

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

號誌黃燈下續行決策分析
Analysis of Passing Decision During Amber Phases

研究生：李庭緯（Lee, Ting-Wei）
指導教授：吳宗修（Woo, T. Hugh）

中華民國一一〇年七月
July 2021

號誌黃燈下續行決策分析

Analysis of Passing Decision During Amber Phases

研究生：李庭緯

Student：(Lee, Ting-Wei)

指導教授：吳宗修

Advisor：(Woo, T. Hugh)

國立陽明交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Yang Ming Chiao Tung University in partial Fulfillment of the

Requirements for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

July 2021

Taiwan, Republic of China

中華民國 一一〇年七月

國立陽明交通大學博碩士論文紙本暨電子檔著作權授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之學位論文，為本人於國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 交通 組，
109 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：號誌黃燈下續行決策分析

指導教授：吳宗修

一、紙本論文授權

紙本論文依著作權法第15條第2項第3款之規定辦理，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者…推定著作人同意公開發表其著作」。

二、論文電子檔授權

本人授權將本著作以非專屬、無償授權國立陽明交通大學、台灣聯合大學系統圖書館及國家圖書館。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：	
中英文摘要	必需公開
本校及台灣聯合大學系統區域網路	■ 中華民國 113 年 9 月 16 日公開
校外網際網路及國家圖書館	■ 中華民國 113 年 9 月 16 日公開

說明：基於推動「資源共享、互惠合作」之理念與回饋社會及學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟或數位化等各種方式收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行線上檢索、閱覽、下載或列印。

授權人：李庭緯 (親筆簽名)

中華民國 110 年 09 月 17 日

國立陽明交通大學 碩士學位論文審定同意書

運輸與物流管理學系交通運輸碩士班 李庭緯 君

所提之論文

題目：(中文) 號誌黃燈下續行決策分析

(英文) Analysis of Passing Decision During Amber Phases

經學位考試委員會審查通過，特此證明。

學位考試委員會 (簽名)

口試委員：

王銘亨

(召集人)

趙崇仁

吳宗修

論文已完成修改

指導教授

吳宗修

(簽名)

系主任

黃昭居

(簽名)

中 華 民 國 110 年 7 月 30 日

致謝

兩年的碩士生活裡，首先最感謝指導教授吳宗修老師，感謝老師在百忙之中，抽空指導學生，無論在學術領域方面或生活上，老師會用過去的經驗，給我許多建議，也感謝趙崇仁老師與王銘亨老師對我論文的建議，讓這篇論文更加完整。再來感謝的是碩班修課過程中，在運輸安全及研究方法獲益良多的吳昆峯老師與邱裕鈞老師，另外更謝謝參與觀測計畫的所有研究人員們，辛苦地蒐集與整理資料。

感謝我的家人，爸媽辛苦工作，支持我念碩士，辛苦養育我 24 年，可以不用煩惱其他事，專心念書，也感謝我不常在家的這段時間裡，妹妹幫忙分擔家中的大小事。

在新竹的兩年生活裡，也少不了同學們的陪伴，lab 天使貞瑩、很會聊天的晟華、一起玩遊戲紓壓的信呈。還有修課、娛樂、運動的好夥伴們，美食股長 Toro、羽球嗨咖世軒、什麼都 carry 的運管神全宗翰、綜一守護神 Deno、怕冷又自帶陽光的洋洋、草莓系男孩阿丁、第一個認識的車神先維、鐵道專家 LTC、一起拿獎盃的 Danny、每天充滿活力的凱肉、愛玩耍的敏聞、各種運動都行的七七、少數能當朋友的象迷家瑄、看不到車尾燈的采馨、歌聲優美的運安好夥伴雅方、能力跟地位成反比的玄鈺、繪畫天才 Brenda、像鄰家大姊姊的芋泥，每個人都有各自的特色，這兩年與你們一起經歷的點點滴滴，讓我的碩班生活多采多姿，這些回憶我會銘記在心，祝你們未來一切順利！

另外也感謝一起從淡江來交大念書的丞皓、家瑜、羽嫻、蕾絮、承諺，雖然不同組別、不同校區、不同系所，還是會在學習過程中，互相交流，互相幫忙。也感謝新竹第一美味的客院阿姨們，讓我半夜有熱食吃。

謝謝交大的各位學長姊、教職員，提供這麼舒適的環境，可以在教室專心上課、研究室準備課程及論文，各式軟硬體設備，閒暇之餘運動休閒的場館……等給予許多資源。有著這樣的環境，加上專業的師長、互助的朋友、友善的同學們，讓我在新竹有著難忘的碩班生涯。

李庭緯 謹致

2021.08.31 於新竹交大

號誌黃燈下之續行決策分析

研究生：李庭緯

指導教授：吳宗修

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

路口是發生事故的熱區，特別在黃燈期間，是不同向車輛通行權轉換的過渡時期，駕駛人會面臨通過或煞停的選擇，一旦出現錯誤的決策，將會增加發生事故的可能性。本研究利用雷達及影像資料，觀察黃燈期間，續行於路口的車輛，黃燈始亮時，車輛速度、車輛位置，並考量路口環境、前後車距等因素。首先，以事故資料的肇事因素中，找出發生路口事故的三項不當駕駛行為，速度大於速限、未保持安全車距、紅燈始亮時車輛未完全通過路口。接著將至少有一項駕駛不當行為的車輛，依照速限、適當加速度 (2.56 m/s^2) 通過路口，再試算車輛依適當減速度煞停 (3 m/s^2)，以上述二步驟，將黃燈期間續行於路口的車輛分別成「駕駛人決策無誤」、「駕駛人陷入猶豫區間」、「駕駛人決策不當」三類，並透過羅吉斯迴歸、典型判別分析，兩種模式，找出各因素對駕駛人決策的影響。本研究的結果發現，所有黃燈期間續行車輛中，近兩成有闖紅燈的行為、且有 8% 為闖紅燈且超過速限；另從模式結果可以發現，「黃燈始亮時車輛與停止線距離」、「黃燈始亮時車輛速度」、「黃燈時間長度」、「通過路口寬度」、「車輛長度」、「有左轉專用時相」等因素，對駕駛人的續行決策有顯著影響。

關鍵字：路口黃燈、猶豫區間、駕駛人決策、闖紅燈

Analysis of Passing Decision During Amber Phases

Student: Lee, Ting-Wei

Advisor: Woo, T. Hugh

Department of Transportation and Logistics management
National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

Intersections are hot spots for traffic crashes, especially during the amber phases, which is a transitional period for changing the right of way of different traffic flow. Drivers will face the choice of passing or stopping. Once a wrong decision is made, the risk of crash will increase. This study uses radar and video data to observe the vehicles that travel through the intersection during amber periods. Variables considered include the vehicle speed, vehicle position at the onset of amber light, gap between the front and the rear vehicles. Traffic crash data was used to define the three improper driving behaviors at the intersection accident, which were identified as speeding, not maintaining enough distance, and without completely passing the intersection when red is on. Vehicles with at least one improper driving behavior were simulated in accordance with site speed limit and appropriate acceleration (2.56 m/s^2) for passing, and deceleration (3 m/s^2) for stopping. The vehicles that continue to travel at the intersection during the amber are classified into three categories: correct decision, under dilemma zone, and improper decision. Through logistic regression and discriminant analysis, two models were developed to correlate factors affecting driver's decision. It was found that about 20% vehicles red light running, and 8% vehicles both red light running and speeding. In addition, it was found that vehicle distance to stop line, initial vehicle speed, length of amber phase, width of crossing road, vehicle length, green arrow with red light are factors significantly affect driving decisions.

Keywords: Amber phase, Dilemma zone, Driving decision, Red light running

目錄

第壹章、緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍與對象	3
第貳章、文獻回顧	6
2.1 猶豫區間與兩可區間	6
2.2 號誌轉換時駕駛行為影響因素	9
2.3 感知反應時間與加減速率	11
2.4 安全車距	14
2.5 號誌時相設計相關法規	16
2.6 小節	17
第參章、研究方法	18
3.1 實驗設計	18
3.2 研究模式	22
3.3 小結	28
第肆章、資料蒐集與處理	29
4.1 路口篩選	29
4.2 資料蒐集	30
4.3 資料結合	32
4.4 資料處理	41
4.5 路口資訊	45
4.6 小結	46
第伍章、研究結果	48
5.1 基本統計量	48
5.2 試算結果	49
5.3 黃燈始亮之車輛速度、位置與紅燈始亮車輛位置	50
5.4 羅吉斯迴歸結果	56
5.5 典型判別分析結果	59
5.6 小結	67
第陸章、結論與建議	68
6.1 結論	68

6.2 建議.....	69
文獻目錄.....	70

圖目錄

圖 1.4.1 研究流程圖	4
圖 2.1.1 號誌轉換下駕駛行為模型	6
圖 2.1.2 型一猶豫區間	8
圖 2.1.3 兩可區間	9
圖 3.1.1 實驗設計圖	19
圖 3.1.2 駕駛人決策結果分類圖	21
圖 3.2.1 衝突點示意圖	25
圖 4.2.1 資料蒐集示意圖	30
圖 4.2.2 雷達蒐集資料原始樣式	31
圖 4.3.1 影像資料—辨識車輛編號	32
圖 4.3.2 雷達資料—辨識車輛編號	33
圖 4.3.3 影像資料—雷達與停止線距離	34
圖 4.3.4 雷達資料—雷達與停止線距離	34
圖 4.3.5 雷達資料—時間配對	35
圖 4.3.6 影像資料—時間配對	35
圖 4.3.7 影像資料—號誌由綠轉黃	38
圖 4.3.8 影像資料—車輛駛過停止線瞬間	38
圖 4.3.9 雷達資料—時間疊合	39
圖 4.3.10 路口範圍示意圖	40
圖 4.3.11 路口寬度量測說明	41
圖 4.4.1 雷達資料—路口物件偵測異常	42
圖 4.4.2 雷達資料—移動速度不合理	43
圖 4.4.3 車道同時直行與左轉說明圖	45
圖 5.3.1 散佈圖顏色示意圖	50
圖 5.3.1 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 50 KM/H）	52
圖 5.3.2 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 50 KM/H）	52
圖 5.3.3 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 60 KM/H）	53
圖 5.3.4 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 60 KM/H）	54
圖 5.3.5 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 70 KM/H）	55
圖 5.3.6 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 70 KM/H）	55
圖 5.5.1 判別分析自變數長條圖	61

