運輸計劃季刊
第五十一卷 第二期
民國一一一年六月
頁 143～頁 168

Transportation Planning Journal
Vo1. 51 No. 2
June 2022
PP. 143～168

號誌化路口行人安全績效模式之研究[1]

DEVELOPING PEDESTRIAN SAFETY PERFORMANCE FUNCTIONS FOR SIGNALIZED INTERSECTIONS

鍾易詩 Yi-Shih Chung[2]
吳素絢 Su-Hsuan Wu[3]

(109 年 5 月 26 日收稿，109 年 9 月 29 日第一次修正，110 年 3 月 26 日第二次修正，110 年 6 月 11 日第三次修正，110 年 7 月 30 日接受)

摘 要

安全績效函數為預測道路事故頻率之模式，為評估路口或路段設計對交通安全影響之重要工具。過去在路口行人事故安全績效函數之發展，多以路口為分析單位，此類函數難以區別不同方向路口設計差異對行人事故頻率之影響。此外，建立行人事故安全績效函數所需之事故、曝光量以及道路環境等資料內容，亦與車輛事故安全績效函數有所不同；過去較缺乏行人事故安全績效函數相關研究，尤其缺乏本土化研究。基此，本研究以臺北市大型號誌化路口為例，蒐集民 101-106 年事故資料、號誌時相、道路幾何及行穿設施等資料，分別建立以路口及以路口方向為分析單位之安全績效函數，並比較兩者之事故頻率預測績效。根據零膨脹負二項模式結果發現，路口方向安全績效函數與路口安全績效函數在交叉驗證中之預測誤差相當，但相對於路口安全績效函數，路口方向安全績效函數較能直接反應道路幾何設計對行人事故之影響。本研究亦討論建立路口方向安全績效函數所需之資料項目與品質以及適用之分析方法，作為地方政府規劃建置相關資料之參考。

1 本研究為內政部營建署委託國立交通大學運輸研中心研究計畫「107 年度市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊案」之部分研究成果，特此感謝。
2. 國立陽明交通大學運輸與物流管理學系副教授 (聯絡地址：臺北市中正區忠孝西路一段 118 號 4 樓，電話：02-23494963，Email：yschung@nycu.edu.tw)。
3. 國立陽明交通大學運輸與物流管理研究所碩士。

關鍵詞： 安全績效函數、行人、號誌化路口、零膨脹負二項模式

ABSTRACT

Safety performance functions (SPFs) are used for predicting road accident frequencies and are critical to the safety evaluation of road intersection and its design. Despite their importance, the SPFs specific for pedestrian-vehicle accident evaluation are relatively few. Moreover, most established pedestrian SPFs are intersection-based and thus difficult for examining the safety effect of pedestrian safety countermeasures, such as refuge islands, which are usually leg-based. Moreover, the traffic rules and environments in Taiwan are different from other countries; developing local pedestrian SPFs is therefore desired. The study develops both intersection- and leg-based pedestrian SPFs based on a comprehensive dataset collected from the Taipei City Government; the 2012—2017 dataset consists of data including road accidents, signal controls, road geometry, and pedestrian facilities. The analysis results of zero-inflated negative binomial models show that the intersection- and leg-based SPFs have a similar performance in cross validation. In contrast to the intersection-based SPFs, the leg-based SPFs could directly capture the impacts of pedestrian facilities and road geometry on pedestrian accidents. The study also discusses the data issues for establishing quality leg-based SPFs as a reference for the government to plan the establishment of road safety databases in the future.

Key Words: *Safety performance function, Pedestrian, Signalized intersection, ZINB*

一、前　言

非機動運具 (如：步行、自行車) 為發展永續運輸的一大要素，其中行人是運輸系統中最脆弱的道路使用者；交通部統計處資料顯示民國 100-107 年全國道路交通事故死亡人數呈現逐漸下降趨勢，但道路交通事故行人死亡人數佔全國死亡人數比例卻呈現逐漸上升趨勢。顯示國內道路交通行人事故的嚴重性，如何減少行人事故並降低行人的死傷情形是有待解決一大課題。

國外以人本交通的理念，著手改善人行環境，建立以人為本的生活環境，來降低行人事故的發生。過去研究顯示人行設施能有效降低行人事故的發生，Retting et al. [1] 整理各國交通工程手段對於人車事故改善成效之研究結果，並將交通工程手段分為 3 類：車速管理、人車分離 (時間、空間) 以及提高行人可視性。在人車分離 (空間) 的部分提到設置庇護島可以降低行人與車輛的衝突及行人事故 (Gårder [2]；Zegeer et al. [3])；在人車分離 (時

間) 的部分則指出設置行人專用時相或行人早開時相亦可降低行人與車輛的衝突及行人事故 (Zegeer et al. [4]；Gårder [2]；Van Houten et al. [5])。

近年來國內亦開始重視人本交通的理念，相關單位雖已編修各項人行環境設計準則及參考手冊，供各縣市政府在設計市區道路時參考，但仍缺乏探討人行設施安全效果的研究。國外研究雖指出人行設施能減少行人事故，但國內的道路環境與國外相異，因此有必要發展一套國內的人行設施安全效果研究方法。

國外研究在探討行人安全時多用安全績效函數 (safety performance function, SPF) 的方式，來辨識事故量少但具有高風險的事故地點。根據 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) [6] 的定義，安全績效函數係納入道路曝光量、道路幾何設計、路口特性等資訊，預測某個地點每年的平均事故件數的函數，作為該地點安全績效評估的依據。安全績效函數除了包含道路曝光量、幾何設計及路口特性之外，愈來愈多研究考慮到區域特性對安全的影響，而將區域的土地使用、人口社會經濟特性納入安全績效函數的分析中。

過去已有研究以路口為對象，發展路口人車事故之 SPF。Torbic et al. [7] 的研究結果指出年平均日交通流量 (annual average daily traffic, AADT)、年平均日行人流量 (annual average daily pedestrians, AADP) 以及行人穿越路口時的最大車道數為影響號誌化路口行人事故的顯著因素，而路口 300 公尺內的公車站數量、家戶平均所得以及商業建築數量為顯著的事故折減因子 (accident modification factors, AMFs)。Schneider et al. [8] 顯示 10 年交通量、10 年的行人量、右轉專用車道、非住宅用車道、0.1 英里內的商業建築數量和 0.25 英里內 18 歲以下的居民比例皆與行人事故數量有正相關，其分析結果也發現行人流量愈多時，路口設置中央分隔帶的行人事故數量明顯少於沒有中央分隔帶的路口。McArthur et al. [9] 透過發展安全績效函數來考慮 Safe Routes to School (SRTS) 計畫的改善優先順序，該研究結果顯示事故量與學區內 5-14 歲的人口比例以及學校的入學率有正向關係，且位於地方道路上的學校會比位於集散道路或幹道上的學校發生更多事故，表示學校位於地方道路上可能會有較多不安全的穿越行為。事故量也會隨平均家戶大小、雙親家庭數量、人口密度、家庭收入而變化，家戶數量愈高，兒童愈有可能走路上學；雙親家庭愈多，表示愈有可能由其中一位家長陪同走路；家庭收入愈高，家長愈有能力以車輛接送，因此減少兒童行人事故。另外，學區內種族的多樣性 (非白人家庭的比例) 愈高，事故量相對較少。Thomas et al. [10] 利用行人安全績效函數來排序安全改善地點的優先順序，該研究在安全績效函數中除了放入年平均行人量 (AADP)、總車道數、有無號誌控制等交通量與道路幾何設計變數外，亦加入路口 0.1 英哩內商業建築數量、路口 150 英呎內工作日停靠的公車數量、路口 0.1 英哩內商業建築體積、路口 50 公尺內的平均收入、路口 0.1 英哩內的總人口數等路口周邊特性變數，探討土地使用、人口社經與公共運輸對路口行人事故之影響。

整理上述行人安全績效函數之相關文獻，可將影響因素分為交通流量、土地使用與人口社會經濟 (例如不同土地使用面積、路口周邊固定距離內之人口數、兒童人口比例)、交通建設與道路幾何設計 (例如路口總車道數、路口為幾岔路口) 等三個類別。過去研究大

部分都係以路口為單位來建立行人安全績效函數，但多數的道路幾何設施 (如：庇護島、行穿線退縮、道路寬度) 係針對個別的行穿線所設計，若以路口為單位建立行人安全績效函數則較難探討道路幾何設施對行人安全的影響。舉例而言，庇護島及公車島在路口行人安全績效函數中，僅能探討庇護島與公車島個數對行人事故的影響，但無法得知路口方向個別設置庇護島或公車島對行人事故的影響。同理，行穿線退縮與號誌時相也是如此，且在路口方向行人安全績效函數中也才能探討行穿線退縮之距離對行人事故的影響。

綜合上述本研究欲利用資料較完整的臺北市作為研究範圍，建立路口及路口方向兩種不同之行人安全績效函數，比較此兩種安全績效函數之估計與預測結果差異，並初步評估道路設施與路口人車安全水準之關係。

