

國立交通大學  
運輸科技與管理學系

碩士論文

商業區人行系統行人流動特性研析與行為  
模式－以台北市信義商圈路口為例

A Study on Pedestrian Flow Characteristics and  
Behavior Models - A Case Study of Intersection in  
Xin-Yi District of Taipei City

研究生：李協政

指導教授：吳水威

中華民國九十七年六月

商業區人行系統行人流動特性研析與行為模式  
—以台北市信義商圈路口為例

A Study on Pedestrian Flow Characteristics and Behavior  
Models - A Case Study of Intersection in Xin-Yi District of  
Taipei City

研究生：李協政

Student : Hsieh-Cheng Lee

指導教授：吳水威

Advisor : Dr. Shoei-Uei Wu



Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

# 商業區人行系統行人流動特性研析與行為模式 —以台北市信義商圈路口為例

研究生：李協政

指導教授：吳水威

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘要

本研究選取台北市信義區商圈路口人行設施作為觀測地點，區分尖峰及離峰時段行人，參考引用車流相關理論及行人移動行為之相關文獻作為分析行人流動特性之依據。本研究於巨觀行人流動特性部分，分別探討行人流時段特性、流量比特性與 QKV 特性。另外，依觀察將行人行為細分為三類，超越前方行人、僅作橫向偏移與跟隨前方行人，考慮前後行人速度差異、跟隨間距、前方總瞬時密度、性別與性別異同等影響變因參數，構建判別函數與多項羅吉斯迴歸模式，用以解釋所觀察到之行為表現。結果發現，性別變數無論尖峰或離峰時段均不會影響行人行為，而性別異同變數僅在尖峰時段對於行人行為有顯著影響，且研究所構建之模式在判別分類以及行為預測上均可達 85% 以上之整體準確率。

**關鍵詞：**行人流動特性、行人行為、判別函數、多項羅吉斯迴歸模式

# **A Study on Pedestrian Flow Characteristics and Behavior Models - A Case Study of Intersection in Xin-Yi District of Taipei City**

Student : Hsieh-Cheng Lee

Advisor : Dr. Shoei-Uei Wu

Department of Transportation Technology & Management  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

Pedestrian flow is investigated in a intersection in Xin-Yi district of Taipei city. The samples are classified into two categories, rush hour and off-hour. The pedestrian flow characteristics of phase, flow ratio and QKV theory are discussed in the study. Besides, three types of pedestrian behaviors are analyzed: overtaking, lateral moving, and following. With the consideration of pedestrian speed difference, following distance, instant density, gender and difference of gender, the discriminant functions and multinomial logistic regression models are constructed. The result indicates that gender has no influence on the pedestrian behavior and the difference of gender is a significant variable only in the rush hour. The hit rates of classification and prediction are both higher than 85% in the study.

**Keywords :** Pedestrian Flow Characteristics, Pedestrian Behaviors, Discriminant Functions, Multinomial Logistic Regression Models

## 誌 謝

本論文得以完成，首先要感謝的是指導教授 吳水威博士，恩師於本論文撰寫期間，不斷耐心指導與細心的教學，為學生學習之典範。在生活上，恩師作事情嚴謹與不猶豫的積極態度，以及待人處世的圓融，給予學生相當大的啟發，獲益匪淺。在此，謹致學生對於 恩師最誠摯的謝意與敬意。

於口試期間，承蒙逢甲大學運輸科技與管理學系楊宗璟老師與本系吳宗修老師撥冗細閱，並提供寶貴的意見，使本論文謬誤與疏漏之處得以斧正；期中審查亦要感謝卓訓榮老師詳細審閱，並感謝黃家耀老師於論文研討課程給予之建議，使論文更甄嚴謹完備。學生於授業期間，承蒙系上各位老師們給予學生在課業研究的教導，尤其感謝謝尚行老師於大學畢業專題的細心指導，更要感謝李明山老師對待學生如親人般地幫助。亦要感謝系上助理秀蔭姐及幸榮姐在行政上的協助，使得學生在交大的求學生涯得以順利畢業，論文得以如期付梓。

論文研究期間，感謝系上所有的師長、學長姐、同學與學弟妹的鼓勵與支持，感謝一同在研究所奮鬥兩年的永祥、ZZ 老大、岡翰、珮瑜相互打氣與砥礪；感謝三不五時被我問問題的政諺與銘娟，實驗室學弟妹禎祥與蛋妹以及回來度假的益彰學長的協助與幫忙；還要感謝大學同窗維翰、賜榮、小青、妮臻、黃恆在精神上給予我的支持，在我回桃園時一定可以約出來的高中摯友小氣鬼、letter、河馬、熊、奈良、吳呆、高振傑、阿廖，當兵時的好兄弟英祈、槍神、Q 哥、堯爸、哲明、小訓。感謝你們在我的求學過程中陪伴我一同讀書、成長、茁壯，因為有你們，我的人生旅途中充滿著無盡的喜悅與歡樂。

最後，要感謝我的家人，感謝父母親從小諄諄教誨，在父母親的養育與教導之下，我才能無後顧之憂，我才有機會登入交大的殿堂，我才有機會取得碩士學位；感謝妹妹兼同學的欣宜在碩士期間的關心與貼心的幫助，讓我得以出門在外依然能感受到家庭的溫暖；感謝一直陪伴在我身邊的盈盈，手牽手從交大一起畢業，毫無疑問地，我們已共同達成這目標！感謝所有我認識的師長、親人、朋友，因為有你們的關懷、照顧、批評與指教，造就了今天的我，感謝你們的協助與鼓勵，未來，唯有更努力、更上進始能報答各位給予我的一切，並將成果與你們分享！

李協政 謹致  
2008 年 6 月  
新竹 交大

# 目 錄

|                        |      |
|------------------------|------|
| 摘 要.....               | i    |
| Abstract.....          | ii   |
| 誌 謝.....               | iii  |
| 目 錄.....               | iv   |
| 表目錄.....               | vi   |
| 圖目錄.....               | viii |
| 第一章 緒論.....            | 1    |
| 1.1 研究動機.....          | 1    |
| 1.2 研究目的.....          | 2    |
| 1.3 研究對象及範圍限制.....     | 2    |
| 1.4 研究流程.....          | 3    |
| 1.5 研究架構.....          | 6    |
| 第二章 文獻回顧.....          | 8    |
| 2.1 人行設施與行走環境.....     | 8    |
| 2.1.1 人行步道.....        | 8    |
| 2.1.2 捷運車站.....        | 9    |
| 2.2 人行設施服務水準.....      | 10   |
| 2.3 人流特性.....          | 15   |
| 2.4 人流相關理論模式與研究方法..... | 18   |
| 2.5 文獻評析.....          | 21   |
| 第三章 理論基礎與研究方法.....     | 23   |
| 3.1 理論基礎.....          | 23   |
| 3.1.1 車流理論.....        | 23   |
| 3.1.2 人流理論.....        | 25   |
| 3.2 研究方法.....          | 29   |
| 3.2.1 文獻評析法.....       | 29   |
| 3.2.2 攝影調查法.....       | 29   |
| 3.2.3 統計迴歸分析.....      | 30   |
| 3.2.4 單因子變異數分析.....    | 30   |
| 3.2.5 相關分析.....        | 31   |
| 3.2.6 判別分析.....        | 33   |
| 3.2.7 多項羅吉斯迴歸分析.....   | 34   |
| 第四章 人流資料調查蒐集與特性分析..... | 37   |
| 4.1 資料調查.....          | 37   |
| 4.1.1 資料調查方法.....      | 37   |

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 4.1.2 | 調查地點選取.....            | 37 |
| 4.1.3 | 調查步驟.....              | 38 |
| 4.2   | 資料認定方式與處理過程.....       | 40 |
| 4.2.1 | 巨觀行人資料認定.....          | 40 |
| 4.2.2 | 微觀行人資料認定.....          | 41 |
| 4.2.3 | 行人流資料整理.....           | 42 |
| 4.3   | 巨觀人流資料初步特性分析.....      | 43 |
| 4.3.1 | 時段特性.....              | 43 |
| 4.3.2 | 流量比特性.....             | 50 |
| 4.3.3 | QKV 特性.....            | 51 |
| 4.4   | 微觀人流資料初步特性分析.....      | 65 |
| 4.4.1 | 速度差異與行人行為之比較.....      | 65 |
| 4.4.2 | 跟隨間距與行人行為之比較.....      | 66 |
| 4.4.3 | 前方總瞬時密度與行人行為之比較.....   | 68 |
| 4.4.4 | 性別與行人行為之比較.....        | 70 |
| 4.4.5 | 前後行人性別異同與行人行為之比較.....  | 71 |
| 4.4.6 | 綠燈號誌剩餘秒數與行人行為之比較.....  | 73 |
| 第五章   | 人流模式構建與驗證.....         | 75 |
| 5.1   | 以判別分析構建模式.....         | 75 |
| 5.1.1 | 離峰時段行人行為判別模式.....      | 75 |
| 5.1.2 | 尖峰時段行人行為判別模式.....      | 79 |
| 5.2   | 以多項羅吉斯迴歸分析構建模式.....    | 83 |
| 5.2.1 | 離峰時段行人行為多項羅吉斯迴歸模式..... | 83 |
| 5.2.2 | 尖峰時段行人行為多項羅吉斯迴歸模式..... | 86 |
| 5.3   | 模式比較分析.....            | 89 |
| 5.3.1 | 模式比較.....              | 89 |
| 5.3.2 | 模式準確率比較.....           | 91 |
| 第六章   | 結論與建議.....             | 92 |
| 6.1   | 結論.....                | 92 |
| 6.2   | 建議.....                | 94 |
| 參考文獻  | .....                  | 95 |

# 表目錄

|        |                                      |    |
|--------|--------------------------------------|----|
| 表 2.1  | Fruin 訂定的步道服務水準等級.....               | 12 |
| 表 2.2  | Pushkarer & Zupan 訂定的行人流流動品質.....    | 13 |
| 表 2.3  | 美國 HCM2000 訂定的步道服務水準等級.....          | 13 |
| 表 2.4  | 行人交通設施服務水準等級.....                    | 14 |
| 表 2.5  | Hall 之人與人空間距離特性.....                 | 16 |
| 表 2.6  | 歷年相關人流文獻比較表.....                     | 21 |
| 表 3.1  | 交叉列聯表.....                           | 32 |
| 表 4.1  | 樣本資料筆數整理.....                        | 42 |
| 表 4.2  | 離峰時段流量表.....                         | 43 |
| 表 4.3  | 離峰時段第 10~15 秒雙向流量差異獨立樣本 t 檢定表.....   | 44 |
| 表 4.4  | 離峰時段平均流速表.....                       | 45 |
| 表 4.5  | 尖峰時段流量表.....                         | 46 |
| 表 4.6  | 流量差異獨立樣本 t 檢定表.....                  | 47 |
| 表 4.7  | 尖峰時段平均流速表.....                       | 48 |
| 表 4.8  | 尖峰時段第 25~30 秒雙向平均速度差異獨立樣本 t 檢定表..... | 49 |
| 表 4.9  | 樣本分類之速度是否具差異檢定.....                  | 52 |
| 表 4.10 | 樣本分類之密度是否具差異檢定.....                  | 52 |
| 表 4.11 | 樣本分類之流量是否具差異檢定.....                  | 52 |
| 表 4.12 | QKV 關係式統計表.....                      | 65 |
| 表 4.13 | 尖離峰時段行人之平均速度差異獨立樣本 t 檢定.....         | 66 |
| 表 4.14 | 行人行為與前後行人速度差之檢定.....                 | 66 |
| 表 4.15 | Scheefe 多重比較法.....                   | 66 |
| 表 4.16 | 尖離峰時段行人之平均跟隨間距獨立樣本 t 檢定.....         | 67 |
| 表 4.17 | 離峰時段行人行為與前後行人跟隨間距之檢定.....            | 67 |
| 表 4.18 | Scheefe 多重比較法.....                   | 67 |
| 表 4.19 | 尖峰時段行人行為與前後行人跟隨間距之檢定.....            | 68 |
| 表 4.20 | Scheefe 多重比較法.....                   | 68 |
| 表 4.21 | 尖離峰時段行人之前方總瞬時密度獨立樣本 t 檢定.....        | 69 |
| 表 4.22 | 離峰時段行人行為與前方總瞬時密度之檢定.....             | 69 |
| 表 4.23 | 尖峰時段行人行為與前方總瞬時密度之檢定.....             | 69 |
| 表 4.24 | Scheefe 多重比較法.....                   | 70 |
| 表 4.25 | 離峰時段行人行為-性別列聯表.....                  | 70 |
| 表 4.26 | 尖峰時段行人行為-性別列聯表.....                  | 71 |
| 表 4.27 | 離峰時段行人行為-性別異同列聯表.....                | 72 |
| 表 4.28 | 尖峰時段行人行為-性別異同列聯表.....                | 72 |
| 表 4.29 | 行人行為-號誌剩餘秒數列聯表.....                  | 73 |



|        |                      |    |
|--------|----------------------|----|
| 表 5.1  | 行人行為與解釋變數間相關分析表..... | 75 |
| 表 5.2  | 投入變數摘要表.....         | 76 |
| 表 5.3  | 典型判別函數係數表.....       | 76 |
| 表 5.4  | 類組中心表.....           | 77 |
| 表 5.5  | Fisher 判別函數係數表.....  | 78 |
| 表 5.6  | 分類結果表.....           | 79 |
| 表 5.7  | 行人行為與解釋變數間相關分析表..... | 79 |
| 表 5.8  | 投入變數摘要表.....         | 80 |
| 表 5.9  | 刪除變數摘要表.....         | 80 |
| 表 5.10 | 典型判別函數係數表.....       | 80 |
| 表 5.11 | 類組中心表.....           | 81 |
| 表 5.12 | Fisher 判別函數係數表.....  | 82 |
| 表 5.13 | 分類結果表.....           | 83 |
| 表 5.14 | 向後逐步迴歸步驟摘要表.....     | 84 |
| 表 5.15 | 向前逐步迴歸步驟摘要表.....     | 84 |
| 表 5.16 | 整體模式變數統計檢定表.....     | 85 |
| 表 5.17 | 分類誤差矩陣.....          | 86 |
| 表 5.18 | 向後逐步迴歸步驟摘要表.....     | 86 |
| 表 5.19 | 向前逐步迴歸步驟摘要表.....     | 87 |
| 表 5.20 | 整體模式變數統計檢定表.....     | 88 |
| 表 5.21 | 分類誤差矩陣.....          | 88 |
| 表 5.22 | 離峰行人行為模式.....        | 89 |
| 表 5.23 | 尖峰行人行為模式.....        | 90 |
| 表 5.24 | 模式準確率比較分析表.....      | 91 |

# 圖目錄

|        |                                      |    |
|--------|--------------------------------------|----|
| 圖 1.1  | 研究流程圖.....                           | 5  |
| 圖 1.2  | 研究架構圖.....                           | 7  |
| 圖 2.1  | Fruin 訂定的步道服務水準等級與行人平均佔有面積.....      | 12 |
| 圖 2.2  | 美國 HCM2000 訂定的步道服務水準等級與行人平均佔有面積..... | 14 |
| 圖 2.3  | 單向與雙向行人移動展示圖.....                    | 18 |
| 圖 2.4  | 行人自動分道圖.....                         | 19 |
| 圖 2.5  | 草地路徑自動形成圖.....                       | 19 |
| 圖 3.1  | 跟車模式示意圖.....                         | 24 |
| 圖 3.2  | 行人速度與密度關係圖.....                      | 26 |
| 圖 3.3  | 行人流量與空間關係圖.....                      | 26 |
| 圖 3.4  | 行人速度與流量關係圖.....                      | 27 |
| 圖 3.5  | 行人速度與空間關係圖.....                      | 27 |
| 圖 3.6  | 行人行進過程中三大基本假設行為圖.....                | 29 |
| 圖 4.1  | 現場拍攝示意圖（松壽路與松智路交叉路口行人穿越道）.....       | 39 |
| 圖 4.2  | 離峰時段西往東方向行人流量圖.....                  | 44 |
| 圖 4.3  | 離峰時段東往西方向行人流量圖.....                  | 44 |
| 圖 4.4  | 離峰時段西往東方向行人平均流速圖.....                | 45 |
| 圖 4.5  | 離峰時段東往西方向行人平均流速圖.....                | 45 |
| 圖 4.6  | 尖峰時段西往東方向行人流量圖.....                  | 47 |
| 圖 4.7  | 尖峰時段東往西方向行人流量圖.....                  | 47 |
| 圖 4.8  | 尖峰時段西往東方向行人平均流速圖.....                | 48 |
| 圖 4.9  | 尖峰時段東往西方向行人平均流速圖.....                | 49 |
| 圖 4.10 | 離峰時段行人流量比與平均流速關係圖.....               | 50 |
| 圖 4.11 | 尖峰時段行人流量比與平均流速關係圖.....               | 51 |
| 圖 4.12 | 由西往東方向行人速度-密度關係圖（採線性迴歸）.....         | 53 |
| 圖 4.13 | 由西往東方向行人速度-密度關係圖（採對數迴歸）.....         | 53 |
| 圖 4.14 | 由西往東方向行人速度-密度關係圖（採指數迴歸）.....         | 53 |
| 圖 4.15 | 由東往西方向行人速度-密度關係圖.....                | 54 |
| 圖 4.16 | 雙向混合行人流速度-密度關係圖.....                 | 54 |
| 圖 4.17 | 由西往東方向行人流量-密度關係圖（公式導出）.....          | 55 |
| 圖 4.18 | 由西往東方向行人流量-密度關係圖（樣本求出）.....          | 55 |
| 圖 4.19 | 由東往西方向行人流量-密度關係圖（公式導出）.....          | 56 |
| 圖 4.20 | 由東往西方向行人流量-密度關係圖（樣本求出）.....          | 56 |
| 圖 4.21 | 雙向混合行人流流量-密度關係圖（公式導出）.....           | 57 |
| 圖 4.22 | 雙向混合行人流流量-密度關係圖（樣本求出）.....           | 57 |
| 圖 4.23 | 由西往東方向行人速度-流量關係圖（公式導出）.....          | 58 |

|        |                               |    |
|--------|-------------------------------|----|
| 圖 4.24 | 由西往東方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出)       | 58 |
| 圖 4.25 | 由西往東方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸) | 58 |
| 圖 4.26 | 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (公式導出)       | 59 |
| 圖 4.27 | 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出)       | 59 |
| 圖 4.28 | 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸) | 60 |
| 圖 4.29 | 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (公式導出)        | 60 |
| 圖 4.30 | 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (樣本求出)        | 61 |
| 圖 4.31 | 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸)  | 61 |
| 圖 4.32 | 由西往東方向行人流量-每人空間關係圖 (公式導出)     | 62 |
| 圖 4.33 | 由東往西方向行人流量-每人空間關係圖 (公式導出)     | 62 |
| 圖 4.34 | 雙向混合行人流流量-每人空間關係圖 (公式導出)      | 63 |
| 圖 4.35 | 由西往東方向行人速度-每人空間關係圖 (公式導出)     | 63 |
| 圖 4.36 | 由東往西方向行人速度-每人空間關係圖 (公式導出)     | 64 |
| 圖 4.37 | 雙向混合行人流速度-每人空間關係圖 (公式導出)      | 64 |
| 圖 5.1  | 合併組散佈圖                        | 77 |
| 圖 5.2  | 合併組散佈圖                        | 81 |





# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

兩地之間的往返常須仰賴運輸工具來完成，無論使用何種運輸工具，最初皆須以步行方式至欲使用運輸工具之地點，再者，步行更可視為最基本抵達目的地之運輸工具。步行絕對不只是一種通過性的行為，人行空間也不能視為純粹的通過性地帶。步行除了是一種最簡單、普及、無污染的移動方式之外，同時還是一種社會學習過程，它引發了各種都市與社交活動。以步行為主的旅次，本身就是一種移動的方法，步行移動亦可構成一個完整旅次，因而分析行人移動之特性實為一項值得研究的課題。

近年來，台灣地區都市發展，行人移動頻繁，尤其台北市產生大量步行者，間接使得都市交叉路口、人行道之交通問題漸受矚目，且位於都市的商業地段也提供了受保障的人行空間，民眾於該地段主要交通方式為步行，而行人穿越道、人行道、百貨公司的進出口、運輸場站內更是涉及大量步行者移動的問題。人行空間同時提供了移動與停留的機會，在社會與文化生活上，它同時潛藏著各種豐富的可能。針對人行空間最常出現之問題便是於行人穿越道、人行道、百貨公司的進出口、運輸場站內等之交通擁擠狀況，對於如何改善這些問題，一方面除需加強交通管理及人行動線規劃外，亦有研究提出緊急情況下通道與樓梯人員疏散方案之需要[18]與降低捷運車站乘客動線干擾之建議[10]。因此，進行步行者移動行為特性之研究確實有其必要性。

行人行為是一種由具有相互作用的步行者構成的多粒子體系，細分為超越前方行人行為（超越）、僅作橫向偏移行為（橫移）與跟隨前方行人行為（跟隨），它具有和交通流相似的許多特點：例如密度增加時，系統中會出現各種複雜的行為，如自我組織現象和擁擠相變等。為了研究和描述這些現象，多位學者已經提出了許多模型與相關概念，而這些概念也從各不同的角度出發對行人流進行模擬分析[32][36][39]。相關文獻回顧過程中發現，從微觀角度出發針對都市商業區內人行設施上行人行走特性的文獻較為有限，對於我國商業區行人的行走特性變數之掌握與瞭解仍舊相當模糊，但仍可發現行人動線間彼此發生干擾及衝突的情況，對於行人移動效率以及舒適性影響甚鉅。

有鑑於上述背景與動機，可清楚瞭解到行人流動實為都市街道容量分析的主要部份，而其特性在運輸系統設計與運作上更是重要的考量因素。人行空間系統於都市空間中為一極重要且可及性最高的公共交通設施，而在行人動線設計上則須考慮行人的安全性、旅運型態與便利性。在公共場所、運輸場站、百貨公司、

電影院等地方容易發生密度集中的行人流。因此本研究選取台北市信義區商圈路口人行設施作為觀測地點，欲參考引用車流相關理論及行人移動行為之相關文獻作為分析行人移動特性之依據，建立行人行為判別模式，並判斷行人移動之影響參數，且探討行人移動之相關特性，以作為後續研究與設計人行設施之參考依據，塑造以人為本的交通環境。

## 1.2 研究目的

基於上述研究動機，本研究期望針對商業區人行設施行人特性進行分析，並建構相關人流模式以解釋行人於不同環境下之行為，並以台北市信義商業區路口為例。然當行人流量提高時便需要較寬大的人行道空間，考慮微觀人行道交織的狀況下，人行道設施設計不僅是空間的分配還包括空間、時間和方向下的流量控制效用，因此行人流動特性與行為選擇，對於行人設施之規劃與建立顯得密不可分。研究過程中將對行人流動相關特性進行分析，以瞭解行人在各種不同情況下與人流特性之關係性，進而構建微觀行人行為模式。因此本研究之具體研究目的如下：

1. 研析國內外都市商業區行人行為與特性之相關文獻，蒐集彙整行人之行為(超越、橫移、跟隨)...等資料，而以台北市信義區路口為例，配合行人移動特性之調查與研析，進而利用統計分析，釐清影響行人行為相關變因參數，以供建構行人行為判別模式之依據。
2. 根據實地攝影調查國內信義商業區行人之移動特性及各時段流量，應用蒐集之資料繪製樣本散佈圖，配合統計檢定方法，說明不同行人流動特性。
3. 將蒐集調查之人流資料與相關影響因素，匯整後應用分類技術中判別分析(Discriminant Analysis) 及個體選擇模式中多項羅吉斯迴歸分析(Multinomial Logistic Regression Analysis)方法，進行歸納分類並判斷行人移動行為，建立判別模式及多項羅吉斯迴歸模式。
4. 本研究所建立之國內商業區行人行為判別模式(判別行人超越、橫移或跟隨行為)，可作為未來發展人流模式之基礎，並可以提供相關單位規劃改善人行設施與相關措施、控制策略之參考依據。

## 1.3 研究對象及範圍限制

本研究主要係研究商業區人行設施上行人之特性及行為，以行人為主，不包括汽車、機車或腳踏車，主要觀察具行人專用時相路口行人穿越道上之行人。行人步行時會依據不同情境而有不同反應，其中的反應過程於本研究中將對於調查

資料統整分析後，並配合行人流相關文獻，建立一套行人行為模式，以判別行人於行進中是加快速度超越前方行人之行為（超越），或是僅作橫向移動（橫移）亦或是繼續跟隨前方行人之行為（跟隨），以解釋所觀察到之行為表現。另外，在相關範圍限制方面，本研究將研究的人行設施環境視為已知的先決條件，不考慮受到設施之影響，只考慮受到行人與行人之間互動所產生的影響，且主要探討正前方有行人的後方行人行為。

## 1.4 研究流程

依據前述研究動機、目的、對象、範圍等構思，本研究研議圖 1.1 之研究流程圖，而進行各項研究工作如下：

### 1. 確立研究方向與目的

目前行人相關的研究不少，但行人的行為仍未有個確定的模型可以完整表達。因此，本研究利用相關文獻、方法與行人調查而研析行人行為特性，進而以微觀角度來構建行人行為的判別模式，來說明行人的移動行為，可供研究者及相關機構單位參考。

### 2. 蒐集國內外相關文獻，進行回顧、探討與研析

針對國內外於人流理論、車流理論以及分析應用方法之相關文獻進行回顧，以瞭解目前之研究發展情形，進而明確界定研究範圍與對象，並探究其文獻中之眾多理論基礎與豐富的內容，加以運用綜合歸納文獻所採用之研究方法，以期作為本研究理論基礎與研究方法之參考依據。

### 3. 界定研究範圍與對象

經由文獻的回顧與整理，對於相關理論的瞭解，使得研究方向及目標更為明確，進而能夠瞭解深入探討於本計畫研究方向與目的，而能將研究範圍及研究的對象加以界定，由大範圍的行人型態，研析一套能夠套用能將焦點將集中於特定行人上，甚至在個體行人的身上，若能夠確認或則使得研究更深入更具價值。因此，本研究將以商業區人行設施上之具行人專用時相十字路口行人穿越道為主要範圍，而以行人為對象。

### 4. 引用理論基礎與研究方法

依文獻回顧整理後所得之理論與方法，選擇使用適當之理論基礎與相關應用分析研究方法，以做為從事研究、資料調查蒐集分析與模式構建之依據。本研究將引用文獻回顧法、攝影調查法、統計檢定、統計迴歸方法、單因子變異數分析、

相關分析、判別分析法、多項羅吉斯迴歸方法等，進行變數相關檢定分析、建構模式與驗證。

#### 5. 調查蒐集都市商業區行人流資料

選定符合欲研究之商業區人行設施後，在確認實驗錄影範圍後，進行實際攝影調查，再將所蒐集人流相關資料系統化整理統計並製表，利用統計分析與檢定方法加以驗證並予以歸類，以利於後續從事行人行為特性之研析。

#### 6. 行人流動特性與影響因素分析

將以台北市信義區商圈之行人流特性為例，並比較各不同人行設施於尖離峰不同人潮時段，流量、密度對於行人流動特性之影響，將所蒐集整理後之行人資料進行分析，思考行人可能的狀況找出其中的影響（例如：行人的速度，跟隨的距離，周遭環境...等原因），推求影響行人模式之顯著變數，以作為模式構建之影響變數。

#### 7. 構建國內都市商業區行人行為模式

利用所蒐集之行人流資料與所推求之顯著影響變數，考慮其中可能的原因，構建合乎且能判別行人行走時，其所可能之行為（超越、橫移或跟隨行為），希冀利用多項羅吉斯迴歸方法及判別分析法構建出微觀行人行為模式。

#### 8. 模式參數校估與驗證

針對所構建之行人行為模式進行參數校估，並利用再代入法以及交叉驗證法來驗證模式的預測能力，並確認本研究計畫的結果，更期待能夠符合行人流的狀況。

#### 9. 結論與建議

綜合本研究所獲得之人流特性與模式預測能力，進而提出結論與建議，以期未來將可提供相關單位規劃改善人行設施與相關措施、控制策略之參考依據，期望能夠達到拋磚引玉的效果，使國內對於行人流的發展有更進一步的研究，提供研究者的參考依據。



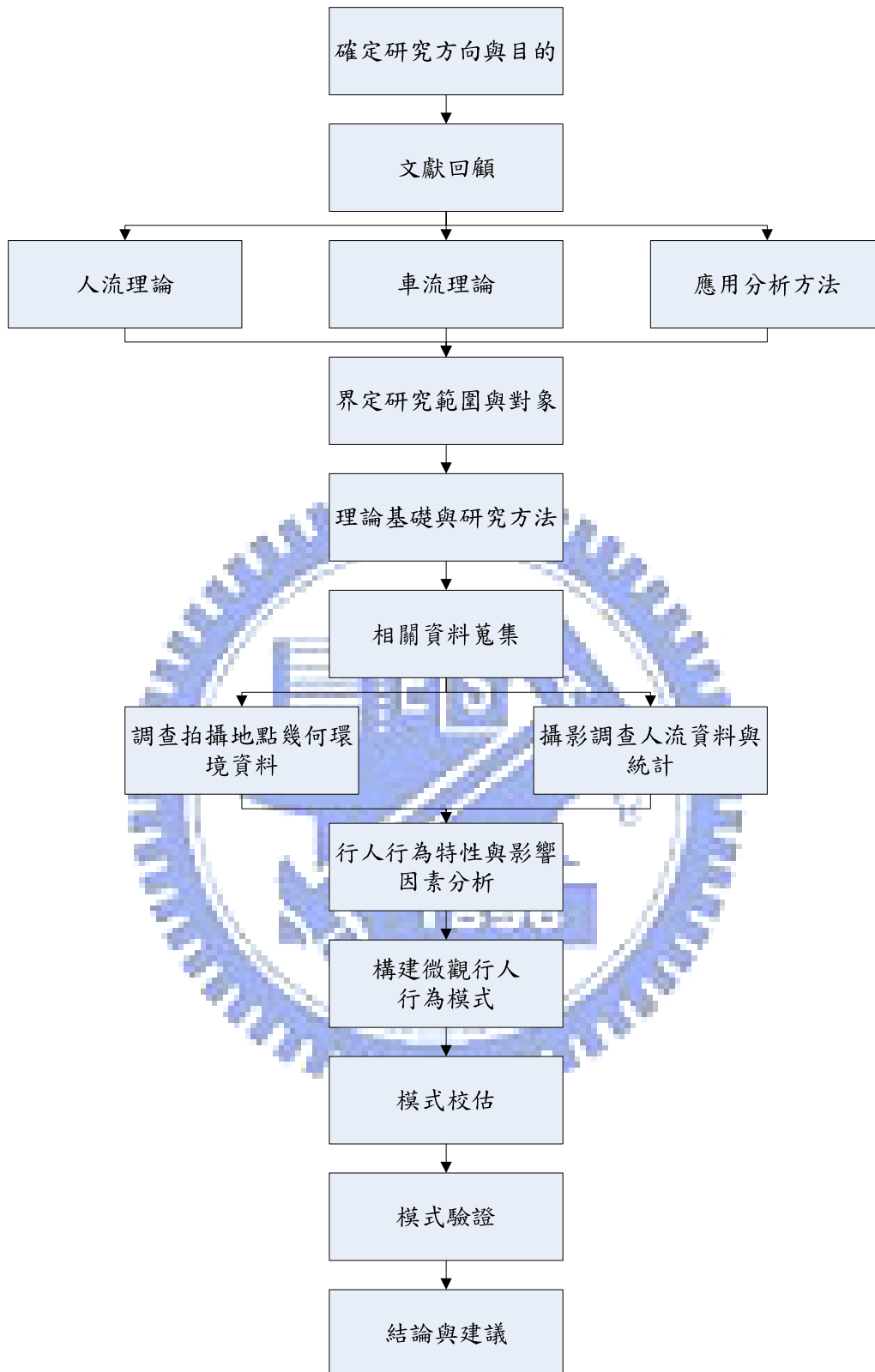


圖 1.1 研究流程圖

## 1.5 研究架構

本研究之主要研究架構，首先針對國內外車流理論、跟車理論、巨觀行人模式、微觀行人模式等相關研究，進行回顧與整理，使對基礎行人流有所認知，探究文獻內之理論及意涵，並瞭解目前學術於該議題上之發展情形，且加以綜合歸納文獻所採用之研究方法、結果之優劣，以作為本研究之理論基礎與研究方法之參考依據。另外，再蒐集影響行人行為之相關因素與相關行為分析方法等相關文獻，以作為本研究於構建行人行為模式之分析應用方法。

於資料調查蒐集方面，先選定符合本研究範圍之路口行人穿越道後，以實際攝影調查之方式蒐集行人行為之相關資料，並區分巨觀以及微觀兩類型；巨觀資料以探討該人行設施上之時段特性、流量比特性，並利用車流理論中 QKV 關係概念，構建該人行設施上行人之 QKV 關係式。微觀資料則觀察個別行人之移動行為，如跟隨前方行人、超越前方行人以及僅作橫向移動，並考慮前後方行人速度差異、跟隨間距、前方總瞬時密度、性別、前後行人性別異同、綠燈時相剩餘秒數等因素進行因素與特性分析，推求影響行人移動行為之顯著變數，以作為模式構建之基礎。

在模式構建方面，以判別分析方法與多項羅吉斯迴歸分析方法進行模式構建。最後，針對構建之行人行為模式，利用再代入法以及交叉驗證法對模式進行驗證之工作，以檢視模式本身之預測準確率與適用性，本研究架構圖如圖 1.2。