圖 5.5.2 組別散佈圖	64
---------------------	----

表目錄

表 1.1.1 民國 100-107 年 A1、A2 事故路口號誌型態	1
表 1.1.2 民國 100-107 年行車管制號誌四岔路口 A1、A2 事故肇因	2
表 2.2.1 GATE 等人 (2007) 研究結果	10
表 2.2.2 相關研究變數表	12
表 2.3.1 感知反應時間相關研究	13
表 2.3.2 加減速率相關研究	14
表 2.4.1 安全車距	15
表 2.5.1 黃燈時相長度規定	16
表 2.5.2 全紅時相長度規定	16
表 3.1.1 試算結果分類表	21
表 3.2.1 羅吉斯迴歸模式變數	26
表 3.2.2 判別分析變數表	27
表 3.2.3 模式比較表	28
表 4.1.1 權重分數說明	29
表 4.2.2 雷達資料變數說明	31
表 4.3.1 號誌週期 (MM:SS.000)	36
表 4.3.2 平均號誌週期長度	37
表 4.5.1 路口資料	47
表 5.1.1 不當駕駛行為基本統計	48
表 5.1.2 路口型態與駕駛不當行為	49
表 5.2.1 試算結果表	49
表 5.4.1 相關係數表	57
表 5.4.2 模式結果	58
表 5.4.3 羅吉斯迴歸模式結果分類表	59
表 5.4.4 驗證結果	59
表 5.5.1 共變異矩陣	62
表 5.5.2 典型判別函數特徵值	63
表 5.5.3 典型判別函數標準化係數	63
表 5.5.4 典型判別函數未標準化係數	63

表 5.5.5 正準變數類別平均值	64
表 5.5.6 典型判別分析結果	66
表 5.5.7 典型判別分析驗證結果	66
表 5.6.1 模式結果彙整表	67

第壹章、緒論

1.1 研究背景

根據警政署統計資訊，民國 100 至 107 年全台死亡（A1）、受傷（A2）類道路交通事故共 3,086,520 件，若將發生 A1、A2 事故的道路型態歸為路口、路段、其他三類，在路口的事故共 1,857,038 件（60%），在路段的事故共 1,193,229 件（39%），另有 36,253 件（1%）發生在平交道、圓環、廣場……等地方。路口是不同方向車流的交會點，因此發生交通事故的可能性也較其他地點高。

在路口處，會依交通流量的高低，以號誌、標誌、標線等交通工程設施管理行經路口的車輛，在交通流量較大的路口，通常設置號誌管理不同方向的交通流。表 1.1.1 進一步檢視路口的號誌型態，發現件數最高的為「行車管制號誌四岔路口」。

表 1.1.1 民國 100-107 年 A1、A2 事故路口號誌型態

	行車管制號誌	閃光號誌	無號誌	總計
三岔路	222,091 (12%)	71,064 (3.8%)	387,044 (20.8%)	680,199 (36.6%)
四岔路	616,109 (33.2%)	116,710 (6.3%)	338,448 (18.2%)	1,071,267 (57.7%)
多岔路	80,683 (4.3%)	8,951 (0.5%)	15,925 (0.9%)	105,559 (5.7%)
總計	918,883 (49.5%)	196,725 (10.6%)	741,417 (39.9%)	1,857,025 (100%)

（註：13 筆路口事故資料的號誌型態為遺漏值）

交通事故的肇事因素，基本可歸類為人車路（人為因素、車輛因素、路口環境）三個環節，根據 Treat（1979）研究，交通事故中，有 57% 交通事故主因，全屬人為因素，且有 90% 的交通事故主因都包含人為因素。

警方在處理交通事故時，會將每件事事故紀錄在道路交通事故調查報告表（附表 1），當中有紀錄下該事故的肇事因素，該表將肇事因素分為 9 大類，9 大類內又將肇事因素分成 67 個細項；9 大類的第 1 類即為駕駛人因素，當中包含 26 個細項。因此進一步以警政署資料，檢視表 1.1.1 中，行車管制號誌四岔路口的 616,109 件事事故的肇事因素，可以發現記錄為駕駛人因素的事故有 306,074 件，約占 49%。表 1.1.2 列出發生次數前十項的駕駛人因素，作為後續分析依據。

表 1.1.2 民國 100-107 年行車管制號誌四岔路口 A1、A2 事故肇因

主要肇因	件數	行車管制號誌 四岔路口事故占比
未注意車前狀態	113,795	18.5%
違反號誌管制或指揮	68,475	11.1%
左轉彎未依規定	21,523	3.5%
未依規定讓車	18,561	3%
未保持行車安全距離	14,113	2.3%
違反特定標誌（線）禁制	12,218	2%
超速失控	10,856	1.8%
未依規定減速	9,892	1.6%
未保持行車安全間隔	9,719	1.6%
醉（後）駕駛失控	5,029	0.8%

A1、A2 類事故發生在四岔路口的數量為最多，且路口號誌型態以行車管制號誌路口為主。在號誌化路口中，黃燈期間是不同方向車流通行權的轉換，根據陳俞文（2019）研究指出在黃燈期間，陷入猶豫區間的駕駛人，有 35%會有明顯的速度變化，且不同特性的駕駛人（激進型駕駛人、一般駕駛人、保守型駕駛人），在黃燈期間的反應有所不同，激進型駕駛人中少於 10%有明顯的車速變化，保守型駕駛人有超過 50%有明顯車速變化。由研究可知，黃燈期間的交通狀況相對整個號誌週期，較為混亂，不同駕駛人會有不同的反應，一旦駕駛人決策不當，進而出現不當的駕駛行為，將增加事故發生的風險。

1.2 研究目的

紅燈停，綠燈行，但是每位駕駛人在路口遇到黃燈時，對於是否通過路口的判斷不太相同，除了落入猶豫區間的車輛，駕駛難以判斷外，部分不在猶豫區間內的駕駛人也可能做出不當的判斷或出現「搶黃燈」的情況，上述情況的出現，可能導致車輛在路口衝突，進而導致事故的發生。

為減少事故的發生，要了解駕駛人於行車管制號誌路口遇號誌轉換的過程中，駕駛人如何操作車輛，並從中找出續行決策不當的駕駛人及陷入猶豫區間的駕駛人，可能都會增加路口事故的風險。

綜本節所述，本研究之研究目的可歸納以下兩點：

目的二：分析黃燈期間駕駛行為，找出黃燈期間有事故風險的車輛

目的三：探討黃燈始亮之車輛速度、車輛位置及路口環境對駕駛人續行決策的影響

本研究想了解在黃燈期間，駕駛人續行的駕駛行為，首先，先找出黃燈期間，續行車輛的速度、位置，綜合文獻背景事故肇因，找出有事故風險之車輛；接著，以黃燈始亮的速度、位置、前後車相對位置、路口環境，探討對駕駛人續行決策的影響，可以在未來設計路口時，將顯著影響駕駛人決策因素納入考量。

1.3 研究範圍與對象

民國 100 至 107 年間行車管制號誌四岔路口，為事件數最多的路口類型（表 1.1.1），因此將研究範圍鎖定在行車管制號誌四岔路口。而黃燈期間是整個號誌週期中，交通情境相對混亂的時間點，面對通過或煞停的決策，駕駛人可能反應出不一樣的駕駛行為。一旦駕駛人錯誤地決策於黃燈期間續行，可能發生事故嚴重度較高的路口交岔撞事故（Shankar 等人，1996），因此本研究進一步將研究範圍界定為黃燈始亮後，通過停止線續行的車輛。本研究分析黃燈始亮時車輛速度、前後車輛之車距。路口將依速限、黃燈時相長度篩選，比較不同速限及黃燈時相長度下的四岔路口，在號誌轉換時，駕駛人之決策及其駕駛行為。

本研究針對不同道路環境下之路口，觀察黃燈始亮時之車輛速度、位置，並追蹤黃燈期間速度位置的變化，了解不同起始狀態及不同道路環境下，如何影響駕駛人判斷是否通過路口。

1.4 研究流程

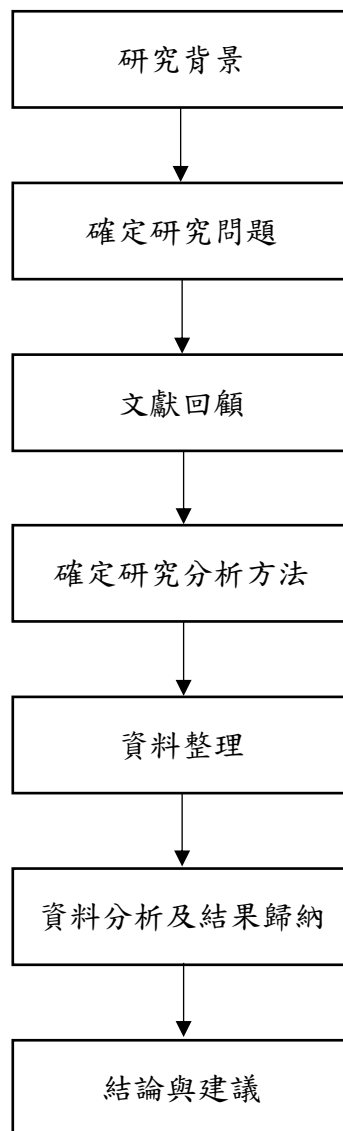


圖 1.4.1 研究流程圖

(一) 研究背景

利用警政署統計資料，整理 A1、A2 類事故發生的地點，路口的占比為最高，進一步結合號誌狀態的資訊後，將研究範圍鎖定在行車管制號誌四岔路口。由於黃燈是不同方向車流通行權的轉換，因此相對於綠燈及紅燈期間，黃燈時的交通狀況較為混亂，進一步將研究範圍縮小在黃燈期間。