二、研究方法

2.1 研究架構

行人流量為安全績效函數中相當重要的變數，但國內路口行人流量資料調查並未若車流調查普及，資料相對稀少。本研究參考 Lee et al. [11] 的研究方法，利用路口周邊土地使用、人口社經及公共運輸等路口特性估計出路口行人流量，再帶入行人安全績效函數中。Lee et al. [11] 透過兩步驟的方式建立土地使用、行人旅次 (行人流量) 以及行人事故間的關係。步驟一為建立行人流量估計模式，步驟二則是探討不同模式對行人旅次與行人事故關係的影響。步驟一首先用路口周邊的社會經濟、土地使用以及路口幾何資料建立行人流量的估計模式，步驟二則是分別將估計的行人旅次與實際的行人旅次作為曝光量建立行人安全績效函數，並比較兩個模式的差異。當步驟一中所估計出的行人旅次與實際調查的行人旅次無顯著的統計差異，且步驟二中兩個行人安全績效函數的結果無顯著差異時，可使用估計的行人旅次作為替代的曝光量 (Lee et al. [11])。

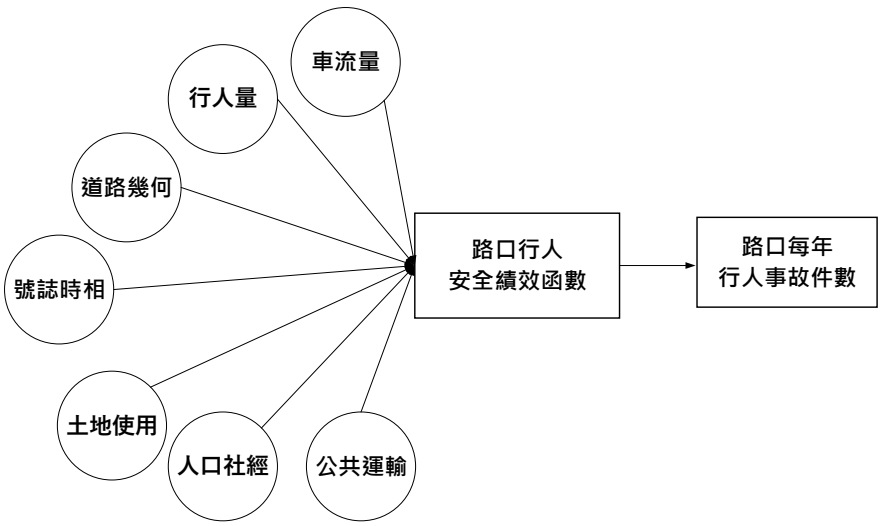
本研究以 Miranda-Moreno et al. [12] 的研究架構為基礎，發展兩種行人安全績效函數，第一種係以路口為評估單位的行人安全績效函數，利用路口道路幾何、交通流量 (車流量與估計行人量)、號誌時相、土地使用、人口社經、公共運輸等路口特性，預測路口每年的行人事故件數，流程如圖 1(a) 所示。第二種則係以路口方向為評估單位的行人安全績效函數(例如四岔路口即為四個受評對象)，利用行穿線的道路幾何、交通流量、號誌時相與路口周邊土地使用、人口社經、公共運輸等特性，預測各行穿線每年的行人事故件數，再加總成路口每年行人事故件數，如圖 1(b) 所示。最後再比較路口與路口方向行人安全績效函數校估結果以及路口事故數預測能力差異。

2.2 研究路口

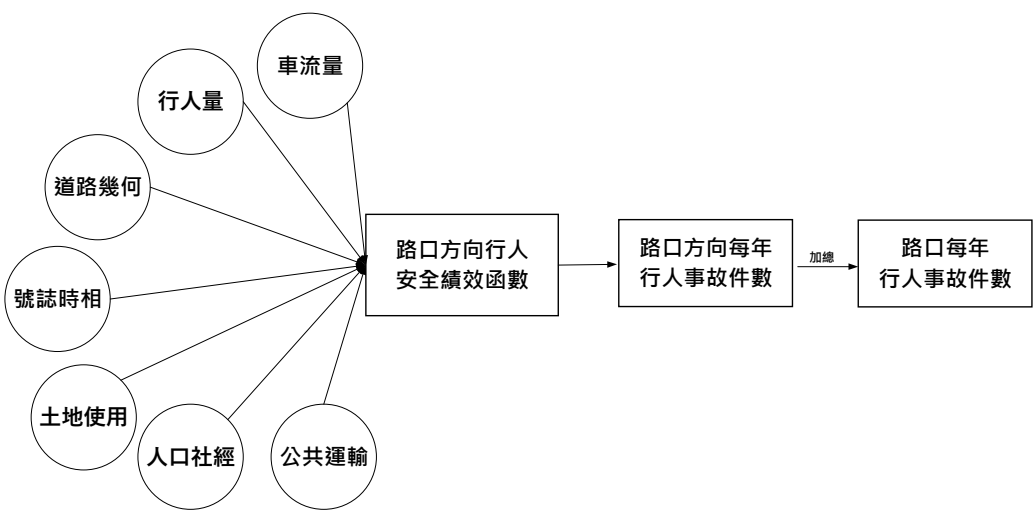
考量資料品質，本研究的研究路口以分布於臺北市主要道路且擁有多年車流調查資料

的號誌化路口作為主要挑選對象，並盡量挑選同一條幹道上的上下游路口。圖 2 為本研究最後挑選的 50 個路口分布位置，其中 50 個路口有 17 個路口有行人流量資料。

本研究挑選之 50 個路口，約佔臺北市整體號誌化路口 1.2%。臺北市於民國 101-106 年間，共發生 6,151 件 A1 及 A2 號誌化路口行人事故；而本研究所挑選的 50 個號誌化路口在此期間共發生 490 件行人事故，佔臺北市號誌化路口行人事故件數的 8%。本研究所選定的路口皆位於幹道上，人車流原本相對較多，亦屬於行人事故發生相對較多的路口。

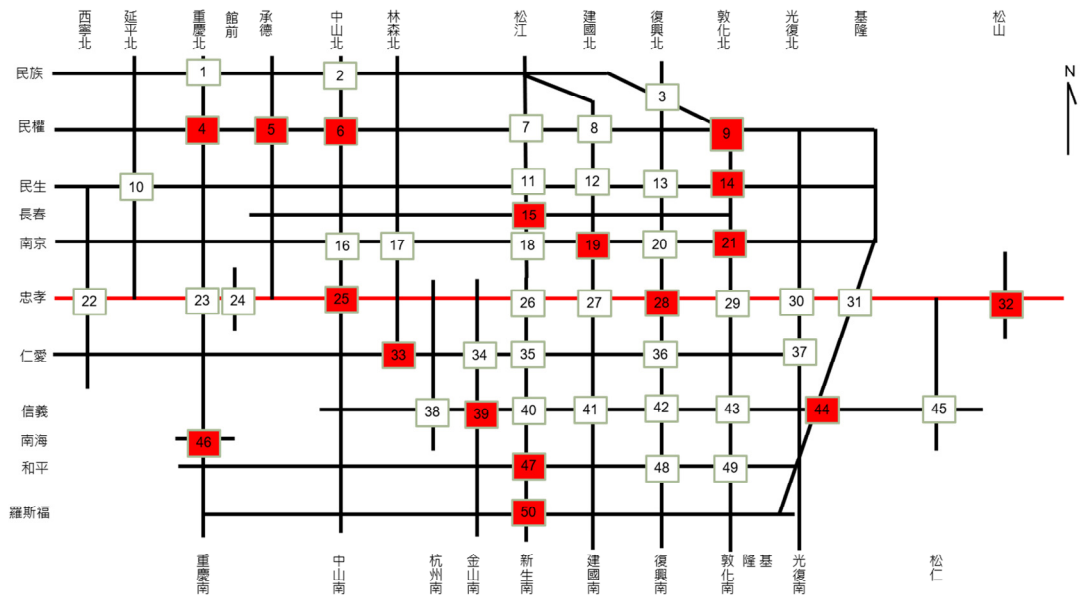


(a) 以路口為評估對象



(b)　以路口方向為評估對象

圖 1　路口與路口方向行人安全績效函數發展流程



註：紅底為有行人流量資料之路口

圖 2　行人安全績效函數之研究路口

2.3 資料項目

本研究根據 Miranda-Moreno et al. [12] 與 Lee et al. [11] 使用了人車流量、道路幾何與號誌時相、土地使用、人口與社會經濟以及公共運輸等五類變數，其中人車流量、道路幾何與號誌時相為直接與事故相關變數，而其他三類變數則可能直接影響或透過前兩類變數間接影響事故發生。根據過去研究，人車流量以及道路幾何與號誌時相對行人事故有明確的理論關係。人車流量代表曝光量，因此與事故數有正向關係，而庇護島、行穿線退縮、立體人行設施、行人專用/早開/早閉時相以及車輛左轉專用時相，透過行人與車輛在時間或空間的區隔，降低行人與車輛的衝突可能性，因此與行人事故間應呈負向關係。其餘變數與事故發生之間有其他變數干擾，因此較難事先判斷與事故發生之間的正負向關係，在本研究視作控制變數，並不事先假設其與事故之正負向關係，其對應之路口涵蓋範圍皆為最配適本研究行人事故資料之測試結果。以下說明所使用變數之資料來源與定義。

