容許的水準(風險)設定相對標準或絕對標準。

5. 以五項系統指標整體評量公共自行車營運狀態，各指標值介於 0 與 1。

$$(1) \text{系統缺車指標 } B = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n b_{ij}}{mn}; b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } a_{ij} < xp_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中 m 為營運時段總數、n 為租賃站總數、 b_{ij} 為租賃站 i 於時段 j 的二元狀態(缺車熱點為 1、其餘為 0)、 a_{ij} 為租賃站 i 於時段 j 可租的自行車數量、x 為少車門檻、 p_i 為租賃站 i 配置之停車位數。本指標越高，

隱含公共自行車使用率高、起訖需求不對稱性高、及(或)系統後勤運補作業成效低等影響因素。

A. 空間別缺車指標 $B_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{m}$

B. 時間別缺車指標 $B_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n}$

(2)系統缺位指標 $S = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_{ij}}{mn}$; $s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{若 } a_{ij} > \gamma p_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ (2)

其中 s 為缺位熱點總數、 s_{ij} 為租賃站 i 於時段 j 的二元狀態(缺位熱點為 1、其餘為 0)、 γ 為少位門檻。本指標越高，隱含公共自行車閒置率高、起訖需求不對稱性高、及(或)系統後勤運補作業成效低等影響因素。

A. 空間別缺位指標 $S_i = \frac{\sum_{j=1}^m s_{ij}}{m}$

B. 時間別缺位指標 $S_j = \frac{\sum_{i=1}^n s_{ij}}{n}$

(3)系統熱點指標 $H = B + S$ (3)

本指標為缺車指標及缺位指標之總和。

A. 空間別熱點指標 $H_i = B_i + S_i$

B. 時間別熱點指標 $H_j = B_j + S_j$

(4)系統正常營運指標 $G = 1 - H$ (4)

A. 空間別正常營運指標 $G_i = 1 - H_i$

B. 時間別熱點指標 $G_j = 1 - H_j$

(5)系統自行車使用率 $U = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij}}{mN}$ (5)

其中 N 為系統配置的自行車總數。若本指標超過某一上界，可能導致較高的缺車指標，此時使用率指標與缺車指標具有矛盾關係(trade-off)；若本指標低於某一下界，各租賃站儲車壓力變大，可能導致較高的缺位指標。

A. 空間別使用率指標為租賃站 i 於時段 j 可租的自行車數量除以該站配車數，再進行分時加權。然而各站配車數係為建站階段之設計參數，日常營運並無法達成各站分時均維持各該固定配車量，因此不計算空間別使用率指標。

B. 時間別使用率指標 $U_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{N}$ ，為時段 j 各租賃站總平均使用率，可判別公共自行車使用尖峰時段。

6. 排序前述空間別與時間別指標，可得出缺車熱點與缺位熱點之時空排名。

三、案例分析

本研究以台北市微笑自行車為例，平日以通勤接駁功能為主，假日為休閒運動工具，兩者特性不同，因此本研究於 2013 年三月底分別選取平、假日各一天，蒐集(微笑自行車網站)線上即時信息，作為時空分析模型輸入項；從 7 時至 22 時、每 20 分鐘($m = 46$)登錄各租賃站($n = 63$)可租車輛數(a_{ij})及可停車位數($p_i - a_{ij}$)，各站可租車輛低於配置車位(p_i)的 10%即為缺車熱點($x = 10\%$)，可停車位低於配置車位的 10%即為缺位熱點($y = 90\%$)。總計微笑自行車系統配置停車位為 2,556 個、配置自行車(N)為 2,132 輛，自行車配置總量約為車位配置總量的 83%，以避免夜間低使用率時產生缺位熱點。平日與假日之熱點時空分布如圖 2 與圖 3 所示，各項系統指標如表 1 所示。

圖 2 與表 1 顯示平日微笑自行車分時使用率約略呈晨峰(7:40~8:40)、午峰(12:20~13:20)、昏峰(17:40~18:40)、夜峰(19:40~22:00)等四個尖峰，各峰段使用率接近 60%或以上，其中晨峰與昏峰與一般通勤時段相近，自行車作為上下班的第一哩與最後一哩接駁運具；午峰可能原因為利用自行車外出午休用餐，為衍生性交通旅次；夜峰自行車除作為下班接駁運具外，亦可作為晚間休閒運動，故歷時較久。與自行車使用率相關的指標為缺車狀況，尤以夜峰時段為甚，缺車指標逾 37%，此一現象亦可能與夜間自行車運補作業不如日間頻繁有關。整體而言，平日微笑自行車系統使用率為 58%，對應的熱點指標為 32%，缺車指標為 27%、缺位指標僅 5%，缺車狀況較缺位嚴重。