(二) 確定研究問題

黃燈期間，位在停止線上游的駕駛人，要面臨通過或煞停的決策，一旦決策不當，進而出現不當的駕駛行為，將增加事故發生的可能性，因此將問題鎖定在黃燈期間續行車輛的決策。

(三) 文獻回顧

回顧過去對號誌轉換時駕駛行為影響因素相關文獻的研究變數、研究方法與研究結果，並回顧法規對路口環境的相關規範。

(四) 確定研究分析方法

回顧過去的研究變數及研究方法後，針對本研究欲探討的問題，選出本研究欲探討之變數，依變數型態尋找適用的方法。

(五) 資料整理

將取得的研究資料，過濾出不符合本研究範圍的部分，及符合本研究範圍但不完整的資料，整理出本研究欲探討變數。

(六) 資料分析與結果歸納

將整理完的資料，初步以基本統計量呈現，後將變數帶入本研究選定之方法分析，並歸納出結果。

(七) 結論與建議

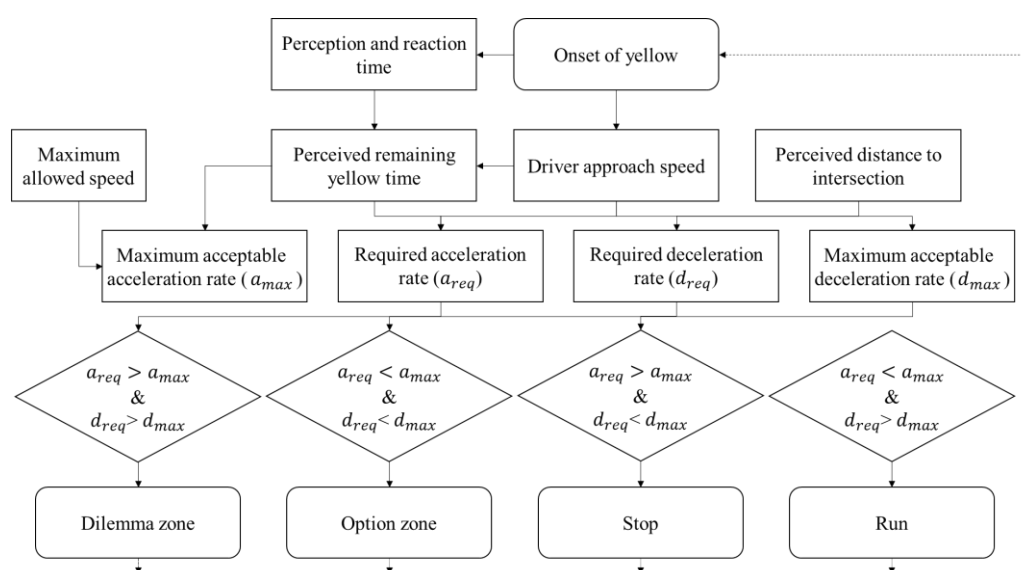
利用分析與歸納出的結果，根據本研究欲探討的問題，提出結論，並針對本研究不足之處，提出建議，供未來研究精進與改善。

第貳章、文獻回顧

當駕駛在路口附近面臨號誌轉換時，必須依當時的車輛狀態、路口環境、本身狀態及其他相關因素……等，在短時間內選擇是否通過路口。本章節整理過去駕駛人在路口面臨號誌轉換時之相關研究，了解過去是如何探討，號誌轉換時之相關影響因素，並了解過去的相關文獻，如何定義駕駛人在號誌轉換時路口之不當駕駛行為。另外，在號誌轉換時，會探討是否有部分車輛陷入猶豫區間，本章整理過去相關研究如何定義猶豫區間及猶豫區間相關影響因素，及各影響因素之相關法規條文。

2.1 猶豫區間與兩可區間

圖 2.1.1 為 Amer 等人（2011）年整理駕駛人在行車管制號誌路口遇到號誌轉換時的駕駛行為影響因素，駕駛人察覺到時相轉黃後，將依當時的駕駛瞬時速度、與路口的距離及剩餘黃燈秒數，判斷是否通過路口。選擇通過路口之車輛，需考量其在號誌時相轉紅前，通過路口所需之加速度、速度，並檢視其是否超過速限及合理之加速度；選擇煞停之車輛，需考量其所需之減速度、煞停距離，並檢視其是否超過合理減速度，依其結果將在號誌轉換時之車輛位置分為四種狀態，分別為猶豫區間（Dilemma Zone, DZ）、兩可區間（Option Zone, OZ）、合理通過路口、合理煞停。



資料來源：(Amer, Rakha, & El-Shawarby, 2011)

圖 2.1.1 號誌轉換下駕駛行為模型

根據圖 2.1.1 模型架構，將猶豫區間內之車輛定義為在黃燈始亮時，無法以合理加速度通過且合理減速度煞停的車輛；將兩可區間內之車輛定義為在黃燈始亮時，以合理加速度可以合理通過路口且合理減速度可在停止線上游煞停之車輛。而另外在其他研究中對於猶豫區間與兩可區間有著不同定義，本節將整理過去研究對於猶豫區間與兩可區間之定義，及個別計算方式。

猶豫區間 (Dilemma Zone)

Urbanik & Koonce (2007) 整理猶豫區間定義提到，猶豫區間有兩種類型，分為型一猶豫區間及型二猶豫區間，型一猶豫區間（以下稱為猶豫區間）指在號誌時相轉黃瞬間，駕駛人所在的位置以及車輛的速度狀態，無法在黃燈時相結束前安全地通過路口，亦無法安全煞停在停止線上游，猶豫區間最早由 Gazis 等人 (1960) 提出，其變數包含，駕駛人感知反應時間 (Perception and Reaction Time, PRT)、黃燈時相長度、車輛加速度、車輛減速度、車輛長度、路口寬度，其關係式如下：

$$X_c = v_0 \delta_1 + \frac{v_0^2}{2a_1} \quad (\text{式 2-1})$$

$$X_0 = v_0 \tau + 0.5a_2 \left(\tau - \delta_2 \right)^2 - W - L \quad (\text{式 2-2})$$

- v_0 ：號誌時相轉黃瞬間車輛之速度，單位 m/s
- δ_1 ：駕駛人選擇煞停的感知反應時間 (PRT)，單位 s
- δ_2 ：駕駛人選擇通過路口的感知反應時間 (PRT)，單位 s
- a_1 ：車輛之最大減速度，單位 m/s²
- a_2 ：車輛之最大加速度，單位 m/s²
- τ ：黃燈時相長度，單位 s
- W ：穿越路口之長度，單位 m
- L ：車輛長度，單位 m
- X_c ：黃燈期間煞停在停止線所需的距離，單位 m
- X_0 ：黃燈期間通過路口所需之距離，單位 m

圖 2.1.2 為一行車號誌管制四岔路口， X_c 為黃燈期間煞停在停止線所需的距離， X_0 為黃燈期間通過路口所需之距離，假設號誌黃燈使亮時， X 為車輛於路口上游之位置（以車頭與停止線直線距離作為衡量基準，單位：公尺）。當駕駛人在路口遇到號誌轉換時，車輛的位置介於 $X_c > X > X_0$ ，若駕駛人在此區域內 (DZ)，

選擇煞停，將會超出停止線，需要以急煞方式，才能將車輛停在停止線上游，但急煞的行為會有後車追撞的風險；然而，駕駛人若選擇通過路口，且加速至路口最高速限，車輛將在號誌時相轉紅時，仍無法完全通過路口，此行為可能會與側向開始通行的人、車發生衝突，介於 X_c 與 X_0 的範圍為猶豫區間，在路口的交通工程設計，應盡量避免猶豫區間的出現，減少路口事故發生的可能性。

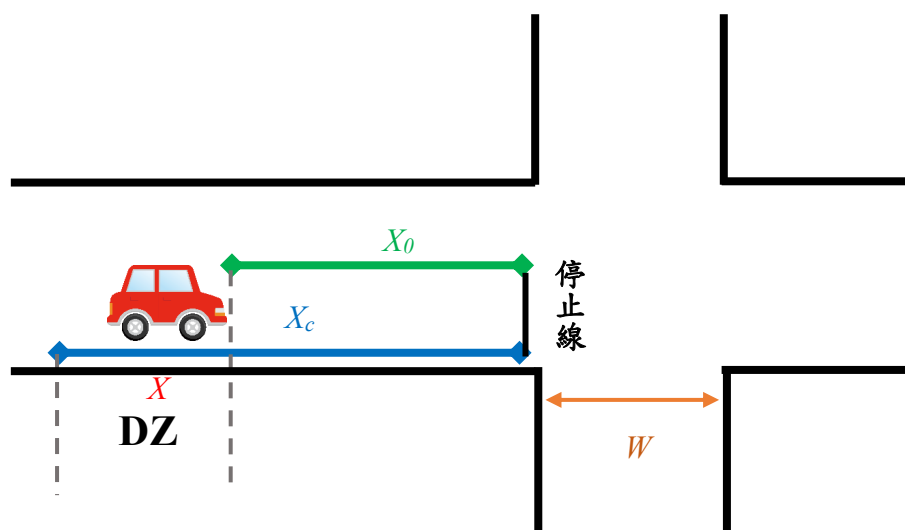


圖 2.1.2 型一猶豫區間

兩可區間 (Option Zone)

兩可區間，亦為型二猶豫區間，指號誌黃燈始亮時，車輛在路口上游位置處，駕駛人無論選擇於黃燈期間加速通過路口，或選擇於黃燈期間減速煞停，皆是合理的選擇 (Urbanik & Koonce, 2007)。