2.3.1 行人事故資料

本研究將行人事故定義為該件事故中行人為前三當事者之事故即為行人事故，再根據交通部路政司 72.05.27.路臺監字第 03832 號函之交岔路口定義：「兩條或兩條以上道路平面相交，其交叉處，即為交岔路口，但如形成圓環，則依圓環行車之規定。交岔路口自何處算起：設有停止線者，自停止線起算。未設有停止線者，自轉角處起算。」篩選出路口範圍內的行人事故，作為後續分析的樣本。

利用臺北市交通大隊所提供之臺北市民國 101 至 106 年的道路交通事故資料 (含 A3 事故) 以及事故現場圖，篩選出發生於研究路口內的路口行人事故，並透過人工判讀事故現場圖的方式，統計事故發生在路口哪一個方向，再將每年路口的總事故數與每年路口方向的總事故數作為後續行人安全績效函數的應變數。

2.3.2 交通流量調查資料

事故頻率會受到交通量變化的影響，隨著人流量與車流量的增加，發生行人事故的風險也隨之增加，因此在安全績效函數中曝光量為重要的變數之一；加入曝光量，才能探討在相同的曝光量條件下各個因素對事故真正的影響。曝光量係指車輛與行人出現的數量，在過去的研究中多用交通量 (車流量與行人流量) 作為曝光量，曝光量有許多種表示方式，過去文獻大多將車輛流量與行人流量分開並取對數作為兩個不同的曝光量變數，然亦可將車輛流量與行人流量加總後取對數作為一個曝光量變數。本研究在建立模式時發現將車輛流量與行人流量分開為兩個曝光量變數，且車輛流量區分方向的結果較佳，後續章節將提供詳細說明。

由於本研究建立兩種不同評估單位的安全績效函數 (路口與路口方向)，因此不同的安全績效函數其曝光量的定義也不同，在路口的行人安全績效函數中，曝光量的定義為通過該路口的車流量與行人流量，而在路口方向的行人安全績效函數中，曝光量的定義則為會與穿越該路口方向之行人發生衝突的車流量與通過該路口方向的行人量。以圖 3 為例，路口東向的左轉曝光量為路口北方左轉之車流，右轉曝光量為路口南方右轉之車流，直行曝光量即為路口東方與西方直行之車流，各轉向曝光量 (含直行) 則為各轉向流量之加總。

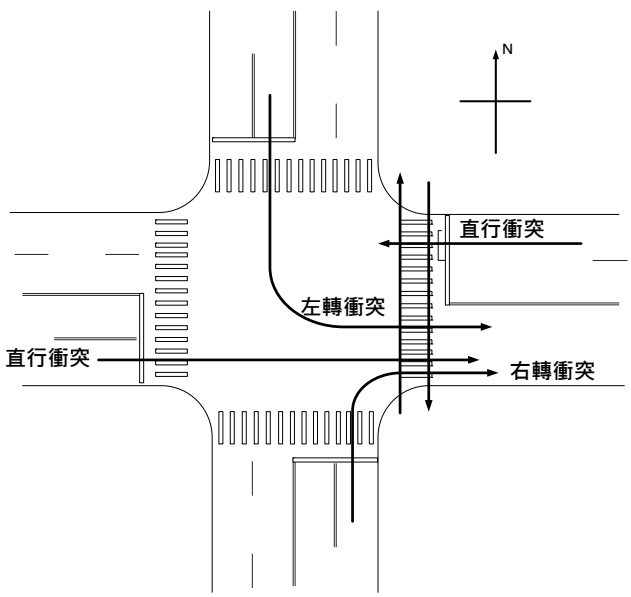


圖 3　行穿線人車衝突示意圖

值得注意的是，直行衝突在號誌化路口理應不存在，但經檢視臺北市民 101 至 106 年號誌化路口行人事故現場圖資料，在 490 件前三當事人有含行人的號誌化事故中，有 174 件為車輛與行人的行向為垂直，佔 35.5%。此類型事故發生原因有可能為一方闖紅燈，因此在後續發展路口行人安全績效模式時，本研究嘗試納入直行車流量為曝光量。

臺北市交通管制工程處 (以下簡稱交工處) 自民國 91 年起進行交通流量與特性調查，目的在蒐集臺北市基本及重要的交通狀況資料，做為評估道路交通及發現交通問題之基礎，本研究採用民國 101 至 106 年之路口交通流量調查資料與行人流量調查資料。

路口機動車流量調查包含路口基本資料、各車種的轉向流量資料，交通量共調查 4 個尖峰小時，本研究在使用交通量資料時，係取 4 個尖峰小時的平均交通量，作為曝光量變數的計算基礎，其中各轉向流量皆為未經過當量轉換之車輛數。通過路口方向的車種比例為圖 3 中該方向各轉向衝突車流量 (含直行) 中各車種之比例。以某路口方向之大型車比例為例，其分子為該方向各轉向衝突車流量 (含直行) 大型車車輛數之總和，分母則為各轉向衝突車流量 (含直行) 之總和。

交工處為了解設有立體設施之路口開放平面穿越後立體設施的使用情況，每年皆選定臺北市內多處的路口進行行人流量調查，進而針對相關設施進行改善與檢討。由於行人流量共調查 4 個尖峰小時(早上與下午各 2 小時)，並以 15 分鐘為單位記錄調查時間內的行人量，從 2 小時中計算行人最多的一個小時作為尖峰小時的行人流量，故行人流量資料中有早上尖峰小時行人量與下午尖峰小時行人量，本研究在使用行人流量資料時，是將早上尖峰與下午尖峰的行人量取平均值，使每個路口只有一個行人流量，本研究所使用的事故資料與交通流量資料之變數定義整理如表 1。

表 1　路口交通流量資料之變數定義

變數	應用於路口 SPF 之定義	應用於路口方向 SPF 之定義
路口名稱	路口交通流量調查路口名稱	
年	路口交通流量調查年份	
方向	–	調查地點位於路口哪一方向
行人事故數	路口範圍內行人事故數總和	該方向之行人事故數
左轉曝光量	該路口總左轉車流量	與該方向行人有左轉衝突的左轉車流量
直行曝光量	該路口總直行車流量	與該方向行人有直行衝突的直行車流量
右轉曝光量	該路口總右轉車流量	與該方向行人有右轉衝突的右轉車流量
各轉向曝光量 (含直行)	該路口左轉、直行、右轉車流量之總和	與該方向行人有左轉、直行、右轉衝突車流量之總和
大型車比例	通過該路口之大型車比例	通過該方向之大型車比例
小型車比例	通過該路口之小型車比例	通過該方向之小型車比例
機車比例	通過該路口之機車比例	通過該方向之機車比例
行人總量	調查時間內通過該路口的行人總量	調查時間內通過該方向的行人總量

註：－表示該變數不適用

2.3.3 路口幾何資料與號誌時相資料

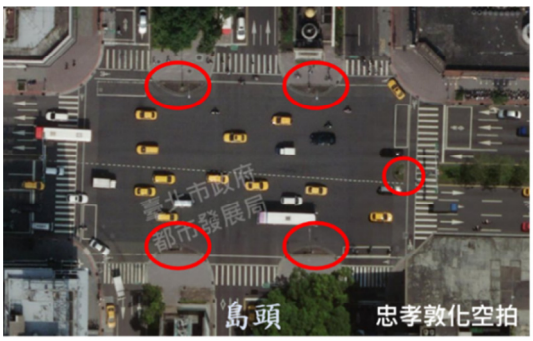
本研究利用臺北市歷史圖資展示系統所提供的航測影像 (100-102、104、106 年)，並搭配 Google 街景地圖，以各方向來建置研究所需的路口幾何資料，再將部分變數綜整為路口總體變數，如：避車島種類 (各方向) 綜整為路口有庇護島之個數與公車島個數，行穿線退縮距離則綜整成路口行穿線退縮 5 公尺以上之行穿線個數，路口幾何資料與號誌時相資料所包含的變數與其定義整理如表 2。本研究將避車島種類分為無任何避車島、公車島以及庇護島三類，庇護島主要供行人臨時暫停庇護之用，公車島雖然也能提供行人臨時暫停，但公車島通常缺少島頭保護，亦因此較無法降低轉彎車提早左轉 (即俗稱切西瓜) 的行為 (內政部營建署 [13])。基於前述考量，本研究將庇護島與公車島視為不同的避車島。據此，島頭型 (圖 4(a))、柱狀式 (圖 4(b)) 及高架下方 (圖 4(c)) 皆屬於庇護島一類，道路中央設有公車停靠區 (如：圖 4(d) 公車專用道) 則歸類為公車島。