由圖 3 與表 1 可知，假日微笑自行車使用狀況與平日明顯不同，10 時後使用率持續增加，16 時使用率與缺車指標同時達到尖峰；期間 13:20 至 14 時可能因假日中午用餐時間較晚、且為上午出遊與下午出遊間的空窗，致自行車使用率略降。晚餐時段(17:40~19:00)使用率持平，同時缺位狀況漸增，之後(19:00~19:40)使用率呈現另一個小尖峰，而缺位狀況則趨緩。此外，假日自 13 時後使用率均高於 60%，歷時較平日長。整體而言，假日微笑自行車使用率(59%)略高於平日(58%)，但熱點指標(28%)低於平日(32%)。

表 2 列出自行車平日與假日依缺車指標、缺位指標及熱點指標排序的前五大租賃站，可歸納出以下特性：

- 1.因使用型態不同，故平日與假日的五大熱點分布全不相同；
- 2.不論平日與假日，缺車情況均較缺位狀況嚴重，因此熱點指標排序與缺車指標排序相似度高；
- 3.平日前五大缺車熱點涵蓋捷運站、學校、商辦園區，呼應通勤(學)旅次需求，較特別的是市立圖書館亦名列其中，可能原因是該館緊鄰大型國宅社區，以及市民閱讀與學習意願高，衍生較高的自行車需求；
- 4.平日前五大缺位熱點涵蓋大型公園與展覽館，公園站平日使用率較低，展覽館若遇展覽活動則有可能產生不同的使用需求；
- 5.假日前五大缺車熱點以捷運站為主，亦包含大型公園；
- 6.假日前五大缺位熱點包含公務大樓及其鄰近捷運站；
- 7.新設站點(如新生和平路口)因民眾不知悉，使用率與轉換率較低，易產生缺位狀況；而住商混和區(如三張犁)設站前宜針對住戶結構與商店特性進行調查，避免平假日均出現缺位狀況。