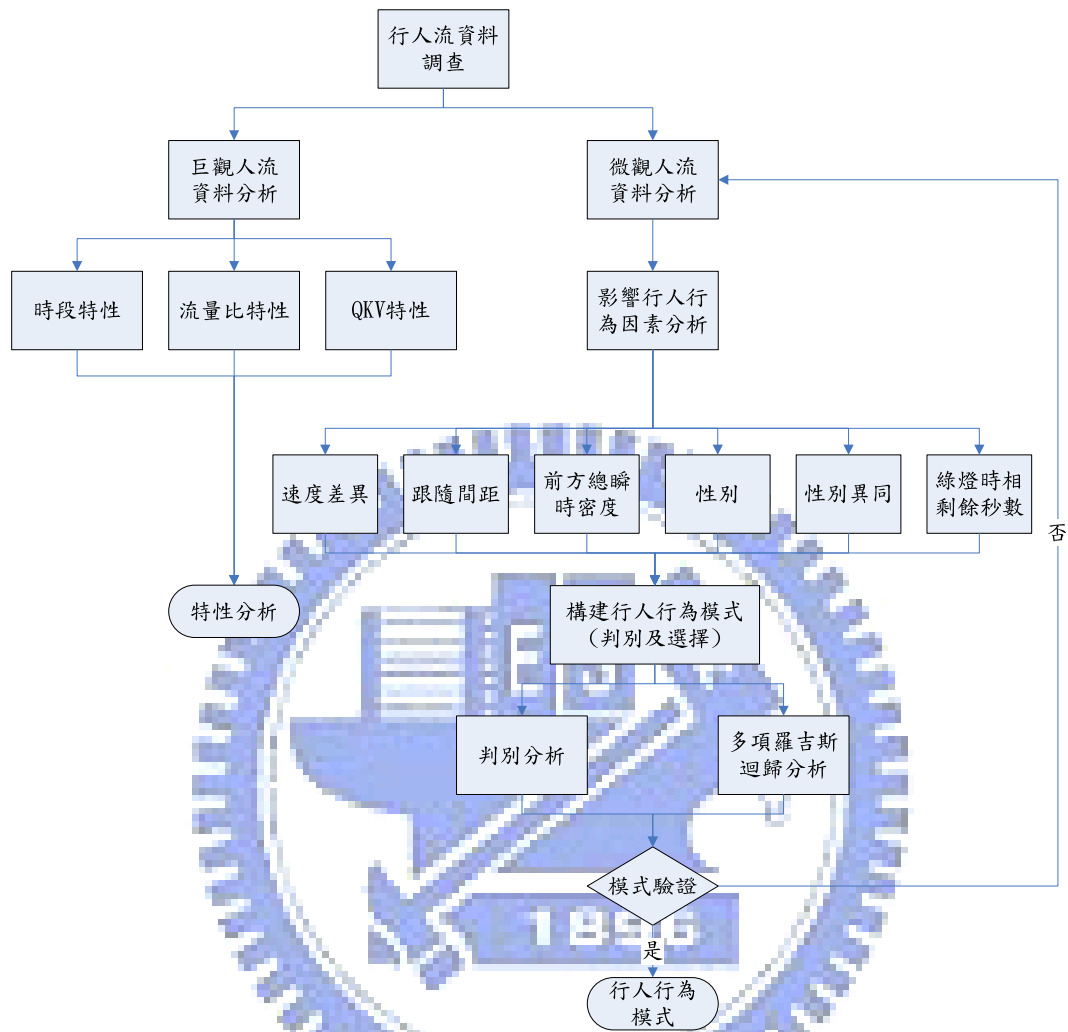


圖 1.2 研究架構圖

## 第二章 文獻回顧

本研究針對國內外有關行人流理論與環境設施對行人之影響與模式構建之影響變數等相關文獻進行回顧與整理，以瞭解目前於行人行為之研究方法、行人分析方式、探討影響行人流之因素及相關研究所使用之研究方法與結果，以作為本研究理論基礎與研究方法之參考依據。

### 2.1 人行設施與行走環境

行人環境與場所是提供行人步行的空間及設施，本研究首先針對以往對人行設施進行研究的文獻，以及研究捷運車站行走環境的文獻進行回顧。

#### 2.1.1 人行步道

本研究主要針對台北市信義區商圈內行人行走設施進行研究，因此藉由相關對於人行步道的研究加強對行人之瞭解。

學者黎韋利[17]以類似車流理論為基礎利用密度、速度、流量等易於量化指標，界定人行道服務水準之方法，改變以行人主觀感受做為人行道服務水準評估之方法。並引入模糊理論，藉以處理此具有質化性質之主觀判斷與模糊問題的衡量，如此能有效且較為適切的描述，在處理方法上也較具有彈性與簡便，因此在衡量行人本身主觀感受之服務水準滿意程度的問題中，提供一個可行的方向。經實例驗證，以行人主觀感受為出發點之服務水準評估方法較傳統的評估方法更能真切反應行人之主觀認知感受。

黃俊杰[15]探討都市人行道介面組成型態對於行人知覺之影響，透過問卷和照片的訪談，調查台北市主要道路之戶外人行道空間介面型態與實質因子，以各種情境模擬因子透過實驗設計分析行人的知覺是否有交互影響，並對整體行人偏好提出預測模式。

林上閔[8]透過問卷調查方式，並將問卷區分為兩階段，第一階段乃是以五分態度量表萃取受訪行人重視的步道屬性，第二階段則是採用敘述性偏好方法輔以照片說明屬性值定義與步道類型方案來陳述步道情境，讓受訪者填答喜好程度及第一第二偏好，再利用個體需求模式中的多項羅吉特模式與模糊修正模式來校估選擇模式。以探討出都市商業區行人對步道類型選擇偏好。

Yordphol Tanaboriboon [40] 以錄影調查方式，調查新加坡主要行人集中道路

的人行道、走道等設施，進行行人行走速率、流量及密度關係之研究。同樣採用 Greenshield's 的速率與密度線性迴歸模式，求出流量與密度之關係式。作者在分析過程中將行人以性別、年齡予以分群，發現男人較女人行走速率每分鐘快 10 公尺而年輕人較老人快 20 公尺。並將調查結果與西方國家比較發現，新加坡人行走速率較西方人為慢但最大流量則較為高。

Tarawneh M.S. [41] 現場調查顯示，位於約旦穿越斑馬線上的行人通過速率與性別、年齡、人群大小、街道寬度有顯著之影響。調查得之平均行走速率為 1.34 公尺/秒。

1. 性別：男性行走平均速率為每秒 1.35 公尺，略高於女性每秒 1.33 公尺。
2. 年齡：21 至 30 歲之平均行走速率最快，速度為每秒 1.49 公尺；超過 65 歲平均行走速率最慢，速度為每秒 1.17 公尺。
3. 人群大小：三人以上人群之行走速率慢於一個人或兩個人。
4. 街道寬度：行走在寬路幅的速率比窄路幅的速率快。

Abishai Polus [23] 以現場錄影觀測分析以色列商業區的人行道上之行人特性，其中在 Solel Boneh 調查得男性平均速率為 1.28 公尺/秒，女性平均速率為 1.14 公尺/秒，且發現行走速率與密度呈現負斜率之直線關係，參數校估結果顯示以三區段的直線迴歸關係式較為適合，並依此建立人流之服務水準可做為規劃及設計參考。

## 2.1.2 捷運車站

許添本[13]選定捷運台北車站內聯外通道，於擁擠時刻調查行人流動特性。調查方法乃是採用錄影調查法：使用錄影機將調查路段拍攝成錄影帶，配合 1/100 秒之計時器反覆觀察分析攝影畫面。錄影調查法的優點是可將調查現場畫面反覆觀察，並且可經由畫面定格器仔細分析每一時刻之行人之特性；而缺點是攝影機必須放置於適當位置，並且觀測物體會因攝影機之俯仰角度、高度而有觀測的誤差。

一般行人密度的量測乃是利用車流理論中  $Q=K*V$  的流量公式，經由觀測人流的流量及速率而推導得密度，而作者考慮到捷運車站乃是人潮大量聚集的公共場站必須維持人行動線的安全性、流暢性及便利性，因此期望透過直接觀測密度反映出行人流密度與流量的關係性。於是作者於捷運車站走道之參考線前後 0.5、1、2 公尺範圍內進行密度直接量測方式，並利用 Greenshield's 的速率與密度線性模式，最後推導出該走道單方向之流量。將此調查與各國資料進行比較，發現我國捷運車站之行人流密度較高且速度較快，顯得我國搭乘捷運旅客較外國乘客為急躁。

林廉凱[10]針對捷運車站通道動線干擾問題，以忠孝復興站走道為分析對象，採用巨觀與微觀尺度建立面積法、帶寬法與刺激與反應等分析方法，並配合現場觀測與錄影觀察方法進行分析，得到結果：乘客受到干擾後所採取的趨避方式主要有二：改變行走方向及調整步伐速率，而當走道上密度較高時，「跟人行為」較為明顯，而可適用於  $Q=K*V$  的流量公式；但當密度未達一定的水準時，跟人行為並不明顯，且乘客與乘客的趨避行為可視為一連串的刺激與反應的調整適應行為。

陳文彬[20] 引用灰色理論搭配產生的質化與量化績效指標，對與乘客關係最密切的行走動線做探索，進行綜合評估。作者提出一套地下車站動線服務績效衡量的架構與程序，並評估其實用性、操作性、合理性，在程序架構中針對地下車站的特性，進而以「節點（公共設施）、節線（通道、路徑標示）」的網路概念，探討乘客於地下車站接受一連串動線服務設施的績效，試著構建整體動線服務績效模式找出影響乘客動線的關鍵節點、或節線，經由評估準則建立其評估指標，以灰色統計法篩選適合指標後，以灰色層級分析法構建指標的影響權重後，再以滿意度分析進行綜合評估。最後並以台北火車站、捷運公館站兩種不同類型車站做比較驗證其實用性，結果顯示在不同特性的車站，乘客所重視的指標屬性皆不同。

William H.K. Lam [45] [46] 依各場所如號誌化路口、輕軌車站(LRT)之交叉路口、廣九鐵路(KCR)車站、捷運車站(MRT)等人行設施進行人行流特性蒐集與分析。採用錄影蒐集法及現場計數方式調查，並對於行人進行提問。分析結果顯示：

1. 行走距離：搭乘 KCR 車站乘客行走距離較 LRT 及 MRT 乘客為長。原因乃是 KCR 車站為市郊與都市之鐵路運輸，服務站距較長。
2. 行走速率：行人在室外的行走速率明顯高於室內。而在號誌化交叉路口，行人紅燈穿越較在綠燈行走速率為快。
3. 速率與密度之關係：在室內適合採用線性的 Greenshield's model；室外則適用 Underwood's model；交叉路口適用 Bell's model；LRT 之交叉路口則適用 Underwood's model。作者說明沒有一種單一模式可以適合所有人行設施，而必須更廣泛蒐集更多資料以建立完整的模式。

## 2.2 人行設施服務水準

行人設施服務水準方面的研究，乃是從車流觀點開始進行探討的。服務水準在車流中乃是指駕駛人或乘客對於車流操作狀況的一種「質的度量」，在車流系統的服務水準最常用的因子為速度、運行時間、操作自由度、交通的流暢性、舒

適性、便利性及安全性。而行人的衡量因子除了與車流相似，仍還有一些行人專屬的度量因子，例如：穿越行人的難易度（或超越慢行者的可能性）、與主要行人流反向行走的能力、不必改變步行速度或步伐且不與他人產生衝突的能力 [43]。

現有的行人交通設施服務水準之評估模式均以車流理論為基礎，利用易觀測的度量因子如速度(speed)和個人所佔有的空間(space)或密度等易於量化的指標，做為衡量人行道服務水準滿意與否的考量依據，而各國於此方面之研究，所定出的服務水準級距及級數因地域性及行人特性的不同有差異，因此本研究對以往國外學者 Fruin、Zupan & Pushkarer、美國 2000 年公路容量手冊 [43]（以下簡稱美國 HCM2000）與 2001 年台灣地區公路容量手冊[4]（以下簡稱台灣 HCM2001）進行回顧。

澳洲學者 Colin Heson [28] 以文獻回顧方式對 HCM 對於行人設施之服務水準進行探討，其中可以從幾個方面探討行人特性：

1. 從觀察得知不同行人設施之行人容量及流率。
2. 時間變異：從季節性、每日、每小時不同時間性之探討人流變化量。
3. 空間變異：包括不同方向之流量與流量比例探討。
4. 速率：速率之趨勢，隨著時間、旅次目的之變異。
5. 類似跟車之「跟人」行為：探討行人間之空間間隔(spacing)或時間間隔(headway)。

至於澳洲方面之行人速率的調查，平均流速為 89 公尺/分，而上樓梯之速率為 48.2 公尺/分，下樓梯之速率為 56.6 公尺/分。

Fruin[30]於其研究中訂出步道六個服務水準，各代表不同的行人空間及流動特性，如圖 2.1 及表 2.1 所示。但其研究結果有以下兩點需注意：(1) 此乃針對通勤者所得出的研究；(2) 利用實驗控制通道寬度來產生高密度的情況，且其服務水準是假設在均質的條件下所得到的，因此較屬於理想值。

Pushkarer & Zupan[37]除了研究均質的情況下，也考慮了人群的狀態，他們將步道的服務水準分為七級，詳見表 2.2。對於二者訂定的服務水準，均質的行人流與有群集人群的行人流其差異發生在不受限制的及受限制的行人流中，此表示群集的人群只在低流量時才有影響，在中、高流量時由於行人密集度較高，人群的現象較不明顯，因此就減低了其影響力。

二者的研究並未將其所制訂的服務水準限制在某一特定的行人旅次上，只是針對行人流的實際狀況加以分析，得出結果。

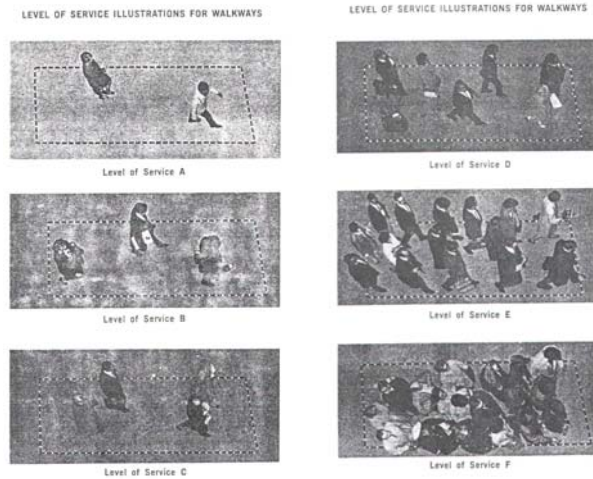


圖 2.1 Fruin 訂定的步道服務水準等級與行人平均佔有面積  
資料來源[30]

表 2.1 Fruin 訂定的步道服務水準等級

| 服務水準等級 | 平均佔有面積 (m <sup>2</sup> /p) | 密度 (p/m <sup>2</sup> ) | 流量 (p/min/m) | 行人流動狀態   |
|--------|----------------------------|------------------------|--------------|--|
| A      | ≥3.25                      | ≤0.30                  | ≤3           | 可自由選擇步行速度<br>可超越慢行的行人<br>穿越時不與他人發生衝突                       |
| B      | 2.23 ~ 3.25                | 0.31 ~ 0.42            | 4 ~ 33       | 尚有足夠的空間可供選擇正常步行速度<br>有反向的流動及穿越現象，產生小衝突<br>輕微的影響步行速度及流量     |
| C      | 1.40 ~ 2.22                | 0.43 ~ 0.71            | 34 ~ 50      | 選擇自由步行速度到限制<br>有反向的流動及穿越現象，有較高衝突機率<br>需隨時調整速度及方向以避免與他人發生衝突 |
| D      | 0.93 ~ 1.39                | 0.72 ~ 1.08            | 51 ~ 66      | 正常的步行速度受到限制<br>不易超越慢行的人<br>改變方向及穿越的行動很困難，無法避免衝突            |
| E      | 0.47 ~ 0.92                | 1.09 ~ 2.13            | 67 ~ 82      | 行人需改變步伐而慢行<br>無法超越慢行的人<br>反向行動及超越行動極為困難                    |
| F      | <0.47                      | >2.13                  | >82          | 步行速度受到極大的限制，跟著前方人群移動<br>無法避免與他人發生衝突<br>反向行走及穿越行動極為不可能      |

資料來源[30]



表 2.2 Pushkarer & Zupan 訂定的行人流流動品質

| 流動品質  | 均質人群的行人流                      |                 | 有群集人群的行人流                     |                 | 行人流動狀況                    |
|-------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|
|       | 平均佔有面積<br>(m <sup>2</sup> /p) | 流量<br>(p/min/m) | 平均佔有面積<br>(m <sup>2</sup> /p) | 流量<br>(p/min/m) |                           |
| 寬闊的   | >49                           | <2              | >49                           | <1.6            | 行人間沒有任何的相互影響              |
| 不受限制的 | 12~49                         | 2~7             | 6~49                          | 1.6~15          | 行人流中開始有些人群出現<br>行人可以自在的行走 |
| 受限制的  | 4~12                          | 7~20            | 4~6                           | 15~20           | 行進時會與他人有少許接觸              |
| 受束縛的  | 2~4                           | 20~33           | 2~4                           | 20~33           | 不可自由的選擇步行速度<br>有衝突產生      |
| 擁擠的   | 1.5~2                         | 33~46           | 1.5~2                         | 33~46           | 行人流仍屬流暢但有許多衝<br>突，且步行速度降低 |
| 擁塞的   | 1~1.5                         | 46~59           | 1~1.5                         | 46~59           | 行人流產生擁擠不堪的狀況              |
| 無法動彈的 | 0.2~1                         | 59~82           | 0.2~1                         | >59             | 非常的擁擠                     |

資料來源[37]

美國 HCM2000 針對大部分地區之行人流動情況，以尖峰 15 分鐘之行人通過量與人行道有效寬度作考量，以實際調查的資料去分析，參考 Fruin 的研究，訂出六級服務水準各代表不同的行人空間及流動特性，如表 2.3 及圖 2.2 所示。

台灣 HCM2001 整理關於行人設施服務水準的文獻，其中參考美國 HCM2000、國內台北市政府工務局新工處制訂的步道服務水準[3]等研究，分別對商業區、通勤區之水平步道服務水準定義及階梯服務水準定義，再配合實地抽樣問卷調查和錄影帶實際點算統計資料以分析等級，各服務水準等級劃分乃按行人平均佔有面積、平均速率、平均密度及流量等四個指標予量化，而獲得行人交通設施服務水準等級標準表，如表 2.4。

表 2.3 美國 HCM2000 訂定的步道服務水準等級

| 服務水準 | 描述   | 行人佔有空間<br>(m <sup>2</sup> /p) | 行人平均速率<br>(m/s) | 行人流率<br>(p/min/m) | v/c       |
|------|------|-------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| A    | 完全自由 | ≥5.6                          | ≥1.30           | ≤16               | ≤0.21     |
| B    | 偶受阻礙 | 3.7~5.6                       | 1.27~1.30       | 16~23             | 0.21~0.31 |
| C    | 受限制  | 2.2~3.7                       | 1.22~1.27       | 23~33             | 0.31~0.44 |
| D    | 中度擁擠 | 1.4~2.2                       | 1.14~1.22       | 33~49             | 0.44~0.65 |
| E    | 嚴重擁擠 | 0.75~1.4                      | 0.75~1.14       | 49~75             | 0.65~1.0  |
| F    | 塞滿人群 | ≤0.75                         | ≤0.75           | variable          | variable  |

資料來源[43]

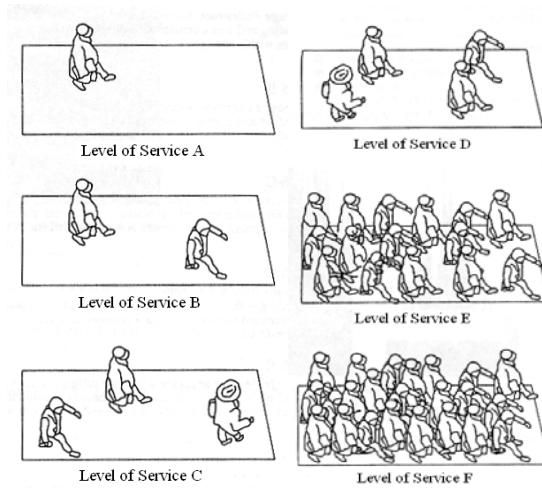


圖 2.2 美國 HCM2000 訂定的步道服務水準等級與行人平均佔有面積  
資料來源[43]

表 2.4 行人交通設施服務水準等級

| 服務水準 |          |     | 項目          | 行人平均佔有面積<br>(公尺 <sup>2</sup> /人) | 流量<br>(人/分公尺寬) | 平均密度<br>(人/公尺 <sup>2</sup> ) | 平均速度<br>(公尺/分) |
|------|----------|-----|-------------|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| A    | 水平<br>步道 | 商業區 | $\geq 3.13$ | $\leq 22$                        | $\leq 0.32$    | $> 67$                       |                |
|      |          | 通勤區 | $\geq 3.13$ | $\leq 23$                        | $\leq 0.32$    | $> 72$                       |                |
|      | 階梯       |     | $\geq 1.82$ | $\leq 17.5$                      | $\leq 0.55$    | $> 32$                       |                |
| B    | 水平<br>步道 | 商業區 | 2.08-3.12   | 23-30                            | 0.33-0.48      | 63-67                        |                |
|      |          | 通勤區 | 2.08-3.12   | 24-33                            | 0.33-0.48      | 69-72                        |                |
|      | 階梯       |     | 1.22-1.81   | 17.6-25.0                        | 0.56-0.82      | 30.5-32.0                    |                |
| C    | 水平<br>步道 | 商業區 | 1.28-2.07   | 31-48                            | 0.49-0.78      | 58-63                        |                |
|      |          | 通勤區 | 1.28-2.07   | 34-49                            | 0.49-0.78      | 63-69                        |                |
|      | 階梯       |     | 0.85-1.21   | 25.1-34                          | 0.83-1.18      | 28.9-30.5                    |                |
| D    | 水平<br>步道 | 商業區 | 0.85-1.27   | 49-59                            | 0.79-1.18      | 50-58                        |                |
|      |          | 通勤區 | 0.85-1.27   | 50-66                            | 0.79-1.18      | 56-63                        |                |
|      | 階梯       |     | 0.60-0.84   | 34.1-44.5                        | 1.19-1.66      | 26.7-28.9                    |                |
| E    | 水平<br>步道 | 商業區 | 0.48-0.84   | 60-72                            | 1.19-2.10      | 35-50                        |                |
|      |          | 通勤區 | 0.48-0.84   | 67-80                            | 1.19-2.10      | 38-56                        |                |
|      | 階梯       |     | 0.36-0.59   | 44.6-60                          | 1.67-2.80      | 21.7-26.7                    |                |
| F    | 水平<br>步道 | 商業區 | $< 0.48$    | $> 72$                           | $> 2.10$       | $< 35$                       |                |
|      |          | 通勤區 | $< 0.48$    | $> 80$                           | $> 2.10$       | $< 38$                       |                |
|      | 階梯       |     | $< 0.36$    | $> 60$                           | $> 2.80$       | $< 21.7$                     |                |

資料來源[21]

## 2.3 人流特性

人流與車流類似，人流在移動上受到個人行走習性與周遭環境的影響，且人流較車流具有高度的移動自由度，分析上更為複雜。但其流量、密度、速度之基本關係與車流之特性是類似的。當行人的流量與密度增加時，流速與行人的移動容易程度相對的就會降低，並且當密度增加超過臨界值之後，流量與流速將會急速下降。以下針對行人流不同的觀測指標並參考美國公路容量手冊進行探討。

### 一、步行特性

溫日宏[16]指出，行人步行行為具有下列特性：

1. 係靠雙腳進行位移，其移動速度皆較其他運具慢。
2. 肉體無法與剛性物體相抗衡，故需有行人保護設施。
3. 人體受體力限制，步行距離較短。
4. 行人特性複雜，行為難以預料。
5. 行人體力有限，不喜歡走上、下較高的坡度。
6. 行人交通屬短程移動，活動地點集中在較小地區。
7. 行人年齡會影響交通安全，小孩行走漫不經心，老年者則行動緩慢。

### 二、行走速度

行人速度是平均行人行走速度，一般以每秒多少公尺(m/s)為單位。行人步行速率受許多因素影響，例如年齡、健康情形、障礙物之存在、交通設施之性質、行人密度等。丁育群[1]指出行人於自然情形下，易受下列因素影響：

1. 環境條件：季節、時間、周遭環境(步道長度、寬度)...
2. 生理條件：性別、健康、年齡...
3. 服裝：行李、穿著...
4. 心理條件：旅次目的、環境對心理的影響...

另外，美國 HCM2000 指出行人行走速度與年長行人（65 歲以上）在所有行人中佔有的比例有高度相關性。若其中 0~20%的行人為老年人，則在走道上平均速度為 1.2(m/s)；若老年人的比例超過 20%，則平均行走速度降為 1.0(m/s)。另外，若走道坡度每增加 10%，平均行走速度將減少 0.1(m/s)。

### 三、行人流量與行人密度

美國 HCM2000 定義每單位寬度行人流量是指單位時間與單位距離內所通過的行人數量，通常以人/分/公尺(p/min/m)為單位。行人密度是指在每單位人行道

或排隊地區的平均行人數量，以每平方公尺多少行人表示( $p/m^2$ )。與車流一樣，流量、密度與速度存在以下關係，如式 2.1：

$$V_{ped} = S_{ped} * D_{ped} \dots\dots\dots (式 2.1)$$

其中  $V_{ped}$  為流量， $S_{ped}$  為行人速度， $D_{ped}$  為行人密度。

#### 四、行人空間

密度另一個更有用的表達方式是使用其倒數，即每人所佔有的空間，所謂的行人空間，即在人行道上或等候區內，平均每個人所佔有之面積，以平方公尺/人( $m^2/p$ )表示。美國 HCM2000 指出簡化的人體橢圓型尺寸為 0.5 公尺乘以 0.6 公尺，總面積為 0.3 平方公尺，可用來表示單一行人的尺寸大小；而行人身體不接觸時，每人則佔有 0.75 平方公尺的空間。

Hall[31]提到人與人的距離可以分為密接距離、個人距離、社會距離、公眾距離（見表2.5）。當行人行走時會與他人及周圍障礙物保持0.3~0.45公尺的自衛距離，因此步道寬度設計上必須滿足人體空間與人與人保持的距離之基本條件。

表 2.5 Hall 之人與人空間距離特性

| 人與人距離 | 長度(m)   | 特性             |
|-------|---------|----------------|
| 密接距離  | 0.7 以下  | 人與人接觸，感觸對方熱氣   |
| 個人距離  | 0.7~1.2 | 伸手可處及對方        |
| 社會距離  | 1.2~3.7 | 伸手無法觸及對方       |
| 公眾距離  | 3.7 以上  | 行人危急，預防或避難所需空間 |

資料來源[31]

#### 五、步道有效寬度

行人步道上經常有固定的障礙物，如牆壁，路燈，電話亭等。行人有避開這些障礙物的傾向，因而減少步道之有效寬度及其相關之容量。台灣的行人步道常在騎樓之下，騎樓除有固定障礙物之外，亦有活動性的障礙物，如機車、攤販、購物之人群及商品。階梯、人行陸橋及地下道也常有攤販及圍觀購買的人群造成對行人交通之阻礙。

行人步道的概念被用來分析行人流量，與分析高速公路流量類似。然而步道的概念不應該被用在行人分析，因為研究顯示行人並不會走在有組織的路上。為了避免干擾，美國 HCM2000 指出當兩個行人面對面經過時，每個人至少要有 0.8 公尺的走道寬度。而側身行走的情形只有在最擁擠的情況下產生。

無障礙的走道寬度指的是可以有效用於行人移動的走道部份。移動的行人不喜歡靠近路邊欄杆或建築物圍牆。因此，這些無用的空間在分析時必須被扣除，其他像是路燈電線杆、郵箱與停車格等都應該也被排除計算。AASHTO[24]建議無障礙走道寬度至少應為 1.5 公尺，在商業區必須為 2.4 公尺或是更多，額外的寬度是為了確保無障礙寬度。在號誌或非號誌化路口有效的寬度隨各地區標準不同而異。若無法取得地區資料，預設 3.6 公尺可適用於行人穿越道的寬度。

## 六、行人形式與旅次目的

人流分析一般是基於行人人群行走速度的平均數，由於不同的旅次目的、土地使用、群體形式、年齡或其他因素將影響行走特性。行人往返工作地點，使用相同的設施，以比購物者高的速度行走。年長或是年輕人走的比其他人羣緩慢。購物者不只走的比通勤者慢，甚至會因為停下來觀看購物櫥窗或攜帶行李而減少有效走道寬度，這些都應該在分析速度、流量、密度曲線時調整。

## 七、行人移動方式與選擇

假設行進中的行人有三種基本行為：移動、避免、打旋[45]。步行的方向決定於權重，利用基本行為與權重比率的乘積加總而得。當行人前進方向無障礙，此時即為基本行為中的“移動”；當行人的動線上有其他行人阻擋，會選擇避開，此時即為基本行為中的“避免”；當行人前進遇到反向前進的行人，或是前方同向行人的速度較慢，為了避免碰撞，會選擇避開或是超越，此為基本行為中的“打旋”，但是當行人遇到前方行人與自己有同樣速度與方向時，行人將選擇排隊在後面而不會超越。而本模型行人之移動只有四個方向，根據上述假設，行人的行為會以三大基本行為做加權，取四個方向中加權數值最大的，從而決定下一個時間點移動的方向，當加權後對四個方向的數值為零，則行人不會移動。

Seyfried[38]對行人流動提出一個修正的模擬模式保證不會發生預期速度為負值的情況，並且行人的行為只會直接被前面一個行人的行為所影響。同時可以再生出巨觀下正確的密度和速度，但卻不必然能夠正確地描述微觀的情形，也發現到在平均速度下行人的空間需求比平均空間需求少許多，這個現象解釋為模式的“短視”，也就是說行人不只有對前面的人立刻適應速度，同時也對更前面的情形做適應。

Teknomo[42]建構一微觀人流之模式，模式中每個行人都視為單獨且自主的個體，可自由選擇路線與設施(參見圖 2.3)，每位行人的範圍則設為一直徑 50-90cm 的圓，並有其起始位置、起始時間、起始速率，可隨機選擇做為輸入。系統中每個行人都會受到兩種外力影響，一為同向前進的力，另一則為互斥力，當系統中有二個以上之行人時，兩力中的同向力會與互斥力同時發生。一力會驅使行人前進，而另一力則會與周遭的其它行人產生強大互斥，第一種互斥力表示

行人間相遇與超越追趕之行為。

單一人行道之一般模式如下：

$$m \frac{d^2 p_i(t)}{dt^2} + \frac{dp_i(t)}{dt} = \mu_{\max} \left\{ \frac{e(t) - p_i(t)}{\alpha \|e(t) - p_i(t)\|} + \frac{2r - y(t)}{x \|p_k(t) - p_i(t)\|} + \sum_j \left( \frac{2r}{\|p_j(t) - p_i(t)\|} - 1 \right) \left( \frac{p_j(t) - p_i(t)}{\beta \|p_j(t) - p_i(t)\|} \right) \right\} \dots (式 2.2)$$

<其中 y 代表其他行人侵入鄰近範圍之行為，r 則為行人之影響半徑。>

模式中等號右邊的第一部份表示向前推動，第二部份則為避免碰撞而向其他方向移動，以保持兩靠近的行人間之距離，第三部份可保證無重疊的情況發生。模式中的四個參數包括：m, α, β, γ，其中 m 是供當其他三個參數僅應用於個別的力時，予以將三力結合一起。

從相關研究發現，雖然每個行人的速率不同，但行人們偏好跟隨其他行人之後而不是走一新路徑，這種現象是因為人行道會趨使行人間的相互影響減少。本研究發現為了維持服務水準，當流量提高時便需要較寬大的空間，考慮微觀人行道交織的狀況，人行道設施設計不僅是空間的分配還包括空間、時間和方向下的流量控制效用，因此行人流動特性與行為選擇，對於行人設施之規劃與建立顯得密不可分。

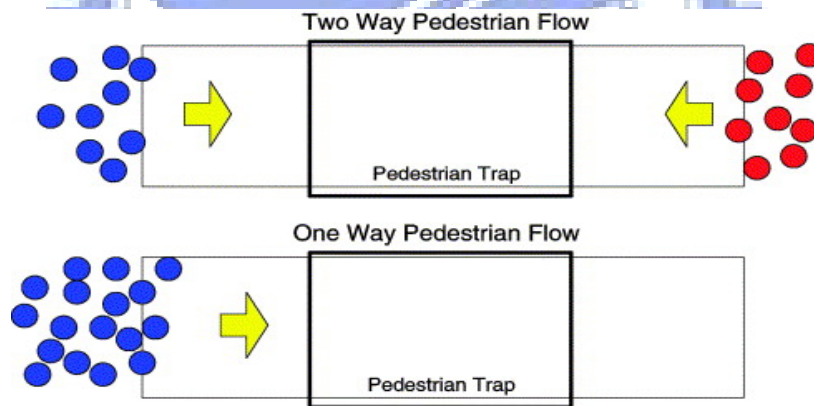


圖 2.3 單向與雙向行人移動展示圖  
資料來源[42]

## 2.4 人流相關理論模式與研究方法

由以上的人行設施服務水準及人流基本特性的概念對於人流有了初步的瞭解，但對於人流相關的理論及模式方面有必要加以充實與加強，以利於研究的分析與進行。

Henderson[33]利用流體或氣體力學來描述行人群的行為，將行人個體比擬為

氣體或流體粒子，控制粒子速度和數量，以及幾何空間的容量和形狀，並利用物理方程式來表現系統內的移動，以模擬行人流和幾何空間的關係。其缺點在於，氣體粒子與行人個體間在『認知』程度上有所差別，例如行人會採取減速措施以避免碰撞，但氣體粒子會直接碰撞，而且流體動力方程式多為偏微分方程式，通常難以得到精確解，應用不易。