圖 2.1.3 為一行車號誌管制四岔路口， X_c 為黃燈期間煞停在停止線所需的距離， X_0 為黃燈期間通過路口所需之距離，假設 X 為號誌黃燈始亮時， X 為車輛於路口上游之位置（以車頭與停止線直線距離作為衡量基準，單位：公尺），與型一猶豫區間不同的地方在於，煞停所需距離 X_c 小於可合理通過路口的距離 X_0 ，即 $X_c < X < X_0$ ，在號誌時相轉黃時，駕駛人在此區域內 (OZ)，可以舒適的煞停，亦可合理的通過，稱為兩可區間或型二猶豫區間，根據式 2-1、式 2-2，於黃燈時相長、路口寬度小的路口，容易有兩可區間的出現。但兩可區間的定義，除了此種訂定方式外，仍有其他不同種定義方式，根據 Urbanik & Koonce (2007) 整理猶豫區間的內容提到 Zegeer (1977) 將型二猶豫區間定義為 10% 到 90% 的駕駛

人選擇煞停的區域內，另外有以到路口旅行時間計算型二猶豫區間的方式，如 Parsonson 等人 (1974)，將其定義號誌時相轉黃時，到路口旅行時間 (Travel Time to Intersection, TTI) 在 4.2 至 5.2 秒之間，到路口旅行時間之定義為「路口距離/瞬時速度」，單位為秒。

儘管車輛陷入兩可區間時，選擇煞停或通過皆合理，但若前後相鄰兩車輛皆在兩可區間內，前車欲選擇煞停，後車欲選擇加速通過，亦有追撞事故發生的風險，雖然風險程度沒有猶豫區間來的大，在路口設計時，盡量使 X_c 、 X_0 的值越接近越好，駕駛人能安全合理的在號誌轉換時做出選擇，避免事故的發生。

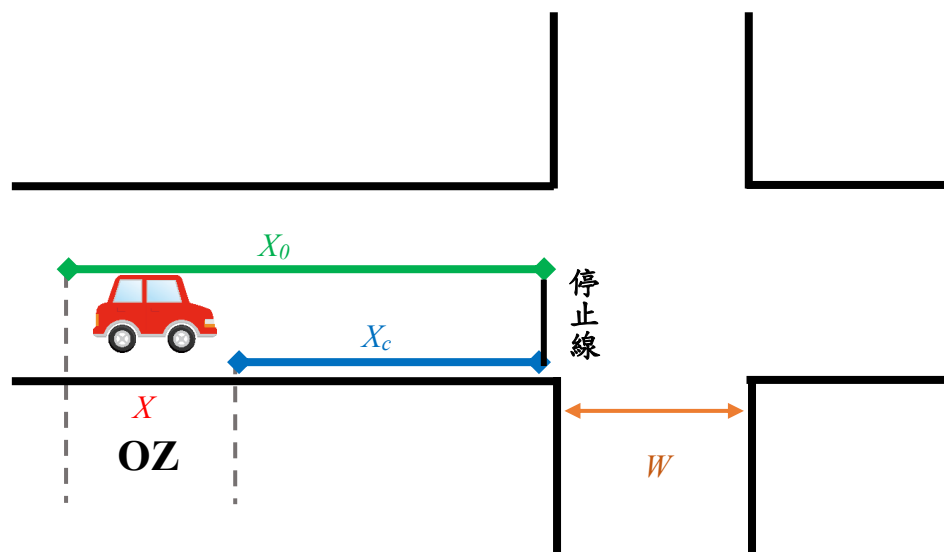


圖 2.1.3 兩可區間

2.2 號誌轉換時駕駛行為影響因素

Zhang 等人 (2014) 文獻整理過去號誌路口在號誌轉換時駕駛行為的相關研究，主要影響因素可區分為三大類，分別為駕駛人因素、號誌轉換時之車輛狀態、路口環境。

- (一) 駕駛人因素：駕駛人之感知反應時間 (Perception and Reaction Time, PRT)、性別、年齡。
- (二) 號誌轉換時之車輛狀態：車速、加速度、車輛位置 (與路口距離)、車種 (車輛長度)，其中加速度可由瞬時速度變化得知，因此表 2.3.1 並未將加速度放入研究變數中。

(三) 路口環境：速限、交通流量、路口大小、時相、相鄰車輛間的影響。

EL-Shawarby 等人 (2006) 研究指出，駕駛人在號誌轉換時決定是否通過路口與性別、年齡及黃燈始亮瞬間的車輛與路口距離有關，在黃燈轉換瞬間距離路口 32 至 66 公尺的車輛中，女性駕駛人選擇煞停的機率比男性高；在年齡部分，年紀較小的駕駛人更會選擇在號誌轉換時通過路口，65 歲以上的駕駛人在號誌轉換時，更容易選擇煞停。Rakha 等人 (2007) 研究結果與 EL-Shawarby 等人 (2006) 的研究結果相似，上篇研究的駕駛人感知反應時間設定為 1 秒，而此篇的駕駛人感知反應時間，是以黃燈亮起時的時間與煞車燈亮起的時間差做計算，而研究中發現，駕駛人的性別與年齡不會影響感知反應時間。

Papaioannou (2007) 研究結果顯示，黃燈亮起時，與路口的距離每增加 1 公尺，選擇煞停的機率增加 1.16 倍，男性駕駛以超過速限方式通過路口的比例為 55.5%，女性駕駛則為 46%，研究也依黃燈亮起時車輛位置、速度等狀態，及駕駛人是否選擇通過路口等因素，駕駛特性將駕駛人分類，分為激進型駕駛人與非激進型駕駛人，發現男性中是激進駕駛人的比率顯著高於女性。

Gate 等人 (2007) 的研究範圍主要針對號誌時相轉黃後，「最後一輛通過之車輛」及「第一輛剎停之車輛」分析，研究結果顯示如表 2.2.1

表 2.2.1 Gate 等人 (2007) 研究結果

因素	易選擇煞停	易選擇通過路口
黃燈始亮的車輛瞬時速度到路口的時間	愈長	愈短
黃燈時相長度	愈短	愈長
號誌週期	愈長	愈短
相鄰車道是否有車輛選擇通過	無	有
有無乘客	有	無
是否為大型車種 (卡車、公車)	否	是

Rakha 等人 (2008) 認為蒐集之數據來源會影響研究結果，若為研究找來的駕駛人，會比較謹慎，感知反應時間會比平常自然狀態下駕車來得短，因此以性別、年齡、黃燈起始時之速度、距離、感知反應時間等因素建立是否通過路口得模型，並建出兩種駕駛人感知反應時間之轉換公式。而此研究結果顯示，相較於年紀較輕的駕駛人，年齡大於 65 歲的駕駛人，猶豫區間更靠近路口且長度更長；從性別角度來看，女性在猶豫區間內，比男性更容易選擇煞停。

Gates & Noyce (2010) 的研究結果顯示，車種對於減速率與闖紅燈有顯著關係，汽車與輕型卡車之減速率最高。另外，車種與是否有相鄰車輛對於煞車反應時間 (Break Reaction Time) 沒有顯著影響，而以時段區分，尖峰時段與非尖峰時段相比，發生闖紅燈的機率高 1.3 倍。

Elmitiny 等人 (2010) 研究結果顯示，在號誌轉換時容易闖紅燈的車輛，與以下變數有關，包含車輛在黃燈始亮時與路口距離、行駛速度、在車流中的相對位置，但是車輛在黃燈始亮時與路口的距離和闖紅燈之關係並非線性關係，其原因來自部分激進駕駛人在明顯無法通過路口的情況下，選擇通過路口。

Amer 等人 (2011) 的研究希望能夠建出在黃燈始亮時，駕駛人是否通過的模型，用到的變數包含車輛之加減速度、黃燈期間車輛之速度、號誌時相轉黃時與路口距離、速限、黃燈時相長度.....等，經不斷校正模型後，最終預測模型預測能力可達 87.2%。

Pathivada & Perumal (2017) 是在混合車流的特性下的號誌轉換時駕駛行為研究，結果發現混合車流下，車種對於路口遇到黃燈時是否通過路口有顯著影響，而研究中也提取 85% 數據，建立號誌轉換時，駕駛人是否通過路口的模型，再用剩餘 15% 數據驗證，正確率達 83.3%。

陳俞文 (2019) 以微觀資料分析猶豫區間內車速反應行為，以雷達蒐集路口資料，以車輛位置、縱向速度、橫向速度、加速度、車輛長度、路口長度、號誌時相等變數分析，結果顯示，在猶豫區間內的車輛具有以下特性者：車種為機車、車速愈快、距離停止線愈遠、黃燈時相愈短、為右轉車輛，愈容易發生闖紅燈的情況。表 2.2.2 統整各研究的變數。

2.3 感知反應時間與加減速率

在 2.2 節中提到過去許多行車管制號誌路口研究中，相關影響因素，由於本研究會運用到感知反應時間及加減速率，了解駕駛人於號誌轉換時，是否有判斷錯誤的情形，因此特別針對此二變數，回顧過去感知反應時間與加減速率之相關研究結果，或是設計符合大多數用路人適用之交通工程設施的相關文獻。

表 2.2.2 相關研究變數表

	P R T	性 別	年 齡	車 速	車 輛 位 置	車 種	速 限	交 通 流 量	路 口 大 小	時 相	相 鄰 車 輛 之 影 響
EL-Shawarby 等人 (2006)	△	V	V	V	V					V	
Rakha 等人 (2007)	V	V	V	V	V					V	
Papaioannou (2007)		V	V	V	V	V	V		V	V	
Gate 等人 (2007)	V			V	V	V	V	V	V	V	V
Rakha 等人 (2008)	V	V	V	V	V					V	
Gates & Noyce (2010)	V			V	V	V	V			V	V
Elmitiny 等人 (2010)				V	V	V		V	V	V	V
Amer 等人 (2011)	△			V	V				V	V	V
Pathivada & Perumal(2017)				V	V	V				V	
陳俞文 (2019)	△			V	V	V	V		V	V	

(△表示研究中 PRT 是以蒐集文獻而得到，並非在研究中蒐集)

