

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

應用手機信令資料分析都會旅次鏈型態
Using Cellular Data to Analyze Urban Trip Chain
Patterns

研究生：陳詩儒

指導教授：邱裕鈞 教授

中華民國 107 年 7 月

應用手機信令資料分析都會旅次鏈型態

Using Cellular Data to Analyze Urban Trip Chain
Patterns

研 究 生：陳詩儒

Student：Shih-Ju Chen

指導教授：邱裕鈞 教授

Advisor：Dr. Yu-Chiun Chiou

國 立 交 通 大 學
運輸與物流管理學系
碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

July 2018

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國 107 年 7 月

應用手機信令資料分析都會旅次鏈型態

研究生：陳詩儒

指導教授：邱裕鈞 教授

國立交通大學 運輸與物流管理學系 碩士班

摘要

旅次鏈行為是運輸需求及規劃的核心，但旅次鏈行為是我們知道存在但很少進行研究調查的現象，可能是因為旅次鏈難以定義、難以分析所有可能的旅次鏈型態並定義他們的共變量等原因。家戶調查是收集和分析個人和家庭旅運模式最傳統且最廣泛使用的方法。但受限於抽樣預算和時間，家戶調查通常調查範圍小且更新頻率低。隨著科技的快速發展，許多新技術應運而生，例如全球定位系統(Global Positioning System, GPS)和手機信令定位系統(Cellular Positioning System, CPS)。

因此，本研究採用GPS及CPS資料用以定義旅次鏈型態並確認其影響因素，包括旅次特性、社會經濟變數和土地使用變數。首先利用基於GPS和CPS資料推估旅次及旅次鏈型態。接著，根據旅次鏈中的旅次數將旅次鏈型態區分為各種類型。在兩種層級(總體和個體)和兩種類型的資料(CPS和GPS)共四個模式進行估計和比較。總體旅次鏈型態分析模式是利用多元迴歸模式分析區域中各種類型的旅次鏈型態的旅次鏈數量，透過多元迴歸模式找出影響區域旅次鏈型態數量差異的影響因素，而個體旅次鏈型態分析模式採用多項羅吉特模式找出影響不同旅次鏈型態差異的潛在影響因素。

本研究以臺北都會區為例進行研究，一共分析四種旅次鏈型態模式。研究結果顯示，基於CPS或是GPS資料的總體旅次鏈型態分析模式在相同的變數上結果一致。然而基於GPS的總體旅次鏈型態分析模式的解釋力低於基於CPS的模式結果，這可能是因為CPS樣本數相較於GPS的數量多。在個體旅次鏈型態分析模式的結果顯示，居住於大眾運輸使用率較高的地區、前往工業或是商業區面積較高的區域和平均旅次距離較短的旅運者，他們的旅次鏈通常會產生較多的旅次。此外，巢式羅吉特模式的結果包容值並不顯著，代表不同旅次鏈型態間的相似性不顯著。

關鍵字：手機信令定位系統、全球定位系統、旅次鏈、多項羅吉特模式

Using Cellular Data to Analyze Urban Trip Chain Patterns

Student : Shih-Ju Chen

Advisor : Dr. Yu-Chiun Chiou

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

Abstract

Trip chaining behaviors are at the heart of the transportation demand and planning, which is a phenomenon that we know exists but rarely investigate. This could be attributed to either the difficulty in defining trip chains, the difficulty in analyzing all the possible trip chain types, the difficulty in identifying their covariates, or all of the above. Household travel diary surveys are the most traditional and widely adopted approach to collect and analyze travel patterns of individuals and households. However, due to the limitation of sampling budget and time, household surveys are usually of low coverage and low updating frequency. With the rapid advance in technology, new technologies have emerged, such as Global Positioning System (GPS) and Cellular Positioning System (CPS).

Thus, this study attempts to adopt GPS and CPS data to define trip chain patterns and identify their contributing factors, including trip characteristics, socio-economic attributes, and built environmental variables. Firstly, trip and trip chain based on GPS and CPS data are defined. Trip chaining behaviors are then classified into various types according to the number of trips in a trip chain. A total of four models at two levels of details (collective and individual) and on two types of data (CPS and GPS) are estimated and compared. The collective models simultaneously regress the numbers of various types of trip chains in a district on potential contributing factors by using multivariate regression models while the individual models regress the type of trip chain of a sampled user on potential contributing factors by using multinomial logit models.

A case study on Taipei Metropolitan is conducted. A total of four types of trip chains are classified. The estimation results show that the estimated models reveal similar effects of selected contributing factors either based on CPS or GPS data. However, the explanatory power of GPS-based collective models is lower than that of CPS-based models, which may be due to the limited number of GPS samples in comparing to CPS samples. According to the estimated individual models, travelers with shorter average trip distance, in the higher public transportation usage area,

originating from residential area, and heading to industrial or commercial areas tend to have more trips in their trip chain. Additionally, the estimated nested logit model shows the inclusive value fails to be significantly tested, implying that the correlation among trip chain types is not significant.

Keywords: Cellular Positioning System, Global Positioning System, Trip Chain, Multinomial Logit Model.

誌謝

進入研究所兩年來，受到了許多人的幫助，最後才得以完成論文，在此要感謝的人很多，謹以此篇誌謝表達對大家的感謝之意。

首先最要感謝的人是我的指導教授 邱裕鈞教授，感謝老師就算再忙也會撥冗不厭其煩的給予我論文寶貴的意見，在我遇到瓶頸時非常有耐心的提供我明確的方向，並不斷給予鼓勵讓我順利完成論文。同時感謝口試委員 藍武王教授和 胡守任教授，在百忙之中審閱論文並提供寶貴的意見，讓我的論文更加完善；感謝所上 陳穆臻老師、鍾易詩老師、盧宗成老師於專題討論時給予寶貴的意見和指正。謝謝志偉學長於計畫案的包容和指導，提供我寶貴的意見和幫忙。

謝謝邱家的每一位夥伴，一起討論論文進度，謝謝筠涵在我遇到問題時提供意見，謝謝以萱一起討論論文進度和計畫案，謝謝登鍵和俊甫一起互相加油討論進度。謝謝所辦親切的何姊和柳姊提供許多的幫助。謝謝班上每一位同學一起討論課業及論文問題，讓我研究所生活更多采多姿。謝謝竹涵在一起做計畫案時的幫助與體諒。謝謝妙甄、儀軒、思懿、銘軒、子超在我遇到瓶頸時陪我聊天，為我加油打氣。感謝出現在我生命之中的每一個人，讓我的生活更加精彩。

最後要感謝家人們的照顧與關懷，給予我支持，謝謝我的爸爸媽媽辛苦工作，讓我無憂無慮的讀完研究所。謹以此論文獻給所有幫助過我的人。

陳詩儒 謹誌於

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

中華民國一零七年七月

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
誌謝.....	IV
目錄.....	V
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究範圍.....	1
1.4 研究流程及內容.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 手機信令資料應用研究.....	5
2.2 GPS 資料應用研究.....	9
2.3 旅次鏈型態研究.....	9
2.4 文獻回顧小結.....	10
第三章 旅次及旅次鏈型態判斷邏輯.....	11
3.1 手機信令資料旅次判斷邏輯.....	11
3.2 行動裝置旅次資料旅次判斷邏輯.....	13
3.3 旅次鏈型態定義.....	13
3.4 樣本選擇與遺漏值差補方式.....	14
第四章 旅次鏈型態分析模式.....	15
4.1 總體旅次鏈型態分析模式.....	15
4.2 個體旅次鏈型態分析模式.....	15
4.2.1 多項羅吉特模式.....	15
4.2.2 巢式羅吉特模式.....	16
第五章 實例應用.....	17
5.1 資料蒐集.....	17
5.1.1 社經背景及政策變數資料.....	17
5.1.2 手機信令資料.....	17
5.1.3 行動裝置旅次資料.....	19
5.2 結果分析.....	21
5.2.1 手機信令資料分析結果.....	21
5.2.2 行動裝置旅次資料分析結果.....	25
5.3 結果與討論.....	29
5.3.1 結果.....	29

5.3.2 管理意義與政策意涵.....	30
第六章 結論與建議.....	31
6.1 結論.....	31
6.2 建議.....	32
參考文獻.....	33

表目錄

表 2-1 手機信令資料應用研究整理	8
表 2-2 旅次鏈影響因素整理	10
表 3-1 不同階層距離的旅次產生數結果	11
表 3-2 旅次鏈型態及對應的旅次產生數	13
表 5-1 手機信令資料各區旅次鏈型態數量	18
表 5-2 手機信令資料各行政區旅次鏈型態對應之樣本數量	18
表 5-3 手機信令資料各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計表	19
表 5-4 手機信令資料旅次目的地組成	19
表 5-5 行動裝置旅次資料各區旅次鏈型態數量	20
表 5-6 行動裝置旅次資料各旅次鏈型態對應之樣本數量	20
表 5-7 行動裝置旅次資料各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計表	21
表 5-8 行動裝置旅次資料旅次目的地組成	21
表 5-9 MANOVA 分析結果	22
表 5-10 手機信令資料 wilks lambda test 結果	22
表 5-11 手機信令資料-多項羅吉特模式	24
表 5-12 手機信令資料-巢式結構(2)模式結果	25
表 5-13 行動裝置旅次資料 wilks lambda test 結果	26
表 5-14 行動裝置旅次資料-多項羅吉特模式	27
表 5-15 行動裝置旅次資料-巢式結構(1)模式結果	28
表 5-16 兩種資料多項羅吉特模式分析結果表	29
表 5-17 兩種資料源優缺點比較	30

圖目錄

圖 1- 1 研究流程圖	3
圖 3- 1 原始信令資料移動停留情況	12
圖 3- 2 旅次判斷後結果示意圖	12
圖 4- 1 巢式結構(1)及巢式結構(2).....	16

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

了解人們日常移動模式對於都市規劃和改善交通等問題是很重要的，傳統調查人們旅運行為的方法是透過小規模且昂貴的家戶調查訪問，而家戶調查的頻率很低(例如十年內可能只有進行一到兩次的調查)，需花費大量時間蒐集資料，且調查範圍有限，因此無法做即時性的資料調查。

