

國立交通大學  
運輸科技與管理學系碩士班

碩士論文

行人流行人移動行為之超越移動特性與模式之研究

A Study on Characteristics and Modeling of Pedestrian Overtaking  
Behavior within Pedestrian Flow



研究生：蕭禎祥  
指導教授：吳水威

中華民國九十八年六月

行人流行人移動行為之超越移動特性與模式之研究

A Study on Characteristics and Modeling of Pedestrian  
Overtaking Behavior within Pedestrian Flow

研究生：蕭禎祥

Student : Chen-Hsiang Hsiao

指導教授：吳水威

Advisor : Shoei-Uei Wu

國立交通大學  
運輸科技與管理學系  
碩士論文



Submitted to Institute of Transportation Technology and Management  
College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

# 行人流行人移動行為之超越移動特性與模式之研究

研究生：蕭禎祥

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

本研究探討行人超越行為，藉由現場錄影觀察，選取出符合本研究所需樣本資料，利用 SPSS 軟體進行統計分析，討論各種變因與性別之間相互關係。經本研究觀察發現行人在超越時會有四種模式，其中本研究建構三種模式，分別為直行超越行為、偏向直行超越行為與直行超越偏向行為。由錄影資料中獲得行人之位移，個別求取速度、加速度、前後行人間距離、偏向角度與完成行為之時間等影響變因參數，先探討各種變因與性別之間關係，並利用後方行人速度此項變數，使用線型迴歸方法構建行人的超越行為。結果發現，本研究所建構之三種行人超越行為模式，均方誤差 RMSE (Root Mean Square Error) 均不會大於 40，平均絕對誤差百分比 MAPE (Mean Absolute Percentage Error) 不會超過 30%，經由資料驗證，三種模式之 MAPE 均不會超過 20%。表示本研究所建構之模式能有效預測行人超越行為。

**關鍵詞：**行人超越行為特性、直行超越模式、偏向直行超越模式、直行超越偏向模式



# A Study on Characteristics and modeling of Pedestrian Crossing and Overtaking Behavior within Pedestrian flow

Student : Chen-Hsiang Hsiao

Advisor : Dr. Shoei-Uei Wu

Department of Transportation Technology & Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

This research discusses pedestrian's overtaking the behavior, according to the scene video recording observation, selects conforms to this research institute to need the sample material, carries on the statistical analysis using the SPSS software, discusses each kind changes and between the sex the reciprocity. After this research observation discovered pedestrian when overtaking will have four kinds of patterns, this research will construct three kinds of patterns, Acrossing behavior, Overtaking then acrossing behavior, Acrossing then overtaking behavior. Obtains displacement of the pedestrian by the video recording material, speed, acceleration, pedestrian distance, the deviation angle and complete time etc. Discusses each kind changes first relates with the sex, and using rear pedestrian speed this variable, the use linear return method constructs the pedestrian to overtaking the behavior. As the result, the research modeling of third the kind of pedestrians patterns, Root Mean Square Error the mean error will not be greater than 40, Mean Absoulte Percentage Error the average not to exceed 30% to the erroneous percentage, to test and verify by using MAPE of three kind of pattern, by way of the material not to surpass 20%. Expressed that pattern of this research institute construction can forecast effectively the pedestrian overtaking the behavior

**Keywords :** Pedestrian overtaking characteristic behavior, Direct overtaking model, Deflection-direct overtaking model, Direct overtaking-deflection model

## 誌 謝

本論文得以順利完成，首先要感謝的是指導教授 吳水威博士，恩師在論文撰寫過程，不斷耐心指導與細心的教學，讓學生從中學習許多，是為學生學習之典範。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，獲益良多。在此，謹致學生對於 恩師最誠摯的謝意與敬意。

在口試期間，承蒙中華大學運輸科技與管理學系蘇昭銘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與吳宗修老師詳細審閱，並感謝韓復華老師與任維廉老師於論文研討課程給予寶貴的意見與建議，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，更要感謝李明山老師對待學生給予許多幫助。

求學的過程中有苦也有樂，不論生活上或是課業上，在交大兩年的過程中，有許多學習的對象與榜樣。感謝藍博士在很晚的晚上撥空與我討論，討論後總是在實驗室受不了痛苦倒地，但換來的是開心與難忘抓兔子遊戲。感謝蔣哥哥在他身上總是帶著一張很爽耍廢的臉孔，可是他的做事情的方法與敏銳的反應，不論在計劃案與論文上，總是給我超級多的幫助。另外還有好友老總、ZZ、配飯、協政、008、好室友們、高雄酒肉交陪們、不同實驗室的夥伴同學，陪伴我痛苦與開心的時光。實驗室的生活，過去的學長姐教導陪伴了許多，使我成長改變，我看到了實在踏實奮鬥與興衰，現在願意付出的人時再是太少，施比受有福，學習永無止盡，親身體驗會比空談的紮實，過去歷練所帶來的難過痛苦經歷，相信在未來更能使得我成長茁壯。

最後，我非常感謝我的家人，沒有他們當初的支持我唸書，就沒有從交大畢業的我，讓我學到這樣多的以前沒遇過的事情。在我求學的過程中，一路上跌跌撞撞，從覺得沒用的自己甚至想放棄終結悔恨的過去，但這都過去了，我相信在各個時段上都會有不同的貴人與幫助，能夠從交大畢業，要感謝父母外，也有許多幫助過自己的人，曾經的失望與痛苦，都能在這甜美的回憶中度過。感謝上天能夠給我這機會，我很開心我覺得我是有福氣的人，要感謝的人實在是太多，沒有你們我學不到這樣多痛苦與感受到無比快樂，也讓我對於自己的未來更有目標與動力。

未來還有更多自己想做的事情，研究所畢業是個遲到的結果也是個跳板，我該做的事情還有很多，自己所欠缺的能力，不管在與人接觸與處理事情能力已有基礎但仍然不足，期許自己未來能夠更努力做的更好，期望與我真的覺得該珍惜相處的人好好的一同分享。

蕭禎祥 謹致  
2008年 6月  
新竹 交大

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與對象.....	2
1.4 研究方法與流程.....	2
1.5 研究架構.....	6
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 行人行為特性.....	7
2.1.1 影響行為因素觀測文獻.....	7
2.1.2 行為模擬分析文獻.....	11
2.2 人行空間.....	13
2.2.1 人行步道.....	14
2.2.2 捷運車站.....	15
2.3 車輛變換車道方面.....	16
2.3.1 行為門檻模式.....	16
2.3.2 安全間距距離觀念.....	17
2.3.3 變換車道之決策模式.....	19
2.3.4 變換車道行為.....	24
2.4 綜合評析.....	27
第三章 理論基礎與研究方法.....	29
3.1 理論基礎.....	29
3.1.1 人流理論.....	29
3.1.2 車流理論.....	32
3.1.3 超車原理.....	33
3.2 研究方法.....	34
3.2.1 文獻評析法.....	34
3.2.2 攝影調查法.....	34
3.2.3 獨立樣本 t 檢定.....	34
3.2.4 成對樣本 t 檢定.....	35
3.2.5 卡方檢定.....	35
3.2.6 統計迴歸法.....	35
3.2.7 單因子變異數分析.....	37
第四章 資料調查蒐集與特性分析.....	39
4.1 引言.....	39
4.2 資料調查.....	40
4.2.1 資料調查方法.....	40
4.2.2 調查地點.....	40
4.3 資料認定方式與處理.....	40

4.3.1	超越行人行為資料認定.....	40
4.3.2	超越行人模式分類.....	42
4.3.3	資料認定方式.....	43
4.4	行人超越行為特性分析.....	46
4.4.1	性別.....	46
4.4.1.1	直行超越狀況.....	46
4.4.1.2	偏向直行超越狀況.....	47
4.4.1.3	直行超越偏向狀況.....	47
4.4.2	速度.....	48
4.4.2.1	直行超越狀況.....	48
4.4.2.2	偏向直行超越狀況.....	51
4.4.2.3	直行超越偏向狀況.....	54
4.4.3	加速度.....	57
4.4.3.1	直行超越狀況.....	57
4.4.3.2	偏向直行超越狀況.....	59
4.4.3.3	直行超越偏向狀況.....	61
4.4.4	偏向角.....	62
4.4.4.1	偏向直行超越狀況.....	63
4.4.4.2	直行超越偏向狀況.....	64
4.4.5	行人間距.....	65
4.4.5.1	直行超越狀況.....	65
4.4.5.2	偏向直行超越狀況.....	67
4.4.5.3	直行超越偏向狀況.....	69
4.4.6	跟隨至超越之時間.....	71
4.4.6.1	直行超越狀況.....	71
4.4.6.2	偏向直行超越狀況.....	72
4.4.6.3	直行超越偏向狀況.....	73
4.4.6.4	跟隨至超越時間之綜合比較.....	74
4.5	小結.....	77
4.5.1	直行超越行為.....	77
4.5.2	偏向直行超越行為.....	78
4.5.3	直行超越偏向行為.....	80
第五章	模式建構與驗證分析.....	82
5.1	模式建構.....	82
5.1.1	直行超越模式.....	82
5.1.2	偏向直行超越模式.....	87
5.1.3	直行超越偏向模式.....	93
5.2	模式實證與比較分析.....	98
第六章	結論與建議.....	100
6.1	結論.....	100
6.2	建議.....	102
參考文獻	.....	104



## 圖目錄

圖 1 研究流程圖.....	5
圖 2 研究架構圖.....	6
圖 3 單向雙向人流示意圖.....	9
圖 4 行為決策流程圖資料來源：Hoogendoorn, Bovy, Daamen.....	9
圖 5 Move、Avoid、Swirl 示意圖.....	12
圖 6 模擬行人自我組織圖.....	12
圖 7 同一車道前後車之相對運動過程示意圖.....	16
圖 8 行為門檻關係圖.....	17
圖 9 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖.....	22
圖 10 下匝道車輛變換車道行為示意圖.....	24
圖 11 行人速度與密度關係圖.....	29
圖 12 行人流量與空間關係圖.....	30
圖 13 行人速度與流量關係圖.....	30
圖 14 行人速度與空間關係圖.....	31
圖 15 行人行進過程中三大基本假設行為圖.....	32
圖 16 行人超越前方行人步行移動之狀態圖.....	39
圖 17 行人超越示意圖.....	39
圖 18 忠孝西路館前路路口.....	40
圖 19 忠孝西路與重慶南路路口.....	40
圖 20 中山北路與民生東路路口.....	40
圖 21 行人寬度判別圖.....	41
圖 22 行人超越前方行人可能角度圖.....	42
圖 23 行人行走行為簡易圖.....	43
圖 24 行人資料收集流程圖.....	45
圖 25 直行超越前後行人速度百分比次數分配圖.....	48
圖 26 偏向超越直行前後行人速度百分比次數分配圖.....	52
圖 27 超越直行偏向前後行人速度百分比次數分配圖.....	55
圖 28 直行超越前後行人加速度之百分比次數分配圖.....	58
圖 29 偏向超越直行前後行人加速度之百分比次數分配圖.....	60
圖 30 超越直行偏向前後行人加速度之百分比次數分配圖.....	61
圖 31 行人間距示意圖.....	65
圖 32 直行超越行人間距 D 次數分配圖.....	66
圖 33 偏向超越直行行人間距 D 次數分配圖.....	68
圖 34 超越直行偏向行人間距 D 次數分配圖.....	70
圖 35 不同跟隨終止原因與其平均跟隨時間圖.....	77
圖 36 直行超越之後方行人速度模式標準化殘差圖.....	85
圖 37 直行超越之後方行人速度模式殘差 P-P 圖.....	85
圖 38 直行超越之後方行人速度模式比較圖.....	86
圖 39 偏向直行超越之後方行人模式標準化殘差直方圖.....	90
圖 40 偏向直行超越之後方行人模式殘差 P-P 圖.....	91
圖 41 偏向直行超越之後方行人速度模式比較圖.....	92
圖 42 直行超越偏向之後方行人速度標準化殘差直方圖.....	95
圖 43 直行超越偏向之後方行人速度殘差 P-P 圖.....	96





## 表目錄

表 1 Hall 之人與人空間距離特性.....	8
表 2 應用行人模擬法簡表.....	11
表 3 歷年相關人流文獻比較表.....	27
表 4 成對樣本 t 檢定.....	44
表 5 卡方檢定.....	44
表 6 性別與跟隨型態交叉比較表.....	46
表 7 直行超越性別交叉比較表.....	46
表 8 偏向超越直行性別交叉比較表.....	47
表 9 直行超越偏向性別交叉比較表.....	47
表 10 直行超越前後行人速度統計表.....	48
表 11 直行超越前後行人速度成對 t 檢定表.....	49
表 12 直行超越前後行人速度相關表.....	49
表 13 直行超越後方超越者速度與性別獨立 t 檢定.....	50
表 14 直行超越假設情況分類統計量表.....	50
表 15 直行超越假設情況分類獨立 t 檢定.....	51
表 16 偏向超越直行前後行人速度統計表.....	51
表 17 偏向超越直行前後行人速度成對 t 檢定表.....	52
表 18 偏向超越直行後方超越者速度與性別獨立 t 檢定.....	53
表 19 偏向超越直行假設情況分類統計量表.....	53
表 20 偏向超越直行假設情況分類獨立 t 檢定.....	54
表 21 直行超越偏向前後行人速度統計表.....	54
表 22 直行超越偏向前後行人速度成對 t 檢定表.....	55
表 23 直行超越偏向後方超越者速度與性別獨立 t 檢定.....	56
表 24 直行超越偏向假設情況分類統計量表.....	56
表 25 直行超越偏向假設情況分類獨立 t 檢定.....	57
表 26 直行超越前後行人加速度統計表.....	58
表 27 直行超越前後行人速度成對 t 檢定表.....	59
表 28 直行超越前後行人加速度相關表.....	59
表 29 偏向超越直行前後行人加速度統計表.....	59
表 30 偏向超越直行前後行人加速度成對 t 檢定表.....	60
表 31 偏向超越直行前後行人速度相關表.....	61
表 32 直行超越偏向前後行人加速度統計表.....	61
表 33 直行超越偏向前後行人加速度成對 t 檢定表.....	62
表 34 直行超越偏向前後行人速度相關表.....	62
表 35 偏向超越直行偏向角與後方性別交叉比較表.....	63
表 36 偏向超越直行偏向角與前方性別交叉比較表.....	63
表 37 直行超越偏向偏向角與後方性別交叉比較表.....	64
表 38 直行超越偏向偏向角與前方性別交叉比較表.....	64
表 39 直行超越起始行人間距統計表.....	66
表 40 直行超越後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定.....	66
表 41 直行超越前後性別分組之距離統計表.....	67
表 42 直行超越行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定.....	67
表 43 偏向超越直行起始行人間距統計表.....	68

表 44	偏向超越直行後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定	68
表 45	偏向超越直行前後性別分組之距離統計表	69
表 46	偏向超越直行行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定	69
表 47	直行超越偏向起始行人間距統計表	70
表 48	直行超越偏向後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定	70
表 49	直行超越偏向前後性別分組之距離統計表	71
表 50	直行超越偏向行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定	71
表 51	直行超越跟隨至超越時間統計表	72
表 52	直行超越跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定	72
表 53	偏向超越直行跟隨至超越時間統計表	73
表 54	偏向超越直行跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定	73
表 55	直行超越偏向跟隨至超越時間統計表	74
表 56	直行超越偏向跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定	74
表 57	終止原因與跟隨時間同質性檢定表	75
表 58	終止原因與跟隨時間受試者間效應項的檢定 ANOVA 表	76
表 59	LSD 法多重比較表	76
表 60	直行超越後方速度模式變數相關分析表	82
表 61	直行超越後方速度模式自變數逐步迴歸篩選表	83
表 62	直行超越後方速度模式 ANOVA 表	83
表 63	直行超越後方行人速度模式共線性診斷表	84
表 64	直行超越後方行人速度模式係數表	84
表 65	直行超越後方行人速度模式殘差統計量表	85
表 66	偏向超越直行後方速度模式變數相關分析表	87
表 67	偏向超越直行後方速度模式自變數逐步迴歸篩選表	88
表 68	偏向超越直行後方速度模式 ANOVA 表	88
表 69	偏向超越直行後方速度模式共線性診斷表	89
表 70	偏向超越直行後方速度模式係數表	89
表 71	偏向超越直行後方速度模式殘差統計量表	90
表 72	直行超越偏向後方速度模式變數相關分析表	93
表 73	直行超越偏向後方速度模式自變數輸入篩選表	93
表 74	直行超越偏向後方速度模式 ANOVA 表	94
表 75	直行超越偏向後方行人速度模式共線性診斷表	94
表 76	直行超越偏向後方行人速度模式係數表	94
表 77	直行超越偏向後方行人速度模式殘差統計量表	95
表 78	超越移動行為模式整理	98
表 79	行人超越移動模式比較表	98
表 80	行人超越移動模式實證比較表	99

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

在這交通與大眾運輸發達的社會，要搭乘運具前仍然需要使用人類與動物最大差別的方式“步行”來到達接駁點，在搭乘運具後也是需要步行的方式來移動以到達最終的目的地。所以人類有大部分的時間都是使用步行的方式來移動，即便到了現代，除了使用運具來達到且快速方便的大範圍移動之外，但要到達個別所期望到達的地點時仍然需要憑藉著本身的雙腳來步行。我國的人口大多數比例集中在各大都會區中，步行的方式仍係為一種最基本的方式，然而使用步行的方式會讓行人設施產生可觀的衝擊。當然行人在步行時絕對不只是一種簡單的通過性行為而已，行人所行走的空間也不能視為純粹的通過性地帶。在步行的過程甚至可以引發各種人與人之間的互動與接觸，當然步行是一種最簡單、基礎、不會增加環境污染的移動方式，人也可以藉由步行來構成一趟旅次，因此分析行人行為特性係為一項值得研究的課題。

行人於步行過程中，大部分會有跟隨前方行人與超越前方行人等狀況產生。而超越行人方面，個別會有要如何超越前方行人，該用何種方式超越前方行人，在都市地區中，由於行人眾多而移動頻繁，都市中的交叉路口與人行道等會產生許多交通問題也就是行人空間問題。探究其中問題可發現，行人空間問題主要是因為行人步行，在行人穿越道、人行道、天橋、百貨公司進出口與大眾交通工具進出口都會與行人步行者大量移動的問題。由於這些行人空間會提供了移動與停留的可能，因為行人有種種不同的狀況，自然也會產生了順暢與擁擠等等情況。在緊急下，擁擠是種危險的行為，為減少行人擁擠使得避難時減少意外產生，交通管理與行人動線規劃顯得相當的重要。當擁擠時需如何改善問題，順暢時如何繼續維持，除了加強控管與規劃行人動線外，更需對於行人移動的行為研究藉以了解行人行為。

近年來，討論研究行人相關行為的研究眾多，大多數探討外在環境對於行人間的影響，與其他因素間的相互探討，其中利用系統模擬的方式來分析並研究行人的行為，已有相當的成果。不過在針對行人個體移動特性的討論並非深入探討，由於行人間會有差異性的存在，研究大多探討於外在環境影響因素，利用系統模擬的模式來分析、模擬行人的行為，在巨觀與微觀方面已有些許成果，但針對行人本身移動行為特性的討論卻相當地缺乏。外在環境的影響與行人間所能夠接受的情形，對於狀況的反應也不盡相同，人與人之間討論其個人不同的習慣與人的處事情況方式，對於行人的行為會導致較無法預測的情況，若要以模式化行人行為，難以透過簡單的數學模式解釋行人的行為，而使得模式過於複雜無法順利研究。

有鑑於上述背景與動機，本研究將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，冀求出利用歸納分類建立行人超越橫移行為模式，並判斷行人移動之影響參數，且探討行人移動之相關特性，以作為後續研究與討論行人狀態之參考依據，並希望可以更進一步對行人行為做預測，以

供更多資訊給相關單位做為行人設施的建設或改良參考。同時期望能為將來對於行人的微觀研究提出一個新的方向與工具。

## 1.2 研究目的

本研究係探討超越前方行人的各種狀態行為之移動方式與特性探討，將對行人行為相關特性進行分析，以及影響行人的因素，藉此瞭解行人在各種不同情況下與人流特性之關係性，而建構微觀行人超越橫移模式。因此本研究之具體研究目的如下：

1. 研析國內外都市行人行為與特性之相關文獻，將行人行為相關文獻與人流理論等理論進行研析整理，再而蒐集整理行人行為資料，進而利用統計分析，分析各種不同相關影響行人變數參數，以供建構行人行為模式。
2. 根據實地攝影調查與攝影調查結果分析調查各不同行人行為特性，並配合統計方法，蒐集調查各種不同之影響變數，說明各種不同特性，再進行歸納分析，以進一步分析分類提供構件行人超越橫移模式之參考。
3. 彙整調查人流資料與相關影響因素，根據實地調查行人之移動特性，應用統計分析方法並結合資料統計分析結果，及影響行人移動行為選擇之相關因素，進而發展行人超越行為之模式。
4. 本研究將分析行人行為與其結果並比較，將研究所得資料分析，並提出對於未來微觀行人流與模擬模式之設計建議。

## 1.3 研究範圍與對象

由於本研究係研究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，主要觀察人行設施也就是行人穿越道上之行人，故將針對「行人」進行研究，主要研究範圍在於行人通過具有專用時相號誌之行人穿越道時的超越前方行人行為模式及其特性。應用實地攝影調查，取得交岔路口之行人樣本資料後，再利用統計分析方法找出影響行人決策之因子，並進一步預測行人對於不同情況其相對應的行為模式。行人穿越道路的過程是一連續性行為，行人會依據當時不同的外在情況與內在心理因素的改變而連續不斷修正本身的行為，為因應此隨機的過程，本研究將不探討行人穿越道路時行為改變的情況，只考慮在超越行為發生後，且主要探討前方有行人之後方行人行為。

但由於研究經費與人力限制，研究地點將設置於商業區內行人流動量較高處以方便資料收集，其餘地區之研究則希望將來可繼續進行，取得資料以研討並分析各地行人之行為模式是否有差異。

## 1.4 研究方法與流程

本研究從既有之國內外文獻回顧與評析，建立研究之架構，資料之蒐集乃至



於行人的特性分析。本研究一流程進行各項研究工作，研究流程圖如圖 1，各項研究工作說明如下所分述：

1. 確立研究方向與目的：

行人的行為仍未有個確定的模型可以完整表達行人的行為。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的超越橫移模式，可供研究者及相關機構單位參考。

2. 文獻回顧與分析：

針對國內外車流理論與人流理論於分析應用方法之相關文獻進行回顧，為瞭解過去專家學者對於行人的研究以及行人行為之基本特性，並對文獻資料作深入的研讀與評析，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，加深對於相關理論的瞭解，進而深入探討本研究之方向與目的，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，研討一套能夠套用能將焦點將集中於個體行人的身上，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交叉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。本研究將引用攝影調查法、統計檢定等，進行變數相關檢定分析、建構模式與驗證。

5. 調查蒐集行人資料：

選定符合欲研究之人行設施後，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於以歸類，以利於後續從事行人行為特性之研析。

6. 建立國內都市商業區行人超越橫移行為模式：

利用搜集之行人流資料與相關文獻，將調查所得資料利用統計迴歸分析與相關檢定，期望構建行人超越橫移模式。

7. 模式校估與驗證：

針對所構建之人流模式進行參數校估，並且蒐集符合研究範圍之新

樣本資料對模式進行驗證之工作，以檢視模式本身之預測準確性，利用統計方法與相關性檢定來驗證其模式的正確度，並確認本研究計畫的結果，更期待能夠符合行人流的狀況。

#### 8. 結論與建議：

綜合本研究所獲得之人流特性，進而提出結論與建議，以期望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，並冀望提供未來相關研究之參考，使國內對於行人流的研究、發展有更近一步的成果。

本研究流程如圖 1 所示：





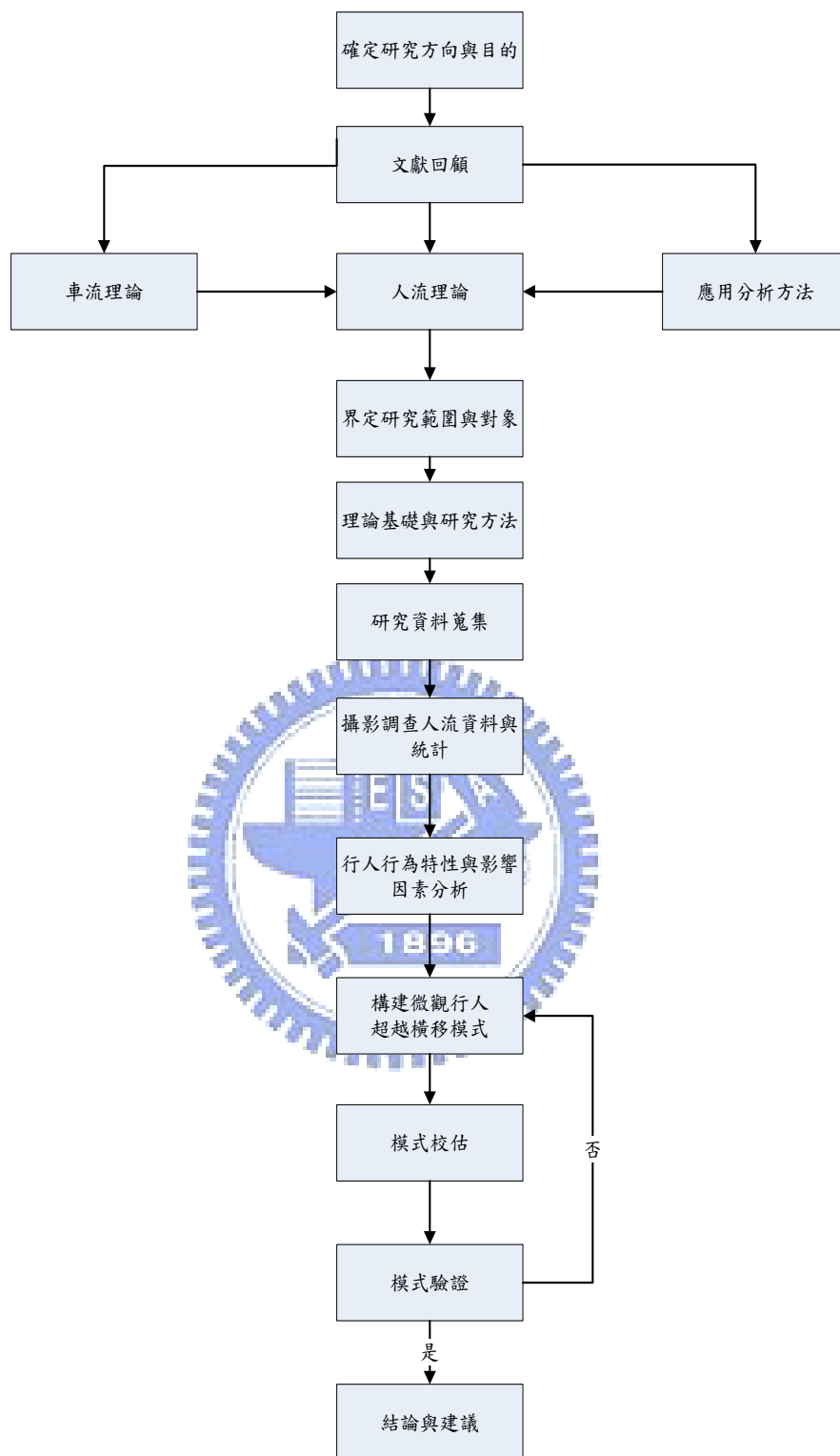


圖 1 研究流程圖

## 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、超車原理、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。在模式構建方面，以複迴歸分析方法進行模式構建。最後，針對構建之行人跟隨行為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 2 所示：

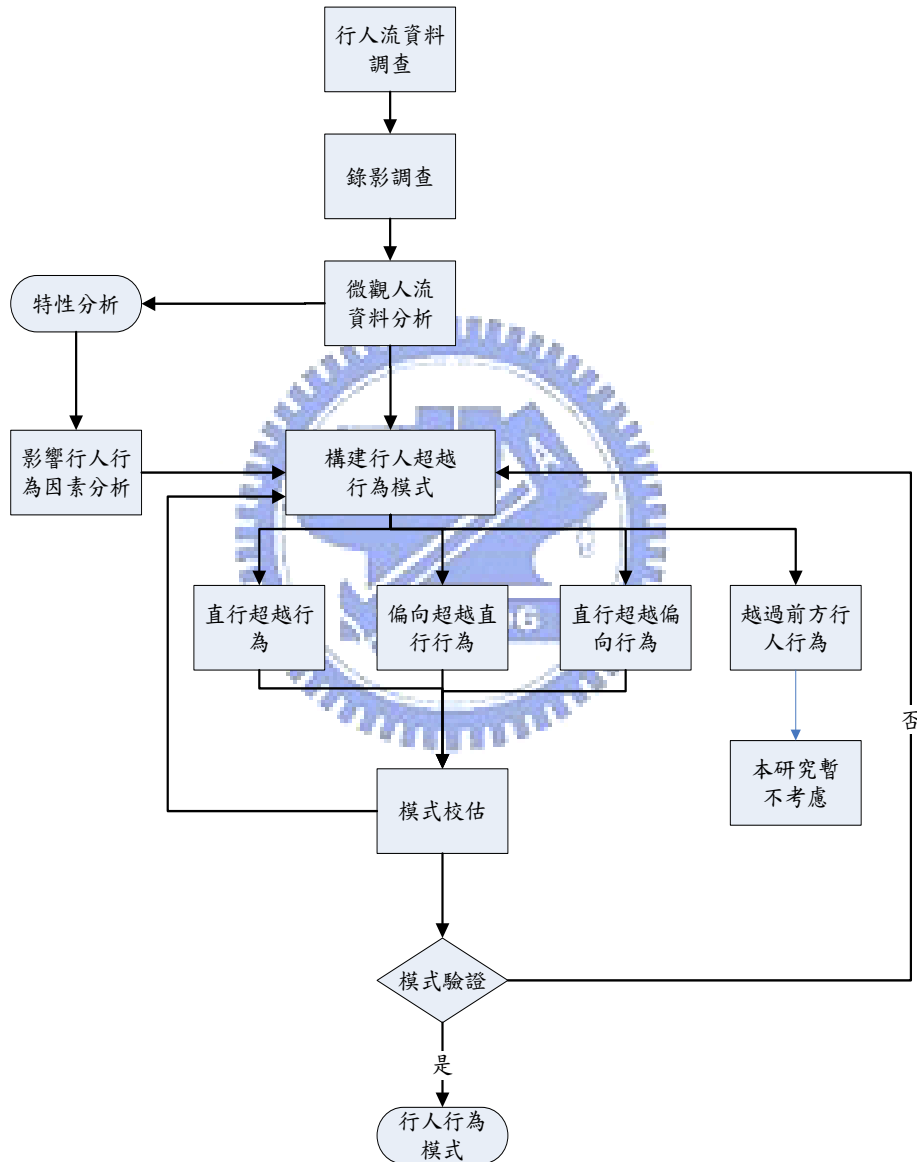


圖 2 研究架構圖

## 第二章 文獻回顧

本章將對於本研究相關文獻進行回顧評析，先對於國內外有關行人行為特性之研究進行回顧與整理，再針對有關環境設施與行人相關之研究做一整理，進而回顧車輛的變換車道行為，以瞭解目前於行人流行為之研究方法、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 行人行為特性