表 2　路口幾何與號誌時相資料

變數	應用於路口 SPF 之定義	應用於路口方向 SPF 之定義
路口名稱	路口交通流量調查路口名稱	
年	路口交通流量調查年份	
方向	－	調查地點位於路口哪一方向
總車道數	路口各方向的雙向車道數加總	該方向雙向車道數
最大車道數	路口內的最大車道數	－
庇護島	路口各方向中有庇護島之個數	該方向的避車島種類 (0：無任何避車島；1：庇護島； 2：公車島)
公車島	路口各方向中有公車島之個數	
行穿線退縮 5 公尺以上	路口內行穿線退縮 5 公尺以上之行穿線個數	該方向行穿線是否退縮 5 公尺以上 (0：否；1：是)
道路寬度(公尺)	－	該方向的道路寬度(路緣至路緣)
行穿線長度(公尺)	－	該方向的行穿線長度(路緣至路緣)
立體人行設施 (含天橋與地下道)	該路口是否設有立體人行設施	該方向是否設有立體人行設施 (0：否；1：是)
行人專用時相 [1] (全紅)	該路口是否有行人專用時相 (0：無；1：有)	該行穿線是否有行人專用時相 (0：無；1：有)
行人早開時相	該路口是否有行人早開時相 (0：無；1：有)	該行穿線是否有行人早開時相 (0：無；1：有)
行人早閉時相 (或行人晚開時相)	該路口是否有行人早閉時相 (0：無；1：常態設置； 2：尖峰或假日有)	該處是否有行人早閉時相 (0：無；1：常態設置； 2：尖峰或假日有)
車輛左 (或右) 轉專用時相	該路口是否有左 (或右) 轉專用時相 (0：無；1：常態設置； 2：假日/尖峰才有)	該處是否有左(或右)轉專用時相 (0：無；1：常態設置； 2：假日/尖峰才有)

[1] 本研究蒐集之 50 個路口號誌時相皆為 24 小時正常運作。

號誌時相資料則是由臺北市交工處所提供的資料，針對路口及該行穿線是否有行人專用時相 (全紅)、行人早開時相、行人早閉時相、左轉專用時相、右轉專用時相來進行資料的編碼。其中左 (或右) 轉專用時相變數，為左 (或右) 轉進該路口方向之車流是否具專用時相，而其他路口方向之左(或右)轉車流幾乎不會與該路口方向行人產生衝突，因此不考慮為解釋變數。



(a)島頭型

(b)柱狀式

(c)高架下方

(d)公車島

資料來源：內政部營建署 [13]

圖 4　避車島種類

2.3.4 土地使用、人口社經及公共運輸資料

愈來愈多研究將路口周邊的土地使用、人口社經及公共運輸特性加入安全績效函數中，來探討路口特性對行人事故的影響，本研究蒐集各研究路口周邊 200 公尺的土地使用資料與路口周邊 50 公尺、100 公尺、200 公尺、400 公尺的公共運輸資料，人口社經資料則受限於資料的細緻程度，因此僅蒐集村里與行政區的人口社經資料。過去文獻探討土地使用對行人流量之影響時，大多是蒐集路口周邊 0.25 英里 (約 402 公尺) 的土地使用資料，但臺灣的街廓相對來說較短，而本研究所選擇的路口中 200 公尺約為一個街廓，因此

土地使用資料以路口周邊 200 公尺為主。此外，本研究也利用國土繪測圖資服務雲網站的資料，蒐集路口周邊 200 公尺與 400 公尺百貨公司、大專院校、高中國中小學、公園等可能會增加路口行人流量之設施的數量資料。

在人口社經資料部分，由於資料的細緻程度 (人口、所得最細為村里，機動車輛持有最細為行政區)，因此路口周邊人口社經特性係路口所在的村里或行政區之資料。而本研究所選路口多位於村里或行政區的交界，因此路口的周邊人口與所得資料為多個里的平均值，機動車輛登記數則為多個行政區的平均車輛登記數。此外，本研究將行政區機動車輛登記數除以該行政區之人口後，得到行政區每人機動車輛持有數，再將各行政區每人機動車輛持有數乘上各村里人口數，作為村里的機動車輛登記數。

在公共運輸部分，利用公共運輸整合資訊流通服務平臺所提供之臺北市公車路線與站牌資料、臺北捷運路線車站基本資料及臺北市公共自行車租借站位資料，取得各公車路線所有站牌、捷運站、YouBike 租借站之經緯度，並計算與研究路口的直線距離，取得路口周邊 50 公尺、100 公尺、200 公尺、400 公尺之公車路線數、捷運站站數、YouBike 站數及使用資料。當路口範圍內有多個 YouBike 站，則 YouBike 租借量即為多個站的加總，本研究所使用的土地使用與社經變數的定義如表 3 所示。

表 3　土地使用、人口社經及公共運輸資料之變數定義

類別	變數名稱	單位
土地使用	路口 200 公尺內商業區面積	平方公里
	路口 200 公尺內是否有學校	(0：無；1：有)
	路口 200 公尺內公園綠地面積	平方公里
	路口 200 公尺內是否有工業區	(0：無；1：有)
	路口 200/400 公尺內百貨公司數量	間
	路口 200/400 公尺內大專院校數量	間
	路口 200/400 公尺內中小學數量	間
	路口 200/400 公尺內便利商店數量	間
	路口 200/400 公尺內公園數量	間
	路口 200/400 公尺內體育館/場數量	間
人口社經	村里 0-17 歲人口數或比例	千人、%
	村里 18-64 歲人口數或比例	千人、%
	村里 65 歲以上人口數或比例	千人、%
	村里小汽車登記數	萬輛
	村里機車登記數	萬輛
公共運輸	路口 50/100/200/400 公尺內公車路線數	路線數
	路口 50/100/200/400 公尺內 YouBike 站數	站數
	路口 50/100/200/400 公尺內 YouBike 站借還量	千輛/日
	路口 50/100/200/400 公尺內捷運站數	站數

2.4 分析方法

由於行人事故數具有非負之特性，且事故資料為計數資料，因此本研究在建立行人安全績效函數時考慮了 Poisson 與負二項 (negative binomial, NB) 迴歸模式。此外，由於事故具有大量零的現象，因此在建立兩種行人安全績效函數時，也將零膨脹負二項 (zero-inflated negative binomial, ZINB) 迴歸模式列入考慮，以避免大量零的狀況影響模式參數估計。

根據 Gelman and Hill [14]，Poisson 迴歸假設觀察到的人車事故數 (y_i) 符合 Poisson 分配 (式(1))，該分配之平均數 (θ_i) 為解釋變數線性組合下，再經指數轉換後之值，如式(2)：

$$y_i \sim \text{Poisson}(\theta_i) \tag{1}$$

$$\theta_i = \exp(X_i\beta) \tag{2}$$

其中X_i為對應評估對象 *i* 的解釋變數，β為欲校估之參數值。

由於 Poisson 迴歸具有期望值等於變異數的特性，但觀察值可能出現變異數顯著大於或小於期望值的情形，明顯不符合 Poisson 分配，文獻常用 NB 迴歸來處理此議題。NB 迴歸可視作 Poisson 分配之期望值符合 Gamma 分配，即觀察值符合 Gamma-Poisson 混合分配之迴歸，如式 (3) 所示；其中u_i為曝光量，ω為過度離散 (overdispersion) 參數。當 $\omega = 1$，NB 迴歸即退化為 Poisson 迴歸。

$$y_i \sim \text{Negative} - \text{binomial}(mean = u_i exp(X_i\beta), \text{overdispersion} = \omega) \tag{3}$$

當觀察值中零的個數過多時，NB 迴歸的配適亦可能不佳，可透過零膨脹模式進一步修正。零膨脹模式假設觀察值中的零由兩種資料生成過程而來，一為該路口的事故期望值為零 (例如以時相完全區隔人車衝突)，另一為符合原本 NB 分配所產生的零(有曝光量下所產生的零觀察值)，其資料分配如式 (4)：

$$y_i \begin{cases} = 0, \text{ if } S_i = 0 \\ \sim \text{Negative} - \text{binomial}(u_i exp(X_i\beta), \omega), \text{ if } S_i = 1 \end{cases} \tag{4}$$

其中S_i為期望值為零或大於零的二元變數，其估計方式如式 (5)：

$$\Pr(S_i = 1) = \text{logit}^{-1}(X_i\gamma) \tag{5}$$

由式 (5) 可得知，零膨脹模式有兩組解釋變數，一組用以解釋觀察值屬於期望值等於或大於零，另外一組用以解釋 NB 分配的參數。

三、號誌化路口行人事故資料基本特性

本章將針對所蒐集之臺北市號誌化路口事故及相關資料，進行初步分析。3.1 節首先對 50 個路口的事故分布情況做基本統計，3.2 節則分析行人事故與曝光量之關係。

3.1 行人事故基本分析

表 4 為 50 個路口每年行人事故件數發生次數分配，50 個路口 6 年的資料共 300 個路口樣本及 1200 個路口方向樣本。路口事故件數統計結果指出，27.7%的路口一年都沒有發生行人事故，僅 1.33%的路口一年發生 6 次以上的行人事故。路口方向事故件數次數統計結果指出，70.7%的行穿線一年內都沒有發生行人事故，僅 8 個行穿線一年發生 4 次或以上的行人事故。相較於路口事故，路口方向事故分配相對右偏，且零次事故數的佔比亦較高。