因應傳統家戶調查所面臨到的限制，許多電子技術資源蒐集方法應運而生，例如，電子票證(Smartcard)、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)及手機信令定位系統(Cellular Positioning System, CPS)等都是可以運用的電子技術資料。隨著資通時代的來臨，手機使用率越來越高，大量產生的被動手機使用紀錄像是網路使用紀錄、通話資料等被電信業者保留做為收費依據，而這些紀錄都是都市日常活動模式的潛在資料來源，透過這些資料的傳遞時間及位置可以了解個體使用者的時空位置。利用手機使用紀錄作為判斷個體使用者之旅運行為的資料來源，最主要的問題是利用手機使用紀錄推估使用者所在位置的準確度並不高，且這些手機使用紀錄並不是無時無刻都會回傳資料，因此會導致手機使用紀錄的記錄時間分布不均。

因此本研究希望透過分析手機信令定位系統(CPS)及全球定位系統(GPS)這類被動收集的資訊，建立數據處理流程，進行資料篩選判斷出旅次，最後串連成旅次鏈。最後透過旅次鏈型態分析模式找出總體及個體旅次鏈型態的影響因素，進而了解都市土地使用類型和旅次鏈之間的關聯性，供之後相關運輸規劃使用。

1.2 研究目的

根據研究背景探討結果，使本研究有了相對應的研究動機及想法。經過想法進一步整合結果本研究之研究目的分為下列幾項部分：

1. 利用手機信令資料及 GPS 旅次資料推估旅次及旅次鏈。
2. 建立總體旅次鏈型態分析模式找出影響不同區域之旅次鏈型態數量的因素有哪些。
3. 建立個體旅次鏈型態分析模式找出影響個體旅次鏈型態不同之因素，並探討不同旅次鏈型態間是否具有相似性。

1.3 研究範圍

本研究之研究範圍為臺北都會區，包含臺北市的 12 個行政區及新北市的 29 個行政區。研究資料分別為電信公司為期一天的手機信令資料及交通部運輸研究所 2016 年「行動裝置旅次特性調查小型實證測試」旅次資料(以下簡稱行動

裝置旅次資料)中居住在大臺北地區的受訪者資料進行研究與分析。在本研究中受限於資料取得及相關限制，因此不考慮商務及觀光旅次的行為。

1.4 研究流程及內容

本研究之研究流程圖如圖 1-1 所示。本研究將按照圖 1-1 的流程進行研究，分別為：研究背景與動機、研究目的、研究範圍、文獻回顧、旅次及旅次鏈型態判斷邏輯、旅次鏈型態分析模式、實例應用及結果與討論幾個部分。以下就針對上述幾個部分進行簡略介紹。

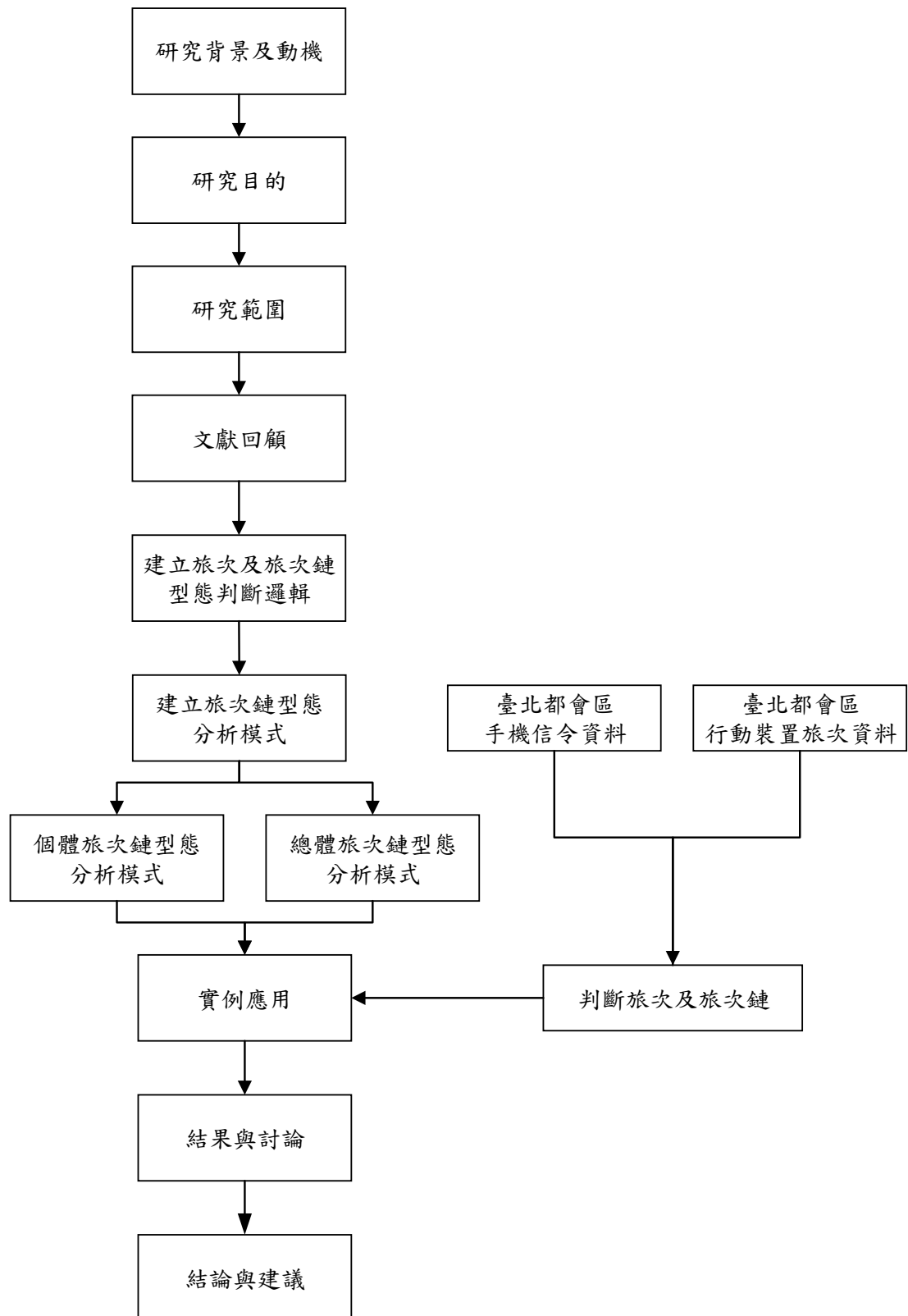


圖 1- 1 研究流程圖

1. 文獻回顧

文獻回顧中分為三個部分，第一部分和第二部分主要為回顧相關手機信令資料及 GPS 資料在交通領域上的應用，了解手機信令資料及 GPS 資料優缺點、使用限制及實際應用於判斷旅次鏈及旅次目的的演算法。

第三部分為回顧相關旅次鏈型態研究，找出旅次鏈的型態會受到哪些因素影響。在多方了解手機信令資料的應用及影響旅次鏈型態的因素後，使本研究在定義及研究方法上有更明確的認知。

2. 旅次及旅次鏈型態判斷邏輯

在進行分析之前須先將電信公司提供之手機信令資料及行動裝置旅次資料做資料的前處理。因此在這部分會先建立判斷旅次及旅次鏈型態的判斷邏輯，並呈現其結果，最後針對無法判斷旅次之手機信令資料及行動裝置旅次資料重建旅次的程序。

3. 旅次鏈型態分析模式

旅次鏈型態分析模式主要分為兩部分，第一部分為總體旅次鏈型態分析模式，總體旅次鏈型態分析模式主要是將相同地區的個體旅次鏈型態合計成地區的旅次鏈型態，利用多變量迴歸分析的方式了解不同旅次鏈型態是受到哪些地區特性因素的影響。第二部分為個體旅次鏈型態分析模式，在此部分中首先使用多項羅吉特模式找出影響不同旅次鏈型態之因素。接著利用巢式羅吉特模式檢驗不同旅次鏈型態間是否存在相似性。

4. 實例應用

實例應用的部分，本研究將以電信公司所提供之台北都會區的手機信令資料及交通部運研所提供之行動裝置旅次特性調查小型實證測試資料應用至前項所列之分析模式中，以找出影響總體旅次鏈型態數量及個體旅次鏈型態之因素。

5. 結果與討論

綜整實例應用的分析結果，比較手機信令資料及行動裝置旅次資料兩者間的差異及優缺點，並針對分析結果探討相關政策意涵及管理意義。

第二章 文獻回顧

本研究主要的目的是利用手機信令資料及行動裝置旅次資料判斷出旅次及旅次鏈，並針對總體和個體的旅次鏈型態進行分析。因此，在本章節中首先著重探討手機信令資料的應用處理，接著探討 GPS 資料的相關研究，最後回顧影響旅次鏈形成因素有哪些。

2.1 手機信令資料應用研究

Jiang et al. (2013) 利用將手機信號轉換為以小型網格表示目的地的方法，提出一個連接三角測量手機數據資料及先前更準確的數據中獲得的結果的框架，而這種方法可將日常移動網路和從旅運行為調查中得到的旅次鏈連結起來，同時可以利用三角測量出的電話數據資料的高空間分辨率，透過篩選個人移動網路中目的地周邊的土地使用類型來推斷旅行目的。本篇研究的數據資料為 2010 年波士頓都會區 100 萬用戶為期兩個月的 834,690,725 筆匿名手機記錄，每筆記錄包括匿名用戶 ID、經緯度和時間。記錄中的座標是透過三角測量估算的，準確度介於兩百到三百米間。數據處理的第一步是從每個用戶的軌跡中找出停留和移動中的記錄，在本篇研究中「停留」被定義為持續停留在三百米內的範圍內超過 10 分鐘。

Jiang et al. (2016) 提出一個 TimeGeo 的模式架構，可有效地產生都市移動模式並利用資料中的時空資訊判斷家和工作場所位置。時間維度是透過每週家旅次數、停留率(dwell rate, β_1)及突發率(burst rate, β_2)對每個個體產生活動停留時間、每日去的地點數及每日移動網路，比對個體和大眾差異產生廣泛被驗證的觀測移動行為，個體區分成兩類通勤者和非通勤者，通勤者的行為又可以分成在固定的工作期間內有休息和沒有休息的兩類。非通勤者在家和其他地點的轉移機率可以用馬可夫鏈表示。地點的空間選擇模式是利用一個以排序為基礎的調查表現回饋機制(r-ERP)。最後利用多階層傳遞方式找出土地使用和旅次產生間的交互影響。

