

冪次定律與微觀動態：台北捷運系統為例

賴世剛*、林明生**、柯博晟***、歐崇亞****

摘要

都市被視為一複雜的有機體，具有自我組織的現象，終將呈現出一穩定的秩序結構，如冪次定律，考量研究資料的嚴謹性，是故本研究提出以台北捷運系統車站進出人次規模，來檢證冪次定律。

冪次定律現象的產生，是複雜系統內「自我組織」後展現的穩定秩序結構，其主要乃是透過組織內的個體互動行為，突現出的不可測的秩序結構，模式充滿高度的「不可重複性及不確定性」，但個體之間具有自我相似性，透過系統的調適與學習，終將呈現一穩定的秩序結構。

「冪次定律」乃是描述物件出現的規模與其出現的頻率，具有一直線關係，由語言學家 George Zipf，發現此定律之後，引起廣泛的討論，包含自然科學及社會科學等許多領域，亦有發現此一現象，如地震規模、股市漲跌等，也有許多理論在探討其形成的背後機制，但目前為止尚未有令人滿意之解答。

在冪次定律顯著性的檢證上，採用直線迴歸，並以西元 2002 年至西元 2007 年進出人次規模資料，取得迴歸式 $y = 20.49409 - 0.97665x$ ，冪次值為 -0.97665，調整的 r-squared 為 0.7619，本研究並發現如果資料採用前 65% 的車站進出人次規模資料，將會使調整的 r-squared 達到最高為 0.9643。

在排名流動性分析之部份，整理了台北捷運系統在西元 2002 年至西元 2007 年有關進出人次規模的成長率與集中率。並且透過排名分組為前十大、前二十大、前三十大、前四十大及前五十大，輔以五種排名流動狀況—新進該組、名次上升、名次不變、名次下降及退出該組，探討排名流動之機率，同時建構馬可夫鏈模式，形成移轉機率預測矩陣，再加上透過多元線性迴歸模式，針對個別車站的排名加以預測。

關鍵詞：冪次定律、自我組織、排名流動、台北捷運系統

*賴世剛：廣州南方學院公共管理學院教授

**林明生：國立台北大學都市計劃研究所碩士

***柯博晟：國立台北大學都市計劃研究所碩士暨台北市政府都市發展局

****歐崇亞（通訊作者）：廣州南方學院公共管理學院副教授

收稿日：2022 年 1 月 10 日 同意刊登日：2022 年 1 月 12 日

壹、前言

複雜科學是近年來快速發展的一門新興學科，藉由研究方法及電腦技術的進步，許多學者透過實證或模擬等方式，不管是在天氣變化或股市漲跌等領域，皆可發現複雜系統具有「自我組織（self-organization）」的現象，即系統中眾多組成因子的相互作用，最終將突現（emergent）出一些共同的秩序。

以都市為例，都市常被視為一複雜有機體，都市系統內相當多的人文、經濟、社會等因素會互相變動影響，終將形成一個穩定的狀態。所謂穩定的狀態，即自我組織展現的狀態。

其中冪次定律（power law）和碎形結構（fractal structure），皆是複雜系統中自我組織的最佳展現，因此本研究擬以冪次定律作為研究的主要對象，首先透過台北捷運系統各車站的進出站人次規模，經由實證加以檢驗進出人次規模和排序，是否符合冪次定律的法則，並且加以探討捷運系統內的排名流動狀況，使研究的成果能對捷運系統之規劃有所助益。

冪次定律，最早在一百多年前即被發現，是複雜系統中自我組織展現的結果，該定律指出，事物的規模和其排序呈現冪次方的反比關係，在自然科學領域裡，從著名的沙堆實驗，到古騰堡－芮氏法則（Gutenberg-Richter law）用來描述地震的規模與頻率，以及隕石撞擊出現的規模與頻率，皆有冪次定律現象的產生。在社會科學領域裡，從股市的漲跌規模與出現頻率，或是文字出現的次數與頻率，到解釋所得分配的帕列斯法則（Pareto's law）等，皆是冪次定律現象的最好例子。

冪次定律的展現在複雜都市系統中的探討，首推威普夫（Zipf）於 1949 年提出的等級大小法則（Rank-Size rule），乃以數學式描述一國或一區域內之都市人口規模，其大小等級順序排列呈現者如下的關係（辛晚教，1982）：
$$p_r = p_1 / r^q = p_1 * r^{-q}$$
，其中， p_r 代表第 r 級都市之人口規模， p_1 代表第一級（即最大）都市人口規模， r 為等級順序， q 為指數。另外 Krugman（1996）利用美國的都市統計資料，將美國的都市，依規模的大小加以排序，並將規模和排序皆

取對數，發現都市規模和排序之間確實呈現線性關係，證實戚普夫（Zipf）所提出的等級大小法則。

至於目前國內在都市規劃領域裡，對於以冪次定律為主要研究對象的探討，尚屬少數，包括薛明生（2001）利用台灣的人口資料加以實證，以及賴世剛、王昱智、呂正中（2008）利用台灣天然災害的規模加以探討等。有鑒於過去之研究多以全國性的尺度探討，本研究則擬以我國之地方到區域的等級，因此選定台北都會區，再進而利用台北捷運系統的捷運車站，探討冪次定律在此一行政區劃分等級下，捷運系統是否亦然呈現冪次定律該有的秩序。

實證對象選擇台北捷運系統，乃是對於實證的資料來說，必須具有完整性及嚴謹性，本研究擬依據台北市政府主計處，所發佈有關「捷運中運量及高運量各站進出人次」，其進出人次的取得，由於是透過各旅客進出驗票閘門時，經過電腦統計系統處理，而取得進出人次，是故對於研究的本質來說，該進出人次的統計資料具有嚴謹性；除此之外，台北捷運系統由民國 85 年以來，營運至今（西元 2008 年）已有十餘載，由於每年皆有統計資料，是故該份統計資料亦具有完整性，因此選擇以台北捷運系統進出人次規模，作為實證分析的對象，透過完整且嚴謹的資料，將使實證之分析結果更具有說服力。

貳、冪次定律

有關冪次定律的介紹，首先必須談到哈佛大學語言學家 George Zipf，在統計 Brown 語庫的單詞時發現，整個 Brown 語庫最常出現的單詞為「the」，其次為「of」，其中 the 出現的次數大約是 of 的兩倍，也就是最常出現頻率的單詞大約為第二出現頻率的單詞數量之兩倍，同樣的狀況，第二出現頻率的單詞大約為第四頻率出現單詞數量的兩倍，當年 Zipf 統計 the 共出現了 69971 次（整個語庫十萬個單詞中約佔 7%），of 則是出現 36411 次（佔整個語庫約 3.5%），非常接近前述所提出之比率關係，統計的結果亦發現最常出現頻率的單詞前 135 名排名之

單字，就佔了整個語庫的一半，整個概念非常類似所謂的「八十/二十法則（80/20 rule）」，八成的語庫所出現的單詞，來自最關鍵的兩成單字所構成。

冪次定律現象的發生之後，引起學界相當大的廣泛討論，該定律發展至今，常用來解釋生物學、物理學、天文學及社會科學等各領域的現象，即使都市領域亦不例外，在 1949 年 Zipf 提出等級大小法則（Rank-Size rule），說明都市規模與其等級之關係， $P(r) = K * r^{-q}$ ，其中 $P(r)$ 為第 r 級城市的人口數， K 為區域內最大都市的人口數， q 被稱為威普夫係數（Zipf Force），通常假設 q 值等於一。也就是第二大的都市人口規模為第一大的都市人口規模之一半，第三大之都市人口規模則為第一大的都市人口規模的三分之一，得依此類推下去。

冪次定律的法則用來衡量物件出現的規模與其出現的頻率為一線性關係，該現象已為學界所接受，但尚無法合理解釋其形成的原因。Krugman（1996）亦指出冪次定律之現象確實存在，但是形成的原因仍待持續驗證與探討。自我組織的穩定秩序狀態之形成，與內部之吸引子有極大之關係，以都市等級大小法則為例，最大都市之形成，通常為一國之首都，具有豐富的都市機能，其形成的背後機制，可能為地利之便或是佔有自然資源之優勢，亦或是人為資本的投入，然而這些因素皆屬於區域系統裡的吸引子，因此系統內的各個都市受到這些吸引子的作用，彼此經過互動與學習之後，將形成一「暫時性的穩定之秩序結構」，即如都市等級大想法則所描述的都市等級與人口之結構關係。

Krugman（1996）認為目前最佳的解釋威普夫法則的模型為 Simon 在 1955 年所提出的都市隨機成長模型（Random growth model），假設都市成長是一次增加一個區塊（lump），可以是加入現有都市或是成立新聚落，而該區塊成立新聚落的機率為固定值 π ，至於加入現有都市的機率則與都市規模成正比，即隱含「報酬遞增」之觀念，但是在推導係數值（ $\alpha = \frac{1}{1-\pi}$ ）的過程中，為與前述介紹的係數值為「一」相同，即 π 必須等於零，亦即無法產生新的都市，當然也無從形成都市體系，因此該模型仍無法完整解釋冪次定律形成的背後原因。雖然冪次定律