交通模型的研究往往忽略的行人的因素，但是行人會對於交通狀況有所影響，行人的行為有那些特性，以及那些因素會影響行人做出選擇，則少有相關研究，大多數對於行人的研究分為兩類：影響行人的外在因素研究，與行人行為模擬分析。因此本研究首先回顧一般影響行人行為之因素研究與人流理論，第二部分則回顧現有電腦模擬行人模式。

#### 2.1.1 影響行為因素觀測文獻

Muhammad and Robert[31]對於行人的速度選擇模式進行分析，發現有一些重要的參數會對行人選擇行為有很大的影響，其中像是速度、交通號誌、與旁人可容忍的間距，以及 QKV 之間的關係圖。因為行人可以擁有很大的自由，像是可選擇的路徑很多，受到的範圍限制也不大，甚至行走的方向、從何處開始行走、要走那一邊，在在都顯示出行人選擇的自由度很高，同時也與行人本身遵守交通規則的程度有關連。

Alexandra Wills[32]指出行人的個體偏好，如：速度、距離、位置，會被本身的個性、現場的情況，以及外在的環境所影響，而且行人極可能會被社會力量（與附近的行人）所影響而導致本身去選擇當時最理想的路程來到達目的地。並在其研究中發現，年紀、性別、移動能力、團體大小、一天中不同時間，以及不同地點，會對行人移動特性造成顯著的影響。該學者也說明，為了成為一個好的、有價值的預測工具，模式的本身必須要能模擬出現實的行為。

溫日宏[7]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。

行人在步行過程中追求的是一舒適的感受（即不受阻礙、自由選擇行走速率及方向），此涉及人的尺度、人體所佔的空間大小及人與人間的距離等因素。根據Koichi Tonuma的觀念，人類以自身的軀體、感官、知覺所發展出來的一種與

自然界和諧相處的衡量系統，亦是一種心靈的及實體感知的價值系統。其中實體感知方面，實際設計與評估屬於較容易量度的部分有四種尺度：

1. 以人軀體當作衡量的尺度，主要是人的坐、站立所佔有的空間，稱為軀體尺度 (body scale)。
2. 以人的步伐當作衡量的尺度，以東方人而言，大步伐約為 0.91 公尺，小步伐約為 0.61 公尺。
3. 以人的感官之知覺距離作為衡量尺度，及利用人體的眼、耳、鼻等感官所測得的資料。
4. 以人體的生存空間或生理時鐘當做衡量的尺度。

一個人站立所佔有的空間約為肩寬 60 公分、體厚 45 公分，與 Fruin[33]所提出的橢圓形身體尺寸相近。當行人身體接觸時，每人約佔 0.3 平方公尺；而身體不接觸時，每人則佔有 0.7 平方公尺；當行人欲從人行中穿越時，依其通行順利與否，分別為 1.0 平方公尺與 1.3 平方公尺。

Hall[34]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 1)。當行人行走時會與他人及周圍障礙物保持 30-45 公分的自衛距離，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 1 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	0.2 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：Hall [34]

Teknomo[35]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)，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：

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

<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： $m, \alpha, \beta, \chi$ ，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。

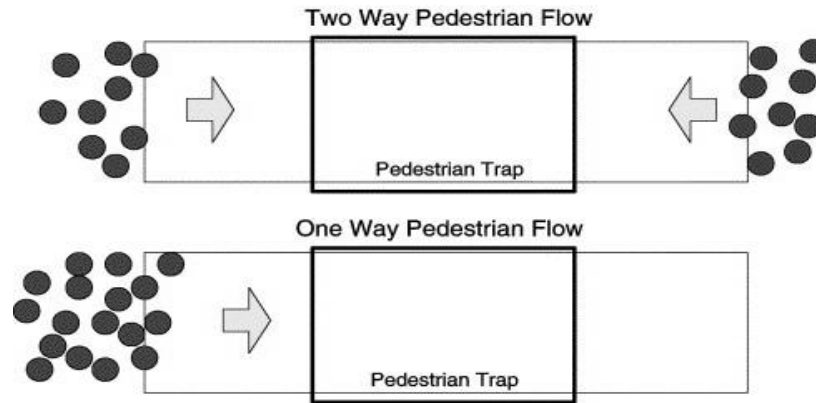


圖 3 單向雙向人流示意圖[35]

Hoogendoorn, Bovy, Daamen[36]對於行人行為的過程分成三個等級，策劃 (Strategic)、戰術 (Tactical)、運作 (Operation)。在策劃的時期，行人會決定要採取什麼樣的行為以及要不要採取這個行為；在第二階段，行人會根據上一階段的策略做短期的決定，決定這個行為該從那裡做、路徑的選擇，並且可以回饋給第一階段再重新策劃，是屬於雙向的溝通。第三階段則是選擇要走或是等，速度或快或慢。根據這三個階段的作用決定行人為什麼選擇該時間的行為。該三階段示意圖如下：

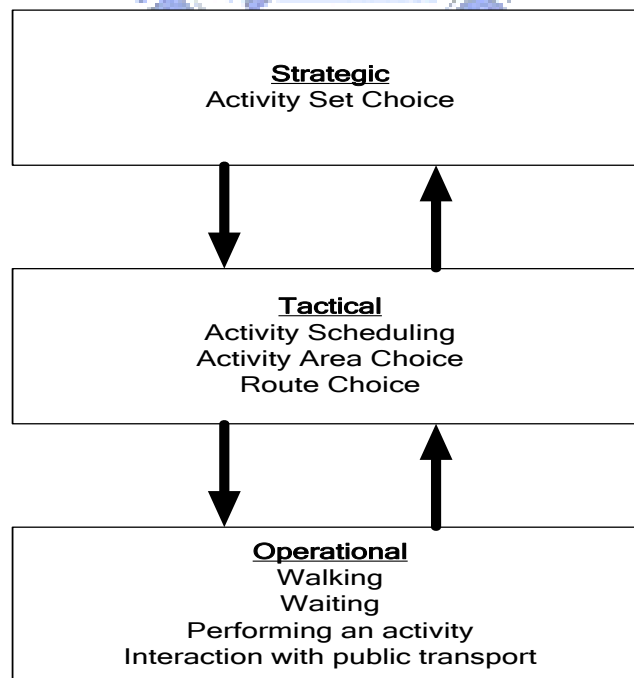


圖 4 行為決策流程圖資料來源：Hoogendoorn, Bovy, Daamen[36]

Inger and Gitte[37]於研究中以年紀與性別來研究行人行為特性，利用問卷調查所得資料以卡方檢定來分析，發現老年人在穿越較寬的道路會比較困難，因為他們需要更多的時間與注意力來對於各種方向的狀況進行掌握，所以年紀越大的人其行為動作會越慢，反應時間較久，對交通有一定程度的影響。

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[8]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、週遭環境(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)。

Hoogendoorn and Bovy[38]認為步行旅次與其他種類旅次存在很大的不同，所以需要發展專用的理論基礎與模型工具來研究在步行設施上的行人行為。行人在公共區域的移動自由幾近無限，也就是可供選擇的路線有無限多條，此時一般網路模式將會較不適合應用於行人的路線選擇。應該利用以行為為基礎的模式會較能符合現實情況。但是這個模式無法將行人的行為考慮進來，並假設行人會優先考量本身的行程，以不耽誤為準。選擇過程中會被外部和內部因素所影響，外在因素包括設施的設置、交通量、天氣、周邊環境等；內部因素則有行人本身的特性像是性別、年紀、時間壓力、旅次目的等。

Yordphol Tanaboriboon[39]採用錄影調查方式，調查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 Greenshields 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。

Gordon Simpson[40]嘗試使用 Virtual Reality（虛擬實境）於研究行人道路穿越行為的可行性，與探討不同年齡、性別的孩童對於穿越行為決策的依據。本研究的行人道路穿越設計了兩種情境，一為車輛定速（但車輛間距離不同），另一為車輛間定距離（但車速不同）；實驗結果顯示，行人在車輛定速的情境下所表現的不安全穿越次數較少，也就說明了行人通常以距離當作安全穿越的考量基準，而未周詳的考量車輛速度。而 5~9 歲的孩童有最高的碰撞發生率，最低的則是大於 19 歲的孩童；在不安全的穿越行為次數方面，女性的發生率略高於男性，可能原因為男女對虛擬實境的反應具有差異性。



### 2.1.2 行為模擬分析文獻

行人的行為模式是一個很複雜的課題，都市交通規劃者對於行人在與其他人步行的同時會有怎麼樣的影響、行人如何決定要不要穿越道路、如何決定本身的速度，很有興趣，但是還沒有一個非常理想的方法可以完全解決這些問題。隨著電腦科技的發達，模擬技術已經能夠將周遭環境的因子輸入模式中，並且模擬出符合現實行人步行情景。一些比較常用的模型有：以二維座標將行人行為利用質點或是圓形表現的模式、擁擠的行人移動以流體來呈現、應用細胞自動機（Cellular Automata, CA）等模型。茲將現有模型應用於模擬行人的移動整理如表 2：

表 2 應用行人模擬法簡表

提出學者	年代	模式名稱或特性	
Helbing & Molnar	1995	利用社會力量模型將行人以二維空間中的質點或圓圈表示其行為特性。	
Werner & Helbing	2003		
Seyfried et al.	2006		
Henderson	1974	將行人擁擠的移動過程以流體的方式來比喻及分析。	
Helbing	1992		
Hughes	2003		
Brichall <i>et al.</i>	1994	PAXPORT	應用 CA 及 Agent-based 開發之商用行人模擬程式。
Maw & Dix	1990	PEDROUTE	
Still	2000	LEGION	
Kerridge <i>et al.</i>	2001	PEDFLOW	
Daamen	2004	SIMPED	
Teknomo	2006	MPSM	

資料來源：本研究整理

Weng, Shen, Yuan, Fan[41]等人提出一行為基準模型可以適用在行進中的行人，假設行人有三種基本行為：移動（Move），避免（Avoid），打旋（Swirl）如下圖 4 所示。步行的方向決定於走路權重，利用基本行為與權重比率的乘積加總而得。此模型可以模擬根據不斷更新的時間間隔所對應的行人速度來模擬行人的移動。本模型是利用二維框架內之氣體模型來模擬行人流，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，當加權後對四各方向的數值為零，則行人不會移動。

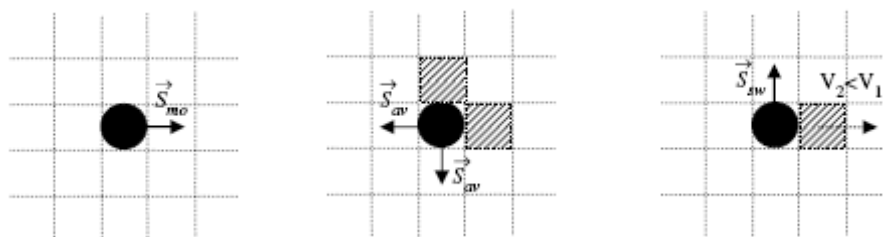


圖 5 Move、Avoid、Swirl 示意圖[41]

Armin[42]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，並且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。

D. Helbing, P. Molnar, F. Schweitzer[43]利用模擬找出行人於擁擠時的動態行為，假設有一無形的社會力量會在行人與行人之間產生加速力與排斥力，透過錄影來與模擬結果進行比較分析，發現行人之間會有一種自我組織的現象。Helbing & Molnar[44]認為行人的移動可以描述為有一社會力來推動，而這種社會力量不是直接表現在行人的特質上而是要從行人之間互動行為之中量測而得。主要有三種表現：加速至超越前方行人，與前方行人保持一固定距離，吸引效果的表現。並成功利用模擬表現出行人於同向走道步行的行為，以及在一個狹窄走道上的行為。下圖為模擬行人於走道上會產生同方向的自我組織行為。

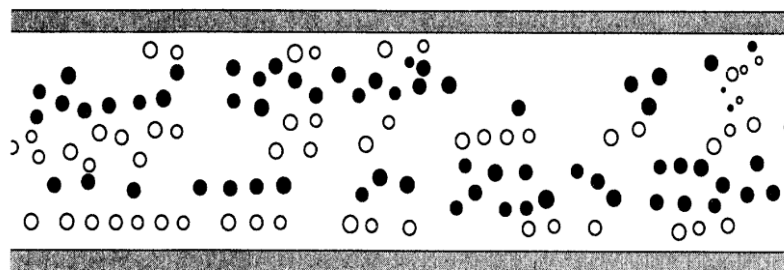


圖 6 模擬行人自我組織圖[44]

Kerridge *et al.*[45]因應對行人研究所需要的模擬工具，提出一個模擬行為微觀行為的模型稱為 PEDFLOW，利用混合模擬方法，該模型將每個行人當成一個

代理，並可以自己決定下一步，這個界面是建立於 JAVA 平台，提供很良善的使用界面，並且期望可以做為都市規劃者用來評估建設的工具，以改進都會區行人步行環境。

鍾隆文[9]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：基本偵測方法，例如行人流量、速度、密度的偵測；輔助偵測方法，如行人趨勢、及行人頻率偵測；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。

Motoharu Hosoi[46]建立行人之動態模式，假設人之行為乃非隨機過程 (random process)，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然縮減的行人設施時之行為表現。

V.J. Blue[47]則以細胞自動機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 (Rule Set)，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詭譎多變的渾沌現象的可能性。藉由以極短時間片段 (short-term time step) 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。

Masakuni Muramatsu[48]以格子狀氣體模式 (lattice gas model) 模仿一左、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、及左右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。發現當密度達到一臨界密度 (Critical Density)，行走速度發生劇烈的陡降，很快的速度即成為零，而空間佔有率 (Occupancy) 也於同時陡升至飽和。

## 2.2 人行空間

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。

## 2.2.1 人行步道

本研究主要針對超越橫移人行行走設施進行研究，因此藉由相關對於人行步道的研究加強對行人之瞭解。

黎韋利[1]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[2]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[3]透過兩階段問卷調查方式，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，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。

Mehammed S. Tarawneh [27]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（1.35 公尺/秒）略高於女性（1.33 公尺/秒）。
2. 年齡：21 至 30 歲之平均行走速率最快（1.49 公尺/秒），超過 65 歲平均行走速率最慢（1.17 公尺/秒）。
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 [28] 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。

李協政[4]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。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、行人間距、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。

### 2.2.2 捷運車站

許添本[5]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 Green shields 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[6]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。

William H.K. Lam [29] [30] 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 e 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。

速率與密度之關係：在室內適合採用線性的 Green shield'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。

## 2.3 車輛變換車道方面

車流中變換車道情形係為一種轉換行向的，由於再後方車輛要改變原本行駛車道藉由一偏向角度改變行向轉移至另一車道上，進而超越前方車輛。在觀察行人後發現，行人亦有偏向角度使得轉換行使方向，本研究研究後方行人如何超越前人，故針對車輛變換車道行為進行研究文獻與回顧。

### 2.3.1 行為門檻模式

傳統之刺激-反應方程式有兩項不合理的假設：(1)無論距離多遠，兩車都會互相影響。(2)當相對速度不變，跟車反應亦不變。然而行為門檻模式[28]係認為當跟車駕駛者感知到前車與自身之間距及相對速度差異過大時，會加速接近前車以縮短間距，逐漸由不受影響駕駛範圍進入受影響駕駛範圍；當跟車駕駛者感知到過於接近前車不安全時，則減速以加大間距；減速後之間距若不合跟車駕駛者之期望則再加速，而若本車與前車距離太大時，後車則完全不受前車之影響。整個系統就在本車不斷加減速的自我調整過程中達到穩定跟車狀態。此種駕駛行為會表現出兩種的特有的跟車現象：(1)跟車過程處於一微幅振盪調整之間距與速度差系統中；(2)在各反應狀態下，具有如拋物線形之感知門檻界限，如圖 7 所示。

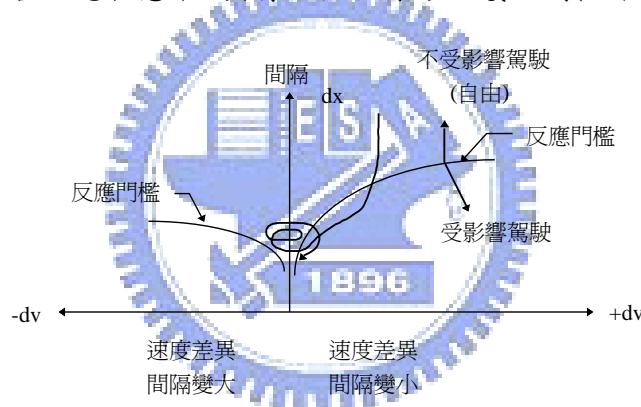


圖 7 同一車道前後車之相對運動過程示意圖

Wiedemann(1974)[30]將此「心理—物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model)之觀念引進微觀車流模擬裡，構建數學化模式(INTAC Model)，即為「行為門檻模式」(Behavioural Threshold Model)，亦可說是一種跟車決策模式(Car-Following Decision Model)。模式基本假設仍為單一車道，不考慮變換車道情形，將車流狀況分成三個反應區：感知反應區(Perceived Reaction)、無意識反應區(Unconscious Reaction)、無反應區(No Reaction)。經過各感知門檻界限之區隔後，可再細分為各決策行為分區，如圖 8 所示。

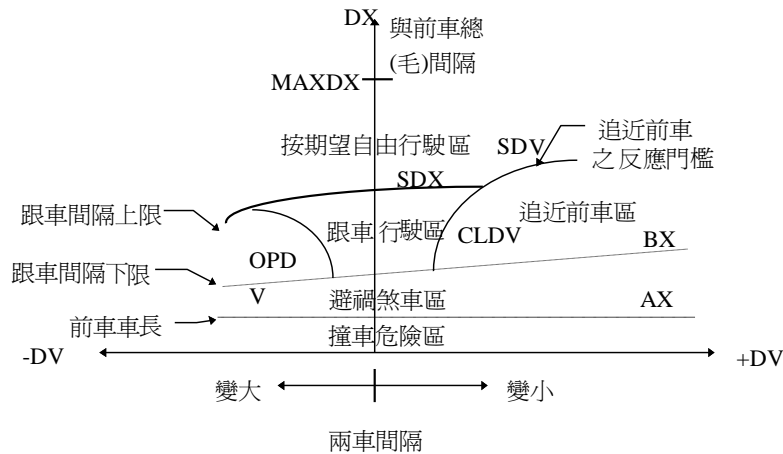


圖 8 行為門檻關係圖

各行為門檻的意義如下：

- (1) 靜態間距(Ax)：本車在靜止狀態時，希望與前車所保持之車頭距
- (2) 最小安全間距(Bx)：前後兩車為緊鄰跟車狀態，本車車速與前車車速相近時，所欲維持之最小跟車間距。
- (3) 感知速差門檻(SDV)：在一較大間距下，跟車駕駛者對於速度差異(後車車速-前車車速)之感知門檻，此門檻值越大，表示後車駕駛者越容易受前車影響。
- (4) 跟車間距上限(SDX)：為顧及駕駛者判斷間距能力之差異，一般駕駛者通常之跟車間距會在最小跟車間距至最小跟車間距的 1.5~2.5 倍之範圍內。此最大值即為駕駛者的跟車間距上限。
- (5) 間距漸減速差門檻(CLDV)：在一較小間距、間距漸減且速差為正之情況下，速度差異之門檻值，由 SDV 與隨機因子計算而得。
- (6) 間距漸增速差門檻(OPDV)：在一較小間距、間距漸增且速差為負之情況下，速度差異之門檻值，其值約為 1~3 位 CLDV 值，此因駕駛者通常對正在遠離物比正在接近物反應較遲緩之因。

### 2.3.2 安全間距距離觀念

利用 2.3.1 以刺激-反應理念構建之跟車模式如下[49][50]，2.使用 GM 跟車模式為基礎架構，有關安全距離的理論分述如下：

#### 1. Pipes 和 Forbes 理論

Pipes(1953)首先將運動中車輛之間的關係公式化，其以安全距離的觀念來表示後車的車速與前車間距離的關係，如下式所示。

$$d_{n+1}(t) = L_n + \frac{\dot{X}_{n+1}(t)}{10 \times 1.47} \times L_n$$

式中：

$d_{n+1}(t)$ ：後車與前車間距離 (呎)

$L_n$ ：車長 (呎)

$\dot{X}_{n+1}(t)$ ：後車在 t 時間之速度 (MPH)

Pipes 假設每一位駕駛者與前行車輛維持的空間與後車的速度成比例且加上一段距離。Pipes 理論的缺點為在低速與高速情況下會出現低估的現象，這與實際不符。

Forbes 在跟車模式行為中加入反應時間(Reaction Time)，使後車用以判斷是否該減速煞車，其認為前車之後緣與後車之前緣間的時間間隙(Time Gap)至少應大於或等於反應時間，所以，最小的時間間距(Time Headway)的數學關係式等於反應時間加上前車車長距離之行駛時間，如下式所示。

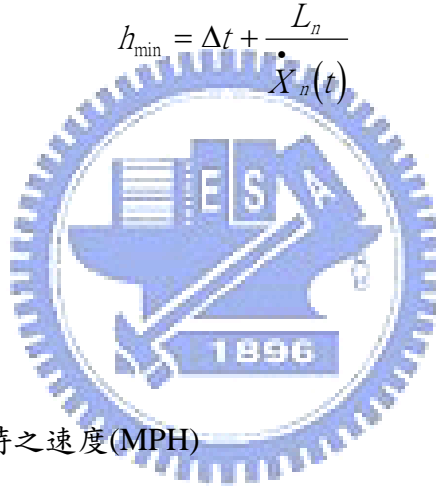
$$h_{\min} = \Delta t + \frac{L_n}{\dot{X}_n(t)}$$

式中：

$\Delta t$ ：反應時間(秒)

$L_n$ ：車長(呎)

$\dot{X}_n(t)$ ：前車在 t 時間時之速度(MPH)



由上式可知 Forbes 的跟車理論與 Pipes 模式類似，Pipes 考量的距離間與後車的速度成線性遞增，而 Forbes 的最小安全距離間距與前車之速度成線性遞增。

## 2.安全間距模式

劉英標[10]以 GM 第五代跟車行為模式與汽車動能及煞車能量不變定律，並考慮不同冒險度行為對跟車間距之影響，以構成一較完整之本土化跟車模式：

$$S_0 = \left\{ \left( \frac{\mu_0}{\mu_1} \right) \left[ \frac{(1-l)}{\alpha_{l,m}(1-m)} \right] \cdot \left[ V_{n+1}(t_1) + \frac{g \left[ A + \frac{C}{3} V_{n+1}^2 \right]}{W \cdot f \cdot (1 + \delta_m)} (\Delta t) \right]^{1-m} + (L_n + \theta)^{1-l} \right\}^{\frac{1}{1-l}}$$

式中：



$\frac{\mu_0}{\mu_1}$  : 冒險度權重

$V_{n+1}(t_1)$  : 後車車速

$g$  : 重力加速度

$A$  : 迎風表面積( $m^2$ )

$C$  : 行駛阻力中風阻之常數項( $Newton / kph^2$ )

$W$  : 車重

$f$  : 摩擦係數

$V_{n+1}$  : 後車煞車前之瞬時速度

$\delta_m$  : 反應時間

$L_n$  : 車身長

$\theta$  : 兩車煞停後之最小容許間距(約 1 米)

$\alpha_{l,m}, l, m$  : 行為參數模式  $\alpha_{l,m}, l, m$  , 經由實際測試取得跟車資料, 再以統計分析校估得到在  $\Delta t = 1$  時,  $\alpha_{l,m} = 0.97749$ 、 $m = 0.193743$ 、 $l = 0.242990$

李樑堅[11]利用攝影蒐集車輛於市區道路之車流資料, 首先求得自由流狀態推進之最低門檻距離(如式 2-10), 用以判別車輛行駛在某一階段下是否會受到前車之影響, 並且利用統計迴歸分析方法以及動態安全間距, 分別求得車輛推進之加速度, 取其較小值做為車輛推進之加速度。

$$d = p + (K + 1) V_i$$

式中:

$d$  : 代表動態最大安全門檻間距值

$V_{i-1}$  : 本車之期望速度

$P$  : 前車之靜態車長

$K$  : 反應時間

### 2.3.3 變換車道之決策模式

## 1. 變換車道門檻準則決策模式

張家祝等[12]認為車輛於高速公路符合下列五個條件便會採取變換車道：

- (1) 前後兩車車距小於最小跟車距離
- (2) 本車車速大於前車車速
- (3) 本車車速低於期望車速 85%
- (4) 鄰近車道之前車車速大於本車車速 3m/sec 或鄰近車道之前車與本車距離大於最小跟車距離
- (5) 本車變換車道後，鄰近車道之後車不致撞上

其中，最小跟車距離張家祝等是採用 B.b Greenshields 之經驗公式，其所得之最小跟車距離比較符合張家祝等所調查之國內之最小跟車距離。

$$D_m = 0.20955V + 6.4$$

式中：

$D_m$ ：最小跟車距離(公尺)

$V$ ：後車車速(公里/小時)

黃國平[13]於市區快車道車輛變換車道之處理乃採用虛擬車法，因此車輛變換車道時對前後所在車道相關車輛推進均產生影響，並且考慮車輛符合以下之原則，便可選擇性變換車道：

- (1) 所在車道之前車速度較低，且兩車相距 30m 內
- (2) 目前車速低於願望速度 5m/sec 以上
- (3) 鄰車道車速大於前車 3m/sec 以上
- (4) 所在位置至停止線範圍，鄰車道車輛數較少。

並且考慮本車與前車間距、變換至鄰車道後與鄰車道前車之車間距以及變換至鄰車道後與鄰車道後車之車間距，其車間距假設呈對數常態分配，平均值為 2.268 秒，標準差為 0.402 秒。

李樑堅[11]判斷車輛於市區道路變換車道是否會成功，首先找出與處理 A 車同車道與鄰近車道之前車 B、B'，計算 A 與 B、B' 於 X 軸推進最遠的車輛偏向角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ，而  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  之值均須小於 A 車最大偏向角，否則不得變換車道。若 A 車位於選擇變換車道區內，則該車為使其 X 軸推進距離最遠，故選擇  $\theta_1$  與  $\theta_2$  中較大者為該車變換車道偏向角；若鄰近車道之後車 C 在 T 時刻不會超越 A 車在 T 時刻所在位置，則 A 車沿其變換車道之偏向角行進，當變換車道車輛在 Y 軸與期望車道路線座標相吻合時，A 車變換車道行為即完成。其中最大偏向角乃採用傅耀南[14]所提出之車速與偏向角之關係式。

黃泰林[15]於模式中採用不具冒險性行為的自由性變換車道需滿足以下條

件：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/sec 以上
- (2) 本車與前車距離小於 45 公尺以內
- (3) 前車屬性因子不高於本車且期望速度低於本車
- (4) 前車車速小於鄰車道上前方 20m 內之平均動態車速或該範圍內之平均動態車速為 0 且無車
- (5) 本車車速大於鄰車道上後方 15m 內之平均動態車速
- (6) 該秒滿足佔位表格後，下一秒即能斜向推進，若不滿足則不佔位，且下一秒重新判斷。

林鄉鎮[16]則參考黃泰林的方法，加以修正，其不具冒險性行為之自由性變換車道所需滿足之條件如下：

- (1) 本車速度大於前車速度 3.5m/sec 以上
- (2) 本車與前車距離小於 60 公尺以內
- (3) 前車期望速度低於本車

陳柏榮[17]於模式中採用之變換車道條件為：

- (1) 與鄰車道前、後車均須大於最小跟車距離。
- (2) 與同車道前車之距離小於最小跟車距離，便不能加速
- (3) 本車速度大於同車道之前車速度
- (4) 目前速度小於期望速度之 85%
- (5) 符合可變換車道之機率

林宏達[18]在其智慧型跟車防撞控制系統中，使用 DSSS 雷達偵測鄰車道資訊，當滿足下列以下四項條件時，即可變換車道：

- (1) 本車車速小於等於本車期望速度且大於等於同車道之前車車速。
- (2) 本車車速大於鄰近車道後車車速，且本車與鄰近車道後車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (3) 鄰近車道前車車速大於本車車速，且本車與鄰近車道前車之縱向相對距離大於縱向安全跟車距離。
- (4) 本車與前車相對距離大於安全變換車道距離。

其中，安全變換車道距離的定義為：假設在一最壞的狀況下，當本車以加速度  $a$  快速併入鄰車道時，前車正以最大減速度  $a_{\max}$  緊急煞車時，而本車不會碰撞前車所應保持之距離。

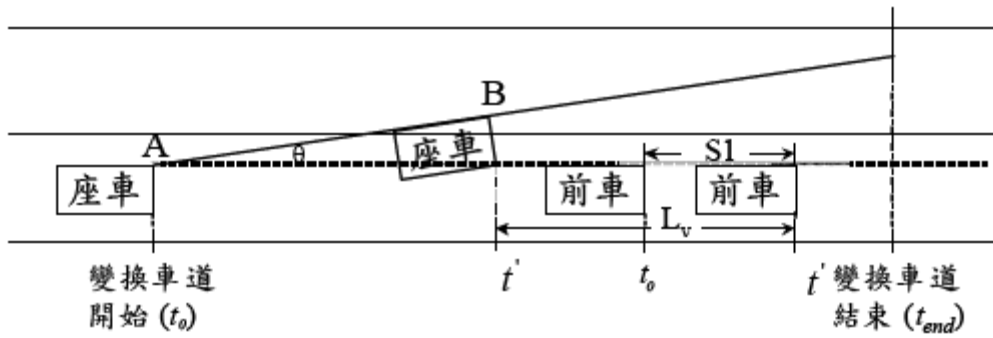


圖 9 最差情況下座車避免碰撞前車之示意圖[18]

$$d_s = \overline{AB} - S_1 + L_v = \left( \frac{V - V'}{3.6} \right) t' + \frac{1}{2} (a_1 - a_{\max}) (t')^2 + L_v > 0$$