Jiang et al. (2017) 有別於以往以旅次為基礎的手機撥號紀錄(Call Detail Records, CDR)處理方式，利用一個以活動為基礎的綜合方法將大量被動收集的 CDR 資料解析、過濾並擴展用來量化城市內數百萬不同地區的匿名居民的旅遊模式的空間分布，將其轉換為交通規劃中可使用的資訊，重點關注人們日常移動網路中的旅遊模式和旅次鏈行為。

Chen et al. (2014)提出一個建立模擬手機數據集的過程。模擬數據集是由家戶調查結果及真實手機數據資料建構而成，此模擬數據集能反映實際手機數據集中觀察到的時空移動模式，並獲得手機使用者實際拜訪位置。由於手機移動軌跡是基於設備或是基地台為主，並不是實際的位置，因此首先要透過基於模型的聚

類方法將多個蹤跡聚集到一個可能位置的群集中，生成模擬數據集，但並非所有可能位置的群集都代表著活動地點，因此要用邏輯斯迴歸判斷此群集是否代表個體在那邊活動或是旅行的位置，最後利用基於行為的演算法判別出活動類型是否為家、工作場所，確認出家和工作的地點，研究發現模擬數據集中辨識出的活動位置分布接近實際情況，對於家的位置結果來說，70%被判別出來的家庭位置距離真實家庭位置差距不到一百公尺，且有 90%被判別出來的家庭位置距離真實家庭位置差距不到一公里。對於工作地點的結果來說，65%被判別出來的工作地點距離真實工作地點差距不到一百公尺，且有 86%被判別出來的工作地點距離真實工作地點位置差距不到一公里。大部分的家庭及工作地點被正確的辨識出來，因此這些被動生成的手機數據集可以補充或是取代未來的家戶旅運行為調查。

Widhalm et al. (2015)提出一種透過分析活動時間、持續時間和土地使用從手機數據中產生活動模式的方法，並針對活動類型、旅行時間安排和土地使用類型之間的依賴關係建立關聯馬可夫網路(Relational Markov Network)。將此方法應用至奧地利維也納的移動管理訊號和美國波士頓的手機通話紀錄(Call Detail Records, CDR)兩大都會區之不同類型的手機數據集當中。研究結果顯示從兩個數據集得到的旅次序列模式和活動排序與各自都市調查情況吻合，說明利用手機數據可以作為旅運行為研究的新數據來源。

Ratti et al. (2006) 首先針對基於位置的服務(Location based service, LBS)領域進行了文獻回顧，其次應用彙整的手機行為時空資料研究都市空間結構的時間變化規律，避免與其與單個樣本真實活動的關聯。本研究利用義大利米蘭的資料，找出城市活動強度及分析出米蘭住商分離的現象。

Gonzalez et al. (2008) 發現不同個體的運動軌跡具有高度的時空規則性，並透過對研究數據進行校正並將個體差異考慮進去，最後發現人類的移動軌跡會被呈現出一個簡單而可以預測的模式。

Jiang et al. (2012) 利用主成分分析及 k-means 的聚類方法找出大都會地區個人日常活動結構及其時空變化，並對個體行為作聚類分析找出他們相關的社會人口資訊。分析不同族群的人類的在平日和周末活動模式的差異，找出人類日常活動的規律。

Järv et al. (2014) 提到人類活動型為模式是一項非常複雜的模式。在本篇研究中試圖分析個人每個月空間旅行的行為，從匿名手機用戶獲得的 CDR 數據，連續十二個月分析他們的活動位置和活動空間。研究發現活動地點數量的每月變化不大，而個別活動空間大小則有很大的差異。作者的結論提到，使用手機通話紀錄在研究人類空間行為時，必須要考慮到個人電話使用的特徵(例如電話使用

頻率)，未來在進行此類研究時可以使用具有個人屬性的 CDR 數據並結合問卷調查的數據，使模型可以更良好地解釋人類空間行為的變異性。

Alexander et al. (2015) 利用三角定位出的匿名 CDR 數據依照目的及時間產生 OD 旅次的數據，由於這些數據是基於電話使用的情況所產生的，而不是用戶的真實到達時間和持續時間，因此同時使用美國主要城市的旅行調查數據來推測出發時間，然後在一天內為每個用戶建構出兩次連續觀察之間的旅次。這些旅次乘以利用家庭普查出的人口擴展因子除以觀察用戶的天數，得到平均每日旅次。本篇研究最後強調手機通話紀錄數據預先處理移除雜訊的重要性，並需要找出具有代表研究區域的旅行模式樣本。雖然這些處理會減少手機通話記錄數據的強度，但還是可以獲得比家戶旅行調查更大的樣本。除此之外，對一個個體持續追蹤多天，可以找出家戶旅行調查中調查不出的包括周末的日常行為變化。

Dong et al. (2015) 本文提出了使用交通語意概念從手機 CDR 數據中找出通勤者的 OD 資訊，利用 k-means 的聚類演算法，基於四個流量語意屬性(即時流量、流入、流出和增量流)對基地台覆蓋的區域進行劃分交通分區。本文同時提出一個交通分區屬性指標來衡量交通分區的居住或是工作趨勢。北京案例的研究結果發現，我們可以透過手機(可移動感應器)和基地台(固定感應器)獲得有用的交通數據，可以將這些數據用於分析旅運需求及規劃交通。

Phithakkitnukoon et al. (2015) 開發了基於興趣點 (Points of Interest, POI) 的活動感知地圖，提供和地圖中特定區域相關的最可能活動地點。透過活動感知地圖和 CDR 數據的分析，可以建構出個體日常活動模式，分析不同人的工作領域的相關性。研究發現，根據波士頓地區約一百萬用戶的 CDR 數據集的分析結果顯示，在相同工作領域的人們，他們的日常活動模式之間存在著很強的關聯性。但本研究受限於 POI 是從 Yahoo 搜尋引擎上獲得的，因此 POI 的資料可能並不完整，且 CDR 數據在紀錄軌跡上的連續性受限於用戶是否頻繁利用手機撥號、發送訊息，因此僅能分析一小部分的用戶，家和工作的地點是透過推算出來的，並非真實位置，因此可能有些許誤差。

錯誤！找不到參照來源。為相關手機信令資料應用研究整理，研究發現應用手機信令資料進行分析時資料時長都至少有一個月以上，且都會建置相關資料處理程序，辨別相關使用者的家庭位置，並可利用目的地周邊土地使用類型找出旅次目的及土地使用類型與旅次產生間的交互影響關係。

表 2-1 手機信令資料應用研究整理

作者(年份)	研究目的	研究方法	研究發現
Jiang et al. (2013)	利用個人移動網路中目的地的周邊土地使用類型推斷旅次目的。	三角測量定位、軌跡分析	將日常移動網路和從旅運行為調查中得到的旅次鏈連結起來，透過篩選個人移動網路中目的地周邊的土地使用類型來推斷旅行目的。
Jiang et al. (2016)	提出一個 TimeGeo 的模式架構，可有效地產生都市移動模式並利用資料中的時空資訊判斷家和工作場所位置。	利用多階層傳遞方式找出土地使用和旅次產生間的交互影響關係。	利用多階層傳遞方式找出土地使用和旅次產生間的交互影響
Chen et al. (2014)	利用模擬數據集反映真實手機數據集中觀察到的時空移動模式，得到手機使用者實際造訪地點。	羅吉斯迴歸、聚類分析	模擬數據集中辨識出的活動位置分布接近實際情況。大部分的家庭及工作地點被正確的辨識出來
Widhalm et al. (2015)	利用手機數據資料分析活動時間、持續時間和土地使用，並針對活動類型、旅行時間安排和土地使用類型之間的依賴關係。	關聯馬可夫網路 (Relational Markov Network)	從兩個數據集得到的旅次序列模式和活動排序與各自都市調查情況吻合，說明利用手機數據可以作為旅運行為研究的新數據來源。
Dong et al. (2015)	使用交通語意概念從手機 CDR 數據中找出通勤者的 OD 資訊。	k-means	基於四個流量語意屬性(即時流量、流入、流出和增量流)對基地台覆蓋的區域進行劃分交通分區。
Phithakkitnukoon et al. (2015)	透過活動感知地圖和 CDR 數據的分析，可以建構出個體日常活動模式，分析不同人的工作領域的相關性。	基於 POI(Points of Interest)的活動感知地圖。	在相同工作領域的人們，他們的日常活動模式之間存在著很強的關聯性。

2.2 GPS 資料應用研究

Chung and Shalaby (2005)開發了基於 GPS 的個人旅次調查重建軟體，用來自動處理各個調查對象的 GPS 軌跡，並辨識調查對象的運具模式。在多倫多市中心進行評估，結果顯示此軟體可以正確的辨識到 79%的旅次及 92%的旅運模式。

Bohte and Maat (2009) 介紹一種利用 GPS 軌跡、GIS 系統和基於 Web 的交互試驗證方法用來推導及驗證旅次目的和旅運模式。利用 2007 年在荷蘭進行的大規模調查進行驗證，利用 1104 名受訪者為期一周的調查結果進行研究，並與荷蘭旅次調查結果比較。研究顯示旅次目的和旅運模式的調查結果比例和荷蘭旅次調查結果一致，且相較於紙本旅次調查的結果，GPS 調查可以獲得更多的旅次數目。

Vij and Shankari (2015)利用舊金山灣區的個人真實數據進行模擬在不同樣本數下的準確度，研究顯示利用 GPS 收集的調查結果好壞會取決於樣本的大小，在多數情況下樣本數增加可以降低估計結果的誤差，因此推論基於 GPS 的調查結果可能不會完全取代需要受測者主動回答的調查結果。

Bricka et al. (2012)結合問卷調查及 GPS 紀錄作為應變數用於判斷兩種旅次目的(工作及非工作旅次)進行聯合有序模式分析。研究使用 2009 年美國印第安納波利斯地區家戶旅運調查結果及受測者同一天的 GPS 紀錄進行分析，研究結果顯示同時使用家戶調查及 GPS 紀錄可得到最佳的旅次調查結果且 GPS 紀錄更適合記錄旅次數較高者的旅次鏈結情況。