的形成之背後機制，尚無法有一具體之解釋，然而該現象確實普遍的存在於這個世界當中，以下茲針對過去有關冪次定律現象，所觀察到一些著名的實證例子，簡要介紹之。

一、沙堆崩塌實驗

物理學家巴克(Per Bak)、湯超(Chao Tang)及魏森菲爾德(Kurt Weisenfeld)，在 1987 年透過電腦模擬沙堆的崩塌實驗，由高點處投擲一顆顆的沙粒，可能堆積形成一座沙堆，然而當沙堆過高時，也有可能隨時會面臨崩塌。結果發現每一場的沙堆崩塌，竟然沒有完全相同的組成之沙粒數目，也就是有時候竟然只有十粒沙，也會產生崩塌，一百粒沙、一千粒沙乃至一萬粒沙皆有可能，但有時候竟然累積到數百萬粒沙也未產生崩塌。這些沙堆崩塌的規模與沙堆崩塌的出現頻率，即符合冪次定律。

二、地震規模或隕石撞擊

物理學家巴克(Per Bak)(1996)在其所著的「How Nature Works」中指出包括前述的沙堆實驗，或是地震規模以及隕石撞擊同樣呈現冪次定律之現象。在地震的規模頻率當中，大規模的地震其出現的次數是相對較少的，小規模的地震則是相對較常出現。同樣的情事亦出現在隕石撞擊的現實當中。古騰堡(Gutenberg)和芮氏(Richter)透過研究世界各地的地震，提出了古騰堡－芮氏法則(Gutenberg-Richter law)，如果某個大型地震所釋放出來的能量，是某個小型地震的兩倍的話，則大型地震出現的頻率將是小型地震出現的四分之一。

三、網站的連結人數

中國工程院院士李幼平，在「無尺度現象引發的思考」文章中，提出有極少數的網站，其連結人數是普通網站連結人數的百倍、千倍甚至萬倍，也就是包括各網站的連結人數也呈現冪次定律的現象。網路使用者對網站的遊覽，可以說是獨立、自由的，完全取決於網路使用者本人的主觀意願。在做大量統計實驗之前，科學家預測連接數 K 應當是服從波松分布或正態分布，即每個網站的被訪問量差異不會太大，就像人類身高差異不會太大那樣。然而實測結果推翻了這個預測

(王昱智、呂正中及賴世剛，2008)。

四、城市人口

Krugman (1996) 透過研究美國都市的統計資料發現，在 1890~1990 年美國的一百三十個都市，透過將排序與規模皆取對數，其形成接近斜率為負 1 的線性關係，且該斜率值非常穩定。Krugman 亦證實戚普夫法則的係數應為負 1 之假設，是正確的。更大範圍更長時期的城市人口實證資料，其實證的年份，為 1790~1990 年共計二百年的時間，針對美國的各個都市排名與規模，亦呈現一穩定的線性關係。

在 1977 年，在美國有數位的學者，則是針對美國最大的 2400 個城市人口規模進行實證，亦發現有冪次定律的現象，其中最大的城市—紐約，人口約有九百多萬，辛辛那提等共四個城市，其人口則只有最大城市人口的一半，整個城市結構皆具有此一關係。人口規模的實證部份，即使以全球前 1700 大的城市，或是透過瑞士的 1300 個社區人口的規模，都同樣呈現冪次定律的現象。

五、股價波動

一九九八年波士頓大學的史坦利研究標準普爾五百指數在一九八四到一九九六之間每一分鐘的時距內的漲跌幅度，發現漲跌幅度倍增時，發生此種幅度的漲跌的機率就變為十六分之一。從很小到很大的漲跌幅之間，這個比例一直維持大致不變，也就是符合冪次定律的形式。若某一事物符合冪次定律，則就該事物而言，發生極端事件的可能性不會很低。事實上用極端一詞來指稱它們，甚至是不恰當的。

人為系統所創的股市運作機制，亦呈現冪次定律的現象，其形成之原因可能為，投資者因股價波動而使情緒遭受影響，也就是當股價處在漲勢的時候，會使投資者的情緒，對未來之判斷，轉為更樂觀，吸引更多的實質買盤進場，推動股價快速且大幅的上漲，同樣的邏輯，亦可用來解釋股市快速崩盤的情境。

薛明生 (2001) 則在進行台灣本島人口冪次定律實證時，整理了冪次定律的四大特性：一、層級性：區域內各城市間彼此有關係，會呈現線性關係；二、變

化性：即人口流動所造成都市規模的變動；三、有常性：乃指城市規模之變化有其循序性脈絡，及區域內各都市層級關係雖有小幅異動，但不易呈現巨幅變易；四、聚累性：係都市規模之發展隨時間遞延而逐漸累積或發散其人口變動。

由 George Zipf 觀察 Brown 語庫，提出冪次定律以來，有許多的學者，在自然科學或社會科學的眾多領域裡，透過相關模型設計或是理論探討，主要希望能夠了解物件的規模與其出現的頻率之間，有一固定的線性關係，其出現的背後之關鍵機制到底為何？但是至今其形成的背後機制仍莫衷一是，但是透過實證研究，則是發現冪次定律普遍存在於我們的日常生活中。

叁、研究範疇

本研究旨在探討冪次定律在台北捷運系統的展現，以下茲針對本研究的範疇，包含研究對象、時間範疇及空間範疇，作一簡單的介紹如下。

一、研究對象—冪次定律

本研究旨在檢證台北捷運系統車站進出人次規模與排名，是否符合冪次定律的法則，是故以冪次定律作為主要的研究對象，個體的非線性（方程式）互動關係所構成的複雜系統，可能在總體面呈現簡單的形式規則（自我組織現象），冪次定律則為其中一種非常常見的現象，其主要的意義為事物的規模和其出現的頻率呈現冪次方的反比關係。

都市系統為一複雜的有機體，構成各個都市的子系統亦為一個複雜的有機體，因此交通領域的捷運系統，自然亦為一個複雜的有機系統，在各因子的互動作用下，將形成一個簡單的秩序法則，本研究乃是透過冪次定律的法則，來檢證台北捷運系統是否符合此一簡單的秩序法則。

二、空間範疇—台北捷運系統

有關本研究是針對冪次定律是否會在台北捷運系統展現出有規律的秩序，進行實證分析，有關實證的空間範疇，是以西元 2002 年（研究時間範疇為西元

2002~2007 年，詳見後述)，台北捷運系統所有營運的捷運車站所涵蓋的範圍，另外有關排名流動性分析的空間範疇，則是涵蓋到西元 2007 年底的所有營運車站。

對於實證的空間範疇計有下列車站，中山國中、南京東路、忠孝復興、大安、科技大樓、六張犁、麟光、辛亥、萬芳醫院、萬芳社區、木柵、動物園、淡水、紅樹林、竹圍、關渡、忠義、復興崗、北投、奇岩、唭哩岸、石牌、明德、芝山、士林、劍潭、圓山、民權西路、雙連、中山、台北車站、台大醫院、中正紀念堂、古亭、台電大樓、公館、萬隆、景美、大坪林、七張、新店市公所、新店、市政府、國父紀念館、忠孝敦化、忠孝新生、善導寺、西門、龍山寺、江子翠、新埔、永春、後山埤、昆陽、頂溪、永安市場、景安、南勢角、小南門及新北投站共六十座捷運車站。

有關排名流動性分析的空間範疇，由於是涵蓋到西元 2007 年底的所有營運車站，並且在排序變化圖的部份，由於分析的內容劃分依據是捷運的子路線，因此透過表 1 整理西元 2007 年台北捷運子路線的捷運車站及其數目，台北捷運子路線劃分依據是參考台北市政府捷運工程局，其中有關小南門線的部份，由於僅有一座捷運車站，因此無排名流動之狀況，另外土城線僅有西元 2007 年單一年度的統計資料，是故亦無排名流動之情形，因此排除此二條子路線。

表 1 西元 2007 年台北捷運子路線的捷運車站及其數目

	子路線名稱	車站數目	捷 運 車 站	備註
中運量	木柵線	12	中山國中、南京東路、忠孝復興、大安、科技大樓、六張犁、麟光、辛亥、萬芳醫院、萬芳社區、木柵、動物園	
高運量	淡水線	22	淡水、紅樹林、竹圍、關渡、忠義、復興崗、北投、奇岩、唭哩岸、石牌、明德、芝山、士林、劍潭、圓山、民權西路、雙連、中山、台北車站、台大醫院、中正紀念堂、新北投	
	中和線	4	頂溪、永安市場、景安、南勢角	
	新店線	11	中正紀念堂、古亭、台電大樓、公館、萬隆、景美、大坪林、七張、新店市公	