陳惠國等人 (2017) 及 Zhang 等人 (2014), Neuman (1989) 針對停車視距的相關研究，認為在不同道路環境，駕駛人有不同感知反應時間，因此感知反應時間的假設有 1.5 秒、2.5 秒、3 秒三種；美國公路及運輸官員協會 (American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1990) 將煞車感知反應時間設定為 2.5 秒，大約是第 90 百分位。

Hooper & McGee (1983) 將感知反應時間的過程區分為感知、決策、反應，第 90 百分位的總時間長度約為 3.5 秒，各階段時間依序分別為 1.17 秒、0.9 秒、1.42 秒。Chang 等人 (1985) 研究駕駛人的黃燈反應時間，第 85 百分位為 1.9 秒，第 95 百分位為 2.5 秒。

Taoka (1989) 結論中提到，在速度快的情況下，感知反應時間會較速度低的情況下短，在速度大於 64 公里/小時的情況下，感知反應時間的第 85 百分位約在 1.1 到 1.3 秒之間。美國運輸工程師學會 (Institute of Transportation Engineers, ITE, 1992) 將交通號誌時制設計的建議感知反應時間設為 1 秒，約是第 85 百分位。

Wortman & Matthias (1983) 於六個號誌路口，研究之平均感之反應時間約 1.3 秒，第 85 百分位的感知反應時間約在 1.5 至 2.1 秒間；Caird 等人 (2007) 77 位受測者，以試算駕駛的方式，在速限為 70 km/h 的道路環境下，感知反應時間平均為 0.96 秒，第 85 百分位及第 95 百分位分別為 1.22 及 1.45 秒，而本研究所假設之感知反應時間為 1 秒。

表 2.3.1 感知反應時間相關研究

文獻	感知反應時間 (單位：秒)
Neuman (1989)	1.5、2.5、3
AASHTO (1990)	2.5 (90 th)
Hooper & McGee (1983)	3.5 (90 th)
Chang 等人 (1985)	1.9 (85 th) , 2.5 (90 th)
Taoka (1989)	1.1~1.3 (速度>64km/h, 85 th)
ITE (1992)	1 (85 th)
Wortman & Matthias (1983)	1.5~2.1 (85 th)
Caird 等人 (2007)	1.22 (85 th)

Koonce & Rodegerdts (2008) 為號誌時相的相關文獻，在探討號誌轉換與清道時間之計算的部分，假設之減速率約 3 m/s²；ITE (1999) 假設之加速率、減速率相同，皆為約 3 m/s² (10 ft/s)，AASHTO 的減速率建議值為 3.41 m/s² (Gates 等人，2007)。

Wortman & Matthias (1983) 於六個速限在 48.3km/h 至 80.5km/h 之間的號誌路口，研究車輛在清道時間之平均減速率約 3.54 m/s²，研究中減速率範圍在 2.13 m/s² 至 4.24 m/s² 之間。

Caird 等人 (2007) 研究各年齡層在路口的駕駛行為差異，結果顯示，減速率約在 2.5 m/s² 至 5.5 m/s² 之間，其中駕駛年齡層低的族群，減速率會較年齡層高的族群大，18 至 24 歲及 25 至 35 歲的年齡層，減速率平均值皆為 4.4 m/s²，55 至 64 歲的減速率平均值為 3.8 m/s²；65 歲以上的減速率平均值為 3.7 m/s²。

Gates 等人(2012)研究號誌轉換時駕駛行為，其減速率的平均值約 3.07 m/s^2 ，若以黃燈亮起的瞬時速率作區隔， 32 km/h 至 48 km/h 的減速率平均值為 2.48 m/s^2 ， 48 km/h 至 64 km/h 的減速率平均值為 2.82 m/s^2 ， 64 km/h 至 80 km/h 的減速率平均值為 3.19 m/s^2 。

Li 等人(2020)以駕駛試算器研究手機的使用對駕駛行為的影響，在駕駛員沒有使用手機的情況下，直行通過四岔路口的平均最大加速度為 2.56 m/s^2 及 2.64 m/s^2 ，兩個值的差異來自於通過路口的車間距，分別為 4 秒時距及 7 秒時距。

Bokare & Maurya (2017) 研究不同車種在不同速度條件下之加速度、減速度，車種包含卡車、二輪機車、三輪機車、柴油車、汽油車，研究結果顯示，汽油車在速度 80 km/h 至 84 km/h 間的最大加速度為 2.24 m/s^2 。

表 2.3.2 加減速率相關研究

文獻	加/減速率 (單位：公尺/秒平方)
Koonce & Rodegerdts (2008)	-3
ITE (1999)	± 3
AASHTO	-3.42
Wortman & Matthias (1983)	-3.54
Caird 等人 (2007)	-2.5 ~ -5.5
Gates 等人 (2012)	-3.07
Li 等人 (2020)	2.56、2.64
Bokare & Maurya (2017)	2.24

2.4 安全車距

部分研究將相鄰車輛的影響，納入黃燈時期之駕駛行為研究，在非以車機角度蒐集的資料，難以界定駕駛人在判斷是否通過路口時，有受到前後車輛的影響。在真實情境中，有可能前車踩煞車，用減速方式續行路口，但後車看到前車煞車燈亮時，判定前車要準備煞停，因此選擇停車；另一種情境為，前車駕駛人在看到黃燈始亮時，以後視鏡發現後車跟車距離很小，若選擇煞停，可能會導致追撞事故的發生，因此選擇通過路口。

在中華民國的交通法規中，平面道路僅以文字敘述應保持隨時能煞停之距離，僅對於高速公路有明確訂出安全車距。在《道路交通安全規則第 94 條》描述保持安全距離之內容為：「汽車在同一車道行駛時，除擬超越前車外，後車與前車之間應保持隨時可以煞停之距離，不得任意以迫近或其他方式，迫使前車讓道。」

《高速公路及快速公路交通管制規則第 6 條》中訂定高速公路及快速公路的安全車距內容是以車輛每小時之車速，大型車減 20，小型車乘 0.5 計算後，以公尺作單位，即為法定之安全跟車距離。以時速六十公里為例：大型車應保持四十公尺，小型車應保持三十公尺；車流壅塞時，車速低則安全距離短、車流順暢時，車速高則安全距離要長。其目的在要求駕駛人在行車時預留適當反應與煞車時間。

高速公路局網站也提供駕駛人另一種衡量安全距離的方式，以行車時間計算安全距離（Time Headway）：「跟隨前車通過某一定點（如標誌、燈桿）的間隔時間，小型車應至少有 2 秒鐘之時距，大型車應至少有 3 秒鐘之時距。」

Lertworawanich (2006) 的研究，主要為校正 5th GM 跟車模型，提供高速公路上的建議安全距離，研究中有比較 4 種安全車距的計算方式（Pipes、Forbes、Calibrated GM、兩秒原則），在不同速度下的安全距離。

Piccinini 等人 (2014) 的研究，主要為探討主動車距控制巡航系統（Adaptive Cruise Control, ACC）對速度、安全距離的影響，也比較與人工駕駛的差異，研究當中，安全距離的評估是以時間距離（Time Headway）衡量，分別用時間距離 1 秒及 2 秒，評估在駕駛車輛時的時間距離在 1 秒內或 2 秒內的時間長度，其中，時間距離 2 秒為美國在防禦駕駛訓練時所提供的建議值。

表 2.4.1 安全車距

	安全車距	衡量方式
《道路交通安全規則》	汽車在同一車道行駛時，除擬超越前車外，後車與前車之間應保持隨時可以煞停之距離，不得任意以迫近或其他方式，迫使前車讓道。	-
《高速公路及快速公路交通管制規則》	高速公路及快速公路以車輛每小時之車速，大型車減 20，小型車乘 0.5 計算後，以公尺作單位，即為法定之安全跟車距離	距離 (m)
高速公路局 (網站)	小型車應至少有 2 秒鐘之時距，大型車應至少有 3 秒鐘之時距	Time Headway (s)
Piccinini 等人 (2014)	ACC (主動車距控制巡航系統) 設定時距 1 秒或 2 秒	Time Headway (s)
Lertworawanich (2006)	以 Pipes、Forbes、Calibrated GM、2 秒時距等 4 種模式計算安全距離	距離 (m)

2.5 號誌時相設計相關法規

在號誌時相設計時，有一名詞為清道時間（Clearance Interval），其定義為黃燈時相長度加上全紅時相長度，清道時間主要目的是讓路口淨空後，才使另一方向車輛開始行駛，以減少路口衝突，以下將分別列出法規對於黃燈時相長度及全紅時相長度之規定。

2.1 節中提及黃燈時相長度為計算猶豫區間之重要變數，在台灣，行車管制號誌時相的黃燈時相長度僅有三種，《道路交通標誌標線號誌設置規則第 231 條》，分類依據為速限，其規定如下：

表 2.5.1 黃燈時相長度規定

行車速限（公里/小時）	黃燈時間（秒）
50 以下	3
51-60	4
61 以上	5

為因應車輛陷入猶豫區間的情況，在號誌時相設計時，會有一段全紅時相，減少因陷入猶豫區間而發生事故之風險，《道路交通標誌標線號誌設置規則第 231 條》亦對全紅時相長度給定計算公式，其內容如表 2.5.2：

表 2.5.2 全紅時相長度規定

交通狀況	僅有車輛情況	有行人與車輛狀況
全紅時間	$\frac{(W+L)}{2V} \sim \frac{(W+L)}{V}$	$\frac{(P+L)}{2V} \sim \frac{(P+L)}{V}$
備註	一、全紅時間單位：秒。 二、W：交岔路口近端停止線至遠端路段起點之距離長度。 單位：公尺。 三、P：交岔路口近端停止線至遠端行人穿越道之距離長度。 單位：公尺。 四、L：平均車長，得採用六公尺。 五、V：平均車速，得採用行車速限。單位：公尺/秒。 六、以 $(W+L)/V$ 為原則，最短不得小於 $(W+L)/2V$ 。	