Helbing[32]帶領 Stuttgart 團隊發展的行為力模型(behavioral force model)。每個行人的速度與方向變化為三種行為力的作用結果，這三種行為力分別為：

1. 加速力（向目的地移動的驅動力）；
2. 排斥力（分別為與其他行人互動間以及與邊界間的排斥力）；
3. 吸引力（受到環境吸引點的吸引力）。

利用行為力模型，將可以模擬行人的自我組織現象，作者於文中舉兩範例說明：一為行人自動分道，一為草地路徑自動形成。所謂行人自動分道，指的是未先假設靠邊方向（如習慣靠右）的行人，受行為力作用，以減少衝突為路徑選擇的目標，結果觀察巨觀的模擬結果會有自動分道的現象，如圖 2.4 所示：

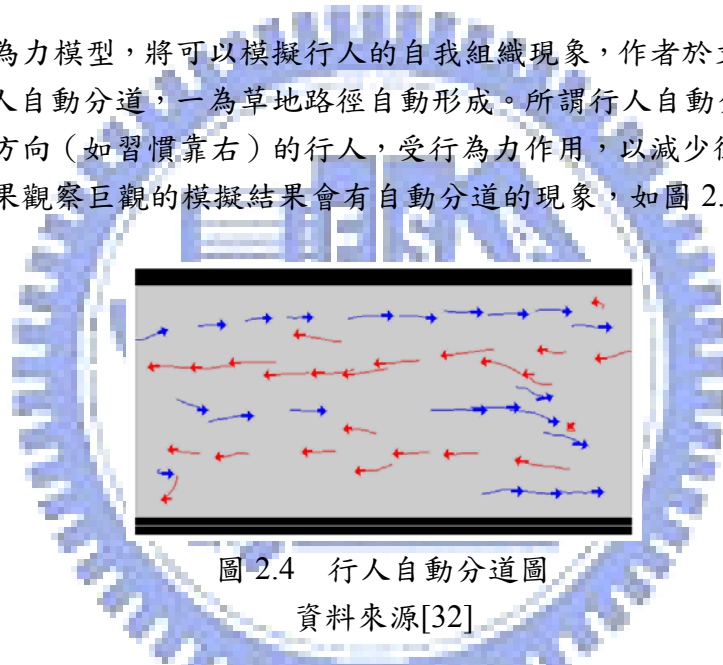


圖 2.4 行人自動分道圖  
資料來源[32]

草地路徑自動形成首先假設經過一草地的行人，其方向選擇的條件有最短路徑與行走舒適度；若草地不茂密，行人會選擇最短路徑行走，但若草地茂密行走不易，行人會繞路走用過的路徑。經每個行人作最佳方向選擇後，草地路徑會自動形成，如圖 2.5 所示：

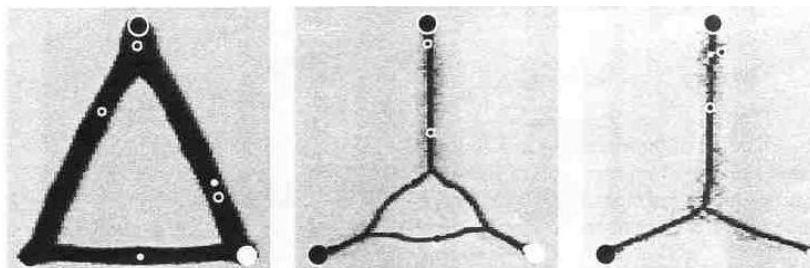


圖 2.5 草地路徑自動形成圖  
資料來源[32]

這些行人未經事先計畫或安排，僅依循簡單的行為力影響，為適應環境便形成了突現結果。Stuttgart 團隊以細緻的規模模擬行人，甚至可以模擬行人與行人間的衝突發生過程，其優點在於模擬行人與行人間的關係並幾何環境帶來的影響後，可以幫助空間幾何設計。另外這模型並非以細胞格狀體概念模擬行人，而是利用座標和物理力學建構方程式牽引著每個行人的移動路徑。其他的模擬成果還包括十字路口形成圓環、兩方向輪批通過窄門等。

經過文獻蒐集後發現，日本有學者已針對行人動線進行長期的研究。Takashi Nagatani[36][39]在行人移動研究上，以隨機偏向行人格狀氣體模型(lattice-gas model of biased-random walkers)模擬分向線對於人流之影響。這些模擬的行為者規則都很簡化，以類似粒子碰撞的方式作細胞格狀體模擬，模仿對向人行流在通道上的行為表現，其中每個行走個體可以有向前、及上下等三個方向的行進路線，而模型由自由流動的低密度狀態到行走停滯的高密度狀態，觀察整個動態擁塞的發生之時間序列。結果發現當密度達到一臨界密度(Critical Density)會出現壅塞轉換(jamming transition)過程，行走速度發生劇烈的陡降，很快的速度即變為零，而空間佔有率(Occupancy)也於同時陡昇至飽和。且在接近分向線時，行人會互相干擾，而有無分向線對於人為干擾轉換有重要的影響。

鍾隆文[22]藉由視覺影像處理及二維向量分析的概念，探討行人偵測及行人模擬的方法。行人偵測方面依偵測的目的不同有以下三種分別：

1. 基本偵測方法，例如行人流量、速度、密度的偵測；
2. 輔助偵測方法，如行人趨勢及行人頻率偵測；
3. 面式偵測方法，如行人軌跡的偵測。

行人模擬方面則因行人的行進方式傾向面式二維的移動，無法以傳統車流模擬方法建立模擬系統，而為解決此困難，作者則採用向量分析分別依無干擾行動模式、有設施的干擾行動模式、有行人的干擾模式等三種形式建立二維行人模擬模式。而利用行人偵測所得的面式資料進行二維模擬模式驗證，並利用個人電腦動畫表現行人模擬系統的成果。

V.J. Blue [26][27]則以細胞格狀體(Cellular Automata, CA)模式來說明行人的移動模式，作者的方法是將行人的行走路徑模式分割為「跳」格子連貫動作，而在「跳」下一個格子的每一步都會遵守遊戲規則，如選擇路線最短及避免與他人碰撞。這樣的行人流模式已被廣泛應用於大的開放空間，如巴士場站、購物中心、辦公大廳等具有衝突性干擾移動的高容量場所。細胞格狀體透過個別的行為規則提供了重現個別行人易變的渾沌現象的可能性。藉由以極短時間片段為一個階段，描述每個個體(entity)如同在西洋棋盤的平面空間中的格子移動，而每個個體在移動下一步的格子時，因為個體與個體間有局部法則的規定限制而具有邏輯的



判斷如何去移動下一步的能力。因此可以根據每個個案的背景及地點的幾何關係不同，清楚描述出個別行人與個別行人的行為與互動關係。而根據這些局部法則讓每個模擬個體都像真正的行人一樣，可以隨性的變換行走速率以及經常性的加減速。因此藉由 CA 模式可以模擬行人行走的情況。

Motoharu Hosoi[34]建立行人之動態模式，假設人之行為乃非隨機過程而是確定性過程，有著相同的行為機制，只是隨著個人之不同有著不同的參數。分別描述行人之趨避行為、跟隨行為、轉彎行為、靜止行為模式而進行模擬方法。最後進行模擬行人於轉角與通道突縮的行人設施時之行為表現。

## 2.5 文獻評析

根據回顧的文獻中（彙整如表 2.6），可以發現從最早的 Henderson 學者即開始著手行人流之研究，之後陸續如 Fruin、Zupan & Pushkarer 以及 Helbing 學者的研究，使得行人流這門學問逐步完善。由於日本亦為一地狹人稠的國家，相對的會有較多的學者會注意到行人流方面的問題，並從事大量研究，如 Takashi Nagatani 即利用了格狀氣體動力模型模擬行人移動之狀況，並陸續衍生了一系列的研究。另外，我國亦為一人口密度高的島國，也極易產生與行人相關的問題，我國學者許添本、林廉凱等均有涉略行人流方面之相關研究。綜合上述文獻，發現目前研究多將焦點放置於巨觀行人流，從微觀角度細看行人流之相關文獻仍稍嫌不足，亦較少文獻討論行人於行進時的行為選擇模式。因此，本研究將以攝影調查方式取得相關人流特性變數，從微觀角度切入探討行人於人行設施上移動時之行為。

表 2.6 歷年相關人流文獻比較表

| 年代   | 作者             | 方法               | 方法概述  | 優缺點及貢獻  |
|------|----------------|------------------|---|---|
| 1971 | L.F. Henderson | 流體或氣體力學          | 行人個體比擬為氣體或流體粒子，控制粒子速度和數量，以及幾何空間的容量和形狀，並利用物理方程式來表現系統內的移動，以模擬行人流和幾何空間的關係。 | 缺點在於，氣體粒子與行人個體間在『認知』程度上有所差別，例如行人會採取減速措施以避免碰撞，但氣體粒子會直接碰撞，而且流體動力方程式多為偏微分方程式，通常難以得到精確解，應用不易。 |
| 1986 | Yordphol       | 錄影調查             | 調查新加坡主要行人集中道路的人行道、走道等設施，進行行人行走速率、流量及密度關係之研究。                            | 採用 Greenshield's 的速率與密度線性迴歸模式，求出流量與密度之關係式，並將調查結果與西方國家比較。                                  |
| 1997 | V.J. Blue      | 細胞格狀體 (Cellular) | 將行人的行走路徑模式分割為「跳」格子連貫  | 可以根據每個個案的背景及地點的幾何關係不同，清楚描述  |

|      |                  |   |   |  |
|------|------------------|---|---|--|
|      |                  | Automata, CA)   | 動作，而在「跳」下一個格子的每一步都會遵守遊戲規則。  | 出個別行人與個別行人的行為與互動關係。  |
| 1997 | 林上閔              | 二階段問卷調查、多向羅吉特模式、模糊理論                                      | 第一階段乃是以五等分態度量表萃取受訪行人重視的步道屬性，第二階段則是採用敘述性偏好方法輔以照片說明屬性值定義與步道類型方案來陳述步道情境。 | 利用個體需求模式中的多項羅吉特模式與模糊修正模式來校估選擇模式。以探討出都市商業區行人對步道類型選擇偏好。  |
| 2000 | 許添本              | 錄影調查  | 使用錄影機將調查路段拍攝成錄影帶，配合1/100秒之計時器反覆觀察分析攝影畫面。                              | 利用 Greenshield's 的速率與密度線性模式，推導出捷運車站內走道單方向之流量，並將此調查與各國資料進行比較。                                       |
| 2001 | Dirk Helbing     | 行為力模型   | 每個行人的速度與方向變化為三種行為力的作用結果，加速力、排斥力、吸引力。                                  | 以細緻的規模模擬行人，甚至可以模擬行人與行人間的衝突發生過程，其優點在於模擬行人與行人間的關係與幾何環境帶來的影響後，可以幫助空間幾何設計。                             |
| 2002 | Takashi Nagatani | 隨機偏向行人格狀氣體模型 (lattice-gas model of biased-random walkers) | 以類似粒子碰撞的方式作 CA 模擬，模仿左、右對向人行流在通道上的行為表現，其中每個行走個體可以有向前、及上下等三個方向的行進路線。    | 模擬的行為者規則都很簡化，而模型由自由流動的低密度狀態到行走停滯的高密度狀態，發現當密度達到一臨界密度會出現壅塞轉換過程。                                      |
| 2002 | 林廉凱              | 錄影調查、面積法、帶寬法  | 以忠孝復興站走道為分析對象，採用巨觀與微觀尺度建立面積法、帶寬法。                                     | 乘客受到干擾後所採取的趨避方式主要有二：改變行走方向及調整步伐速率，而當走道上密度較高時，「跟人行為」較為明顯，而可適用於 $Q=K*V$ 的流量公式；但當密度未達一定的水準時，跟人行為並不明顯。 |
| 2003 | 陳文彬              | 問卷調查、灰色理論、層級分析法   | 以「節點（公共設施）、節線（通道、路徑標示）」的網路概念，探討乘客於地下車站接受一連串動線服務設施的績效。                 | 以滿意度分析進行綜合評估。最後並以台北火車站、捷運公館站兩種不同類型車站做比較驗證其實用性，結果顯示在不同特性的車站，乘客所重視的指標屬性皆不同。                          |
| 2006 | Weng, W.G.       | 基本行為人格氣體模型 (behavior-based lattice-gas model)             | 假設行人三種獨立之基本行為並以類似氣體碰撞的方式作模擬，利用加權計算基本行為產生最終移動方向。                       | 加入行人基本行為並利用不同權重模擬行人流動的方向，可能會出現行人向反方向移動的問題。   |

資料來源：本研究整理

## 第三章 理論基礎與研究方法

### 3.1 理論基礎

本研究利用車流理論中微觀車流以及巨觀車流之概念，分別以微觀及巨觀方式探討行人；並參考跟車理論及超車理論衍伸出行人跟隨及超越行為，另外美國 HCM2000 中提出行人流量、密度、速度之間關係亦納入本研究中進行參考。

#### 3.1.1 車流理論

由於本研究係以人流為研究主體，但車流與人流有類似之處，故車流理論將可提供本研究之參考，因此，亦一併說明。一般對模擬車流之對象區分，可分為三種：微觀車流(Microscopic traffic flow)、介觀車流(Mesosopic traffic flow)、巨觀車流(Macroscopic traffic flow)。

所謂微觀車流其主要係以個別車輛其相互運作與影響之關係為研究之方向，其處理過程較為複雜，且較不易模擬較大型之網路，但可細部探討個別車輛運作之影響因素分析。介觀車流其主要係以車隊之形式為研究之方向，使用調查資料之平均數值作為描述車流行為之特性，將可避免車輛間複雜的相互運作與影響，即不處理車輛間相互干擾等複雜因素，進而達到節省時間之效用，亦可用於較大型之網路。巨觀車流其主要係以整體之車流狀況為其研究之方向，透過流量(Q)、密度(K)與速度(V)三項指標作為其基本指標，其並不針對個別車輛間之行為運作與影響做描述。

車流理論中車輛之跟車理論、超車理論以及刺激反應模式分別說明如下：

##### 1. 跟車理論

跟車理論是以模擬流體力學之理論，考慮流體在管道中之流動，其質點一個接一個，且一個影響著一個，也就是說每一個運動質點緊跟著前一個質點而以其與前一質點之特性而決定其運動方式，故其基本假設為下列數點：

- A. 單一車道：以達管流之要求
- B. 不准超車：需一部車尾隨一部車
- C. 高密度：間距能發揮影響效果，及車與車間能有受激反應之相互作用
- D. 密度在小時段變化不大，以其均值代表此時段之密度
- E. 速度在連續小車隊間變化不大，以其均值代表此小車隊之速度

基於如上假設，考慮第  $n+1$  部車尾隨第  $n$  部車行駛，如圖 3.1。當車輛行駛過程中會受到所跟隨前車不同車種特性之影響，而致使駕駛人觀感上之差異。行人於行走過程中，與車輛跟車行為相似，若人潮洶湧無法任意依本身喜好速度行走時，必須受限於周遭環境，跟隨前方行人移動，並且可能依前方行人行走特性而決定其下一時刻之行為。

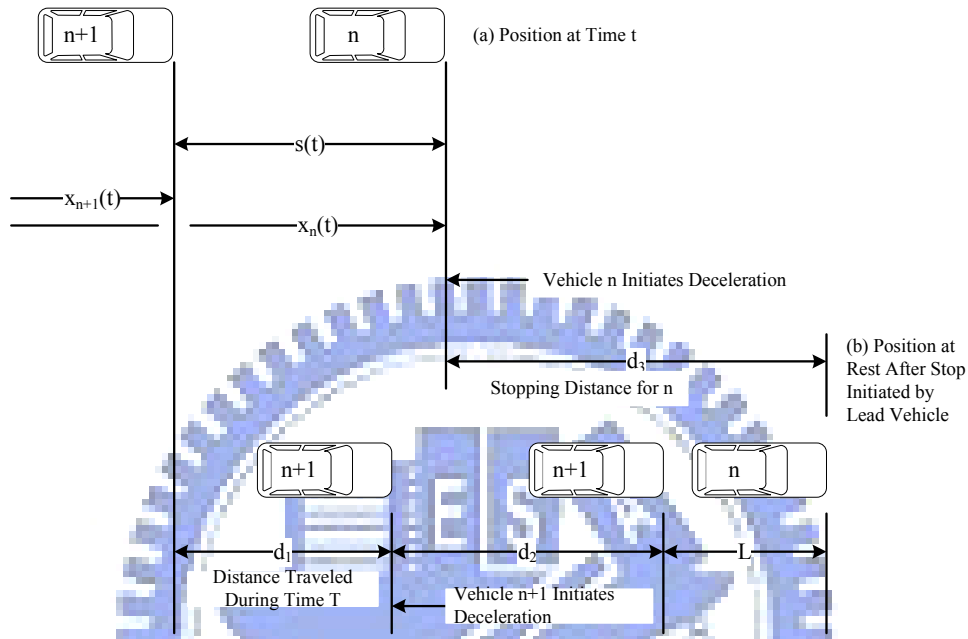


圖 3.1 跟車模式示意圖

資料來源[29]

## 2. 超車理論

超車行為之產生係指，車輛在車流中行駛時，當本車車速低於駕駛者本身期望速度，或是本車速度與前車速度之差值大於駕駛者之容忍程度，則後車會以變換車道之方式進行超車，以滿足其自身的推進行為。依變換車道條件而言，可分成三種情形：

- A. 自由性變換車道：當本車與附近車輛皆距離甚遠，本車可任意地變換車道。
- B. 選擇性變換車道：當前車車速低於本身期望速度，而欲採取變換車道行為時，得考慮鄰車道之車流狀況，採漸行漸進的方式逐步完成變換車道行為。
- C. 強迫性變換車道：大多指鄰近上、下匝道之變換車道行為，其變換車道時間往往較正常所需時間來得短。

徐立新[12]與沈彥宏[7]利用車輛進行超車時之偏向角與加速度進行研析構

建超車時變換車道模式。在前方車種為小型車方面，可發現變換車道之偏向角及加速度，與本車車速有顯著相關，顯示變換車道之偏向角受到本車車速影響，當本車車速越大，其偏向角越小；而加速度方面，本車車速越大，其加速度值越小。而目標車道前車亦為主要考量因素，此為考量變換車道完成後，避免與前車相撞（安全考量因素），故會與加速度與偏向角相關。

### 3. 刺激反應模式

由於每個行人均為一個行為個體，與其他行人發生互動的行為相當複雜且不易分析。Fruin[30]定義行人的衝突(Conflict)為：由於太接近另外一個行人，而使得一般正常的步行速率受到中斷或暫停。雖然人與人的衝突干擾行為不如人與車之間碰撞或車與車之間碰撞的後果來的嚴重，當有交織衝突產生時，路段上行人行進所需的旅行時間將因有交織衝突所造成的停等延誤而加長。在人行設施的設置上，應儘量避免行人行進路線交織，一旦路徑有所交織，則行進可能發生干擾的機率將隨著路段上人流密度的增加而增加。旅客不舒適的感覺亦會隨著干擾次數增多而升高。

當行人在行走過程中與他人互相發生了干擾，或其視線可及區域內發現了障礙物（他人或物體），此時稱此行人接受了「刺激」，當知覺系統接受到刺激之後，而感受到自身原來行走動線受到了阻擋與妨礙，稱該乘客心理層面感受到了「干擾」。而因應此一干擾由反應系統做出反應，稱為「反應」。另外，在接收到刺激時於很短的時間內直接做出反應而並未經過心理層面感受之過程，生理上稱為「反射動作」（例如膝反射）並不在本研究範圍之內。

藉由車流理論中跟車及超車理論並彙整刺激反應模式，本研究歸納由現場觀察得到的資料，初步研擬六種接受刺激的原因：1.前方行人移動速度過慢；2.與前方行人間距過窄；3.行走環境擁擠程度；4.行人性別；5.與前方行人性別異同；6.綠燈時相剩餘秒數等。而反應行為歸類為三種：1.改變路徑加速超越前方行人；2.橫向移動後不改變速度繼續向前行走；3.調整速度繼續跟隨。

## 3.1.2 人流理論

### 一、巨觀人流理論

美國 HCM2000 引用了 Fruin、Oeding、Navin and Wheeler 與 Pushkarev and Zupan 的研究，將人流特性中的流量、速度、密度之間的關係繪製出比較圖，以下逐一說明：

#### 1. 速度-密度關係

介於行人流速度與密度及流量的基本關係與車流相似。當流量與密度增加時，行人速度降低。當密度增加與行人空間減少時，行人個體的移動力程度降低，即行人平均速度降低。圖 3.2 顯示學生、通勤者與購物者三種行人的速度與密度關係。

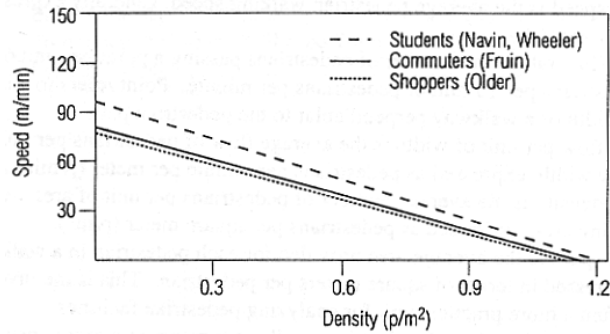


圖 3.2 行人速度與密度關係圖

資料來源[43]

## 2. 流量-密度關係

由於人流與車流類似，流量、密度與速度存在如前章式 2.1 的關係，然而使用密度的倒數-行人空間可更為清楚表達，式 2.1 可更改為：

$$V_{ped} = S_{ped} / M \dots\dots\dots (式 3.1)$$

其中  $V_{ped}$  為流量， $S_{ped}$  為行人速度， $M$  為行人空間。

藉由多位學者的調查，基本的流量與空間關係圖如圖 3.3 所示：

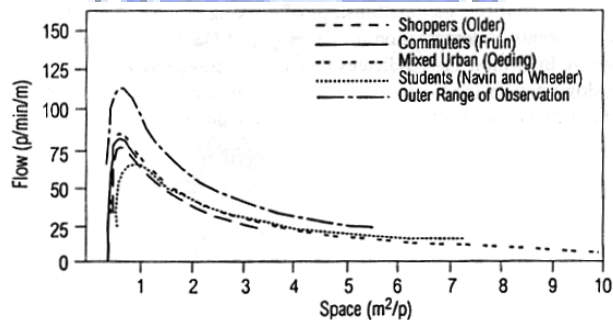


圖 3.3 行人流量與空間關係圖

資料來源[43]

此圖顯示最大單位的流量會落於狹小的密度區間內，約位於每人 0.4~0.9 平方公尺的地方，當每人空間少於 0.4 平方公尺時，流率將會驟減。若每人最小空間只剩下 0.2~0.3 平方公尺時，所有移動將會停止。

### 3. 速度-流量關係

圖 3.4 顯示行人速度與流量之關係，此圖與車流類似，顯示出當較少行人於通道上時，他們有足夠的空間選擇較高的行走速度。當流量增加，因為人與人間較接近的互動致使速度降低。當位於臨界流量時，移動變的更加困難，流量與流速同時降低。

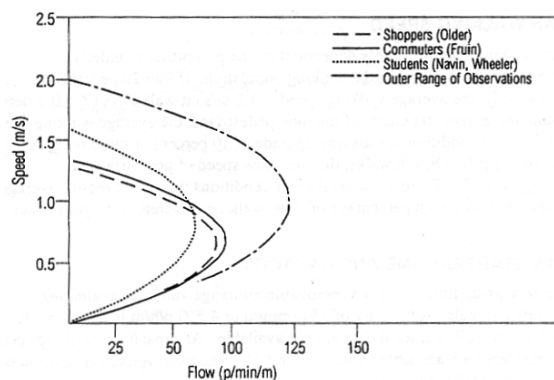


圖 3.4 行人速度與流量關係圖  
資料來源[43]

### 4. 速度-空間關係

圖 3.5 顯示行走速度與每人空間的關係，移動速度超出一般範圍的行人中，在平均每人空間少於 1.5 平方公尺時，即使最慢速的行人也無法到達他們的期望行走速度，以每秒鐘 1.8 公尺移動較快速的行人也必須要在平均每人空間超過 4 平方公尺時才可達到他們的行走速度。

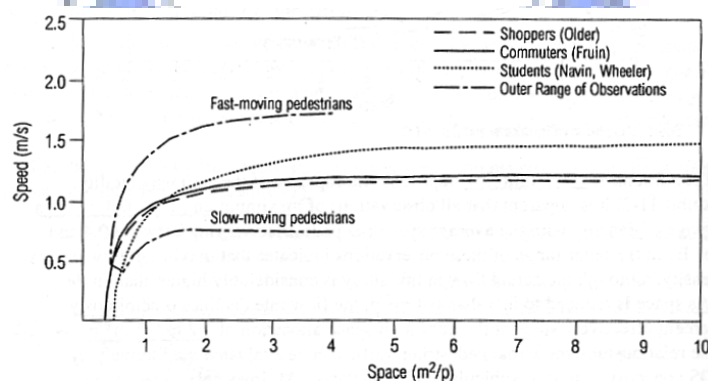


圖 3.5 行人速度與空間關係圖  
資料來源[43]

人流系統與車流系統中重要特性變數：流量(Q)-密度(K)-速率(V)，三者之關係乃是透過方程式  $Q=K*V$  來描述，關於行人設施服務水準方面的研究，乃是源由於車流觀念。服務水準在車流系統中乃是指用路人對於現場操作狀況的一種「質的量測」，同樣將服務水準觀念移植到而在行人流系統中，例如採用錄影調

查或現場觀測方式，調查主要行人集中道路的人行道、行人穿越道等設施，進行行人行走速率、流量及密度關係之研究，以及經由調查資料與統計，採用適當的速率與密度迴歸模式，如線性的 Greenshield's model，得流量與密度之關係式。並可以針對流量、密度、速率等參數予以分等級，訂定服務水準 (Level of Service, LOS)。

行人的服務水準除了考慮如車流的密度、速度、流量等，還有一些行人專屬的量測因子，如選擇自己想要的速度及超越他人的自由度[17]，穿越行人的難易度（或超越慢行者的可能性）、與主要行人流反向行走的能力、不必改變步行速度或步伐且不與他人產生衝突的行為能力[43]。

藉由巨觀車流及人流理論，本研究以台北市信義商圈路口行人為對象，進行行人密度、速度、流量關係式之探討，並繪出各關係圖以及求出迴歸方程式，對行人流特性以巨觀方式進行分析。

## 二、微觀人流理論

Gianluca Antonini 和 Michel Bierlaire[25] 奠基 Discrete Choice Models (DCM) 上，繼續將行人模式分成驅使性與非驅使性的行為，而驅使性又可分為強迫性互動與吸引性互動，前者指衝突避免行動，後者則指領導跟從行為。首先其假定：

1. 距離變因：用資料證明人會直接地行動至最終目的地，這是策略性並且經由人理性抉擇過的。
2. 維持方向變因：人會盡量的縮小與最適行動角度的角度差。
3. 自由流量加速變因：人具有察覺速度變動的傾向，且當人受吸引時，行動速度會減緩。

接著其依據以上已證明的假說推演出以下的解釋：

1. 衝突避免行動：
  - A. 當人行走時，越可能遇到可預見障礙物的路徑，越具較低的效益。
  - B. 移動較快的障礙物比較慢的障礙物具有更大的負面行動影響。
  - C. 當迎向障礙物所佔視野角度越大，行走改變方向的角度也越大。
2. 領導跟從行為：
  - A. 如果先行領導者距離該行人越遠，領導行走行為的能力越弱。
  - B. 先行領導者速度越快，行人速度也會越快。
  - C. 如果先行領導者與行人的相關角度越大，其影響能力就越小。

根據中國學者[44]的研究，假設行人行進過程中會因三種基本行為影響其下一個時間點行進的方向，而其假設之三大基本行為如下：(參見圖 3.6)



1. 移動(Move)：當前進方向無障礙所選擇之行為。
2. 迴避(Avoid)：當前進方向有阻礙物所選擇之行為。
3. 盤旋(Swirl)：當前進方向有一同向移動但速度較慢者所選擇之超越行為。

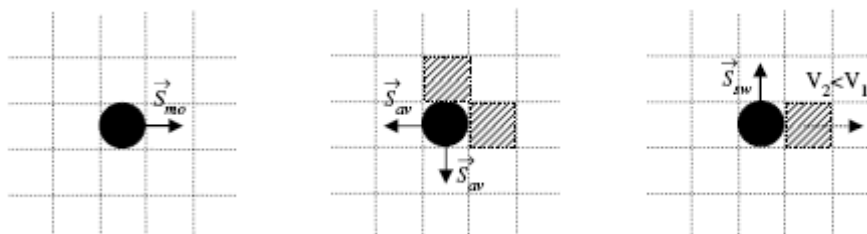


圖 3.6 行人行進過程中三大基本假設行為圖

資料來源[44]

藉由上述理論，本研究假設之三類行為如下：1.超越前方行人（超越）；2.僅做橫向偏移（橫移）；3.跟隨前方行人（跟隨）。超越行為指的是當所觀察之行人於跟隨過程中有偏向，並進行超越前方行人之動作者；橫移行為指的是所觀察之行人於跟隨過程中，僅向左右兩側偏移後繼續行走，不進行超越亦不繼續跟隨；跟隨行為指的是所觀察之行人於跟隨過程中，持續跟隨前方行人至離開穿越道者。

## 3.2 研究方法

本研究主要應用之研究方法有文獻評析法、攝影調查法、迴歸分析、單因子變異數分析、相關分析、判別分析法、多項羅吉斯迴歸分析等，茲說明如下：

### 3.2.1 文獻評析法

文獻評析法係一傳統探索性之研究方法，透過蒐集國內外相關之研究論著，分析其研究方法、結果及建議，以作為進一步研究之基礎，此種方式可協助初次從事某課題之研究者，以避免缺乏理論與根據而致偏頗缺失。故本研究蒐集並研析國內外人流模式之相關文獻，探究其理論與內涵，並加以綜合歸納其論著所使用之研究方法、結果之優劣，作為本研究之理論基礎。

### 3.2.2 攝影調查法

攝影調查法係透過數位攝影機、數位照相機等攝錄影像之器材，對某一特定

對象、事物或地點進行靜態或動態的攝錄，用以瞭解該對象所表達之意象。交通領域方面，攝影調查往往應用於行人或車輛於某一特定道路路段，進行相關之調查，透過攝影調查以獲得車流或人流特性，以及駕駛者之駕駛行為特性等資料，並藉由資料分析，進而研析可能發生之交通問題，提出相關解決方案。而實地攝影調查主要優點在於調查真實所觀測之資料，利用蒐集調查之資料進行分析、研究與探討觀測地點實際所發生之交通問題，並提出適當之解決方法；然而對於交通運輸領域而言，攝影調查之缺點則在於母體過大，對於每一個研究主題僅能調查某一或某幾個特定樣本，且每一樣本又具地域性，隨著調查區域之相異，其攝影調查資料結果可能因此而改變，故僅能對特定對象或區域具有說服力，較缺乏整體之通用性。本研究攝影調查對於行人於行人設施上進行相關之調查，透過攝影調查以獲得行人行為特性等資料，並藉由資料分析，進而構建人流模式。

### 3.2.3 統計迴歸分析

迴歸分析同樣將研究之變數區分為依變數及自變數，並建立兩者之函式模型，再依據樣本所得之資料來估計模型之參數，主要用以解釋資料過去現象及預測依變數未來可能之數值，迴歸按自變數之多寡，可分為簡單線性迴歸與複迴歸分析。簡單線性迴歸用一個自變數來解釋一個依變數的迴歸分析，其表示如下式：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \dots\dots\dots(\text{式 } 3.2)$$

複迴歸則用兩個或兩個以上自變數來解釋一個依變數之迴歸分析，其表示如下式：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots\dots\dots(\text{式 } 3.3)$$

### 3.2.4 單因子變異數分析

單因子變異數分析乃檢定單因子(factor)在不同組別的平均數是否有顯著差異。ANOVA 也常用於實驗設計中，此時因子又稱為處理(treatment)，每組為一種水準(level)，且每組的樣本數相同。One-Way ANOVA 的基本假設有三：

1. 常態性假設：變異數分析需處理超過三個以上的平均數，並假設樣本是抽取自常態化母群體，即  $Y_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ ，當樣本數愈大，常態化的假設愈不易違反。
2. 變異數同質性假設：多個樣本平均數的比較，必須建立在各組樣本的變

異數相等的基礎上，如果樣本的變異數不同質，將造成推論上的偏誤。

3. 可加性假設：由於變異數分析牽涉到變異量的拆解，因此，各種變異來源的變異量須相互獨立，且可以進行累積與加減，稱為可加性假設。在進行加總時，係使用離均差平方和，而非變異數本身。

變異數分析係將一組資料的變異，依可能發生的變異來源，分割為數個部份。衡量這些不同的變異來源，可瞭解各種變異來源是否有顯著差異；若有差異，則表示某變異來源對資料具有顯著的影響作用。在 One-Way ANOVA 中，主要的變異來源為因子所引起，故以 F 統計量來進行檢定。當組間變異與組內變異的比率愈大，則 F 值愈大，愈容易達到顯著水準，亦即各組間的平均數之差異達到顯著水準，拒絕虛無假設。

當變異數分析 F 值達顯著水準，即推翻了平均數相等的虛無假設，表示至少有兩組平均數之間有顯著差異存在，代表多組平均數整體效果達顯著水準。當整體檢定顯著後，還必須檢定到底哪幾組平均數間有顯著不同，故須進行多重比較檢定來檢驗。多重比較檢定乃在作完整體 F 檢定之後所進行，也稱為事後比較檢定。其中 Scheff 法適用於 n 不相等的多重比較檢定技術。此一方法對分配常態性與變異一致性兩項假設之違反頗不敏感，且犯第一類型錯誤的機率較小，可以說是最嚴格、檢定力最低的一種多重比較檢定方法。[9]