式中：

$d_s$ ：安全變換車道距離

$t'$ ：從變換車道開始到座車與前車不會發生碰撞的最小時間

$\overline{AB}$ ：座車由  $t_0$  至  $t'$  所行進之距離

$S_1$ ：前車由  $t_0$  至  $t'$  所行進之距離

$V$ ：座車開始變換車道之速度

$V'$ ：表示當座車進入變換車道模式時，前車的初始速度偵測值

$L_v$ ：車長，定為 5m

## 2. 二元羅吉特模式

胡順章[19]利用二元羅吉特模式所建立之變換車道模式，：

$$LC = -0.87584GAP_b + 0.99851V_{ina} + 0.35703GAP_{nbna} - 0.011546D_{ia}$$

式中：

$LC$ ：決定變換車道之機率

$GAP_b$ ：前車與本車之時間間距(秒)

$V_{ina}$ ：本車與鄰近車道後車之相對速度(公尺/秒)

$GAP_{nbna}$ ：鄰近車道前車與後車之時間間距(秒)

$D_{ia}$ ：後車車頭與本車車尾之距離(公尺)

由模式之預測率為 85.85%，並由模式中可得到以下四點結果：

- (1) 當鄰近車道前車與鄰近車道後車之車間距越大時，變換車道機率越大。
- (2) 當本車與鄰近車道後車之相對速度越大時，變換車道機率越大。
- (3) 前車與本車之時間間距越小時，變換車道機率越大。
- (4) 本前與後車距離越小時，變換車道機率越大。

賴淑芳[20]亦證明二元羅吉特模式應用於車輛於高速公路匝道併入之預測結果較普羅比模式及傳統臨界間距模式佳。

### 3. 應用虛擬實境(VR)及類神經網路

陳奕志[21]利用類神經網路來構建變換車道之決策模式，並且在資料蒐集上考慮以虛擬實境(VR)之技術，來避免以拍攝攝影帶的方式蒐集變換車道行為資料可能遭遇到的問題，並以本車車速、鄰車道前車車速、與鄰車道前車距離、本車道前車車速、與本車道前車距離、鄰車道後車車速、與鄰車道後車之距離做為輸入變數，其中本車與鄰車道後車距離及速度無法由虛擬實境求出，因此乃利用臨界間距觀念，以變換車道不被鄰車道後車追撞為原則而自行產生，經由測試得到以雙層隱藏層構建類神經模式，預測變換車道的準確率高達 95.19%，比利用羅吉特模式 86.51%還要高，由此可知類神經網路比羅吉特更能代表駕駛者變換車道之行為。

魏建宏、林鄉鎮[22]同樣以虛擬實境之技術蒐集資料，並且利用倒傳遞網路建構八種狀況下之變換車道模式，分別為：一般車流狀況下之變換車道行為、擁塞下之變換車道行為、受測者前後 100 公尺以內至少有一車輛、受測者方 100 公尺以內均無車輛、強迫性變換車道行為、選擇性變換車道行為、自由性變換車道行為、不分類之所有資料。其考慮之變數與陳奕志類神經變換車道模式相同，其結果得到所有模式中以受測者方 100 公尺以內均無車輛模式之均方差最低，但預測力卻為最強，亦即倒傳遞網路較適用預測後方近距離無車之變換車道行為。擁塞下之變換車道行為模式變異較少，因此預測能力較一般車流狀況下之變換車道行為的預測能力好。

鐘炳煌[23]係以倒傳遞網路構建高速公路加速車道併入之行為模式，且仍採用虛擬實境之技術蒐集資料，為了避免之前之 VR 技術無法取得鄰車道之後車相關資料，鐘炳煌在駕駛模擬系統中加入中置及左側後視鏡，以求得鄰車道後車之相關資料，使其模式更符合現況，其結果得到當駕駛者採取併入行為時，後車間距過短出現的機率比前車間距高，除了顯示駕駛者對於本車與後車之掌控能力較差，駕駛者亦有預期後車會有煞車之心理。而網路對於判斷併入之績效可達到 0.9730，而對於不併入之判斷亦提昇至 0.9200，顯示類神經網路能有效地整合進

口匝道所有交通道路資訊，透過隱藏層之運作，產生高可靠度之資訊來輔助駕駛者。

#### 4. 半間距模式

曹壽民[24]採用半間距觀念，構建強迫性變換車道行為模式，所謂半間距定義為次車流車輛與主車流車輛通過交叉或併入區內特定參考點之時間間隔，該模式以數學方式表示都市快速道路下匝道車變換車道之判斷準則如下式：

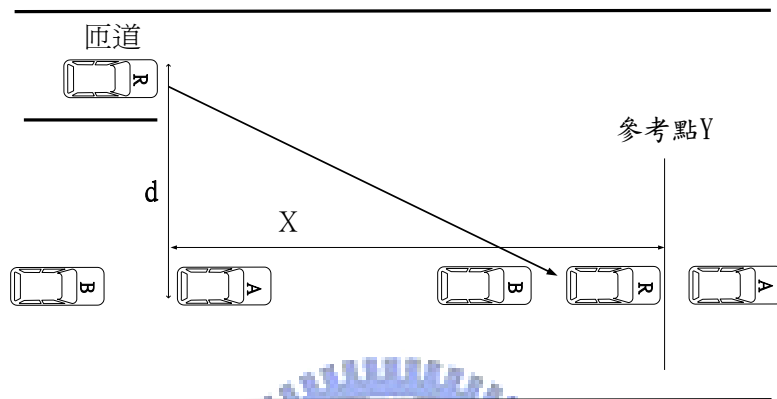


圖 10 下匝道車輛變換車道行為示意圖

$$t_r - t_a \geq h$$

$$t_b - t_r \geq h$$

式中：

$t_r$ ：下匝道車輛 R 通過參考點 Y 之時點(秒)

$t_a$ ：平面道路前車 A 通過參考點 Y 之時點(秒)

$t_b$ ：平面道路前車 B 通過參考點 Y 之時點(秒)

$h_a$ ：下匝道車輛與前車所需保持之最小安全車頭距(headway 秒)

$h_b$ ：下匝道車輛與後車所需保持之最小安全車頭距(headway 秒)

其模式預測下匝道車輛是否變換車道之正確率為 89% 較臨界間距模式高。

#### 2.3.4 變換車道行為

黃國平[13]對於車輛於市區道路之前推進，採用平面二維座標處理方法，因此必須賦予前進中之車輛一最大可前進範圍與最大可偏向角度。在最大可偏向角度乃是依照公路設計中計算車輛最小轉彎半徑計算式如下：



$$R = \frac{V_0^2}{g(f+e)} = \frac{V_0^2}{127(f+e)}$$

式中：

R：轉彎半徑(公尺)

g：重力加速度(9.81 公尺/秒平方)

V：速度(公尺/秒)

f：路面摩擦係數，當車輛行駛速度為 48KPH 時，值為 0.16

e：為超高

當求得車輛在不同速度下之最小轉彎半徑，再利用最小轉彎半徑求得車輛之偏向角。

傅耀南[14]設定車輛無法以最大推進距離推進，且車速與願望速度相差 5m/sec 以上，此時相鄰車道之車速若大於現行車道速度，則考慮變換車道，且符合路寬限制、前車限制、斜進角度小於最大偏向角及不影響後車前進四條件下，計算最大斜進縱向距離，然後推進車輛。然而在最大偏向角方面，傅耀南使用美國交通工程手冊的資料，以 LOTUS123 軟體求得車速與最大偏向角之關係式，使在模擬時帶入車速，即可直接獲得偏向角。但此關係式指出車輛之最大偏向角會隨著車速增加而遞減，故當車速過大時其求出之偏向角將會出現負值，李樑堅[16]則為避免此現象發生，因而設定其偏向角最小值不可低於 $10^0$ 。

$$\theta_s = 0.361748 \cdot 0.01$$

式中：

$\theta_s$ ：汽車最大偏向角(徑度)

V：速度(公尺/秒)

胡順章[19]利用調查高速公路實際變換車道行為微觀資料來探討，首先分析變換車道行為之影響因素，發現車輛變換車道時之偏向角、加速度及減速度是變換車道行為的主要因素，其中由資料統計可得知，車輛加速行為佔變換車道時間平均約 59%，之後再以減速度方式繼續側移，直到完成變換車道。

在偏向角方面，胡順章利用多元迴歸求得如下式：

$$\theta = 6.914 - 5.045V_i + 0.001$$

$$(R^2 = 0.765)$$



式中：

$\theta$ ：偏向角(弧度)

$D_b$ ：前車車尾與本車車頭之距離(公尺)(  $D_b < 50m$ )

$V_i$ ：本車車速(公尺/秒)

本車加速度方面，經由相關分析得出，對於影響本車的加速度最大因素為本車與鄰近車道後車之時間間距，因此利用多元迴歸構建加速度模式，如下式：

$$A_{i1} = 0.13927GAP_{ina} + \frac{0.90571}{\sqrt{GAP_{ina}}}$$

$$R^2 = 0.796$$

式中：

$A_{i1}$ ：本車開始變換車道之加速度(公尺/秒平方)

$GAP_{ina}$ ：本車與鄰近車道後車之時間間距(秒)

本車減速度方面，經相關分析得到本車減速度與鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離有較明顯的相關係數，並經多元迴歸分析得到減速度模式如下式：

$$A_{i2} = 0.13927 D_{nb}^{-0.6}$$

$$R^2 = 0.7582$$

式中：

$A_{i2}$ ：本車變換車道後段過程之減速度(公尺/秒平方)

$D_{nb}$ ：鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離(公尺)

經由以上之偏向角、加速度及減速度便可以得出變換車道之車輛於下一單位時間之位置。

林宏達[18]認為胡順章在減速度模式之構建存在一不合理的現象，如鄰近車道前車車尾與本車車頭之距離為 80 公尺時，鄰近車道前車與本車之縱向安全距離為 40 公尺，則依照胡順章之減速度模式所得到之加速度依然為減速，違反正常合理狀況。因此，林宏達便以胡順章模式相同，變換車道期間前 60% 過程中採等加速度，並修正減速度模式(如式 22)，然而胡順章模式在後段過程中係採用減

速，而林宏達模式則是假設為本車在變換車道後段過程為等速，其速度與鄰向車道前車相同，模式如下：

$$a_1 = -\frac{VV_0}{7.776L} + \frac{V_0^2}{(15.552)^2 L}$$

式中：

$a_1$ ：本車開始變換車道之加速度(km/h/s)，且為了舒適性考量， $a_1$ 最大只能等於6(km/h/s)。

$V_0$ ：為變換車道時，本車與鄰道前車相對速度初始值(km/h)

$V$ ：為變換車道時，本車速度初始值(km/h)

$t_m$ ：本車恰巧完成變換車道達60%

## 2.4 綜合評析

綜觀國內外研究行人的文獻，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、Helbing 以及 Takashi 等學者的研究，使得行人流這門學問逐步完善。多數研究都採用錄影調查法收集行人的資料，再將所得之影像資料輸入至軟體以模擬分析行人步行之特性，跟據這些研究已經發展出許多行人步行模式，對於行人隨機的步行已有不錯的應用成果。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、吳水威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之超越橫移行為。如表3所示。

表3 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 Green shields 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 Automata, CA)	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。	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。
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 Green shields 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。
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	W.G. Weng	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。
2007	李協政	錄影調查，羅吉特模型	利用多向羅吉特建立行人行為選擇模式。	將行人分為三類，並建立行人之選擇模式，發現預測率達 85% 以上。

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

由於車流與人流是否能共通互用，本研究在此採用 Fang[54]學者的說法，由於行人的移動比車流更複雜，但有某些模式可用使車流模式應用在人流上。故本研究係以人行系統行人流動特性研析與模式建立，並期望構建其微觀模式，本研究將依微觀人流理論，並參考超車原理，進而探討行人超越行為，以此作為理論基礎，再依文獻評析、攝影調查、與統計迴歸分析，作為本研究之研究方法。

##### 3.1.1 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：

###### A. 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 11 顯示學生、通勤者與購物者三種行人的速度與密度關係。

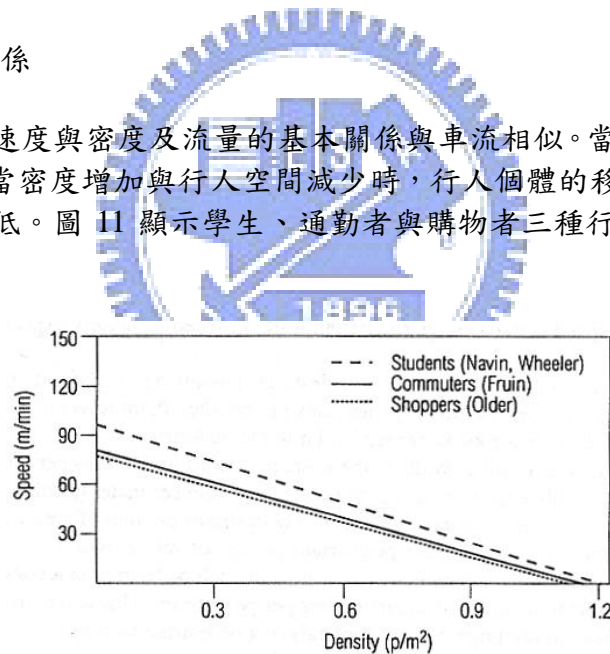


圖 11 行人速度與密度關係圖

資料來源[51]

###### B. 流量-密度關係

由於人流與車流類似，流量、密度與速度存在關係，然而使用密度的倒數-行人空間可更為清楚表達，故表示為：

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

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 12 所示：

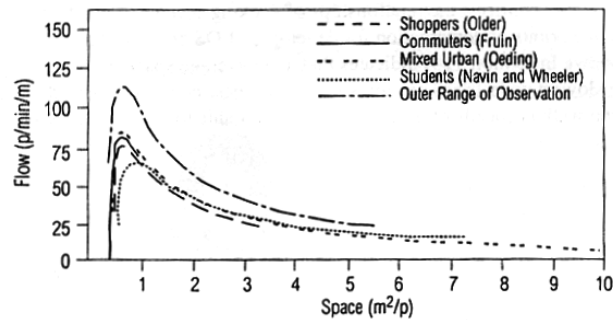


圖 12 行人流量與空間關係圖

資料來源[51]

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。

#### C. 速度-流量關係

圖 13 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。

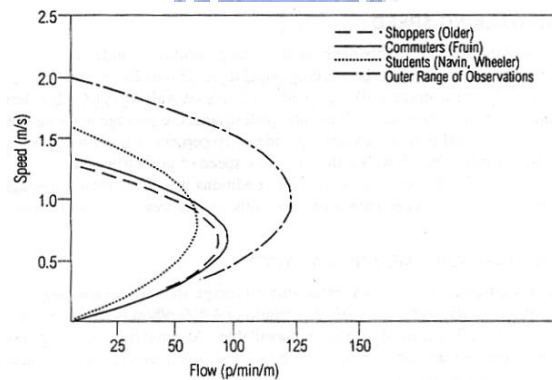


圖 13 行人速度與流量關係圖

資料來源[5]

#### D. 速度-空間關係

圖 14 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。

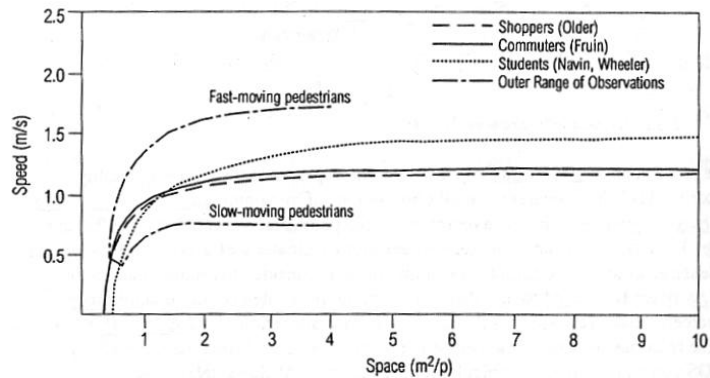


圖 14 行人速度與空間關係圖

資料來源[51]

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[50]。

藉由巨觀車流及人流理論，本研究以台北市路口穿越道行人為對象，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[52] 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力互動，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 Fang W., Yang L., Fan W [53]的研究，假設行人行進過程中會因三種基本行為影響其下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 15)

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。

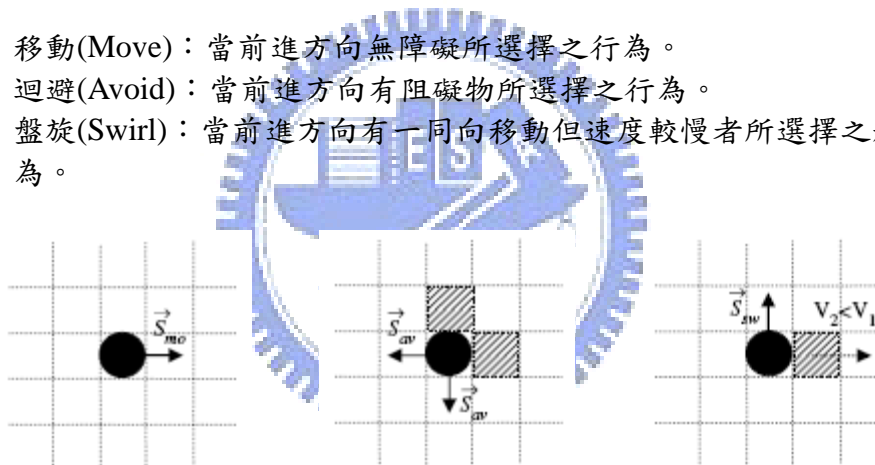


圖 15 行人行進過程中三大基本假設行為圖

資料來源[53]

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。

### 3.1.2 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，一般對模擬車流之對象區分，則可分為三種：1.微觀車流；

2.介觀車流；3.巨觀車流。三種層次分述如下：

1. 微觀車流(Microscopic traffic flow)

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。

2. 介觀車流(Mesososcopic traffic flow)

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。

3. 巨觀車流(Macroscopic traffic flow)

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)與速率(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。

3.1.3 超車原理

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[25]與沈彥宏[26]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。

## 3.2 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、統計檢定與統計迴歸分析等，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、照數位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。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人流行為特性等資料，並藉由資料分析，進而構建人流模式。本研究利用此種方法獲得資料樣本，選擇出樣本後再以後續方法進行統計分析。

### 3.2.3 獨立樣本 t 檢定

獨立樣本 t 檢定(independent-sample t test)，主要目的係為了解兩樣本之間是否有顯著差異存在，其中使用前需有幾個假設前提：兩樣本係為互相獨立，兩母體間不相互影響，順序可以隨意調整，母體應符合常態分配。其研究假設方法如下：

虛無假設  $H_0$  :  $\mu_1 = \mu_2$  (無顯著差異)

對立假設  $H_1$  :  $\mu_1 \neq \mu_2$  (有顯著差異)

獨立樣本 t 檢定的統計量如下：

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n_1} + \frac{S_p^2}{n_2}}} \quad \text{自由度為 } n_1 + n_2 - 2$$

因此檢定假設為雙尾檢定，故當檢定統計量之 P-value  $\geq (1-\alpha/2)$  或 P-value  $\leq (\alpha/2)$  時，則檢定結果拒絕虛無假設，即為在  $(1-\alpha)$  的信賴水準下，兩獨立樣本之平均數有顯著差異；反之則接受虛無假設，代表樣本之平均數沒有顯著差異。

本研究將此方法應用於檢定各種變數與性別之間之獨立性檢定。

### 3.2.4 成對樣本 t 檢定

成對樣本 t 檢定(Paired-Sample t test)，是使用於相依樣本，最常用於相依樣本下的重覆量測設計，兩組之間每對視為等同的關係，檢定成對母體中兩個相關變數之平均數間的關係，究竟是等於、大於或小於的統計方法。其研究假設方法如下：

虛無假設  $H_0$  :  $u_1 = u_2$  (無顯著差異)

對立假設  $H_1$  :  $u_1 \neq u_2$  (有顯著差異)

成對樣本 t 檢定的統計量如下：

$$t = \frac{\bar{D} - u_0}{S_0 / \sqrt{n}} \quad \text{自由度為 } n-1$$

因此檢定假設為雙尾檢定，故當檢定統計量之 P-value  $\geq (1-\alpha/2)$  或 P-value  $\leq (\alpha/2)$  時，則檢定結果拒絕虛無假設，即為在  $(1-\alpha)$  的信賴水準下，成對樣本之平均數有顯著差異；反之則接受虛無假設，代表樣本之平均數沒有顯著差異。

此方法將用於檢定前方行人與後方行人之間各種變數檢定。

### 3.2.5 卡方檢定

卡方檢定主要是用於類別資料的分析。所謂類別資料是指將觀察值按照不同類別予以分類，而各類別所含之數據即為該類別出現的次數。而有多項式母體比例的檢定、齊一性檢定、獨立性檢定、適合度檢定。適合度檢定主要在檢定樣本與母體是否為同一分配。其研究假設如下：

虛無假設  $H_0$  : 樣本與母體為同一分配(無顯著差異)

對立假設  $H_1$  : 樣本與母體不為同一分配(有顯著差異)

從母體隨機抽出樣本大小為  $n$  的樣本，將此  $n$  個觀察值分成  $k$  組，可得每一組的觀察次數  $f_i$ ，並在假設的分配下求每一組的理論次數  $e_i$ 。該檢定的檢定統計量為：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - e_i)^2}{e_i} \quad \text{拒絕域為 } \chi^2 > \chi_{\alpha}^2(k-d-1)$$

其中  $d$  = 在求得各組的理論次數時，所需用到的參數估計值的個數。若卡方之 P-value  $> \alpha$  則不拒絕虛無假設，代表樣本與母體為同一分配。

### 3.2.6 統計迴歸法

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：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$$

$\beta_0$  為常數， $\beta_1$  為迴歸係數， $\varepsilon$  為誤差

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：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

$\beta_0$  為常數， $\beta_1 \sim \beta_n$  為迴歸係數， $\varepsilon$  為誤差

通常估計非線性迴歸模式之參數有兩種方法：第一種方法是依照『Nonlinear Regression』統計方法，第二種方法是SPSS 自動『Curve Estimation』方法。其最大的區別在於使用第一種方法求解時必須先自定非線性模式及其參數之初始值。而使用第二種方法是SPSS 自動檢核所要研究的模式。其建構非線性複迴歸模型之步驟如下：

- 1、自變數與依變數必須是數值型變數；分類變數必須是二元變數或其它類型的對照變數。
- 2、可藉由曲線估計程序進行預先分析或藉助散佈圖的功能撮合其決定係數。
- 3、根據經驗或繪製散佈圖，選擇適當的非線性迴歸方程。
- 4、運用變數代換，把非線性迴歸方程化作為線性迴歸方程。
- 5、運用線性迴歸中所採用的方法，來確定各迴歸係數的值。
- 6、對各係數進行顯著性檢定。

複迴歸方程式可釋每個自變項在控制其它自變項之情況下，對應變項之獨立影響力為何，而透過複相關之分析，可知所有自變項綜合起來對 Y 之整體影響力為何，也就是說，可計算一複相關係數 R，以及複決定係數  $R^2$ 。建立迴歸模式時，一方面希望包含較多的預測變項，以求得較準確之預測；另一方面，基於經費及控制程度的考慮，希望模式中的預測變項數目能儘量減少因此希望能以較少的預測變項，達到足以解釋整個模式的變異程度。通常選取預測變項的方法可分兩大類：一為所有可能迴歸法，一為逐步選取法。

- 1、所有可能迴歸法：



(1)複相關係數平方法( $R^2$ )：估算全部可能的迴歸模式之  $R^2$  值，相互比較，以選取最大之  $R^2$  為最佳、最有效的迴歸模式。

(2)校正後的複相關係數平方法( $R^2$ )：估算全部可能的迴歸模式之  $R^2$  值，相互比較，以選取最大之  $R^2$  為最佳最有效的迴歸模式。

(3)Mallows(1973)的  $C_p$  法：估算全部可能的迴歸模式之  $C_p$  值，相互比較，以選取最小之值  $C_p$  為最佳、最有效的迴歸模式。

## 2. 逐步選取法：

(1)順向選擇法(FORWARD)：在每一次選擇的步驟中，選出一個變項，對模式的貢獻最大者，進入迴歸方程式中，並對尚未進入迴歸程式的預測變項加以考驗，以決定某一個預測變項是否有資格被納入迴歸模式中。而進入的標準為是否具有最小 F 機率值，通常 SAS/PC 的內設值 0.50，若預測變項的 F 值小於此者，將被選取進入。

(2)反向淘汰法(BACKWARD)：首先將所有預測變項放入迴歸方程式中，而後在每一次淘汰的步驟中，剔出一個變項，對模式的貢獻最小者，並對留在迴歸方程式中的預測變項加以考驗，以決定某一個預測變項是否應繼續被保留在迴歸模式中。而剔除的標準為是否具有最大 F 機率值，通常 SAS/PC 內設值為 0.10，若預測變項的 F 值大於此者，將被選取剔除。

(3)逐步迴歸法(STEPWISE)：是傾向選擇法與反向淘汰法的綜合。首先模式中不包含任何預測變項。然後採順向選擇法，根據對模式的貢獻最大者，挑選預測變項進入迴歸模式中。而在每一步驟中，已被納入模式的預測變項則必須再經過反向淘汰法的考驗，以決定該變項要被淘汰亦或留下。通常在 SAS/PC 中，逐步迴歸法的進入標準(F 機率值)為 0.15，剔除標準則為 0.15。

(4)最大  $R^2$  法：亦即採取最大  $R^2$ ，依次導出在預測變項數目逐一增加時，選出各個最佳的迴歸方程式。

(5)最小  $R^2$  法：亦即採取最小  $R^2$ ，依次導出在預測變項數目逐一增加時，選出各個最佳的迴歸方程式。

### 3.2.7 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



異數相等的基础上，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。

### 3.2.8 檢定指標

為了可比較建立之模式之間差異及效能，以統計指標表示模型適配之程度。本研究使用之指標包括以下兩種：

1. 均方誤差(RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_t - \hat{X}_t)^2}{N}}$$

2. 平均絕對值誤差率(MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|X_t - \hat{X}_t|}{X_t}$$

其中 N 為資料數， $X_t$  為觀測值， $\hat{X}_t$  為預測值。當 RMSE、MAPE 之值越接近 0，表精度愈高，本研究中若兩數值結果不同，則以 MAPE 為主要模式檢定指標。

## 第四章 資料調查蒐集與特性分析

### 4.1 引言

從文獻回顧可發現，由於步行行為會因為人的想法所影響，行人在步行行為上可分為三種：跟隨、橫移、超越三種行為[4]。本研究先回顧行人相關研究與文獻，將引用車流理論之跟車理論所延伸出超車狀態，由超車狀態中，試圖描述出人在步行行為中超越前方行人的狀態。本研究將探討行人行為特性與構建模式，需藉由資料調查與蒐集來得取影響行人行為之關鍵變數。為貼近現實狀態採用現場錄影調查法，從錄影資料中觀察與分析出可能影響行人行為之關鍵變數，如：行人之偏向角、前後行人之距離間距、前後行人之速度等等因素，在之後章節會再個別敘述討論。

下方為簡單例圖 16、17 說明行人超越狀況，本研究所將探討之超越前方行人狀態，B 為後方行人，A 為前方行人，即後方行人 B 超過前方行人 A 之狀況，外框為個人最小不能被侵犯的區域， $V_a$  為前方行人 A 之速度， $V_b$  為後方行人 B 之速度， $D$  為前後方行人之間距， $\theta$  為後方行人 B 之偏向角度。

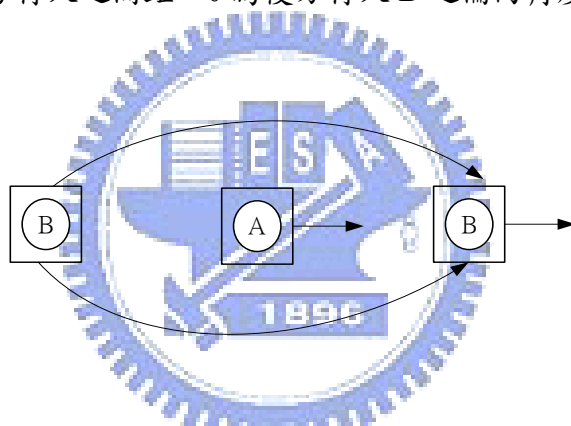


圖 16 行人超越前方行人步行移動之狀態圖

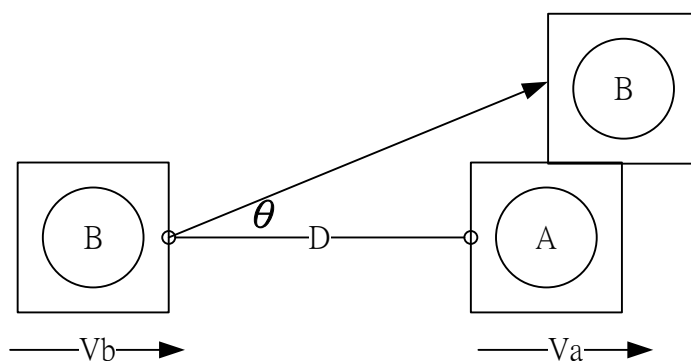


圖 17 行人超越示意圖

本研究根據文獻[32]，假設行走行為發生時，兩人間距  $D$  必大於或等於行人間最小相接距離，即為兩人不會碰觸的最小距離，同時最大距離則因沒有相關研

究，則以本研究之錄影資料取得。將分析(1)前方行人與後方行人之距離間距之量度，係以前面行人之正面或是背面為基準，進而個別分析各種不同超越前方行人行為，(2)行人超越狀況係以距離、速度或加速度之刺激及反應之變數進行研析，以確定刺激及反應之變數。

## 4.2 資料調查

### 4.2.1 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實地直接觀察取得與紀錄，為確保所需資料之正確性與完整性，故採用現場實地觀測攝影法為本研究之資料取得之方式，再經由室內作業方式，間接取得本研究所需之行人流相關資料。