			所、新店、小碧潭	
	南港線	11	昆陽、後山埤、永春、市政府、國父紀念館、忠孝敦化、忠孝復興、忠孝新生、善導寺、台北車站、西門	
	板橋線	5	龍山寺、江子翠、新埔、板橋、府中	
	土城線	4	亞東醫院、海山、土城、永寧	排除
	小南門線	1	小南門	排除

資料來源：台北市政府捷運工程局，本研究整理。

三、時間範疇—西元 2002 年～西元 2007 年

台北捷運系統的通車是在西元 1996 年（民國 85 年），中運量的捷運系統木柵線首先開通，地下化的高運量系統—淡水線亦在隔年（西元 1997 年）部份路段通車，由台北捷運系統通車至今約有十餘年，但是西元 2001 年 9 月份時，由於台灣本島受到中度颱風「納莉」侵襲的影響，地下化的捷運系統因為淹水的緣故，導致部份路段停駛，同時連帶影響其他車站，減少發車的數量和延長發車的間距，由於此一影響屬於非全面性的，亦即有部分的車站仍維持減班營運，但亦有部分車站暫時停止營運，在同年（西元 2001 年）12 月全線恢復正常營運，因此將使西元 2001 年度的統計資料受影響，所以本研究以西元 2002 年（民國 91 年）至西元 2007 年（民國 96 年）做為研究的時間範疇。

肆、研究方法與內容

為探討台北捷運系統各車站之進出人次規模，是否符合冪次定律的法則，因此本研究首先將台北捷運系統各車站之進出人次加以排序，然後就進出之人次數目和排序之順位，分別予以對數化（logarithm）處理，然後藉由迴歸分析，以得出「迴歸係數（slope）」及「調整的 r-squared」。其中迴歸係數的大小，代表進出站人次差異狀況，當迴歸係數的絕對值愈大時，代表進出站人次的差異狀況愈小。調整的 r-squared 之大小，則直接代表該系統呈現出對冪次定律的顯著性，當調整的 r-squared 愈大時代表，呈現冪次定律的現象愈強。

另外有關本研究的主要內容摘錄為下列四大點：

一、理論基礎與文獻回顧

都市為一複雜之系統，在複雜系統中各因子的交互作用，最後藉由自我組織展現一穩定的秩序，其中冪次定律此一簡單的秩序即為其法則之一，因此冪次定律的形成之背後隱藏著自我組織，因此本研究針對冪次定律等相關文獻進行回顧與評述，以建立實證分析的理論基礎。

二、資料蒐集與資料處理

本研究擬以台北捷運系統，進行冪次定律的顯著性之實證分析，是故將針對台北捷運系統各車站的進出人次資料加以蒐集，其資料的取得來自台北市政府主計處，所發佈的統計年報，有關捷運站進出人次的統計資料，針對所蒐集到的捷運車站進出人次加以排序，同時將排序與進出人次資料取對數化處理，以利後續的實證分析。透過迴歸分析，以取得迴歸係數及調整的 r-squared，以檢證冪次定律對於台北捷運系統的顯著性。

三、實證研究與結果分析

將前述所蒐集到的捷運車站進出口人次資料，透過電腦軟體，進行迴歸分析，以取得迴歸方程式及調整的 r-squared，迴歸方程式的斜率即為冪次值，調整的 r-squared 的高低，則是顯示該系統是否顯著的符合冪次定律。同時針對實證的結果，分析台北捷運系統呈現該現象的原因，進行簡要的分析，以掌握冪次定律與台北捷運系統的關係。

四、排名流動性分析

首先建立排名流動的基礎資料，透過基礎資料的研讀與判別，針對研究時間範疇內的捷運車站進出人次規模排名流動狀況，作一扼要之說明，同時輔以馬可夫鏈的模式以及多元線性迴歸模式，來建立台北捷運系統車站進出人次規模之排名流動預測機率，並且說明台北捷運系統進出人次規模在符合冪次定律下，與排名流動之間的關係。

伍、實證分析

一、資料整理

有關冪次定律的分析，得以將所欲進行分析的系統，依規模之大小加以排序，然後進行分組，或是直接透過排序的方式，將規模與排序或排序的分組資料，同時皆取對數，即可發現明顯的線性關係，但是礙於分組可能會使資料失真，於是本研究，有關冪次定律的衡量，選擇以排序的方式，進行資料分析。

二、迴歸分析

透過電腦軟體將前述整理完成之資料，進行迴歸分析，以取得冪次值(斜率，slope)，以及調整的 r-squared，以進行後述的顯著性檢定。其中進行迴歸分析的方法，本研究採用的是取完對數後的排序和進出人次規模，加以進行簡單的線性迴歸分析。研究時間範疇內（西元 2002 年至西元 2007 年），台北捷運系統各車站之進出人次規模與排序之迴歸方程式為 $y = 20.49409 - 0.97665x$ ，因此可知冪次值為-0.97665，冪次值的大小，顯示的是系統內差異的大小，而且依據研究時間範疇內的臺北捷運系統進出人次規模的冪次值，和世界等級大小法則所說的負一非常接近，至於截距 20.49409 於本分析中，並無具特別的分析意義。

三、顯著性檢定

在本研究中，對於迴歸直線顯著性的檢定，主要乃在檢證該系統，其進出人次規模與排序之間的關係，有多少可被冪次定律所解釋。依據前述直線迴歸的結果，其調整的 r-squared 為 0.7619，可用來判斷迴歸模式的解釋能力，當調整的 r-squared 的數值愈高時，代表呈現冪次定律的顯著性愈明顯，亦即該系統內有較強的自我組織性質。

陸、排名流動性分析

一、前五十大車站進出人次規模集中率分析

車站進出人次規模集中率分析，首先將車站進出人次規模分為五大組別，分別為前十大、前二十大、前三十大、前四十大及前五十大，所謂排名前十大之車站，乃是代表在該年度內進出人次規模排名第一名至第十名的捷運車站，至於前二十大車站則是在該年度內進出人次規模排名第十一名至第二十名的車站，其餘

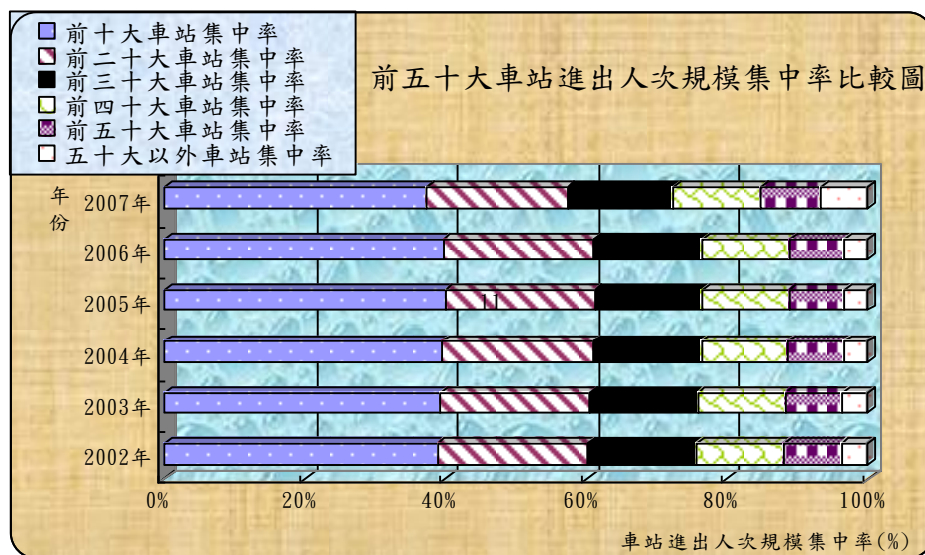
前三十大、前四十大及前五十大車站，皆按照此法則加以分類，每個組別的捷運車站同樣為十座捷運車站。

表 2 前五十大車站進出人次規模集中率

	前十大 車站集中率	前二十大 車站集中率	前三十大 車站集中率	前四十大 車站集中率	前五十大 車站集中率
2002 年	38.8	21.34	15.5	12.38	8.27
2003 年	39.17	21.33	15.29	12.45	8.16
2004 年	39.59	21.48	15.3	12.29	7.96
2005 年	39.89	21.32	15.29	12.24	7.86
2006 年	39.6	21.45	15.45	12.39	7.77
2007 年	37.38	19.95	15.07	12.35	8.64