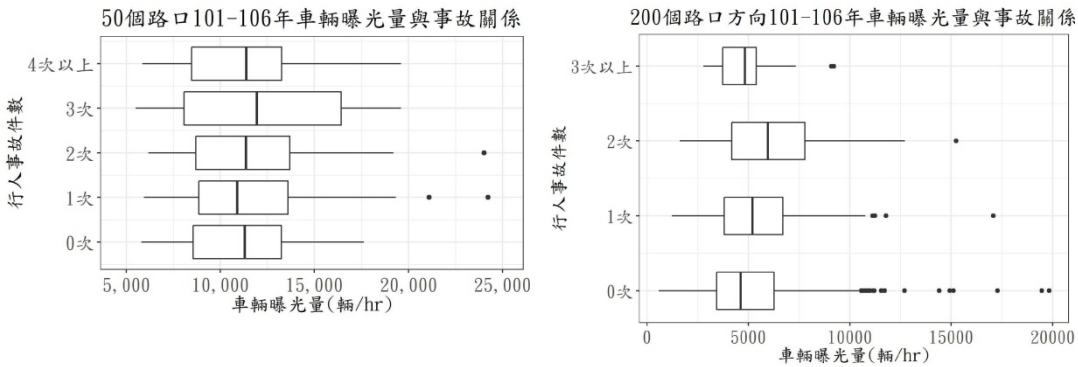
表 4　路口及路口方向每年行人事故發生件數分配

每年行人事故件數	路口事故		路口方向事故	
	次數	百分比	次數	百分比
0 次	83	27.7%	848	70.7%
1 次	79	26.3%	255	21.2%
2 次	69	23%	72	6.0%
3 次	30	10%	17	1.42%
4 次	19	6.33%	4	0.33%
5 次	16	5.33%	3	0.25%
6 次或以上	4	1.33%	1	0.08%
總計	300	100%	1,200	100%

註：研究對象為不同 50 個路口，因橫跨 6 年資料，因此總次數為 300。

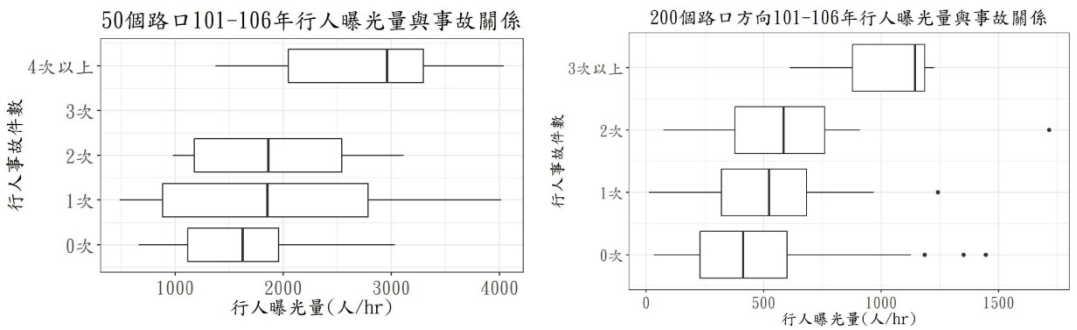
3.2 行人事故與曝光量關係

在建立行人安全績效函數之前，本研究針對行人事故數與曝光量進行基本分析。圖 5(a)與(b)分別為路口與路口方向的車輛曝光量與行人事故之關係，兩圖的車輛曝光量與行人事故無明顯趨勢。圖 6(a)與(b)分別為路口與路口方向的行人曝光量與行人事故之關係，圖中的行人曝光量皆是實際行人量，兩圖可看出當行人曝光量愈大時，行人事故有愈多的趨勢。



(a) 路口事故　　(b) 路口方向事故

圖 5　車輛曝光量與行人事故關係圖



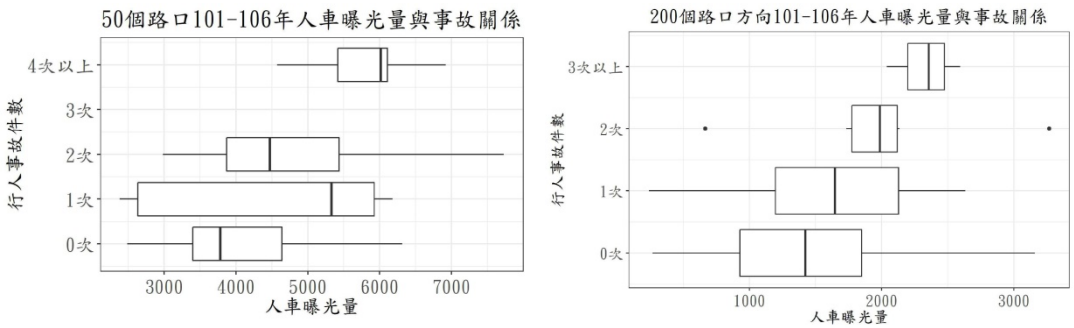
(a) 路口事故　　(b) 路口方向事故

圖 6　行人曝光量與行人事故關係圖

本研究另嘗試將行人流量與車流量取幾何平均 (即相乘再開根號)，作為另一種代表人車衝突曝光量之變數，此變數與路口及路口方向行人事故關係繪如圖 7(a)與(b)。由兩散布圖結果可看出，選取之人車曝光量與路口方向行人事故數據有一定正向關係，與路口事故大致亦呈現正向關係，但路口事故與人車曝光量之正向關係不若路口方向事故與人車曝光量關係明顯。

四、行人安全績效函數模式分析結果

本章針對所蒐集之臺北市號誌化路口事故及相關資料，建立號誌化路口及路口方向行人安全績效函數。4.1 節首先說明行人流量估計模式，4.2 及 4.3 節分別說明路口與路口方向行人安全績效函數之建立過程與模式結果，最後於 4.4 節比較路口與路口方向行人安全績效函數之預測績效。



(a) 路口事故　　(b) 路口方向事故

圖 7　人車曝光量與行人事故關係圖

4.1 行人流量估計模式

本研究參考 Schneider et al. [15] 與 Miranda-Moreno & Fernandes [16] 的研究，使用對數線性 (log-linear) 迴歸發展路口行人流量模式。首先利用相關係數分析，探討路口行人量與各解釋變數及解釋變數之間的相關性，並建立行人量與各解釋變數間的簡單迴歸，來選擇放入最終模式的變數。表 5 為行人流量估計模式之結果，在模式中路口最大車道數、50 公尺內公車路線數、50 公尺內 YouBike 站數、400 公尺內捷運站數、200 公尺內 YouBike 平均日借還量、0 至 17 歲人口比例、18 至 64 歲人口數、商業區面積與行人流量有正向關係，公園綠地面積、是否有學校、是否有工業區、機車持有數與行人流量則是呈現負向關係。

Miranda-Moreno & Fernandes [16] 的研究在探討路口幾何特性對行人流量的影響時，係以主要幹道比例、街段數量、是否為四岔路口作為路口特性，本研究則是以路口的最大車道數來表示路口特性，路口最大車道數愈大表示路口相對而言位在較主要的路口，因此最大車道數愈大，行人也相對較多。在公共運輸部分，路口 50 公尺內的公車路線數、50 公尺內的 YouBike 站數以及 400 公尺內的捷運站數代表該路口的公共運輸特性，路口的公共運輸愈便利，行人也會增加，而路口 200 公尺內 YouBike 站的平均日租借量愈大，行人也會比較多。

在人口社經特性部分，0-17 歲的人口因為還未達到合法取得駕照的年齡，外出活動多是依靠步行或公共運輸，因此路口周遭 0-17 歲人口的比例愈高，行人愈多；18-64 歲人口數與總人口數有極高的相關性，18-64 歲人口數也可代表路口周遭的總居住人口，居住人口多，表示在路口周遭活動的行人也會比較多。本研究分析發現總人口數的參數校估結果容易受到車輛持有率的影響，在模式發展過程中曾出現不顯著且正負號不符預期的狀況，因此最後模式採用影響效果相對穩定的 18-64 歲人口數。

在土地使用部分，商業區面積愈大，行人相對較多；周遭有工業區的路口，行人會比較少；公園綠地面積愈大，行人流量愈少，推測係因行人流量調查皆是在平日的尖峰時間

調查，然而行人多是在離峰或假日才會在公園綠地活動，因此公園綠地面積與行人流量呈負向關係應是合理的結果。路口周遭有學校比沒有學校的行人流量少，推斷可能是與行人流量的調查時間有關，學校的上學時間多為早上 7 點 30 分前，而放學時間多為下午 4 點，而行人流量調查時間為早上 7-9 點與下午 5-7 點，並從兩個小時中計算行人最多的一個小時作為尖峰小時的行人流量。因此行人流量調查時間可能並非學校的上放學時間。

本研究建立之路口行人流量估計式，其 R2 值 0.51 較 Miranda-Moreno et al. [12] 之 R2 值 (0.55) 略低，但交叉驗證之 MAPE 值為 7.2%，優於一般認定預測優良之門檻值，因此此模式估計之行人流量應具備一定參考價值。

表 5　路口行人流量模式估計結果：對數線性迴歸 [a]