2.3 旅次鏈型態研究

Kitamura(1984)提到旅運者在決策過程中，會因為時間、預算...等限制，在追求效用最大化的選擇下，選擇在旅途中一次或是多次暫時的停留，傾向以鏈結活動之方式，以減少返家後再出門之重複途程，因而將不同活動旅次與工作旅次鏈結，形成「旅次鏈」。

Kitamura et al. (1981) 研究指出年輕、高所得者傾向於形成複雜的旅次鏈，在旅次鏈中停留點的停留時間越長會減少旅次鏈中的停留點數量，而停留時間和同行者數量間呈現負相關。

Vagane(2012) 提到旅次鏈的複雜程度會受到家庭型態的影響，研究結果顯示單親家庭的父母旅次鏈最複雜，其次為有孩子的已婚女性、有孩子的已婚男性、單身女子最後為單身男性。

Golob(1986) 以多變量分析探討旅次鏈和個人特性間的關係，結果顯示小汽車持有數較高及所得高的旅運者旅次鏈發生頻率越高。

Primerano et al. (2008) 發現，一些活動比其他活動更有可能被包括在旅行鏈中。例如，在澳洲 Adelaide 的數據中，他們發現 75%的主管工作業務活動

是在旅行鏈中被執行的。一半以上的個人商務旅次和服務乘客的人也被鏈結在一起。另一方面，只有 6% 的涉及教育活動的旅次被鏈結到其他目的。70% 的工作旅次和 60% 的醫療保健旅次沒有涉及任何額外的停留。研究顯示，大多數停留多次的旅次鏈發生在平日而不是周末。

Lee et al. (2007) 對家庭型態與結構、時間使用模式和旅行鏈行為的關係進行了更為深入的分析。發現，家戶人數和工作狀況是旅行鏈行為和活動時間分配的主要決定因素。例如，有孩子的家庭往往花更多的時間在鏈結的活動中，而夫妻雙人家家庭更有可能在旅行鏈上花費更多的時間在維持家計，而非自由活動

表 2-2 為影響旅次鏈形成之影響因素整理，文獻回顧發現個人社經背景及工作型態會影響旅次鏈的形成。

表 2-2 旅次鏈影響因素整理

作者(年份)	旅次鏈影響因素
Kitamura et al.,(1981)	年紀、所得
Vagane(2012)	家庭組成
Golob(1986)	個人特性(小汽車持有、所得)
Lee et al.,(2007)	家庭型態與結構關係、工作狀況

2.4 文獻回顧小結

基於上述文獻回顧得知手機信令資料及 GPS 資料分析旅運行為之應用，文獻中提到旅次產生會受到周邊土地使用類型影響且手機信令資料和 GPS 資料可以相對於家戶調查獲得更精確的結果。旅次鏈的產生會受到個人社經背景的影響，而手機信令資料及 GPS 資料的收集期間及準確度都會影響最後研究的可靠度。因此本研究主要是根據相關文獻的資料處理流程建立旅次及旅次鏈判斷邏輯，並找出影響不同旅次鏈型態的區域特性及旅次特性，試圖探討區域間之差異如何影響旅次鏈型態。

第三章 旅次及旅次鏈型態判斷邏輯

在本章節內會先建立旅次及旅次鏈型態判斷邏輯，並據以產生手機信令資料處理流程及行動裝置旅次資料處理流程，最後針對無法判斷旅次之信令資料進行重建旅次的程序。而在行動裝置旅次資料中並不須要處理雜訊的問題，因此只需判斷停留點之位置，相關樣本選擇方式及遺漏值差補方式與手機信令資料一致。根據 National Household Travel Survey 中一個旅次為在起點及迄點皆停留超過 30 分鐘。因此本研究沿用其概念進行旅次判斷。

3.1 手機信令資料旅次判斷邏輯

將原始手機信令資料依照時空分繪製於地圖上的結果如圖 3-1，圖中的數字標記為當天的第幾分鐘，點位為該時間的停留位置，可以看出這個使用者隨著時間的推移是由南往北移動。因此可以透過以下的旅次判斷處理邏輯重建使用者一天之所有旅次。

Step1：判斷是否移動。

對每一筆手機信令資料計算和前一筆資料的基站距離。受限於手機信令資料的資料準確度僅能辨識該筆信令資料之使用者位於一個 500 平方公尺內的網格之中，因此在此界定「移動」為相鄰資料基站距離大於 500 公尺，該筆資料會被標記為移動，距離小於 500 公尺則視為停留。

Step2：判斷停留點。

由於手機信令資料會產生雜訊導致有「跳站」的情況產生，跳站為極短時間內接收到兩筆資料的基站距離太遠，產生不合理的移動情況，因此必須要將時空相近的信令資料進行合併。故在此步驟中對所有被標記為停留的資料，利用基站座標將停留資料分群，分群方法為階層式分群方法，利用座標間球面距離計算資料間的距離，透過完全連接法連接各個階層，不同階層距離所產生的旅次數結果為表 3-1，結果顯示不同階層距離產生的旅次產生數差異並不大，因此在本研究中階層距離設定為 1000 公尺。

表 3-1 不同階層距離的旅次產生數結果

旅次產生數	階層距離		
	500 公尺	1000 公尺	1500 公尺
0 次	1751	1807	1850
2 次	2346	2328	2338
3 次	780	777	753
4 次	320	323	312
5 次	54	53	51
6 次	16	16	17
總樣本數	5267	5304	5321

Step3：計算旅次長度、移動時間及在各點停留時間，只保留停留超過三十分鐘的停留點。

Step4：利用平日晚間十點到早上八點這段期間內停留最久的地方做為家的位置。

圖 3-2 為經過旅次判斷後的初步處理結果。這個使用者一天的移動停留行為可以被拆成是兩個停留點(家、公司/學校)及兩段移動，且該使用者之旅次鏈型態被定義為第二種(旅次鏈型態 2)。



圖 3-1 原始信令資料移動停留情況

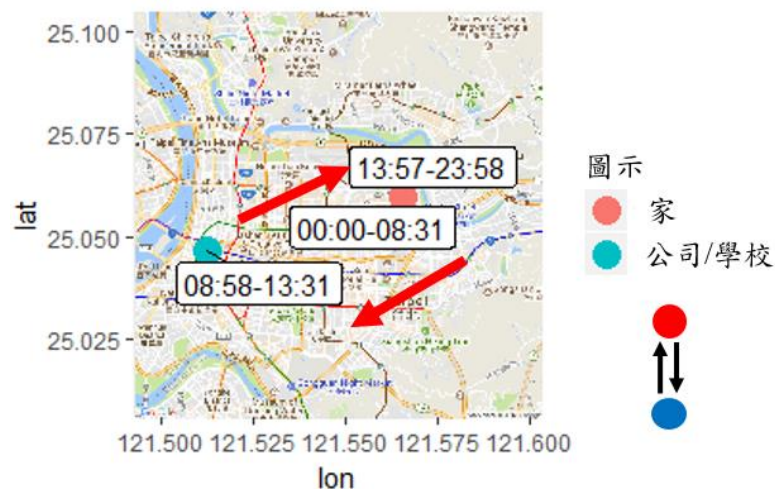


圖 3-2 旅次判斷後結果示意圖

3.2 行動裝置旅次資料旅次判斷邏輯

行動裝置旅次資料旅次判斷邏輯和手機信令資料旅次判斷邏輯雷同，步驟如下：

Step1：判斷是否移動。

對每一筆行動裝置旅次資料計算和前一筆資料的距離。由於利用衛星定位來推測位置，誤差最多 20 公尺。因此在此界定「移動」為相鄰資料距離大於 20 公尺，該筆資料會被標記為移動，距離小於 20 公尺則視為停留。

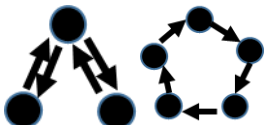
Step2：計算旅次長度、移動時間及在各點停留時間，只保留停留超過三十分鐘的停留點。

Step3：利用平日晚間十點到早上八點這段期間內停留最久的地方做為家的位置。

3.3 旅次鏈型態定義

在本研究中旅次鏈型態為一天產生多少旅次數，根據表 3-1 的結果可以看出旅次產生數大於四次的樣本很少，因此在此將其歸為同一類。旅次鏈型態在本研究中如表 3-2 所示，一共有四種旅次鏈型態分別為型態 0、型態 2、型態 3 及型態 4，對應到一天產生 0、2、3 及 4 次以上旅次，示意圖中圓圈代表停留點，箭頭代表旅次移動方向。以圖 3-2 為例，該樣本在經過處理後會被標記為旅次鏈型態 2。

表 3-2 旅次鏈型態及對應的旅次產生數

型態	旅次產生數	示意圖
0	0	
2	2	
3	3	
4	4 次以上	

3.4 樣本選擇與遺漏值差補方式

受限於每個人的手機使用行為不同，手機信令資料在某些情況下並不能真實反映其移動停留的行為，因此需要先篩選有效樣本並透過差補的方式去重建相關旅次。

因手機使用行為導致的不完整旅次情況有以下 2 種：

1. 手機信令資料樣本過少。若用戶一天的手機信令資料紀錄太少也無法辨識其一天的旅運行為。
2. 缺少移動過程的移動行為。舉例來說，第 n 筆信令資料紀錄用戶在上午九點半出現在桃園市，第 $n+1$ 筆資料為上午十點出現在臺北市，中間半個小時的時間沒有資料，因此我們無法判斷開始移動及到達目的地的時間點。

因此，針對上述 2 種狀況需要做一些不一樣的處理。須先觀測每個使用者在一天 1440 分鐘內的資料情況，若在日間早上七點到晚上十點間有超過一小時沒有資料，則將此使用者視為無效樣本，有效樣本才會進入判斷旅次及旅次鏈。若是出現第二種情況因為資料缺漏間隔小於一小時，則需要利用兩地間移動的距離及時間差，透過計算合理的旅行速率去推測開始移動及到達目的地的時間點。

第四章 旅次鏈型態分析模式

本研究將旅次鏈型態分析模式分成為兩種，一種為總體旅次鏈型態分析模式，另一種為個體旅次鏈型態分析模式。總體旅次鏈型態分析模式目的是找出影響區域內旅次鏈型態數量差異的區域特性因素，而個體旅次鏈型態分析模式則是透過多項羅吉特模式找出個體不同的旅次鏈型態會受到哪些因素影響，並利用巢式羅吉特模式探討不同旅次鏈型態間是否具有相關性。