資料來源：台北市政府主計處；本研究整理。

所謂車站進出人次規模集中率，意謂著該車站的進出人次規模佔所有捷運車站進出人次規模的百分比，如前十大捷運車站進出人次規模集中率，代表第一名至第十名的捷運車站進出人次規模總數，佔該年度整體捷運車站進出人次規模總數的百分比，藉由此一資訊可以觀察不同組別在不同年度的捷運車站進出人次規模佔整體百分比的變化，其概念非常接近捷運車站進出人次規模的市佔率。



資料來源：本研究繪製。

圖 1 前五十大車站進出人次規模集中率比較圖

透過表 2 整理前五十大車站進出人次規模集中率，按照前述分類的五大組別，同時整理從西元 2002 年至西元 2007 年六個年度的資料，可以發現在這六個

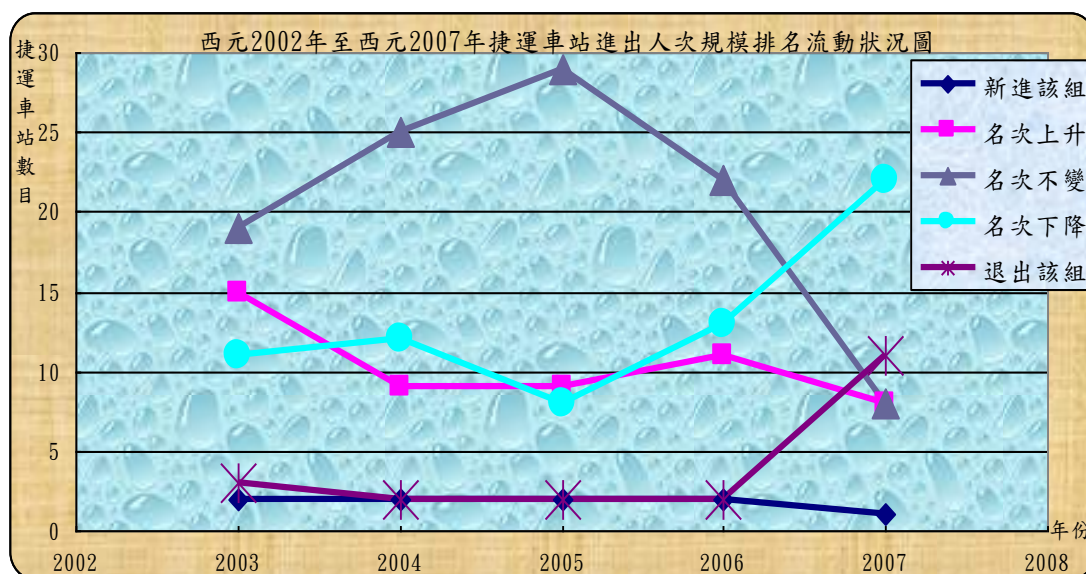
年度裡頭，前五十大車站的進出人次規模集中率高達百分之九十以上，囊括大多數的進出人次規模。

為方便比較不同年度以及不同組別的車站進出人次規模集中率，因此透過將表二的資料轉繪成圖一前五十大車站進出人次規模集中率比較圖，可以發現不同年度間同一組別的集中率大致相差不多，在研究的時間範疇內皆相當穩定，僅有西元 2007 年在前十大、前二十大及前三十大的集中率都略低於其他年度，但反之在該年度前四十大及前五十大車站進出人次規模集中率也都稍微的略大於其他年度。

二、捷運車站進出人次規模排名流動狀況

為能有效了解在西元 2002 年至西元 2007 年的臺北捷運車站進出人次規模之排名流動情形，茲以圖 2 繪製研究範疇時間內捷運車站進出人次規模排名流動之狀況。

排名分組之部分，按照前述法則分組，如前四十大指進出人次規模排名在第三十一至第四十名的捷運車站，排名流動的狀況概分為五大類，分別是「新進該組」，代表該捷運車站的排名，比起上一個年度的排名，其排名上升至更前順位的組別，包含一次上升兩個組別以上；「名次上升」，則是意謂該捷運車站進出人次規模排名仍跟上一個年度的組別相同，但是在排名上仍有所上升，但不能上升至。



資料來源：本研究繪製。

圖 2 西元 2002 年至西元 2007 年捷運車站進出人次規模排名流動狀況圖

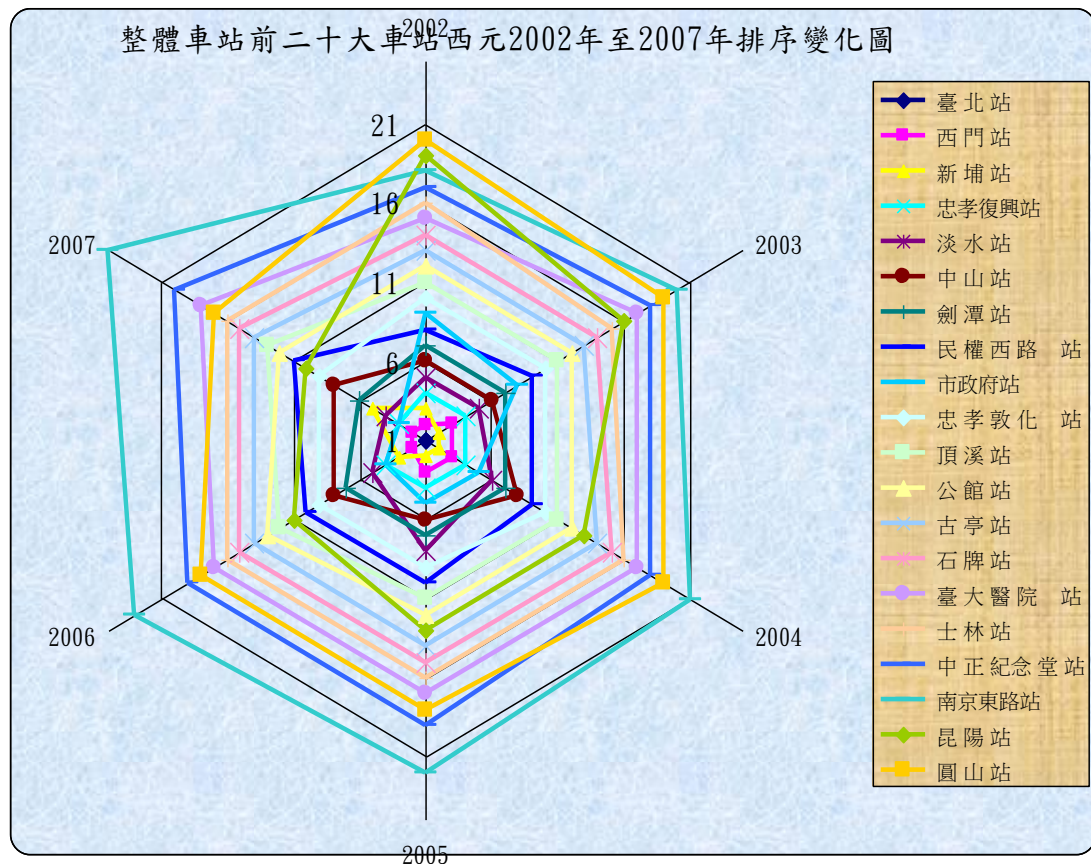
跨越其他組別「名次不變」，也就是該捷運車站進出人次規模排名跟上一個年度比較起來，名次並未上升或下降，同時排名分組上留在原來的組別；「名次下降」的情形，則是和名次上升相對，也就是仍在同一組別，但是排名和上一年度比較起來有所下降；「退出該組」則是和新進該組的概念是相對的，亦即進出人次規模排名和上一年度比較起來，有所下降之外，並且掉落至其他更後順位的組別，包含一次掉落兩個組別以上。

圖 2 排名的流動情形，是由西元 2003 年開始分析的，西元 2003 年排名流動的劃分依據，乃是依照西元 2002 年的資料為基礎。透過排名流動狀況圖，可以發現在各年度裡，皆以排名不變所佔的百分比最重；其次則是留在同一組別，但排名發生上升或下降的情形次之；發生機率最低的則是跨組別的上升或下降是最少發生的，但是在西元 2007 年退出該組的產生機率有稍微顯著的上升，因此對於台北捷運系統整體來說，進出人次規模排名可說具有穩定性。並且在五個資料年度中，可以發現以西元 2005 年，排名不變的捷運車站數是最高的。

三、排序變化圖分析

排序變化圖是參考來自 Michael Batty 所著的 rank clocks 該篇文章；排序變

化圖可清楚用來呈現研究時間範疇內，各車站的歷年度排名變化，排序變化圖的中心，為最高階的名次，愈往外圍則是名次愈下降，因此在各年度愈往中心的地方，代表該車站的進出人次規模愈大，其進出人次規模的排名也愈在前位。透過排序變化圖，即可觀察到，當某個車站跨越臨界門檻值之後，排名隨著年度的改變一路往中心前進的情形，反之亦可觀察到，某個車站排名隨著時間的改變，愈往外圍移動，也就是排名愈來愈落後的現象，皆可透過排序變化圖清楚觀察到。