變數	估計值	標準差	Pr(>|t|)
截距	–2.953	3.475	0.3968
最大車道數	0.071	0.030	0.0187 **
400 公尺內捷運站數 (站)	0.163	0.079	0.0406 **
200 公尺內 YouBike 平均日借還量 (千輛/日)	0.787	0.277	0.0051 ***
50 公尺內 YouBike 站數 (站)	0.319	0.125	0.0119 **
50 公尺內公車路線數 (路線數)	0.017	0.004	0.0001 ***
0-17 歲人口比例 (%)	6.741	1.630	0.0001 ***
18-64 歲人口數 (千人)[b]	1.231	0.423	0.0042 ***
村里機車登記數 (萬輛)	–2.502	1.965	0.2051
路口 200 公尺內商業區面積 (平方公里)[c]	1.914	0.830	0.0227 **
路口 200 公尺內公園綠地面積 (平方公里)	–29.263	9.195	0.0018 ***
學校 (Yes=1)	–0.496	0.125	0.0001 ***
工業區 (Yes=1)	–0.685	0.183	0.0003 ***
Multiple R-squared: 0.5089			
Adjusted R-squared: 0.4671			
10 fold cross validation MAPE: 0.072			

*** p-value< 0.01，** p-value < 0.05，* p-value < 0.1

a 模式中的連續變數皆已中心化 (Centering) (即減去平均值)

b 對數轉換

c 開根號轉換

在路口方向行人流量部分，本研究採用估計方式為路口行人流量估計之均分值。本研究在分析過程中曾嘗試將路口方向行人流量與行穿線長度、道路寬度等與路口方向相關變數進行迴歸分析，可惜分析結果皆不佳，因此採用簡單均分方式處理。

4.2 號誌化路口行人安全績效函數

本研究首先用 Poisson、NB 及 ZINB 迴歸模式發展僅含曝光量變數之路口行人安全績效函數，並使用離散檢定 (dispersion test) 來檢定資料是否具有過度離散 (overdispersion) 的情況，並檢視資料之過度離散情形，最後比較各模式之 AIC 值。AIC 之公式為 $\mathrm{AIC} = 2k - 2\ln(\hat{L})$ 其中 k 為模式校估之參數個數，$\hat{L}$ 為概似函數之最大值；在相同資料及殘差假設分配下，AIC 愈小之模式，其模式配適度相對較好。本研究另利用 VIF 值檢視解釋變數間是否有共線現象，並確保最終模式各變數之 VIF 值皆小於 5。離散檢定結果顯示資料確實存在過度離散之情形，且資料有多數為零的現象，三個模式中以 ZINB 模式之 AIC 值較佳，因此後續皆使用 ZINB 模式，發展路口行人安全績效函數。

除了純曝光量模式外，本研究參考 Lee et al. [11] 的研究結果，發展以路口周遭土地使用與人口社經特性代替行人流量為曝光量之行人安全績效函數，最後則發展以 4.1 節估計行人量作為行人曝光量之行人安全績效函數。安全績效函數之建立首先納入曝光量變數，再依序加入車種比例、道路幾何、號誌時相、土地使用、人口社經及公共運輸等變數；本研究亦在模式中加入發生年份的啞變數，反應多年期資料特性。在 ZINB 模式中，零模式 (即式(5)) 之主要考慮變數為曝光量及號誌時相，反應人車可能發生衝突的機會。各模式之結果變數 (outcome variable) 皆為每年各路口發生之行人事故件數。

表 6 為路口行人安全績效函數之最終結果，在計數模式中，行人曝光量愈大，路口的行人事故愈少，可能係因路口尖峰時候的行人量愈大，車輛愈容易注意到行人並禮讓行人，因此較不容易發生事故。直行曝光量與行人事故有顯著正相關，表示路口直行車流愈多，該路口的行人事故愈多。

路口小型車比例愈高，行人事故愈多，可能係因為與機車相比小型車較容易有視野死角和視線遮蔽的情況，車輛較不易注意到行人，導致行人事故發生。行穿線退縮 5 公尺以上的行穿線個數愈多行人事故愈少，係因行穿線退縮會使轉向車輛在車輛轉正之後才遇到行穿線，此時車輛較不會與行人發生衝突，行人事故也會減少。本研究在發展模式時，曾檢視不同退縮距離對人車事故的影響，發現以退縮 5 公尺的結果最好。5 公尺亦為一輛小客車大致的長度，符合退縮空間供車輛停等的理論假設。退縮大於 5 公尺雖可容納更多車輛，但在事故模式的表現並未較佳，且退縮距離遠亦可能讓部分轉彎車有足夠空間加速通過行穿線，反而增加人車衝突危險，因此最後選擇以退縮 5 公尺為界。路口內公車島個數與行人事故有顯著正相關，表示路口內公車島個數愈多行人事故愈多。公車島的設置除了會帶來更多的行人之外，也可能會讓行人為了趕公車而違規穿越道路，進而導致行人事故的發生。

商業區面積、100 公尺內公車路線數、50 公尺內捷運站數、路口 400 公尺內百貨公司數量、路口 400 公尺內公園數量、路口 200 公尺內大專院校數量愈多，行人事故也會增加。商業區面積愈大或百貨公司數量愈多代表該路口的商業活動愈多，除了非尖峰時間行人會比較多以外，通過該路口的車輛也相對較多，非尖峰時間的曝光量大，行人事故通常也會

表 6　路口行人安全績效 ZINB 迴歸校估結果 [a]

變數	純曝光量模式			土地使用與人口社經模式			全模式		
	估計值	*P* 值		估計值	*P* 值		估計值	*P* 值	
計數模式									
常數	0.476	<0.001	***	0.064	0.649		–1.370	<0.001	***
行人曝光量 [b]	0.072	0.512					–0.270	0.029	**
車左轉曝光量 [b]	0.012	0.719		0.194	0.001	***	0.131	0.015	**
車直行曝光量 [b]	0.228	0.297		0.228	0.216		0.635	0.006	***
車右轉曝光量 [b]	–0.411	0.045	**	–0.139	0.474		–0.083	0.671	
小型車比例							2.685	<0.001	***
公車島個數							0.238	0.002	***
行穿線退縮 5 公尺以上個數							–0.129	0.008	***
商業區面積(平方公里)				8.187	0.008	***	10.844	0.001	***
100 公尺內公車路線數(路線數)				0.015	0.000	***	0.008	0.063	*
50 公尺內捷運站數(站)				0.465	0.005	***	0.393	0.022	**
路口 400 公尺內百貨公司數量(間)				0.125	0.002	***	0.111	0.010	***
路口 200 公尺內大專院校數量(間)				0.695	0.000	***	0.346	0.080	*
路口 400 公尺內公園數量(座)				0.042	0.048	**	0.081	<0.001	***
ω [c]	1.603	<0.001	***	8.987	0.856		9.556	0.744	
零模式									
常數	–129.910	0.168		–4.123	0.001	***	–4.842	0.015	**
行人曝光量 [b]	–105.510	0.167							
左轉曝光量 [b]	23.000	0.184		1.737	0.009	***	1.757	0.090	*
直行曝光量 [b]	30.770	0.203							
右轉曝光量 [b]	–56.100	0.174							
Log-likelihood (收斂值)	–403.4			–386.19			–374.5		
AIC	828.81			798.39			783.03		

*** p-value< 0.01，** p-value < 0.05，* p-value < 0.1
a 模式中的連續變數皆已中心化 (centering) (即減去平均值)
b 對數轉換
c 過度離散參數，請見 2.4 節。

增加。公車路線數與捷運站站數的多寡代表了該路口公共運輸便利性，公共運輸愈便利行人活動愈多，行人活動愈多行人事故發生的風險也愈大。行人大多係在非尖峰或假日會到公園綠地活動，路口 400 公尺內公園數量愈多，行人活動與行人事故發生的風險也皆會增加。而大專院校的學生上課的時間較為彈性，因此尖峰與非尖峰大專院校周邊的行人活動都很頻繁，行人活動頻繁就比較容易發生行人事故。在零模式中，左轉車流量愈多則愈容易發生行人事故。

4.3 路口方向行人安全績效函數

有些可能會影響行人安全的道路幾何設計 (如：道路寬度、庇護島、行穿線退縮距離)，較難以路口為評估單位，因此為了探討路口幾何特性與號誌對行人事故的影響，本小節將建立路口方向行人安全績效函數，來探討道路幾何設計與號誌時相對行人事故的影響。

路口方向行人安全績效函數之建立過程與路口行人安全績效函數相同，皆是先用 Poisson、NB 及 ZINB 迴歸模式發展僅含曝光量變數之路口行人安全績效函數，並經過離散檢定檢視資料之過度離散情形後，以 ZINB 模式發展路口方向行人安全績效函數。路口方向行人安全績效函數在納入曝光量後，依序加入車種比例、道路幾何、號誌時相、土地使用、人口社經及公共運輸變數，最後考慮變數之間的交互效果，模式中之結果變數為行穿線每年行人事故件數。