4.1 總體旅次鏈型態分析模式

總體旅次鏈型態分析模式主要是透過整合區域內的旅次鏈型態量，透過多變量迴歸分析的方法找出不同旅次鏈型態會受到哪些可能因素影響。多變量迴歸分析方程式之形式為：

$$Y_i = a_{0i} + a_{1i}X_{1j} + a_{2i}X_{2j} + \cdots + a_{ni}X_{nj}$$

式中

Y_i ：為旅次鏈型態 i 的數量。

$a_{0i}, a_{1i}, \dots, a_{ni}$ ：參數。

$X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}$ ：為區域 j 內的土地使用特性、人口特性、經濟特性、大眾運輸使用率等可能影響區域旅次鏈型態的因素。

可能影響旅次鏈型態的變數為：

1. 人口特性：人口數、人口結構、住戶數、就業數(居住在某區且有職業的人數)、就學數(居住在某區的學生數)、家戶規模、家庭型態…等。
2. 經濟特性：所得、大眾運輸使用率。
3. 土地使用特性：商業區面積、住宅區面積、非都市土地面積等。
4. 旅次特性：區域內旅次之平均旅次長度。

4.2 個體旅次鏈型態分析模式

個體旅次鏈型態分析模式是針對個體旅次鏈型態進行分析，找出影響旅次鏈型態的個體特性。在個體旅次鏈型態分析模式中分為兩部分第一部分為多項羅吉特模式，第二部分為巢式羅吉特模式。多項羅吉特模式的目的是在於找出不同旅次鏈型態會受到哪些因素影響。利用巢式羅吉特模式檢定旅次鏈型態之間是否具有相關性。

4.2.1 多項羅吉特模式

離散選擇模式之基本架構是以效用函數為出發點，假設消費者為理性的選擇者。多項羅吉特模式為追求效用最大之原則下，消費者在多種替選方案中，選擇可帶給消費者最大效用之替選方案。其效用可分成可衡量部分(V_{in})與不可衡量之誤差項部分(ε_{in})，一般函數形式可表示如式(4-1)：

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (4-1)$$

其中， U_{in} ：方案 i 對於決策者 n 之效用值，

V_{in} ：方案 i 對於決策者 n 之可衡量效用，

ε_{in} ：方案 i 對於決策者 n 之不可衡量效用。

若假設誤差項服從獨立且相同的 Gumbel 分配，可推導出多項羅吉特模式 (McFadden, 1973) 表示如式 (4-2)：

$$V_{in} = \beta_i x_{in} + \alpha_i \quad \forall i, n \quad (4-2)$$

其中， V_{in} ：方案 i 對於決策者 n 之可衡量效用

α_i ：方案 i 之方案特定常數，

x_{in} ：方案 i 對於決策者 n 之屬性向量，

β ：校估參數之向量。

在本研究中使用之方案特定變數為平均旅次長度、居住地區之大眾運輸使用率、居住地區之平均家戶所得、居住地區之住宅區面積占總區域面積之比例。

4.2.2 巢式羅吉特模式

為解決多項羅吉特模式之 IIA 之特性可能產生的問題，McFadden (1973) 利用一般化極值模式 (Generalized Extreme Value, GEV)，並加以簡化將方案間的相似程度納入考量，推導出巢式羅吉特模式避免 IIA 的缺點。此模式主要的特點在於將具有相似性的方案放在同一巢中，並藉由包容值 (Inclusive Value) 參數的大小說明巢內方案相似性的高低。為滿足效用最大化的原則，包容值必須介於 0 到 1 之間，包容值越接近 1 代表巢內方案的相似程度越低；包容值越接近 0 代表巢內方案的相似程度越高。

在本研究中使用兩層巢式羅吉特模式，巢式結構如圖 4-1，巢式結構(1)為區分為有移動及沒有移動的旅次鏈型態。巢式結構(2)為區分單一目的地和多目的地的旅次鏈型態。

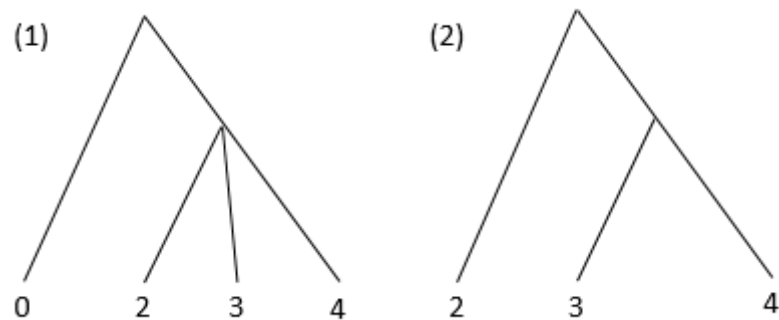


圖 4-1 巢式結構(1)及巢式結構(2)

第五章 實例應用

在實例應用的部分使用電信公司提供之臺北都會區的手機信令資料及交通部運研所 2016 年「行動裝置旅次特性調查小型實證測試」旅次資料(以下簡稱行動裝置旅次資料)結合內政部統計處的統計資料進行分析。

5.1 資料蒐集

在資料蒐集的部分分成三部分，第一部分為社經背景及政策變數的資料介紹及敘述性統計。第二部分為電信公司提供之手機信令資料介紹。第三部分為行動裝置旅次資料介紹。

5.1.1 社經背景及政策變數資料

研究中使用到的社經背景及政策變數如下：

1. 社經變數：各區人口密度、各區平均家戶所得。
2. 政策變數：各區公共運輸使用率、各區汽車使用率、各區機車使用率。
3. 土地使用特性變數：工商業區面積、住宅區面積、非都市土地面積等。

5.1.2 手機信令資料

使用之手機信令資料為 2016/5/31(二)一天之資料，有效樣本為 2653 筆使用者資料。透過處理後判斷出的各區旅次鏈型態數量如表 5-1，樣本數最多的前三個行政區分別為大安區、板橋區、三重區，樣本數不到十筆的行政區有 11 個，皆為新北市之人口密度低的偏遠地區。各旅次鏈型態樣本數如表 5-2，最多樣本數為型態 0，最少為型態 4。各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計結果如表 5-3，可發現平均旅次長度會隨著旅次鏈型態越複雜而降低，平均旅次長度之最小值皆大於 5 公里，平均旅次長度最大值出現在型態 2 約為 68 公里，且相較於型態 2 和型態 3，型態 4 的平均旅次長度最大值約為 10 公里，與型態 2 跟型態 3 差距較大。在表 5-4 為手機信令資料結果中，各區作為旅次目的地的次數，發現最常作為旅次目的地的行政區跟樣本數最多的行政區一致。

表 5-1 手機信令資料各區旅次鏈型態數量

行政區	旅次鏈型態				總計	行政區	旅次鏈型態				總計
	0	2	3	4			0	2	3	4	
大安區	109	51	20	9	189	五股區	18	15	5	2	40
板橋區	73	65	33	14	185	三峽區	27	5	4	1	37
三重區	78	44	22	16	160	蘆洲區	20	9	4	3	36
新店區	87	41	14	15	157	南港區	16	6	6	6	34
中山區	94	37	9	8	148	林口區	20	7	3	1	31
內湖區	89	43	12	4	148	八里區	15	3	0	1	19
文山區	64	54	17	11	146	泰山區	13	4	1	1	19
中和區	63	50	18	11	142	瑞芳區	14	5	0	0	19
士林區	63	40	14	10	127	鶯歌區	11	2	0	0	13
新莊區	68	31	20	7	126	萬里區	7	1	0	1	9
中正區	63	24	12	9	108	金山區	6	0	0	1	7
萬華區	62	19	14	0	95	深坑區	5	1	0	1	7
信義區	54	20	6	8	88	石碇區	3	0	2	1	6
北投區	48	21	8	9	86	烏來區	4	0	0	0	4
汐止區	46	20	10	7	83	貢寮區	2	2	0	0	4
松山區	42	22	7	2	73	坪林區	3	0	0	0	3
土城區	38	16	9	2	65	石門區	1	1	0	0	2
淡水區	49	7	5	3	64	雙溪區	0	2	0	0	2
樹林區	45	13	5	1	64	三芝區	1	0	0	0	1
大同區	38	10	9	1	58	平溪區	1	0	0	0	1
永和區	31	14	2	0	47						

表 5-2 手機信令資料各行政區旅次鏈型態對應之樣本數量

旅次鏈型態	樣本數量	比例
0	1491	56.20%
2	705	26.57%
3	291	10.97%
4	166	6.26%

表 5-3 手機信令資料各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計表

	旅次鏈型態-2	旅次鏈型態-3	旅次鏈型態-4
平均旅次長度			
最小值	5.005	5.016	5.018
平均值	9.277	7.599	7.288
最大值	67.659	53.896	9.972

表 5-4 手機信令資料旅次目的地組成

行政區	目的地次數	行政區	目的地次數	行政區	目的地次數
大安區	143	大同區	54	泰山區	7
板橋區	130	北投區	48	貢寮區	5
士林區	120	南港區	43	萬里區	4
松山區	118	土城區	34	鶯歌區	4
中正區	114	汐止區	33	深坑區	3
內湖區	111	五股區	28	金山區	2
中山區	108	淡水區	22	瑞芳區	1
信義區	108	樹林區	22	雙溪區	1
三重區	104	蘆洲區	22	平溪區	0
新莊區	93	永和區	19	北投區	0
文山區	78	林口區	16	烏來區	0
中和區	77	八里區	14	三芝區	0
萬華區	69	三峽區	12	石門區	0
新店區	56	石碇區	11		

5.1.3 行動裝置旅次資料

行動裝置旅次資料是透過手機應用程式記錄受測者的 GPS 軌跡以及每次的旅次目的及停留時間。資料收集期間為 2016 年 10 月到 12 月的平日。在本研究中只使用居住地點為臺北都會區共 41 個行政區的樣本進行分析，透過處理後總樣本數為 636 筆，樣本分布於臺北都會區的 28 個行政區，判斷出的各區旅次鏈型態數量如表 5-5，樣本數最多的前三個行政區分別為大安區、板橋區、松山區，無樣本數的行政區有 13 個區域分別為三芝區、平溪區、石門區、石碇區、坪林區、林口區、金山區、烏來區、貢寮區、深坑區、瑞芳區、萬里區及雙溪區，除了林口區以外皆為新北市之人口密度低的偏遠地區，調查者居住地多為某些特定區域，並非均勻分配於各個區域。各旅次鏈型態樣本分佈結果如表 5-6，可以發現在行動裝置旅次資料中樣本分布情況和手機信令資料不同，行動裝