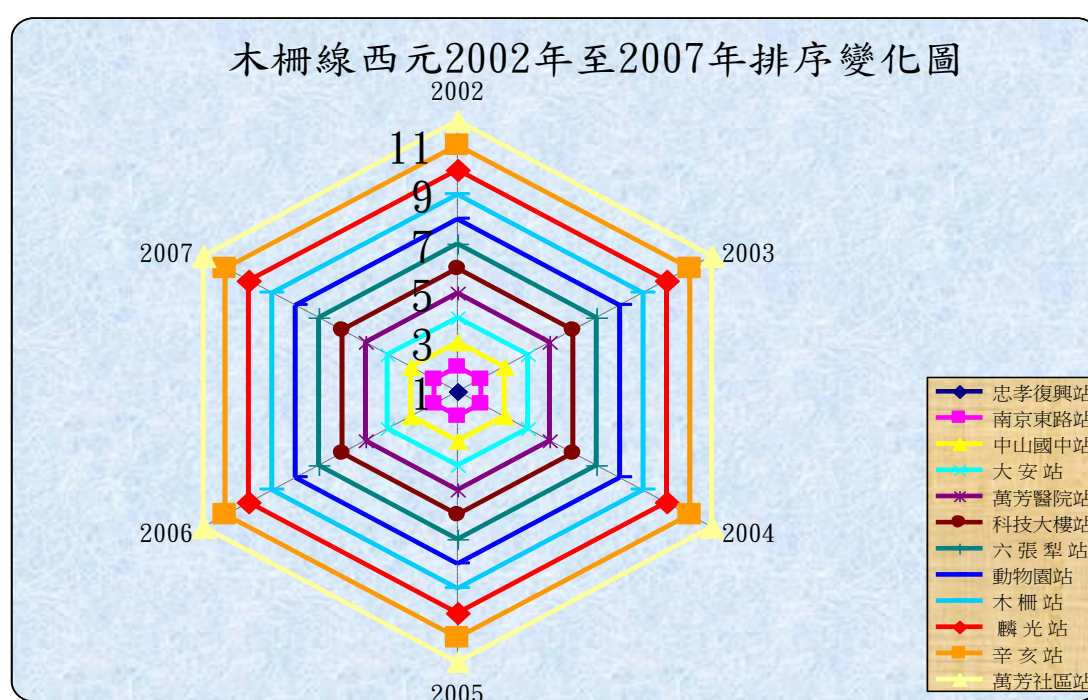


資料來源：本研究繪製

圖 3 整體車站前二十大車站西元 2002 年至西元 2007 年排序變化圖

圖 3 為整體車站前二十大車站進出人次規模排序變化圖，進出人次規模最大的臺北站，在西元 2002 年至西元 2007 年這段期間，始終維持排名第一大的捷運車站進出人次規模，至於第二大的捷運車站—西門站，在西元 2003 年、西元 2004 年及西元 2005 年為第三名，其餘時間皆為第二大的捷運車站，新埔站則是在第二名或第三名之間變化，但是到了西元 2007 年則滑落至第五名。

另外觀察排序變化圖的結構，亦可了解在研究的時間範疇內，所有車站的排名變化情形，當其結構為一穩定的型態，並未產生有線條交叉之情形，如圖四木柵線排序變化圖即代表在研究的時間範疇內，整體車站的排名皆未有任何之變化，為一穩定的排名結構型態。也就是該路線上的十二座車站，在西元 2002 年至西元 2007 年間，皆未有排名上的任何變化，因此排名的線條未有任何的交叉。反之當排序變化圖，其結構型態愈複雜，亦即線條交錯是愈複雜的情況，即代表整體車站的排名結構相當不穩定，經常會產生排名流動之情形。



資料來源：本研究繪製

圖 4 木柵線西元 2002 年至西元 2007 年排序變化圖

藉由前述的排序變化圖可以發現，對於台北捷運系統的各條子路線或是整體車站來說，有許多條路線在排名最前順位或是最後順位的車站，皆具有排名僵固的特性，亦即這些車站在研究的時間範疇內，於該條路線上排名皆未有任何之變化，因此透過表三整理各條路線上具有排名僵固的車站名次，可以發現在六條子路線和整體車站中，僅有中和線及板橋線在排名最後順位的車站完全無排名僵固之現象，另外板橋線在排名最後順位無排名僵固之現象，極有可能是受到西元

2007 年新增府中及板橋兩座捷運車站所影響。另外在淡水線的部分,排名僵固的現象則是發生在倒數第三及第四順位的車站,但是該路線上的倒數第一及第二順位的車站,也僅在西元 2006 年時曾發生排名互換之現象。

表 3 各條路線上排名在最前順位及最後順位具有排名僵固的車站名次

路線名稱	排名最前順位	排名最後順位
中 和 線	第一順位	無
新 店 線	第一、二、三順位	倒數第一、二順位
南 港 線	第一、二順位	倒數第一、二、三順位
淡 水 線	第一順位	倒數第三、四順位
木 柵 線	全線所有車站	全線所有車站
板 橋 線	第一、二順位	無
整體車站	第一順位	倒數第一、二順位

資料來源：本研究整理。

柒、個體車站排名預測

有關個體車站的排名預測,本研究採用兩種模式,分別是馬可夫鏈模式,透過分組排名為前十大至前五十大共五組,用來預測西元 2007 年的分組排名預測機率矩陣,以及透過多元迴歸模式預測各路線及整體車站的個體車站排名預測。

一、馬可夫鏈模式預測排名分組

首先將西元 2002 年與西元 2003 年車站排名變化,轉化為表四進出人次排名之轉移機率矩陣,以在西元 2002 年排名前 10 大的捷運車站這一組為例,到西元 2003 年時,排名前十大的捷運車站,一定會轉移到前十大、前二十大、前三十大、前四十大或前五十大組別中的其中一組(在不考量排名掉出前五十大之狀況),亦即表四進出人次排名之轉移機率矩陣各列的機率值總合一定為一。並且可以發現以前十大及前二十大這兩組,到了下一個年度,仍維持在原排名分組。

表 4 台北捷運車站進出人次排名之轉移機率矩陣(2002- 2003)

年份	西元 2003 年						
西元	排名	前 10 大	前 20 大	前 30 大	前 40 大	前 50 大	合計
2002 年	前 10 大	1	0	0	0	0	1
	前 20 大	0	1	0	0	0	1

	前 30 大	0	0	0.9	0.1	0	1
	前 40 大	0	0	0.1	0.8	0.1	1
	前 50 大	0	0	0	0.1111	0.8889	1

資料來源：本研究整理。

透過表 4 轉移機率矩陣，本研究透過運算得出西元 2007 年，各組排名的預測機率，整理成表五，其中排名前十大或前二十大的捷運車站，仍留在同一組別的機率為 100%；至於在西元 2002 年排名在前三十大的車站，進出人次規模要進步到前十大或前二十大的機率一樣都為零，如果是仍留在前三十大的這一組別機率是最高的，有 61.88% 的機率，亦有 29.54% 的機率排名會轉移到前四十大這一組別，最後仍有 8.59% 的機率會落到排名前五十大這一組別。

表 5 台北捷運車站進出人次排名之預測機率矩陣(2007)

年份	西元 2007 年					
	排名	前 10 大	前 20 大	前 30 大	前 40 大	前 50 大
西元 2002 年	前 10 大	1	0	0	0	0
	前 20 大	0	1	0	0	0
	前 30 大	0	0	0.618779	0.295371	0.08585
	前 40 大	0	0	0.295371	0.418797	0.285832
	前 50 大	0	0	0.095388	0.317591	0.58702

資料來源：本研究整理。

透過表 6 整理西元 2002 年與西元 2007 年台北捷運車站進出人次排名流動之機率矩陣，該表格的排名流動機率計算，是以西元 2002 年為統計基礎，比較西元 2007 年與西元 2002 年排名流動情形，茲以西元 2002 年排名前十大為例，有高達九座的捷運車站在西元 2002 年排名前十大，至西元 2007 年仍排名在前十大，僅有民權西路站掉落至前二十大。再以西元 2002 年前五十大的捷運車站，至西元 2007 年時，仍然排名留在前五十大之捷運車站，有四成的車站屬於此一情形，同時有一成的機率會前進至四十大的捷運車站，其餘五成的捷運車站，則是排名掉落至前五十大以外的排名。交叉比對表五與表六，可以觀察出預測與實際排名機率之差異，以前十大及前二十大皆有最高的機率仍為原排名分組，在以前三十大的維持原排名分組，預測機率為 0.6188，實際機率為 0.6 都非常接近。