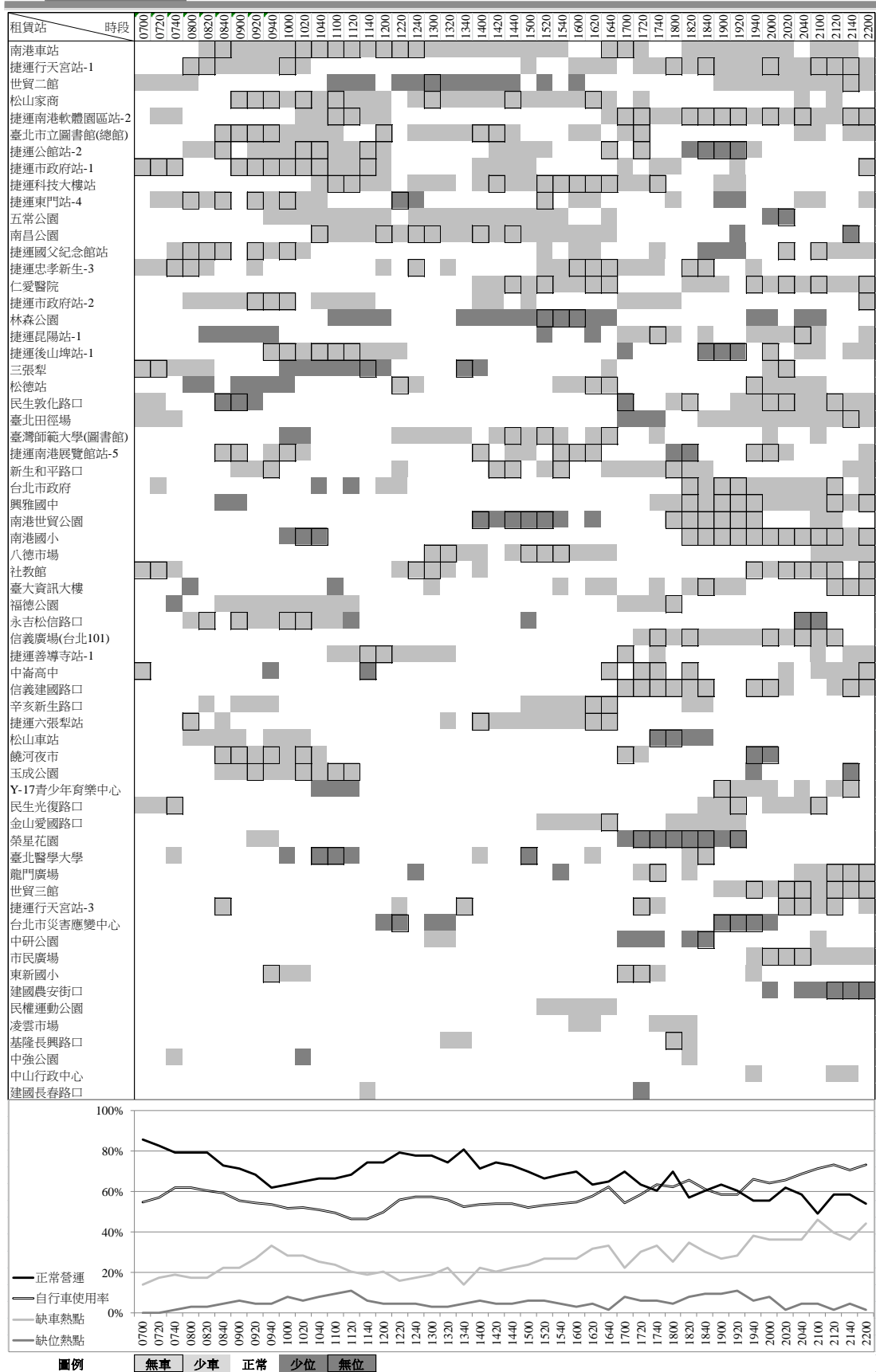


圖 2 台北市微笑自行車平日熱點時空圖

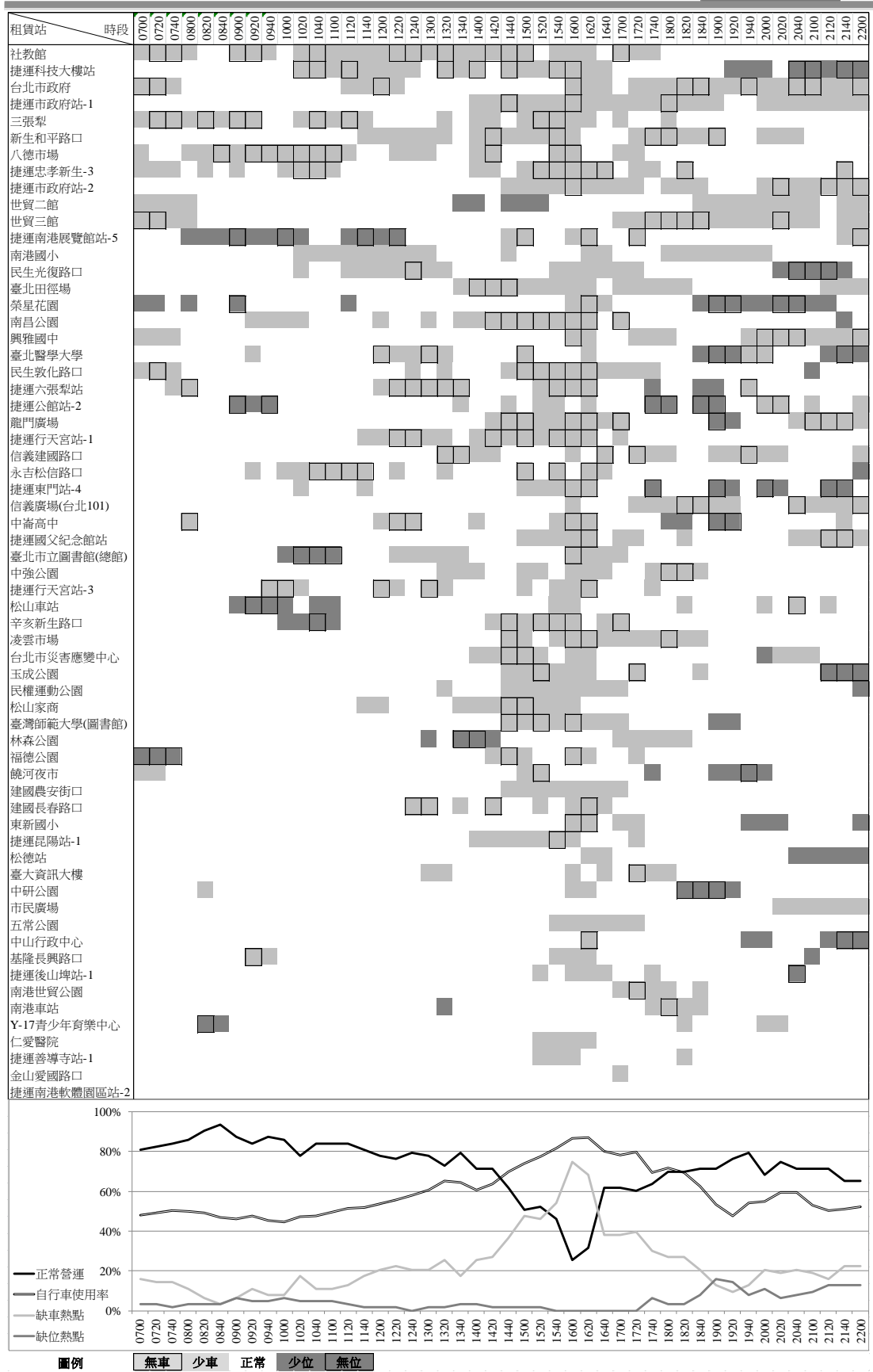


圖 3 台北市微笑自行車假日熱點時空圖

表 1 台北市微笑自行車平日與假日系統指標

指標	平日	假日
系統缺車指標	27%	23%
系統缺位指標	5%	5%
系統熱點指標	32%	28%
系統正常營運指標	68%	72%
系統自行車使用率	58%	59%

表 2 台北市微笑自行車平日與假日前五大空間熱點

指標	平日	假日
缺車指標	南港車站(78%) 捷運行天宮站-1(59%) 松山家商(57%) 捷運南港軟體園區站-2(54%) 台北市立圖書館總館(52%)	榮星花園(30%) 捷運南港展覽館站-5(26%) 捷運科技大樓站(17%) 捷運東門站-4(15%) 捷運公館站-2(15%)
缺位指標	林森公園(39%) 世貿二館(28%) 三張犁(20%) 榮星花園(17%) 台北市災害應變中心(17%)	社教館(61%) 台北市政府(54%) 捷運市政府站-1(50%) 三張犁(50%) 新生和平路口(48%)
熱點指標	南港車站(78%) 捷運行天宮站-1(59%) 世貿二館(59%) 松山家商(57%) 捷運南港軟體園區站-2(54%)	社教館(61%) 捷運科技大樓站(57%) 台北市政府(54%) 捷運市政府站-1(50%) 三張犁(50%)