置旅次資料中樣本數多至少的依序為型態 2、型態 3、型態 4、型態 0，而手機信令資料為型態 0、型態 2、型態 3、型態 4。各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計結果如表 5-7，可發現平均旅次長度會隨著旅次鏈型態越複雜而降低，且平均旅次長度與最小值皆比手機信令資料之調查結果小，平均旅次長度最大值同樣是出現在型態 2 約為 150 公里。表 5-8 為行動裝置旅次資料結果中，各區作為旅次目的地的次數，發現最常作為旅次目的地的行政區跟樣本數最多的行政區一致。

表 5-5 行動裝置旅次資料各區旅次鏈型態數量

行政區	旅次鏈型態				總計	行政區	旅次鏈型態				總計
	0	2	3	4			0	2	3	4	
大安區	25	19	11	20	75	萬華區	0	12	5	2	19
板橋區	7	30	18	14	69	新店區	1	11	5	1	18
松山區	10	17	19	14	60	文山區	4	3	7	3	17
信義區	7	14	7	4	32	永和區	1	7	2	6	16
土城區	9	13	5	4	31	樹林區	0	10	4	2	16
新莊區	6	17	5	2	30	士林區	0	10	1	4	15
南港區	9	13	3	3	28	蘆洲區	3	8	3	1	15
淡水區	11	4	8	4	27	三峽區	0	5	2	3	10
中山區	8	7	6	5	26	泰山區	0	6	0	2	8
中正區	5	8	10	3	26	五股區	3	0	1	0	4
中和區	7	4	3	9	23	鶯歌區	0	0	2	1	3
內湖區	7	4	7	5	23	八里區	1	0	0	0	1
汐止區	1	4	3	15	23	大同區	0	1	0	0	1
三重區	2	6	4	7	19	北投區	0	1	0	0	1

表 5-6 行動裝置旅次資料各旅次鏈型態對應之樣本數量

旅次鏈型態	樣本數	比例
0	127	19.97%
2	234	36.79%
3	141	22.17%
4	134	21.07%

表 5-7 行動裝置旅次資料各旅次鏈型態平均旅次長度敘述性統計表

	旅次鏈型態-2	旅次鏈型態-3	旅次鏈型態-4
平均旅次長度			
最小值	1.014	1.082	1.089
平均值	6.963	4.607	3.985
最大值	150.017	17.549	50.973

表 5-8 行動裝置旅次資料旅次目的地組成

行政區	目的地次數	行政區	目的地次數	行政區	目的地次數
大安區	206	淡水區	20	坪林區	1
松山區	150	永和區	9	瑞芳區	0
信義區	95	三重區	9	雙溪區	0
板橋區	72	士林區	7	深坑區	0
內湖區	68	汐止區	6	金山區	0
中正區	54	樹林區	6	平溪區	0
文山區	52	土城區	5	北投區	0
南港區	47	北投區	5	烏來區	0
中山區	43	五股區	5	三芝區	0
新莊區	38	萬華區	4	石門區	0
蘆洲區	29	泰山區	4	林口區	0
中和區	26	大同區	4	萬里區	0
新店區	22	三峽區	1	萬華區	0
鶯歌區	21	八里區	1		

5.2 結果分析

5.2.1 手機信令資料分析結果

1. MANOVA 分析

針對人口密度、平均家戶所得、公共運輸使用率、汽車使用率及機車使用率進行 MANOVA 分析。將不同人口密度、平均家戶所得、公共運輸使用率、汽車使用率及機車使用率各分成三組高、中、低，分別探討人口密度、平均家戶所得、公共運輸使用率、汽車使用率及機車使用率是否會對利用手機信令資料所得的不同旅次鏈型態數量有所差異。檢定結果如表 5-9，只有在人口密度及平均家戶所得有顯著差異。因此將這兩項變數放入總體旅次鏈型態多變量分析中。

表 5-9 MANOVA 分析結果

變數	Df	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
人口數	2	0.62566	4.0972	8	72	0.0004***
平均家戶所得	2	0.69207	4.7622	8	72	0.0001***
公共運輸使用率	2	0.37047	2.0461	8	72	0.0527
汽車使用率	2	0.37047	2.0461	8	72	0.0527
機車使用率	2	0.25787	1.3322	8	72	0.2417
Residuals	38					

***表示達顯著水準 $\alpha=0.001$

2. 總體旅次鏈型態分析

利用手機信令資料分析所得的該區域旅次鏈型態數量作為應變數，人口數及平均家戶所得做為解釋變數進行多變量迴歸分析，結果如下：

$$Y_0 = -80.60325^{**} + 0.00053^{***}X_1 + 0.11063^{***}X_2 \quad R^2 = 0.831 \quad (5-1)$$

$$Y_2 = -9.27653^{*} + 0.00013^{***}X_1 + 0.00772X_2 \quad R^2 = 0.868 \quad (5-2)$$

$$Y_3 = -0.50401 + 0.00006^{***}X_1 - 0.00142X_2 \quad R^2 = 0.858 \quad (5-3)$$

$$Y_4 = -1.75879 + 0.00003^{***}X_1 + 0.00139X_2 \quad R^2 = 0.682 \quad (5-4)$$

X_1 為人口數， X_2 為平均家戶所得，人口數在各式中皆為顯著，並隨著旅次鏈型態越複雜而降低影響程度。平均家戶所得只有在式(5-1)中顯著。

將多變量迴歸分析結果進行多變量檢驗，分別檢驗：

- (1) X_1 的係數在 Y_0 和 Y_2 間是否相同。
- (2) X_1 的係數在 Y_2 和 Y_3 間是否相同。
- (3) X_1 的係數在 Y_3 和 Y_4 間是否相同。

結果如表 5-10 所示，發現人口數在 Y_0 和 Y_2 間、 Y_2 和 Y_3 間及 Y_3 和 Y_4 間並不相同，因此可推論人口數愈多的區域各種旅次鏈數量均會增加。以增加幅度而言，人口數愈多的區域，趨向單純的旅次鏈型態。

表 5-10 手機信令資料 wilks lambda test 結果

檢驗結果	Df	test stat	approx F	num DF	den DF	Pr(>F)
(1)	1	0.182	83.26	2	37	2.0e-14 ***
(2)	1	0.148	106.31	2	37	4.6e-16 ***
(3)	1	0.171	89.54	2	37	6.6e-15 ***

***表示達顯著水準 $\alpha=0.001$

3. 個體旅次鏈型態分析

在此部分首先會先進行多項羅吉特模式分析，接著再進行巢式羅吉特分析。在多項羅吉特模式中會分別探討只有使用旅次特性變數時的結果及分別加入居住地區特性變數及旅次目的地特性後的模式。模式結果如表 5- 11，模式一為只有使用旅次特性變數時的結果，模式二為使用旅次特性變數及加入居住地區特性變數的結果，模式三為使用旅次特性變數、居住地區特性變數及加入旅次目的地特性變數的結果。

在方案特定常數的部分以旅次鏈型態 0 作為基準進行模式建構與分析。相對於旅次鏈型態 0 的情況下，旅運者為旅次鏈型態 4 的機率最低。顯示旅運者更傾向於簡單的旅次鏈型態。

在只考慮旅次特性變數的模式結果中，平均旅次長度做為方案特定變數指定到所有方案。結果顯示平均旅次長度越長，旅運者被判斷為旅次鏈型態 2 的機率較高，在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.368。

在加入居住地區特性變數後，新增居住地區之大眾運輸使用率、住宅區面積比例及工商業區面積做為方案特定變數指定到所有方案。在模式結果中居住地區之工商業區面積比例 t 值未達顯著，其餘變數皆為顯著。結果顯示在大眾運輸使用率這項變數在在旅次鏈型態 2 跟旅次鏈型態 4 顯著，代表居住地區大眾運輸使用率更高時，旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率比旅次鏈型態 2 高。而在住宅區面積比例這項變數在旅次鏈型態 2 跟旅次鏈型態 3 顯著，顯示居住地區之住宅面積比例越高，旅運者被判斷為旅次鏈型態 3 的機率比旅次鏈型態 2 高，在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.37。

最後納入旅次目的地之區域特性，加入目的地區域之住宅區面積比例及工商業區面積做為方案特定變數指定到所有方案。在模式結果中，所有變數均為顯著。結果顯示旅次目的地的工商業區面積比例越高，前往該區域之旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率越高。在旅次目的地的住宅區面積比例這項變數為負，顯示旅次目的地之區域住宅區面積比例越高，前往該處之旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率越低，在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.528。

在巢式羅吉特模式中，首先使用巢式結構(1)進行分析，模式結果顯示包容值小於 1，不符合效用最大化的假設，因此改以巢式結構(2)進行分析。巢式結構(2)分析結果如表 5- 12。其包容值為 0.548，顯示多目的地的旅次鏈型態間相似性不高，巢式羅吉特模式的配適度為 0.015，配適度不佳。

表 5- 11 手機信令資料-多項羅吉特模式

	模式一		模式二		模式三	
	係數	t 值	係數	t 值	係數	t 值
方案特定常數						
旅次鏈型態 0(基準)						
旅次鏈型態 2	-4.91	-25.52***	-5.90	-14.27***	-5.92	-11.42***
旅次鏈型態 3	-5.66	-28.45***	-6.52	-13.80***	-8.39	-12.24***
旅次鏈型態 4	-6.11	-27.76***	-7.09	-12.88***	-8.68	-11.23***
方案特定變數						
平均旅次長度-2	5.11	16.56***	5.09	16.52***	5.55	14.96***
平均旅次長度-3	5.06	16.41***	5.05	16.37***	5.49	14.78***
平均旅次長度-4	5.02	16.16***	5.00	16.13***	5.41	14.39***
居住地區特性						
大眾運輸使用率-2			1.78	1.98**	2.06	2.11**
大眾運輸使用率-3			1.64	1.52	3.43	2.54**
大眾運輸使用率-4			2.25	1.80*	3.85	2.55**
住宅區面積比例-2			1.51	2.18**	3.52	3.35***
住宅區面積比例-3			1.80	2.23**	3.78	3.20***
住宅區面積比例-4			0.84	0.88	3.57	2.25**
工商業區面積比例-2			-0.63	-0.56	-17.91	-7.61***
工商業區面積比例-3			0.95	0.74	-24.61	-9.98***
工商業區面積比例-4			-0.55	-0.35	-26.68	-10.11***
旅次目的地區域特性						
住宅區面積比例-2					-2.56	-2.56*
住宅區面積比例-3					-17.37	-17.37***
住宅區面積比例-4					-16.33	-16.44***
工商業區面積比例-2					14.07	14.07***
工商業區面積比例-3					46.83	46.83***
工商業區面積比例-4					47.16	47.16***
樣本數	2653		2653		2653	
對數概似函數值	-1831		-1825		-1367	
ρ^2	0.36791		0.37041		0.52826	