### 3.2.5 相關分析

相關係數是兩個變數之間關聯強度的指標，相關係數越大，表示關聯越強。因本研究所探討之人流特性變數為類別變數，而解釋變數將可分為連續變數與類別變數，故針對兩類別變數及類別與連續變數分別探討。

#### 一、兩類別變數

類別變數在統計上經常見到，若是單一的類別變數，且分成 r 類，可得到次數分配表；若是兩個類別變數，則可進行交叉表分析，並進行卡方(Chi-Square,  $\chi^2$ )檢定、若變數一分為 c 類，變數二分為 r 類，可得到 c $\times$ r 交叉表，或稱交叉分析表、列聯表，或稱交叉列聯表。

檢測兩個類別變數之間是否為獨立之檢定方法為卡方檢定，其通常是將資料以列聯表表示。因卡方檢定以細格內的次數來進行交叉比較，故又稱為交叉分析表，表內資料表示方式如表 3.1 所示：

其檢定的卡方統計量為  $\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - \hat{E}_{ij})^2}{\hat{E}_{ij}}$ ，若  $\chi^2 > \chi^2_{(c-1)(r-1), \alpha}$  拒絕  $H_0$ ，

其中， $O_i$  為第  $i$  組樣本觀察次數； $\hat{E}_{ij}$  為估計之理論次數， $\hat{E}_{ij} = \frac{O_{i.} \times O_{.j}}{O_{..}}$ 。

表 3.1 交叉列聯表

| 類別一 \ 類別二 | 1        | 2        | ... | c        | total    |
|-----------|----------|----------|-----|----------|----------|
| 1         | $O_{11}$ | $O_{12}$ | ... | $O_{1c}$ | $O_{1.}$ |
| 2         | $O_{21}$ | $O_{22}$ | ... | $O_{2c}$ | $O_{2.}$ |
| .         | .        | .        | .   | .        | .        |
| r         | $O_{r1}$ | $O_{r2}$ | ... | $O_{rc}$ | $O_{r.}$ |
| total     | $O_{.1}$ | $O_{.2}$ | ... | $O_{.c}$ | $O_{..}$ |

各細格之期望次數或理論次數最好不得小於 5，處理方法有細格合併法、增加樣本數、去除樣本法與 Yate's 校正公式。此外，當太多細格之次數小於 5，將會造成卡方檢定的偏誤，故建議最好不要分成太多細格，建議不要超過 16 細格，亦即 5x3 或 4x4 的表格已是最大極限，除了容易造成太多細格的次數小於 5 外，更嚴重的是表格太多複雜，將造成結果變得很難解釋。

Phi( $\phi$ ) 相關係數為交叉表  $\chi^2$  的轉換，因為  $\chi^2$  易受到行列數目與樣本數大小的影響，故很難比較不同  $\chi^2$  值，於是將  $\chi^2$  值除以 N，再取其正平方根值，目的是將關聯的統計量轉換到 0 到 1 之間，0 表示變數間完全獨立，1 表示變數間有高度關聯。由於  $\chi^2$  值無正負號，所以  $\phi$  係數無法反映出關聯的方向，只有關聯的強度。[9]

## 二、類別與連續變數

本研究針對類別與連續變數之相關分析，係以採用 Eta 進行討論。Eta 適用於類別變數與連續變數的相關分析，可以反應非線性關係的強度，原理是計算類別變數的每一個數值（類別）下，連續型變數的離散情形占全體變異量的比例，比例越小（即  $\text{Eta}^2$  值越大），表示兩變項的關聯越強。Eta 係數數值類似 Pearson 相關係數，介於 0 至 1 之間，取平方後稱為  $\text{Eta}^2$ ，具有削減誤差百分比(PRE)的概念，又稱為相關比(correlation ratio)。其中， $Y$  是連續變數的數值， $\bar{Y}$  是連續變數的平均數， $\bar{Y}_i$  是在每個類別變數( $X_i$ )上各連續變數的平均數。

$$E^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2} \dots\dots\dots(\text{式 3.4})$$

$$j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

削減誤差是指某一特徵以輔助變數來觀察，降低預測錯誤。以 X、Y 兩變數為例，藉 X 觀察 Y 可以減少了解 Y 的錯誤，預測錯誤越小即相關性越大。假設 X 值不知道，預測 Y 值時所產生的全部錯誤是  $E_1$ ，根據 X 值來預測 Y 值時所產生的總錯誤是  $E_2$  (X 做為預測時的相關消息)。PRE 數值越大，表示以 X 預測 Y 能減少錯誤的比例越大，亦是說 X 與 Y 的關係越強，所以 PRE 可以用來預測相關程度。

$$PRE = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \dots\dots\dots(\text{式 3.5})$$

相關係數可以說是兩變數間關係檢驗的「描述統計量」，可以用來反應變數關聯的基本性質與變化趨勢，但不是用來理解變數間實質關係與統計決策的適合策略。

### 3.2.6 判別分析

判別分析為一種判別及分類的技術，係將研究之變數區分為依變數及自變數，其依變數為一個可分為多類的類別變數，自變數為連續變數，可有多個；其分析方法主要分為二階段，首先由已知分類組別的觀察值來建立判別函數，以分析和解釋各類組間在判別變數的差異，接著以未知分類類組的觀察值來驗證上一階段的判別模式之效果，並將這些觀察值進行判別分類。判別模式建構出來後，可拿未來的實際結果與過去的預測結果兩兩進行比較，以瞭解先前所建立的判別函數之預測效果如何。本分析方法主要將應用於行人行為判別分類及預測選擇模式上。

就預測效用而言，判別分析有兩種取向：一是預測取向的判別分析(Predictive Discriminant Analysis; PDA)；一是描述取向的判別分析(Descriptive Discriminant Analysis; DDA)[35]。預測取向的判別分析其功用與迴歸分析類似，主要在於解釋與預測。其概念基礎與迴歸分析有許多相同的地方，它的主要目的在計算一組預測變項（或稱判別變項）的線性組合，以對另一個分組變項重新加以分類，並檢查其分組的正確性。預測取向的判別分析與迴歸分析概念相似之處在於：兩者都是在求得一組自變項（預測變項）的線性組合，其加權值在迴歸分析中稱為迴歸係數，在判別函數中則稱為判別函數係數，兩者皆有原始的係數（未標準化的係數）與標準化的係數。不過，判別分析通常會計算單一預測變項與線性組合分

數（實際上就是效標變數的預測值）的相關係數。描述取向的判別分析主要使用分組變項，或稱為解釋變項以了解它與預測變項，或稱為反應變項的關係，此種描述取向的判別分析與多變量變異數分析的關係較為密切[19]。

進行判別分析時必須有以下的假設[5] [19]：

1. 有  $k$  個分組群體、 $p$  個變項、相等的共變數矩陣，而樣本來自一個多變量常態分配的母群。亦即每一組內共變異數矩陣應大致相等，否則判別函數就不能使各組的差異達到最大，如果樣本數不多，而各組內共變異數矩陣差異性也不大，使用判別分析是適切的。此外，樣本的每一組是從多變量常態分配的母群中抽選出來的，不過，隨著樣本數增加，此基本假設通常無法符合，若資料嚴重違反多變量常態分配假設，可改用 Logistic 迴歸分析法。
2. 預測變項是計量性變項（連續變項），所屬母群體是一個常態分配母群，如果預測變項是間斷變項，與進行迴歸分析一樣，應先轉化為虛擬變項。分組變項有兩個或兩個以上的水準；每個組至少要有兩個觀察值。
3. 預測變項數目應少於觀察值數減 2，許多研究者建議：全部的觀察值最好是預測變項數的 10~20 倍，為了更精確分類，最小組的觀察值最好是預測變項的 5 倍。
4. 任何預測變項都不是其他預測變項的線性組合。

### 3.2.7 多項羅吉斯迴歸分析

本研究利用多項羅吉斯迴歸模式係應用於行人行為模式上，由於類別依變數之類別為三類以上，且類別之間並無次序關係，因此可應用多項羅吉斯迴歸模式進行分析。通常非次序多分類依變數是應用判別分析進行處理。然而相比之下，多項羅吉斯迴歸模式更好，因為它是羅吉斯迴歸分析的另一種自然擴展，結果更好解釋，且不須對自變數進行多元常態分配的假設。但是，多項羅吉斯迴歸模式也有缺陷，即對依變數中的任意兩個類別作選擇時，要假設該類別的選擇與其他類別無關，即所謂的「獨立於無關類型」。[2]

對於有  $j=1,2,\dots,J$  類的非次序依變數，多項羅吉斯模式可以透過以下 logit 形式描述：

$$\ln \left[ \frac{P(y = j | x)}{P(y = J | x)} \right] = \alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k \dots\dots\dots (式 3.6)$$

此即為在多項羅吉斯迴歸模型中，logit 是由依變數中的不重複的類別對的對比所形成。然後，對每一 logit 分別建立模型。若依變數有  $J$  個類別，多項羅吉

斯迴歸模型中便有  $J-1$  個 logit。在累積羅吉斯迴歸模型中有  $J-1$  個累計 logit 函數的截距估計，但是只有一套斜率係數的估計對應自變數。而在多項 logit 模型中，不僅有  $J-1$  個截距，而且有  $J-1$  套斜率係數估計對應於同一套自變數。這就是公式 3.6 中某一個斜率係數都有兩個下標的原因，其中第一個下標標記不同的 logit，第二個下標標記不同的自變數。

在有  $J$  個類別的多項羅吉斯迴歸模型中， $J-1$  個 logit 可表述如下：

$$\begin{aligned} \ln \left[ \frac{P(y=1|x)}{P(y=J|x)} \right] &= \alpha_1 + \sum_{k=1}^K \beta_{1k} x_k \\ \ln \left[ \frac{P(y=2|x)}{P(y=J|x)} \right] &= \alpha_2 + \sum_{k=1}^K \beta_{2k} x_k \quad \dots\dots\dots(\text{式 3.7}) \\ &\dots \\ \ln \left[ \frac{P(y=(J-1)|x)}{P(y=J|x)} \right] &= \alpha_{(J-1)} + \sum_{k=1}^K \beta_{(J-1)k} x_k \end{aligned}$$

其中最後一個類別（即第  $J$  個類別）被作為參照類。

因為  $P(y=1|x) + P(y=2|x) + \dots + P(y=J|x) = 1$ ，於是：

$$\begin{aligned} &P(y=1|x) + P(y=2|x) + \dots + P(y=J|x) \\ &= P(y=J|x) \left[ 1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k} \right] \quad \dots\dots\dots(\text{式 3.8}) \\ &= 1 \end{aligned}$$

然後，作為某類成員的機率可以透過下列公式計算：

$$\begin{aligned} P(y=J|x) &= \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \\ P(y=(J-1)|x) &= \frac{e^{\alpha_{J-1} + \sum_{k=1}^K \beta_{(J-1)k} x_k}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \quad \dots\dots\dots(\text{式 3.9}) \\ &\dots \\ P(y=1|x) &= \frac{e^{\alpha_1 + \sum_{k=1}^K \beta_{1k} x_k}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \end{aligned}$$

總之，對於有  $J$  個類別的依變數，歸入因變數中第  $j$  類的機率可以由下列公式進行估計：

$$P(y = j | x) = \frac{e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}}{1 + \sum_{j=1}^{J-1} e^{\alpha_j + \sum_{k=1}^K \beta_{jk} x_k}} \dots\dots\dots (式 3.10)$$

本研究以行人行為型態為依變數，此依變數具有三個類別，分別為超越前方行人行為，僅作橫向偏移行為及跟隨前方行人行為。研究中在進行檢定以下 logit 的決定因子：(1)超越前方行人行為對比於跟隨前方行人行為；(2) 僅作橫向偏移行為對比於跟隨前方行人行為。於是依變數的第 3 類別（即跟隨前方行人行為）應作為參照類別，由於多項羅吉斯迴歸模型的依變數有三個類別，所以應該有兩個 logit（即對數發生比）：

$$\ln \left[ \frac{p_1}{p_3} \right] = \alpha_1 + \sum_{k=1}^K \beta_{1k} x_k$$

$$\ln \left[ \frac{p_2}{p_3} \right] = \alpha_2 + \sum_{k=1}^K \beta_{2k} x_k \dots\dots\dots (式 3.11)$$

其中  $p_1, p_2, p_3$  分別表示超越、橫移與跟隨的機率。程序將同時分析類別 1、類別 2 對比參照類（類別 3）的對數發生比。各個方程會估計出每一自變數對不同 logit 的作用，即多項羅吉斯迴歸模型將產生兩套係數：一套表示超越前方行人行為對比於跟隨前方行人行為的對數發生比；一套表示僅作橫向偏移行為對比於跟隨前方行人行為的對數發生比。



## 第四章 人流資料調查蒐集與特性分析

本研究係探討都市商業區人行設施上行人行為特性並構建模式，在構建模式前，必須先透過資料調查與蒐集，找出影響行人行為之關鍵變數，以瞭解行人之行為特性進而構建微觀行人行為模式，其 4.1 節將介紹行人流之資料調查，4.2 節則說明資料調查後的認定方式與處理過程，4.3 節則為巨觀人流資料初步特性分析，4.4 節為微觀人流資料初步特性分析。

### 4.1 資料調查

#### 4.1.1 資料調查方法

由於本研究之行人流資料，較難透過現場實驗之方式或立即於現場直接觀察取得與記錄，並為確保所需之人流資料之正確性及完整性，乃採用現場實地觀測攝影法為本研究資料取得之方式，再經由室內作業將資料進行整理，間接取得研究所需之行人流相關資料。

#### 4.1.2 調查地點選取

本研究範圍係探討具行人專用號誌之行人穿越道，在調查地點之選取上，必須考慮以下條件來選定符合本研究範圍之對象，以及現場錄影觀測調查之可行性，其考慮條件如下：

1. 拍攝地點為具有行人專用號誌之路口，且穿越道需具有一定長度足以觀察出不同之行人行為特性。
2. 觀察地點需具有一定之行人流量，過高或過低流量之行人穿越道將不易產生出不同之行人行為。
3. 拍攝地點附近應有視野良好且適當高度之建築物，利於架設攝影機器，用以減少斜拍角度，且由高空攝影該觀察行人穿越道之視線，不能受到行道樹或招牌等影響攝影之物體遮蔽。

經考量上述之原則要點，以及多次現場實地勘察及試拍之後，最後地點選在台北市信義區松壽路及松智路交叉路口行人穿越道，主要觀測南面行人穿越道，拍攝日期為民國 97 年 1 月 20 日（星期日）12:00 到 15:00，以及民國 97 年 2 月 16 日（星期六）13:00 到 16:00。

### 4.1.3 調查步驟

本研究採用現場實地觀測攝影法進行資料調查，拍攝地點為台北市信義區松壽路及松智路交叉路口行人穿越道，並於臨近行人穿越道之世貿三館樓頂架設攝影機，以取得行人穿越道之初步人流資料，現場調查時有許多注意事項，應透過適當之調查步驟來逐一進行，以下將就本研究實地調查之步驟予以說明。

1. 於大樓樓頂架設攝影機（約高 10 公尺），並於攝影角架下方垂吊重物，以避免高樓風大而造成攝影機架設不穩或掉落。
2. 本研究考量拍攝角度的座標轉換不便及轉換後可能產生之誤差，儘量採取直角垂直往下拍攝之方式。
3. 由於主要研究目的為微觀行人行為，因此拍攝過程宜拉近鏡頭以作細部觀察，加上垂直拍攝之攝影範圍較為狹窄，因此於松壽及松智路交叉路口地點僅拍攝東面、南面以及中央交叉段行人穿越道。

本研究共使用兩部攝影機，分別取得所需之路口行人流與號誌資料，為求行人流與號誌資料能夠同步配合，本研究利用手機進行通話，在同一時間按下攝影機錄影鍵，使兩部攝影機於同一時間進行拍攝工作，並利用攝影機螢幕上之時間資料（錄影機所顯示之拍攝時間動態秒數），進行讀秒之工作，檢視兩部攝影機之錄影動態秒數是否相同，以確保拍攝之行人流資料能與號誌同步配合。

圖 4.1 為台北市信義區松壽路與松智路交叉路口行人穿越道拍攝現場地點示意圖，圖片正上方為北方，行人穿越道長度為 20 公尺，英文字母 A 為頂樓拍攝行人資料攝影機位置，英文字母 B 為平面拍攝號誌資料攝影機位置。

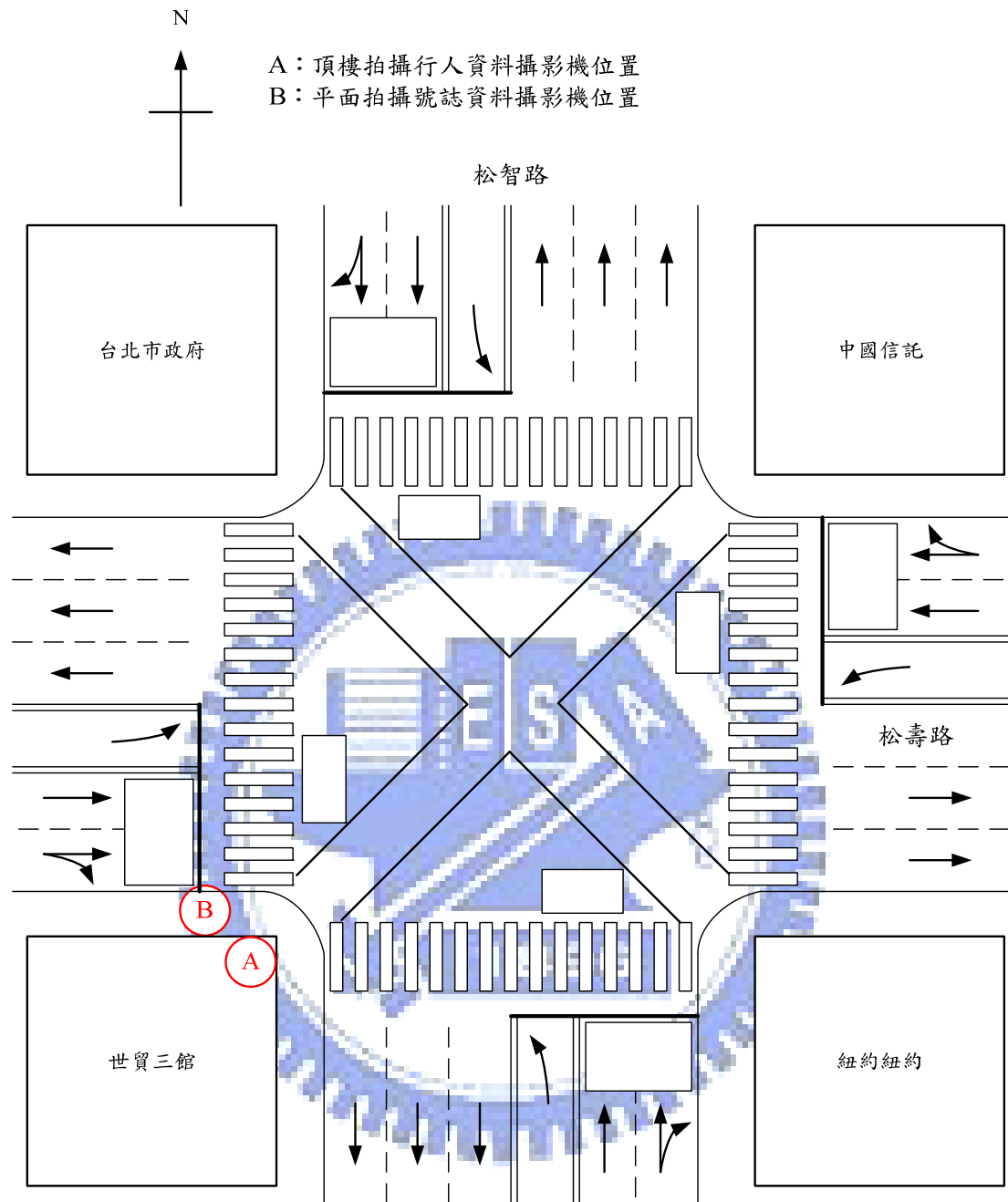


圖 4.1 現場拍攝示意圖 (松壽路與松智路交叉路口行人穿越道)

## 4.2 資料認定方式與處理過程

本節說明行人行為特性資料認定方式之相關參考點、基準線設定、密度空間等之定義，及影像資料調查後的室內作業處理方式，由於取得拍攝資料後，需將影像資料予以辨認、記數等分析工作，轉換為圖形、文字資料，計算行人之流量、速率等，最後進行統計分析。

### 4.2.1 巨觀行人資料認定

本研究量測行人資料進行每 5 秒鐘的記數，以每 5 秒鐘為一時段(interval)，記錄行人在號誌週期內，每 5 秒時段內的流量、速度等數據，再利用車流的  $Q=K*V$  公式推得密度。

#### 一、行人流量(Q)

流量單位為 人/(分鐘\*公尺)，本研究中行人流量資料認定以行人穿越道中線為基準線，經由觀測發現，行人行走時大致行走於穿越道上方以及穿越道至車輛停止線距離寬之上方，因此本研究以行人穿越道寬度加上行人穿越道至車輛停止線之距離為基準線長度，其中松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道寬度 4 公尺，行人穿越道至車輛停止線之距離為 3 公尺，因此本研究量測流量時即以 7 公尺為有效走道寬度。另外，經觀測，由西往東方向行人以及由東往西方向行人進行穿越時，各約佔用一半有效走道寬度，因此，研究假設兩方向行人於計算流量時之單位寬度各為 3.5 公尺。

#### 二、行人速度(V)

速度單位為 公尺/分，研究中記錄行人速率資料方法有二：於低流量時段，行人速度資料認定係以人行穿越道兩端行人出發點為基準點 1，行人穿越道中線為基準點 2，記錄每個行人通過基準點之時間，該個別行人速率可由兩基準點之距離除以該行人通過基準點之時間差獲得，記錄時段內所有個別速度取調和平均作為空間平均速度(Space Mean Speed, SMS)。

另外，於高流量時段時，由於不易求得全數行人個別速度，加上行人於高流量時段移動速度趨於一致且較為緩慢，因此行人速度資料的取得方式則改以隨機選取該時段中 5 名行人，分別計算個別行人速度取調和平均，即代表該時段行人之平均行走速度。

#### 三、人群密度(K)

密度單位為 人/公尺<sup>2</sup>，本研究密度求法直接根據車流公式  $Q=K*V$ ，將記錄之流量進行單位轉換後除以速率即為密度。

## 4.2.2 微觀行人資料認定

本研究欲探討行人行為特性與其影響因素，影響因素假設有前後行人速度差、跟隨間距、前方總瞬時密度、性別、性別異同、綠燈時相剩餘秒數。

### 一、行人行為特性

本研究中行人行為特性歸為三類：超越前方行人、僅作橫向偏移、跟隨前方行人。資料認定方式即細部觀看所拍攝資料中有上述行為之個別行人，一名行人僅記錄一次行為，每位行人不重複記錄。

1. 超越前方行人：所觀察之行人於跟隨過程中有偏向，並進行超越前方行人之動作者稱之。
2. 僅作橫向偏移：所觀察之行人於跟隨過程中，僅向左右兩側偏移後繼續行走，不進行超越亦不繼續跟隨者稱之。
3. 跟隨前方行人：所觀察之行人於行走過程中，持續跟隨前方行人至離開穿越道者稱之。

### 二、速度差異

以前述巨觀資料認定個別行人速度之方法，記錄該觀察行人及其前方行人之個別速度，再將觀察之行人速度減去其前方行人之速度，可得兩者之速度差。

### 二、跟隨間距

記錄該觀察行人產生行為瞬間，該行人與其前方行人之距離，可藉由觀察並量測行人正下方枕木紋之距離獲得。

### 三、前方總瞬時密度

記錄該觀察行人產生行為瞬間，該行人正前方 2 公尺距離，左右各 1 公尺距離，總面積為 4 平方公尺範圍內之總行人數，進而將人數除以觀察範圍面積求出前方總瞬時密度。

### 四、性別

記錄該觀察行人之性別，並記錄該行人產生行為瞬間前方行人之性別。進一

步可獲得前後方行人性別異同變數，該變數為兩類別，分別為同性與異性。

#### 五、綠燈時相剩餘秒數

該觀察行人產生行為之瞬間，記錄該綠燈時相剩餘之綠燈秒數。經觀察發現行人進行超越行為時多於綠燈號誌初始或即將結束時，因此不宜將樣本以連續變數處理。研究中將剩餘秒數變數類別化，直接將 50 秒綠燈號誌等分五類，第一類為剩餘 0 秒~9 秒之間、第二類為剩餘 10 秒~19 秒之間、第三類為剩餘 20 秒~29 秒之間、第四類為剩餘 30 秒~39 秒之間、第五類為剩餘 40 秒~49 秒之間。

### 4.2.3 行人流資料整理

本研究以攝影機所拍攝之行人流影像資料進行室內作業處理後，再藉由人工觀察方式，將所需觀測的行人通行號誌時段以每秒 30 畫格之播放速度慢速播放，並依前述之參考點、基準線位置等定義，以人工的方式點取，進而求得所需之各項資料數據。

拍攝路口之號誌時相一個循環為 240 秒，其中行人專用綠燈時相為 50 秒，由於行人於尖峰時段資料取得不易，人潮過於混亂無法明確計數者時段樣本不予採用，行人特性不明顯之樣本亦不予採用，因此僅選用攝影資料中可明確計數與有明顯行人行為者作為有效樣本。經轉檔處理後的影像資料在巨觀行人流方面，於松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道部分 210 個 5 秒時段中，由西往東方向、由東往西方向以及雙向流在低密度時段分別有 140 筆，在高密度時段分別有 70 筆。在微觀行人流方面，於松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道部分共獲得 120 個有效樣本資料，並區分為由尖峰 60 筆與離峰 60 筆。表 4.1 為本研究所蒐集調查之樣本資料筆數整理。

表 4.1 樣本資料筆數整理

單位：筆

| 樣本類別   |      | 時段   |      |     |
|--------|------|------|------|-----|
|        |      | 尖峰時段 | 離峰時段 | 總計  |
| 巨觀樣本資料 | 由西往東 | 70   | 140  | 210 |
|        | 由東往西 | 70   | 140  | 210 |
|        | 雙向流  | 70   | 140  | 210 |
| 微觀樣本資料 | 超越行為 | 15   | 15   | 30  |
|        | 橫移行為 | 15   | 15   | 30  |
|        | 跟隨行為 | 30   | 30   | 60  |

## 4.3 巨觀人流資料初步特性分析

### 4.3.1 時段特性

將綠燈時相分別以每 5 秒紀錄，因此 50 秒綠燈週期內可切割出 10 個時段，因此本研究分別就此 10 個時段據以調查分析；另外，由於研究對象路段為信義區商圈，依據人潮洶湧與否，可區分離峰低流量時段以及尖峰高流量時段。

#### 一、離峰時段流量

離峰低流量時段於松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道流量如表 4.2 所示：

表 4.2 離峰時段流量表

單位：人/分-公尺

| 走向<br>時段 | 西往東   |       | 東往西   |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 平均值   | 標準差   | 平均值   | 標準差   |
| 0-5      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 5-10     | 13.71 | 12.10 | 3.43  | 4.66  |
| 10-15    | 41.39 | 16.71 | 13.96 | 13.07 |
| 15-20    | 27.43 | 16.63 | 11.27 | 11.60 |
| 20-25    | 8.33  | 11.78 | 4.41  | 8.55  |
| 25-30    | 3.18  | 4.14  | 1.47  | 3.22  |
| 30-35    | 1.96  | 3.49  | 2.69  | 5.57  |
| 35-40    | 6.37  | 8.38  | 0.98  | 2.10  |
| 40-45    | 4.90  | 9.19  | 0.73  | 2.75  |
| 45-50    | 1.22  | 2.56  | 0.49  | 1.83  |
| Total    | 10.85 | 16.13 | 3.94  | 7.98  |

依據上表，將各方向流量繪製散佈圖，下圖 4.2 顯示離峰時段路口南面行人穿越道由西往東方向行人流量，圖 4.3 顯示離峰時段路口南面行人穿越道由東往西方向行人流量。

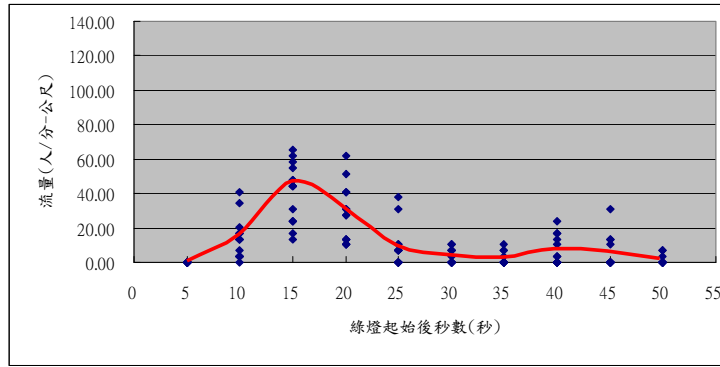


圖 4.2 離峰時段西往東方向行人流量圖

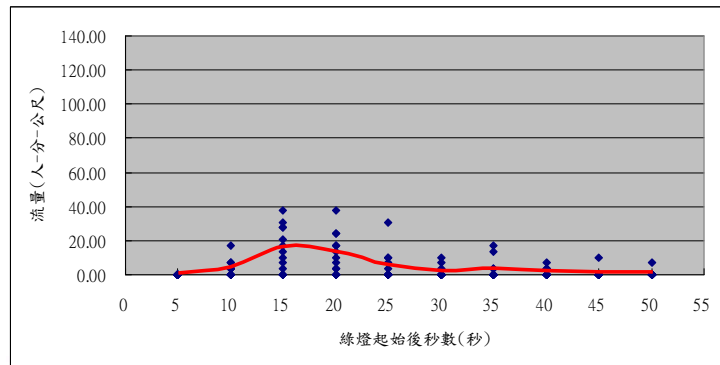


圖 4.3 離峰時段東往西方向行人流量圖

由圖 4.2 中可看出在第 10~15 秒時段流量會達尖峰，且經過 one-way ANOVA 可檢定出該時段流量顯著高於其他時段；圖 4.3 則顯示在第 10~15 秒時段流量會達尖峰，經檢定，該時段除了與第 05~10 秒以及第 15~20 秒時段無顯著差異外，對於其他時段流量均顯著較高。

進一步藉由獨立樣本 t 檢定檢定由西往東方向樣本以及由東往西方向樣本中 10~15 秒時段中的流量是否具顯著差異，如表 4.3 所示，可知由西往東方向第 10~15 秒時段中的流量顯著高於由東往西方向第 10~15 秒時段中的流量。

表 4.3 離峰時段第 10~15 秒雙向流量差異獨立樣本 t 檢定表

| 樣本類別 | 個數 | 平均流量  | 標準差   | t 值   | 顯著性(雙尾) |
|------|----|-------|-------|-------|---------|
| 西往東  | 14 | 41.39 | 16.71 | 4.466 | 0.00    |
| 東往西  | 14 | 13.96 | 13.07 |       |         |

## 二、離峰時段平均流速

依據上述切割 10 時段，探討速度是否有所差異，離峰時段松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道平均速度分別如表 4.4 所示：



表 4.4 離峰時段平均流速表

單位：公尺/分

| 時段 \ 走向 | 西往東   |       | 東往西   |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | 平均值   | 標準差   | 平均值   | 標準差   |
| 0-5     | -     | -     | -     | -     |
| 5-10    | 88.57 | 8.07  | 82.52 | 7.06  |
| 10-15   | 72.46 | 5.39  | 72.28 | 7.29  |
| 15-20   | 66.11 | 9.47  | 67.08 | 7.23  |
| 20-25   | 79.09 | 25.10 | 61.44 | 7.55  |
| 25-30   | 70.39 | 12.11 | 73.14 | 17.64 |
| 30-35   | 84.42 | 7.91  | 82.02 | 19.21 |
| 35-40   | 87.11 | 12.94 | 74.17 | 10.41 |
| 40-45   | 93.67 | 17.51 | 81.51 | -     |
| 45-50   | 97.91 | 11.58 | 78.00 | -     |
| Total   | 78.93 | 15.33 | 74.09 | 11.33 |

依據上表，可將各方向平均流速繪製成圖，下圖 4.4 顯示離峰時段路口南面行人穿越道由西往東方向行人平均流速，圖 4.5 顯示離峰時段路口南面行人穿越道由東往西方向行人平均流速。