為進一步釐清自行車使用率與缺車指標、缺位指標間的關聯，假設相同使用型態，以平日與假日的可用自行車數量(a_{ij})時空矩陣為基礎，等比例調整自行車系統使用率，分析缺車指標與缺位指標之變化，亦即

$$\text{現況系統使用率 } U = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n a_{ij}}{mN} = \begin{cases} 58\% & \text{平日} \\ 59\% & \text{假日} \end{cases}$$

$$\text{調整後系統使用 } U' = \{10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%, 90\%\}$$

$$\text{調整後各站可用自行車數量 } a'_{ij} = a_{ij} \left(\frac{1-U'}{1-U} \right)$$

由式(1)、式(2)、式(4)求得調整後的不同系統使用率對應之缺車指標(B')、缺位指標(S')與正常營運指標(G')，如圖 4 所示；不論平日與假日，當自行車使用率低於 70%時，與缺位熱點呈現負線性關係，亦即每增加 10%的使用率，缺位熱點降低約 7%，當使用率為 70%或以上時，缺位熱點維持在 0 的水準。使用率與缺車熱點近似指數關係，當使用率超過 80%時，缺車熱點會大幅上升，而使用率在 60%~70%時，有最大的正常營運指標。圖 4 亦顯示現況約 60%之系統使用率可對應極佳的正常營運指標，惟若自行車系統無法擴充規模而使用率持續上升超過 70%時，將造成正常營運指標下降。