《道路交通標誌標線號誌設置規則》考量有無行人穿越道時，路口寬度之定義，因此將其區隔，以 $(W+L)/V$ 為原則，另規定全紅時間長度之下限，確保每個路口都有全紅時相，保護車輛陷入猶豫區間的情況。

另外，並非每個路段皆會標示速限，因此對於未標示速限之路段，另有法規規定速限，於《道路交通安全規則第 93 條》第一項規定如下：行車速度，依速限標誌或標線之規定，無速限標誌或標線者，應依下列規定：「行車時速不得超過五十公里。但在設有快慢車道分隔線之慢車道，時速不得超過四十公里，未劃設車道線、行車分向線或分向限制線之道路，時速不得超過三十公里。」

也就是說，於未標示速限之路段或路口處，其速限可能因交通工程設計而為 30、40 或 50 公里/小時，對應到《道路交通標誌標線號誌設置規則第 231 條》之號誌時相設計，黃燈長度在速限小於等於 50 公里/小時的情況下，皆為 3 秒鐘。

2.6 小節

本章回顧猶豫區間與兩可區間的相關研究，及過去研究黃燈期間駕駛行為的文獻，並進一步檢視過往研究駕駛人感知反應時間、車輛加減速率的研究結果。過往的研究大多有車輛相關變數及路口環境的相關變數，僅有少數研究將駕駛人相關的變數納入考量。

駕駛人感知反應時間與加減速率的相關研究，大部分是為了運用在道路設計上，設計出符合大多數用路人需求的交通工程設施，因此，研究的結果，主要以第 85 百分位、第 90 百分位、第 95 百分位的方式呈現，較少以平均數、中位數等常見指標呈現。

為衡量車輛間彼此影響的關係，本研究也回顧安全車距的法規及相關研究；除此之外，黃燈時間及清道時間的長度，在我國的法規也有明文規定，保護用路人安全。

第參章、研究方法

3.1 實驗設計

本研究是在路口實地蒐集車輛資料，並無法了解駕駛人的真實感知反應時間。彙整感知反應時間的研究結果或研究假設（表 2.3.1）後，本研究將採用美國運輸工程師學會建議的交通號誌時制設計感知反應時間，將感知反應時間假設為 1 秒，其主因為若反應快的駕駛人都陷入猶豫區間，則實際上會有更多的駕駛人有陷入猶豫區間的情況。

彙整過去加減速率的研究結果或研究假設（表 2.3.2）後，本研究將採用的適當加速度為 2.56 m/s^2 ，主因為 Li 等人（2020）的研究中有加入車距作為考量因素，台灣的交通，屬於車流密度較高的環境，適合以前後車距較小的條件下的加速度值；而整理的文獻中，適當減速度的研究結果有 3 m/s^2 (Koonce & Rodegerdts, 2008 及 ITE, 1999)、 3.42 m/s^2 (AASHTO)、 2.5 m/s^2 至 5.5 m/s^2 (Caird 等人, 2007)、 3.07 m/s^2 (Gates 等人, 2012)，上述的研究中並未考量車距，因此本研究採用的適當減速度為 3 m/s^2 ，是最接近各研究結果之整數。

3.1.1 不當駕駛行為定義

本研究是針對黃燈時相期間的駕駛人決策及駕駛行為，因此會記錄整個號誌週期中，黃燈期間仍續行於路口之車輛，本節將說明如何定義不當駕駛行為，並以圖 3.1.1 說明本研究的實驗設計。

根據前十大肇事主因（表 1.1.2），可透由雷達在四岔路口觀察到的現象包含「違反號誌管制或指揮」、「未保持行車安全距離」、「超速失控」，因此本研究定義黃燈期間不當駕駛行為主要有三：

- （一）速度超過速限
- （二）紅燈始亮未通過路口
- （三）黃燈期間未保持安全車距

t_1 為黃燈號誌始亮的時間點，會在 t_1 紀錄下，路口附近各車輛之位置及速度狀態； t_2 為號紅燈始亮的時間點，會在 t_2 紀錄各車輛位置，以檢視車輛在號誌時

相轉紅時，是否完全通過路口；另外會在黃燈期間 (t_1 至 t_2)，每隔 1 秒檢視車輛速度變化、前後車相對位置變化，檢視車輛是否有超速、未保持安全車距的駕駛行為出現。

在回顧安全車距的相關文獻中，大多數文獻的安全車距之研究範圍主要以高速公路為主，而高速公路的行駛速度與平面道路不太相同，若直接採距離的方式衡量，可能會有較大的誤差，採用時間距離的方式衡量，誤差較小。因此本研究安全車距之定義將機車、小型車的安全時間距離訂為 2 秒，中大型車的安全時間距離訂為 3 秒；例如，一輛小型車以時速 60 km/h (16.7 m/s) 行駛，安全車距為該車車頭與前車的車尾保持至少 33.3 m 的距離。

車輛在黃燈期間通過路口時，出現不當的駕駛行為，可能會受道路環境因素影響，因此將駕駛行為不當之車輛，以其 t_1 時的速度、位置狀態及車輛長度，依路口之速限、假設之加減速度試算，檢視駕駛行為不當主因為駕駛人因素，或是受路口環境影響。若路口的猶豫區間範圍過長，可能會導致駕駛人忽略車速及安全車距，而盡速通過路口。

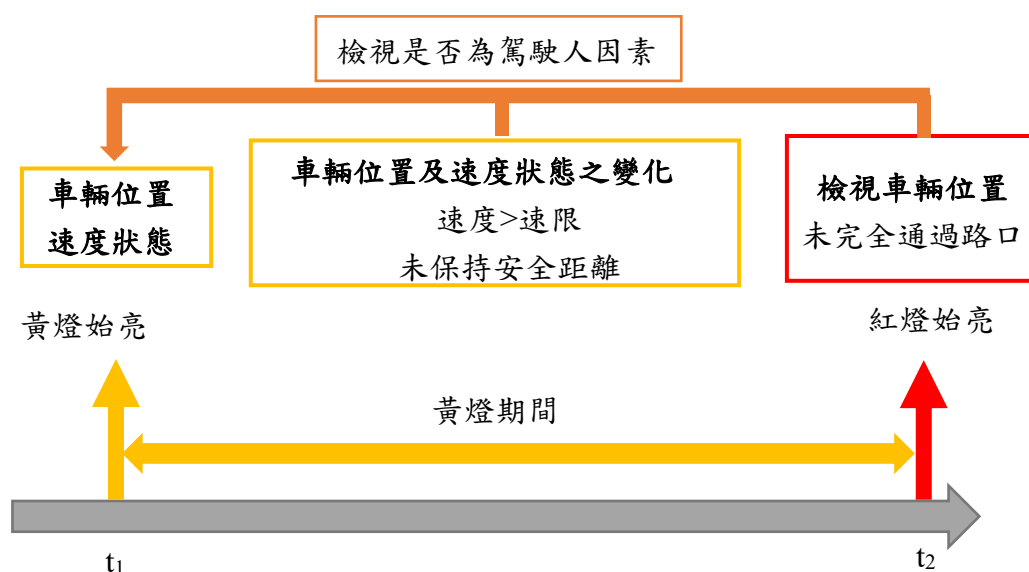


圖 3.1.1 實驗設計圖

綜上所述，本研究欲探討之駕駛不當行為項目有三個：分別為在黃燈期間速度高於速限、未保持安全距離，及在號誌時相轉紅燈時，車輛未完全通過路口，找出這些車輛並進一步透過試算方式，區分黃燈期間續行車輛駕駛人之決策結果。

3.1.2 區分駕駛人決策結果

本研究將在黃燈期間速度高於速限、未保持安全距離，及在號誌時相轉紅燈時，車輛未完全通過路口等項目，定義為黃燈期間的不當駕駛行為，將以出現不當駕駛行為之車輛，加入路口環境因素試算，檢視是否受道路環境因素影響。

利用駕駛行為不當車輛在號誌時相轉黃 (t_1) 的速度及位置狀態，以型一猶豫區間公式 (式 2-1、式 2-2) 試算 (假設感知反應時間=1 秒、適當加速度為 2.56 m/s^2 、適當減速度為 3 m/s^2) 試算：

(一) 試算通過

第一步先將車輛在黃燈始亮 (t_1) 的速度及位置，以式 2-2 試算依適當加速度及速限通過路口，檢視其在紅燈始亮 (t_2) 的位置，可能的結果將會有二，分別為「完全通過路口」或「未完全通過路口」。

如車輛黃燈始亮 (t_1) 的速度狀態未及速限，將會以 2.56 m/s^2 的加速度，試算通過路口，於試算黃燈期間內，若速度提升至速限，則將以速限等速前進；若車輛之初始速度即超過速限，則將以 (t_1) 的位置狀態，並以速限等速前進。假設一個黃燈時相為 3 秒，速限為 50 km/h (13.9 m/s) 的路口，某輛車之初始速度狀態 11.4 m/s ，則該輛車於黃燈 3 秒的速度分別為：第 1 秒為感知反應時間，維持 11.4 m/s 的等速度，第 1 秒末開始加速，至第 2 秒末時速度達 13.9 m/s ，第 2 秒末開始維持等速 13.9 m/s 至第 3 秒末。

此步驟的目的，主要檢視黃燈期間續行的車輛，是否因速度過高，才得以在黃燈期間，完全通過路口。若試算通過結果為完全通過路口，則將其歸類為駕駛決策無誤；若試算結果為未完全通過路口，則進入第二步驟，試算該車選擇煞停的結果。

(二) 試算煞停

第二步驟是將車輛在黃燈始亮 (t_1) 的速度及位置狀態，以式 2-1 試算感知反應時間為及依適當減速度煞停，檢視車輛在紅燈始亮 (t_2) 的位置，可能的結果有二，分別為車輛煞停於停止線上游或超出停止線。