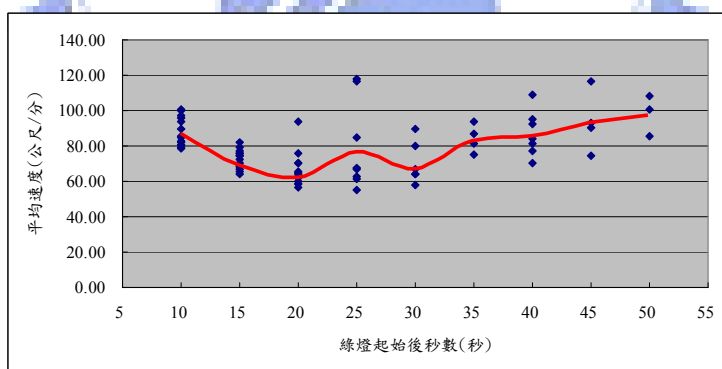


圖 4.4 離峰時段西往東方向行人平均流速圖

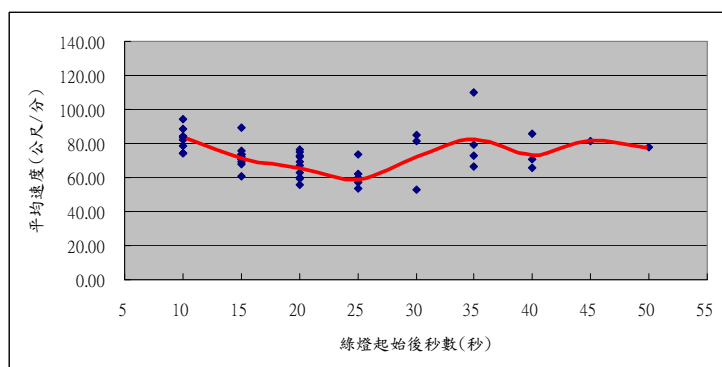


圖 4.5 離峰時段東往西方向行人平均流速圖

觀察圖 4.4，平均流速有先遞減再遞增之趨勢，依照趨勢應於第 20~25 秒的時段中平均速度會降至最低，但因該時段中有兩筆資料速度達 120(公尺/分)，使得平均速度提高，對該時段整體資料產生偏誤，標準差達 25.1。再觀察圖 4.5，可發現於第 20~25 秒的時段中平均速度降至最低，但經過 one-way ANOVA 可檢定發現樣本中，各時段平均速度差異並不顯著。推測原因，應是在離峰期間，且由東往西方向流量較低，行人移動空間充足，自由度較高，可依個人喜好速度移動，導致各時段內的樣本行人平均速度不具差異性。

### 三、尖峰時段流量

尖峰時段於松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道流量如表 4.5 所示：

表 4.5 尖峰時段流量表

單位：人/分-公尺

| 走向<br>時段 | 西往東   |       | 東往西   |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 平均值   | 標準差   | 平均值   | 標準差   |
| 0-5      | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 5-10     | 41.14 | 16.08 | 18.61 | 7.10  |
| 10-15    | 95.51 | 12.43 | 46.04 | 10.07 |
| 15-20    | 79.84 | 19.16 | 56.33 | 11.35 |
| 20-25    | 95.51 | 22.35 | 40.16 | 8.79  |
| 25-30    | 67.59 | 19.26 | 38.69 | 14.64 |
| 30-35    | 39.18 | 15.44 | 35.27 | 21.11 |
| 35-40    | 27.43 | 9.70  | 9.31  | 4.73  |
| 40-45    | 14.69 | 6.78  | 11.27 | 8.33  |
| 45-50    | 1.47  | 2.70  | 5.88  | 10.23 |
| Total    | 46.24 | 6.59  | 26.16 | 6.44  |

依據上表，可將各方向流量繪製成圖，下圖 4.6 顯示尖峰時段路口南面行人穿越道由西往東方向行人流量，圖 4.7 顯示尖峰時段路口南面行人穿越道由東往西方向行人流量。

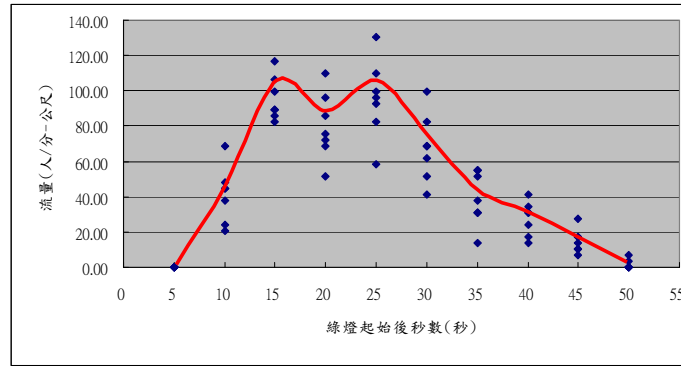


圖 4.6 尖峰時段西往東方向行人流量圖

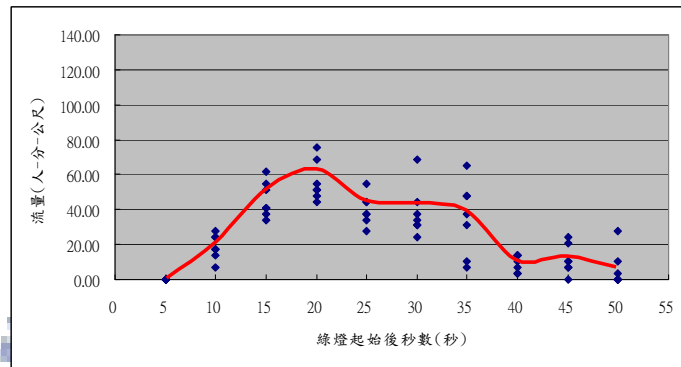


圖 4.7 尖峰時段東往西方向行人流量圖

由圖 4.6 中可看出約在 10~15 秒、15~20 秒、20~25 秒三個時段流量會達尖峰，且此三個時段流量顯著高於其他時段。圖 4.7 中顯示由東往西方向在 15~20 秒時段流量達尖峰後，流量持續位於高峰至 30~35 秒時段，之後流量逐漸減低。

進一步利用獨立樣本 t 檢定檢定由西往東方向行人以及由東往西方向行人分別之第 10~15 秒、15~20 秒、20~25 秒是否具差異性。藉由表 4.6 顯示，可知尖峰時第 10~15 秒、20~25 秒時段由西往東方向行人之流量明顯高於由東往西方向行人之流量；第 15~20 秒時段則因尖峰時段由西往東方向行人流量減少，導致該時段西往東方向與東往西方向行人流量差異並不顯著。

表 4.6 流量差異獨立樣本 t 檢定表

| 樣本類別        |     | 平均數   | 個數 | 標準差   | t 值   | 顯著性(雙尾) |
|-------------|-----|-------|----|-------|-------|---------|
| 第 10~15 秒流量 | 西往東 | 95.51 | 7  | 12.43 | 11.04 | 0.00    |
|             | 東往西 | 46.04 | 7  | 10.07 |       |         |
| 第 15~20 秒流量 | 西往東 | 79.84 | 7  | 19.16 | 2.22  | 0.07    |
|             | 東往西 | 56.33 | 7  | 11.35 |       |         |
| 第 20~25 秒流量 | 西往東 | 95.51 | 7  | 22.34 | 5.42  | 0.00    |
|             | 東往西 | 40.16 | 7  | 8.79  |       |         |

#### 四、尖峰時段平均流速

依據上述切割 10 時段，探討速度是否有所差異，松壽路與松智路交叉路口南面行人穿越道尖峰時段平均流速如表 4.7 所示：

表 4.7 尖峰時段平均流速表

單位：公尺/分

| 走向<br>時段 | 西往東   |       | 東往西   |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|
|          | 平均值   | 標準差   | 平均值   | 標準差   |
| 0-5      | -     | -     | -     | -     |
| 5-10     | 90.26 | 7.12  | 82.64 | 6.53  |
| 10-15    | 67.40 | 7.55  | 60.73 | 3.43  |
| 15-20    | 53.94 | 3.36  | 49.62 | 3.66  |
| 20-25    | 44.21 | 5.04  | 43.04 | 3.56  |
| 25-30    | 36.48 | 4.07  | 40.75 | 7.42  |
| 30-35    | 47.69 | 10.22 | 48.99 | 11.45 |
| 35-40    | 56.54 | 9.10  | 66.25 | 11.22 |
| 40-45    | 78.78 | 9.12  | 70.26 | 9.06  |
| 45-50    | 85.38 | 9.59  | 76.59 | 14.84 |
| Total    | 60.33 | 2.97  | 58.52 | 3.93  |

依據上表，可將各方向平均流速繪製成圖，下圖 4.8 顯示尖峰時段路口南面行人穿越道由西往東方向行人平均流速，圖 4.9 顯示尖峰時段路口南面行人穿越道由東往西方向行人平均流速。

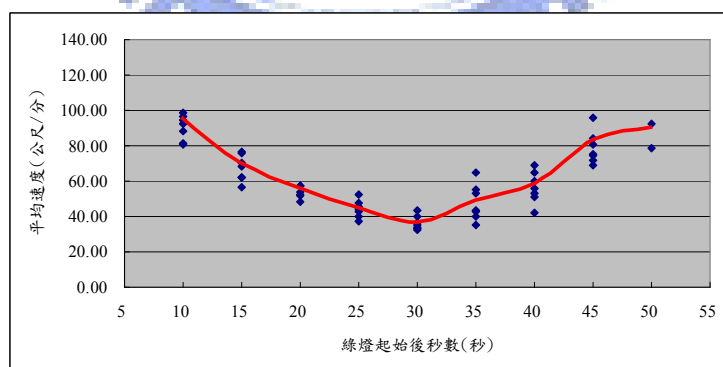


圖 4.8 尖峰時段西往東方向行人平均流速圖

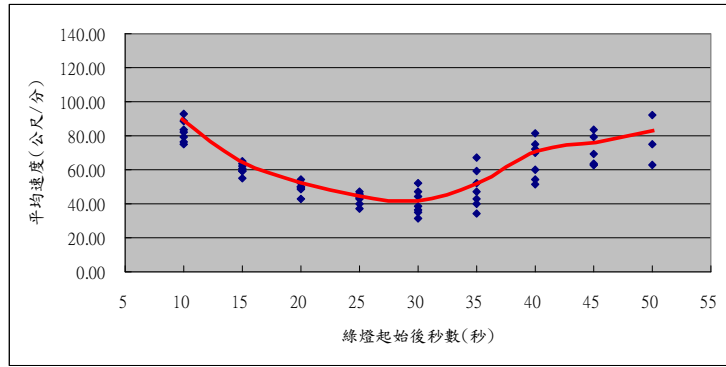


圖 4.9 尖峰時段東往西方向行人平均流速圖

由圖 4.8 及圖 4.9 中可看出約在 25~30 秒的時段中平均流速會降至最低，且經過 one-way ANOVA 可檢定出兩方向樣本於該時段之平均流速均顯著較低。

進一步藉由獨立樣本 t 檢定檢定由西往東方向樣本以及由東往西方向樣本中 25~30 秒時段的平均流速是否具顯著差異，如表 4.8 所示，可知兩方向行人最低平均速度無顯著差異。

表 4.8 尖峰時段第 25~30 秒雙向平均速度差異獨立樣本 t 檢定表

| 樣本類別 | 平均數   | 個數 | 標準差  | t 值   | 顯著性(雙尾) |
|------|-------|----|------|-------|---------|
| 西往東  | 36.48 | 7  | 4.07 | -1.37 | 0.22    |
| 東往西  | 40.75 | 7  | 7.42 |       |         |

## 五、小結

根據上述分析，分別提出以下幾點結論：

1. 在離峰時段的樣本中，兩方向的行人流均在 10~15 秒的時段中流量達最高，且由西往東方向行人流量顯著高於由東往西方向行人流量。
2. 在離峰時段的樣本中，平均速度資料有先遞減再遞增的趨勢，且依照趨勢由西往東方向行人平均速度應於第 20~25 秒的時段中會降至最低，但因標準差達 25.1 造成平均數的偏誤，使得該時段的平均速度並非到達預期中的最低點。另外由東往西方向行人平均速度樣本資料中，可發現於第 20~25 秒時段平均速度最低，但各時段平均速度差異並不顯著。推測原因，應是在離峰期間，且由東往西方向流量較低，行人移動空間充足，自由度較高，可依個人喜好速度移動所致。
3. 在尖峰時段的樣本中，由西往東方向行人流大約於 10~15 秒、15~20 秒、20~25 秒三個時段時，流量會達尖峰；由東往西方向行人流則在 15~20 秒時段流量達尖峰後，流量持續位於高峰至 30~35 秒時段，之後流量逐漸減低。

4. 在尖峰時段的樣本中，平均速度有先遞減再遞增的趨勢，雙向行人樣本在 25~30 秒的時段中平均流速會降至最低，且於該時段之平均流速均顯著較低。因為為尖峰時刻，兩方向行人移動速度均不高，最低平均速度無顯著差異。

### 4.3.2 流量比特性

行人穿越道上有正向以及逆向兩方不同方向之行人，雙向行人流勢互有消長，因此，本研究依據雙向行人流量之變化，探究其對行人流速是否產生影響。所謂流量比例(r)，指的是在雙向通道上某一方向通過流量佔雙向總流量之百分比，根據調查資料，可將流量比例與平均流速繪製成圖，依尖離峰時段不同，分別進行探討。

#### 一、離峰時段

由圖 4.10 可看出平均速度依流量比例不同，有先遞減再遞增之趨勢，藉由簡單迴歸分析，可繪出趨勢線圖，其函數為：

$$y = 41.20x^2 - 41.78x + 82.68 (R^2 = 0.06) \dots\dots\dots(\text{式 } 4.1)$$

依趨勢線圖可觀測出行人穿越道上行於流量比例為 0.51 時，行人最低平均速度為每分鐘 72.09 公尺。由於離峰時段行人數量較少，行人不易受對向行人影響，導致流量比例影響行人移動速度較不明顯，由式 4.2 可推得因流量比例影響，行人速度高低差異為 82.68-72.09=10.59(公尺/分鐘)。

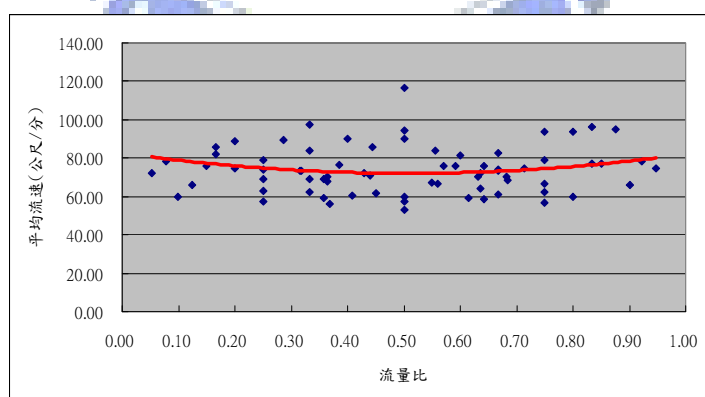


圖 4.10 離峰時段行人流量比與平均流速關係圖

#### 二、尖峰時段

由圖 4.11 可看出平均速度依流量比例不同，有先遞減再遞增之趨勢，藉由

簡單迴歸分析，可繪出趨勢線圖，其函數為：

$$y = 82.22x^2 - 84.39x + 77.71 (R^2 = 0.04) \dots\dots\dots (式 4.2)$$

依趨勢線圖可觀測出行人穿越道上行人於流量比例為 0.51 時，行人最低平均速度為每分鐘 56.06 公尺。由於尖峰時段行人數量較多，行人易受對向行人影響，進而導致流量比例直接影響行人移動速度，由式 4.2 可推得因流量比例影響，行人速度高低差異達  $77.71 - 56.06 = 21.65$  (公尺/分鐘)。

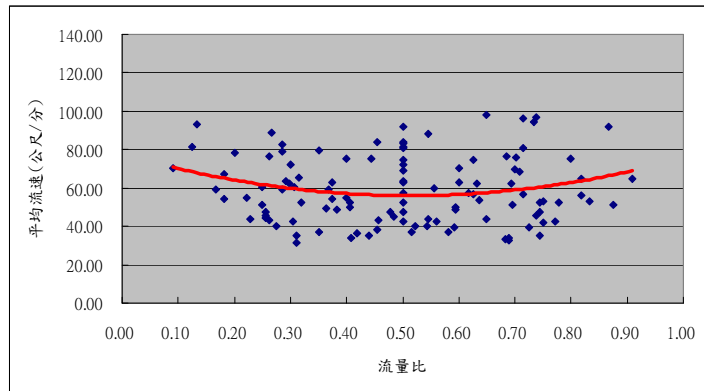


圖 4.11 尖峰時段行人流量比與平均流速關係圖

### 三、小結

平均速度會依流量比例增加有先遞減再遞增之趨勢；在尖峰時段，流量比例對於速度變化的影響較為明顯，流量比例約於 0.5 時，即兩方向行人流量相同時，兩方向行人的移動速度均會減低，而高流量比例或低流量比例均有利行人提高移動速度。

### 4.3.3 QKV 特性

利用影像處理後所獲得之人流資料，進行初步人流特性分析，依照不同觀察對象設施之資料，分別討論各 5 秒時段中行人通過基準線之流量、速度與密度間之關係。車流理論中 QKV 之關係與行人流相似，當行人流量增加時，相對於該區域之行人密度亦隨之增加；而當密度增加時，行人移動所佔有的空間便下降，移動便利性降低，進而影響移動速率。

研究中除了分別探討由西往東方向行人以及由東往西方向行人外，另探討雙向混合行人流的情況，利用單因子變異數分析方法分別檢驗此三類樣本的速度、密度以及流量是否具有顯著差異，檢定結果分別如下表 4.9、表 4.10、表 4.11 所示。

表 4.9 樣本分類之速度是否具差異檢定

| 樣本分類   | 樣本數目 | 速度平均數<br>(公尺/分鐘) | 標準差   | F 檢定 | 顯著性  |
|--------|------|------------------|-------|------|------|
| 西往東行人  | 131  | 70.69            | 19.29 | 3.71 | 0.03 |
| 東往西行人  | 103  | 64.91            | 15.86 |      |      |
| 雙向混合行人 | 141  | 70.43            | 18.04 |      |      |
| 總和     | 375  | 69.00            | 18.06 |      |      |

表 4.10 樣本分類之密度是否具差異檢定

| 樣本分類   | 樣本數目 | 密度平均數<br>(人/平方公尺) | 標準差  | F 檢定 | 顯著性  |
|--------|------|-------------------|------|------|------|
| 西往東行人  | 131  | 0.64              | 0.67 | 5.27 | 0.01 |
| 東往西行人  | 103  | 0.44              | 0.43 |      |      |
| 雙向混合行人 | 141  | 0.46              | 0.51 |      |      |
| 總和     | 375  | 0.51              | 0.56 |      |      |

表 4.11 樣本分類之流量是否具差異檢定

| 樣本分類   | 樣本數目 | 流量平均數<br>(人/公尺*分) | 標準差   | F 檢定 | 顯著性  |
|--------|------|-------------------|-------|------|------|
| 西往東行人  | 131  | 36.30             | 31.13 | 9.69 | 0.00 |
| 東往西行人  | 103  | 23.14             | 18.49 |      |      |
| 雙向混合行人 | 141  | 25.31             | 23.40 |      |      |
| 總和     | 375  | 28.55             | 25.85 |      |      |

經由檢定結果顯示由西往東方向行人與由東往西方向行人以及雙向混合行人之行人速度、密度、流量均有顯著差異。因此，本研究將此三類樣本分開處理，個別呈現。

### 一、速度-密度關係

在處理速度及密度關係時有多種不同的關係式，常見的有 Greenshield's 線性關係、Greenberg's 對數關係、Underwood's 指數關係，以由西往東方向行人樣本為代表，繪出其速度-密度關係散佈圖後，首先觀察 Greenshield's 線性關係，如圖 4.12 所示，迴歸式(式 4.3)。

$$y = -20.07x + 83.53 (R^2 = 0.49) \dots\dots\dots (式 4.3)$$



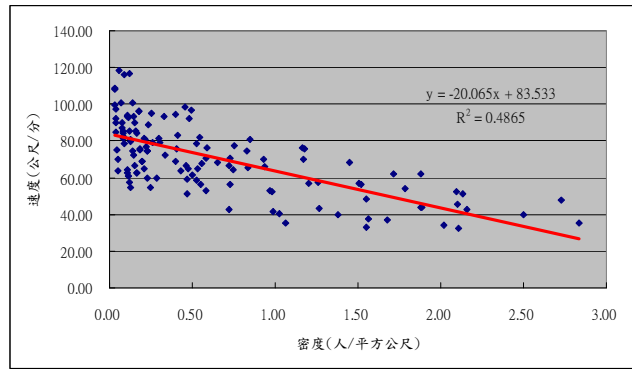


圖 4.12 由西往東方向行人速度-密度關係圖 (採線性迴歸)

接著觀察 Greenberg's 對數關係，如圖 4.13 所示，迴歸式(式 4.4)。可發現其判定係數達 0.51，相對高於線性迴歸關係，較具解釋能力。

$$y = -11.54Ln(x) + 58.50(R^2 = 0.51) \dots\dots\dots(式 4.4)$$

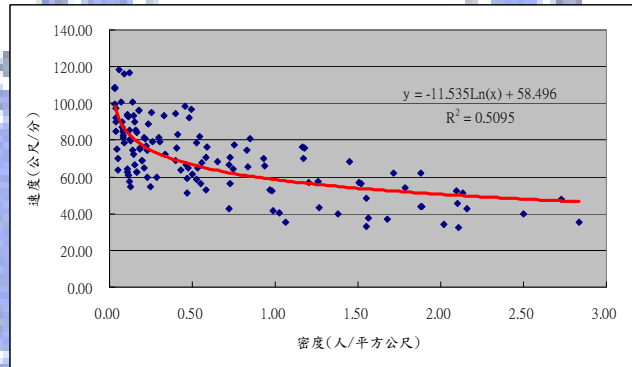


圖 4.13 由西往東方向行人速度-密度關係圖 (採對數迴歸)

最後觀察 Underwood's 指數關係，如圖 4.14 所示，迴歸式(式 4.5)。可發現其判定係數達 0.54，相對高於線性以及對數迴歸關係，具較佳解釋能力。

$$y = 83.41e^{-0.32x}(R^2 = 0.54) \dots\dots\dots(式 4.5)$$

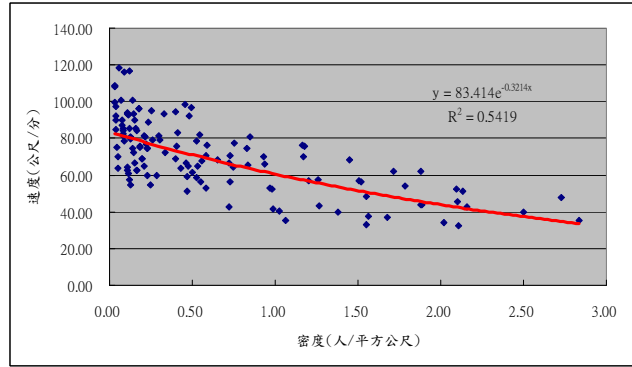


圖 4.14 由西往東方向行人速度-密度關係圖 (採指數迴歸)

經上述比較，可知行人速率及其密度之關係式較為符合 Underwood's 指數關係，然目前行人流分析大多採直線關係式[10][13][40][45][46]，且 Greenshield's 直線關係之判定係數達 0.49，仍具解釋能力。因此本研究亦採 Greenshield's 直線關係式以利與其他研究進行比較。

接著繪製由東往西方向行人樣本速度-密度散佈圖(圖 4.15)，並求出其迴歸式(式 4.6)。

$$y = -28.88x + 77.50(R^2 = 0.60) \dots\dots\dots(式 4.6)$$

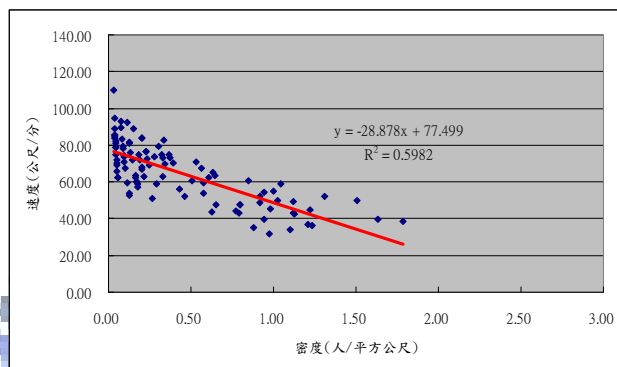


圖 4.15 由東往西方向行人速度-密度關係圖

進而繪製雙向混合行人流樣本速度-密度散佈圖(圖 4.16)，並求出其迴歸式(式 4.7)。

$$y = -26.13x + 82.31(R^2 = 0.54) \dots\dots\dots(式 4.7)$$

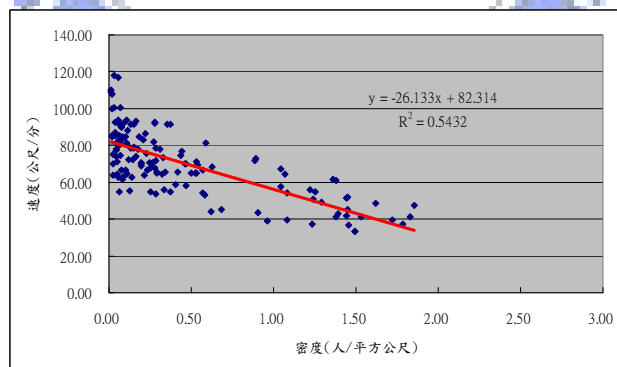


圖 4.16 雙向混合行人流速度-密度關係圖

## 二、流量-密度關係

透過車流  $Q=KV$  公式，將式 4.3 代入可導出由西往東方向行人流量與密度之關係式(式 4.8)，關係圖如圖 4.17 所示。

$$Q = -20.07K^2 + 83.53K \dots\dots\dots(式 4.8)$$

藉由式 4.8 可推導出在密度為 2.08(人/平方公尺)時，流量最大值為 86.94(人/分鐘-公尺)。

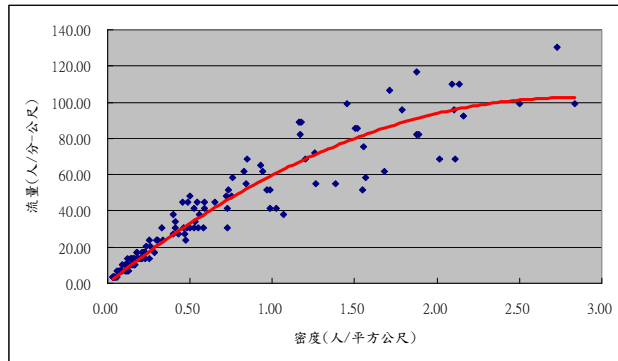


圖 4.17 由西往東方向行人流量-密度關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出由西往東方向行人流量與密度之趨勢關係式 (式 4.9)，關係圖如圖 4.18 所示。

$$Q = -12.84K^2 + 72.58K (R^2 = 0.94) \dots\dots\dots(式 4.9)$$

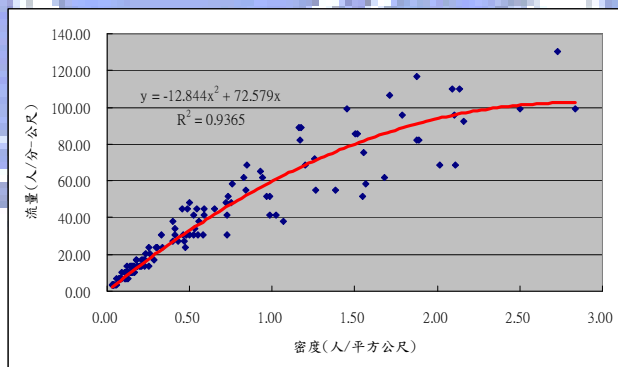


圖 4.18 由西往東方向行人流量-密度關係圖 (樣本求出)

將式 4.6 代入可導出由東往西方向行人流量與密度之關係式 (式 4.10)，關係圖如圖 4.19 所示。

$$Q = -28.88K^2 + 77.50K \dots\dots\dots(式 4.10)$$

藉由式 4.10 可推導出在密度為 1.34(人/平方公尺)時，流量最大值為 52.00(人/分鐘-公尺)。

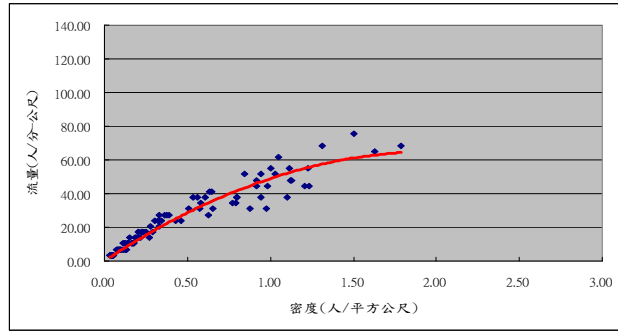


圖 4.19 由東往西方向行人流量-密度關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出由東往西方向行人流量與密度之趨勢關係式 (式 4.11)，關係圖如圖 4.20 所示。

$$Q = -16.5K^2 + 65.48K (R^2 = 0.96) \dots\dots\dots(式 4.11)$$

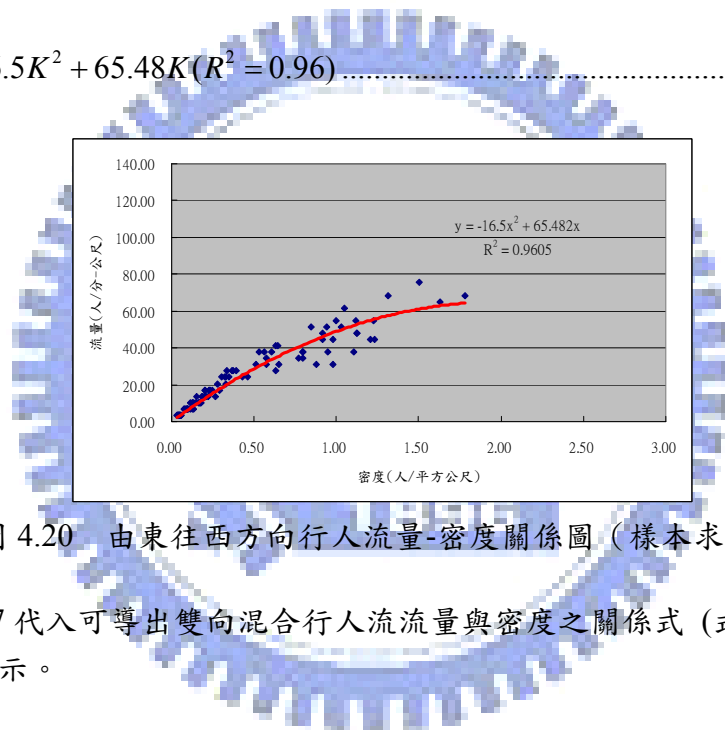


圖 4.20 由東往西方向行人流量-密度關係圖 (樣本求出)

將式 4.7 代入可導出雙向混合行人流流量與密度之關係式 (式 4.12)，關係圖如圖 4.21 所示。

$$Q = -26.13K^2 + 82.31K \dots\dots\dots(式 4.12)$$

藉由式 4.12 可推導出在密度為 1.58(人/平方公尺)時，流量最大值為 64.82(人/分鐘-公尺)。

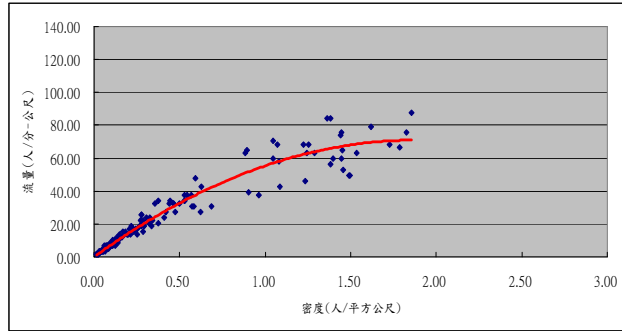


圖 4.21 雙向混合行人流流量-密度關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出雙向混合行人流流量與密度之趨勢關係式 (式 4.13)，關係圖如圖 4.22 所示。

$$Q = -20.04K^2 + 75.46K (R^2 = 0.95) \dots\dots\dots (式 4.13)$$

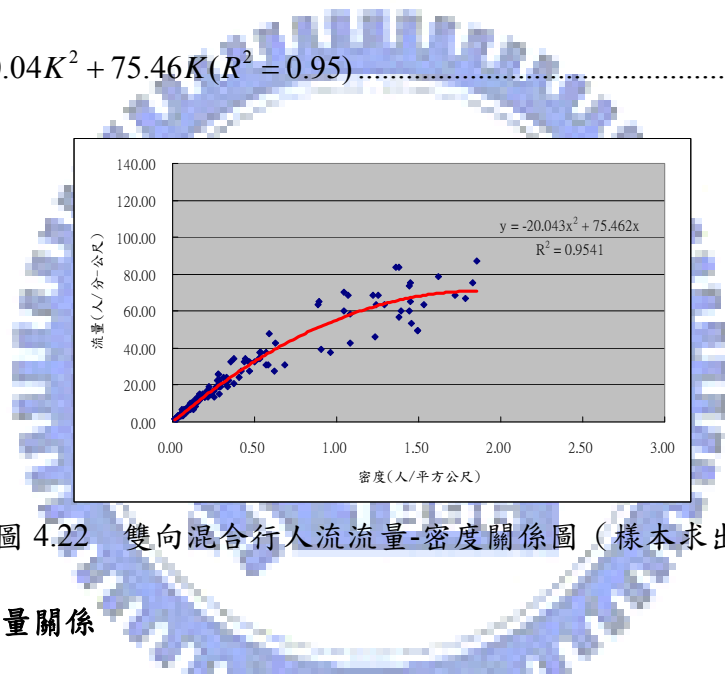


圖 4.22 雙向混合行人流流量-密度關係圖 (樣本求出)