***表示達顯著水準 $\alpha=0.001$; **表示達顯著水準 $\alpha=0.01$; *表示達顯著水準 $\alpha=0.05$ 。

表 5- 12 手機信令資料-巢式結構(2)模式結果

	係數	t 值
方案特定常數		
旅次鏈型態 2(基準)		
旅次鏈型態 3	0.800	0.977
旅次鏈型態 4	-0.011	-0.002
方案特定變數		
平均旅次長度-3	-0.048	-1.133
平均旅次長度-4	-0.076	-0.472
大眾運輸使用率-3	1.205	0.359
大眾運輸使用率-4	2.429	0.405
住宅區面積比例-3	-1.610	-1.092
住宅區面積比例-4	-1.307	-0.737
非都市土地面積比例-3	-1.059	-0.595
非都市土地面積比例-4	-0.477	-0.180
平均家戶所得-3	-0.001	-2.066**
平均家戶所得-4	-0.001	-1.397
包容值	0.584	-0.097
樣本數	2653	
對數概似函數值	-1061.9	
ρ^2	0.0151	

**表示達顯著水準 $\alpha=0.01$

5.2.2 行動裝置旅次資料分析結果

在行動裝置旅次資料中，一共有三個部分分別為總體旅次鏈型態分析、個體旅次鏈型態分析之多項羅吉特模式及巢式羅吉特模式。

1. 總體旅次鏈型態分析

利用行動裝置旅次資料分析所得的該區域旅次鏈型態數量作為應變數，人口數及平均家戶所得做為解釋變數進行多變量迴歸分析，結果如下：

$$Y_0 = -8.66903^* + 0.00001 X_1 + 0.01030^{**} X_2 \quad R^2 = 0.361 \quad (5-5)$$

$$Y_2 = -2.77457^* + 0.00004^{**} X_1 + 0.00325 X_2 \quad R^2 = 0.357 \quad (5-6)$$

$$Y_3 = -6.02680 + 0.00002^* X_1 - 0.00683^* X_2 \quad R^2 = 0.377 \quad (5-7)$$

$$Y_4 = -5.93088 + 0.00002^* X_1 + 0.00605 X_2 \quad R^2 = 0.340 \quad (5-8)$$

X_1 為人口數， X_2 為平均家戶所得，人口數在旅次鏈型態 0 中不顯著，其餘皆為顯著，且式(5-6)的係數較式(5-7)及式(5-8)大，顯示相較於旅次鏈型態 3 和型態 4，人口數越多的地區產生出的旅次鏈型態 2 數量會越多。平均家戶所得在式(5-5)及式(5-7)中顯著，在式(5-7)中係數為負的代表居住區域之平均家戶所

得增加會減少此區域的旅次鏈型態 3 的數量。

將多變量迴歸分析結果進行多變量檢驗，分別檢驗：

(1) X_1 的係數在 Y_2 和 Y_3 間是否相同。

(2) X_1 的係數在 Y_3 和 Y_4 間是否相同。

結果如表 5- 13 所示，發現人口數在 Y_2 和 Y_3 間及 Y_3 和 Y_4 間並不相同，因此可推論人口數愈多的區域各種旅次鏈數量均會增加。以增加幅度而言，人口數愈多的區域，趨向單純的旅次鏈型態。

表 5- 13 行動裝置旅次資料 wilks lambda test 結果

檢驗結果	Df	test stat	approx F	num DF	den DF	Pr(>F)
(1)	1	0.154	66.06	2	24	1.7e-10 ***
(2)	1	0.192	50.41	2	24	2.5e-09 ***

***表示達顯著水準 $\alpha=0.001$

2. 多項羅吉特模式

在多項羅吉特模式使用的變數與手機信令資料使用之變數一致，分別探討只有使用旅次特性變數時的結果及分別加入居住地區特性變數及旅次目的地特性後的模式，分析結果如表 5- 14，模式一為只有使用旅次特性變數時的結果，模式二為使用旅次特性變數及加入居住地區特性變數的結果，模式三為使用旅次特性變數、居住地區特性變數及加入旅次目的地特性變數的結果。

在方案特定常數的部分以旅次鏈型態 0 作為基準進行模式建構與分析。相對於旅次鏈型態 0 的情況下，旅運者為旅次鏈型態 4 的機率最低。顯示旅運者更傾向於簡單的旅次鏈型態。

在只考慮旅次特性變數的模式結果中，平均旅次長度做為方案特定變數指定到所有方案。結果顯示平均旅次長度越長，旅運者被判斷為旅次鏈型態 2 的機率較高，在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.3575。

在加入居住地區特性變數後，新增居住地區之大眾運輸使用率、住宅區面積比例及工商業區面積做為方案特定變數指定到所有方案。在模式結果中除了平均旅次長度 t 值達顯著外，其餘變數皆不顯著。在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.3592。

最後納入旅次目的地之區域特性，加入目的地區域之住宅區面積比例及工商業區面積做為方案特定變數指定到所有方案。結果顯示在居住地區之工商業區面積比例越高，表示旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率越低。旅次目的地之工商業比例面積這項變數在旅次鏈型態 3 和旅次鏈型態 4 顯著，顯示目的地的工商業比例越高旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率越高，在此模式結果中多項羅吉特模式的配適度為 0.63。

表 5- 14 行動裝置旅次資料-多項羅吉特模式

	模式一		模式二		模式三	
	係數	t 值	係數	t 值	係數	t 值
方案特定常數						
旅次鏈型態 0(基準)						
旅次鏈型態 2	-5.80	-9.11***	-4.62	-2.08**	-6.62	-2.16**
旅次鏈型態 3	-5.85	-9.16***	-5.03	-3.10**	-5.41	-1.73*
旅次鏈型態 4	-5.61	-8.80***	-4.92	-3.04**	-6.90	-2.20**
方案特定變數						
平均旅次長度-2	4.77	8.55***	4.77	8.62***	4.81	7.22***
平均旅次長度-3	4.68	8.40***	4.69	8.47***	4.77	7.16***
平均旅次長度-4	4.62	8.28***	4.63	8.36***	4.73	6.1***
居住地區特性						
大眾運輸使用率-2			-3.89	-1.21	-0.28	-0.06
大眾運輸使用率-3			-2.99	-1.20	-4.44	-0.85
大眾運輸使用率-4			-2.61	-0.68	-2.04	-0.39
住宅區面積比例-2			0.50	0.18	-11.96	-1.46
住宅區面積比例-3			0.37	0.13	-13.64	-1.64
住宅區面積比例-4			0.79	0.28	-13.73	-1.65*
工商業區面積比例-2			-1.10	-0.24	-22.43	-2.00**
工商業區面積比例-3			-3.11	-0.68	-37.41	-3.31***
工商業區面積比例-4			0.24	0.05	-34.74	-3.08***
旅次目的地區域特性						
住宅區面積比例-2					-17.38	2.25**
住宅區面積比例-3					-11.83	-1.43
住宅區面積比例-4					-10.53	-1.27
工商業區面積比例-2					14.28	1.42
工商業區面積比例-3					70.81	6.15***
工商業區面積比例-4					71.91	6.22***
樣本數	636		636		636	
對數概似函數值	-552.33		-550.83		-316.58	
ρ^2	0.3575		0.3592		0.63	

***表示達顯著水準 $\alpha=0.001$; **表示達顯著水準 $\alpha=0.01$; *表示達顯著水準 $\alpha=0.05$ 。

3. 巢式羅吉特模式

此處使用巢式結構(1)進行巢式羅吉特模式分析，結果如表 5- 15。其包容值為 1，表示巢式羅吉特模式可簡化為多項羅吉特模式。因此可以得知此巢式結構巢內間的方案並沒有相似性。

表 5- 15 行動裝置旅次資料-巢式結構(1)模式結果

	係數	t 值
方案特定常數		
旅次鏈型態 0(基準)		
旅次鏈型態 2	-1.91	-0.004
旅次鏈型態 3	1.84	0.012
旅次鏈型態 4	7.43	0.022
方案特定變數		
平均旅次長度-2	4.77	0.756
平均旅次長度-3	4.69	2.356*
平均旅次長度-4	4.63	0.740
大眾運輸使用率-2	-4.71	-0.077
大眾運輸使用率-3	-6.04	-0.035
大眾運輸使用率-4	-1.39	-0.006
平均家戶所得-2	0.00003	0.001
平均家戶所得-3	0.00044	0.007
平均家戶所得-4	-0.00132	-0.015
包容值	1	0.012
樣本數	636	
對數概似函數值	-548.22	
ρ^2	0.0135	

*表示達顯著水準 $\alpha=0.05$ 。

5.3 結果與討論

5.3.1 結果

綜整上述兩種資料源的多項羅吉特分析結果如表 5-16，可以發現當平均旅次長度、居住地區之工商業區面積比例這兩個變數降低時會使旅次鏈越複雜。而旅次目的地之工商業區面積越高旅次鏈會越複雜。由此可見人們旅次目的地主要是集中在工商業區發達之區域。

在手機信令資料中居住地區之大眾運輸使用率及住宅區面積比例上升也會使旅次鏈型態越複雜。

表 5-16 兩種資料多項羅吉特模式分析結果表

方案特定變數		手機信令資料	行動裝置 旅次資料
旅次特性	平均旅次長度	顯著且平均旅次長度減少 會使旅次鏈越複雜。	
居住地區 特性	大眾運輸使用率	顯著且大眾運輸使用率 增加會使旅次鏈越複雜	不顯著
	住宅區面積 比例	顯著且住宅區面積增加 會使旅次鏈越複雜	不顯著
	工商業區面 積比例	顯著且工商業區面積增加 會使旅次鏈越簡單。	
旅次目的 地之區域 特性	住宅區面積 比例	顯著且住宅區面積增加 會使旅次鏈越簡單	僅在型態 2 中 顯著。
	工商業區面 積比例	顯著且工商業區面積增加 會使旅次鏈越複雜。	