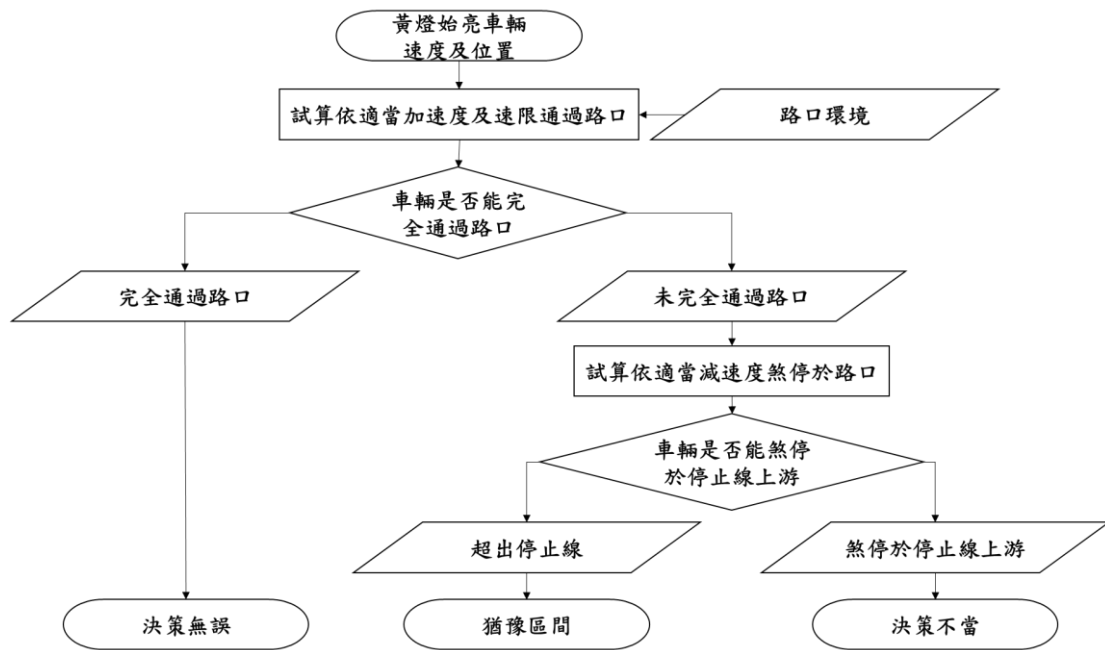


圖 3.1.2 駕駛人決策結果分類圖

3.1.3 試算結果

依圖 3.1.2 之架構，將至少具有一不當駕駛行為之車輛，先試算依適當加速度及速限通過，找出駕駛人決策無誤的車輛；後再將未歸類為駕駛人決策無誤的車輛，試算其依適當減速度煞停，區分出陷入猶豫區間及駕駛人決策不當的車輛。如表 3.1.1 所示：

表 3.1.1 試算結果分類表

試算通過	通過路口	V		
	未通過路口		V	
試算煞停	超出停止線		V	
	於停止線上游			V
結果		駕駛人 決策無誤	駕駛人 陷入猶豫區間	駕駛人 決策不當

（一）駕駛人決策無誤

若駕駛人於黃燈期間依照速限、適當加速度續行，並在紅燈始亮時，車輛已通過停止線且不在路口範圍內，則表示駕駛人選擇通過路口之續行的決策正確。

（二）駕駛人陷入猶豫區間

若駕駛人於黃燈期間依照速限、適當加速度續行，並在紅燈始亮時，車輛位置在路口範圍內，或在停止線上游，另在試算煞停的結果中，車輛完全停止地點會超出停止線，則表示駕駛車輛在黃燈始亮（ t_1 ）的位置為猶豫區間，駕駛人選擇通過或煞停的結果皆不適當。

（三）駕駛人決策不當

若駕駛人於黃燈期間依照速限、適當加速度續行，並在紅燈始亮時，車輛位置仍在路口範圍內，或在停止線上游，且在試算煞停的結果中，駕駛完全停止地點會在停止線上游，則表示駕駛人選擇通過路口之決策錯誤，駕駛人在黃燈始亮（ t_1 ）的速度及位置狀態，應選擇煞停較為合理。

將試算結果區分為上述三種情況後，本研究欲探討的主要對象為駕駛人決策錯誤的狀況，第一步將以羅吉斯迴歸（Logistic Regression）模型探討駕駛人決策與道路環境、車輛狀態之關係；第二步再以判別分析（Discriminatory Analysis）建立預測模型，以黃燈始亮之車輛速度、車輛位置，結合路口環境，預測紅燈始亮時之車輛位置，並探討自變數的影響程度。

3.2 研究模式

本研究欲探討黃燈期間駕駛續行之決策，以羅吉斯迴歸模式探討黃燈始亮時車輛速度、車輛位置、道路環境等變數對駕駛決策的影響，應變數為二元變數，區分為駕駛人續行決策有無不當，而受限於羅吉斯迴歸模式之應變數為二元變數，無法以多元應變數方式分析，因此駕駛人續行決策無不當中，包含駕駛人決策無誤及駕駛人位在猶豫區間。

陷入猶豫區間的車輛，通常受到號誌全紅時段的保護，因此猶豫區間發生事故的可能性，不如駕駛決策不當情況來的高，但仍可能受限於通過路口寬度過長、

及全紅時間長度不足等因素，有發生路口事故的潛在風險。本研究將透由典型判別分析，以黃燈始亮車輛速度、車輛位置、道路環境，進一步區分出陷入猶豫區間之車輛。

3.2.1 羅吉斯迴歸 (Logistic Regression)

本研究分析對象為黃燈期間通過路口的車輛，為同步考量車輛速度、車輛位置、黃燈時間、車輛長度等計量型變數，及是否與前後車保持安全車距、路口是否有左轉專用時相等類別型變數，將以羅吉斯迴歸檢視駕駛人於黃燈期間續行的決策，應變數為試算結果為決策不當的車輛，與決策適當的車輛，觀察其結果，羅吉斯迴歸公式如下：

事件成功之機率（決策不當的機率）

$$P(y|x) = \frac{1}{1 + e^{-\sum \beta_i X_i}} = \frac{1}{\frac{1 + e^{\sum \beta_i X_i}}{e^{\sum \beta_i X_i}}} = \frac{e^{\sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}} \quad (\text{式 3.1})$$

事件失敗之機率（決策無不當的機率）

$$1 - P(y|x) = \frac{1 + e^{\sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}} - \frac{e^{\sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}} = \frac{1}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}} \quad (\text{式 3.2})$$

勝算比 (Odds Ratio)

$$\frac{P(y|x)}{1 - P(y|x)} = \frac{\frac{e^{\sum \beta_i X_i}}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}}}{\frac{1}{1 + e^{\sum \beta_i X_i}}} = e^{\sum \beta_i X_i} \quad (\text{式 3.3})$$

y : 0 或 1 (0 為駕駛決策無不當、1 為決策不當)

x_i : 自變數，包含道路環境、車輛狀態……等變數

β_i : 係數

本研究欲針對判斷不當的駕駛車輛分析，因此以羅吉斯迴歸模式，探討車輛狀態、環境因素，探討號誌轉換時駕駛人之判斷。應變數為二元變數，0 表示駕駛人續行無不當，包含駕駛人決策無誤及駕駛人陷入猶豫區間二類；1 則表示駕駛人續行決策不當。

在自變數部分，車輛狀態的自變數包含黃燈亮起時之速度、黃燈始亮時與停止線距離、車輛長度。第一個為黃燈亮起時之速度，此變數為計量型變數，單位為公里/小時；黃燈始亮時與停止線距離，此為計量型變數，單位為公尺；車輛長度為計量變數，將以雷達資料上偵測之物件長度為主。

環境因素的變數包含黃燈時相長度、紅燈時相長度、支道之寬度、是否與前車保持安全距離、後方車輛是否保持安全距離、有無左轉專用時相。

首先為黃燈時相長度，為計量型變數，單位為秒，納入考量之主因是黃燈期間的長短，與駕駛人於黃燈期間，車輛可行駛的距離呈正相關，亦表示為車輛能否完全通過路口的影響因素。

紅燈時相長度，為計量型變數，單位為秒，本研究中的部分路口有左轉或右轉專用號誌，因此非直行車可通行的時間皆包含在紅燈時相長度內，納入考量的主要因素為紅燈時相越長表示駕駛人停等時間越長，當駕駛人熟悉該路口的時相長度時，可能會因為不想有太長的停等時間，而選擇以「闖紅燈」方式通過路口；通過路口之寬度，為計量型變數，單位為公尺，依常理推斷，路口越大，駕駛人越不敢冒險「闖紅燈」。

是否與前車保持安全距離，為類別變數，安全距離是以時間距離衡量 (Time Headway)，時間距離之大小以前車車種做區別，前車之車種若為機車、小型車，則安全時間距離應大於 2 秒，若為大型車，則安全時間距離應大於 3 秒；最後一變數為，後車是否保持安全距離，為類別變數，安全距離亦以時間距離衡量，而此變數時間距離之大小將以研究車輛之車種做區別，研究車輛之車種若車輛長度小於 10 公尺，則視為小型車，安全時間距離應大於 2 秒；若車輛長度大於等於 10 公尺，則視為大行車，安全時間距離應大於 3 秒，與前後車是否保持安全車距的兩個類別變數，主要考量前後車距是否會影響駕駛人的續行決策。最後一個變數為左轉專用時相，會將其納入考量的原因來自衝突點的差異。

圖 3.2.1 為四岔號誌路口，藍色箭頭為觀察的車流方向，為西往東車流，若東西向的號誌黃燈後，進入紅燈狀態，沒有任何箭頭綠燈，與此同時，南北向之號誌轉為綠燈，則觀察方向之車輛若於紅燈始亮後，仍未完全通過路口，則衝突點為黑線及藍線之交會處，最危險為與南來向 (South Approach) 車流的衝突。

若東西向號誌由黃進入紅燈狀態後，接續為左轉專用時相，則觀察方向之車輛若於紅燈始亮後，仍未完全通過路口，則衝突點為綠線及藍線之交會處，衝突時間與衝突點會與前一狀況不同，因此將下一個時相狀態，作為變數考量。