表 6 西元 2002 年與西元 2007 年台北捷運車站進出人次排名流動之機率矩陣

年份	西元 2007 年					
西元 2002 年	排名	前 10 大	前 20 大	前 30 大	前 40 大	前 50 大
	前 10 大	0.9	0.1	0	0	0
	前 20 大	0	0.9	0.1	0	0
	前 30 大	0	0.1	0.6	0.3	0
	前 40 大	0	0	0.1	0.5	0.4
	前 50 大	0	0	0	0.1	0.4

資料來源：本研究整理。

二、多元迴歸模式預測個體車站排名

本研究利用多元迴歸模型，對於整體車站，以及台北捷運系統的各條子路線，各路線上每座車站的排序加以預測，考量研究的時間範疇為西元 2002 年至西元 2007 年，迴歸模型所採用的資料則是西元 2002 年至西元 2006 年的車站相關資料，共計五年的資料時間，最後並以迴歸模式預測西元 2007 年的排序狀況，並且和實際的西元 2007 年之排序資料加以比較。受限於篇幅的限制，僅以調整的 r-squared 最高的新店線加以說明，其餘五條子路線及整體車站的兩種模式，其中模式 B 僅改變第一個自變數為車站可及性，其餘變數及資料時間皆相同，所有的結果摘錄於綜合討論之內容中。

首先應變項 Y 為子路線的車站進出人次規模排序，並非直接由整體車站的排名擷取名次狀況，而是考量各條子路線的運量重新加以排序之結果。另外兩個自變項， X_1 ：各車站到其他車站之間的運輸站距總合，單位為公尺，至於整體車站模式 B 車站可及性，其計算之方式為運輸站距之總合的倒數 ppm， X_2 ：捷運車站周圍二百公尺的人口總合數目，由於人口資料是以「里」的行政資料為基礎，並以範圍內的所有里皆包括在內，因此實際的人口總和數目會有高估之現象。

在新店線的迴歸模型摘要整理成表七，該路線上計有十座車站，其中小碧潭站，在西元 2005 年才有整年的進出人次規模之資料，為了維持模型置入資料的時間同樣為西元 2002 年至西元 2006 年，因此排除小碧潭站。透過線性迴歸所得出的模型為 $Y = -7.12324 + 0.0000191X_1 + 0.00000169X_2$ ，其中 r-squared 為

0.9930，至於調整的 r-squared 為 0.9927，此兩個數值皆非常的高（最高僅能是一），因此可以知道的是此迴歸模型用來解釋新店線的排名預測具有非常高的解釋能力。

表 7 新店線迴歸模型摘要

r-squared	0.9930	調整的 r-squared	0.9927	觀察值數目	50
迴歸模型		$Y = -7.12324 + 0.0000191X_1 + 0.00000169X_2$			

資料來源：本研究整理。

表 8 整理新店線迴歸模型之變異數分析，進行迴歸模型的顯著性檢定，以了解所選擇的自變數是否可以有效解釋應變數，新店線迴歸模式所計算出的 F 值為 3317，其數值非常的高，至於顯著值為 2.57E-51，則是非常的低，完全與前述的 R 平方異常的高，是互相一致的，所以可以說迴歸模式中的斜率係數極端的不全為零，也就是站距總合和人口總合可高度的用來解釋名次變化上的差異。

表 8 新店線迴歸模型之變異數分析

變異來源	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	2	409.5981	204.799	3316.963	2.57E-51
殘差	47	2.901918	0.061743		
總和	49	412.5			

資料來源：本研究整理。

透過表 9 新店線迴歸模型之參數估計，對兩個自變項進行 t 檢定，以了解各個自變項迴歸係數是否為零。首先在各車站到其他車站之間的運輸站距總合這個自變項，迴歸係數為 0.0000191，也就是站距總合每增加十萬公尺（一百公里），名次將會後退 1.91 名，其 t 統計值為 78.7269，已達統計上的顯著水準，也就是站距總合的迴歸係數不為零，也就是站距總的大小會對捷運的名次變化有所影響。另外在捷運車站方圓兩百公尺內的人口總合這個自變項，迴歸係數為 0.00000169，也就是人口總合每增加一百萬人，名次將會退後 1.69 名，其 t 統計值為 0.4534，尚未達統計上的顯著水準，也就是人口總合的迴歸係數可能為零，亦即人口總合該項自變數無法有效解釋捷運名次的變動。

表 9 新店線迴歸模型之參數估計

迴歸參數	係數	標準誤	t 統計	P-值
截距	-7.12324	0.200725	-35.4876	1.37E-35
人口總合	1.69E-06	3.73E-06	0.453427	0.652328
站距總合	1.91E-05	2.42E-07	78.72692	1.46E-51

資料來源：本研究整理。

表 10 為西元 2007 年新店線透過線性迴歸模型與實際排名之差距比較表，首先一樣將原始資料的各車站到其他車站之間的運輸站距總合以及捷運車站周圍的人口總合數目整理，同時列出排名預測數值，以及轉換後的預測排名，並且和實際排名加以比較，以整理出排名的預估差距。可以發現在新店線上的預估差距，以萬隆站所預估出的低估五名，為最大的誤差，至於最小的誤差則為古亭站，其預測排名和實際排名皆為第二名，預測和實際資料是一致的。另外預估差距的數值介在+3 至-5 之間，其中尚有景美、七張、新店市公所以以及新店站這四站的預估和實際排名僅有一名的差距。另外在預估差距的總合部份，新店線的預估差距總合為零。

表 10 西元 2007 年新店線迴歸模型預測排名與實際排名之差距比較

車站名稱	站距總合	人口總合	預測數值	預測排名	實際排名	預估差距
中正紀念堂	446,502	33,560	1.4617	3	1	-2
古亭	486,112	42,073	2.2326	2	2	0
台電大樓	514,272	30,714	2.7513	6	3	-3
公館	555,672	9,418	3.5060	1	4	+3
萬隆	630,552	23,433	4.9599	10	5	-5
景美	684,052	24,815	5.9841	5	6	+1
大坪林	743,852	14,853	7.1094	4	7	+3
七張	789,752	16,749	7.9893	7	8	+1
新店市公所	840,152	17,905	8.9539	8	9	+1
新店	904,822	9,081	10.1742	9	10	+1

資料來源：本研究整理。

捌、綜合討論

一、實證分析綜合討論

對於冪次定律的顯著性衡量來說，可以針對所有母體的資料進行簡單迴歸分析，亦可透過刪除排序較後面的資料點，來提升冪次定律對於整體資料的解釋能

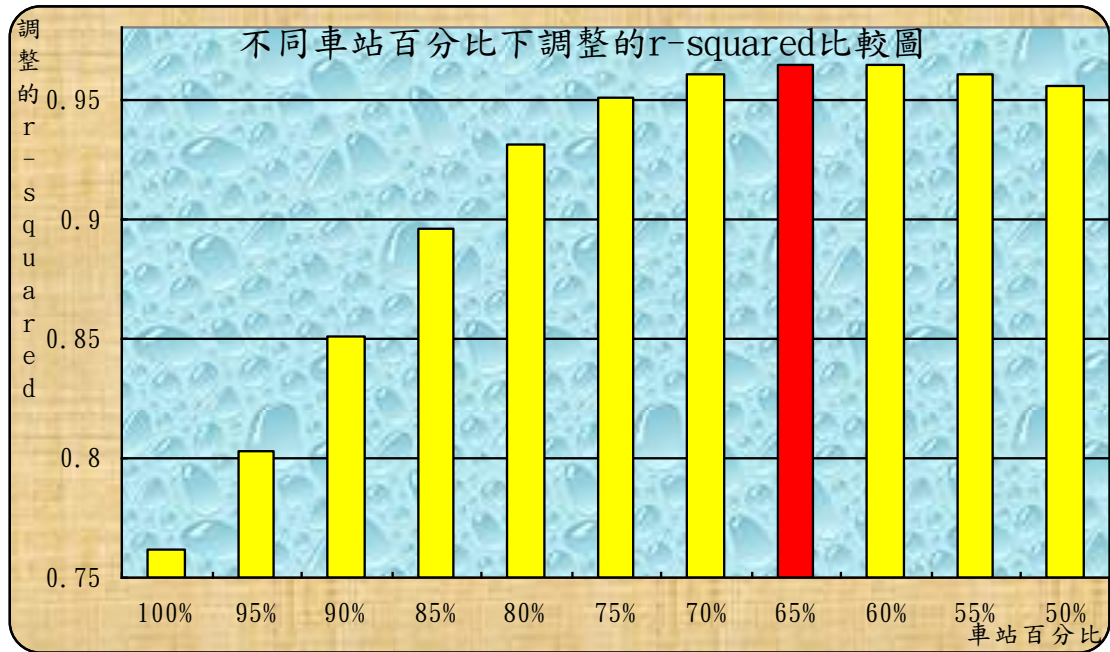
力，因此實證分析之內容主要針對研究時間範疇內的六十座車站加以分析，後續的內容則刪除排序較後面車站的某個百分比，重新進行簡單的直線迴歸，各個迴歸方程式所得出的資料整理成表 11。