### 三、速度-流量關係

透過車流  $Q=KV$  公式，將式 4.3 代入可導出由西往東方向行人速度與流量之關係式 (式 4.14)，關係圖如圖 4.23 所示。

$$Q = -0.05V^2 + 4.16V \dots\dots\dots (式 4.14)$$

藉由式 4.14 可推導出在速度為 41.63(公尺/分)時，流量最大值為 86.65(人/分鐘-公尺)。

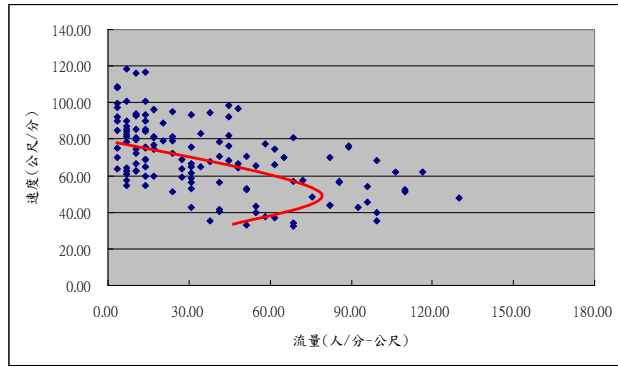


圖 4.23 由西往東方向行人速度-流量關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出由西往東方向行人速度與流量之趨勢關係式 (式 4.15)，關係圖如圖 4.24 所示。

$$Q = -0.02V^2 + 1.82V (R^2 = 0.45) \dots\dots\dots(式 4.15)$$

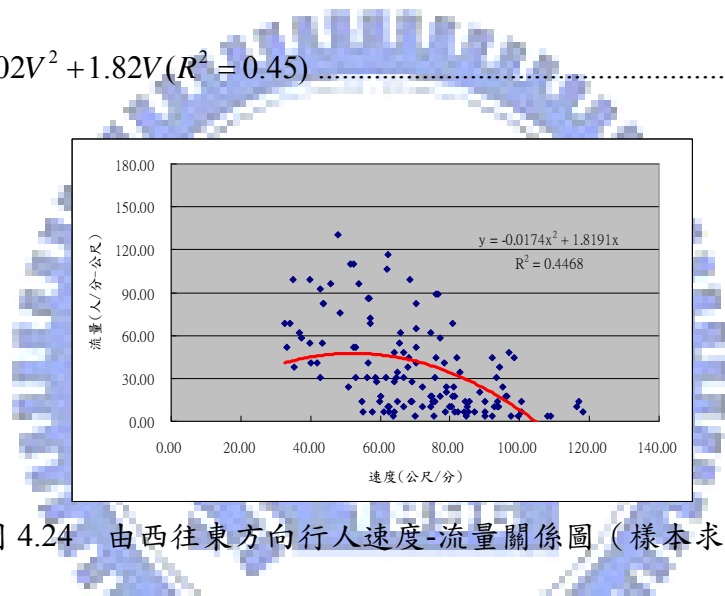


圖 4.24 由西往東方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出)

若未透過車流  $Q=KV$  公式進行轉換，而直接以線性迴歸分析，可得由西往東方向行人速度與流量之關係式 (式 4.16)，關係圖如圖 4.25 所示。

$$V = -0.34Q + 82.95 (R^2 = 0.30) \dots\dots\dots(式 4.16)$$

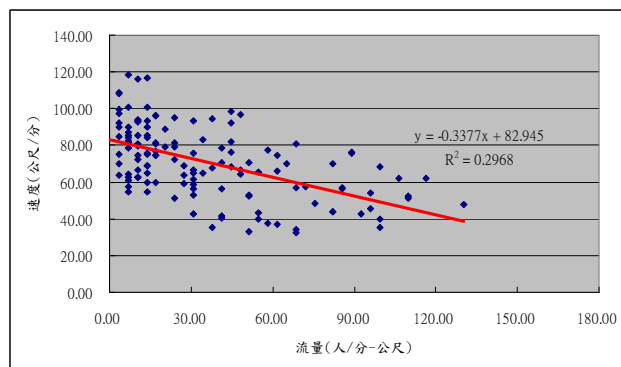


圖 4.25 由西往東方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸)

由式 4.15 與式 4.16 比較可知，若直接以線性迴歸分析所得出之迴歸式  $R^2$  值相對較低，透過 QKV 公式轉換以多項式進行迴歸後所得之迴歸式對於樣本的解釋能力較佳。

將式 4.6 代入可導出由東往西方向行人速度與流量之關係式 (式 4.17)，關係圖如圖 4.26 所示。

$$Q = -0.04V^2 + 2.68V \dots\dots\dots(\text{式 4.17})$$

藉由式 4.17 可推導出在速度為 38.34(公尺/分)時，流量最大值為 51.46(人/分鐘-公尺)。

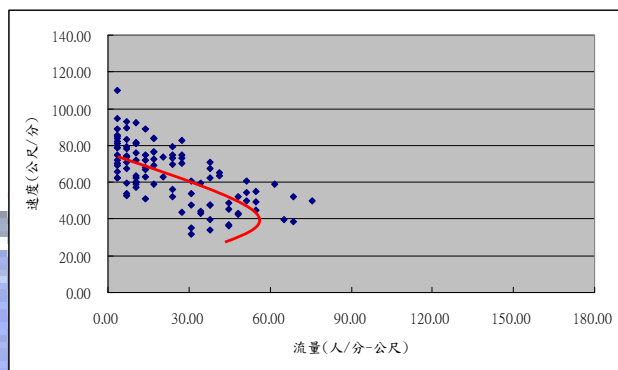


圖 4.26 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出由東往西方向行人速度與流量之趨勢關係式 (式 4.18)，關係圖如圖 4.27 所示。

$$Q = -0.02V^2 + 1.46V (R^2 = 0.61) \dots\dots\dots(\text{式 4.18})$$

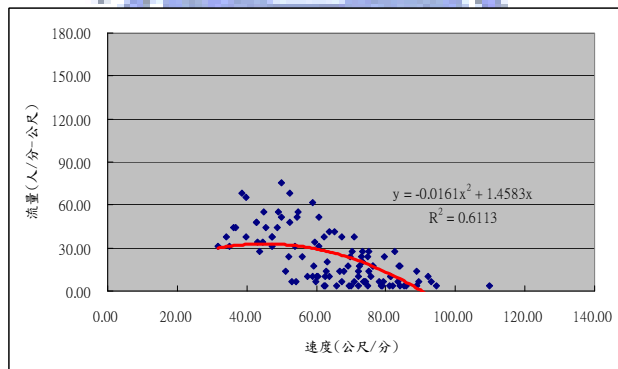


圖 4.27 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出)

若未透過車流  $Q=KV$  公式進行轉換，而直接以線性迴歸分析，可得由東往西方向行人速度與流量之關係式 (式 4.19)，關係圖如圖 4.28 所示。

$$V = -0.57Q + 78.05 (R^2 = 0.44) \dots\dots\dots(\text{式 4.19})$$

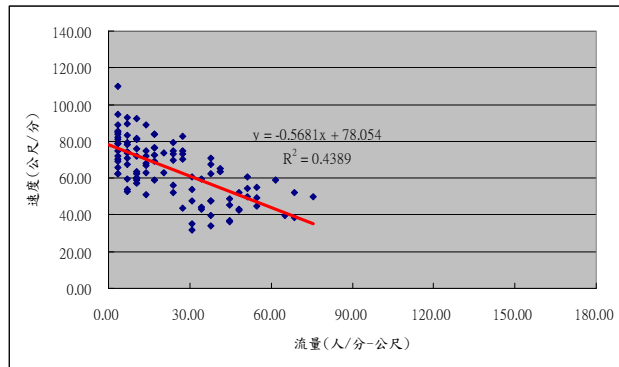


圖 4.28 由東往西方向行人速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸)

由式 4.18 與式 4.19 比較可知，若直接以線性迴歸分析所得出之迴歸式  $R^2$  值相對較低，透過 QKV 公式轉換以多項式進行迴歸後所得之迴歸式對於樣本的解釋能力較佳。

將式 4.7 代入可導出雙向混合行人流速度與流量之關係式 (式 4.20)，關係圖如圖 4.29 所示。

$$Q = -0.04V^2 + 3.15V \dots\dots\dots(\text{式 4.20})$$

藉由式 4.20 可推導出在速度為 41.45(公尺/分)時，流量最大值為 65.28(人/分鐘-公尺)。

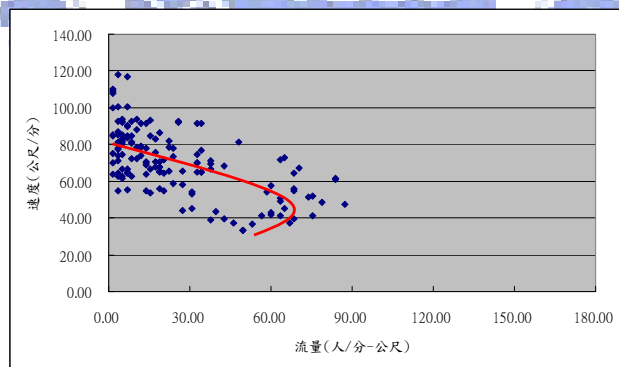


圖 4.29 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (公式導出)

另外藉由樣本資料，可導出雙向混合行人流速度與流量之趨勢關係式 (式 4.21)，關係圖如圖 4.30 所示。

$$Q = -0.01V^2 + 1.42V (R^2 = 0.43) \dots\dots\dots(\text{式 4.21})$$



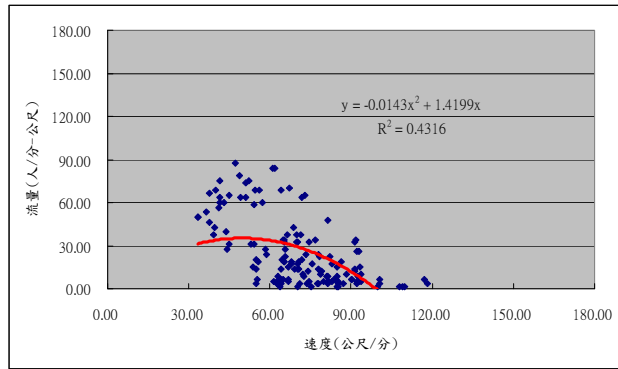


圖 4.30 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (樣本求出)

若未透過車流  $Q=KV$  公式進行轉換，而直接以線性迴歸分析，可得雙向混合行人流速度與流量之關係式 (式 4.22)，關係圖如圖 4.31 所示。

$$V = -0.48Q + 82.69 (R^2 = 0.39) \dots\dots\dots (式 4.22)$$

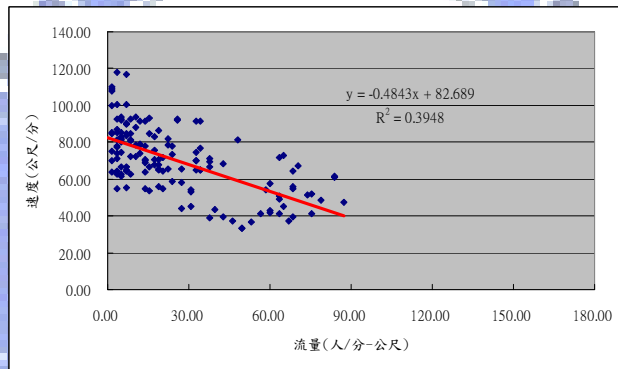


圖 4.31 雙向混合行人流速度-流量關係圖 (樣本求出並採線性迴歸)

由式 4.21 與式 4.22 比較可知，若直接以線性迴歸分析所得出之迴歸式  $R^2$  值相對較低，透過  $QKV$  公式轉換以多項式進行迴歸後所得之迴歸式對於樣本的解釋能力較佳。

#### 四、流量-每人空間關係

另透過式 4.8 流量與密度關係式可直接換算出由西往東方向行人流量與每人空間之關係式 (式 4.23)，關係圖如圖 4.32 所示。

$$Q = -20.07/M^2 + 83.53/M \dots\dots\dots (式 4.23)$$

藉由式 4.23 可推導出在每人空間為 0.48(平方公尺/人)時，流量最大值為 86.94(人/分鐘-公尺)。

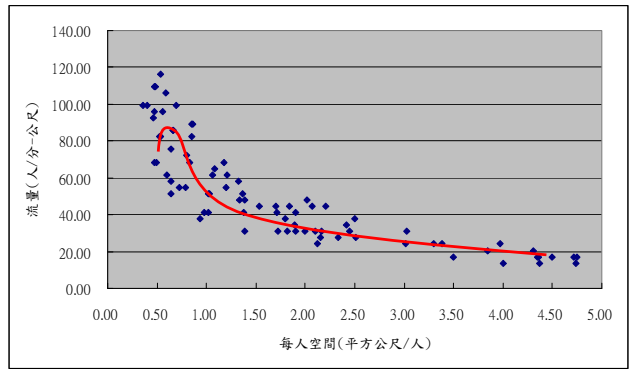


圖 4.32 由西往東方向行人流量-每人空間關係圖 (公式導出)

透過式 4.10 流量與密度關係式可換算出由東往西方向行人流量與每人空間之關係式 (式 4.24)，關係圖如圖 4.33 所示。

$$Q = -28.88/M^2 + 77.50/M \dots\dots\dots(式 4.24)$$

藉由式 4.24 可推導出在每人空間為 0.75(平方公尺/人)時，流量最大值為 52.00(人/分鐘-公尺)。

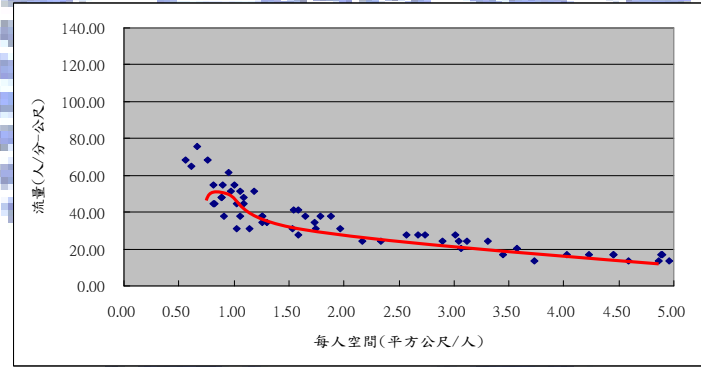


圖 4.33 由東往西方向行人流量-每人空間關係圖 (公式導出)

透過式 4.12 流量與密度關係式可換算出雙向混合行人流流量與每人空間之關係式 (式 4.25)，關係圖如圖 4.34 所示。

$$Q = -26.13/M^2 + 82.31/M \dots\dots\dots(式 4.25)$$

藉由式 4.25 可推導出在每人空間為 0.64(平方公尺/人)時，流量最大值為 64.82(人/分鐘-公尺)。

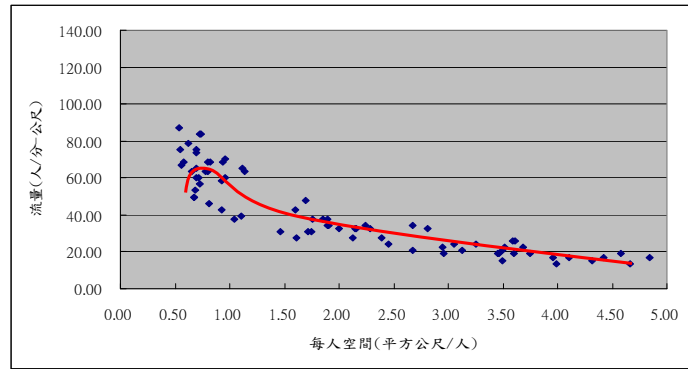


圖 4.34 雙向混合行人流流量-每人空間關係圖 (公式導出)

由於行人的空間隨流量增加而減少，但並非每人空間越小通過的行人流量就會越大，會趨近於某一定值，此即為飽和容量值。

### 五、速度-每人空間關係

透過式 4.3 速度與密度關係式可直接換算出由西往東方向行人速度與每人空間之關係式 (式 4.26)，關係圖如圖 4.35 所示。

$$V = -20.07/M + 83.53 \dots\dots\dots(式 4.26)$$

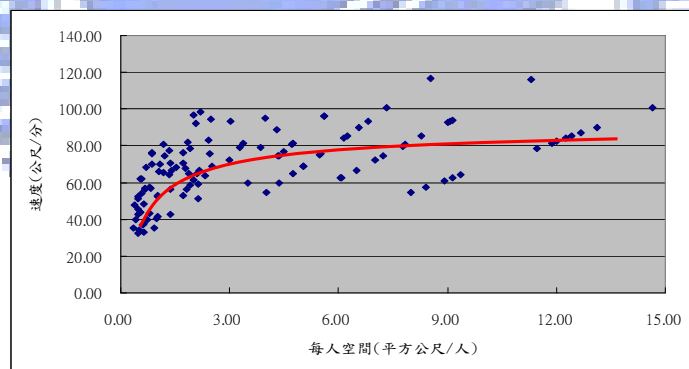


圖 4.35 由西往東方向行人速度-每人空間關係圖 (公式導出)

透過式 4.6 速度與密度關係式可直接換算出由東往西方向行人速度與每人空間之關係式 (式 4.27)，關係圖如圖 4.36 所示。

$$V = -28.88/M + 77.50 \dots\dots\dots(式 4.27)$$

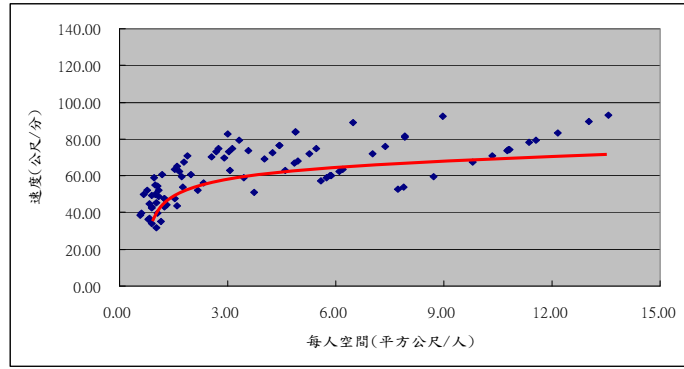


圖 4.36 由東往西方向行人速度-每人空間關係圖 (公式導出)

透過式 4.7 速度與密度關係式可直接換算出由雙向混合行人流速度與每人空間之關係式 (式 4.28)，關係圖如圖 4.37 所示。

$$V = -26.13/M + 82.31 \dots\dots\dots(式 4.28)$$

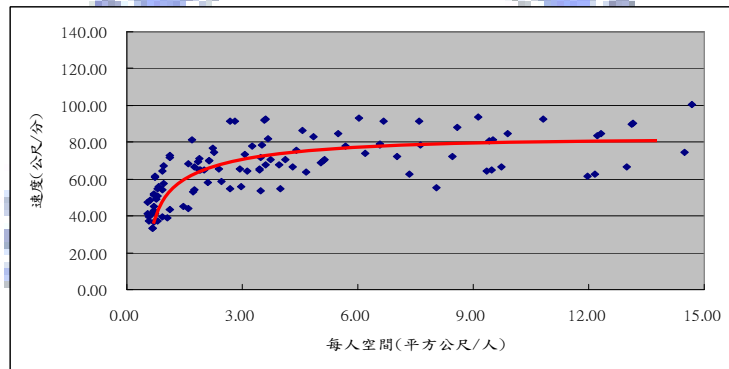


圖 4.37 雙向混合行人流速度-每人空間關係圖 (公式導出)

由行人速度-每人空間關係圖中可發現行人移動速度隨每人空間增加而增加，但是會趨於一定值，此與先驗知識相符，行人步行速率在無空間因素影響之下，會受其移動速度極限之影響，致使無論空間如何寬敞，行人移動速度將會趨於一定值。反之，若每人空間縮小，行人移動速度將會受限，導致步行速度降低。

## 六、小結

經由上述散佈圖以及構出之簡單迴歸模式，可發現行人流與車流類似，車流 QKV 關係式亦可於行人流中使用。且依照散佈圖顯示，樣本與迴歸模式配適度良好，唯缺點在於缺乏較多的尖峰行人流量資料，致使所繪出之散佈圖仍有缺漏，然若僅就速度密度關係圖來看，三類樣本迴歸模式  $R^2$  值均達 0.49 以上，顯示模式具有一定的解釋能力。

將上述各流量、速度、密度關係式統整如下表 4.12，可觀察出由西往東方向行人在密度為 2.08(人/平方公尺)或移動速度在 41.63(公尺/分鐘)時，最大流量約

為 87(人/分鐘-公尺)；由東往西方向行人在密度為 1.34(人/平方公尺)或移動速度在 38.34(公尺/分鐘)時，最大流量為 52(人/分鐘-公尺)；雙向混合行人流在密度為 1.58(人/平方公尺)或移動速度在 41.45(公尺/分鐘)時，最大流量為 65(人/分鐘-公尺)。

表 4.12 QKV 關係式統計表

| 樣本<br>關係式 | 由西往東方向行人   | 由東往西方向行人   | 雙向混合行人流  |
|-----------|--|--|--|
| V-K       | $V = -20.07K + 83.53$<br>$R^2 = 0.49$                | $V = -28.88K + 77.50$<br>$R^2 = 0.60$                | $V = -26.13K + 82.31$<br>$R^2 = 0.54$                |
| Q-K       | $Q = -20.07K^2 + 83.53K$<br>$K=2.08, Q \max=86.94$   | $Q = -28.88K^2 + 77.50K$<br>$K=1.34, Q \max=52.00$   | $Q = -26.13K^2 + 82.31K$<br>$K=1.58, Q \max=64.82$   |
| Q-V       | $Q = -0.05V^2 + 4.16V$<br>$V=41.63, Q \max=86.65$    | $Q = -0.04V^2 + 2.68V$<br>$V=38.34, Q \max=51.46$    | $Q = -0.04V^2 + 3.15V$<br>$V=41.45, Q \max=65.28$    |
| Q-M       | $Q = -20.07/M^2 + 83.53/M$<br>$M=0.48, Q \max=86.94$ | $Q = -28.88/M^2 + 77.50/M$<br>$M=0.75, Q \max=52.00$ | $Q = -26.13/M^2 + 82.31/M$<br>$M=0.64, Q \max=64.82$ |
| V-M       | $V = -20.07/M + 83.53$                               | $V = -28.88/M + 77.50$                               | $V = -26.13/M + 82.31$                               |

#### 4.4 微觀人流資料初步特性分析

本研究中欲探討有何相關影響因素會影響行人於移動時之行為選擇，以下將逐一討論影響行人移動時行為選擇之前後行人速度差異、跟隨間距、前方總瞬時密度、性別、性別異同與綠燈號誌剩餘秒數等因素，以作為後續建構微觀行人行為模式之基礎。對於微觀人流資料，本研究仍區分為尖峰資料以及離峰資料兩類，並分別進行探討。

##### 4.4.1 速度差異與行人行為之比較

利用所蒐集之行人流資料，本研究將行人在穿越行人穿越道時之移動行為區分為超越前方行人、僅作橫向偏移以及跟隨前方行人三種，利用單因子變異數分析(One-way ANOVA)，來進行不同行人行為對於與前方行人速度差是否具差異性之檢定，進而分析速度差對於不同行人行為之影響。

##### 一、尖離峰時段比較

首先利用獨立樣本 t 檢定比較尖峰及離峰兩類樣本之平均速度差是否具有顯著差異，經結果(表 4.13)顯示，兩者的平均速度差無顯著差異。因此接下來不區

分尖離峰兩類樣本，直接進行不同行人行為對於與前方行人速度差是否具差異性之比較。

表 4.13 尖離峰時段行人之平均速度差異獨立樣本 t 檢定

| 樣本類別 | 個數 | 平均速度差異(公尺/分) | 標準差  | t 值  | 顯著性(雙尾) |
|------|----|--------------|------|------|---------|
| 尖峰   | 60 | 0.20         | 0.19 | 0.62 | 0.54    |
| 離峰   | 60 | 0.18         | 0.20 |      |         |

## 二、行人行為型態比較

利用單因子變異數分析，分別檢定三種行人行為型態對於前方行人速度是否具差異性，結果發現(表 4.14)為拒絕虛無假設，即三個平均數不全相等，因此更進一步利用多重比較檢定來檢定所有行為型態兩兩配對之比較，因本研究中各組樣本數不同，故採用 Scheefe 多重比較法來進行多重比較(表 4.15)，其結果發現三種行人行為型態之速度差互相具有顯著差異。

表 4.14 行人行為與前後行人速度差之檢定

| 行人移動行為 | 樣本數目 | 速度差平均數(公尺/分) | 標準差  | F 檢定  | 顯著性  |
|--------|------|--------------|------|-------|------|
| 超越前方行人 | 30   | 0.45         | 0.18 | 98.59 | 0.00 |
| 僅作橫向偏移 | 30   | 0.17         | 0.10 |       |      |
| 跟隨前方行人 | 60   | 0.07         | 0.09 |       |      |
| 總和     | 120  | 0.19         | 0.20 |       |      |

表 4.15 Scheefe 多重比較法

| (I) 行人行為 | (J) 行人行為 | 平均差異 (I-J) | 顯著性  |
|----------|----------|------------|------|
| 超越前方行人   | 僅作橫向偏移*  | 0.28       | 0.00 |
| 超越前方行人   | 跟隨前方行人*  | 0.38       | 0.00 |
| 僅作橫向偏移   | 跟隨前方行人*  | 0.10       | 0.00 |

\*在 0.05 水準上的平均差異很顯著

## 三、小結

數據顯示結果與先驗知識相符，三類行人行為之速度差平均數具有顯著的差異。行人欲進行超越時，必須具有一定的速度始能超越前方慢行者；不願繼續跟隨前方行人者，在進行橫向移動的同時也會帶有加速度；而繼續跟隨的行人，由於兩著的速度趨於同速，因此不具有速度差。

### 4.4.2 跟隨間距與行人行為之比較

## 一、尖離峰時段比較

利用獨立樣本 t 檢定比較尖峰及離峰之行人平均跟隨間距是否具有顯著差異，經結果(表 4.16)顯示，行人平均跟隨間距在尖峰時與在離峰時具有顯著差異。離峰時段的平均跟隨間距顯著高於尖峰時段。因此接下來區分尖離峰兩類樣本，分別進行不同行人行為對於平均跟隨間距是否具差異性之比較。

表 4.16 尖離峰時段行人之平均跟隨間距獨立樣本 t 檢定

| 樣本類別 | 個數 | 平均跟隨間距(公分) | 標準差   | t 值    | 顯著性(雙尾) |
|------|----|------------|-------|--------|---------|
| 尖峰   | 60 | 46.83      | 17.80 | -12.35 | 0.00    |
| 離峰   | 60 | 122.67     | 44.11 |        |         |

## 二、離峰時段

分別檢定離峰時段三種行人行為型態對於前方行人跟隨距離是否具差異性，結果發現(表 4.17)為拒絕虛無假設，即三個平均數不全相等，因此更進一步利用多重比較檢定來檢定所有行為型態兩兩配對之比較，因本研究中各組樣本數不同，故採用 Scheefe 多重比較法來進行多重比較(表 4.18)，結果發現三類型人行為之平均跟隨間距互相具有顯著差異。

表 4.17 離峰時段行人行為與前後行人跟隨間距之檢定

| 行人移動行為 | 樣本數目 | 平均跟隨間距(公分) | 標準差   | F 檢定  | 顯著性  |
|--------|------|------------|-------|-------|------|
| 超越前方行人 | 15   | 65.33      | 20.31 | 69.74 | 0.00 |
| 僅作橫向偏移 | 15   | 115.33     | 23.86 |       |      |
| 跟隨前方行人 | 30   | 155.00     | 25.96 |       |      |
| 總和     | 60   | 122.67     | 44.11 |       |      |

表 4.18 Scheefe 多重比較法

| (I) 行人行為 | (J) 行人行為 | 平均差異 (I-J) | 顯著性  |
|----------|----------|------------|------|
| 超越前方行人   | 僅作橫向偏移*  | -50.00     | 0.00 |
| 超越前方行人   | 跟隨前方行人*  | -89.67     | 0.00 |
| 僅作橫向偏移   | 跟隨前方行人*  | -39.67     | 0.00 |

\*在 0.05 水準上的平均差異很顯著

## 三、尖峰時段

接著檢定尖峰時段三種行人行為型態對於前方行人跟隨間距是否具差異性，結果發現(表 4.19)為拒絕虛無假設，即三個平均數不全相等，因此更進一步

利用多重比較檢定來檢定所有行為型態兩兩配對之比較，因本研究中各組樣本數不同，故採用 Scheefe 多重比較法來進行多重比較(表 4.20)，其結果發現只有行人僅作橫向偏移行為時之跟隨間距顯著高於跟隨前方行人時之跟隨間距。

表 4.19 尖峰時段行人行為與前後行人跟隨間距之檢定

| 行人移動行為 | 樣本數目 | 平均跟隨間距(公分) | 標準差   | F 檢定 | 顯著性  |
|--------|------|------------|-------|------|------|
| 超越前方行人 | 15   | 50.00      | 20.35 | 9.71 | 0.00 |
| 僅作橫向偏移 | 15   | 60.00      | 16.48 |      |      |
| 跟隨前方行人 | 30   | 38.67      | 12.24 |      |      |
| 總和     | 60   | 46.83      | 17.80 |      |      |

表 4.20 Scheefe 多重比較法

| (I) 行人行為 | (J) 行人行為 | 平均差異 (I-J) | 顯著性  |
|----------|----------|------------|------|
| 超越前方行人   | 僅作橫向偏移   | -10.00     | 0.22 |
| 超越前方行人   | 跟隨前方行人   | 11.33      | 0.08 |
| 僅作橫向偏移   | 跟隨前方行人*  | 21.33      | 0.00 |

\*在 0.05 水準上的平均差異很顯著

#### 四、小結

在離峰時段，行人行為的不同與跟隨前方行人的距離有關，跟隨行為時前後方行人跟隨距離較長，若進行橫向移動時，雙方跟隨間距會稍微縮短；若進行超越時，則會在跟隨到一定距離後始進行超越動作。

在尖峰時段，由於行人眾多，空間較密集，相對來說尖峰時段的行人平均跟隨間距都顯著低於離峰時段，而此時段僅橫移行為之平均跟隨間距會顯著高於跟隨行為，這顯示在尖峰時行人跟隨時較為接近前方行人，而若不願繼續跟隨，會拉開與前方行人之距離再進行橫移之動作。

### 4.4.3 前方總瞬時密度與行人行為之比較

#### 一、尖離峰時段比較

利用獨立樣本 t 檢定比較尖峰及離峰之行人前方總瞬時密度是否具有顯著差異，經結果(表 4.21)顯示，尖峰時行人前方總瞬時密度顯著高於離峰時之前方總瞬時密度。因此接下來區分尖離峰兩類樣本，分別進行不同行人行為對於前方總瞬時密度是否具差異性之比較。



表 4.21 尖離峰時段行人之前方總瞬時密度獨立樣本 t 檢定

| 樣本類別 | 個數 | 平均前方總瞬時密度<br>(人/平方公尺) | 標準差  | t 值  | 顯著性(雙尾) |
|------|----|-----------------------|------|------|---------|
| 尖峰   | 60 | 1.17                  | 0.63 | 8.14 | 0.00    |
| 離峰   | 60 | 0.47                  | 0.22 |      |         |

## 二、離峰時段

將樣本區分為尖峰及離峰後，首先分別檢定離峰時段三種行人行為型態對於前方總瞬時密度是否具有顯著差異，結果發現(表 4.22)p 值大於等於 0.05，接受虛無假設，即三個平均數相等，表示在低密度時前方總瞬時密度對於三種行人行為型態不具有顯著影響。

表 4.22 離峰時段行人行為與前方總瞬時密度之檢定

| 行人移動行為 | 樣本數目 | 平均前方總瞬時密度<br>(人/平方公尺) | 標準差  | F 檢定 | 顯著性  |
|--------|------|-----------------------|------|------|------|
| 超越前方行人 | 15   | 0.40                  | 0.13 | 3.28 | 0.05 |
| 僅作橫向偏移 | 15   | 0.58                  | 0.32 |      |      |
| 跟隨前方行人 | 30   | 0.44                  | 0.17 |      |      |
| 總和     | 60   | 0.47                  | 0.22 |      |      |

## 三、尖峰時段

分別檢定尖峰時段三種行人行為型態對於前方總瞬時密度是否具差異性，結果發現(表 4.23)為拒絕虛無假設，即三個平均數不全相等，因此更進一步利用多重比較檢定來檢定所有行為型態兩兩配對之比較，因本研究中各組樣本數不同，故採用 Scheffe 多重比較法來進行多重比較(表 4.24)，其結果發現跟隨前方行人時之前方總瞬時密度會顯著高於超越前方行人以及僅作橫向偏移時之前方總瞬時密度。

表 4.23 尖峰時段行人行為與前方總瞬時密度之檢定

| 行人移動行為 | 樣本數目 | 平均前方總瞬時密度<br>(人/平方公尺) | 標準差  | F 檢定  | 顯著性  |
|--------|------|-----------------------|------|-------|------|
| 超越前方行人 | 15   | 0.67                  | 0.20 | 51.53 | 0.00 |
| 僅作橫向偏移 | 15   | 0.67                  | 0.28 |       |      |
| 跟隨前方行人 | 30   | 1.68                  | 0.48 |       |      |
| 總和     | 60   | 1.17                  | 0.63 |       |      |

表 4.24 Scheefe 多重比較法

| (I) 行人行為 | (J) 行人行為 | 平均差異 (I-J) | 顯著性  |
|----------|----------|------------|------|
| 超越前方行人   | 僅作橫向偏移   | 0.00       | 1.00 |
| 超越前方行人   | 跟隨前方行人*  | -1.01      | 0.00 |
| 僅作橫向偏移   | 跟隨前方行人*  | -1.01      | 0.00 |

\*在 0.05 水準上的平均差異很顯著

#### 四、小結

在離峰時，由於行人稀少，行人在進行各項行為時前方 4 平方公尺範圍內包含的正逆向行人總數不多，因此，前方總瞬時密度均偏低，且三種行為在前方總瞬時密度方面無顯著差異。相對來說，在尖峰時段由於行人眾多，在進行各項行為時，前方必然存有一定數量之行人，因此前方 4 平方公尺範圍內行人密度偏高，且跟隨行為時前方 4 平方公尺範圍內的行人密度顯著高於另兩種行為。