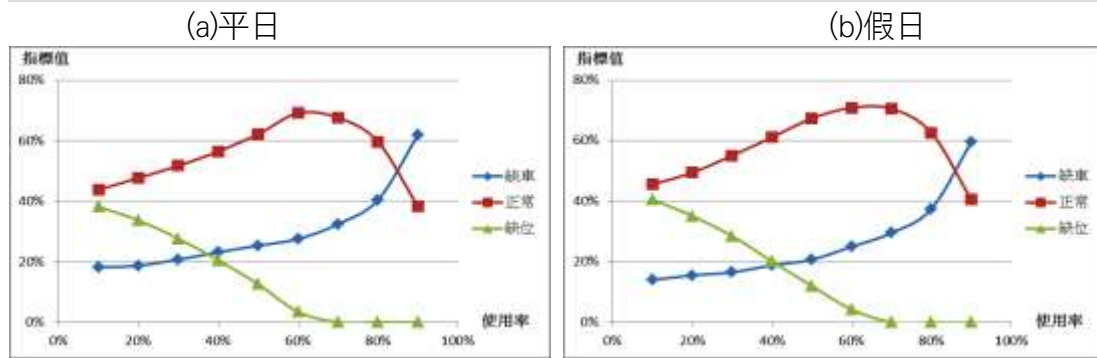


圖 4 自行車使用率與系統指標之關係

四、結語

本研究構建公共自行車時空分析模式，利用租賃站歷史或即時的可租車輛數及可停車位數信息，掌握缺車熱點與缺位熱點之時空分布及特性，並以五種系統指標作為營運者及決策者提升服務之切入點。本研究實證資料蒐集僅止於平日與假日各一天，為提升分析結果代表性，建議後續以全月或季的分時數據為基礎進行特性探討，另以系統模擬方式確認自行車使用率與缺車指標及缺位指標之通則性關聯。

辨識出缺車熱點與缺位熱點後，可依據租賃站空間分布狀況研擬各站間支援方案，除既有運補模式外，可鼓勵使用者「自主性調整」，例如於缺位租賃站周邊替代站還車者，或缺車租賃站周邊替代暫租車者，享優惠費率；而各租賃站車位與優惠費率資訊可利用官方網站與手機 App 取得，提升自主性運補效率，上述支援方案所需財源可藉由自行車後勤運補成本之減少作補貼。

參考文獻

1. 王俊偉(2011)，「以系統模擬探討公共自行車租借系統之建置及營運策略」，成功大學資訊管理研究所碩士論文。
2. 台北市微笑單車官方網站：<http://www.youbike.com.tw>，2013 年 3 月擷取。
3. 余書玫(2009)，「公共自行車租借系統選擇行為之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
4. 洪菁蓬(2011)，「公共自行車租借系統之最佳租借站位址設置及車輛運補策略之研究」，成功大學工業與資訊管理學系碩博士論文。
5. 張勻威(2011)，「自行車租賃佈署暨調度最佳之化之研究」，中央大學土木工程學系碩士論文。
6. 黃仁皇(2010)，「公共自行車騎乘特性、服務便利性、騎乘滿意度之相關研究—以台北市微笑單車為例」，朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文。
7. 楊瑞宇(2012)。「穩健公共自行車租用系統車輛配置模式」，台北科技大學資訊與運籌管理研究所碩士論文。
8. 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」，建築與規劃學報，第十二卷第三期，頁 237-263。
9. 廖敏婷(2012)，「考慮需求比例及暫時人力配置之公共自行車租借系統管理策

- 略研究」，成功大學工業與資訊管理學系碩博士論文。
10. 劉宜青(2012)，「以模擬最佳化求解公共自行車共享系統之初始車輛配置策略」，成功大學工業與資訊管理學系專班學位論文。
 11. 謝昉叡(2011)，「自行車租賃系統佈署調度暨選址最佳化之研究」，中央大學土木工程學系碩士論文。
 12. Yang, T.H., Lin, J.R., Chang, Y.C. (2010), “Strategic design of public bicycle sharing systems incorporating with bicycle stocks considerations”, Computers and Industrial Engineering, CIE 40th International Conference, pp.1-6.