### 4.2.2 調查地點

本研究採用現場實地觀測攝影法進行資料調查，資料的取得為拍攝台北市行人穿越道，地點的選擇以大樓與天橋，考量視野良好與足夠高之位置拍攝，以便架設攝影器材，以及減少斜拍角度。考量以上原則與多次現場實地探勘試拍後，本研究共選擇4個地方來作為行人資料蒐集之行人穿越道，(1)台北市忠孝西路與館前路交叉路口行人穿越道，(2)台北市忠孝西路與重慶南路交叉路口行人穿越道，與(3)台北市中山北路與民生東路交叉路口行人穿越道，作為本研究之資料蒐集位置。圖 18 為忠孝西路與館前路交叉路口，圖 19 為忠孝西路與重慶南路交叉路口，圖 20 為中山與民生東路交叉路口。

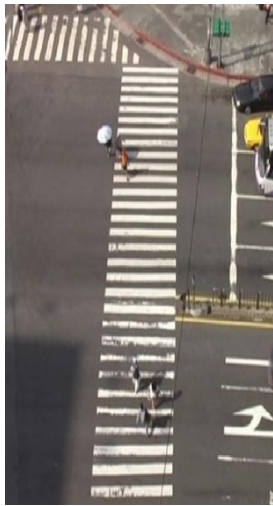


圖 18 忠孝西路館前路路口 圖 19 忠孝西路與重慶南路路口 圖 20 中山與民生東路路口

## 4.3 資料認定方式與處理

### 4.3.1 超越行人行為資料認定

本研究所探討行人超越行為，簡易的定義本行為即後方行人在步行時，可能因為某些因素與變因，使得在後方行人在行走時超過前方的行人。此種行為係

指：

- (A) 一對一之行人組合，後方之行人以一定距離行走於前方行人之後，不碰撞前方行人且超過前方行人，此處所稱不碰撞距離係指行人間最小相接距離；
- (B) 後方行人行走方向與路徑需與前方行人相同，即後方行人的行走方向與前方行人平行。
- (C) 尚不考慮周遭行人與對向行人之影響，僅考慮前方行人與後方行人兩者之相互影響關係，若有後續研究進而討論行人穿越道密度流量擁擠狀態。
- (D) 若有超越前方行人情況產生，在超越前方行人前應會有一段後方行人跟隨在前方行人後方，才會發生後方行人超越前方行人。
- (E) 考慮個人會有最小不能被人碰觸之間距，故超越前方行人移動應避免碰撞情形產生，然後由下圖 21 可發現，行人會因人體寬度造成一種障礙，使得超越前方行人行為需要離開人體寬度所延伸之虛線，故會有偏向角的產生（其後會再加以詳述）。

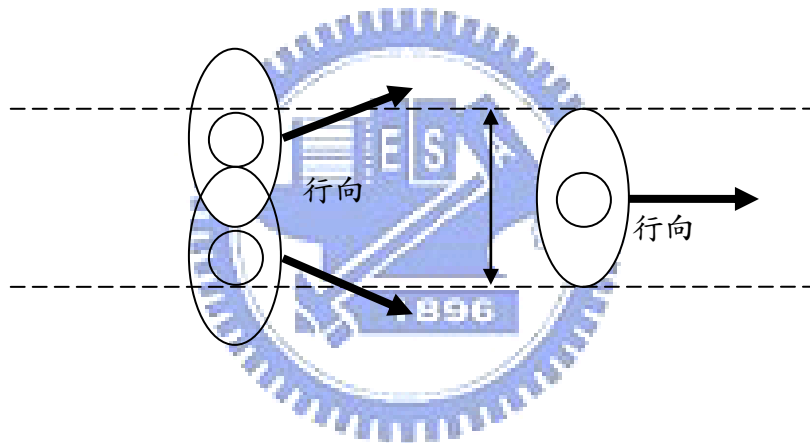


圖 21 行人寬度判別圖

超越行為必需符合以上條件，若符合以上條件則為本研究之樣本。研究若有後方行人超越兩個或多個前方行人時，將拆開分別各自討論，本研究假設若前方兩個行人並肩行走時，並非視為同一個人，會有些許差異雖然行走距離差不多相同，但仍有不同之處，故分開個別討論，則該資料亦計入研究樣本。本研究假設超越行人之前，需先有一段跟隨前方行人之行為，根據我國道路交通標誌標線號誌設置規則第 185 條：枕木紋行人穿越道線，設於交岔路口，其線型為枕木紋白色實線，線段長度以三公尺至八公尺為度，寬度與間隔均為 40 公分，故假設兩者間距不可少於 70 公分（即枕木紋起始至下段枕木紋起始之距離，增減 10 公分可能因個人視差的誤差），由於超越行為會超越前方行人，為了資料分析之便利與實際行人行走行為兩者最大間距取 140 公分，若兩者間距大於 140 公分，則等本研究情況接近至 70-140 公分內再取之為樣本，此段間距稱為行人間距。當有偏向角時，在辨識錄影資料時當行人行走方向改變此時紀錄轉向時間，延伸其行走情形再與原本方向之延伸線中，取一夾角極為偏向角。本研究將以枕木紋行人穿越線則作為行人位移距離的判斷依據，行人行走情況之定義則在下章節分別作討論說明。

### 4.3.2 超越行人模式分類

透過觀察初步錄影分析，本研究發現行人行走行為有以下四種行為：直行超越、偏向直行超越、直行超越偏向，與越過前方行人行為。在個別討論四種情形前，由於行人會有個最小不能被侵犯的範圍，當超越行為發生時，兩人間距  $D$  必大於或等於兩個行人間最小相接距離（包含兩行人之間最小不能被侵犯的範圍），即為兩人不會碰觸的最小距離。本研究發現超越行為可利用角度來判斷，本研究將行人的偏向角度分為（1） $\theta=0^\circ$ ；（2） $0^\circ<\theta\leq 45^\circ$ ；（3） $45^\circ<\theta<90^\circ$ 。下圖 22 為簡易表示圖。

經由初步的觀察分析發現

- （A） 當偏向角度為  $0^\circ$  時，表示前方行人並未在同一直線上，故不需藉由偏向角度來移動，即可超越前方行人。
- （B） 當偏向角度大於  $0^\circ$ ，表示前方行人可能在同一直線上，因為速度或是其他種種因素（在其後章節會再進行討論敘述）超過前方行人，需要藉由一偏向角度來移動，即可超越前方行人。

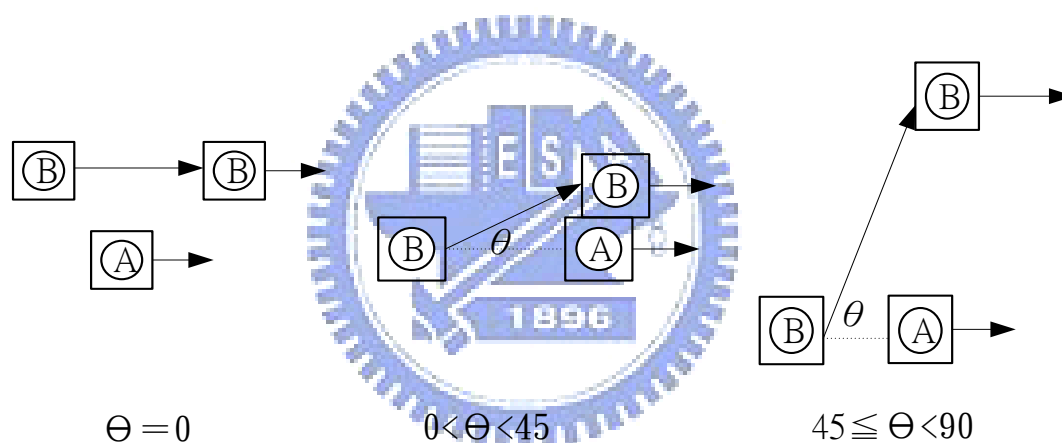


圖 22 行人超越前方行人可能角度圖

由上述偏向角度之變化以下再個別討論：直行超越、偏向直行超越、直行超越偏向，與越過前方行人行為。

- 一、 直行超越：當後方行人超越前方行人時，後方行人與前方行人並未在同一直線上或不會碰觸到個人之最小不能被侵犯之範圍的直行狀態，因此無偏向角  $\theta$  的產生，本研究將此狀況視為  $\theta=0^\circ$  的特殊情形。此種狀況之樣本取得方式，當後方行人已在距離前方行人 80-120 公分（行人間距），則開始紀錄，直到後方行人超過前方行人即停止。
- 二、 偏向直行超越：由於後方行人與前方行人可能在同一直線上，或因為會碰觸到個人會有最小不能侵犯的範圍造成相撞，故後方行人需要以一個偏向角  $\theta$  來避免與前方行人互相碰撞（偏離人體寬度），以偏向角  $\theta$  移動至不會碰觸前方行人後，在直線行走。取得



此種樣本方式為先取兩者行人間距，利用偏向角移動離開人體寬度，而後超越前方行人，紀錄至當後方超越前方行人即停止。

- 三、 直行偏向超越：當後方行人並非在前方行人的人體寬度延伸區域或線上，當超越前方行人後，以一偏向角  $\theta$  移動至原本前方行人前或人體寬度延伸區域中，此種狀態稱之。此種樣本的取得為先取得兩者行人間距後，當後方行人超越前方行人後，會有一偏向角使得原後方行人超越前方行人之其人體寬度區域，當回到此區域時，樣本紀錄停止。
- 四、 越過前方行人行為：後方行人會先以一偏向角  $\theta$  離開前方行人之人體區域，當越過前方行人後，在以另一偏向角  $\theta'$  重回原前方行人之人體區域。此種樣本的取得以先視是否符合行人間距大小，偏向後超越前方行人後，在以偏向角  $\theta$  回到原本前方行人間距，當移動至前方行人人體間距後，則樣本紀錄終止。

以下圖 23 為簡圖表示上述個別分述情形，而偏向角方向也以此為定義：

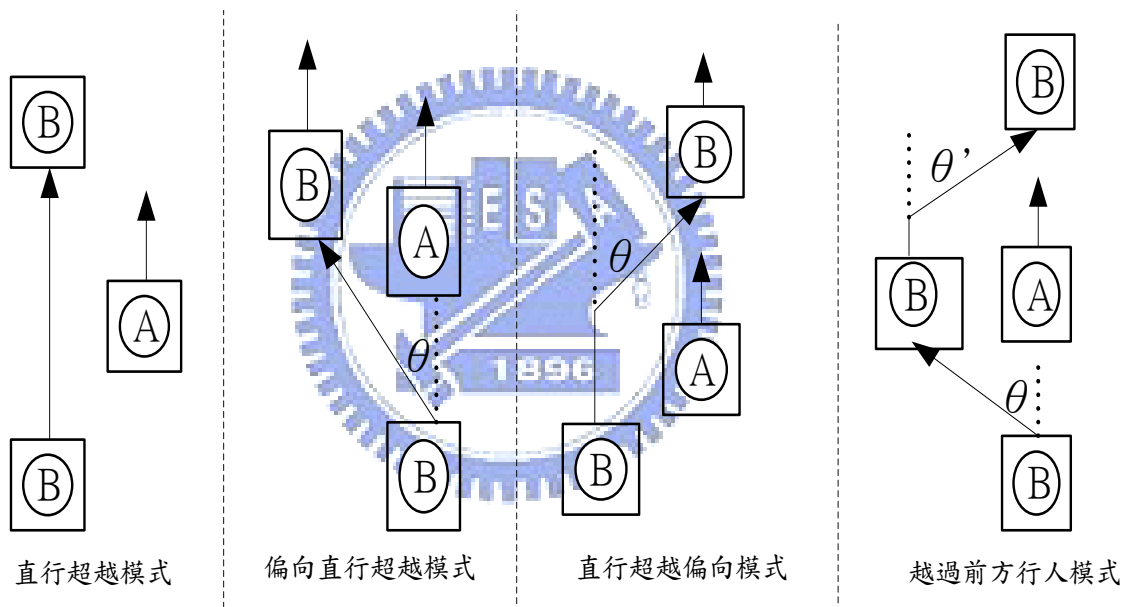


圖 23 行人行走行為簡易圖

#### 4.3.3 資料認定方式

距離為本研究中一項很重要的影響因素，前後方行人之速度與加速度均可由確定的移動距離中所求出。因為錄影場地的限制，尚無法以垂直方式取得行人移動資料，故本研究之錄影資料需藉由參考點來避免與減少讀取資料的誤差。由於本研究需探討行人的偏向角行為，故攝影地點需要有較高的位置，若無較高的位置則可能由於行人的重疊或產生斜角無法辨識出其移動角度。故藉由行人穿越道上之斑馬線或枕木紋，以此當作參考點，來避免資料讀取會因為拍攝角度而產生偏誤誤差。參考點的設定則以道路上現有之枕木紋行人穿越道線，將每格 40 公分寬度再細分為 4 等分，以取得行人移動距離。



而資料的判讀方式需由人工的方式來判定，由於人工之方式來判讀可能會產生誤差，故需由訓練來降低誤差，但由於並無相關研究來說明行人移動間距取法，而行人之間距離需多長也並無研究輔助，所以利用統計檢定來找出較佳之判讀方法。由於誤差係為本研究之問題所在，判讀資料人員訓練亦為重要，訓練的方法為將行人之實際移動距離與時間分割最後在累計加總距離進行比較，進而從中找出最小誤差最小最能符合實際距離者。為方便後續研究之進行，本研究將採用固定一段時間間隔（time interval）進行研究判讀。由於行人速度並不高，相關研究發現亞洲人平均行速約 130 cm/s，若分割間隔太小例如取 1/30 為間隔抓取資料，則每段時間間隔之移動距離平均為 4~5 cm，但本研究無法判讀如此係為之間具，亦會使得實際移動距離與觀察移動距離產生相當的誤差。故本研究選取 1/6、1/5、1/3 與 1/2 秒等時間間距。首先選取 30 筆資料來進行統計檢定分析，為了找出在其中一種時間間距下之誤差為最小或無顯著差異，同時以此種時間間距來取得最多資料數目，使得能代表母體之樣本，此種為時間間距，而研究假設如下：

$H_0$ ：各時間間隔(N)下，實際步行距離( $\mu_o$ )=觀察步行距離( $\mu_N$ )

$H_1$ ：各時間間隔(N)下，實際步行距離( $\mu_o$ ) $\neq$ 觀察步行距離( $\mu_N$ )

成對樣本 t 檢定，為兩組樣本有成對的關係檢定兩組平均數是否有差異，若拒絕  $H_0$  則有顯著差異。本研究以 95% 之信賴水準進行統計，結果如下表 4。

表 4 成對樣本 t 檢定

N 成對 樣本	平均數	標準差	平均數的 標準誤	自由度	T	顯著性 (雙尾)
N=1/6	-19.667	16.501	3.0127	29	-6.528	.000
N=1/5	-20.333	10.662	1.947	29	-10.446	.000
N=1/3	2.333	20.625	3.766	29	.620	.540
N=1/2	2.000	19.547	3.569	29	.560	.579

同時再根據卡方檢定之適合度檢定發現下表 5 之結果：

表 5 卡方檢定

時間間隔	1/6	1/5	1/3	1/2
P-value	0.464628	0.245059	0.055296	0.036847
結果	拒絕	拒絕	拒絕	不拒絕

由表 4 及表 5 可知，在 95% 之信賴水準下，當 N 為 1/3 秒及 1/2 秒時，成對樣本 t 檢定之統計結果接受  $H_0$ ，即代表此兩組時間間隔下，實際步行距離與觀察步行

距離無差異。另當 N 為 1/2 秒時，卡方適合度檢定接受  $H_0$ ，比對兩種檢定取均符合檢定，故本研究將以 1/2 秒之時間間隔做為後續資料收集之標準。

由經過統計結果確定觀察之時間間隔後，本研究將以一定之流程進行行人跟隨資料之收集：

- (1) 以 1/30 秒慢速播放錄影資料，逐步檢視行人之移動是否具有有一定之超越行為，發生超越前之行人間距取 80-120 公分。
- (2) 找到不受人流影響之觀察對象，則回轉至跟隨行為發生時點，改以 1/2 秒間隔撥放以確定移動距離、行人間距及性別等變數。
- (3) 紀錄完成後重覆第一步驟直到完成所需組數。
- (4) 根據紀錄資料計算速度、加速度，以建立行人超越模式之用。

故本研究行人資料之收集流程如下圖 24 所示：

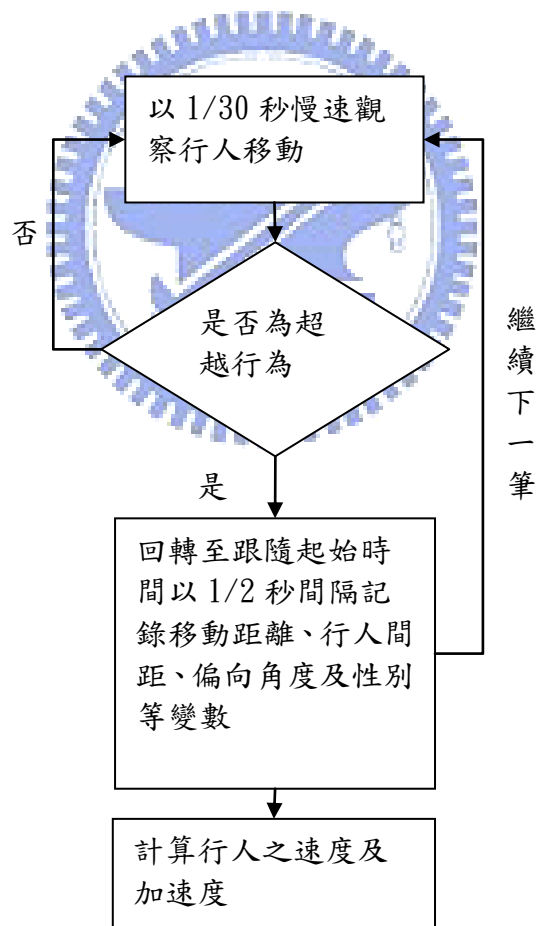


圖 24 行人資料收集流程圖

#### 4.4 行人超越行為特性分析

藉由 4.2 節定義出四種不同超越行人模式，本研究由錄影資料總共蒐集 298 組樣本，直行超越資料共 75 筆，超越橫移資料共 30 筆，橫移超越資料共 30 筆，越過前方行人資料共 14 筆。而其相關變數如前後行人之速度、加速度、偏向角、行人間距、跟隨時間及性別等資料，將在各個不同的模式中個別討論，各模式也將在各分節討論之。

##### 4.4.1 性別

在觀察時間之後有 4 種情形，分別為直行超越、偏向直行超越、直行超越偏向與越過前方行人；以性別與各個不同模式作為區分，其交叉比較如下表 6 所示：

表 6 性別與跟隨型態交叉比較表

性別		型態				總和
		直行超越	偏向直行超越	直行超越偏向	越過前方行人	
女	人數	55	26	31	7	118
男	人數	95	34	29	21	180
總和	人數	150	60	60	28	298

##### 4.4.1.1 直行超越狀況

在直行超越狀態下討論性別與本狀態之關係，後方超越者性別中，男性占 74.67%，女性占 25.33%，由此可發現男性在後方超越者時，會較有可能超越前方行人。但探究前方行人之性別，前方性別為男性佔 52%，女性佔 48%，則並無明顯較大之差異，僅發現男性為後方超越者的狀態較多，其結果如下表 7 所示。

表 7 直行超越性別交叉比較表

		前方	男性人數	女性人數	Total
		後方			
男性			25	31	56
女性			14	5	19
人數					
Total			39	36	75

#### 4.4.1.2 偏向直行超越狀況

在偏向直行超越狀態下討論性別與本狀態之關係，後方超越者性別中，男性占 70%，女性占 30%，由此可發現男性在後方超越者時，會較有可能超越前方行人。但探究前方行人之性別，前方性別為男性佔 46.67%，女性佔 53.33%，由於樣本數並不多而所佔百分比比較接近，故推論較無差異，同樣男性為後方超越者的情形較多，其結果如下表 8 所示。

表 8 偏向直行超越性別交叉比較表

	前方	男性人數	女性人數	Total
後方				
男性		9	12	21
人數				
女性		5	4	9
人數				
Total		14	16	30

#### 4.4.1.3 直行超越偏向狀況

在直行超越偏向狀態下討論性別與本狀態之關係，後方超越者性別中，男性占 66.67%，女性占 33.33%，由此可發現男性在後方超越者時，會較有可能超越前方行人。但探究前方行人之性別，前方性別為男性占 36.67%，女性占 63.33%，由於樣本數並不多而所占百分比比較接近，但可以發現男性為後方超越者的情形較多，而其結果如下表 9 所示。

表 9 直行超越偏向性別交叉比較表

	前方	男性人數	女性人數	Total
後方				
男性		5	15	20
人數				
女性		6	4	10
人數				
Total		11	19	30

#### 4.4.2 速度

本章節將分析行人之速度概況，速度資料的取得係依據錄影資料中行人之位移距離而得，採用公式如下：

$$V_n = \Delta S_n / \Delta t$$

其中  $V_n$  為第  $n$  個時間點行人速度(cm/s)

$\Delta S_n$  為該行人於  $n-1$  到  $n$  時間點移動距離(cm)

$\Delta t$  為觀察時間間隔，為 1/2 秒

##### 4.4.2.1 直行超越狀況

根據錄影資料，在直行超越狀態下，共取得 75 組後方行人之速度，依時間間隔區分後，共取得 818 筆前後行人之速度，計算前方行人平均速度為 108.215 cm/s，後方行人平均速度為 152.127 cm/s，其統計資料如下表 10，次數分配如圖 25 所示。其中後方行人速度在 200 cm/s 以上者，代表該行人為小跑步加速跟隨，而非以步行方式。

表 10 直行超越前後行人速度統計表

	前方速度 (cm/s)	後方速度 (cm/s)
平均值	108.215	152.127
最小值	20	40
最大值	260	360

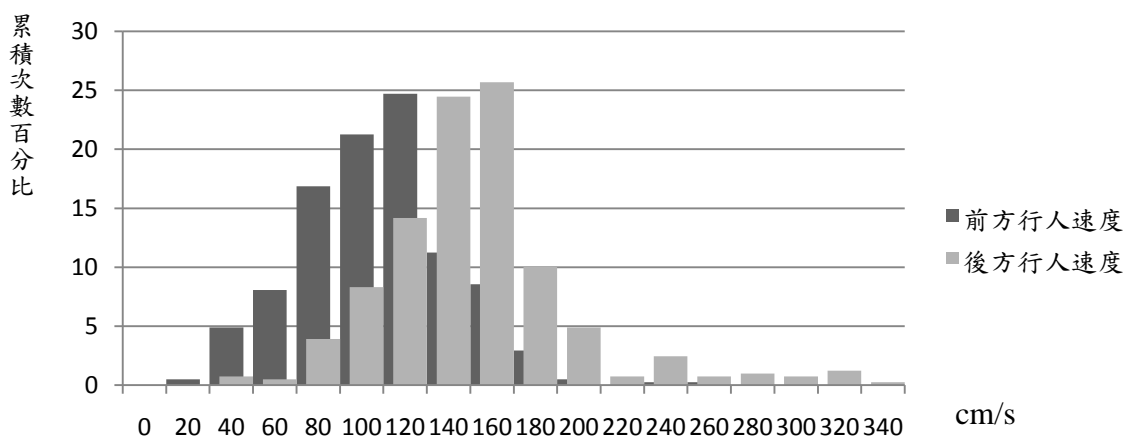


圖 25 直行超越前後行人速度百分比次數分配圖



由上圖與表可發現，前方行人速度累積最多次在 120cm/s，而後方行人的速度等於 160cm/s 累積最多次數，由敘述統計可得之後方行人之平均速度會高於前方行人平均速度，故本研究進行檢定，確認後方行人於超越行為下之直行超越狀態的平均速度與前方行人平均速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人速度與後方行人速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人速度與後方行人速度有顯著差異

檢定結果如下表 11 所示，在 95% 的信賴水準下，P-value 為  $0.000 < 0.05$ ，故代表前方行人速度與後方行人速度有顯著差異。另如表 12 可知，前方行人速度與後方行人速度具有統計上顯著相關，其相關係數為 0.490 屬於中度相關。

表 11 直行超越前後行人速度成對 t 檢定表

統計檢定量	T	自由度	顯著性 (雙尾)
前方速度 - 後方速度	-21.022	408	0.000

表 12 直行超越前後行人速度相關表

	前方行人速度	後方行人速度
前方行人速度	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	1 .490** 409
後方行人速度	Pearson 相關 顯著性 (雙尾) 個數	.490** .000 409

\*\* . 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

本研究考慮性別對於速度會有影響，所以將進行資料分組，首先利用獨立 t 檢定確定後方超越者的速度是否因性別的不同而有差異，得到結果表示女性超越者平均速度為 145.636 cm/s，男性超越者平均速度為 154.515 cm/s，由顯著性 = 0.182，男性與女性速度的變異相等，其 t 值為 -1.733，P-value 為  $0.084 > 0.05$ ，此結果說明，後方超越者的性別不同，對於其速度沒有顯著的不同，由於超越的狀態是後方行人超越過前方行人，係因為前方行人可能行走過慢或種種情形，故男女都有可能超越行人，檢定結果如表 13 所示。

表 13 直行超越後方超越者速度與性別獨立 t 檢定

後方 性別	平均 速度	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定				
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)		
後方 速度	女	145.6364	假設變異 數相等	1.787	.182	-1.733	407	.084
	男	154.5151	不假設變 異數相等			-1.905	237.187	.058

由結果分析，本研究另外就以下幾種假設情況做統計檢定：

- 後方之超越行人者速度是否因前方行人性別不同而有差異。
- 前方行人為女性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。
- 前方行人為男性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。

表 14 直行超越假設情況分類統計量表

假設	狀態	性別	平均數	標準差
a	後方之速度	前(男性)	152.217	53.096
		前(女性)	152.021	36.213
b	前(女性)	後(男性)	152.821	36.699
		後(女性)	148.125	34.024
c	後方之速度	前(男性)	159.690	59.318
		後(女性)	141.739	40.940
	後方之速度			

表 15 假設情況分類獨立 t 檢定

假設	變異數相等的 Levene 檢定			平均數相等的 t 檢定			
	狀態	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性	
a	後方	假設變異數相等	15.793	.000	-.015	406	.988
	速度	不假設變異數相等			-.016	387.515	.988
b	前女	假設變異數相等	0.021	.885	-.667	186	.505
	後速	不假設變異數相等			-.701	47.026	.486
c	前男	假設變異數相等	5.372	.021	-2.507	219	.013
	後速	不假設變異數相等			-2.661	218.795	.008

由上表 14 及表 15 可以發現，對於情況 a 而言，F 的相伴機率為 0.000 小於顯著水準 0.05，拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者速度變異數並有顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.988 大於 0.05，故不拒絕虛無假設，表示後方之超越行人速度不會因前方行人性別不同而有差異。情況 b 而言，由以上證據可見，會不拒絕虛無假設，表示後方超越者的速度會因為前方為女性而無差異。情況 c 而言，由於以上證據可發現得到會拒絕虛無假設，表示前方行人為男性時，後方之超越行人者的速度在性別上是有差異。綜合此三種情況，可說明男性行走速度較女性快，由於女性行走速度可能較慢，當前方行人為女性時，後方行人會有動機超越。

#### 4.4.2.2 偏向直行超越狀況

據錄影資料，在偏向直行超越狀態下，共取得 30 組後方行人之速度，依時間間隔區分後，共取得 318 筆前後行人之速度，計算前方行人平均速度為 102.963 cm/s，後方行人平均速度為 139.630cm/s，其統計資料如下表 16，次數分配如圖 26 所示。其中後方行人速度在 200 cm/s 以上者，代表該行人為小跑步加速跟隨，而非以步行方式。

表 16 偏向直行超越前後行人速度統計表

	前方速度 (cm/s)	後方速度 (cm/s)
平均值	104.326	139.623
最小值	40	60
最大值	300	340

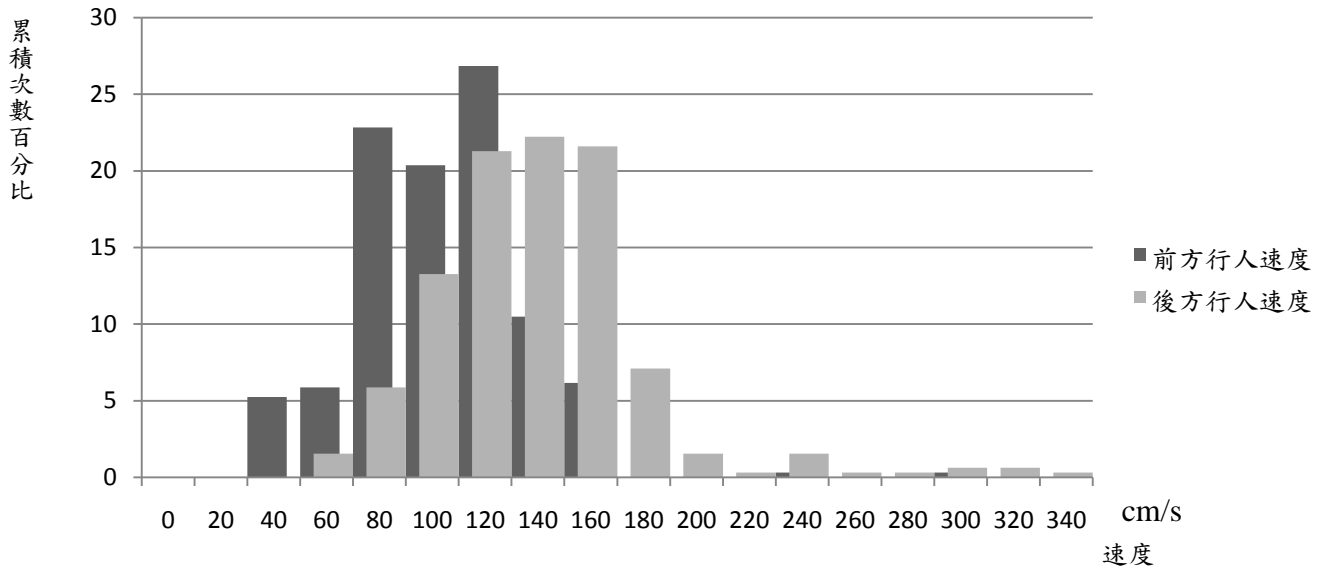


圖 26 偏向直行超越前後行人速度百分比次數分配圖

由上圖 26 與表 16 可發現，前方行人速度累積最多次在 120 cm/s，而後方行人的速度多集中於 120 cm/s~160 cm/s，但後方行人速度高於 200 cm/s 的情況較多，由敘述統計可得之後方行人之平均速度會高於前方行人平均速度，故本研究進行檢定，確認後方行人於偏向直行超越狀態的平均速度與前方行人平均速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人速度與後方行人速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人速度與後方行人速度有顯著差異