為便利於比較不同車站百分比下之調整的 r-squared 高低，因此將表 11 的部分資料轉繪成圖 5，其中以前 65%的車站百分比為最高，並且在所有研究的車站百分比中，以整體車站（100%）為最低，同時有一個極為有趣的現象，當車站的百分比由全部的 100%逐步降至前 65%的每隔五個百分比，其調整的 r-squared 都在逐步增加中，但是到了前 65%的車站之後，又逐步下降，且同樣是每隔五個百分比逐步下降。

表 11 台北捷運系統不同車站百分比下的調整 r-squared 及冪次值和截距

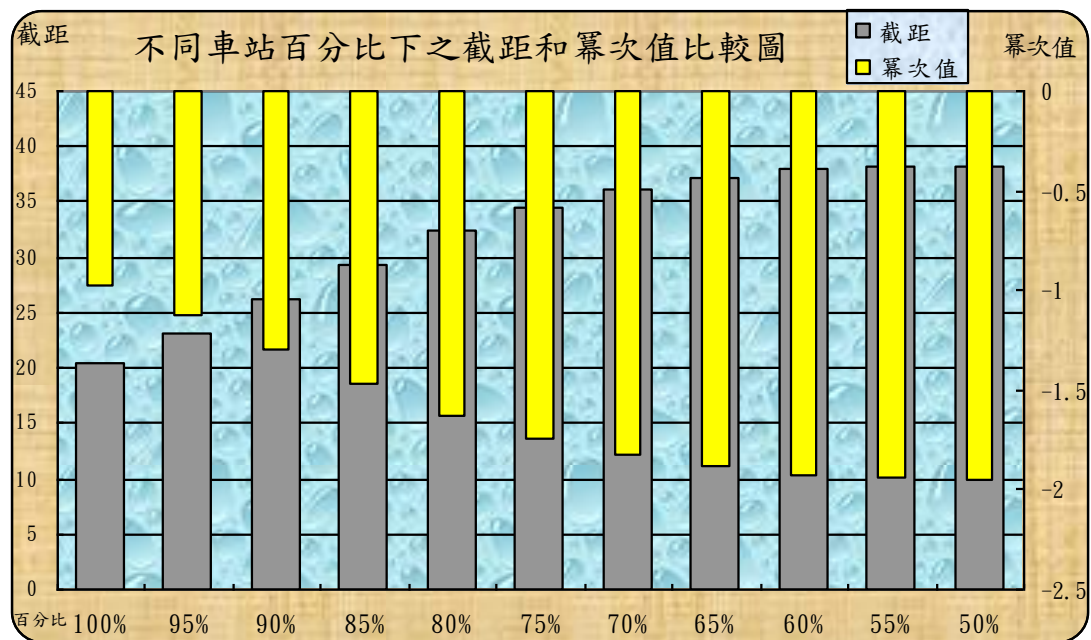
車站數目	所有車站的百分比	調整的 r-squared	冪次值	截距
60	100%	0.761947	-0.97655	20.49409
57	95%	0.802554	-1.12049	23.11239
54	90%	0.850411	-1.29215	26.22684
51	85%	0.895996	-1.46645	29.4077
48	80%	0.931159	-1.6258	32.32774
45	75%	0.950258	-1.73952	34.41975
42	70%	0.960676	-1.82742	36.04287
39	65%	0.964299	-1.88569	37.12252
36	60%	0.964067	-1.92678	37.8866
33	55%	0.960659	-1.94162	38.1634
30	50%	0.955667	-1.94517	38.22979

資料來源：本研究整理。



資料來源：本研究繪製

圖 5 台北捷運系統不同車站百分比下之調整的 r-squared 比較圖



資料來源：本研究繪製。

圖 6 台北捷運系統不同車站百分比下之截距和冪次值比較圖

同樣的將表 11 其中有關冪次值和截距的部分資料轉繪成圖六，首先觀察冪次值的資料，可以發現冪次值隨著車站百分比的下降，亦再逐步下降中，從一開始接近負一的數值，到前 50% 的車站時，冪次值則是接近負 2，冪次值的絕對值

愈大，代表系統內規模散佈的情形愈均衡，因此隨著刪除較後部排名的資料，則系統內的規模散佈愈均衡，則冪次值的絕對值自然也變大。

在截距的部份，則是隨著車站百分比的下降，截距則是遞次增加，從整體車站的截距為 20，每隔五個百分比遞次增加，到前 50% 車站時其截距為 38。倘若同時觀察，隨著不同車站百分比的變化下，其冪次值和截距之關係，可以發現隨著放入資料的前多少個百分比車站的下降，其冪次值也會跟著下降，同時截距則是跟著增加，也就是說截距和冪次值在同一系統內會有反比的關係。

對於同一系統內有關冪次定律的衡量可以發現，在同一系統內，隨著放入模型的前百分之多少車站百分比的下降，由於系統內的規模散佈較均衡，因此冪次值也會下降，同時由於線性迴歸的自變數和應變數的值都設固定的，因此隨著冪次值的下降，自然必須提升迴歸方程式的截距，如此才能使自變數和應變數的數值維持固定，因此對於同一系統內的不同百分比之資料所計算的冪次值和截距存在一個抵換的關係。

二、多元迴歸模型綜合討論

在台北捷運系統中，依據台北市政府捷運工程局對於路線的劃分，西元 2007 年的營運車站中，共劃分為八條營運路線，最大的營運路線為淡水站，計有二十二座的捷運車站，至於最小的營運路線為小南門線，用來連絡捷運西門站及捷運中正紀念堂站，因此僅設有小南門一座營運車站，並且因為該路線僅有一座營運車站，無從按照捷運車站的進出人次規模加以排序，是故小南門線不在迴歸模型的分析範疇內。另外土城線上的四座車站，包括亞東醫院、海山、土城、永寧之完整的年度營運資料，始於西元 2007 年，因此僅有單一年度的資料，亦無法進行迴歸分析。另外必須說明的是，包括板橋線的府中及板橋站，在西元 2007 年始有年度排名資料，以及新店線上的小碧潭站，則在西元 2005 年便有年度統計資料，皆不符合迴歸模型所設定的資料時間，因此特別排除此三座捷運車站，並透過表 12 比較台北捷運系統不同路線迴歸模型摘要與實際排名比較之結果。

在迴歸模型與實際排名比較之結果，其中「最大低估」，代表的意義為迴歸

模型所做出的預測排名結果，與實際排名結果相較之下，迴歸模型對於該捷運車站的實際排名有所低估的情形，在所有排名低估的數值當中絕對值最大的即為名次低估誤差最大的數值，但是考量各路線上營運車站之多寡，會影響名次估計誤差的結果，於是利用最大低估的名次誤差除以該路線的營運車站數目視為該迴歸模型之「最大低估」。

至於「最大高估」數值的產生，概念是相同的，僅是取用的數值為迴歸模型與實際排名產生的高估情形中，亦是取決對值最大的數值，並且除以該路線的營運車站數目視為該迴歸模型之「最大高估」，以客觀顯示各路線在排除車站數目後之結果，該數值最小為零，代表無任何高估之名次，最大的數值並無任何之限制。在台北捷運系統各路線的迴歸模型中，以南港線的迴歸模型產生最大的「最大高估」，其數值為 0.8182，至於在「最大低估」之部分，則以淡水線的數值為 -0.9495，為各路線中表現最差的低估誤差狀況。

表 12 台北捷運系統各路線之迴歸模型摘要與實際排名比較表

路線名稱	調整的 r-squared	車站 數目	最大低估	最大高估	預估差距 絕對值和	估計正確 車站數目
木柵線	0.4664	12	-0.3333	0.2500	2.3333	1
新店線	0.9927	10	-0.5	0.3	2	1
南港線	0.8528	11	-0.9091	0.8182	4.1818	1
淡水線	0.7235	22	-0.9545	0.7727	9.8182	1
中和線	0.6364	4	0	0	0	4
板橋線	0.9774	3	0	0	0	3
整體車站 A	0.1917	60	-0.8833	0.6833	12.8333	2
整體車站 B	0.2682	60	-0.8833	0.6333	12.6667	2

資料來源：本研究整理。

在「預估差距絕對值和」該項，是迴歸模型所算出的預測排名與實際排名之預估差距，取完絕對值後數值加總，同時考量各路線營運車站之數目不同，再除以各路線的營運車站數目，因此若預估差距絕對值和愈大，代表該迴歸模型對於實際排名產生較大的落差結果，亦即該迴歸模型相對其他模式有修正檢討之必要，或是尋求其他方法改善排名預估誤差。相反的，若數值愈小，則該迴歸模型