表 7 為路口方向行人安全績效函數的最終模式，在計數模式中的主因子效果，左轉與直行曝光量愈大行人事故愈多；與無避車島相比，庇護島的主效果為正，但與行人曝光量呈負向效果。在號誌時相部分，僅行人早閉時相有顯著影響，行人專用時相、左轉專用時相及右轉專用時相皆無顯著影響。與沒有行人早閉時相相比，有行人早閉時相的行人事故較多，表示在行人紅燈、同向車流綠燈的情況下，可能還是會有行人違反號誌穿越馬路的情況，且若是尖峰或假日才有行人早閉時相路口的行人事故亦較多。行穿線退縮雖不顯著，但與行穿線退縮 5 公尺以下相比，行穿線退縮 5 公尺以上的行人事故較少。路口 100 公尺內公車路線數、路口 200 公尺內大專院校數量、路口 200 公尺內便利商店數量愈多，行人事故也會增加。零模式的部分則是行人曝光量愈多愈不會發生事故，可能表示通過路口方向的行人愈多，車輛愈容易注意到行人，因此較不會發生事故，左轉與右轉曝光量愈大愈容易發生事故。在交互作用部分，庇護島的安全效果出現在行人曝光量大的情況下(見圖 8)，表示行人愈多時，有設置庇護島的行穿線，其行人事故會比無庇護島或有公車島的行穿線之行人事故少，但是庇護島或公車島在行人曝光量少時，其行人事故反而相對多。立體行人設施有正向主效果以及與行人曝光量的負向交互效果，由圖 9 即可清楚看出，在行人量大的路口方向，有立體設施相較於無立體設施的行人事故少，但在行人量少的路口方向，有立體設施相較於無立體設施的行人事故多。由於立體設施通常設置在行人流量相對多的路口，因此模式結果符合預期。

表 7　路口方向行人安全績效 ZINB 迴歸校估結果 [a]

變數	純曝光量模式			土地使用與人口社經模式			全模式		
	估計值	*P* 值		估計值	*P* 值		估計值	*P* 值	
計數模式									
常數	−0.808	<0.001	***	−1.098	<0.001	***	−1.776	<0.001	***
行人曝光量 [b]	0.219	0.032	**				0.003	0.985	
車左轉曝光量 [b]	−0.015	0.614		0.011	0.719		0.172	<0.001	***
車直行曝光量 [b]	0.216	0.090	*	0.247	0.039	*	0.497	<0.001	***
車右轉曝光量 [b]	−0.171	0.001	***	−0.155	0.001	***	−0.021	0.496	

變數	純曝光量模式			土地使用與人口社經模式			全模式		
	估計值	*P* 值		估計值	*P* 值		估計值	*P* 值	
計數模式									
小型車比例							1.064	0.011	**
避車島種類 (無避車島為參考類別)									
公車島							0.231	0.164	
庇護島							0.334	0.085	*
行穿線退縮 5 公尺以上 (Yes=1)							–0.165	0.165	
行人早閉時相 (無行人早閉為參考類別)									
常態設置							0.432	0.003	***
假日/尖峰才有							0.333	0.202	
立體人行設施–有 (無此設施為參考類別)							0.263	0.039	**
商業區面積 (平方公里)				4.475	0.114		7.495	0.013	**
路口 100 公尺內公車路線數 (路線數)				0.013	<0.001	***	0.015	0.000	***
路口 200 公尺內大專院校數量 (間)				0.462	0.011	**	0.403	0.058	*
路口 200 公尺內便利商店數量 (間)				0.040	0.028	**	0.053	0.005	***
行人曝光量 [b]*避車島種類–公車島							–0.406	0.058	*
行人曝光量 [b]*避車島種類–庇護島							–0.733	0.010	***
行人曝光量 [b]*立體人行設施–有							–0.200	0.291	
ω [c]	1.049	0.013	**	1.395	0.011	**	3.798	0.363	
零模式									
常數	–3.881	0.009	***	–3.812	0.008	***	–3.627	0.002	***
行人曝光量 [b]	0.009	0.988					–1.807	0.005	***
左轉曝光量 [b]	–1.110	0.017	**	–1.054	0.018	**	0.829	0.008	***
直行曝光量 [b]	0.161	0.862							
右轉曝光量 [b]	–0.750	0.001	***	–0.719	0.000	***	0.487	0.008	***
Log-likelihood (收斂值)	–794.7			–780.26			–734.2		
AIC	1611.44			1584.53			1516.382		

*** p-value< 0.01，** p-value < 0.05，* p-value < 0.1

a 模式中的連續變數皆已中心化 6 (Centering) (即減去平均值)

b 對數轉換

c 過度離散參數，請見 2.4 節。

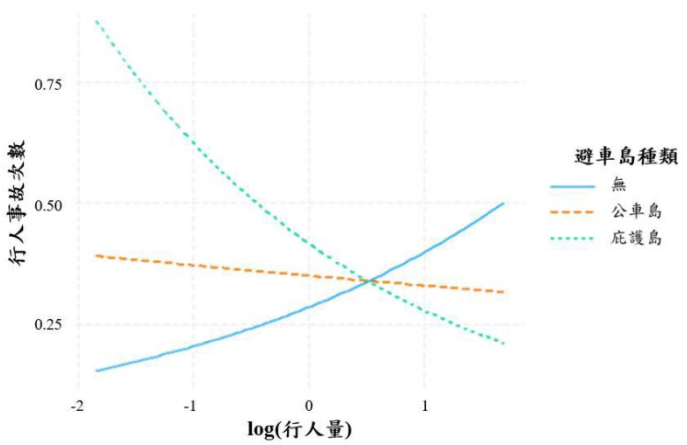


圖 8　行人量與避車島種類交互效果圖

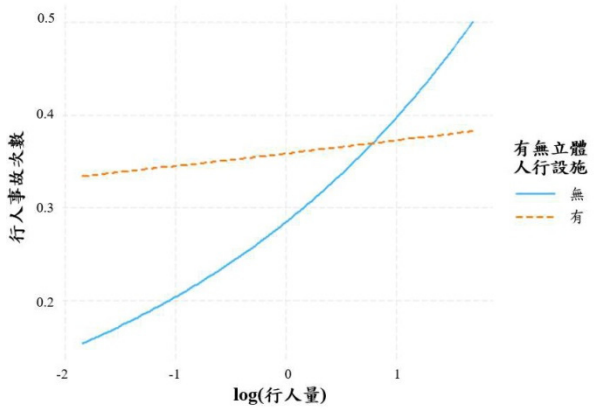


圖 9　行人量與有無立體人行設施交互效果圖

4.4 路口與路口方向行人安全績效函數比較

本研究最後將路口方向行人安全績效函數所預測出來的各路口方向每年行人事故件數加總成路口每年行人事故件數，並與 4.2 節路口行人安全績效函數預測的路口每年行人事故數做比較，結果發現使用路口方向行人安全績效函數再加總成路口行人事故的結果 (MAE：0.983) 與直接用路口安全績效函數的結果 (MAE：0.984) 相近。在經過 50 次模擬的 10-fold 交叉驗證後，使用路口方向行人安全績效函數再加總成路口行人事故的平均 MAE 為 1.15、中位數為 1.14，略高於比直接用路口安全績效函數的 MAE 平均值 1.12 與中位數 1.10，但整體而言無明顯差異 (見圖 10)。表示用路口方向行人安全績效函數來預測路口的行人事故數，不會有明顯過度配適 (overfitting) 的現象。

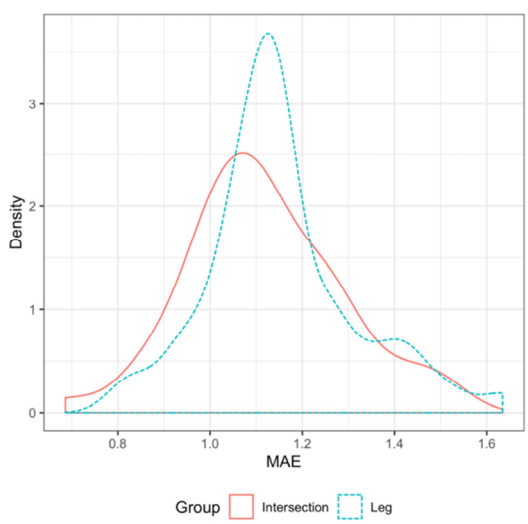


圖 10　路口與路口方向行人安全績效函數 50 次模擬 10-fold 交叉驗證結果：平均絕對誤差 (MAE) 之分布

五、結論與建議

5.1 結論

本研究利用路口道路幾何、交通流量 (車流量與估計行人量)、號誌時相、土地使用、人口社經、公共運輸等路口特性資料，建立兩種不同評估單位的行人安全績效函數，並比較兩種函數在安全分析及事故數預測的差異。統整本研究的重要結果如下：