檢定結果如下表 17 所示，在 95% 的信賴水準下，P-value 為  $0.000 < 0.05$ ，故代表行方行人速度與後方行人速度有顯著差異。

表 17 偏向直行超越前後行人速度成對 t 檢定表

統計檢定量	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方速度 - 後方速度	-11.687	318	0.000

本研究考慮性別對於速度會有影響，所以將進行資料分組，首先利用獨立 t 檢定確定後方超越者的速度是否因性別的不同而有差異，得到結果表示女性超越者平均速度為 142.167 cm/s，男性超越者平均速度為 138.091 cm/s。由顯著性 = 0.021，可得男性與女性速度的變異相等，其 t 值為 0.847，P-value 為  $0.398 > 0.05$ ，此結果說明，後方超越者的性別不同，對於其速度沒有顯著的不同，由於超越的狀態是後方行人超越過前方行人，係因為前方行人可能行走過慢或種種情形，故男女都有可能超越行人。女性平均速度會大於男性平均速度，推論可能為女性

樣本較少及樣本不平均所導致，由於後方行人若為男性其標準差很大為 46.475，表示男性的資料大部分數值和其平均數間差異較大。後方超越者與性別獨立檢定結果如表 18 所示。

表 18 偏向直行超越後方超越者速度與性別獨立 t 檢定

		變異數相等的 Levene 檢定				平均數相等的 t 檢定		
		個數	平均速度	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)
後方速度	女	120	142.167	5.420	.021	.847	317	.398
	男	199	138.091					
				假設變異數相等				
				不假設變異數相等		.925	311.300	.356

由結果分析，本研究另外就以下幾種假設情況做統計檢定：

- 後方之超越行人速度是否因前方行人性別不同而有差異。
- 前方行人為女性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。
- 前方行人為男性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。

表 19 偏向直行超越假設情況分類統計量表

假設	狀態	性別	平均數	標準差
a	後方之速度	前(男性)	128.750	33.005
		前(女性)	148.571	45.759
b	前(女性)	後(男性)	149.800	52.608
		後(女性)	146.933	34.873
c	後方之速度	前(男性)	126.263	35.874
		後(女性)	134.222	25.090
	後方之速度	後(男性)		
		後(女性)		



表 20 偏向直行超越假設情況分類獨立 t 檢定

假設	變異數相等的 Levene 檢定			平均數相等的 t 檢定			
	狀態	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性	
a	後方	假設變異數相等	5.029	.026	4.349	317	.000
	速度	不假設變異數相等			4.485	311.879	.000
b	前女	假設變異數相等	4.025	.046	-.409	173	.683
	後速	不假設變異數相等			-.433	170.630	.666
c	前男	假設變異數相等	3.639	.058	1.345	142	.181
	後速	不假設變異數相等			1.532	118.015	.128

由上表 19 及表 20 可以發現，對於情況 a 而言，F 的相伴機率為 0.026 小於顯著水準 0.05，拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者速度變異數有顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.000 小於 0.05，故拒絕虛無假設，表示後方之超越行人速度會因前方行人性別不同而有差異。情況 b 而言，由以上證據可見，本情況會不拒絕虛無假設，表示後方超越者的速度不會因為前方為女性而有差異。情況 c 而言，由於以上證據可發現得到會不拒絕虛無假設，表示後方超越者不會因為前方為男性而有差異。綜合以上，不論前方性別為何，若後方為女性則需要利用比男性快的速度才可利用此模式。

#### 4.4.2.3 直行超越偏向狀況

據錄影資料，在直行超越偏向狀態下，共取得 30 組後方行人之速度，依時間間隔區分後，共取得 924 筆前後行人之速度，計算前方行人平均速度為 109.870 cm/s，後方行人平均速度為 144.978cm/s，其統計資料如下表 21，次數分配如圖 27 所示。其中後方行人速度在 200 cm/s 以上者，代表該行人為小跑步加速跟隨，而非以步行方式。

表 21 直行超越偏向前後行人速度統計表

	前方速度 (cm/s)	後方速度 (cm/s)
平均值	109.870	144.978
最小值	0	0
最大值	280	360

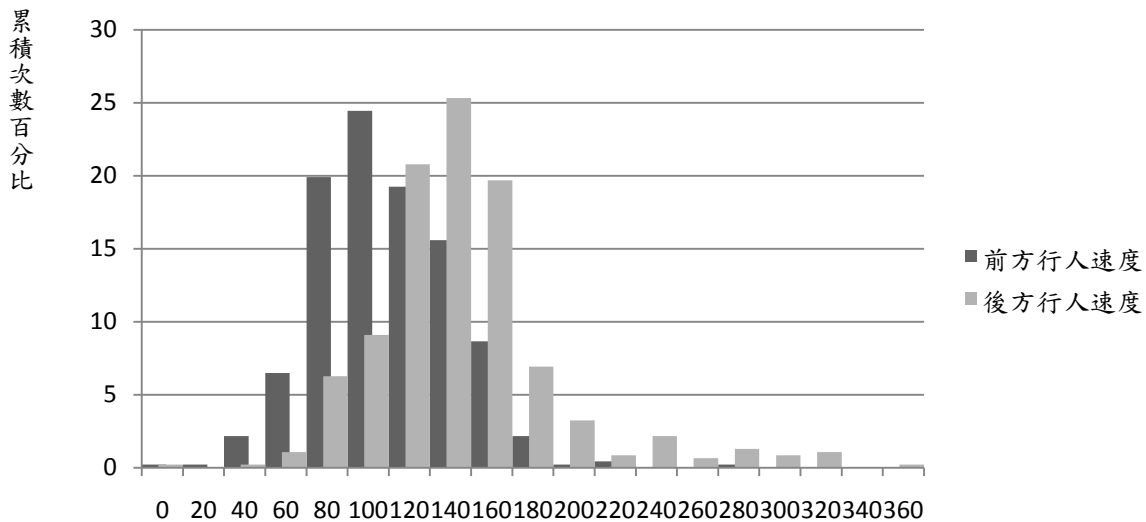


圖 27 直行超越偏向前後行人速度百分比次數分配圖

由上圖與表可發現，前方行人速度累積最多次在 80~120 cm/s，而後方行人的速度多集中於 120~160 cm/s，但後方行人速度高於 200cm/s 的情況較多，由敘述統計可得之後方行人之平均速度會高於前方行人平均速度，故本研究進行檢定，確認後方行人於直行超越偏向狀態的平均速度與前方行人平均速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人速度與後方行人速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人速度與後方行人速度有顯著差異

檢定結果如下表 22 所示，在 95%的信賴水準下，P-value 為  $0.000 < 0.05$ ，故代表行方行人速度與後方行人速度有顯著差異。

表 22 直行超越偏向前後行人速度成對 t 檢定表

統計檢定量	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方速度 - 後方速度	-17.757	461	0.000

本研究考慮性別對於速度會有影響，所以將進行資料分組，首先利用獨立 t 檢定確定後方超越者的速度是否因性別的不同而有差異，得到結果表示女性超越者平均速度為 137.355 cm/s，男性超越者平均速度為 147.683 cm/s。由顯著性 = 0.260，可得男性與女性速度的變異相等，其 t 值為 -2.195，P-value 為 0.029 小於 0.05，此結果說明，後方行人的性別不同，對於其速度有顯著的不同，由於在此種狀態最後會超越至前方行人前，故可能會有前方行人性別的不同的狀況產生，因此再進行各種不同的推論與檢定。後方超越者與性別獨立檢定結果如表 23 所示。

表 23 直行超越偏向後方超越者速度與性別獨立 t 檢定

		變異數相等的 Levene 檢定				平均數相等的 t 檢定			
後方 性別	個數	平均速 度	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)		
後方 速度	女	121	137.355	假設變異 數相等	1.271	.260	-2.102	460	.036
	男	341	147.683						

由結果分析，本研究另外就以下幾種假設情況做統計檢定：

- 後方之超越行人速度是否因前方行人性別不同而有差異。
- 前方行人為女性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。
- 前方行人為男性時，後方之超越行人者的速度在性別上是否有差異。

表 24 直行超越偏向假設情況分類統計量表

假設	狀態	性別	平均數	標準差
a	後方之速度	前(男性)	151.157	68.492
		前(女性)	142.095	31.310
b	前(女性)	後(男性)	143.448	32.705
		後(女性)	135.556	22.543
c	後方之速度	前(男性)	161.500	76.953
		後(男性)	138.806	54.814
		後(女性)		

表 25 直行超越偏向假設情況分類獨立 t 檢定

假設	變異數相等的 Levene 檢定			平均數相等的 t 檢定			
	狀態	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性	
a	後方	假設變異數相等	93.036	.000	-1.953	460	.051
	速度	不假設變異數相等			-1.531	175.090	.128
b	前女	假設變異數相等	3.851	.051	-1.691	313	.092
	後速	不假設變異數相等			-2.147	105.146	.034
c	前男	假設變異數相等	10.888	.001	-2.022	145	.045
	後速	不假設變異數相等			-2.082	141.536	.039

由上表 24 及表 25 可以發現，對於情況 a 而言，F 的相伴機率為 0.000 小於顯著水準 0.05，拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者速度變異數有顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.128 大於 0.05，故不拒絕虛無假設，表示後方之超越行人速度不因前方行人性別不同而有差異(無差異)。情況 b 而言，由以上證據可見，本情況不拒絕虛無假設，表示後方超越者的速度不會因為前方為女性而有差異。情況 c 而言，由於以上證據可發現得到會拒絕虛無假設，表示後方超越者會因為前方為男性而有差異。綜合以上，表示若前方行人為男性則需要比前方行人為女性的速度不同，要超過前方男性行人要較高的速度。

#### 4.4.3 加速度

加速度之計算係由前後行人之速度變化，依據公式求得，其式如下。

$$a_n = \frac{(V_{n+1} - V_n)}{\Delta t}$$

其中  $V_n$  為第 n 個時間點行人速度(cm/s)

$V_{n+1}$  為第 n+1 個時間點行人速度(cm/s)

$\Delta t$  為觀察時間間隔，為 1/2 秒

##### 4.4.3.1 直行超越狀況

依據 4.4.2 速度，利用本研究之資料行人速度資料表，進而求得出每位行人之加速度值，在車流模式中，加速度為一重要之變數，故本研究也將行人加速度

狀況進行分析。首先下表 26 為行人加速度統計表，人加速度之百分比次數分配圖，參見下圖 28，從圖中可發現，有集中趨勢。

表 26 直行超越前後行人加速度統計表

	前方加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	後方加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )
最小值	-280	-280
最大值	240	400

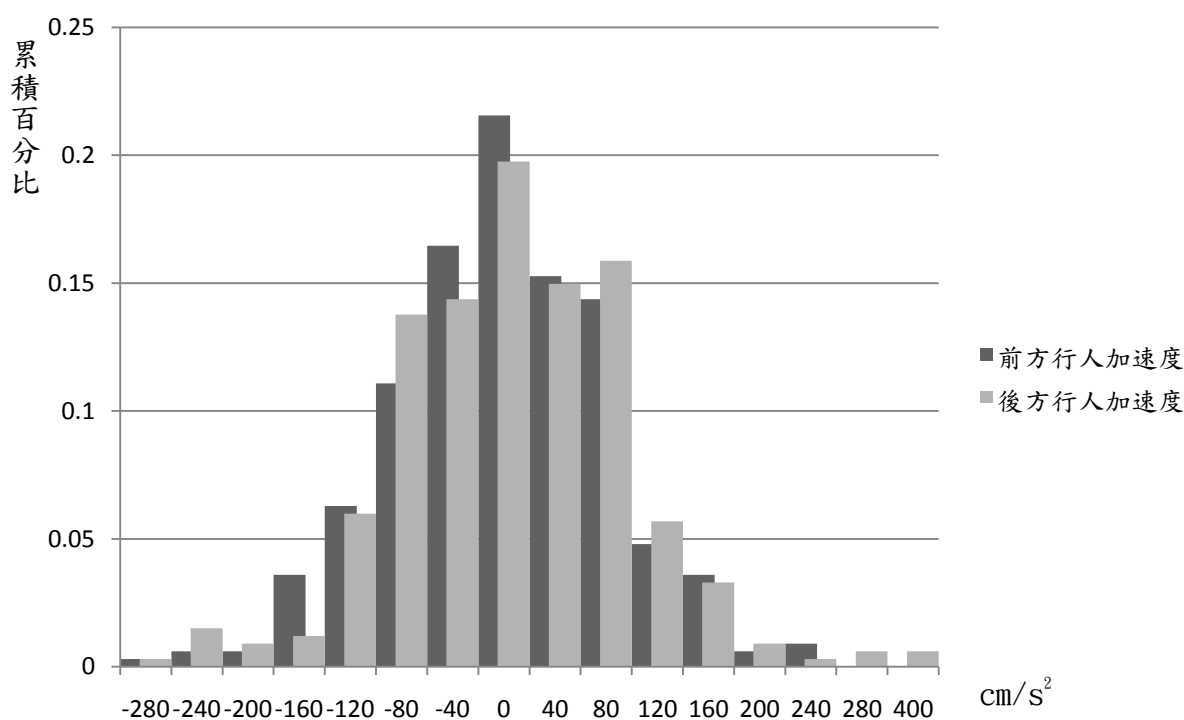


圖 28 直行超越前後行人加速度之百分比次數分配圖

由上圖與表可發現，前方行人加速度累積最多次在  $0 \text{ cm/s}^2$ ，與後方行人加速度相同，表示行人在行走時會有段時間會是等速行進狀態，但此種狀態係為各個不同樣本所累積而成，故本研究進行檢定，確認後方行人於超越行為下之直行超越狀態的加速度與前方行人加速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人加速度與後方行人加速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人加速度與後方行人加速度有顯著差異

檢定結果如下表 27 所示，在 95% 的信賴水準下，P-value 為  $0.411 > 0.05$ ，故代表行方行人加速度與後方行人加速度無顯著差異。另如表 28 可知，前方行人加速度與後方行人加速度具有統計上無顯著相關，其相關係數為 0.211 屬於低度相關。



表 27 直行超越前後行人速度成對 t 檢定表

統計檢定量	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方加速度 - 後方加速度	-0.823	333	.411

表 28 直行超越前後行人加速度相關表

相關			
		前方行人 加速度	後方行人加速度
前方行人加速度	Pearson 相關	1	.211**
	顯著性 (雙尾)		.000
	個數	334	334
後方行人加速度	Pearson 相關	.211**	1
	顯著性 (雙尾)	.000	
	個數	334	334

\*\* . 在顯著水準為0.01時 (雙尾)，相關顯著。

#### 4.4.3.2 偏向直行超越狀況

依據 4.4.2 速度，利用本研究之資料行人速度資料表，進而求出每位行人之加速度值，在車流模式中，加速度為一重要之變數，故本研究也將行人加速度狀況進行分析。首先下表 29 為行人加速度統計表，人加速度之百分比次數分配圖，參見下圖 29，從圖中可發現，具有跟隨行為之行人，有集中趨勢。

表 29 偏向直行超越前後行人加速度統計表

	前方加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	後方加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
最小值	-400	-280
最大值	400	320

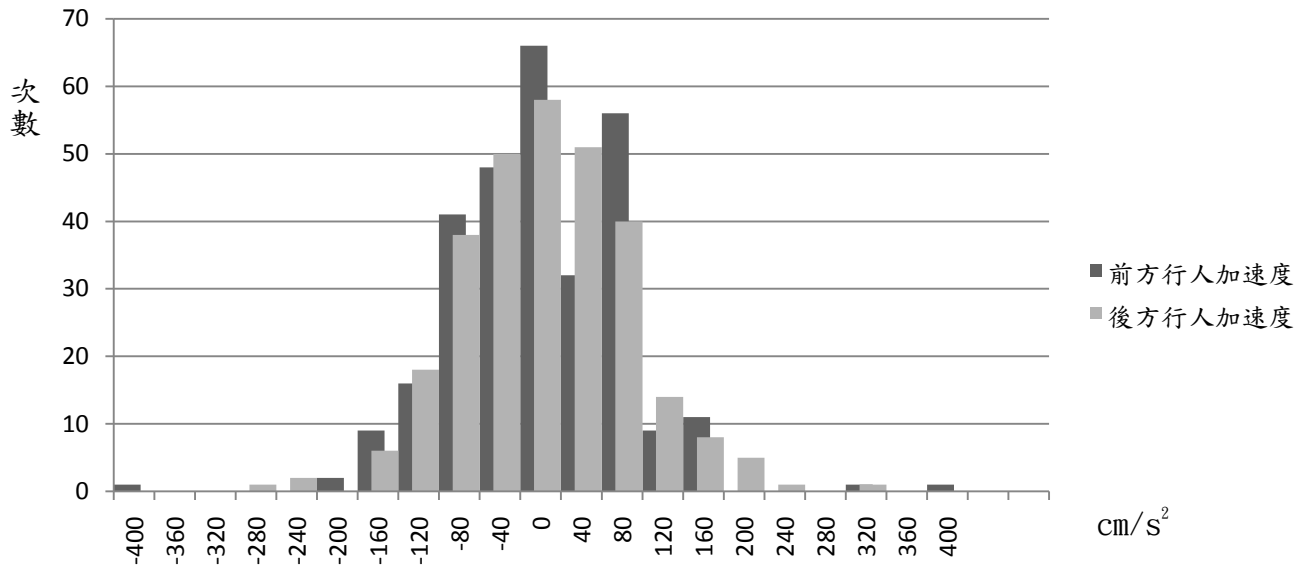


圖 29 偏向直行超越前後行人加速度之百分比次數分配圖

由上圖與表可發現，前方行人加速度累積最多次在  $0 \text{ cm/s}^2$ ，與後方行人加速度相同，表示行人在行走時會有段時間會是等速行進狀態，由於行人之加速度是隨時在改變，有時後走的快有時候走得慢，而本狀態係為各個不同樣本所累積而成，故本研究進行檢定，確認後方行人於超越行為下之橫移狀態的加速度與前方行人加速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人加速度與後方行人加速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人加速度與後方行人加速度有顯著差異

檢定結果如下表 30 所示，在 95% 的信賴水準下，P-value 為  $0.005 < 0.05$ ，故代表行方行人加速度與後方行人加速度有顯著差異。另如表 31 可知，前方行人加速度與後方行人加速度具有統計上顯著相關，其相關係數為 0.977 屬於高度相關。

表 30 偏向直行超越前後行人加速度成對 t 檢定表

統計檢定量	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方加速度 - 後方加速度	-2.827	292	.005

表 31 偏向直行超越前後行人速度相關表

		前方行人加速度	後方行人加速度
前方行人加速 度	Pearson 相關	1	.977**
	顯著性 (雙尾)		.000
	個數	293	293
後方行人加速 度	Pearson 相關	.977**	1
	顯著性 (雙尾)	.000	
	個數	293	293

\*\* . 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

#### 4.4.3.3 直行超越偏向狀況

依據 4.4.2 速度, 利用本研究之資料行人速度資料表, 進而求得出每位行人之加速度值, 故本研究將行人加速度狀況進行分析。首先下表 32 為行人加速度統計表, 人加速度之百分比次數分配圖, 參見下圖 30, 從圖中可發現, 具有跟隨行為之行人, 有集中趨勢。

表 32 直行超越偏向前後行人加速度統計表

	前方加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	後方加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )
最小值	-400	-400
最大值	400	360

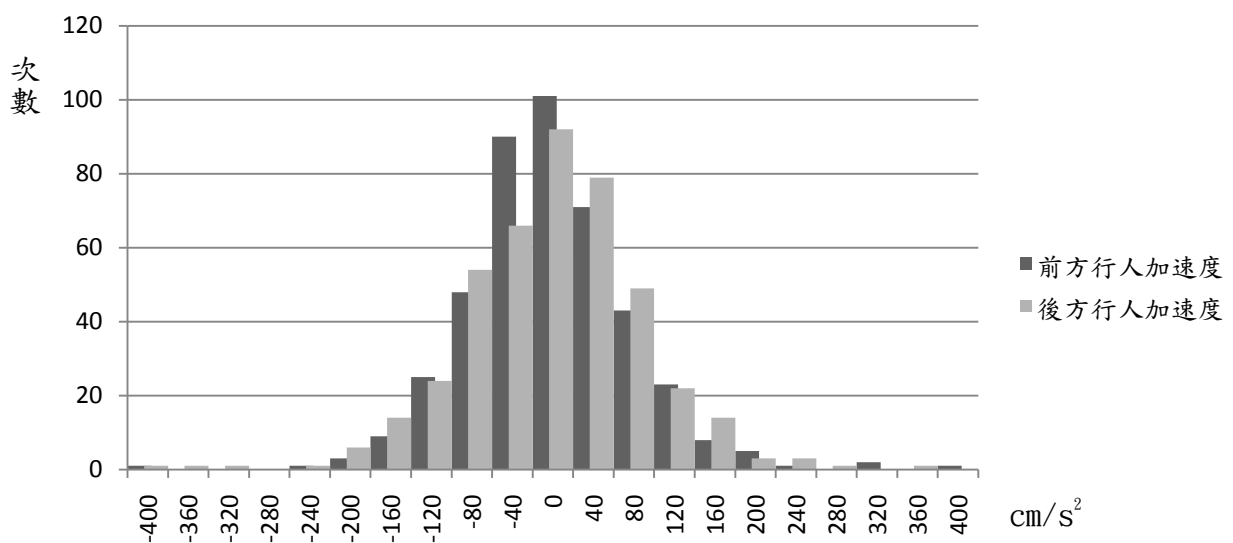


圖 30 直行超越偏向前後行人加速度之百分比次數分配圖  
由上圖與表可發現, 前方行人加速度累積最多次在  $0 \text{ cm/s}^2$ , 與後方行人加速度

相同，表示行人在行走時會有段時間會是等速行進狀態，由於行人之加速度是隨時在改變，有時後走的快有時候走得慢，而本狀態係為各個不同樣本所累積而成，故本研究進行檢定，確認後方行人於超越行為下之橫移狀態的加速度與前方行人加速度是否有顯著差異，則假設如下：

$H_0$ ：前方行人加速度與後方行人加速度無顯著差異

$H_1$ ：前方行人加速度與後方行人加速度有顯著差異

檢定結果如下表 33 所示，在 95% 的信賴水準下，P-value 為 0.946 大於 0.05，故代表行方行人加速度與後方行人加速度無顯著差異。另如表 34 可知，前方行人加速度與後方行人加速度具有統計上有顯著相關，其相關係數為 0.121 屬於低度相關。

表 33 直行超越偏向前後行人加速度成對 t 檢定表

統計檢定量	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方加速度 - 後方加速度	.067	431	.946

表 34 直行超越偏向前後行人速度相關表

		前方行人加速度	後方行人加速度
前方行人加速度	Pearson 相關	1	.121*
	顯著性 (雙尾)		.012
	個數	432	432
後方行人加速度	Pearson 相關	.121*	1
	顯著性 (雙尾)	.012	
	個數	432	432

\*. 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

#### 4.4.4 偏向角

行人行走時，若要超越前方之行人或是改變行走方向，將會有離開原本直線前進的情形產生，此時會產生偏向，因此當偏向角在變換行走方向行為中是非常重要的。本研究討論後方行人超越前方行人的狀態，而偏向角係為一種後方行人專有的特性，故有討論的重要性存在。

本研究將偏向角度分為 (1)  $\theta=0^\circ$ ；(2)  $0^\circ<\theta\leq 45^\circ$ ；(3)  $45^\circ<\theta<90^\circ$ ，但在此章節並不會討  $\theta=0^\circ$  時的狀態，本研究將  $\theta=0^\circ$  此狀態當作橫移超越的一種情形，利用偏向角移動的情況分別為偏向直行超越、直行超越偏向與越過前方行人的行

為，於此藉由錄影調查的方法，觀察行人在有改變行走方向或做行向改變時進而討論其角度是否大於 45 度或小於 45 度的情形。偏向角之判定是由先觀察行人行走方向有轉向或離開原本行進方向，先抓取行向改變起始點與最終點，再視其與原始方向之夾角之角度大小，討論個別狀態之不同。

#### 4.4.4.1 偏向直行超越狀況

在偏向直行超越狀態下，討論偏向角與前後方行人性別之關係。由下表 35 可得知偏向角大於與小於 45° 兩種情況，樣本分佈較平均並無很大的差異，進而觀察討論，當後方超越者性別中，偏向角度小於 45° 的狀況下男性所占比例為 68.75% 女性為 31.25%，大於 45° 的情況下男性占了 64.29% 女性有 35.74%。而後方行人為男性以偏向角小於 45° 超越前方行人案例為最多，佔了總樣本的 33.33%。

表 35 偏向直行超越偏向角與後方性別交叉比較表

偏向角	小於 45°	大於 45°	Total
後方			
男性人數	11	9	20
女性人數	5	5	10
Total	16	14	30

進而觀察下表 36 前方行人與偏向角之關係，可發現其中樣本情況最多的為當前方行人為女性，後方行人會以偏向角小於 45° 超越，佔了總樣本的 30%。本研究初步討論出可能結果，當後方行人為男性，較容易以偏向角小於 45° 的方式超越前方行人而前方行人為女性。

表 36 偏向直行超越偏向角與前方性別交叉比較表

偏向角	小於 45°	大於 45°	Total
前方			
男性人數	7	7	14
女性人數	9	7	16
Total	16	14	30



#### 4.4.4.2 直行超越偏向狀況

在直行超越偏向狀態下，討論偏向角與前後方行人性別之關係。由下表 37 可得知在共 30 筆資料中偏向角小於 45° 佔了 63.33%，偏向角大於 45° 佔 36.67%，可得前方行人被超越者容易被後方行人以偏向角度小於 45° 的情形超越。本研究樣本較多的為後方性別為男性以偏向角小於 45° 超越前方行人，此種案例佔了總樣本的比例為 46.67%，而女性以偏向角大於 45° 的情形為最少佔 13.33%。後方超越者性別中，男性利用偏向角度小於 45° 的狀況下比例為 66.67%，若偏向角大於 45° 則比例為 33.33%，表示後方超越者若為男性，可能偏向角會小於 45°。若為女性其中利用偏向角度小於 45° 的狀況比例為 55.56%，偏向角度大於 45° 的狀況則為 44.44%。

表 37 直行超越偏向偏向角與後方性別交叉比較表

偏向角	小於 45°	大於 45°	Total
後方			
男性人數	14	7	21
女性人數	5	4	9
Total	19	11	30

由下表 38 可得知前方行人被超越者性別，可得前方行人被超越者容易被後方行人以偏向角度小於 45° 的情形超越。而被超越者幾乎集中在女性，個別觀察後發現，當前方行人為女性時，被偏向角小於 45° 超越的案例有 63.16%，當前方行人為男性時，被偏向角小於 45° 超越的案例有 36.84%。直行超越偏向此種狀態會重新移至原本前方行人前，由本研究分析當後方行人為男性，可能會以較小的角度移動至前方行人為女性前方。

表 38 直行超越偏向偏向角與前方性別交叉比較表

偏向角	小於 45°	大於 45°	Total
前方			
男性人數	7	3	10
女性人數	12	8	20
Total	19	11	30

#### 4.4.5 行人間距

行人超越行為一項重要之因素即為行人間距，當要超越前方的人時，表示後方行人會距離前方行人一定距離，此段距離本研究稱作行人間距，當行人間距小於等於 0 時，表示後方行人以超越過前方行人。

根據車流理論，跟車距離為刺激反應模式中的刺激變化量，故於行人流中也應收集此資料，但並無文獻說明行人間距應取參考點為何，故本研究選取行人間距為前後行人之頭間距  $D$  來進行分析，故在此節僅討論有行人間距部份討論，但尚不討論有超越之狀態。示意圖如下圖 31：

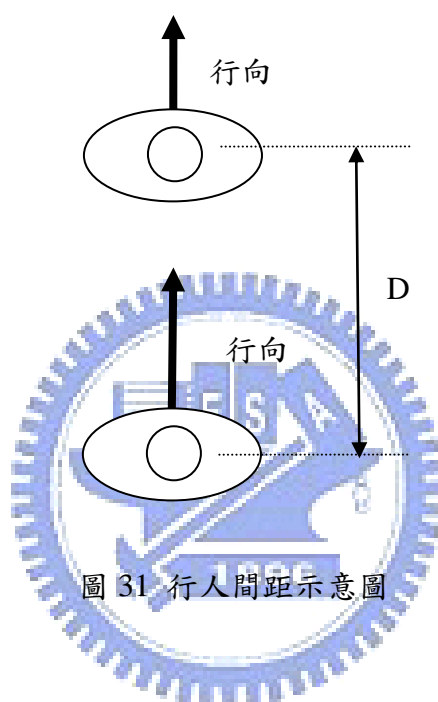


圖 31 行人間距示意圖

##### 4.4.5.1 直行超越狀況

由前述之行人間距概念，進而延伸至直行超越模式中，於直行超越模式中為了判斷方便與研究目標為超越前方行人，就算前後行人已無行人間距，仍在持續蒐集資料直到兩者距離為負值為止，則表示已有超越情形產生。而超越行人行為著重在超過前方行人，但行人間距係為必發生之條件，故本研究將限制起始行人間距不得小於 70 公分，由於行人超越情形其行人間距會縮短，故最大間距並無特別限定，但為方便資料蒐集行人間距並不會蒐集超過 120 公分以上之間距。

依資料所得 75 組直行超越行人之平均起始行人間距整理如下表 39：

表 39 直行超越起始行人間距統計表

說明	D(cm)
平均距離	98.267
平均距離(男)	100.179
平均距離(女)	92.632
標準差(男)	14.333
標準差(女)	14.080
混合標準差	14.554
最小值	70
最大值	120

上表中男性超越者平均起始距離比女性要長，由表 40 之獨立 t 檢定顯示，若以性別分組，F 的相伴機率為 0.665 大於顯著水準 0.05，不能拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者行人間距變異數並無顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.050 等於 0.05，在考慮小數點位數下，故不拒絕虛無假設，表示起始行人間距會因男性或女性無顯著差異。

表 40 直行超越後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定

項目	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
假設變異數相等	.201	.655	-1.992	73	.050
不假設變異數相等			-2.010	31.603	.053