#### 4.4.4 性別與行人行為之比較

接著進行行人性別與不同行人行為之間是否具差異性之比較，由於性別與行人移動行為均為類別變數，適合使用卡方獨立性檢定來檢定兩變數是否具有顯著差異。

##### 一、離峰時段

經皮爾森卡方檢定後，Pearson $\chi^2$  之 p 值=0.20 大於 0.05，檢定結果接受虛無假設，表示離峰時段性別對於影響行人行為型態不具顯著差異，如表 4.25 所示。

表 4.25 離峰時段行人行為-性別列聯表

| 性別 \ 行人行為 |       | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 | 總和    |
|-----------|-------|--------|--------|--------|-------|
|           |       | 個數     | 期望個數   | 總和的 %  | 標準化殘差 |
| 男性        | 個數    | 11     | 7      | 14     | 32    |
|           | 期望個數  | 8      | 8      | 16     | 32    |
|           | 總和的 % | 18.33  | 11.67  | 23.33  | 53.33 |
|           | 標準化殘差 | 1.06   | -0.35  | -0.50  |       |
| 女性        | 個數    | 4      | 8      | 16     | 28    |
|           | 期望個數  | 7      | 7      | 14     | 28    |
|           | 總和的 % | 6.67   | 13.33  | 26.67  | 46.67 |
|           | 標準化殘差 | -1.13  | 0.38   | 0.53   |       |
| 總和        | 個數    | 15     | 15     | 30     | 60    |
|           | 期望個數  | 15     | 15     | 30     | 60    |
|           | 總和的 % | 25     | 25     | 50     | 100   |

## 二、尖峰時段

經皮爾森卡方檢定後發現，Pearson $\chi^2$  之 p 值=0.67 大於 0.05，檢定結果接受虛無假設，表示尖峰時段性別對於行人行為型態亦不具顯著差異，列聯表如表 4.26 所示。

表 4.26 尖峰時段行人行為-性別列聯表

| 性別 |       | 行人行為   |        |        | 總和    |
|----|-------|--------|--------|--------|-------|
|    |       | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 |       |
| 男性 | 個數    | 9      | 7      | 18     | 34    |
|    | 期望個數  | 8.5    | 8.5    | 17     | 34    |
|    | 總和的 % | 15.00  | 11.67  | 30.00  | 56.67 |
|    | 標準化殘差 | 0.17   | -0.51  | 0.24   |       |
| 女性 | 個數    | 6      | 8      | 12     | 26    |
|    | 期望個數  | 6.5    | 6.5    | 13     | 26    |
|    | 總和的 % | 10.00  | 13.33  | 20.00  | 43.33 |
|    | 標準化殘差 | -0.20  | 0.59   | -0.28  |       |
| 總和 | 個數    | 15     | 15     | 30     | 60    |
|    | 期望個數  | 15     | 15     | 30     | 60    |
|    | 總和的 % | 25     | 25     | 50     | 100   |

## 三、小結

性別變數對於行人行為選擇無論在離峰時或在尖峰時均不顯著，可合理解釋為無論男性或女性，尖峰或離峰，行人會選擇的行為無顯著差異。因此，性別變數並非影響行人是否進行行為選擇之顯著因素。

### 4.4.5 前後行人性別異同與行人行為之比較

接著進行前後行人性別異同與不同行人行為之間是否具差異性之比較，由於性別異同與行人移動行為均為類別變數，適合使用卡方獨立性檢定來檢定兩變數是否具有顯著差異。

#### 一、離峰時段

經皮爾森卡方檢定後發現，Pearson $\chi^2$  之 p 值=0.16 大於 0.05，檢定結果接受虛無假設，表示離峰時段前後行人性別異同對於行人行為選擇型態是不具顯著差異的。其列聯表如表 4.27 所示。

表 4.27 離峰時段行人行為-性別異同列聯表

| 性別異同 |       | 行人行為   |        |        | 總和    |
|------|-------|--------|--------|--------|-------|
|      |       | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 |       |
| 異性   | 個數    | 6      | 11     | 15     | 32    |
|      | 期望個數  | 8      | 8      | 16     | 32    |
|      | 總和的 % | 10.00  | 18.33  | 25.00  | 53.33 |
|      | 標準化殘差 | -0.71  | 1.06   | -0.25  |       |
| 同性   | 個數    | 9      | 4      | 15     | 28    |
|      | 期望個數  | 7      | 7      | 14     | 28    |
|      | 總和的 % | 15.00  | 6.67   | 25.00  | 46.67 |
|      | 標準化殘差 | 0.76   | -1.13  | 0.27   |       |
| 總和   | 個數    | 15     | 15     | 30     | 60    |
|      | 期望個數  | 15     | 15     | 30     | 60    |
|      | 總和的 % | 25     | 25     | 50     | 100   |

## 二、尖峰時段

經皮爾森卡方檢定後發現，Pearson $\chi^2$ 之p值=0.02小於0.05，檢定結果拒絕虛無假設，表示尖峰時段前後行人性別異同對於影響行人行為選擇型態具顯著差異。進一步觀察列聯表(表 4.28)內細格，發現在超越前方行人行為方面，異性較同性明顯；在跟隨前方行人行為方面，同性較異性明顯。前後行人若為異性，則在三種行為之中，較容易出現超越前方行人行為，不易出現跟隨前方行人行為；若前後行人為同性，則與前述情形相反。

表 4.28 尖峰時段行人行為-性別異同列聯表

| 性別異同 |       | 行人行為   |        |        | 總和    |
|------|-------|--------|--------|--------|-------|
|      |       | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 |       |
| 異性   | 個數    | 13     | 10     | 13     | 36    |
|      | 期望個數  | 9      | 9      | 18     | 36    |
|      | 總和的 % | 21.67  | 16.67  | 21.67  | 60.00 |
|      | 標準化殘差 | 1.33   | 0.33   | -1.18  |       |
| 同性   | 個數    | 2      | 5      | 17     | 24    |
|      | 期望個數  | 6      | 6      | 12     | 24    |
|      | 總和的 % | 3.33   | 8.33   | 28.33  | 40.00 |
|      | 標準化殘差 | -1.63  | -0.41  | 1.44   |       |
| 總和   | 個數    | 15     | 15     | 30     | 60    |
|      | 期望個數  | 15     | 15     | 30     | 60    |
|      | 總和的 % | 25     | 25     | 50     | 100   |

## 三、小結

性別異同對於行人行為選擇在離峰時不顯著但在尖峰時顯著，可合理解釋為在離峰時行人自由度高，每人行走空間較廣，不易造成與前方行人距離過近，因此不會顧忌跟隨距離若過近必須改變或移開之困擾。然而在尖峰時段由於行人易

產生肢體接觸，為避免不必要之困擾，行人將容易伺機更換行走行為，而不繼續跟隨前方異性。若前方為同性行人，則較無不必要之顧忌，易因擁擠因素而持續跟隨前方行人以利穿越人行道。

#### 4.4.6 綠燈號誌剩餘秒數與行人行為之比較

研究中將剩餘秒數變數類別化，區分為五類，第一類為剩下 0 秒~9 秒之間、第二類為剩下 10 秒~19 秒之間、第三類為剩下 20 秒~29 秒之間、第四類為剩下 30 秒~39 秒之間、第五類為剩下 40 秒~49 秒之間。經由列聯表(表 4.29)顯示，在剩餘 40~49 秒以及剩餘 0~9 秒時較剩餘 20~29 秒時容易產生超越行為；而在剩餘 10~19 秒時明顯較其他時段容易產生橫移之行為；而在剩餘 20~29 秒以及剩餘 30~39 秒時較其他時段易於持續跟隨前方行人。

囿於樣本數目，列聯表 4.29 內有 26.7%細格的預期個數少於 5，分析上容易產生誤差，因此不將此變數納入下章模式構建之考慮變數。但仍可利用表中數據進行合理解釋。由於號誌初始時，前方無對向行人干擾，移動方向空間寬敞足以進行超越，而號誌即將結束時段僅剩下零星行人，移動方向空間寬敞亦足以進行超越，且行人多急於穿越路口，因此表中顯示行人進行超越動作時，大多於號誌初始秒數剩下 40~49 秒時或號誌即將結束秒數剩下 0~9 秒時進行。

表 4.29 行人行為-號誌剩餘秒數列聯表

| 行人行為 \ 號誌剩餘秒數 |       | 號誌剩餘秒數 |       |       |       |       | 總和     |
|---------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|               |       | 0~9    | 10~19 | 20~29 | 30~39 | 40~49 |        |
| 超越            | 個數    | 5      | 8     | 1     | 7     | 9     | 30     |
|               | 期望個數  | 4      | 7.75  | 6     | 7.5   | 4.75  | 30     |
|               | 總和的 % | 4.17   | 6.67  | 0.83  | 5.83  | 7.50  | 25.00  |
|               | 標準化殘差 | 0.50   | 0.09  | -2.04 | -0.18 | 1.95  |        |
| 橫移            | 個數    | 6      | 13    | 5     | 1     | 5     | 30     |
|               | 期望個數  | 4      | 7.75  | 6     | 7.5   | 4.75  | 30     |
|               | 總和的 % | 5.00   | 10.83 | 4.17  | 0.83  | 4.17  | 25.00  |
|               | 標準化殘差 | 1.00   | 1.89  | -0.41 | -2.37 | 0.11  |        |
| 跟隨            | 個數    | 5      | 10    | 18    | 22    | 5     | 60     |
|               | 期望個數  | 8      | 15.5  | 12    | 15    | 9.5   | 60     |
|               | 總和的 % | 4.17   | 8.33  | 15.00 | 18.33 | 4.17  | 50.00  |
|               | 標準化殘差 | -1.06  | -1.40 | 1.73  | 1.81  | -1.46 |        |
| 總和            | 個數    | 16     | 31    | 24    | 30    | 19    | 120    |
|               | 期望個數  | 16     | 31    | 24    | 30    | 19    | 120    |
|               | 總和的 % | 13.33  | 25.83 | 20.00 | 25.00 | 15.83 | 100.00 |

\*4 格(26.7%)的預期個數少於 5

而行人有偏移行為時多位於號誌秒數剩餘 10-19 秒時段，由於雙向行人於穿越道中央進行正面交會衝突後已無逆向行人，每人空間擴大，為使移動較為舒適，行人將不繼續跟隨前方行人，僅進行橫向偏移之動作，此為行人橫向擴散現象。

另外在跟隨前方行人方面，由於行人穿越道空間限制，行人於穿越行人穿越道時會自動聚集並跟隨前方行人以利穿越，而不致直接與對向行人產生衝突，此即 Helbing[32]研究中所提出之行人自我組織現象。此現象約於號誌始亮後 10 秒，雙向行人於穿越道中央交會後明顯產生，而在行人通過穿越道中線逆向行人減少時，跟隨行為逐漸不明顯。



## 第五章 人流模式構建與驗證

由上一章分析，可知行人移動行為（超越、橫移、跟隨）可能受到速度差異、跟隨間距、前方總瞬時密度、性別異同等因素影響，故本研究以上述討論之影響因素為基礎，用以構建微觀人流模式（本研究中亦稱行人行為模式）。並針對具行人專用時相路口行人穿越道上行人為對象，區分尖峰以及離峰兩類樣本進行分析，分別構建尖峰時段行人行為模式以及離峰時段行人行為模式。5.1 節為利用判別分析進行模式構建；5.2 節則為利用多項羅吉斯迴歸分析來進行模式構建；5.3 節則針對前兩小節構建出之模式進行比較分析。

### 5.1 以判別分析構建模式

#### 5.1.1 離峰時段行人行為判別模式

##### 一、依變數與自變數間相關分析

本研究首先以相關分析法，探討依變數行人行為型態（超越、橫移、跟隨）與解釋變數間之相關強度，進而利用顯著具關聯性的解釋變數進行模式構建。由於研究中所探討之解釋變數有連續變數與類別變數，故分別以相關比(correlation ratio，又稱平方係數 Eta)及列聯係數(contingency coefficient)，探討連續解釋變數對類別依變數（行人行為）之削減誤差百分比(PRE)，以及類別解釋變數對類別依變數（行人行為）之相關強度。

經由相關分析結果可知(表 5.1)，僅速度差異(V)、跟隨間距(S)對於行人行為較具有相關性存在，進一步以此二類解釋變數進行判別分析。

表 5.1 行人行為與解釋變數間相關分析表

| 解釋變數<br>相關係數     | 速度差異       | 跟隨間距       | 前方總瞬時密度    | 性別異同       |
|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Eta              | 0.88       | 0.84       | 0.32       | -          |
| Eta <sup>2</sup> | 0.78(0.00) | 0.71(0.00) | 0.10(0.85) | -          |
| 列聯係數             | -          | -          | -          | 0.24(0.16) |

註：( )為顯著性

##### 二、逐步判別分析法

為了避免變數間有高度相關，本研究利用逐步判別分析，找出有判別能力的

變數後，再利用這些有判別能力的變數進行判別分析。以逐步的方式，在每一步驟中將評估選取最有判別能力的變數進入模式內。經逐步分析方法後，得到如表 5.2，可知速度差異(V)、跟隨間距(S)二個自變數均被選入模式內。

表 5.2 投入變數摘要表

| 投入變數 | 容忍度  | 欲刪除的 F 顯著性 | Wilk's Lambda 值 |
|------|------|------------|-----------------|
| 速度差異 | 0.95 | 0.00       | 0.41            |
| 跟隨間距 | 0.95 | 0.00       | 0.29            |

### 三、典型判別函數

下表(表 5.3)為速度差異(V)與跟隨間距(S)在行人行為型態間之判別分析摘要表，表中第一典型判別函數( $D_1$ ) p 值小於 0.05，達顯著水準；第二典型判別函數( $D_2$ ) p 值大於 0.05，未達顯著水準。顯示第一典型判別函數能有效地解釋樣本在依變數上之變異量，但第二典型判別函數解釋效果較差。

從標準化判別函數的標準化係數中可看出各自變項在各判別函數上之相對重要性，係數絕對值愈大重要性愈大，本研究中兩個標準化典型判別函數  $D_1$  及  $D_2$  分別如式 5.1 與式 5.2 所示：

$$D_1 = -0.73V + 0.86S \dots\dots\dots(式 5.1)$$

$$D_2 = 0.72V + 0.55S \dots\dots\dots(式 5.2)$$

從標準化判別函數係數絕對值大小可以看出，變數速度差異(V)與跟隨間距(S)對於第一典型判別函數相對重要。結構矩陣係數絕對值愈大者，表示此變數與判別函數的相關性愈高，對判別函數的影響力愈大，從表 5.3 結構矩陣係數中可看出，變數跟隨間距(S)對於第一典型判別函數的相關性較高，而變數速度差異(V)對於第二個典型判別函數的相關性較高，此結果與標準化典型判別函數所呈現結果有些許出入，此為結果中較難解釋之處。

表 5.3 典型判別函數係數表

| 判別函數<br>變數   | 未標準化判別函數 |       | 標準化判別函數 |       | 結構矩陣係數 |       |
|--|----------|-------|---------|-------|--------|-------|
|  | $D_1$    | $D_2$ | $D_1$   | $D_2$ | $D_1$  | $D_2$ |
| 速度差異(V)  | -5.46    | 5.44  | -0.73   | 0.72  | -0.54  | 0.84  |
| 跟隨間距(S)  | 0.04     | 0.02  | 0.86    | 0.55  | 0.71   | 0.71  |
| 常數   | -3.42    | -3.76 | -       | -     | -      | -     |
| $D_1$ ：特徵值=4.88 Wilk's Lambda=0.17 卡方值=101.79 p=0.00<br>$D_2$ ：特徵值=0.03 Wilk's Lambda=0.97 卡方值=1.67 p=0.20 |          |       |         |       |        |       |



#### 四、類組中心以及合併組散佈圖

下表 5.4 為類組中心表，描述在判別空間中每一組觀察值的中心位置，當各組樣本之類組中心差異值愈大，表示各組間在該判別函數上的差異愈大；表中三類行人行為的第一判別函數平均值分別為(-3.47、-0.14、1.80)，可明顯看出差異，因此，第一判別函數可清楚判別三類行人行為；而三類行人行為在第二判別函數平均值分別為(0.11、-0.29、0.09)亦有所差異，依然可對三類行人行為進行判別。

表 5.4 類組中心表

| 行人行為 \ 判別函數 | 判別函數  |       |
|-------------|-------|-------|
|             | $D_1$ | $D_2$ |
| 超越前方行人      | -3.47 | 0.11  |
| 僅作橫向偏移      | -0.14 | -0.29 |
| 跟隨前方行人      | 1.80  | 0.09  |

依據類組中心表可繪出合併組散佈圖，如圖 5.1 所示。依圖可明顯觀察出樣本分佈情形。

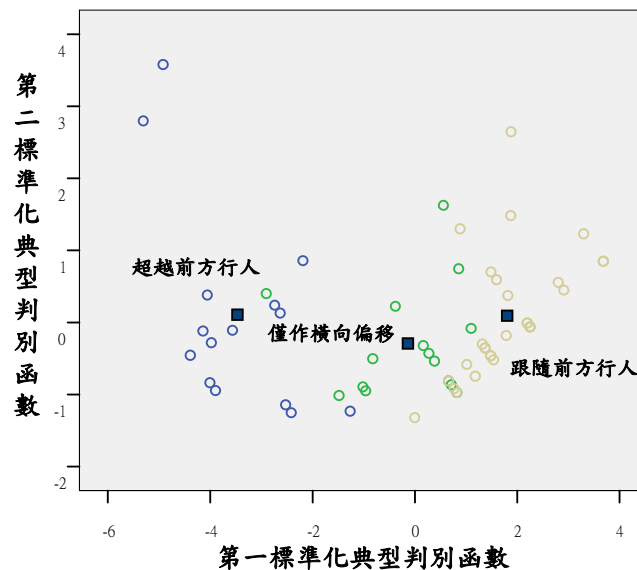


圖 5.1 合併組散佈圖

#### 五、Fisher 判別函數

Fisher 判別係數可以用來直接判別一個觀察值，觀察值在進行分類時，將每個觀察值代入三個類別的分類函數，以其分類函數值大小進行比較，函數值最大者，代表是該觀察值所屬的類別[5]。本研究三類行人行為之 Fisher 判別函數如下：

$$F_1 = 21.36V + 0.09S - 8.87 \dots\dots\dots(\text{式 } 5.3)$$

$$F_2 = 0.97V + 0.20S - 12.78 \dots\dots\dots(\text{式 } 5.4)$$

$$F_3 = -7.53V + 0.27S - 21.73 \dots\dots\dots(\text{式 } 5.5)$$

$F_1$ ：超越前方行人分類函數

$F_2$ ：僅作橫向偏移分類函數

$F_3$ ：跟隨前方行人分類函數

$V$ ：速度差異(公尺/秒)

$S$ ：跟隨間距(公尺)

依據 Fisher 判別係數(表 5.5)可以觀察出在行人速度差異愈大時，行為是超越前方行人分類函數的機率會愈大；反之，因為跟隨前方行人的速度差異係數為負值，因此若在行速度差異愈大時，行為是跟隨前方行人分類函數的機率會愈小。另外，跟隨間距愈大者，愈容易被判定為跟隨前方行人，愈不容易被判定為超越前方行人。

表 5.5 Fisher 判別函數係數表

| 行人行為<br>判別變數 | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 |
|--------------|--------|--------|--------|
| 速度差異(V)      | 21.36  | 0.97   | -7.53  |
| 跟隨間距(S)      | 0.09   | 0.20   | 0.27   |
| (常數)         | -8.87  | -12.78 | -21.73 |

## 六、模式驗證以及正確判別率

判別模式構建完成之後，下一步是進行模式驗證的動作，通常有兩種方法，一為再代入法，二為交叉驗證法。所謂的再代入法指的是透過已知分類的觀察值資訊建立判別函數，再利用判別函數對所有樣本觀察值重新將資料代入，以計算其驗後機率，將觀察值歸屬在後驗機率較大的群體。

另一種方法為交叉驗證法，此法是每次只保留該筆觀察值不納入判別模式，而以其他觀察值建立判別函數後，將以此保留觀察值作驗證其分類是否正確，並依序輪流完成所有觀察值的分析。兩方法分類結果大致相同，但由於判別規則不同，相較之下，交叉驗證法的錯誤率會較再代入法高，但所得到的結果卻更為可信[9]。

經驗證步驟過後，可由分類結果表(表 5.6)得知所構建的判別函數判別能力的強弱，本研究中以再代入法所得到的分類矩陣中，計有 9 筆樣本分類錯誤，因此正確判別率為(60-9)/60=85.00%；以交叉驗證法所得到的分類矩陣中，計有 10

筆樣本分類錯誤，正確判別率為 $(60-10)/60=83.33\%$ 。因此，不論使用何種方法，正確判別率均達 80%以上，皆顯示離峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行人行為可由速度差異、跟隨間距二個判別變數達到很高的判別率。

表 5.6 分類結果表

| 驗證方法  | 行人行為 |    | 預測組別 |    |    | 原始總數  | 判中率 (%) |
|-------|------|----|------|----|----|-------|---------|
|       |      |    | 超越   | 橫移 | 跟隨 |       |         |
| 再代入法  | 原始組別 | 超越 | 14   | 1  | 0  | 15    | 93.33   |
|       |      | 橫移 | 1    | 8  | 6  | 15    | 53.33   |
|       |      | 跟隨 | 0    | 1  | 29 | 30    | 96.67   |
|       | 預測總數 | 15 | 10   | 25 | 60 | 85.00 |         |
| 交叉驗證法 | 原始組別 | 超越 | 14   | 1  | 0  | 15    | 93.33   |
|       |      | 橫移 | 1    | 8  | 6  | 15    | 53.33   |
|       |      | 跟隨 | 0    | 2  | 28 | 30    | 93.33   |
|       | 預測總數 | 15 | 11   | 24 | 60 | 83.33 |         |

## 5.1.2 尖峰時段行人行為判別模式

### 一、依變數與自變數間相關分析

經由相關分析結果可知(表 5.7)，速度差異(V)、跟隨間距(S)、前方總瞬時密度(K)、性別異同(X)對於行人行為較具有相關性存在，進一步以此四類解釋變數進行判別分析。

表 5.7 行人行為與解釋變數間相關分析表

| 解釋變數<br>相關係數     | 速度差異       | 跟隨間距       | 前方總瞬時密度    | 性別異同       |
|------------------|------------|------------|------------|------------|
| Eta              | 0.93       | 0.50       | 0.80       | -          |
| Eta <sup>2</sup> | 0.87(0.00) | 0.25(0.01) | 0.64(0.00) | -          |
| 列聯係數             | -          | -          | -          | 0.35(0.02) |

註：( )為顯著性

### 二、逐步判別分析法

變數性別異同(X)為類別變數，欲進行區別分析首先必須先將變數虛擬化。且為了避免變數間存有高度相關，本研究利用逐步判別分析法，找出有判別能力的變數後，再利用這些有判別能力的變數進行判別分析。以逐步的方式，在每一

步驟中將評估選取最有判別能力的變數進入模式內。經逐步分析方法後，得到如表 5.8，可知速度差異(V)、前方總瞬時密度(K)以及跟隨間距(S)三個自變數被選入模式內。

表 5.8 投入變數摘要表

| 投入變數    | 容忍度  | 欲刪除的 F 顯著性 | Wilk's Lambda 值 |
|---------|------|------------|-----------------|
| 速度差異    | 0.96 | 0.00       | 0.30            |
| 前方總瞬時密度 | 0.98 | 0.00       | 0.25            |
| 跟隨間距    | 0.96 | 0.00       | 0.15            |

然而，變數性別異同(X)經分析後，得知對於行人行為型態的影響並不顯著或是與投入變數有高度相關，故予以刪除，如表 5.9 所示。

表 5.9 刪除變數摘要表

| 刪除變數 | 容忍度  | 最小容忍度 | 欲輸入的 F 顯著性 | Wilk's Lambda 值 |
|------|------|-------|------------|-----------------|
| 性別異同 | 0.92 | 0.92  | 0.11       | 0.11            |

### 三、典型判別函數

表 5.10 為速度差異(V)、跟隨間距(S)以及前方總瞬時密度(K)在行人行為型態間之判別分析摘要表；表中第一典型判別函數(D<sub>1</sub>)以及第二典型判別函數(D<sub>2</sub>)之 p 值均小於 0.05，達顯著水準，顯示兩條判別函數皆能有效地解釋樣本在依變數上之變異量。從標準化判別函數的標準化係數中可看出各自變項在各判別函數上之相對重要性，係數絕對值愈大重要性愈大，本研究中兩個標準化典型判別函數分別為：

$$D_1 = 0.73V + 0.15S - 0.73K \dots\dots\dots(式 5.6)$$

$$D_2 = 0.68V - 0.64S + 0.51K \dots\dots\dots(式 5.7)$$

表 5.10 典型判別函數係數表

| 變數 \ 判別函數   | 未標準化判別函數       |                | 標準化判別函數        |                | 結構矩陣係數         |                |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> |
| 速度差異(V)   | 6.65           | 6.23           | 0.73           | 0.68           | 0.68           | 0.62           |
| 跟隨間距(S)   | 0.01           | -0.04          | 0.15           | -0.64          | 0.22           | -0.48          |
| 前方總瞬時密度(K)  | -1.90          | 1.32           | -0.73          | 0.51           | -0.64          | 0.53           |
| 常數  | 0.45           | -0.87          | -              | -              | -              | -              |
| D <sub>1</sub> ：特徵值=3.94 Wilk's Lambda=0.12 卡方值=118.32 p=0.00 |                |                |                |                |                |                |
| D <sub>2</sub> ：特徵值=0.67 Wilk's Lambda=0.60 卡方值=28.84 p=0.00  |                |                |                |                |                |                |

從標準化判別函數係數值大小可以看出，變數速度差異(V) 與前方總瞬時密度(K)對於第一個典型判別函數相對重要，變數跟隨間距(S)對於第二個典型判別函數相對重要。

結構矩陣係數絕對值愈大者，表示此變數與判別函數的相關性愈高，對判別函數的影響力愈大，從表 5.10 結構矩陣係數中可看出，變數速度差異(V)與前方總瞬時密度(K)對於第一典型判別函數的相關性較高，而變數跟隨間距(S)對於第二典型判別函數的相關性較高，此結果與標準化典型判別函數所呈現結果相同。

#### 四、類組中心以及合併組散佈圖

下表 5.11 為類組中心表，描述在判別空間中每一組觀察值的中心位置，當各組樣本之類組中心差異值愈大，表示各組間在該判別函數上的差異愈大；表中三類行人行為的第一判別函數平均值分別為(2.71、0.96、-1.83)，可明顯看出差異，因此，第一判別函數可清楚判別三類行人行為；而三類行人行為在第二判別函數平均值分別為(0.82、-1.33、0.26)亦有所差異，依然可對三類行人行為進行判別。依據類組中心表，可繪出合併組散佈圖，如圖 5.2 所示。

表 5.11 類組中心表

| 判別函數<br>行人行為 | $D_1$  | $D_2$ |
|--------------|--------|-------|
|              | 超越前方行人 | 2.71  |
| 僅作橫向偏移       | 0.96   | -1.33 |
| 跟隨前方行人       | -1.83  | 0.26  |

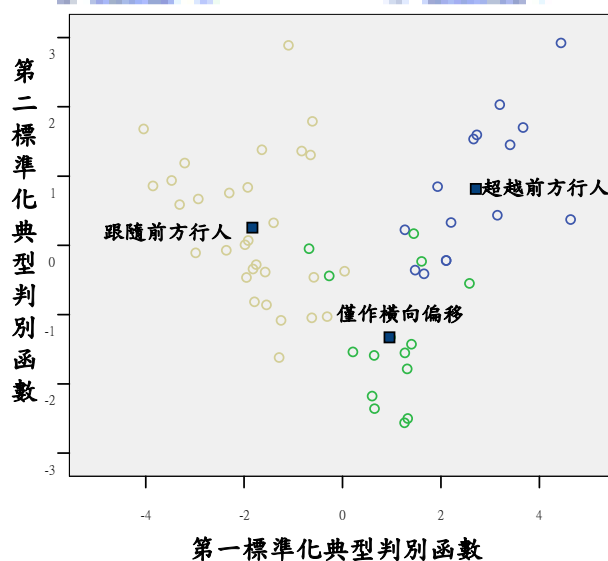


圖 5.2 合併組散佈圖

## 五、Fisher 判別函數

Fisher 判別係數可以用來直接判別一個觀察值，觀察值在進行分類時，將每個觀察值代入三個類別的分類函數，以其分類函數值大小進行比較，函數值最大者，代表是該觀察值所屬的類別[5]。尖峰時段三類行人行為之 Fisher 判別函數如下：

$$F_1 = 32.88V + 0.16S + 2.98K - 13.83 \dots\dots\dots(式 5.8)$$

$$F_2 = 7.86V + 0.23S + 3.47K - 10.09 \dots\dots\dots(式 5.9)$$

$$F_3 = -0.83V + 0.14S + 10.87K - 12.39 \dots\dots\dots(式 5.10)$$

$F_1$ ：超越前方行人分類函數

$F_2$ ：僅作橫向偏移分類函數

$F_3$ ：跟隨前方行人分類函數

$V$ ：速度差異(公尺/秒)

$S$ ：跟隨間距(公尺)

$K$ ：前方總瞬時密度(人/平方公尺)

依據 Fisher 判別係數(表 5.12)可以合理解釋，在行人速度差異愈大時，行為是超越前方行人分類函數的機率會愈大；反之，因為跟隨前方行人的速度差異係數為負值，因此若行速度差異愈大時，行為是跟隨前方行人分類函數的機率會愈小。另外，前方總瞬時密度愈高者，行人愈不容易進行超越或橫移，僅能跟隨在前方行人後方。

表 5.12 Fisher 判別函數係數表

| 行人行為<br>判別變數 | 行人行為   |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|
|              | 超越前方行人 | 僅作橫向偏移 | 跟隨前方行人 |
| 速度差異(V)      | 32.88  | 7.86   | -0.83  |
| 跟隨間距(S)      | 0.16   | 0.23   | 0.14   |
| 前方總瞬時密度(K)   | 2.98   | 3.47   | 10.87  |
| (常數)         | -13.83 | -10.09 | -12.39 |

## 六、模式驗證以及正確判別率

最後進行驗證步驟，可由分類結果表(表 5.13)得知所構建的判別函數判別能力的強弱，本研究中以再代入法所得到的分類矩陣中，計有 8 筆樣本分類錯誤，因此正確判別率為 $(60-8)/60=86.67\%$ ；以交叉驗證法所得到的分類矩陣中，計有 12 筆樣本分類錯誤，正確判別率為 $(60-12)/60=80.00\%$ 。因此，不論使用何種方法，正確判別率均達 80%以上，顯示尖峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行

人行為可由速度差異、跟隨間距、前方總瞬時密度三個判別變數達到很高的判別率，其中判別能力又以速度差異為最高。

表 5.13 分類結果表

| 驗證方法  | 行人行為 |    | 預測組別 |    |    | 原始總數 | 判中率 (%) |
|-------|------|----|------|----|----|------|---------|
|       |      |    | 超越   | 橫移 | 跟隨 |      |         |
| 再代入法  | 原始組別 | 超越 | 13   | 2  | 0  | 15   | 86.67   |
|       |      | 橫移 | 2    | 11 | 2  | 15   | 73.33   |
|       |      | 跟隨 | 0    | 2  | 28 | 30   | 93.33   |
|       | 預測總數 |    | 15   | 15 | 30 | 60   | 86.67   |
| 交叉驗證法 | 原始組別 | 超越 | 10   | 5  | 0  | 15   | 66.67   |
|       |      | 橫移 | 2    | 11 | 2  | 15   | 73.33   |
|       |      | 跟隨 | 0    | 3  | 27 | 30   | 90.00   |
|       | 預測總數 |    | 12   | 19 | 29 | 60   | 80.00   |

## 5.2 以多項羅吉斯迴歸分析構建模式

本研究建構多項羅吉斯迴歸模式，以行人行走行為為依變數(有超越、橫移、跟隨三類別)，速度差異(V)、跟隨間距(S)、前方總瞬時密度(K)及性別異同(X)為候選自變數，自變數在分析時分別以向前以及向後逐步迴歸方式，依最大概似比的估計值決定何變數該優先加入模式或何變數該被剔除。並依時段行人流量不同，區分尖峰及離峰分別構建模式。

### 5.2.1 離峰時段行人行為多項羅吉斯迴歸模式

#### 一、模式構建

本研究利用 SPSS 套裝軟體進行分析，共有三類行人行走行為，分別為「超越前方行人」、「僅作橫向偏移」、「跟隨前方行人」。三類型產生兩組迴歸模式，並以「跟隨前方行人」為參考群組(Reference Category)，運用最大概似比統計量，在 95%的信賴區間下，模式中各自變數與行人行走行為的關係達到顯著 ( $-2LL = 32.66, \chi^2 = 90.72, df = 4, p = 0.00 < 0.05$ )，整體模式配合度高；模式中  $R^2$  代值 Cox and Snell 值為 0.78，Negelkerke 值為 0.89，McFadden 值為 0.73，顯式模式中自變數可解釋依變數的能力皆很高。

在進行多項羅吉斯迴歸模式構建之前，藉由向後逐步迴歸的方式，可將對模式影響不顯著之變數，或與其他自變數共線性過高之自變數剔除。向後逐步迴歸

之步驟如表 5.14 所示：

表 5.14 向後逐步迴歸步驟摘要表

| 步驟    | 行為   | 影響因子    | -2LL  | $\chi^2$ | 自由度 | 顯著性  |
|-------|------|---------|-------|----------|-----|------|
| step0 | 0 進入 | <全部>    | 30.40 | -        | -   | -    |
| step1 | 1 移除 | 性別差異    | 30.66 | 0.26     | 2   | 0.88 |
|       | 2 移除 | 前方總順時密度 | 32.66 | 2.00     | 2   | 0.37 |