1. 與路口行人安全績效函數相比，以路口方向為單位建立路口方向行人安全績效函數，來探討道路幾何特性與號誌時相對行人事故的影響，才能凸顯道路幾何特性與號誌時相對行人事故的影響，模式亦無顯著過度配適狀況。
2. 道路幾何設計與曝光量有顯著的交互效果，因此在設計道路幾何時需考慮到不同的曝光量條件，如：庇護島與立體人行設施適合設置在行人量多的路口，在行人量少時設置庇護島或立體人行設施反而有行人事故增加的現象。
3. 在號誌時相的部分，有行人早閉時相的行人事故較多，表示在行人紅燈、同向車流綠燈的情況下，可能還是會有行人違反號誌穿越馬路的情況，且若是尖峰或假日才有行人早閉時相，行人事故也相對較多。
4. 本研究提出之行人安全績效模式是根據臺北市主次要道路號誌化路口資料估計而得，模式採用美國 Highway Safety Manual (HSM) (ASSHTO [6]) 建議之負二項迴歸，模式中已放入人車流量、道路幾何、號誌時相以及周遭土地使用等重要變數，應適用於評估其他同類型路口之行人安全績效。

5.2 建議

本研究透過行人安全績效函數之建立，評估路口行人的安全效益。以下針對分析結果與分析過程中所遇到的問題進行歸納提出幾點建議，供後續相關研究參考精進。

1. 本研究建立路口與路口方向兩種不同評估單位的行人安全績效函數，道路幾何設計對行人事故的影響在行穿線的模式較明顯，因此建議後續研究以路口方向為評估單位。此外不同的道路幾何設施係針對不同碰撞型態的事故，如：庇護島與公車島主要影響車輛左轉的軌跡，進而減少左轉事故，但行人常為了趕公車而違規穿越道路反而增加行人事故，因此後續探討道路幾何設計的安全效果時，建議將不同的事故碰撞型態分開探討。
2. 在過去少數的行人安全績效函數文獻中，行人曝光量對都市交叉路口行人事故的影響有正有負。Lyon and Persaud [17] 以加拿大安大略省哈密爾頓市 (City of Hamilton, Ontario, Canada) 交叉路口行人事故為對象，發展行人事故負二項迴歸模式，其行人曝光量與事故之間關係為正向。Thomas et al. [10] 同樣以負二項迴歸分析美國西雅圖市交叉路口行人流量與行人事故之關係，其結果卻為負向，與本研究相同。哈密爾頓市人口密度每平方

公里不足 500 人，而西雅圖市與臺北市皆為人口密度每平方公里 7,500 人以上都市，因此本研究認為行人流量對行人事故的影響，可能因都市型態不同而有所差異。例如在人口密度高的都市，行人通過路口時人數通常較多，較容易被駕駛人看見；反之，在人口密度低的都市，行人通過路口時可能較為稀疏，亦較容易被駕駛人忽略。然造成此正負號差異之原因，仍有待進一步研究。

3. 直行衝突造成之行人事故為時間與行人穿越道路路權兩者綜合考量，而左右轉衝突造成之行人事故為行人穿越道路優先路權，若將兩者分開來討論，可以更準確分析各影響因子對行人事故發生的影響。例如行穿線退縮期望可以減少左右轉行人衝突，但因增加車輛通過路口時間，可能改變直行車流與行人衝突的狀況。兩種行人事故發生原因的差異，建議未來研究可進一步探討。
4. 國外的研究指出路口設有行人專用時相可以減少行人事故與人車衝突，降低行人的事故風險，但本研究的 50 個路口中設有行人專用或左轉保護時相的路口非常少，且臺北市的大型路口多設有禁止左轉的行車限制，分析時多有限制。後續研究若欲探討行人專用時相安全效果，可注意路口號誌時相的樣本比例與路口的行車限制條件。
5. 設置行人早閉時相的行人事故較多，表示在行人紅燈時相的情況下，仍有行人違規穿越馬路，在設置時應多加留意；例如降低行人下一次停等紅燈時間，或在必要時加強執法。
6. 受限於樣本數，立體設施變數在模式中的交互效果不顯著，但效果力 (effect size)大，建議未來研究可針對此因子之安全效果作進一步討論。
7. 路口方向行人安全績效函數中有許多土地使用等變數係路口層級變數，可能會影響模式中其他變數的參數估計，因此建議後續研究可以嘗試用其他方法 (如：多層次迴歸)，將路口單位與行穿線單位的變數分層估計，以便更深入地探討行人事故的影響因素，使研究更精進。
8. 國內大部分縣市 (含本研究對象臺北市) 未定期蒐集路口行人流量，因此本研究參考文獻 Miranda-Moreno et al. [12] 的作法，先建立路口行人流量估計式，再以估計值代入第二步驟之路口行人安全績效模式。以此兩階段方式校估路口行人安全績效函數為目前行人流量資料缺乏下之權宜作法，國內正朝人本交通環境目標邁進，建議應逐步完善行人基本資料蒐集。
9. 過去研究在發展路口安全行人安全績效函數時，亦曾使用多年平均值作為應變數，以減少交通事故機率性及稀少性的影響。然本研究考量樣本僅有 50 個路口，以此作法會減少可探討 (或控制) 的解釋變數個數。為考慮事故稀少性問題，本研究在模式發展過程中已考慮零膨脹 (zero-inflated) 模式。另一方面，部分路口特性在不同年期間可能有所變動 (例如行穿線退縮距離)，以年資料進行分析，可減少處理此類變數之困擾；而年資料分析亦較容易反應隨年變動變數與事故之間的關係，此優點對曝光量變數尤其重要。綜合考量之下，本研究仍採年資料進行分析，但建議未來研究可深入比較兩種處理方式之優缺點以及對事故預測力之影響。

參考文獻

1. Retting, R. A., Ferguson, S. A., & McCartt, A. T., “A Review of Evidence-Based Traffic Engineering Measures Designed to Reduce Pedestrian–Motor Vehicle Crashes”, *American Journal of Public Health*, Vol.93, No.9, 2003, pp.1456-1463.
2. Gårder, P., “Pedestrian Safety at Traffic Signals: A Study Carried Out with the Help of A Traffic Conflicts Technique”, *Accident Analysis & Prevention*, 1989, Vol.21, Iss.5, pp.435-444.
3. Zegeer, C. V., Richard Stewart, J., Huang, H., & Lagerwey, P, 2001, “Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations: Analysis of Pedestrian Crashes in 30 Cities”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1773, Iss.1, 2001, pp.56-68.
4. Zegeer, C. V., Opiela, K. S., & Cynecki, M. J., Effect of Pedestrian Signals and Signal Timing on Pedestrian Accidents , *Transportation Research Record 847*, 1982, pp.62-72.
5. Van Houten, R., Retting, R. A., Farmer, C. M., & Van Houten, J., “Field Evaluation of a Leading Pedestrian Interval Signal Phase at Three Urban Intersections”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1734, No.1, 2000, pp.86-92.
6. National Research Council, *Highway Safety Manual*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1st Edition, Washington, DC, 2010.
7. Torbic, D., Harwood, D., Bokenkroger, C., Srinivasan, R., Carter, D., Zegeer, C., & Lyon, C., “Pedestrian Safety Prediction Methodology for Urban Signalized Intersections”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2198, No.1,2010, p.65-74.
8. Schneider, R. J., Diogenes, M. C., Arnold, L. S., Attaset, V., Griswold, J., & Ragland, D. R., ”Association Between Roadway Intersection Characteristics and Pedestrian Crash Risk in Alameda County”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2198, No.1, 2010, pp.41-51.
9. McArthur, A., Savolainen, P., & Gates, T., “Spatial Analysis of Child Pedestrian and Bicycle Crashes: Development of Safety Performance Function for Areas Adjacent to Schools”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2465, No.1, 2014, pp.57-63.
10. Thomas, L., Lan, B., Sanders, R. L., Frackelton, A., Gardner, S., & Hintze, M., “Changing the Future? Development and Application of Pedestrian Safety Performance Functions to Prioritize Locations in Seattle”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2659, Iss.1, 2017, pp.212-223.
11. Lee, J., Abdel-Aty, M., & Shah, I., “Evaluation of Surrogate Measures for Pedestrian Trips at Intersections and Crash Modeling”, *Accident Analysis & Prevention*, Vol.130, 2019, pp.91-98.
12. Miranda-Moreno, L. F., Morency, P., & El-Geneidy, A. M., “The Link Between Built Environment, Pedestrian Activity and Pedestrian–Vehicle Collision Occurrence at Signalized

Intersections", *Accident Analysis & Prevention*, Vol.43, No.5, 2011, pp.1624-1634.

13. 內政部營建署委託研究，107 **年度市區道路人行設施之交通安全效益評估方法手冊案**，民國 109 年。
14. Gelman, A., & Hill, J., *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*, Cambridge University Press, 2007.
15. Schneider, R. J., Henry, T., Mitman, M. F., Stonehill, L., & Koehler, J., "Development and Application of a Pedestrian Volume Model in San Francisco", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2299, 2012, pp.65-78.
16. Miranda-Moreno, L., & Fernandes, D., "Modeling of Pedestrian Activity at Signalized Intersections: land Use, Urban Form, Weather, and Spatiotemporal Patterns", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2264, 2011, pp.74-82.
17. Lyon, C., & Persaud, B., "Pedestrian Collision Prediction Models for Urban Intersections", *Transportation Research Record*, Vol.1818, No.1, pp.102-107.