下圖 32 示行人間距距離之次數分配圖，其中 D 最大距離為 120 cm 最小距離為 70cm，此為本研究假設。

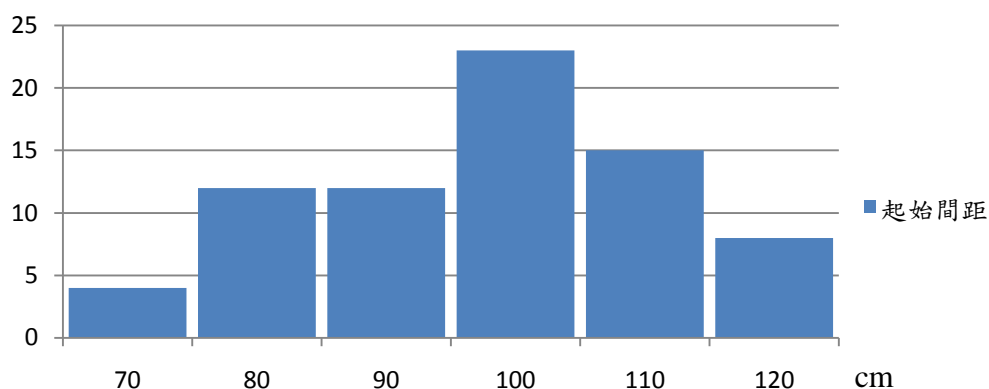


圖 32 直行超越行人間距 D 次數分配圖

本研究再考慮性別因素之差異性，由表 41 中發現，由於男性與女性間之行人間距並無顯著差異，故繼續進行統計檢定，將自跟隨開始至跟隨結束止的資料全部依性別分組，其中由於本研究討論超越之情形，故資料中會有 0 與負值產生，0 之情形表示後方行人與前方行人已無行人間距，而負值即表示超越情形產生。由下表表示前方或後方，行走之男性或女性之距離統計表，檢定結果如下表 42 所示。前方與後方行人性別與行人間距檢定，均不會拒絕虛無假設，表示並不會因為前方或是後方行人而對行人間距之長短有所差異。

表 41 直行超越前後性別分組之距離統計表

性別	前方		後方	
	平均數(cm)	標準差	平均數(cm)	標準差
男	40.700	42.540	42.616	42.531
女	42.643	41.200	39.143	40.295

表 42 直行超越行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定

行人間距		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
		前方性別與行人間距之檢定	.173	.678	.509	482
後方性別與行人間距之檢定	2.552	.111	-.827	482	.409	
	不假設變異數相等			.510	477.915	.610
	不假設變異數相等			-.846	271.036	.398

#### 4.4.5.2 偏向直行超越狀況

由 4.4.5 之定義行人間距 D，本研究對於超越橫移模式之前提假設為，由於行人於超越前會在其人體寬度之延伸線後，故本情形之資料蒐集與前章節所討論之模式不同，係為後方行人於前方行人之人體寬度延伸線後，有偏向角移動離開前方人體寬度延伸線，進而超越前方行人。故紀錄方式為先尋找偏向角，當發現有偏向角離開前方行人人體延伸線，將找尋至偏向角之時間點向前 1 至 2 個時間間距後，在而紀錄各時間間距之行人資料，但當後方行人超越前方行人，即兩者行人間距為負時，即停止紀錄表示偏向直行超越模式已產生結束紀錄。

依資料所得 30 組偏向直行超越行人之平均起始行人間距整理如下表 43：

表 43 偏向直行超越起始行人間距統計表

組別	D(cm)
平均距離	145.667
平均距離(男)	142.5
平均距離(女)	152
標準差(男)	76.700
標準差(女)	77.431
混合標準差	75.735
最小值	80
最大值	440

從上表中男性超越者平均起始距離比女性要短，由表 44 之獨立 t 檢定顯示，F 的相伴機率為 0.646 大於顯著水準 0.05，不能拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者速度變異數並無顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.752 大於 0.05，故不拒絕虛無假設，表示後方之超越行人間距並不會因為男性或女性會有顯著差異。由於女性超越者的平均起始距離比男性長，而由檢定得知後方行人速度會因為男性或女性並不會有顯著差異，故由此可以推出，男性會在比較短的距離中決定，是否要超越前方行人。

表 44 後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定

項目	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
假設變異數相等	.215	.646	.319	28	.752
不假設變異數相等			.318	17.951	.754

下圖 33 表示行人間距距離之次數分配圖。

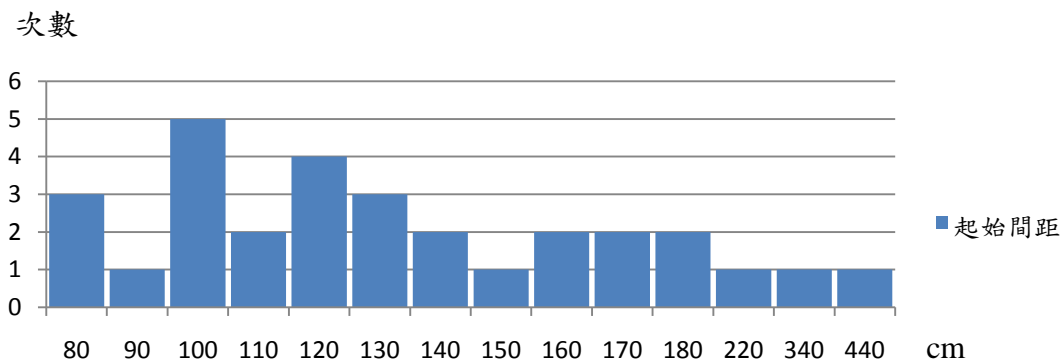


圖 33 偏向直行超越行人間距 D 次數分配圖



本研究再考慮性別因素之差異性，由表 45 中發現，由於男性與女性間之行人間距並無顯著差異，故繼續進行統計檢定，將自跟隨開始至跟隨結束止的資料全部依性別分組，其中由於本研究討論超越之情形，故資料中會有 0 與負值產生，0 之情形表示後方行人與前方行人已無行人間距，而負值即表示超越情形產生。由下表表示前方與後方，行走之男性或女性之距離統計表，檢定結果如下表 46 所示。前方與後方跟隨者性別與行人間距檢定，均不會拒絕虛無假設，表示並不會因為前方或是後方行人而對行人間距之長短有所差異。

表 45 偏向直行超越前後性別分組之距離統計表

性別	前方		後方	
	平均數(cm)	標準差	平均數(cm)	標準差
男	80.490	76.078	69.796	69.074
女	67.126	68.483	78.595	76.977

表 46 偏向直行超越行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定

行人間距		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
		前方性別與行人間距之檢定	1.680	.196	-1.644	315
後方性別與行人間距之檢定	.497	.481	1.054	315	.293	
				1.028	233.454	.305

#### 4.4.5.3 直行超越偏向狀況

由 4.4.5 之定義行人間距 D，本研究對於直行超越偏向模式之前提假設為行人於超越前會在其人體寬度之延伸線前，後方行人並非在前方行人之人體寬度延伸線上，係由從旁先超越前方行人，而後有一偏向角移動至原前方行人之人體寬度延伸線上。故紀錄方式為先尋找從旁超越前方行人再而有偏向角超至原前方行人之人體寬度延伸線，即停止紀錄表示直行超越偏向模式已產生結束紀錄。

依資料所得 30 組直行超越偏向行人之平均起始行人間距整理如下表 47：

表 47 直行超越偏向起始行人間距統計表

組別	D(cm)
平均距離	103.000
平均距離(男)	108.095
平均距離(女)	91.111
標準差(男)	23.584
標準差(女)	25.221
混合標準差	24.934
最小值	40
最大值	160

從上表中女性超越者平均起始距離比男性要短，由表 48 之獨立 t 檢定顯示，F 的相伴機率為 0.976 大於顯著水準 0.05，不能拒絕變異數相等的假設，可認為後方之超越行人者速度變異數並無顯著差異；由於不假設變異數相等之 t 統計量顯著性為 0.087 大於 0.05，故不拒絕虛無假設，表示後方之超越行人速度並不會因為男性或女性會有顯著差異。由於本模式之前制行為與直行超越模式較相同，僅差異有偏向角移動超越至原前方行人前。

表 48 直行超越偏向後方行人性別與起始距離之獨立 t 檢定

起始 間距	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
假設變異數相等	.001	.976	1.772	28	.087
不假設變異數相等			1.723	14.315	.106

下圖 34 表示行人間距距離之次數分配圖。

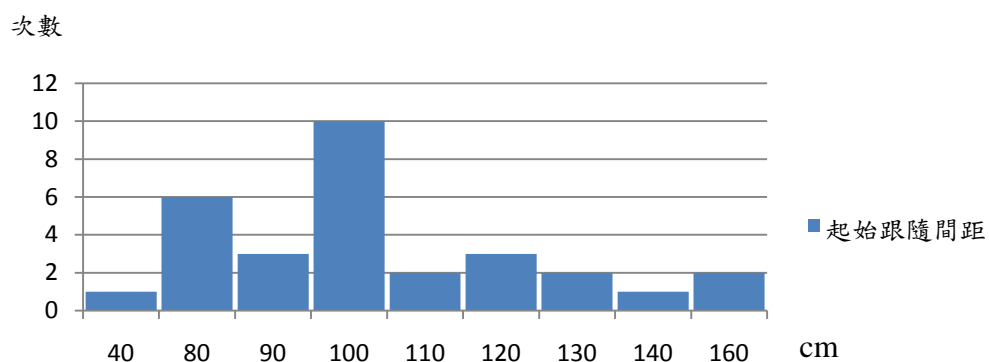


圖 34 直行超越偏向行人間距 D 次數分配圖

本研究再考慮性別因素之差異性，由表 49 中發現，由於男性與女性間之行人間距並無顯著差異，故繼續進行統計檢定，將自跟隨開始至跟隨結束止的資料

全部依性別分組，其中由於本研究討論超越之情形，故資料中會有 0 與負值產生，0 之情形表示後方行人與前方行人已無行人間距，而負值即表示超越情形產生。由下表表示前方與後方，行走之男性或女性之距離統計表，檢定結果如下表 50 所示。前方與後方準備超越者性別與行人間距檢定，均會拒絕虛無假設，由於本模式討論狀況較多於後方行人以超越前方行人狀況，由此可得會拒絕虛無假設。行人間距會隨著超越的狀況而縮短，故因次由此可發現與前述兩種模式較不相同，可能因為後方行人可能會再以一偏向角來移動超越前方行人。

表 49 直行超越偏向前後性別分組之距離統計表

距離組別	性別	前方		後方	
		平均數(cm)	標準差	平均數(cm)	標準差
	男	-7.471	134.927	30.489	119.991
	女	37.164	94.969	1.846	78.224

表 50 直行超越偏向行人間距與前後方性別之獨立 t 檢定

行人間距		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性
		前方性別與行人間距之檢定	5.631	.018	-4.223	490
後方性別與行人間距之檢定	18.519	.000	2.534	490	.012	
				-3.734	231.032	.000
				3.074	349.850	.002

#### 4.4.6 跟隨至超越之時間

時間是個重要的因素，由於在超越的狀況中，前後行人之間的距離會漸漸縮小直到後方行人超越前方行人，而發生此段行為的時間係為一考量指標。本研究欲研究發生超越行為的時間長短是否對於行人超越行為有所影響，故於此節進而加以討論。

##### 4.4.6.1 直行超越狀況

本節主要探討行人發生行人間距時，從紀錄後方行人開始跟隨至跟隨行為結束有超越之情況為止，中間經過時間的長度，總共 75 組行人資料故共有 75 筆跟隨時間之紀錄。本節之模式為直行超越模式下，由於資料之蒐集已 0.5 秒為間隔，當後方行人超越前方行人即終止紀錄，此為研究限制之一，本研究將就觀察所得之確切跟隨至超越之時間進行研究分析。由下表 51 可得知，整體平均跟隨至超越之時間為 2.74 秒，最短時間為 1.0 秒，最長時間為 7.5 秒。

表 51 直行超越跟隨至超越時間統計表

	性別	最小值	最大值	平均數	標準差
時間		1.00	7.50	2.7333	1.2610
前方	女			2.6806	1.3478
	男			2.7821	1.1909
後方	女			3.2105	1.5927
	男			2.5714	1.0972

將前方性別分組計算跟隨時間與將後方性別分組計算跟隨時間，發現當前方行人為女性時，平均模式時間為 2.6806 秒，較前方行人為男性之 2.7821 秒要少；但當後方超越者為女性時，其模式時間為 3.2105 秒卻會男性超越者之時間還長。故再進行獨立檢定，確定是否此一顯著性差異。

表 52 直行超越跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定

組別		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方性別	假設變異數相等	.385	.537	-.346	73	.730
	不假設變異數相等			-.344	70.096	.732
後方性別	假設變異數相等	1.254	.266	1.944	73	.056
	不假設變異數相等			1.623	24.060	.118

由表 52 中可得知，雖然平均數上性別的不同使得模式時間有不同，但是在統計檢定上，討論前方性別對跟隨至超越時間的影響，由於其顯著性 = 0.537 > 0.05，不能拒絕變異數相等，故可認為不論前方性別為男或女並無差異，且男女間並不存在顯著差異。觀察後方性別時發現，因為 t 檢定結果為 0.056 略大於 0.05，仍不能拒絕 t 檢定之虛無假設，故性別並不存在顯著差異。以上情況推測可能有樣本分配不均之情形產生，故而有此一結果。

#### 4.4.6.2 偏向直行超越狀況

本節主要探討行人發生行人間距時，從紀錄後方行人開始跟隨至跟隨行為結束有超越之情況為止，中間經過時間的長度，總共 30 組行人資料故共有 30 筆跟隨時間之紀錄。本節之模式為偏向直行超越模式下，由於資料之蒐集已 0.5 秒為間隔，當後方行人超越前方行人即終止紀錄，此為研究限制之一，本研究將就觀察所得之確切跟隨至超越之時間進行研究分析。由下表 53 可得知，整體平均跟隨至超越之時間為 4.767 秒，最短時間為 1.0 秒，最長時間為 9 秒。

表 53 偏向直行超越跟隨至超越時間統計表

	性別	最小值	最大值	平均數	標準差
時間		1.00	9.00	4.767	2.083
前方	女			4.875	1.848
	男			4.643	2.389
後方	女			5.55	2.229
	男			4.375	1.946

將前方性別分組計算跟隨時間與將後方性別分組計算跟隨時間，發現當前方領導者為女性時，平均模式時間為 4.875 秒，較前方領導者為男性 4.623 秒要多；當後方超越者為女性時，其模式時間為 5.55 秒會男性超越者之跟隨至超越時間 4.375 還長。故再進行獨立檢定，確定是否此一顯著性差異。

表 54 偏向直行超越跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定

組別		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方性別	假設變異數相等	2.288	.142	.300	28	.767
	不假設變異數相等			.295	24.385	.771
後方性別	假設變異數相等	.241	.628	1.486	28	.148
	不假設變異數相等			1.418	16.059	.175

由表 54 中可得知，從變異數相等的 Levene 檢定顯著性皆大於 0.05，由此可發現不論前方性別或後方性別皆不能拒絕變數相等的假設，可認為前方性別與跟隨至超越時間及後方性別與跟隨至超越時間變異數並無顯著差異。進而觀察 t 統計量的相伴機率，發現兩者亦皆會大於 0.05，不能拒絕 t 檢定的虛無假設，表示前方行人與跟隨時間及後方行人與跟隨時間並不存在顯著差異。也就是說男女性別不同會使得跟隨至超越時間有所不同，前方與後方行人做出結果皆相同。以上情況推測應為樣本數不夠多，且可能有分配不均之情形產生，故而有此一結果。

#### 4.4.6.3 直行超越偏向狀況

本節主要探討行人發生行人間距時，從紀錄後方行人開始跟隨至超越至原本前方行人為止，中間經過時間的長度，總共 30 組行人資料故共有 30 筆跟隨時間之紀錄。本節之模式為直行超越偏向模式下，由於資料之蒐集已 0.5 秒為間隔，當後方行人從橫移至超越前方行人到其原本前方行人人體寬度延伸線即終止紀錄，此為研究限制之一，本研究將就觀察所得之確切跟隨至超越之時間進行研究



分析。由下表 55 可得知，整體研究模式平均時間為 7.7 秒，最短時間為 3.5 秒，最長時間為 15 秒。

表 55 直行超越偏向跟隨至超越時間統計表

	性別	最小值	最大值	平均數	標準差
跟隨時間		3.5	15	7.7	2.855
前方	女			7.875	3.052
	男			7.350	2.528
後方	女			6.722	1.787
	男			8.119	3.150

將前方性別分組計算跟隨至超越時間與將後方性別分組計算跟隨至超越時間，發現當前方領導者為女性時，平均模式時間為 7.875 秒，較前方領導者為男性 7.350 秒要多；當後方超越者為女性時，其跟隨時間為 6.722 秒會少於男性超越者之跟隨時間 8.119。故再進行獨立檢定，確定是否此一顯著性差異。

表 56 直行超越偏向跟隨至超越時間與性別之獨立 t 檢定

組別		變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
		F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)
前方性別	假設變異數相等	.767	.389	-.468	28	.643
	不假設變異數相等			-.499	21.487	.623
後方性別	假設變異數相等	2.707	.111	1.240	28	.225
	不假設變異數相等			1.536	25.442	.137

由表 56 中可得知，從變異數相等的 Levene 檢定顯著性皆大於 0.05，由此可發現不論前方性別或後方性別皆不能拒絕變數相等的假設，可認為前方性別與跟隨至超越時間及後方性別與跟隨至超越時間變異數並無顯著差異。進而觀察 t 統計量的相伴機率，發現兩者亦皆會大於 0.05，不能拒絕 t 檢定的虛無假設，表示前方行人與跟隨至超越時間及後方行人與跟隨至超越時間並不存在顯著差異。也就是說男女性別不同會使得跟隨至超越時間有所不同，前方與後方行人做出結果皆相同。

#### 4.4.6.4 跟隨至超越時間之綜合比較

本研究將研究 3 種不同性別情形，將直行超越、偏向直行超越與直行超越偏向討論再跟隨至超越時間上是否有顯著關係。也就是研究不同行人行為狀態與不



同性別對跟隨至超越時間的影響關係。若則需利用 ANOVA 檢定來判斷組間與組內的差異，首先下表 57 第一個表格表示各個控制變數階層下觀察個案個數，第二個表格則為 Homogeneity of variance test 之結果，為了滿足進行 ANOVA 的條件，即為變異數檢定需為相等，結果檢定值為 0.078 大於 0.05，因此可以認為各組母體變異數相等，故滿足此條件則繼續進行檢定。

表 57 終止原因與跟隨時間同質性檢定表

受試者間因子		
		個數
組別	偏向直行超越	30
	直行超越	75
	直行超越偏向	30
性別	女	38
	男	97

誤差變異量的 Levene 檢定等式<sup>a</sup>

依變數:時間

F	df1	df2	顯著性
2.032	5	129	.078

檢定各組別中依變數誤差變異量的虛無假設是相等的。

a. Design: 截距 + 組別 + 性別 + 組別 \* 性別

而受測者間效應 ANOVA 檢定結果如下表 58，不同情況（即組別）和性別互動作用的離差平方和為 8.787，均方和為 4.393。F 值與相伴機率分別為 0.881 與 0.417。表示其互動作用會對觀察結果造成顯著影響。觀察組別與性別的相伴機率分別為 24.696、0.000 與 0.159、0.691，其中組別觀測到相伴機率為 0.000 小於 0.05 表示拒絕虛無假設，表示不同的狀況會造成跟隨至超越時間造成顯著影響，但性別則對跟隨至超越時間並沒有顯著影響。

表 58 終止原因與跟隨時間受試者間效應項的檢定 ANOVA 表

依變數:時間

來源	型 III 平方和	df	平均平方和	F	顯著性
校正後的模式	357.163 <sup>a</sup>	5	71.433	14.331	.000
截距	3013.275	1	3013.275	604.533	.000
組別 (模式時間)	246.196	2	123.098	24.696	.000
性別	.791	1	.791	.159	.691
組別 * 性別	8.787	2	4.393	.881	.417
誤差	642.996	129	4.984		
總數	4410.250	135			
校正後的總數	1000.159	134			

a. R 平方 = .357 (調過後的 R 平方 = .332)

下表 59 為 LSD 多重比較表，從結果可以看出組別變數各個相伴機率都會小於 0.05，表示三個組間都存在顯著差異。

表 59 LSD 法多重比較表

依變數:時間

	(I) 組別	(J) 組別	平均差異			95% 信賴區間	
			(I-J)	標準誤差	顯著性	下界	上界
LSD	偏向直行超越	直行超越	1.1367*	.48229	.020	.1824	2.0909
		直行超越偏向	-2.8833*	.57645	.000	-4.0239	-1.7428
	直行超越	偏向直行超越	-1.1367*	.48229	.020	-2.0909	-.1824
		直行超越偏向	-4.0200*	.48229	.000	-4.9742	-3.0658
	直行超越偏向	偏向直行超越	2.8833*	.57645	.000	1.7428	4.0239
		直行超越	4.0200*	.48229	.000	3.0658	4.9742

根據觀察值平均數。

誤差項為平均平方和 (錯誤) = 4.984。

\*. 平均差異在 .05 水準是顯著的。

由下圖 35 中可看出並沒有顯著的互動作用影響，在 3 種不同組別間，其平均跟隨至超越時間的差異與其值中，直行超越偏向的情況會高於其他直行超越與偏向直行超越狀態。

時間的估計邊緣平均數

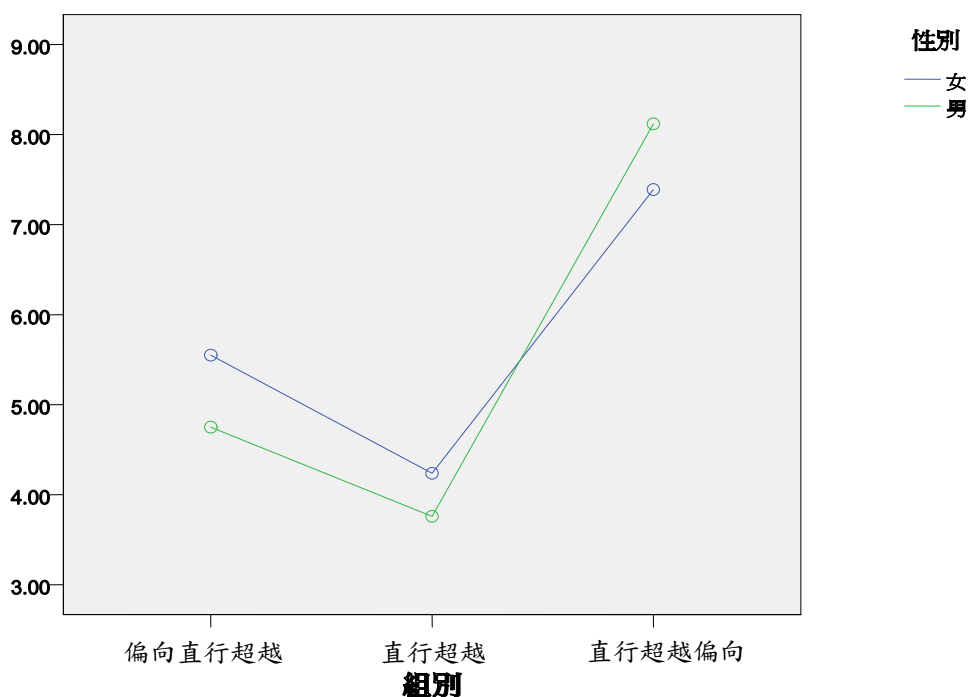


圖 35 不同跟隨終止原因與其平均跟隨時間圖

#### 4.5 小結

本研究為了討論研究行人流之超越行人行為的移動方式與特性，將影響行人因素與行人流動之相關特性進行研析分析，藉此了解行人在行人穿越道中各種影響因素與行人行為特性之關聯性加以討論，進而構建微觀行人超越橫移模式。藉由現場錄影蒐集台北市不同路口行人穿越道資料，依研究所需定義行人超越橫移模式，從錄影資料中總共觀察 149 組行人樣本共 298 個行人，但尚不討論周遭行人流動密度之關係，擷取出直行超越行為共 75 組，偏向直行超越行為共 30 組，直行超越偏向行為共 30 組，並加上越過前方行人行為共 14 組（由於資料樣本不易蒐集，且樣本數較不足並不探討其中關係），其中男性共 180 人，女性共 118 人。以下將第四章各節之三種模式討論各別特性作統整小結。

##### 4.5.1 直行超越行為

(1) 在性別方面：

討論利用直行超越方式超越前方行人，其中若不論前方行人性別為何，則會有 74.67% 後方超越者為男性；不論前方行人性別為何，使用此方法之女性所占比例為 25.33%。

(2) 在超越速度方面：

前方行人平均速度為 108.215 cm/s，後方行人平均速度為 152.127 cm/s，利用成對 t 檢定在 95%的信賴水準下，前方行人速度與後方行人速度有顯著差異，其相關係數為 0.490 屬於中度相關。而獨立 t 檢定結果表示不論後方超越者性別為何，對速度並無顯著差異。

本研究假設三種不同假設，在 95%信賴水準下提出了：

1. 後方超越者速度不因前方領導者性別不同而有差異。
2. 前方行人為女性時，後方超越者的速度在性別上是無差異。
3. 前方行人為男性時，後方跟隨者的速度在性別上是有差異。

在此種模式下結論出，前方行人為女性較易用本模式超越。

(3) 在加速度方面：

前後行人之加速度之 Pearson 相關係數為顯著，且有低度相關，但由於行人之加速度會因為行人個人心理與其他因素所影響，於本研究中並無法切確求得精確值僅能大約估計，而加速度僅能由速度的資料推估而出，因此並無法再進一步分析其他各種關係。

(4) 偏向角：

由於橫向移動可視為偏向角等於 0 度之一種特例，於此並不討論偏向角與其他各種關係。

(5) 在起始行人間距與行人間距方面：

由於本研究之前提假設下，本模式之起始跟隨至超越距離集中於 70 至 120cm，其中後方行人若為男性則起始行人間距會比女性還要長，利用獨立性 t 檢定驗證得出不論討論前方性別與後方性別與起始行人間距並無顯著關係，也就是行人間距與後方行人性別並無顯著關係。

(6) 在跟隨至超越時間方面：

探討行人發生直行超越行為後，至研究設計的行為結束為止，整體平均模式時間為 2.733 秒，最短模式時間為 1.0 秒，最長為 7.5 秒。而當前方領導者為女性時，後方平均模式時間為 2.6806 秒，較前方領導者為男性之 2.7821 秒要多；同樣當後方跟隨者為女性時，其跟隨時間為 3.2105 秒也較後方男性跟隨者長。進行獨立性 t 檢定，結果為前方行人與及方行人之跟隨時間並不存在顯著差異。也就是說男女性別不同會使得跟隨至超越時間有所不同。

#### 4.5.2 偏向直行超越行為

(1) 在性別方面：

在偏向直行超越行為下，不論前方行人性別為何，若後方行人為男性，則會有 70% 比例會使用此種方式；若後方行人為女性，則不論前方性別為何，則有 30% 的比例使用此種方式。

(2) 在超越速度方面：

前方行人平均速度為 102.963 cm/s，後方行人平均速度為 139.630 cm/s，利用成對 t 檢定在 95% 的信賴水準下，前方行人速度與後方行人速度有顯著差異。而獨立 t 檢定結果表示不論後方超越者性別為何，對速度並無顯著差異。

本研究假設三種不同假設，在 95% 信賴水準下提出了：

1. 後方超越者速度會因前方領導者性別不同而有差異。
2. 前方行人為女性時，後方超越者的速度在性別上是無差異。
3. 前方行人為男性時，後方跟隨者的速度在性別上是有差異。

在此種模式下結論出，後方行人為女性欲使用此模式需要較高之速度。

(3) 在加速度方面：

前後行人之加速度之 Pearson 相關係數為顯著，且有高度相關之特性，但由於行人之加速度會因為行人個人心理與其他因素所影響，於本研究中並無法切確求得精確值僅能大約估計，而加速度僅能由速度的資料推估而出，因此並無法再進一步分析其他各種關係。

(4) 在偏向角方面：

本研究樣本中，以後方男性行人用偏向角小於 45° 超越前方行人之情形較多，占總樣本的 33.33%，較多樣本行為是利用小於 45 度偏向角偏向直行超越前方行人，利用交叉比較前方行人與後方行人之偏向角關係，發現當後方行人為男性較容易用偏向角小於 45° 的方式超越前方女性行人。

(5) 在起始行人間距與行人間距方面：

在本模式下可發現女性之平均起始行人間距會大於男性平均起始行人間距，透過獨立 t 檢定得後方行行速度並不會因為性別而有顯著差異，由此可推估男性可能在較短的距離間距下決定使否以偏向角移動偏向直行超越超過前方行人。在前方與後方行人性別與行人間距檢定下，表示不會因為前方行人或是後方行人對行人間距長短有所差異。

(6) 在跟隨時間方面：

探討行人發生偏向直行超越行為後，至研究設計的行為結束為止，整體平均模式時間為 4.767 秒，最短模式時間為 1.0 秒，最長為 9.0 秒。

而當前方領導者為女性時，後方平均模式時間為 4.875 秒，較前方領導者為男性 4.643 秒要多；同樣當後方行人為女性時，其模式時間為 3.125 秒也較男性長。進行獨立性 t 檢定，結果為前方行人與後方行人之跟隨時間並不存在顯著差異。也就是說男女性別不同會使得跟隨至超越時間有所不同。

#### 4.5.3 直行超越偏向行為

##### (1) 在性別方面：

在此種模式下，會有 66.67% 的比例的男性會使用此種方式，其中若後方行人為男性超越前方女性會有 75% 的比例，若後方行人為男性超越前方為男性的比例為 25%；若後方行人為女性，不論前方行人性別為何，則會有 33.33% 會使用此種模式。

##### (2) 在跟隨速度方面：

前方行人平均速度為 109.870 cm/s，後方行人平均速度為 144.978 cm/s，利用成對 t 檢定在 95% 的信賴水準下，前方行人速度與後方行人速度有顯著差異。而獨立 t 檢定結果表示後方超越者性別對速度有顯著差異。

本研究假設三種不同假設，在 95% 信賴水準下提出了：

1. 後方超越者速度不會因前方領導者性別不同而有差異。
2. 前方行人為女性時，後方超越者的速度在性別上是無差異。
3. 前方行人為男性時，後方跟隨者的速度在性別上是有差異。