在巢式羅吉特模式中，手機信令資料結果顯示具有兩種以上目的地的旅次鏈型態間並沒有相似性。而行動裝置旅次資料的結果顯示不同旅次產生數的旅次鏈型態間相似性不高。

統整兩種資料的優缺點結果如表 5-17，相較於手機信令資料會跳站的缺點，利用 GPS 定位推估的位置會更為準確，但行動裝置旅次資料則需要透過手機應用程式蒐集且須開起手機 GPS，且必須要徵求使用者，資料收集較信令資料麻煩。

表 5- 17 兩種資料源優缺點比較

	手機信令資料	行動裝置旅次資料
優點	1. 資料量大，不需額外設定就能蒐集。 2. 取得成本較低。	1. GPS 定位準確，誤差小。 2. 可同時記錄旅次目的、旅運者之社經背景特性。
缺點	1. 訊號會跳站，實際位置與推估位置差距較大。 2. 資料蒐集受限於電信公司，無法得知旅運者社經背景。	1. 須額外設計應用程式蒐集資料。 2. 須徵求受測者，樣本較信令資料少。

5.3.2 管理意義與政策意涵

旅運者一天的旅次產生數多寡對於都市運輸網路的影響會因為不同情況而有所差異。一般而言，受限於大眾運輸轉乘的不便性及可及性，旅運者的旅次數越多，越有可能傾向使用私人運具。如何改善大量使用私人運具所導致的交通壅塞及環境汙染問題都是政府的重要交通政策。

若是以降低旅次產生數作為降低私人運具使用率的手段，根據本研究的研究結果可以增加住商混合的比例，當旅運者區住地區為住商混合的地區，其旅次產生數會減少，使用私人運具的機率較低。

若是以提高大眾運輸使用率作為降低私人運具使用率的手段，根據本研究的研究結果可以發現提高大眾運輸使用率會增加旅次產生數，因此若是可以提高大眾運輸轉乘的便利性及減少等車時間，將可以減少私人運具的使用率。

第六章 結論與建議

本研究欲探討旅次特性及區域特性對旅次鏈型態的影響關係，應用多變量迴歸分析、多項羅吉特模式及巢式羅吉特模式在臺北都會區收集之手機信令資料及行動裝置旅次資料進行實證分析。根據實證分析的結果，整理歸納出以下之結論與建議。

6.1 結論

根據本研究之結果，提出以下幾點結論：

1. 在總體旅次鏈型態分析模式中，人口數在兩個資料源且於各種旅次鏈型態均呈正向及顯著，人口數愈多的區域自然各種旅次鏈數量均會增加。不過，以增加幅度而言，人口數愈多的區域，趨向單純的旅次鏈型態。 R^2 值在手機信令資料中約為 0.8，在行動裝置中為 0.35 左右，兩種資料結果差距不小，可能的原因為手機信令資料較行動裝置旅次資料的樣本數多，行動裝置資料僅涵蓋 28 個行政區，因此估計上可能會有些許偏誤。
2. 在手機信令資料之個體旅次鏈型態多項羅吉特模式分析結果中，同時考慮旅次特性、居住地區特性及旅次目的地區域特性後模式的配適度由只考慮旅次特性變數時的 0.3679 增加為 0.528，顯示除了旅次特性外，居住地區及旅次目的地的區域特性也會影響旅次鏈型態。其中居住地區之大眾運輸使用率越高，旅運者被判斷為旅次鏈型態 4 的機率相較於旅次鏈型態 2 及旅次鏈型態 3 高。而居住地區之住宅區面積比例增加，旅運者被判斷為旅次鏈型態 3 的機率相較於旅次鏈型態 2 高。由此可推論居住地區之大眾運輸使用率及住宅區面積比例增加，會增加旅次產生數。
3. 在行動裝置旅次資料之個體旅次鏈型態多項羅吉特模式分析中，分析結果與手機信令資料的結果一致，在加入居住地區及旅次目的地的區域特性後，配適度由 0.3575 增加為 0.63，顯示除了旅次特性外，居住地區及旅次目的地的區域特性也會影響旅次鏈型態。
4. 比較兩個資料源之多項羅吉特模式後，發現在所有方案特定變數中，平均旅次長度、居住地區之工商業區面積比例及旅次目的地之工商業面積比例在兩個資料源中所有方案皆為顯著，且顯著的方向一致。顯示平均旅次長度越長，旅運者之旅次鏈型態為旅次鏈型態 4 的機率越低。並隨著目的地之工商業區面積比例增加，旅運者之旅次鏈型態越可能為型態 4。代表越複雜的旅次鏈型態之平均旅次長度越短且越有可能前往工商業面積比例高之區域，且若居住於工商業面積比例高之區域其旅次鏈型態越為簡單。推論住商混合有助於減少旅次產生。
5. 在手機信令資料之巢式羅吉特模式分析結果中包容值為 0.58，推論多目的地旅次鏈型態間的相似性低。而在行動裝置旅次資料之巢式羅吉特模式分析結果中包容值為 1，顯示有旅次產生之旅次鏈型態間並不存在相似性。

6.2 建議

探討本研究之結果分析，歸納下列幾點建議，供後續研究進行參考。

1. 資料期間：本研究調查之手機信令資料受限於個資的問題僅有一天之資料，且只利用晚間十點到早上八點停留的地方判斷家庭位置，有可能會誤判夜間工作者之家庭位置，因此建議未來研究期間應至少為期一周以上，較能觀察出正確的家庭位置並找出具有規律性的通勤者模式及不具有規律性之非通勤者模式。
2. 資料範圍：不論是手機信令資料或是行動裝置旅次資料皆在各行政區的樣本數量皆不同，且偏遠地區之樣本過少，甚至缺乏樣本，因此建議未來收集資料時應包含所有行政區之資料。
3. 資料量：目前手機信令資料僅有 2653 筆資料，行動裝置旅次資料僅 636 筆，對於總人口數約為六百多萬的臺北都會區來說還是過少，建議未來可以取得更多的資料，估計結果會更為準確。
4. 旅次特性變數：受限於手機信令資料之最小單位為 500 平方公尺，目前使用之解釋變數是以行政區為單位之區域特性，因此並不能準確的利用相關 POI 找出信令資料中之旅次目的，若能獲得更精準之手機信令資料可獲得更多的旅次特性變數，像是旅次目的組成、運具選擇等更貼近個體旅次特徵之特性。

參考文獻

- Alexander, L., Jiang, S., Murga, M., & González, M. C. (2015). Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 240-250.
- Bohte, W., & Maat, K. (2009). Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the Netherlands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(3), 285-297.
- Bricka, S. G., Sen, S., Paleti, R., & Bhat, C. R. (2012). An analysis of the factors influencing differences in survey-reported and GPS-recorded trips. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 21(1), 67-88.
- Chen, C., Bian, L., & Ma, J. (2014). From traces to trajectories: How well can we guess activity locations from mobile phone traces? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 326-337.
- Chung, E. H., & Shalaby, A. (2005). A trip reconstruction tool for GPS-based personal travel surveys. *Transportation Planning and Technology*, 28(5), 381-401.
- Dong, H., Wu, M., Ding, X., Chu, L., Jia, L., Qin, Y., & Zhou, X. (2015). Traffic zone division based on big data from mobile phone base stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 278-291.
- Golob, T. F. (1986). A nonlinear canonical correlation analysis of weekly trip chaining behaviour. *Transportation Research Part A: General*, 20(5), 385-399.
- Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., & Barabasi, A. L. (2008). Understanding individual human mobility patterns. *Nature* 453, 479-482 .
- Järv, O., Ahas, R., & Witlox, F. (2014). Understanding monthly variability in human activity spaces: A twelve-month study using mobile phone call detail records. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 122-135.
- Jiang, S., Ferreira, J., & González, M. C. (2012). Clustering daily patterns of human activities in the city. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1-33.
- Jiang, S., Fiore, G. A., Yang, Y., Ferreira Jr, J., Frazzoli, E., & González, M. C. (2013, August). A review of urban computing for mobile phone traces: current methods, challenges and opportunities. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD international workshop on Urban Computing* (p. 2). ACM.

- Jiang, S., Yang, Y., Gupta, S., Veneziano, D., Athavale, S., & González, M. C. (2016). The TimeGeo modeling framework for urban motility without travel surveys. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201524261.
- Jiang, S., Ferreira, J., & González, M. C. (2017). Activity-based human mobility patterns inferred from mobile phone data: A case study of Singapore. *IEEE Transactions on Big Data*, 3(2), 208-219.
- Kitamura, R., Kostyniuk, L. P., & Uyenno, M. J. (1981). Basic properties of urban time-space paths: empirical tests. *Transportation Research Record*, 794, 8-19.
- Kitamura, R. (1984). Incorporating trip chaining into analysis of destination choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 18(1), 67-81.
- Lee, Y., Hickman, M., & Washington, S. (2007). Household type and structure, time-use pattern, and trip-chaining behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(10), 1004-1020.
- McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In P. Zarembka (Ed.) *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press.
- Phithakkitnukoon, S., Horanont, T., Di Lorenzo, G., Shibasaki, R., & Ratti, C. (2010). Activity-aware map: Identifying human daily activity pattern using mobile phone data. *Human Behavior Understanding*, 14-25.
- Primerano, F., Taylor, M. A., Pitaksringkarn, L., & Tisato, P. (2008). Defining and understanding trip chaining behavior. *Transportation*, 35(1), 55-72.
- 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.
- Vagane, L. (2012). The complexity of travel: Trip chaining in Norway. In *European Transport Conference 2012*.
- Vij, A., & Shankari, K. (2015). When is big data big enough? Implications of using GPS-based surveys for travel demand analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 446-462.
- Widhalm, P., Yang, Y., Ulm, M., Athavale, S., & González, M. C. (2015). Discovering urban activity patterns in cell phone data. *Transportation*, 42(4), 597-623.