的解釋能力愈強，如中和線和板橋線皆為零，代表迴歸模型的預測排名完全與實際排名吻合。

在不同路線之調整的 r -squared 數值比較，可以發現以新店線和板橋線的調整的 r -squared 最高，亦即此兩個迴歸方程式，對於該路線的名次變化解釋能力較佳，較低調整的 r -squared 則為總路線的兩種迴歸模式。

另外透過觀察可以發現其中板橋線的調整 r -squared 值很高，在最大高估、最大低估以及預估差距絕對值和三項表現亦是較佳的，彼此的結果相吻合。另外則是總路線的部份，調整 r -squared 值較低之外，另外最大高估及最大低估表現幾乎也是最差的，特別是預估差距絕對值和為所有路線中最差的，其兩者的結果亦是相符合的。

然而在中和線的部份，其在所有的子路線中，其調整 r -squared 值僅略高於木柵線，然而其在最大高估、最大低估以及預估差距絕對值和表現是絕對完美的，數值皆為零，因此透過迴歸模型，對於車站的名次變化之部分，如果營運車站數目愈少，將能使名次預測結果愈精確，

但是當營運路線上的車站數目較多時，、如本研究中的總路線迴歸模型，各種資料皆顯示其預測的能力較弱，可以透過增加自變數的方式，來改善名次的預測準確度，如設施可及性，調查捷運車站一定範圍內的重要設施，且服務對象並非侷限於當地居民的設施，由於該種設施所提供的服務對象較為廣泛，因此對於居住較遠的服務對象來說，必須使用交通工具才能前往，所以捷運的進出人次極易受此種設施之影響。另外車站周圍經濟活動的情形，也會影響車站的進出人次規模，比方說透過工商普查的數據，如果當地的經濟規模愈大，則就業人口或是業務往來的人數都會增加，亦是影響捷運車站進出人次規模的重要自變數之一。

玖、結論

一、台北捷運系統車站進出人次規模與排序呈現冪次定律的法則關係

本研究透過台北市主計處所發佈有關捷運車站的進出人次規模，透過累加西

元 2002 年至西元 2007 年各車站的進出人次規模，同時將進出人次規模與排序皆取對數，輔以線性迴歸的方式，以檢證台北捷運系統進出人次規模與排序是否符合冪次定律，其結果摘要成表 13。

台北捷運系統在西元 2002 年至西元 2007 年捷運車站的進出人次規模與排序，以整體車站來說，其冪次值非常接近世界等即大小法則所說的負 1，至於調整的 r-squared 則以取前 65% 的捷運車站為分析資料為最高，其數值高達 0.9643，亦非常接近完美的數字 1。

表 13 實證分析結果摘要表

車站數目	所有車站的百分比	調整的 r-squared	冪次值	截距
60(整體車站)	100%	0.761947	-0.97655	20.49409
39	65%	0.964299	-1.88569	37.12252

資料來源：本研究整理。

二、透過馬可夫鏈模式及多元線性迴歸模式分析排名流動基礎資料

為建構馬可夫鏈模式，先行針對西元 2002 年至西元 2007 年排名流動資料加以分析，涵蓋進出人次規模的成長率與集中率，其中在西元 2002 年至西元 2006 年前五十大車站集中率，皆維持在九成左右。並且透過排名分組為前十大、前二十大直至前五十大，輔以五種排名流動狀況一新進該組、名次上升、名次不變、名次下降及退出該組，做為分析排名的預測機率矩陣，並摘要成表 14。

表 14 西元 2007 年台北捷運車站進出人次排名之預測機率矩陣

年份	西元 2007 年					
	排名	前 10 大	前 20 大	前 30 大	前 40 大	前 50 大
西元 2002 年	前 10 大	0.9	0.1	0	0	0
	前 20 大	0	0.9	0.1	0	0
	前 30 大	0	0.1	0.6	0.3	0
	前 40 大	0	0	0.1	0.5	0.4
	前 50 大	0	0	0	0.1	0.4

資料來源：本研究整理。

在多元線性的迴歸模式中，利用各站的運輸站距總合及捷運車站方圓兩百公尺的人口總合，做為自變項，並以按路線各車站的進出人次規模排序作為應變項，對於台北捷運系統的六條子路線及整體車站進行迴歸分析，結果如表 15。

表 15 台北捷運系統各路線之迴歸模型摘要與實際排名比較表

路線名稱	調整的 r-squared	車站 數目	最大低估	最大高估	預估差距 絕對值和	估計正確 車站數目
木柵線	0.4664	12	-0.3333	0.2500	2.3333	1
新店線	0.9927	10	-0.5	0.3	2	1
南港線	0.8528	11	-0.9091	0.8182	4.1818	1
淡水線	0.7235	22	-0.9545	0.7727	9.8182	1
中和線	0.6364	4	0	0	0	4
板橋線	0.9774	3	0	0	0	3
整體車站 A	0.1917	60	-0.8833	0.6833	12.8333	2
整體車站 B	0.2682	60	-0.8833	0.6333	12.6667	2

資料來源：本研究整理。

三、符合冪次定律法則下的排名流動狀況

透過本實證研究可以發現，台北捷運系統車站進出人次規模與排序，在研究的時間範疇內，確實具有冪次定律的此一法則之關係，雖然進出人次規模和排序具有穩定的線性關係，但是藉由排名的流動分析，亦可以發現進出人次規模與排序中的個體車站排名仍然會持續的變動，但這些個體間的排名互動作用，完全不影響整體所形成的秩序，因此也就是說進出人次規模與排序確實具有冪次定律的法則，但個體車站之間的排名仍會流動且並不影響冪次定律法則的形成。

參考文獻

- 王昱智、呂正中、賴世剛，2008，〈冪次定律普遍性與恆常性－以台灣之天然災害規模為例〉，2008 年全國災害危機處理研討會，長榮大學，台南。
- 辛晚教，1982，《都市及區域計畫》，臺北：中國地政研究所
- 薛明生，2001，《冪次定律恆常性與普遍性之研究-台灣本島人口時空分布之檢證》，國立台北大學公共行政暨政策學系碩士論文
- Bak, P., C. Tang & K. Weisenfeld. 1987. Self-organized criticality: an explanation of $1/f$ noise, *Physical Review Letters*, 59:381-384.
- Bak, P. 1996. *How Nature Works: the Science of self-organized Criticality*. Oxford:

Oxford University Press.

Krugman, Paul. 1996. *The self-organizing Economy*. Cambridge, MA: Blackwell

Publishers Inc

Zipf, George K. 1949. *Human Behavior and the Principle of Least Effort: An*

Introduction to Human Ecology. New York: Addison-Wesley Press.

Power Law and Micro-dynamics: A Case of Taipei Transit System

Shih-Kung Lai, Ming-Sheng Lin, Po-Chen Ko, Chung-Ya Ou

Abstract

The metropolis is regarded as organized complexity, and has the phenomenon of self-organization, such as the power law distribution of populations. This study is to explore the power law phenomenon through the numbers of passengers of the Taipei Metro Rapid Transit System by stations.

The phenomenon of power law is a stable pattern derived from “self-organization” of the complex system characterized by unrepeatability and uncertainty. The power law phenomenon is described as a linear relation between the scales and the frequencies in which the objects under consideration appear. Since this law was discovered by linguist George Zipf, the law has been discussed extensively. The phenomenon of power law is also discovered in both natural and social sciences, including scales of earthquakes and fluctuations of stock market prices. Many theories are being developed to explain the cause of it, but at present no satisfactory explanation exists.

In this research, the significance of the power law is examined through linear regression. The data include the numbers of passengers of the TMRTS by stations from 2002 to 2007, and the resulting regression model is $y = 20.49409 - 0.97665x$, where the slope of the function is -0.97665 and the adjusted r-squared is 0.7619. If the data include only the numbers of passengers of the TMRTS of the top 65% stations, the adjusted r-squared becomes 0.9643.

As for the ranking dynamics, the research analyzes the growth and concentration ratios of the numbers of passengers of the TMRTS by stations from 2002 to 2007. The

numbers of passengers of TMRTS by stations is classified into top10, 20, 30, 40, and 50 groups, and sorted in terms of five forms of dynamics to analyze the probability of ranking fluctuations. With Markov chain analysis and multiple linear regressions, the research forecasts the rankings of the numbers of passengers of the TMRTS by stations.

Keywords: power law, self-organization, ranking dynamics, Taipei Metro Rapid Transit System

*Shih-Kung Lai: Professor, School of Public Administration, Nanfang College · Guangzhou

**Ming-Sheng Lin: Master, Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University

***Po-Chen Ko: Master, Graduate Institute of Urban Planning, National Taipei University and
Department of Urban Development, Taipei City Government

****Chung-Ya Ou (Corresponding Author): Associate Professor, School of Public Administration,
Nanfang College · Guangzhou

Received: January 10, 2022.

Accepted: January 12, 2022.