另外藉由向前逐步迴歸的方式，可決定對模式影響顯著之變數，優先加入模式。向前逐步迴歸之步驟如表 5.15 所示：

表 5.15 向前逐步迴歸步驟摘要表

| 步驟    | 行為   | 影響因子 | -2LL   | $\chi^2$ | 自由度 | 顯著性  |
|-------|------|------|--------|----------|-----|------|
| step0 | 0 進入 | 常數   | 123.38 | -        | -   | -    |
| step1 | 1 進入 | 跟隨間距 | 53.71  | 69.67    | 2   | 0.00 |
| step2 | 2 進入 | 速度差異 | 32.66  | 21.05    | 2   | 0.00 |

由表 5.14、表 5.15 可觀察出變數性別差異(X)與前方總瞬時密度(K)被移除，而被選入模式內的變數有速度差異(V)與跟隨間距(S)。利用 SPSS 軟體進行多項羅吉斯迴歸分析後，得到 logit 函數以及函數中各變數之係數，以多項式表示如下：

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right) = 20.86 + 34.17V - 0.23S \dots\dots\dots(\text{式 5.11})$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = 13.86 + 25.25V - 0.12S \dots\dots\dots(\text{式 5.12})$$

$\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right)$ ：超越前方行人行為相較於跟隨前方行人行為之 logit 函數

$\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right)$ ：僅作橫向偏移行為相較於跟隨前方行人行為之 logit 函數

V：速度差異(公尺/秒)

S：跟隨間距(公尺)

## 二、模式係數檢定及解釋

自變數  $X_k$  與應變數是否顯著相關代表自變數是否會影響應變數的變化。羅吉斯迴歸通常使用 Wald 檢定對迴歸係數進行顯著性統計檢定，亦即檢定係數等於零的虛無假設( $H_0: \beta_k = 0$ )是否成立，若推翻虛無假設即表示自變數  $X_k$  對三類



行人行為的發生有影響。本研究挑選 $\alpha = 0.05$ 為顯著性水準，由表 5.16 可以知道整體行人行為模式中有 2 個變數具顯著性，分別為行人速度差異(V)及跟隨間距(S)。

各行人行走行為類型與影響變數之顯著性分析結果如下：

1. 「超越前方行人」行走行為中以速度差異( $\beta = 34.17, p = 0.00 < 0.01$ )與跟隨間距( $\beta = -0.23, p = 0.00 < 0.01$ )變數達到顯著性。在「超越前方行人」行走行為中變數速度差異係數值呈現正值，顯示速度差異較高者，相較於跟隨前方行人行為，行人較有機會選擇超越前方行人行為。變數跟隨間距係數值呈現負值，顯示跟隨間距較高者，相較於跟隨前方行人行為，行人較不易選擇超越前方行人行為。
2. 「僅作橫向偏移」行走行為中以速度差異( $\beta = 25.25, p = 0.01 < 0.05$ )與跟隨間距( $\beta = -0.12, p = 0.01 < 0.05$ )變數達到顯著性。在「僅作橫向偏移」行走行為中變數速度差異係數值呈現正值，顯示速度差異較高者，相較於跟隨前方行人行為，行人較有機會選擇僅作橫向偏移行為。變數跟隨間距係數值呈現負值，顯示跟隨間距較高者，相較於跟隨前方行人行為，行人較不易選擇僅作橫向偏移行為。

表 5.16 整體模式變數統計檢定表

| 變數 \ 模式   | 超越前方行人  |       |        |        | 僅作橫向偏移  |      |        |       |
|---|---------|-------|--------|--------|---------|------|--------|-------|
|   | $\beta$ | 標準誤   | Wald 值 | 顯著性    | $\beta$ | 標準誤  | Wald 值 | 顯著性   |
| (常數)  | 20.86   | 7.41  | 7.91   | 0.00   | 13.86   | 5.38 | 6.64   | 0.01  |
| 速度差異  | 34.17   | 10.84 | 9.94   | 0.00** | 25.25   | 9.39 | 7.23   | 0.01* |
| 跟隨間距  | -0.23   | 0.07  | 10.05  | 0.00** | -0.12   | 0.04 | 7.70   | 0.01* |
| $-2LL = 32.66, \chi^2 = 90.72, df = 4, p = 0.00 < 0.05$ |         |       |        |        |         |      |        |       |
| 註：1. 「跟隨前方行人」為參考群組<br>2. * $p < 0.05$ , ** $p < 0.01$   |         |       |        |        |         |      |        |       |

### 三、模式準確率

透過羅吉斯迴歸模式對觀察值的依變數值進行預測，檢查有多少觀察值能夠以此模型正確預測。表 5.17 為分類誤差矩陣(Classification error matrix)，即經羅吉斯迴歸輸出的觀察值中，事件發生和不發生的觀察結果(Observed)與預測結果(Predicted)的交互表，其中包含各類預測值的正確百分比以及整體預測的正確百分比。

表 5.17 分類誤差矩陣

| 行人行為   |    | 預測值 |    |    | 觀察資料總數 | 正確率 (%) |
|--------|----|-----|----|----|--------|---------|
|        |    | 超越  | 橫移 | 跟隨 |        |         |
| 觀察值    | 超越 | 13  | 2  | 0  | 15     | 86.67   |
|        | 橫移 | 1   | 10 | 4  | 15     | 66.67   |
|        | 跟隨 | 0   | 2  | 28 | 30     | 93.33   |
| 預測資料總數 |    | 14  | 14 | 32 | 60     | 85.00   |

藉由分類誤差矩陣(表 5.17)可知所構建的多項羅吉斯迴歸函數預測能力的強弱，其中在超越前方行人行為型態中，計有 2 筆樣本預測錯誤，超越行為正確率為  $13/15 = 86.7\%$ ；在僅作橫向偏移行為型態中，計有 5 筆樣本預測錯誤，橫移行為正確率為  $10/15 = 66.67\%$ ；在跟隨前方行人行為型態中，計有 2 筆樣本預測錯誤，跟隨行為正確率為  $28/30 = 93.33\%$ 。以整體模式來看，計有 8 筆樣本分類錯誤，整體模式正確率為  $(60-8)/60 = 85.00\%$ 。此結果顯示離峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行人行為可由速度差異、跟隨間距二個變數來進行預測，且可達到準確的效果。

## 5.2.2 尖峰時段行人行為多項羅吉斯迴歸模式

### 一、模式構建

接下來利用尖峰時段行人樣本資料進行多項羅吉斯迴歸模式之構建，研究中行人行為有三類，三類型產生兩組迴歸模式，並以「跟隨前方行人」為參考群組，運用最大概似比統計量，在 95% 的信賴區間下，模式中各自變數與行人行走行為的關係達到顯著 ( $-2LL = 21.84, \chi^2 = 102.93, df = 6, p = 0.00 < 0.05$ )，整體模式配合度高；模式中  $R^2$  代值 Cox and Snell 值為 0.82，Nagelkerke 值為 0.94，McFadden 值為 0.82，顯式模式中自變數可解釋依變數的能力皆很高。

在進行多項羅吉斯迴歸模式構建之前，藉由向後逐步迴歸的方式，可將對模式影響不顯著之變數，或與其他自變數共線性過高之自變數剔除。向後逐步迴歸之步驟如表 5.18 所示：

表 5.18 向後逐步迴歸步驟摘要表

| 步驟    | 行為 | 影響因子 | -2LL | $\chi^2$ | 自由度  | 顯著性 |       |
|-------|----|------|------|----------|------|-----|-------|
| step0 | 0  | 進入   | <全部> | 17.67    | -    | -   |       |
| step1 | 1  | 移除   | 跟隨間距 | 21.84    | 4.17 | 2   | 0.125 |

另外藉由向前逐步迴歸的方式，可決定對模式影響顯著之變數，優先加入模

式。向前逐步迴歸之步驟如表 5.19 所示：

表 5.19 向前逐步迴歸步驟摘要表

| 步驟    | 行為 | 影響因子 | -2LL    | $\chi^2$ | 自由度   | 顯著性 |      |
|-------|----|------|---------|----------|-------|-----|------|
| step0 | 0  | 進入   | 常數      | 124.77   | -     | -   |      |
| step1 | 1  | 進入   | 前方總瞬時密度 | 68.14    | 56.63 | 2   | 0.00 |
| step2 | 2  | 進入   | 速度差異    | 28.56    | 39.58 | 2   | 0.00 |
| step3 | 3  | 進入   | 性別差異    | 21.84    | 6.72  | 2   | 0.35 |

由表 5.18、表 5.19 可觀察出變數跟隨間距(S)被移除，而被選入模式內的變數有速度差異(V)、前方總瞬時密度(K)與性別差異(X)。進行多項羅吉斯迴歸分析後，得到 logit 函數以及函數中各變數之係數，以多項式表示如下：

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right) = -3.20 + 63.49V - 10.19K - 6.98X(I) \dots\dots\dots(式 5.13)$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = 5.35 + 23.89V - 8.05K - 1.15X(I) \dots\dots\dots(式 5.14)$$

$\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right)$ ：超越前方行人行為相較於跟隨前方行人行為之 logit 函數

$\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right)$ ：僅作橫向偏移行為相較於跟隨前方行人行為之 logit 函數

V：速度差異(公尺/秒)

K：前方總瞬時密度(人/平方公尺)

X(I)：同性對異性的對比(1:同性；0:異性)

## 二、模式係數檢定及解釋

自變數  $X_k$  與應變數是否顯著相關代表自變數是否會影響應變數的變化。羅吉斯迴歸通常使用 Wald 檢定對迴歸係數進行顯著性統計檢定，亦即檢定係數等於零的虛無假設( $H_0: \beta_k = 0$ )是否成立，若推翻虛無假設即表示自變數  $X_k$  對三類行人行為的發生有影響。挑選  $\alpha = 0.05$  為顯著性水準，由表 5.20 可以知道整體行人行為模式中有 2 個變數具顯著性，為速度差異(V)與前方總瞬時密度(K)；若以  $\alpha = 0.1$  為顯著性水準，則變數性別異同(X)亦具有顯著性。

各行人行走行為類型與影響變數之顯著性分析結果如下：

1. 「超越前方行人」行走行為中以變數速度差異( $\beta = 63.49, p = 0.01 < 0.05$ )、前方總瞬時密度( $\beta = -10.19, p = 0.04 < 0.05$ )與性別異同

( $\beta = -6.98, p = 0.07 < 0.1$ )達到顯著性。在「超越前方行人」行走行為中變數速度差異係數值呈現正值，顯示速度差異愈高者，相較於跟隨前方行人行為，行人愈容易選擇超越前方行人行為。相反的，變數性別異同與前方總瞬時密度係數值呈現負值，顯示前後方行人為同性或是前方總瞬時密度愈高者，相較於跟隨前方行人行為，行人愈不易選擇超越前方行人行為。

2. 「僅作橫向偏移」行走行為中僅前方總瞬時密度( $\beta = -8.05, p = 0.01 < 0.05$ )變數達到顯著性，變數速度差異與性別異同則不顯著。在「僅作橫向偏移」行走行為中變數前方總瞬時密度係數值呈現負值，顯示前方總瞬時密度愈高者，相較於跟隨前方行人行為，行人愈不易選擇僅作橫向偏移行為。

表 5.20 整體模式變數統計檢定表

| 變數   | 模式 | 超越前方行人  |       |        |        | 僅作橫向偏移  |       |        |        |
|--|----|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|
|  |    | $\beta$ | 標準誤   | Wald 值 | 顯著性    | $\beta$ | 標準誤   | Wald 值 | 顯著性    |
| (常數)   |    | -3.20   | 6.07  | 0.28   | 0.60   | 5.35    | 2.85  | 3.53   | 0.06   |
| 速度差異   |    | 63.49   | 24.66 | 6.63   | 0.01** | 23.89   | 14.85 | 2.59   | 0.11   |
| 前方總瞬時密度  |    | -10.19  | 5.07  | 4.04   | 0.04** | -8.05   | 3.23  | 6.21   | 0.01** |
| 性別異同   |    | -6.98   | 3.90  | 3.21   | 0.07*  | -1.15   | 1.94  | 0.36   | 0.55   |
| $-2LL = 21.84, \chi^2 = 102.93, df = 6, p = 0.00 < 0.05$ |    |         |       |        |        |         |       |        |        |
| 註：1. 「跟隨前方行人」為參考群組<br>2. * $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$      |    |         |       |        |        |         |       |        |        |

### 三、模式準確率

透過羅吉斯迴歸模式對觀察值的依變數值進行預測，檢查有多少觀察值能夠以此模型正確預測。表 5.21 為分類誤差矩陣，即經羅吉斯迴歸輸出的觀察值中，事件發生和不發生的觀察結果與預測結果的交互表，其中包含各類預測值的正確百分比以及整體預測的正確百分比。

表 5.21 分類誤差矩陣

| 行人行為   |    | 預測值 |    |    | 觀察資料總數 | 正確率 (%) |
|--------|----|-----|----|----|--------|---------|
|        |    | 超越  | 橫移 | 跟隨 |        |         |
| 觀察值    | 超越 | 13  | 2  | 0  | 15     | 86.67   |
|        | 橫移 | 2   | 11 | 2  | 15     | 73.33   |
|        | 跟隨 | 0   | 2  | 28 | 30     | 93.33   |
| 預測資料總數 |    | 15  | 15 | 30 | 60     | 86.67   |

藉由分類誤差矩陣(表 5.19)可知所構建的多項羅吉斯迴歸函數預測能力的強

弱，其中在超越前方行人行為型態中，計有 2 筆樣本預測錯誤，超越行為正確率為  $13/15 = 86.67\%$ ；在僅作橫向偏移行為型態中，計有 4 筆樣本預測錯誤，橫移行為正確率為  $11/15 = 73.33\%$ ；在跟隨前方行人行為型態中，計有 2 筆樣本預測錯誤，跟隨行為正確率為  $28/30 = 93.33\%$ 。以整體模式來看，計有 8 筆樣本分類錯誤，整體模式正確率為  $(60-8)/60 = 86.67\%$ 。此結果顯示尖峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行人行為可由變數速度差異、前方總瞬時密度與性別異同來進行預測，且可達到準確的效果。

## 5.3 模式比較分析

本研究分別使用判別分析方法以及多項羅吉斯迴歸分析方法進行台北市商業區人行系統行人流動行為模式分析，以下針對兩種方法所構建出模式本身之性質以及模式準確率進行比較分析。

### 5.3.1 模式比較

#### 一、離峰行人行為模式

經由判別分析以及多項羅吉斯迴歸分析方法，構建出之離峰行人行為模式如下表 5.22 所示：

表 5.22 離峰行人行為模式

| 函數名稱        | 函數多項式  |
|-------------|--|
| 標準化典型判別函數   | $D_1 = -0.73V + 0.86S$                                     |
|             | $D_2 = 0.72V + 0.55S$                                      |
| Fisher 判別函數 | $F_1 = 21.36V + 0.09S - 8.87$                              |
|             | $F_2 = 0.97V + 0.20S - 12.78$                              |
|             | $F_3 = -7.53V + 0.27S - 21.73$                             |
| 多項羅吉斯迴歸函數   | $\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right) = 20.86 + 34.17V - 0.23S$ |
|             | $\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = 13.86 + 25.25V - 0.12S$ |

其中第一判別函數( $D_1$ )特徵值為 4.88，Wilk's Lambda 值為 0.17，卡方值為 101.79，p 值為  $0.00 < 0.05$  達顯著性；第二判別函數( $D_2$ )特徵值為 0.03，Wilk's Lambda 值為 0.97，卡方值為 1.67，p 值為  $0.20 > 0.05$  未達顯著性。兩者皆由逐步判別分析篩選出之顯著變數所構成，分別為速度差異(V)與跟隨間距(S)。

多項羅吉斯迴歸模式中各自變數與行人行走行為的關係達到顯著 ( $-2LL=32.66, \chi^2=90.72, df=4, p=0.00 < 0.05$ )，整體模式配合度高；模式中  $R^2$  代值 Cox and Snell 值為 0.78，Negelkerke 值為 0.89，McFadden 值為 0.73，顯式模式中自變數可解釋依變數的能力皆很高。經分析，模式中呈現顯著之變數僅速度差異(V)與跟隨間距(S)而已，此結果與判別模式中之顯著變數相同。

## 二、尖峰行人行為模式

經由判別分析以及多項羅吉斯迴歸分析方法，構建出之尖峰行人行為模式如下表 5.23 所示：

其中第一判別函數( $D_1$ )特徵值為 3.94，Wilk's Lambda 值為 0.12，卡方值為 118.32，p 值為  $0.00 < 0.05$  達顯著性；第二判別函數( $D_2$ )特徵值為 0.67，Wilk's Lambda 值為 0.60，卡方值為 28.84，p 值為  $0.00 < 0.05$  亦達顯著性。兩者皆由逐步判別分析篩選出之顯著變數所構成，分別為速度差異(V)、跟隨間距(S)與前方總瞬時密度(K)。

多項羅吉斯迴歸模式中各自變數與行人行走行為的關係達到顯著 ( $-2LL=21.84, \chi^2=102.93, df=6, p=0.00 < 0.05$ )，整體模式配合度高；模式中  $R^2$  代值 Cox and Snell 值為 0.82，Negelkerke 值為 0.94，McFadden 值為 0.82，顯式模式中自變數可解釋依變數的能力皆很高。經分析，模式中呈現顯著之變數分別為速度差異(V)、前方總瞬時密度(K)與性別異同(X)，此結果與判別模式中之顯著變數大致相同。

表 5.23 尖峰行人行為模式

| 函數名稱        | 函數多項式  |
|-------------|--|
| 標準化典型判別函數   | $D_1 = 0.73V + 0.15S - 0.73K$  |
|             | $D_2 = 0.68V - 0.64S + 0.51K$  |
| Fisher 判別函數 | $F_1 = 32.88V + 0.16S + 2.98K - 13.83$                                 |
|             | $F_2 = 7.86V + 0.23S + 3.47K - 10.09$                                  |
|             | $F_3 = -0.83V + 0.14S + 10.87K - 12.39$                                |
| 多項羅吉斯迴歸函數   | $\ln\left(\frac{P_1}{P_3}\right) = -3.20 + 63.49V - 10.19K - 6.98X(1)$ |
|             | $\ln\left(\frac{P_2}{P_3}\right) = 5.35 + 23.89V - 8.05K - 1.15X(1)$   |

### 5.3.2 模式準確率比較

本研究分別使用判別分析方法以及多項羅吉斯迴歸分析方法進行台北市商業區人行系統行人流動行為模式分析，經由模式可進行預測之工作，藉由比較預測結果之準確率，可知構出之模式優劣與否，下表 5.24 行人行為判別模式與多項羅吉斯迴歸模式準確率比較表。

表 5.24 模式準確率比較分析表

| 行人行為<br>分析方法 |       | 超越行為<br>準確率(%) | 橫移行為<br>準確率(%) | 跟隨行為<br>準確率(%) | 整體<br>準確率(%) |
|--------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 離峰           | 判別分析  | 93.33          | 53.33          | 96.67          | 85.00        |
|              | 羅吉斯迴歸 | 86.67          | 66.67          | 93.33          | 85.00        |
| 尖峰           | 判別分析  | 86.67          | 73.33          | 93.33          | 86.67        |
|              | 羅吉斯迴歸 | 86.67          | 73.33          | 93.33          | 86.67        |

藉由表 5.24 可觀察出，無論使用何種方法，尖峰時段之整體準確率高於離峰時段；就行人行為來看，橫移行為較不易預測。在離峰時段，判別分析方法在預測超越以及跟隨行為之準確率較羅吉斯迴歸佳，但預測橫移行為之準確率卻較羅吉斯迴歸遜色；在尖峰時段，判別分析與羅吉斯迴歸分析的預測結果相同。

兩種分析方法在預測行人行為上各有優劣，但兩者所產生出來之預測結果大致相似，且整體準確率均達 85% 以上，此結果顯示，無論使用判別分析或多項羅吉斯迴歸分析，在進行預測具行人專用時相行人穿越道之行人行為時均可達到準確的效果。

## 第六章 結論與建議

本研究為分析台北市商業區具行人專用時相號誌化路口行人穿越道上行人行為特性，並構建行人行為模式，以作為微觀行人流動態模擬模式以及人行設施規劃建置等參考依據，所得結論與建議如下。

### 6.1 結論

1. 巨觀行人流時段特性：
  - a. 在離峰時段的樣本中，兩方向的行人流均在 10~15 秒的時段中流量達最高，且由西往東方向行人流量顯著高於由東往西方向行人流量。平均速度則是隨綠燈起始後秒數增加有先遞減再遞增的趨勢，由西往東方向行人平均速度與由東往西方向行人平均速度差異不明顯。
  - b. 在尖峰時段的樣本中，由西往東方向行人流大約於 10~15 秒、15~20 秒、20~25 秒三個時段時，流量會達尖峰；由東往西方向行人流則在 15~20 秒時段流量達尖峰後，流量持續位於高峰至 30~35 秒時段，之後流量逐漸減低。平均速度則是隨綠燈起始後秒數增加有先遞減再遞增的趨勢，雙向行人樣本在 25~30 秒的時段中平均流速均降至最低，且於該時段之平均流速均顯著較低；但兩方向行人最低平均速度無顯著差異。
2. 行人平均速度會依流量比例增加有先遞減再遞增之趨勢；在尖峰時段，流量比例對於速度變化的影響較為明顯，流量比例約於 0.5 時，即兩方向行人流量相同時，兩方向行人的移動速度均會減低，而高流量比例或低流量比例均有利行人提高移動速度。
3. 行人流與車流類似，車流 QKV 關係式亦可於行人流中使用。且依照散佈圖顯示，樣本與迴歸模式配適度良好，利用 Greenshield's 速度密度關係，三類樣本迴歸模式  $R^2$  值均達 0.49 以上，顯示模式具有一定的解釋能力。
4. 數據顯示結果與先驗知識相符，三類行人行為之速度差平均數具有顯著的差異。行人欲進行超越時，必須具有一定的速度始能超越前方慢行者；不願繼續跟隨前方行人者，在進行橫向移動的同時也會帶有加速度；而繼續跟隨的行人，由於兩者速度趨於同速，因此不具有速度差。
5. 在離峰時段，行人行為的不同與跟隨前方行人的距離有關，跟隨行為時前後方行人跟隨距離較長，若進行橫向移動時，雙方跟隨間距會稍微縮短；若進行超越時，則會在跟隨到一定距離後始進行超越動作。在尖峰時段，由於行人眾多，空間較密集，相對來說尖峰時段的行人平均跟隨間距都顯著低於離峰時段，而此時段僅橫移行為之平均跟隨間距會顯著高於跟隨行為，這顯示



在尖峰時行人跟隨時較為接近前方行人，而若不願繼續跟隨，會拉開與前方行人之距離再進行橫移之動作。

6. 在離峰時，由於行人稀少，行人在進行各項行為時前方 4 平方公尺範圍內包含的正逆向行人總數不多，因此，前方總瞬時密度均偏低，且三種行為在前方總瞬時密度方面無顯著差異。相對來說，在尖峰時段由於行人眾多，在進行各項行為時，前方必然存有一定數量之行人，因此前方 4 平方公尺範圍內行人密度偏高，且跟隨行為時前方 4 平方公尺範圍內的行人密度顯著高於另兩種行為。
7. 性別變數對於行人行為選擇無論在離峰時或在尖峰時均未達顯著，可合理解釋為無論男性或女性，尖峰或離峰，行人會選擇的行為無顯著差異。因此，性別變數並非影響行人是否進行行為選擇之顯著因素。
8. 性別異同對於行人行為選擇在離峰時不顯著但在尖峰時顯著，可合理解釋為在離峰時行人自由度高，每人行走空間較廣，不易造成與前方行人距離過近，因此不會顧忌跟隨距離若過近必須改變或移開之困擾。然而在尖峰時段由於行人易產生肢體接觸，為避免不必要之困擾，行人將容易伺機更換行走行為，而不繼續跟隨前方異性。若前方為同性行人，則較無不必要之顧忌，易因擁擠因素而持續跟隨前方行人以利穿越人行道。
9. 行人進行超越動作時，大多於號誌初始秒數剩下 40~49 秒時或號誌即將結束秒數剩下 0~9 秒時進行。而行人有偏移行為時多位於號誌秒數剩餘 10-19 秒時段，此為行人橫向擴散現象。另外在跟隨前方行人方面，由於行人穿越道空間限制，行人於穿越行人穿越道時會自動聚集並跟隨前方行人以利穿越，而不致直接與對向行人產生衝突，此即學者 Helbing[32]研究中所提出之行人自我組織現象。此現象約於號誌始亮後 10 秒，雙向行人於穿越道中央交會後明顯產生，而在行人通過穿越道中線逆向行人減少時，跟隨行為逐漸不明顯。
10. 離峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行人行為可由速度差異、跟隨間距二個判別變數進行判別分析，且可達到 85.00%的整體判別率。尖峰時段則可由速度差異、跟隨間距以及前方總瞬時密度三個判別變數進行判別分析，整體判別率為 86.67%。
11. 離峰時段在具行人專用時相行人穿越道之行人行為可由速度差異、跟隨間距二個變數構建多項羅吉斯迴歸模式，模式預測能力可達到 85.00%的整體準確率。尖峰時段則可由速度差異、前方總瞬時密度以及性別異同三個變數構建多項羅吉斯迴歸模式，整體準確率為 86.67%。

## 6.2 建議

1. 本研究除了受限於人力、時間因素，另受到借用一般民用建築物高點拍攝行人流資料被允許上之困難等因素關係，對於不同人行設施所蒐集之樣本數目較缺乏，建議未來可增加不同地點與不同型態之人行設施進行比較分析，以驗證本研究行人行為模式之代表性與實用性。
2. 本研究針對行人穿越道上行人進行攝影調查後，再以人工的方式取得行人之速度差異、跟隨間距、密度、性別、流量等資料，用以分析行人行為特性，其過程相當耗時，故建議後續之研究可應用影像辨識技術，將攝影資料直接轉換為研究所需之資訊，減少處理樣本資料蒐集之時間，以增進樣本蒐集效率。
3. 本研究於繪製行人流流量、速度、密度散佈圖時，因尖峰時段行人流量龐大，致使行人資料蒐集不易，樣本數量較於缺乏，無法顯示完整之散佈圖形，建議未來研究可針對尖峰時段行人特性進行研究，以驗證本研究模式之完整性。
4. 本研究以攝影調查法蒐集之行人資料屬外在實體影響因素，建議未來研究可利用問卷調查法詢問行人心理層面之影響因素，如：個人行為特質是否屬於積極超越或保守跟隨等，用以對模式進行改良。或嘗試使用其他不同之研究方法構建行人行為模式，以提升預測率並可作方法適用性上之比較。

## 參考文獻

1. 丁育群，「建築物逃生器具之種類及其設計」，建築師，民國 77 年 6 月。
2. 王濟川、郭志剛，「Logistic 迴歸模型-方法及應用」，五南圖書出版股份有限公司，民國 92 年。
3. 台北市政府工務局新工處，「台北市中心商業區交通改善方案之研究」，民國 64 年。
4. 交通部運輸研究所，「2001 年台灣地區公路容量手冊」，民國 90 年 3 月。
5. 吳明隆、涂金堂，「SPSS 與統計應用分析」，五南圖書出版股份有限公司，民國 94 年 5 月。
6. 吳政諺，「號誌化平面交叉路口序別無衝突左轉車微觀紓解模式之研究」，國立交通大學碩士論文，民國 96 年 6 月。
7. 沈彥宏，「郊區公路快車道微觀車流模式建立與實證分析」，國立交通大學碩士論文，民國 95 年 6 月。
8. 林上閔，「都市商業區行人對步道類型選擇偏好之研究」，國立交通大學碩士論文，民國 86 年 6 月。
9. 林震岩，「SPSS 的操作與應用」，智勝文化事業有限公司，民國 95 年 1 月。
10. 林廉凱，「捷運車站乘客動線人流模式與干擾量度之研究」，國立交通大學碩士論文，民國 91 年 6 月。
11. 林師模、陳苑欽，「多變量分析：管理上的應用」，雙葉書廊有限公司，民國 92 年 11 月。
12. 徐立新，「考量跟車及變換車道行為之高快速公路微觀車流模式研究」，國立交通大學碩士論文，民國 94 年 6 月。
13. 許添本、田欣雷、賴以軒，「捷運車站行人流特性分析」，都市交通季刊，第 15 卷第 1 期，1~11 頁，民國 89 年 3 月。
14. 馮正民、邱裕鈞，「研究分析方法」，建都文化事業股份有限公司，民國 93 年 6 月。
15. 黃俊杰、林晏州，「都市人行道界面組成型態對行人知覺之影響」，造園學報，第 6 期，35-54 頁，民國 89 年 7 月。
16. 溫日宏，「新市鎮行人步道系統規劃與設計之研究：以高雄新市鎮綜合示範社區為例」，國立交通大學碩士論文，民國 84 年 6 月。
17. 黎韋利，「人行道服務水準評估之研究」，國立交通大學碩士論文，民國 88 年 1 月。
18. 賴以軒，「通道與樓梯一般通行及緊急疏散行人流分析與模擬模式建立之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，民國 90 年 6 月。
19. 陳正昌、程炳林、陳新豐、劉子鍵，「多變量分析方法-統計軟體應用」，五南圖書出版股份有限公司，民國 92 年。
20. 陳文彬，「地下車站乘客動線服務績效衡量之研究」，國立交通大學碩士論

- 文，民國 92 年 6 月。
21. 陳武正等人，「台灣地區公路容量手冊技術報告(第二部份)」，76-18-123，交通部運輸研究所，民國 76 年 5 月。
  22. 鍾隆文，「視覺式行人偵測與二維向量行人模擬之研究」，國立台灣大學博士論文，民國 86 年 6 月。
  23. Polus, A., Schofer, J.L., Ushpiz, A. (1983). *Pedestrian Flow and Level of Service*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 109, No. 1, p.p.46-56.
  24. American Association of State Highway and Transportation Officials (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.
  25. Antonini, G., Bierlaire, M., Weber, M. (2006). *Discrete Choice Models of Pedestrian Walking Behavior*. Transportation Research Part B, 40, p.p.667-687.
  26. Blue, V.J., Embrechts, M.J., Adler, J.L. (1997). *Cellular Automata Modeling of Pedestrian Movement*. IEEE, p.p.2320-2323.
  27. Blue, V.J., Adler, J.L. (1998). *Emergent Fundamental Pedestrian Flows from Cellular Automata Micro Simulation*. Transportation Research Record, vol. 1644, p.p.29-36.
  28. Colin, H. (2000). *Level of Service for Pedestrians*. ITE Journal, p.p.26-30.
  29. Gerlough, D.L., Huber, M.J. (1975). *Traffic Flow Theory: A Monograph*.
  30. Fruin, J.J. (1990). *Pedestrian Planning and Design*. Elevator World Educational Services Division, Mobile, AL.
  31. Hall, D. (1966). *The Hidden Dimensions*. Doubleday and Co., New York, N.Y.
  32. Helbing, D. (2001). *Self-organizing Pedestrian Movement*. Planning and Design, vol.28, p.p.361-383.
  33. Henderson, L. F. (1971). *The Statistics of Crowd Fluids*. Nature Vol. 229, p.p.381-383.
  34. Hosoi, R., Ishijima, S., Kojima, A. (1996). *Dynamical Model of a Pedestrian in a Crowd*. 5th IEEE International Workshop on Robot and Human communication, p.p.44-49.
  35. Huberty, C. J. (1994). *Applied Discriminant Analysis*. New York: John Wiley.
  36. Nagatani, T. (2002). *Pattern Formation and Jamming Transition in Pedestrian Counter Flow*. Physica A 313, p.p.709-723.
  37. Pushkarer, B., Zupan J. (1975). *Capacity of Walkway*. TRR 538, p.p.1-15.
  38. Seyfried, A., Steffen, B., Lippert, T. (2006). *Basics of Modelling the Pedestrian Flow*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Volume: 368, Issue: 1, p.p.232-238.
  39. Takimoto, K., Tajima, Y., Nagatani, T. (2002). *Effect of Partition Line on Jamming Transition in Pedestrian Counter Flow*. Physica A 308, p.p.460-470.
  40. Tanaboriboon, Y., Hwa, S.S., Chor, C.H. (1986). *Pedestrian Characteristic Study*

- in Singapore*. Journal of Transportation Engineering, p.p.229-235.
41. Tarawneh, M.S. (2001). *Evolution of Pedestrian in Jordan with Investigation of Some Contributing Factors*. Journal of Safety Research, 32, p.p.229-236.
  42. Teknomo, K. (2006). *Application of Microscopic Pedestrian Simulation Model*. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour Vol 9 issues 1, p.p.15-27.
  43. Washington, D.C. (2000). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board Special Report 209.
  44. Weng, W.G., Shen, S.F., Yuan, H.Y., Fan, W.C. (2007). *A Behavior-Based Model for Pedestrian Counter Flow*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Volume: 375, Issue: 2, p.p.668-678.
  45. William H.K. Lam, John F. Morrall, Herbert Ho (1995). *Pedestrian Flow in Hong Kong*. Transportation Research Record, 1487, p.p.56-62.
  46. William H.K. Lam, Chung-yu Cheung (2000). *Pedestrian Speed/Flow Relationship for Walking Facilities*. Journal of Transportation Engineering, p.p.45-50.



# 簡 歷



姓名：李協政

籍貫：桃園縣

出生日期：中華民國 71 年 10 月 6 日

電子郵件：lee.tem95g@nctu.edu.tw

學歷：

中華民國 97 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班畢業

中華民國 93 年 6 月 國立交通大學運輸科技與管理學系畢業

中華民國 89 年 6 月 國立桃園高級中學畢業

中華民國 86 年 6 月 桃園縣立桃園國民中學畢業

中華民國 83 年 6 月 桃園縣立東門國民小學畢業

兵歷：

中華民國 94 年 12 月 海軍後勤司令部少尉運輸官退伍