在此種模式下結論出，後方行人欲超越前方男性行人需要較高的速度，而後方行人會因為性別有所不同。

##### (3) 在加速度方面：

前後行人之加速度之 Pearson 相關係數，其顯著性為  $0.012 < 0.05$  故顯著，且有低度相關，但由於行人之加速度會因為行人個人心理與其他因素所影響，於本研究中並無法切確求得精確值僅能大約估計，而加速度僅能由速度的資料推估而出，因此並無法再進一步分析其他各種關係。

##### (4) 在偏向角方面：

本研究樣本中，以後方男性行人用偏向角小於  $45^\circ$  超越前方行人之情形較多，占總樣本的 46.67%，較多樣本行為係利用偏向角小於  $45^\circ$  的方式先橫移後超至前方行人前，本研究發現樣本情形前方行人多數為女性。

##### (5) 在起始行人間距與行人間距方面：



本模式下男性平均行人間距會大於女性平均行人間距，後方行人之性別與起始行人間距並不會有顯著差異，此處與橫移模式相似。透過獨立性 t 檢定討論行人間距與前後行人之性別之關係發現，會有差異存在，對於起始行人間距並無差異，但若討論前後方行人性別則會有顯著差異，此為與前述兩種模式不同之處，由於會有一偏向角移動至原本前方行人前，而越過前方後會使得行人間距產生負值，此為本結果之原因。

(6) 在跟隨時間方面：

探討行人發生直行超越偏向行為後，至研究設計的行為結束為止，整體平均模式時間為 7.7 秒，最短模式時間為 3.5 秒，最長為 15.0 秒。而當前方領導者為女性時，後方平均模式時間為 7.875 秒，較前方領導者為男性 7.350 秒要多，但當後方行人為女性時，其模式時間為 6.722 秒卻比男性短。進行獨立性 t 檢定，結果為前方行人與及方行人之跟隨時間並不存在顯著差異。也就是說男女性別不同會使得跟隨至超越時間有所不同。

本研究至此對於行人超越移動的行為特性已有初步瞭解，然而過去車流理論模式中因為不易觀察到駕駛的性別，故沒有此一變數，但本研究則發現行人的性別對於一些變數仍然具有影響力，故後續行人超越移動行為模式之建構，將納入前方行人性別與後方行人性別之變數，期能獲得更佳的模式解釋能力。



## 第五章 模式建構與驗證分析

由上一章節分析，可知超越前方行人行為可能受到速度差異、行人間距、性別異同等因素影響，故本研究利用上述討論之影響因素為基礎，構建行人超越模式。再依所分析各種不同超越前方行人模式（直行超越、超越橫移、橫移超越、越過前方行人），利用各不同影響因素建立構建模式。

一般建構方程式可以利用加速度與偏向角來建構模式，由於行人之加速度不固定，行人行為有較大的隨機性，故尚不能以加速度構建模式。偏向角方面亦因為行人行為不能清楚界定偏向角度，僅可以簡單判別是否以角度大小來偏向。然而本研究之研究假設以 0.5 秒為間隔，紀錄各時間點下行人行走距離，因此速度即可確定，故本研究將採取利用速度為依變數，進而討論其他變數對速度的影響進而構建出行人微觀模式之各種行為。

### 5.1 模式建構

#### 5.1.1 直行超越模式

根據文獻回顧之結果與本研究之資料分析，本模式中依變數為後方行人速度 (Vb)，自變數則設為前方行人速度 (Va)、前後行人速度差 ( $\Delta V$ )、前方行人性別 (G1)、後方行人性別 (G2)、行人間距 (D)、完成超越時間 (T)。以 75 組行人資料共 408 筆資料進行模式中依變數與自變數間相關分析，並取出較高程度者進行模式構建。

表 60 直行超越後方速度模式變數相關分析表

依變數 \ 自變數	前方性別	後方性別	行人間距	前方速度	速度差	完成超越時間	
	(G1)	(G2)	(D)	(Vf)	( $\Delta V$ )	(T)	
後方速度	Pearson 相關	-.004	.134**	.267**	.489**	.679**	-.250**
	顯著性 (雙尾)	.937	.007	.000	.000	.000	.000

\*\*表相關顯著

由上表 60 可知，自變數中以後方性別 (G2)、行人間距 (D)、前方行人速度 (Va)、前後行人速度差 ( $\Delta V$ ) 與模式時間 (T) 等五項變數對於後方行人速度有顯著相關，由表可看出模式時間是負相關，其餘變數皆為正相關。因速度差變數中數值的取得與依變數有關，可能會有共線性的情況產生會導致結果有偏誤，故本研究先行刪除該變數。

資料之輸入有四種方式，有強制輸入法、逐步迴歸法、向前法與向後法。先將速度差這項變數剔除後，先以其餘五項變數個別以四種方法利用程式跑出 R

平方值，再將前方性別剔除以四項變數進行軟體建構，最後選出 R 平方最大與較有解釋能力的模式來加以說明。此時本研究模式利用迴歸法中的逐步迴歸法進行說明。其中利用逐步迴歸法所剔除變數有前方性別與後方性別，統計中變數篩選結果如下表 61 所示。

表 61 直行超越後方速度模式自變數逐步迴歸篩選表

模式	選入的變數	R	R 平方	調過後的 R 平方	刪除的變數	方法
1	前方速度 (Va)	.489	.240	238	前方性別 (顯著性為 0.634) .	逐步迴歸分析法
2	完成超越時間(T)	.619	.383	.380		(準則:
3	行人間距 (D)	.671	.451	.446	後方性別 (顯著性為 0.925) .	F-選入的機率 $\leq .050$
						F-刪除的機率 $\geq .100$ 。

表 62 直行超越後方速度模式 ANOVA 表

模式		平方和	df	平均平方和	F	顯著性
1	迴歸	207156.266	1	207156.266	127.914	.000 <sup>a</sup>
	殘差	657514.322	406	1619.493		
	總數	864670.588	407			
2	迴歸	331574.004	2	165787.002	125.95	.000 <sup>b</sup>
	殘差	533096.585	405	1316.288		
	總數	864670.588	407			
3	迴歸	389568.190	3	129856.063	110.422	.000 <sup>c</sup>
	殘差	475102.398	404	1175.996		
	總數	864670.588	407			

由表 62 為後方速度模式 ANOVA 表，表示當各個變數依次帶入迴歸式時之各項值。本研究之後方行人速度模式的  $R^2$  為 0.451，但因複迴歸模式需進行調整，調整後之  $R^2$  為 0.446，不甚良好。再經由 ANOVA 表可得知模式在  $\alpha=0.05$  時具有相當之顯著水準。而模式中自變數之間的共線性問題，進行共線性診斷，其後方行人速度模式共線性診斷表 63 如下：

表 63 直行超越後方行人速度模式共線性診斷表

模 式	維 度	特 徵 值	條 件 指 標	變異數比例			
				(常數)	前方速度	完成超越 時間	行人間距
1	1	1.950	1.000	.02	.02		
	2	.050	6.250	.98	.98		
2	1	2.855	1.000	.01	.01	.02	
	2	.097	5.430	.05	.28	.90	
	3	.048	7.733	.94	.71	.09	
3	1	3.395	1.000	.01	.01	.01	.03
	2	.461	2.713	.01	.01	.01	.96
	3	.096	5.953	.04	.04	.89	.01
	4	.048	8.439	.94	.94	.09	.00

由上表中可以發現任兩變項沒有在同一個特徵值上的變異數比例尚未接近1，故可說明本模式剩餘四項自變數並無共線性問題。則本模式係數表 64 如下：

表 64 直行超越後方行人速度模式係數表

模 式		未標準化係數		標準化 係數		t	顯著性	共線性統計量	
		B 之估 計值	標準誤 差	Beta	分 配			允差	VIF
3	(常數)	115.504	6.204			18.616	.000		
	前方速度	.784	.049	.604		15.856	.000	.936	1.068
	完成超越時間	-11.357	1.320	-.334		-8.604	.000	.901	1.110
	行人間距	.336	.048	.267		7.022	.000	.941	1.062

故本研究之後方行人速度模式表示如下：

$$Vb = 115.504 + 0.784(Va) - 11.357(T) + 0.336(D)$$

而本模式之殘差分析如下表 65，可發現本模式之殘差平均值為 0，圖 36 為標準化殘差圖與圖 37 為模式殘差 P-P 圖。本模式之 RMSE 均方根誤差為 36.08122、MAPE 為 19.5534%，說明本模式具有良好的預測水準。

圖 38 顯示出本模式對於後方行人速度之預測值與觀察值間之誤差，圖下方之誤差線為絕對值誤差率(APE)，從圖中可看出，本模式多數的預測值與實際觀察值差距不大，其中偶有誤差率超過 50%，但整體而言仍為可接受之範圍，故本模式利用前方行人速度(Vf)、後方性別(G2)與完成超越時間(T)等三項自變數求得之後方行人速度模式具有一定解釋能力，為可用之模式。

表 65 直行超越後方行人速度模式殘差統計量表

	最小值	最大值	平均數	標準離差	個數
預測值	62.1940	262.4394	152.0588	30.93816	408
調整預測值	62.7424	261.4578	151.9734	30.87314	408
殘差	-91.14397	143.94659	.00000	34.16618	408
標準殘差	-2.658	4.198	.001	.996	408

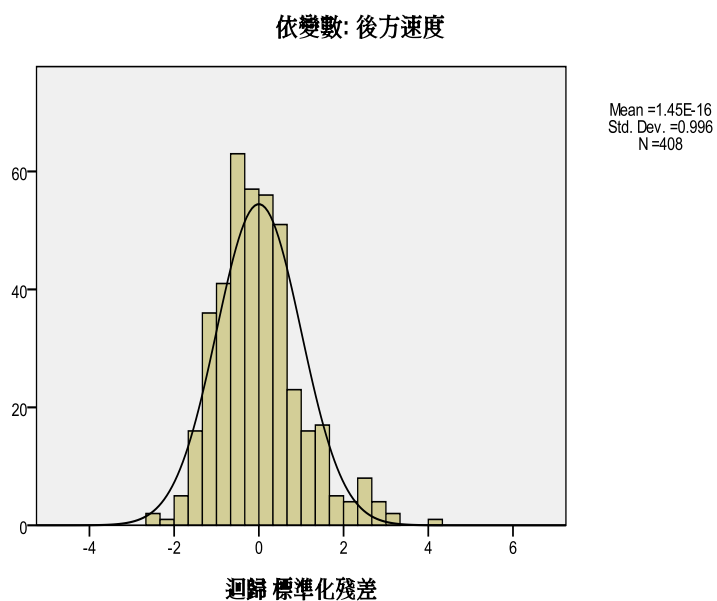


圖 36 直行超越之後方行人速度模式標準化殘差圖

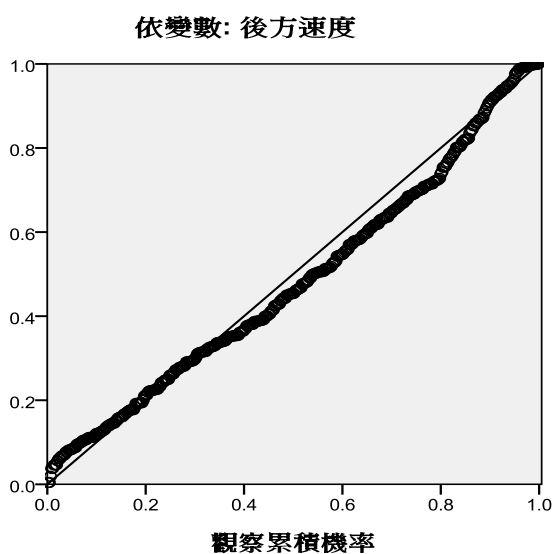


圖 37 直行超越之後方行人速度模式殘差 P-P 圖

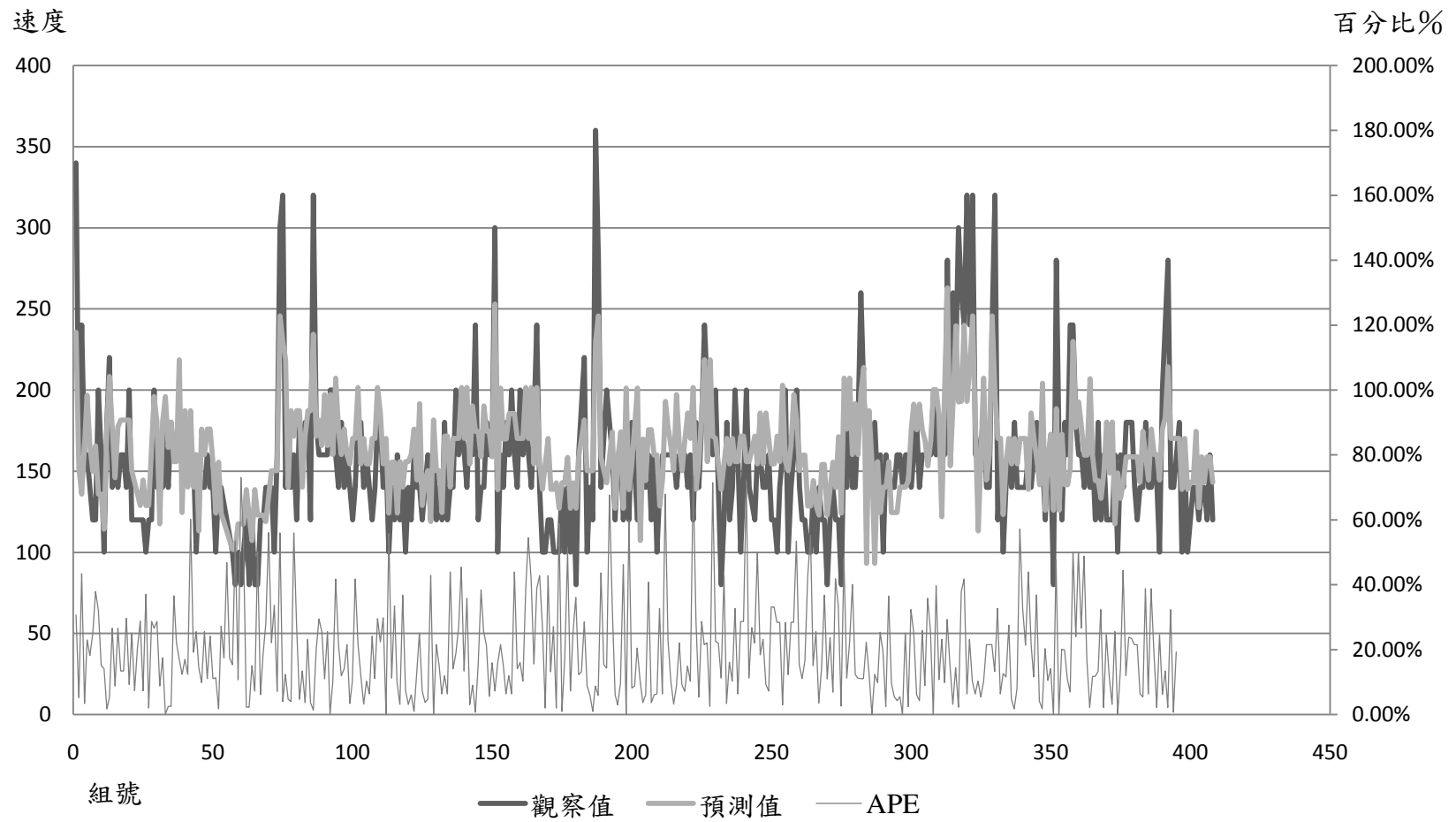


圖 38 直行超越之後方行人速度模式比較圖



### 5.1.2 偏向直行超越模式

由 4.4 節資料分析結果，本模式中假設依變數為後方行人速度(Vb)，自變數則設為前方行人速度(Va)、前後行人速度差( $\Delta V$ )、前方行人性別(G1)、後方行人性別(G2)、行人間距(D)、完成超越時間(T)。以 30 組行人資料共 285 筆資料進行模式中依變數與自變數間相關分析，並取出較高程度者進行模式構建，其中由於有幾項數值較特別故視為離群值因此剔除，最後以 278 筆資料來進行模式建構。

表 66 偏向直行超越後方速度模式變數相關分析表

依變數	自變數	前方 性別 (G1)	後方 性別 (G2)	行人 間距 (D)	前方 速度 (Vf)	速度差 ( $\Delta V$ )	偏向 角度 ( $\theta$ )	完成超 越時間 (T)
後方 速度	Pearson 相關	.190**	-.067	.251**	.417**	.620**	-.329**	-.047
	顯著性 (雙尾)	.001	.264	.000	.000	.000	.000	.432

\*\*表相關顯著

由上表 66 可知，自變數中以前方性別(G1)、行人間距(D)、前方行人速度(Va)、前後行人速度差( $\Delta V$ )與偏向角度( $\theta$ )等五項變數對於後方行人速度有顯著相關，除了行人間距與偏向角度是負相關，其餘變數皆為正相關。因速度差此項變數中數值的取得與依變數有關，可能會有共線性情形產生，會導致結果有偏誤的產生，故本研究先行刪除該變數。

此時本研究採取利用迴歸法中的逐步迴歸法進行變數篩選，先前運用五種方法：強制輸入法、逐步迴歸法、移除法、向後法與向前法，之後先自行比較分析各種模式間不同，由於逐步迴歸法所求得之 R 平方值為最佳，本研究將統計變數篩選結果以逐步迴歸法來展示。本研究發現，若僅將顯著的相關性分析因素單純考慮迴歸式，其 R 平方值並不佳，但將所有原本所有變數皆放入，其結果會比單純考慮顯著因素還要好，故本模式下本研究將運用各顯著變數來說明，統計中變數篩選結果如下表 67 所示，當利用逐步迴歸法時，後方性別並不能被逐步迴歸所接受，即將後方性別此變數刪除不討論。

表 67 偏向直行超越後方速度模式自變數逐步迴歸篩選表

模式	選入的變數	R	R 平方	調過後的 R 平方	刪除的變數	方法
1	前方速度 (Va)	.417	.174	.171	後方性別	逐步迴歸分析法
2	行人間距 (D)	.496	.246	.241	(顯著性為 0.46)	(準則:
3	完成超越時間(T)	.540	.291	.283		F-選入的機率 <= .050
4	偏向角 ( $\theta$ )	.597	.357	.347		F-刪除的機率 >= .100)。
5	前方性別 (G1)	.608	.369	.358		

表 68 偏向直行超越後方速度模式 ANOVA 表

模式		平方和	df	平均平方和	F	顯著性
1	迴歸	69249.849	1	69249.849	58.151	.000 <sup>a</sup>
	殘差	328679.647	276	1190.868		
	總數	397929.496	277			
2	迴歸	97971.758	2	48985.879	44.910	.000 <sup>b</sup>
	殘差	299957.739	275	1090.755		
	總數	397929.496	277			
3	迴歸	115852.889	3	38617.630	37.512	.000 <sup>c</sup>
	殘差	282076.607	274	1029.477		
	總數	397929.496	277			
4	迴歸	142029.044	4	35507.261	37.880	.000 <sup>d</sup>
	殘差	255900.453	273	937.364		
	總數	397929.496	277			
5	迴歸	147013.516	5	29402.703	31.873	.000 <sup>e</sup>
	殘差	250915.981	272	922.485		
	總數	397929.496	277			

表 68 為後方速度模式 ANOVA 表，表示當各個變數依次帶入迴歸式時之各項值。本研究後方行人速度模式的  $R^2$  為 0.369，但因複迴歸模式需進行調整，調整後之  $R^2$  為 0.358，不甚良好。再經由 ANOVA 表可得知模式在  $\alpha=0.05$  時具有相當之顯著水準。而模式中自變數之間的共線性問題，進行共線性診斷表 69 如下：

表 69 偏向直行超越後方速度模式共線性診斷表

模式	維度	特徵值	條件指標	變異數比例					
				(常數)	前方速度	偏向角	完成超越時間	行人間距	前方性別
1	1	1.953	1.000	.02	.02				
	2	.047	6.450	.98	.98				
2	1	2.638	1.000	.01	.01	.05			
	2	.318	2.880	.02	.03	.89			
	3	.044	7.715	.96	.95	.06			
3	1	3.554	1.000	.00	.01	.02	.01		
	2	.331	3.276	.01	.01	.90	.01		
	3	.074	6.919	.01	.60	.05	.81		
	4	.041	9.334	.97	.38	.02	.17		
4	1	3.965	1.000	.00	.00	.02	.01	.02	
	2	.656	2.459	.00	.00	.13	.00	.13	
	3	.275	3.795	.01	.05	.75	.03	.76	
	4	.072	7.404	.00	.53	.04	.67	.04	
	5	.031	11.288	.99	.42	.06	.29	.06	
5	1	4.491	1.000	.00	.00	.01	.00	.01	.02
	2	.665	2.598	.00	.00	.10	.00	.51	.03
	3	.449	3.095	.00	.00	.09	.01	.00	.92
	4	.272	4.062	.01	.05	.70	.04	.20	.03
	5	.072	7.907	.00	.53	.04	.66	.02	.01
	6	.031	12.013	.99	.41	.06	.29	.26	.00

由上表中可以發現最終模式 5 中任兩變項沒有在同一個特徵值上的變異數比例接近 1，故可說明本模式剩餘五項自變數並無共線性問題。則本模式係數表 70 如下：

表 70 偏向直行超越後方速度模式係數表

模式	未標準化係數		標準化係數	t	顯著性	共線性統計量	
	B 之估計值	標準誤差	Beta 分配			允差	VIF
5 (常數)	117.326	8.812		13.314	.000		
前方速度	.488	.057	.430	8.505	.000	.907	1.102
偏向角	-21.766	4.056	-.286	-5.367	.000	.877	1.225
完成超越時間	-5.878	1.025	-.302	-5.736	.000	.834	1.200
行人間距	.133	.029	-.238	-4.636	.000	.877	1.140
前方性別	8.651	3.722	.114	2.325	.021	.967	1.034

故本研究之行人速度偏向直行超越模式表示如下：

$$V_b = 117.326 + 0.488(V_a) - 21.766(\theta) - 5.878(T) + 0.133(D) + 8.651(GI)$$

模式中常數項與五項自變數在統計上皆達到顯著，說明可以本式來說明後方行人速度，其中前方行人速度，表示前方行人若速度較快，則後方行人之速度會增加；若偏向角較大會減低後方行人速度；若完成超越時間如果比較長，則後方行人的速度也會比較慢；若前後方行人距離較近也會使得後方行人速度減慢；若前方行人為男性，其後方行人之速度也會較快。

表 71 偏向直行超越後方速度模式殘差統計量表

	最小值	最大值	平均數	標準離差	個數
預測值	84.5995	232.3880	140.5036	23.03768	278
調整預測值	84.1352	225.3487	140.3888	22.78843	278
殘差	-77.33415	130.64993	.00000	30.09707	278
標準殘差	-2.571	4.302	.000	.991	278

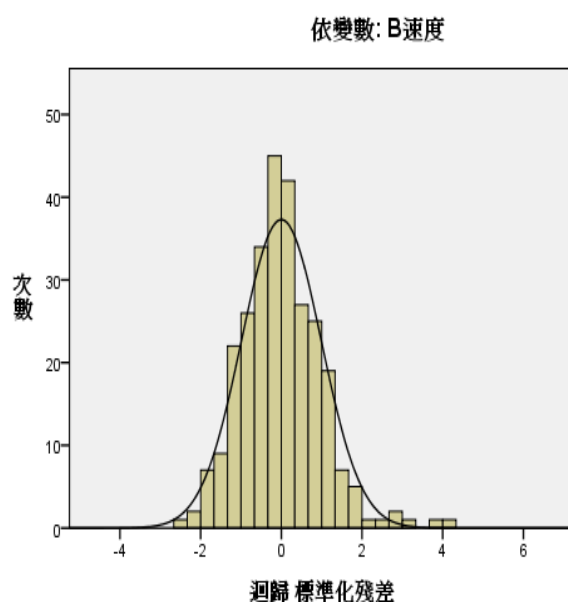


圖 39 偏向直行超越之後方行人模式標準化殘差直方圖

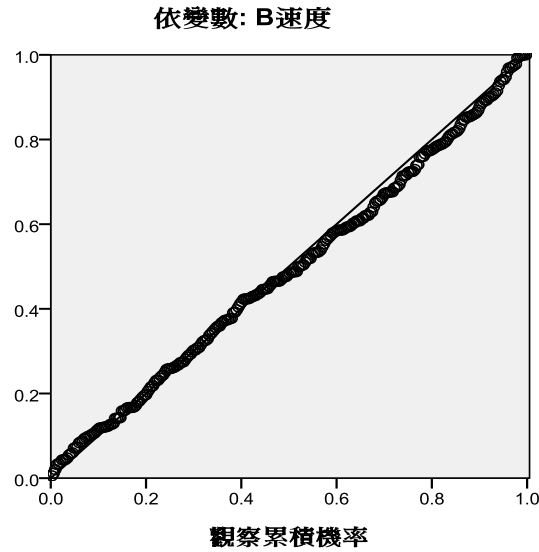


圖 40 偏向直行超越之後方行人模式殘差 P-P 圖

本模式之殘差分析如表 71，可發現本模式之殘差平均值為 0，圖 39 為標準化殘差圖與圖 40 為模式殘差 P-P 圖。本模式之 RMSE 均方根誤差為 29.11969、MAPE 為 16.2475%，說明本模式具有良好的預測水準。

圖 41 顯示出本模式對於後方行人速度之預測值與觀察值間之誤差，圖下方之誤差線為絕對值誤差率(APE)，從圖中可看出，本模式多數的預測值與實際觀察值差距不大，其中偶有誤差率超過 50%，但整體而言仍為可接受之範圍，故本模式利用前方行人速度(Vf)、前方性別(G1)、偏向角( $\theta$ )、完成超越時間(T)與行人間距(D)等五項自變數求得之後方行人速度模式具有一定解釋能力，為可用之模式。

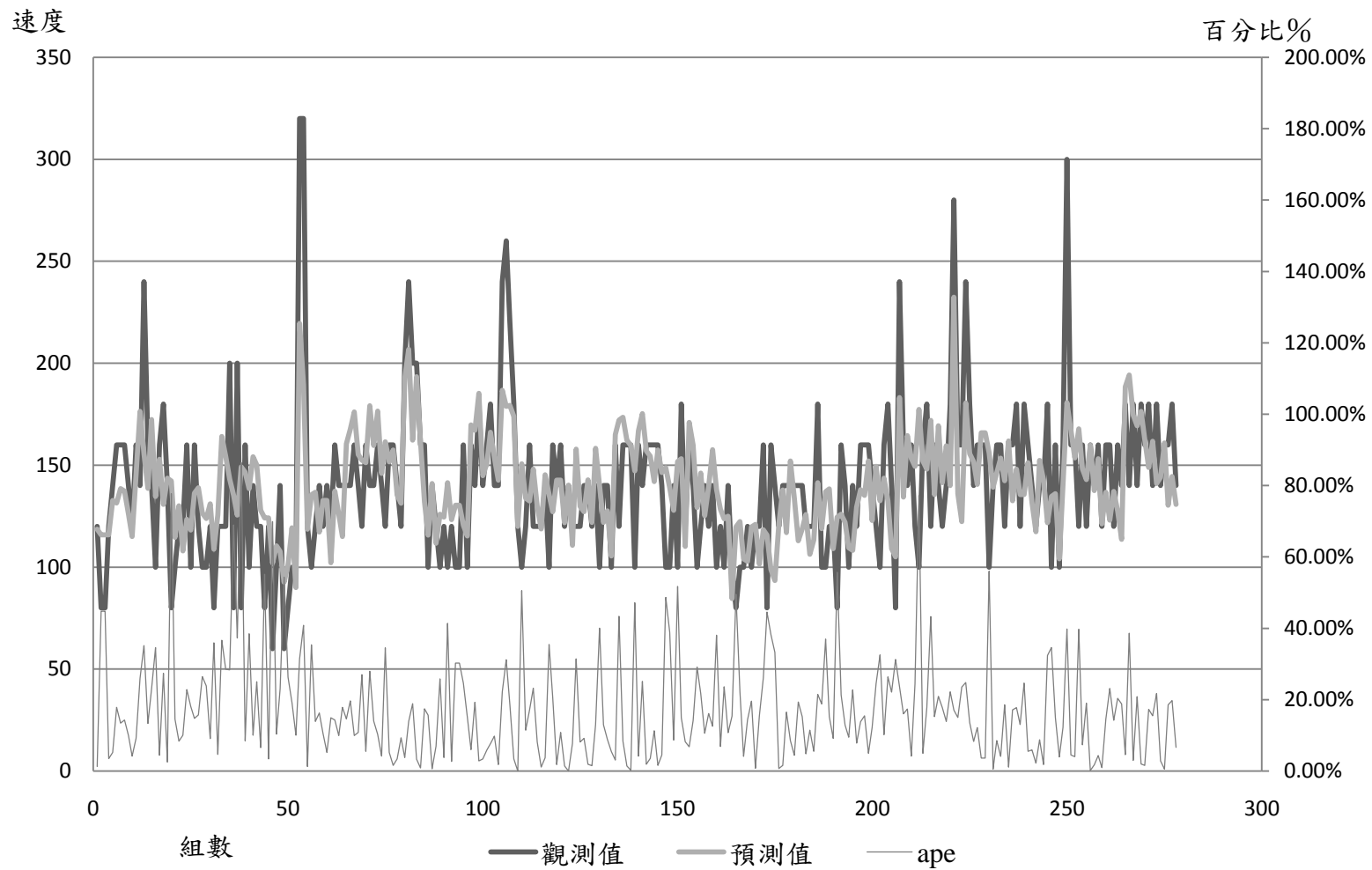


圖 41 偏向直行超越之後方行人速度模式比較圖



### 5.1.3 直行超越偏向模式

由文獻回顧之結果與本研究之資料分析，本模式中依變數為跟隨速度(Vb)，自變數則設為前方行人速度(Va)、前後行人速度差( $\Delta V$ )、前方行人性別(G1)、後方行人性別(G2)、行人間距(D)、完成超越時間(T)、偏向角度( $\theta$ )。以 30 組行人資料共 462 筆資料進行模式中依變數與自變數間相關分析，並取出較高程度者進行模式構建，其中若模式中有極端值，則會將極端值所挑出並且刪除使模式減少誤差，故總共 437 筆資料來構建模式。

表 72 直行超越偏向後方速度模式變數相關分析表

		自變數	前方	後方	行人間	前方	速度差	偏向	完成超
			性別	性別	距	速度	( $\Delta V$ )	角度	越時間
依變數		(G1)	(G2)	(D)	(Vf)	( $\Delta V$ )	( $\theta$ )	(T)	(T)
後方 速度	Pearson	.170**	.080	.015	.491**	.668**	-.181**	-.280**	
	相關 顯著性 (雙尾)	.000	.096	.749	.000	.000	.001	.000	

\*\*表相關顯著

由上表 72 可知，自變數中以前方性別(G1)、前方行人速度(Va)、前後行人速度差( $\Delta V$ )、偏向角度( $\theta$ )與完成超越時間(T)等五項變數對於後方行人速度有顯著相關，除了偏向角度與模式時間是負相關，其餘變數皆為正相關。因速度差變數中數值的取得與依變數有關，會使模式偏誤，故本研究先行刪除速度差此項變數。

本研究先行將五個顯著變數利用統計軟體得出結果，進而與六個變數所求出結果作比較，發現當利用六個變數所建構出模式之 R 平方值會比五個變數所求出的運算值還高，本研究為求得構建出模式能較符合數值，故採取使用六種變數構建。再而運用四種不同方法後，發現不論運用何種方法，所得結果均不會排除變數，而所得之 R 平方值也均相同，故此時利用強制進入法來解釋說明本模式構建。經過計算分析，統計中變數篩選結果如下表 73 所示。

表 73 直行超越偏向後方速度模式自變數輸入篩選表

模 式	選入的變數	R	R 平方	調過後的 R 平方	方法
1	前方速度(Va) 偏向角度( $\theta$ ) 完成超越時間(T) 前方性別(G1) 後方性別(G2)	.620	.385	.376	Enter 選入

表 74 直行超越偏向後方速度模式 ANOVA 表

模式		平方和	df	平均平方和	F	顯著性
1	迴歸	312130.423	6	52021.737	44.820	.000 <sup>a</sup>
	殘差	499089.714	430	1160.674		
	總數	811220.137	436			

a. 預測變數：(常數)、前方性別、後方性別、前方速度、所用時間、距離差、偏向角

由表 75 中可發現，當利用強制進入法時其迴歸 ANOVA 表，本研究之後方行人速度模式的  $R^2$  為 0.385，但因複迴歸模式需進行調整，調整後之  $R^2$  為 0.376，不甚良好。再經由 ANOVA 表可得知模式在  $\alpha=0.05$  時具有相當之顯著水準。而模式中自變數之間的共線性問題，進行共線性診斷，其後方行人速度模式共線性診斷表 74 如下：

表 75 直行超越偏向後方行人速度模式共線性診斷表

模式	維度	特徵值	條件指標	變異數比例						
				(常數)	前方速度	完成超越時間	偏向角	行人間距	後方性別	前方性別
1	1	4.566	1.000	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.01
	2	1.012	2.124	.00	.00	.00	.00	.60	.00	.15
	3	.656	2.639	.00	.00	.00	.17	.24	.02	.53
	4	.497	3.032	.00	.01	.01	.74	.12	.04	.07
	5	.157	5.393	.02	.07	.02	.00	.00	.88	.22
	6	.087	7.235	.00	.29	.65	.00	.01	.05	.01
	7	.026	13.241	.97	.63	.32	.07	.02	.00	.02

由上表中可以發現任兩變項沒有在同一個特徵值上的變異數比例尚未接近 1，故可說明本模式剩餘五項自變數並無共線性問題。則本模式係數表 76 如下：

表 76 直行超越偏向後方行人速度模式係數表

模式		未標準化係數		標準化係數	t	顯著性	共線性統計量	
		B 之估計值	標準誤差	Beta 分配			允差	VIF
1	(常數)	104.855	8.412		12.464	.000		
	前方速度	.619	.054	.450	11.554	.000	.944	1.059
	完成時間	-4.705	.581	-.326	-8.095	.000	.881	1.135
	偏向角	-13.295	3.345	-.153	-3.975	.000	.966	1.035
	行人間距	.042	.016	.105	2.673	.000	.931	1.074
	後方性別	19.531	4.115	.200	4.746	.000	.809	1.236
	前方性別	15.102	3.782	.161	3.993	.000	.881	1.135

故本研究之行人行人間距模式表示如下：

$$Vb = 104.855 + 0.619(Va) - 4.705(T) - 13.295(\theta) + 0.042(D) + 19.531(G2) + 15.102(G1)$$

模式中常數項與六項自變數在統計上皆達到顯著，說明本式可說明後方行人速度，其中性別變數，表示若前方行人為男性，則後方行人速度會增加；若後方行人為男性，則後方行人之速度會增加；當前方行人速度加快，則後方行人速度也會增加；當模式發生距離越長，後方行人速度速度會越慢；當偏向角越大，後方行人速度會越慢；若後方行人要花較長時間完成此種模式，速度會比花短時間的還小。

表 77 直行超越偏向後方行人速度模式殘差統計量表

	最小值	最大值	平均數	標準離差	個數
預測值	78.7084	226.4148	144.6288	26.83074	458
調整預測值	77.6947	224.4804	144.6172	26.79990	458
殘差	-131.27118	181.64719	.00000	37.41066	458
標準殘差	-3.490	4.829	.000	.995	458

本模式之殘差分析如表 77，可發現本模式之殘差平均值為 0，圖 42 為標準化殘差圖與圖 43 為模式殘差 P-P 圖。本模式之 RMSE 均方根誤差為 32.64022、MAPE 為 16.6302%，並不能說明本模式具有良好的預測水準。

圖 44 為直行超越偏向模式之後方行人速度比較圖，顯示出本模式對於後方行人速度之預測值與觀察值間之誤差，圖下方之誤差線為絕對值誤差率(APE)，從圖中可看出，本模式多數的預測值與實際觀察值差距不大，其中偶有誤差率超過 50%，但整體而言仍為可接受之範圍，故本模式利用前方行人速度(Vf)、前方性別(G1)、後方性別、偏向角( $\theta$ )、完成超越時間(T)與行人間距(D)等六項自變數求得之後方行人速度模式具有一定解釋能力，為可用之模式。

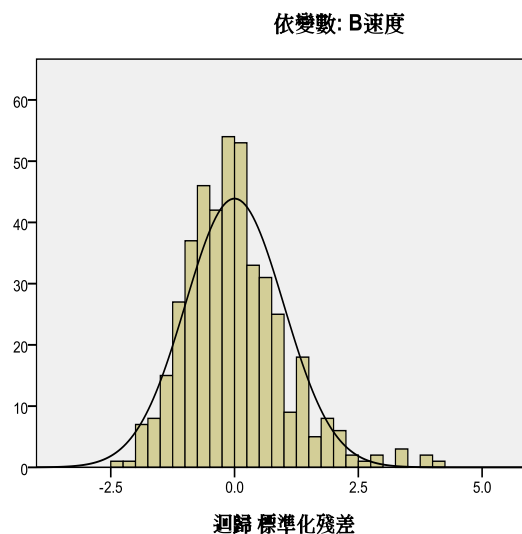


圖 42 直行超越偏向之後方行人速度標準化殘差直方圖

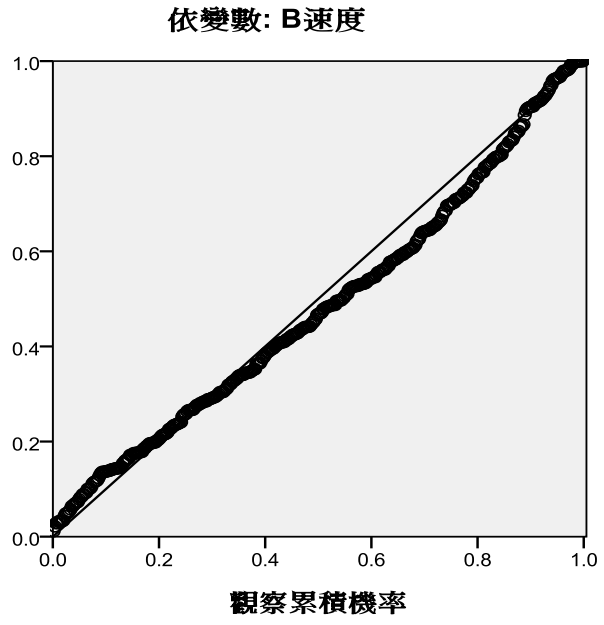


圖 43 直行超越偏向之後方行人速度殘差 P-P 圖



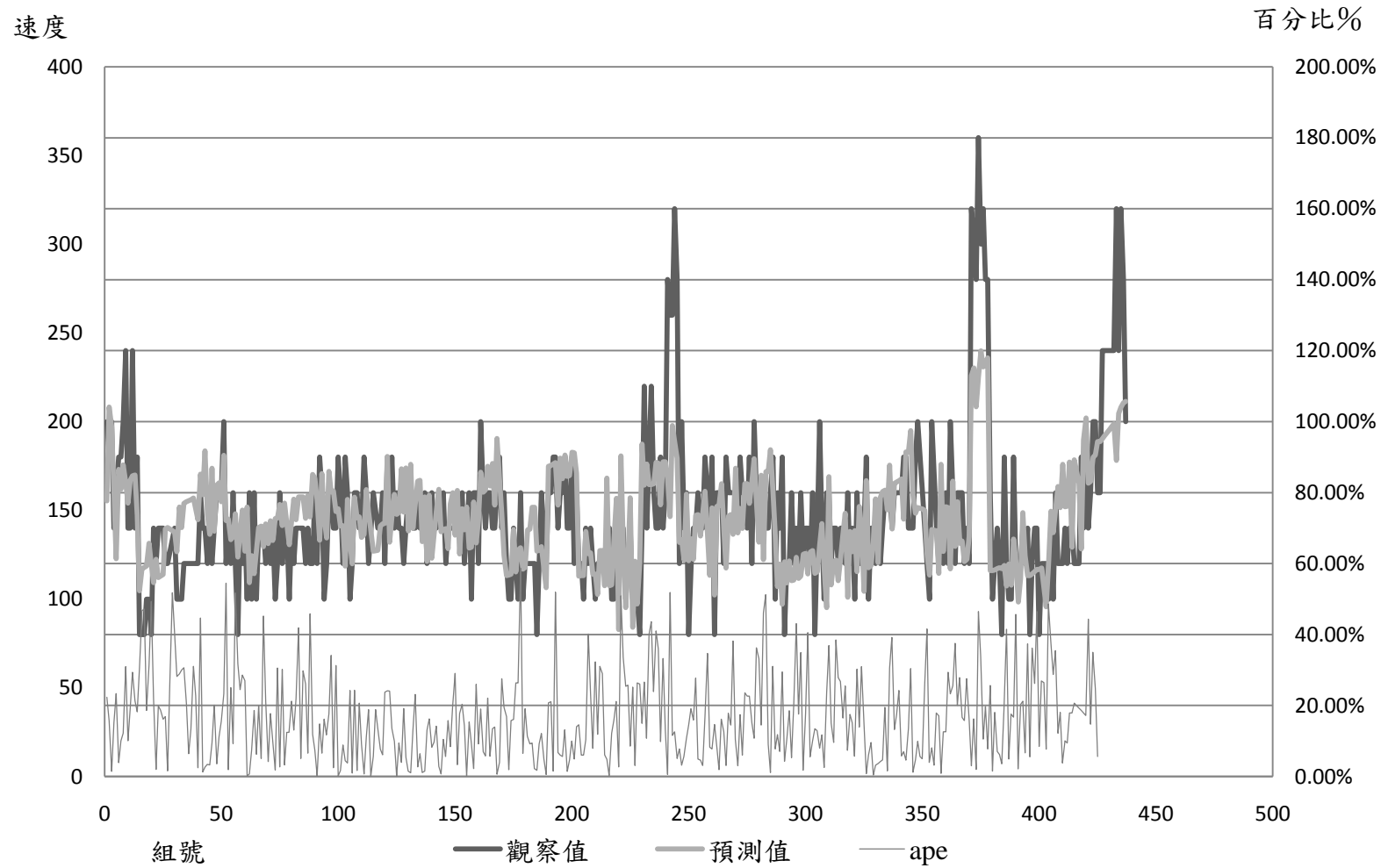


圖 44 直行偏向超越模式比較圖

## 5.2 模式實證與比較分析

由前述章節本研究得到三種不同模式，由於本研究利用實地攝影調查，由錄影資料獲得台北市商業區行人穿越道之行人樣本資料，進而利用統計方法加以分析討論。故將所建立模式如表 78 所示：

表 78 超越移動行為模式整理

模式名稱	模式形式
直行超越	$Vb = 115.504 + 0.784(Va) - 11.357(T) + 0.336(D)$
偏向直行超越	$Vb = 117.326 + 0.488(Va) - 21.766(\theta) - 5.878(T) + 0.133(D) + 8.651(G1)$
直行超越偏向	$Vb = 104.855 + 0.619(Va) - 4.705(T) - 13.295(\theta) + 0.042(D) + 19.531(G2) + 15.102(G1)$

透過統計分析結果，可以發現三種行人模式在  $R^2$  的解釋能力並非良好，其中以直行超越模式最佳，達 0.446 但仍不理想；以偏向直行超越模式解釋能力最差， $R^2$  僅 0.358。相關比較表格如表 79：

表 79 行人超越移動模式比較表

模式	R 平方	RMSE	MAPE (%)
直行超越模式	0.446	36.08122	19.5534
偏向直行超越模式	0.358	29.11969	16.2475
直行超越偏向模式	0.376	32.64022	16.6302

上表中三種模式中的  $R^2$  都不盡理想，但若僅以  $R^2$  值作為模式之優劣比較的依據，尚不夠客觀，因此應考慮自變數能否解釋依變數的能力，加入模式之比較分析，視應變數能被自變數解釋的筆利多寡來說明模式之優劣。一般應用 RMSE (Root Mean Square Error) 與 MAPE (Mean Absoulte Percentage Error) 來作為比較誤差程度與比例。其中 RMSE 為均方誤差，此值會根據預測值與觀察值的大小而有所不同，係為一種誤差的量度。MAPE 又稱為平均絕對誤差百分比，用以作為預測模式好壞之評估指標。主因為相對數值，不受測量值與預估值單位與大小之影響，能夠客觀得獲得估計值與評估值間之差異程度，MAPE 值若越接近 0 表示估計效果越佳。



本研究中可以看出 MAPE 值在 10-30 之間係為合理與優良的預測，其中均方誤差在估計時均小於 40。由以上結果可看出本研究所求出模式均有相對好的結果。為確定模式是否為預測能力較佳之模式，各另外取 10 筆資料帶入模式中，其相關誤差值如下表 80。

表 80 行人超越移動模式實證比較表

	直行超越		偏向直行超越		直行超越偏向	
	觀察值	預測值	觀察值	預測值	觀察值	預測值
1	165	176.4425	160	138.35	160	158.6145
2	170	183.1175	140	124.6	200	148.3345
3	158	176.1065	170	142.79	160	161.5545
4	165	176.4425	120	124.28	180	181.556
5	130	156.0585	140	110.53	200	170.856
6	118	140.4455	80	132.71	220	196.876
7	132	156.4395	90	111.174	140	156.636
8	320	237.763	120	120.934	160	145.516
9	137	152.9895	130	131.803	140	182.236
10	137	160.4265	170	111.514	140	156.0945
RMSE	31.79513		29.97413		25.67027	
MAPE(%)	14.50969		19.11368		11.62176	

經由實證資料分析中，我們仍可確定，以 MAPE 值來看能符合原本模式所求得 MAPE 值，而 RMSE 均方誤差值也能與本研究所建構之模式相符，故預測能說明本研究建立之行人超越移動模式可以應用於行人超越行為之解釋與預測其行為。

## 第六章 結論與建議

本研究為分析臺北市之行人專用穿越道上之行人超越移動行為特性，研析影響行人的因素，進而對於行人微觀模式下研究行人行走時之超越前方行人之行為。為了解行人與其中人流特性，以求建構出行人超越移動行為模式，所得之結論與建議如下。

### 6.1 結論

一. 直行超越狀態下，本研究發現以下結論：

A. 建立線性行人直行超越模式：

由分析中得知，依變數以後方行人的速度作為一個模式建構，自變數的選取係以相關分析與統計迴歸方法來選取變數，並完成模式建構。行人直行超越模式是以前方行人速度、完成模式時間與後方行人性別共三個自變數，迴歸所得之調整後  $R^2$  為 0.446 的，模式預測誤差 MAPE 則為 19.55%，RMSE 為 36.081。其中與本研究所建構三模式比較，可發現其調整後  $R^2$  係為三者中最大的，其中 MAPE 與 RMSE 亦係為較大。

由本研究所導出模式，表示後方行人速度會因為前方行人速度加快而加快；當完成超越時間越短後方行人速度越快；若後方行人為男性則速度也會較快。

B. 各自變數之間關係：

本研究針對直行超越模式共分析性別、速度、加速度、起始行人間距、行人間距與跟隨至超越時間等六項變數。

- (a) 使用此種方式超越移動後方超越者係以男性為多。
- (b) 使用此種模式超越移動多在前方行人為女性時。
- (c) 行人間距與後方行人性別無關表示距離不會因為男女而有不同。
- (d) 使用本模式超越前方行人，從跟隨至超越這段時間比其餘兩種模式還短。

二. 偏向直行超越狀態下，本研究發現以下結論：

#### A. 建立線性行人偏向直行超越模式：

由分析中得知，依變數以後行人的速度作為一個模式建構，自變數的選取係以相關分析與統計迴歸方法來選取變數，並完成模式建構。迴歸所得之調整後  $R^2$  為 0.358，模式預測誤差 MAPE 則為 17.0739%，RMSE 為 29.80901。由此可發現三模式中雖然調整後  $R^2$  最小，但其 MAPE 與 RMSE 值都是三者中最小。

由本研究所建構出模式，表示後方行人速度會因為前方行人速度加快而加快；若從後方欲超越前方行人，當偏向角度越大後方行人速度會減小；當完成模式時間越長，後方行人速度越慢；若前後兩人距離較遠，表示後方行人速度可能不會比較大；若前方行人為男性，則後方行人需要較快的速度。

#### B. 各自變數之間關係：

本研究針對超越橫移模式共分析性別、速度、加速度、偏向角、起始行人間距、行人間距與跟隨至超越時間等七項變數。

- (a) 使用此種方式超越移動後方超越者係以男性為多。
- (b) 使用此種模式超越移動若後方為女性需要用較高的速度來超越前方行人。
- (c) 當後方行人為男性，較容易以小於 45 度的偏向角超越前方的女性行人。
- (d) 女性的起始行人間距會大於男性，由本研究推測男性可能會在較短的距離中決定是否以偏向角超越前方行人。藉由統計方法，行人間距不會因為性別而有所不同。
- (e) 性別與跟隨至超越時間無顯著差異。

### 三. 直行超越偏向狀態下，本研究發現以下結論：

#### A. 建立線性行人直行超越偏向模式：

依變數是以後行人的速度作為一個模式建構，自變數的選取係以相關分析與統計迴歸方法來選取變數，並完成模式建構。迴歸所得之調整後  $R^2$  為 0.376，模式預測誤差 MAPE 則為 16.6302%，RMSE 為 32.64022。

由本研究所建構出模式，共六項自變數，其中表示後方行人速度會因為前方行人速度加快而加快；當完成模式時間越長，後方行人速度越

慢；若從後方欲超越前方行人，當偏向角度越大後方行人速度會減小；若前後兩人距離較遠，表示後方行人速度可能需要較快速度；若前方行人為男性，則後方行人需要較快的速度；若後方行人為男性，其模式速度也會較快。

#### B. 各自變數之間關係：

本研究針對橫移模式共分析性別、速度、加速度、偏向角、起始行人間距、行人間距與跟隨至超越時間等七項變數。

- (a) 使用此種方式超越移動後方超越者係以男性為多。
- (b) 使用此種模式超越移動，若要超越前方男性，則需用較高的速度來完成模式。
- (c) 當後方行人為男性，較容易以小於 45 度的偏向角超越前方行人，但樣本中前方行人多為女性。
- (d) 男性的起始行人間距會大於女性，本模式與前述兩模式不同處為，前後行人間距會與前後方行人性別有顯著差異。
- (e) 當後方行人為女性，從跟隨至超越的時間會比後方行人為男性的短，而本模式下性別會使得模式時間有所不同。

本研究所建構之模式其調整後  $R^2$  均小於 0.5，但其模式誤差 RMSE 值與 MAPE 值卻足夠說明模式的預測是為優良預測，各模式均可以有 80% 以上的預測。

## 6.2 建議

1. 本研究以實地攝影調查法調查行人穿越道上行人移動情形，於此會錄影地點位置則會使本研究受限於拍攝地點的地理條件。由於本研究將研究行人有偏向情況，可能會有拍攝角度問題造成無法判讀的情況產生，建議未來可多尋找其他更適合拍攝之地點，若能以垂直角度拍攝則為最佳，可避免視覺誤差，使得資料更具有代表性。
2. 本研究資料判讀為人工判讀行人資料，且僅能以輔助的定位點如行人穿越道地面枕木紋來分析行人距離資料，因為僅能以輔助點判讀，若有不定行向或行人並非行走於輔助點附近，則資料就無法判定。未來冀望可發展數位科技判斷系統，若能精確取得行人步行之移動資料，進而能更準確取得速度、加速度與偏向角等等數值，則對於改善模式偏誤與誤差

更能縮短人工作業時間。

3. 資料蒐集方面，行人步行狀況有非常多種，由於種類眾多故某些特定模式之蒐集較不容易，雖然有此現象但由於資料蒐集不易，分析也就更為難。就本研究而言越過模式係為一種可想像與現實生活尚可見的，但由於資料不夠多，故無法進而分析，期望未來有更多資料以供後續研究。
4. 本研究之前提假設較多，由於行人行為過於隨機與受個人心理因素影響，本研究尚無將心理狀態考慮進模式中，也忽略流量密度等等因素來進行模式構件，僅以最簡單行人行為來進行模式建構。將來可多考慮流量、密度對於模式之影響關係，也利用問卷考慮行人心理因素，更可討論單點個人與周遭行人流之間之影響，擴大研究範圍與方向。
5. 由車流理論與超車行為來看，偏向角對於移動行向式非常重要的，不過因為行人的移動與車輛的移動狀況較不相同，本研究中偏向角僅利用判別方式來作處理，並無法其他變數來推導出偏向角為何，其中偏向角與行人改變行向的界定係為一門學問，冀望將來會有更多學者專家加以討論研究。
6. 本研究模式建構較為陽春，但亦可說明表示為行人行為的模式。於研究過程中可發現，偏向角並非行為開始就存在，可能在行為開始後幾秒才出現偏向移動，而後就往前行進。而本研究礙於時間與經費無法將偏向角之時間關係表示再模式其中，後續研究可以更加細微觀研究各時間點偏向問題。
7. 本研究模式建構係利用線性迴歸方式求得，將來可發展非線性關係之模式建構，由於本研究之時間與經費不足，若討論非線性關係則需要有完備數學背景與數學方法，本研究僅能以基本觀念與方式建構，未來希望能拋磚引玉，引起更多專家學者能對於行人行為作更艱深之研究。



## 參考文獻

1. 黎韋利，「人行道服務水準評估之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 88 年 6 月。
2. 黃俊杰，「都市人行道界面組成型態對行人知覺影響之研究」，台灣大學碩士論文，民國 87 年 6 月。
3. 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。
4. 李協政，「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」，國立交通大學碩士論文，民國 97 年 6 月。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 劉英標，「汽車駕駛人行車控制指示系統之模式構建研究」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國 85 年 2 月。
11. 李樑堅，「建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所，民國 81 年。
12. 張家祝、柯松澤，「台灣地區高速公路進口匝到加速車道設計標準之研究」，運輸計劃季刊，第十八卷第一期，1-36 頁，民國 78 年 3 月。
13. 黃國平，「混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證」，碩士論文，國立臺灣大學/土木工程研究所，民國 71 年。
14. 傅耀南，「以混合車流模擬方法設計單一交叉路口號誌時制之研究」，碩士論文，國立臺灣大學土木工程研究所，民國 77 年。
15. 黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，博士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國 83 年 6 月。
16. 林鄉鎮，「以類神經網路探討駕駛人跟車模式之可行性研究」，中華民國運輸學會第十一屆學術論文研討會，1093-1104 頁，民國 85 年 12 月。
17. 陳柏榮，「高速公路微觀車流模擬模式雛型建立之研究」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國 83 年 6 月。
18. 林宏達，「處理跟車及變換車道之串接式模糊推論系統」，碩士論文，元智大學工程研究所，民國 90 年。
19. 胡順章，「高速公路雙車道路段變換車道行為之研究」，碩士論文，淡江大學



- 土本工程研究所，民國 83 年 6 月。
20. 賴淑芳，「高速公路交流道區段匝道併入車流行為之探討」，碩士論文，淡江大學土木工程學研究所，民國 82 年 6 月。
  21. 陳奕志，「含類神經網路變換車道的高速公路微觀車流模擬模式之研究」，碩士論文，成功大學交通管理科學研究所，民國 87 年 6 月。
  22. 林鄉鎮，「以虛擬實境(VR)及類神經網路(ANN)應用於高速公路小汽車變換車道行為之研究」，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會，821-829 頁，民國 85 年 12 月。
  23. 鐘炳煌，「應用汽車駕駛模擬系統從事高速公路加速車道併入行為之研究---以類神經網路為分析工具」，碩士論文，國立成功大學交通管理(科學)研究所民國 91 年 6 月。
  24. 曹壽民、蘇昭銘，「都市快速道路下匝道車輛強迫性變換車道之特性分析」，運輸計劃季刊，第二十三卷 第一期，1-10 頁，民國 83 年 3 月。
  25. 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。
  26. 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。
  27. Mehammed S. Tarawneh. (2001). *Evaluation of Pedestrian in Jordan with Investigation of Some Contributing Factors*. Journal of Safety Research, 32, p.p. 229-236.
  28. Abishai Polus, Joseph L. Schofer and Ariela Ushpiz. (1982). *Pedestrian Flow and Level of Service*. Journal of Transportation Engineering, p.p.46-56.
  29. William H.K. Lam, John F. Morrall, Herbert Ho. (1995). *Pedestrian Flow in Hong Kong*. Transportation Research Record, 1487, p.p.56-62.
  30. William H.K. Lam, Chung-yu Cheung. (2000). *Pedestrian Speed/Flow Relationship for Walking Facilities*. Journal of Transportation Engineering, p.p.45-50.
  31. Muhammad M. I. and Robert B.N..(2007). *Behavioural Issues in Pedestrian Speed Choice and Street Crossing Behaviour: A Review*. Transport Reviews, 28:1, p.p.61 – 85.
  32. Alexandra Wills. (2004). *Human movement behaviour in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments*. Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 31, p.p. 805 -828.
  33. Fruin, J.J. (1990). *Pedestrian Planning and Design*. Elevator World Educational Services Division, Mobile, AL..
  34. Hall, D. (1966). *The Hidden Dimensions*. Doubleday and Co., New York, N.Y.

35. Teknomo, K. (2006). *Application of microscopic pedestrian simulation model*. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour Vol 9 issues 1, p.p.15-27.
36. Hoogendoorn SP., Bovy PHL., Daamen W..(2003). *Walking infrastructure design assessment by continuous space dynamic assignment modeling*.Journal of Advanced Transportation, Vol. 38, Issue:1, p.p.69-92.
37. Inger Marie Bernhoft, Gitte Carstensen. (2007). *Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender*. Transportation Research Part F, p.p.83–95.
38. Serge P. Hoogendoorn, Piet H.L. Bovy. (2005). *Pedestrian Travel Behavior Modeling*. Networks and Spatial Economics, Issue:5, p.p.193–216.
39. Yordphol Tanaboriboon, Sim Siang Hwa, Chin Hoong Chor. (1986). *Pedestrian Characteristics Study in Singapore*. *Journal of Transportation Engineering*. Vol. 112, No. 3, pp. 229-235.
40. Gordon Simpson, Lucy Johnston, Michael Richardson. (2003). *An investigation of road crossing in a virtual environment*. Accident Analysis & Prevention, Vol. 35, Issue:5, p.p. 787-796.
41. Weng, W.G., Shen, S.F., Yuan, H.Y., Fan, W.C. (2007). *A Behaviot-Based Model for Pedestrian Counter Flow*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Vol. 375, Issue: 2, p.p.668-678.
42. Armin Seyfried, Bernhard Steffen, Thomas Lippert. (2006). *Basics of modeling the pedestrian flow*. Physica A 368, p.p.232-238.
43. D. Helbing, P. Molnar, F. Schweitzer.(1998). *Computer Simulations of Pedestrian Dynamics and Trail Formation*. Evolution of Natural Structures, p.p. 229-234.
44. D. Helbing, P. Molnár.(1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. Physical review. D. Particles and fields, Vol. 51, Issue:5, p.p. 4282-4286.
45. R. Kukla, J. Kerridge, A. Willis, J. Hine.(2001). *PEDFLOW: Development of an Autonomous Agent Model of Pedestrian Flow*. Transportation Research Record, Vol. 1774, p.p. 11-17.
46. Motoharu Hosoi, Shintaro Ishijima, and Akira Kojima. (1996). *Dynamical Model of a Pedestrian in a Crowd*. IEEE International Workshop on Robot and Human communication, p.p.44-49.
47. V.J. Blue, M.J. Embrechts and J.L. Adler. (1997). *Cellular Automata Modeling of Pedestrian Movement*. IEEE, p.p.2320-2323.
48. Masakuni Muramatsu. (1999). *Jamming Transition in Pedestrian Counterflow*. Physica A.
49. Gazis, D. C., R. Herman, and R. B. Potts, “Car-Following Theory of

- Steady-State Traffic Flow”, *Operations Research*, Vol. 7, pp.499-505, 1959.
50. Herman, R., E. W. Montroll, R. B. Potts, and R. W. Rothery, “Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following”, *Operations Research*, Vol. 7, pp.499-505, 1959.
  51. Washington, D.C. (2000). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board Special Report 209.
  52. Antonini, G., Bierlaire, M., Weber, M. (2006). *Discrete choice models of pedestrian walking behavior*. *Transportation Research Part B*, 40, p.p.667-687.
  53. Fang W., Yang L., Fan W.. (2003). *Simulation of bi-direction pedestrian movement using a cellular automata model*. *Physica A*, 321, p.p. 633 – 640.



# 簡 歷



姓名：蕭禎祥

籍貫：高雄市

出生日期：中華民國 71 年 10 月 17 日

電子郵件：[hcshing.tem96g@g2.nctu.edu.tw](mailto:hcshing.tem96g@g2.nctu.edu.tw)

學歷：

中華民國 98 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 96 年 6 月 東吳大學商用數學系畢業