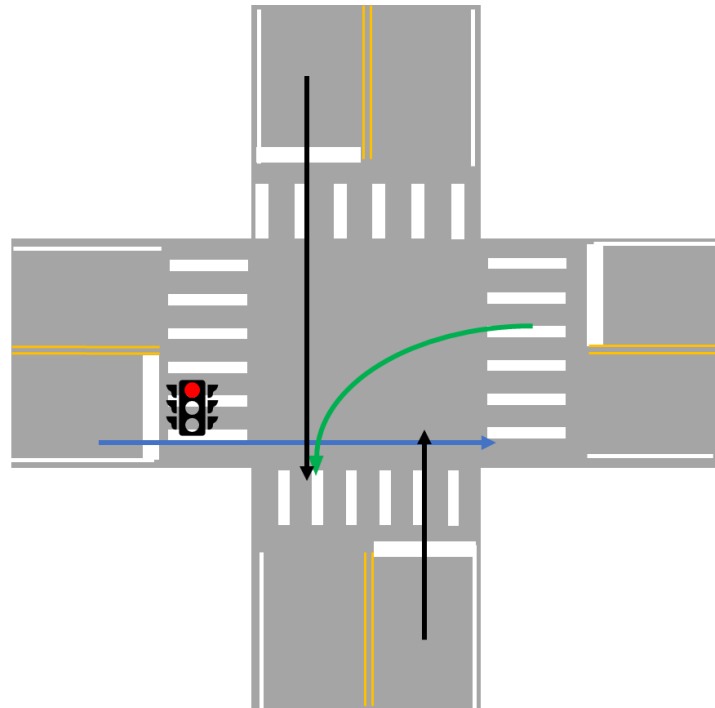


圖 3.2.1 衝突點示意圖

綜上所述，本研究欲以由羅吉斯迴歸模式結果了解，駕駛人在道路環境及車輛狀態，與駕駛人決策的關係，表 3.2.1 將本研究羅吉斯迴歸之應變數、自變數彙整。

表 3.2.1 羅吉斯迴歸模式變數

應變數		變數類型	變數說明（單位）
駕駛人續行決策		類別型	0：駕駛人續行決策無不當 1：駕駛人續行決策不當
自變數		變數類型	變數說明（單位）
車輛狀態	黃燈始亮車輛速度	計量型	公尺/秒
	黃燈始亮車輛與停止線距離	計量型	公尺
	車長	計量型	公尺
環境因素	黃燈時相長度	計量型	秒
	紅燈時相長度	計量型	秒
	通過路口之寬度	計量型	公尺
	是否與前車保持安全車距	類別型	類別變數： 與前車保持安全時間距離 0：保持安全時間距離 1：未保持安全時間距離
	後車是否保持安全車距	類別型	類別變數： 後車保持安全時間距離 0：保持安全時間距離 1：未保持安全時間距離
	左轉專用時相	類別型	類別變數： 黃燈號誌後是否為對向左轉專用時相 0：否 1：是

3.2.2 判別分析（Discriminatory Analysis）

判別分析應用在醫學、商業、文學、生物、教育、生理、行銷、考古學等研究領域，判別分析主要目的是要了解群體的差異。先利用判別變數建立判別規則，再由判別規則對個體做分類，預測每個個體屬於各群體的可能機率。典型判別分析是判別分析方法中常見的方法之一，又稱費雪（Fisher）判別分析，是由費雪所創，它是以尋找判別函數 $x_1, \dots, x_p$ 的線性組合 $y = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_px_p$ 之最佳權重 w_i ，將多個變量合成單一個變量，使檢定群體的組間變異數對組內變異數比值最大，權重 w_i 越大的變數在判別分析的方法中有較大的貢獻。當判別群體為兩個以上時，會建立增加判別函數數量，而典型判別變量的個數一定比判別群體的個數少。（陳順宇，2005）

判別分析計算上與迴歸分析相似，自變數通常為計量型變數，因此迴歸模式所需之假設條件，在判別分析中亦要符合，假設條件包含常態性、獨立性、均質

性。陳順宇（2005）在書中表示，若違反常態性假設條件並不是致命的，只要不要偏離常態分配太嚴重，所得到的各種顯著性檢定仍適用；共變異數矩陣相等的均質性亦是如此，有點偏離均質性假設也無所謂，但在接受結論前，需先檢查各群體的共變異數矩陣是否很接近。

本研究將判別分析之應變數分為駕駛人續行決策無誤、駕駛人位在猶豫區間、駕駛人續行決策不當三類，分類方式參考表 3.1.1；判別分析自變數為計量型變數，因此羅吉斯迴歸中的類別型自變數無法納入判別分析中，僅保留黃燈始亮車輛速度、黃燈始亮車輛與停止線距離、車長、黃燈時相長度、支道寬度，主要將以黃燈始亮之車輛狀態、環境因素，預測陷入猶豫區間的車輛（如表 3.2.2）。

表 3.2.2 判別分析變數表

應變數		變數類型	變數說明
駕駛人續行決策		類別型	0：駕駛人續行決策無誤 1：駕駛人位在猶豫區間 2：駕駛人續行決策不當
自變數		變數類型	變數說明（單位）
車輛狀態	黃燈始亮車輛速度	計量型	公尺/秒
	黃燈始亮車輛與停止線距離	計量型	公尺
	車輛長度	計量型	公尺
環境因素	黃燈時相長度	計量型	秒
	紅燈時相長度	計量型	秒
	支道寬度	計量型	公尺

3.2.3 模式比較

本研究首先透過二元羅吉斯迴歸模式，找出最可能於號誌轉換時，發生路口事故之駕駛決策不當的車輛；接著以判別分析，找出陷入猶豫區間的車輛。

本研究可以僅運用判別分析法，直接區隔出駕駛人續行決策正確、駕駛人陷入猶豫區間、駕駛人續行決策不當。但判別分析法無法將類別型變數納入考量，且對模式變數的假設條件較嚴謹，因此先以羅吉斯迴歸模式，將計量型及類別型的環境變數，結合車輛變數，作為自變數，衡量駕駛人續行決策是否不當，羅吉

斯迴歸有可考量到較多因素，且對模式自變數無特別要求的優點。再以判別分析法，找出黃燈始亮時，陷入猶豫區間的車輛。

表 3.2.3 模式比較表

	羅吉斯迴歸	判別分析
應變數	類別變數（二類別）	類別變數（多類別）
自變數	計量變數、類別變數	計量變數
假設條件	對自變數無特別要求	自變數須符合常態性、獨立性、均質性

3.2.4 驗證模式

為了解本研究模式的精確度，並能運用在不同車輛及路口環境的情況，先保留各路口前 7 個號誌週期（約 10 至 12 分鐘）的黃燈期間車輛資料，利用各路口第 8 個號誌週期後的資料建立模式，最後再以各路口前 7 個號誌週期的車輛資料，驗證模式精確度，測試是否能運用在不同初始位置、初始速度的車輛。

3.3 小結

本研究利用過往研究的結果（感知反應時間 1s、適當加速度 2.56 m/s^2 、適當減速度 3 m/s^2 ），以型一猶豫區間公式試算，將駕駛人於黃燈期間的續行決策分為「駕駛人決策無誤」、「駕駛人陷入猶豫區間」、「駕駛人決策不當」三類。接著以羅吉斯迴歸、典型判別分析二種應變數適用類別變數的方法，分析「車輛狀態」與「路口環境」對駕駛人續行決策的影響。

為確認模式的精確度，將先利用每個路口第八個號誌週期後的資料建立模式，前七個號誌週期的資料，用以驗證模式，來檢視模式的精確度。

第肆章、資料蒐集與處理

4.1 路口篩選

交通部 107 年道路交通安全觀測指標研究中，觀測路口的篩選方式，主要有三步驟（吳昆峯等人，2018）。第一步驟，根據民國 102 年至民國 106 年間，警政署全國道路交通事故資料，計算各縣市，路口交岔撞、路口側撞、路口同向擦撞、路口追撞等四項事故型態的事故件數。

第二步驟，為考量曝光量對事故件數的影響，將各縣市四項事故型態的事故件數做權重排序後加總。權重計算方式如下：

以路口交岔撞舉例，若該縣市中某路口的路口交岔撞比例在該縣市所有路口排名前 10%，則給予該路口的路口交岔撞權重分數 5；若排名為 10%~20%，則給予該路口的路口交岔撞權重分數 4；若排名為 20%~30%，則給予該路口的路口交岔撞權重分數，依此類推，當排名大於 50%時，則該路口的路口交岔撞權重分數為 0。另還有路口側撞、路口同向擦撞、路口追撞三類型事故，每個事故型態都會以此方式計算權重分數，最後將每個路口的四項權重分數加總，權重分數最高為 20，權重計算方式如表 4.1.1。

$$\frac{\text{路口某事故型態件數}}{\text{縣市整體路口某事故型態件數}} \quad \text{【排名百分位數】}$$

表 4.1.1 權重分數說明

路口某事故型態 佔該縣市某事故型態排名百分比	權重分數
前 10%	5
10%-20%	4
20%-30%	3
30%-40%	2
40%-50%	1
後 50%	0

第三步驟，將各縣市路口得到的權重加總由高至低排序，最高者為該縣市四種事故型態最常發生之路口，若權重相等，則以件數較高者排序較前。但除須符

合以上條件外，不同向的車道還需具有實體分隔、主幹道 2 車道以上且支道 2 車道以下的直交路口及丁字路口，選定為該縣市之觀測路口。

4.2 資料蒐集

本研究之資料來源為交通部 107、108 年道路交通安全觀測指標研究，以毫米波雷達（型號：Smart micro T42）與攝影機記錄路口約 70 分鐘的車輛動態，其中雷達與攝影機架設於路口的位置如圖 4.2.1，雷達與攝影機架設地點的平面座標是相同的，雷達在攝影機之上。

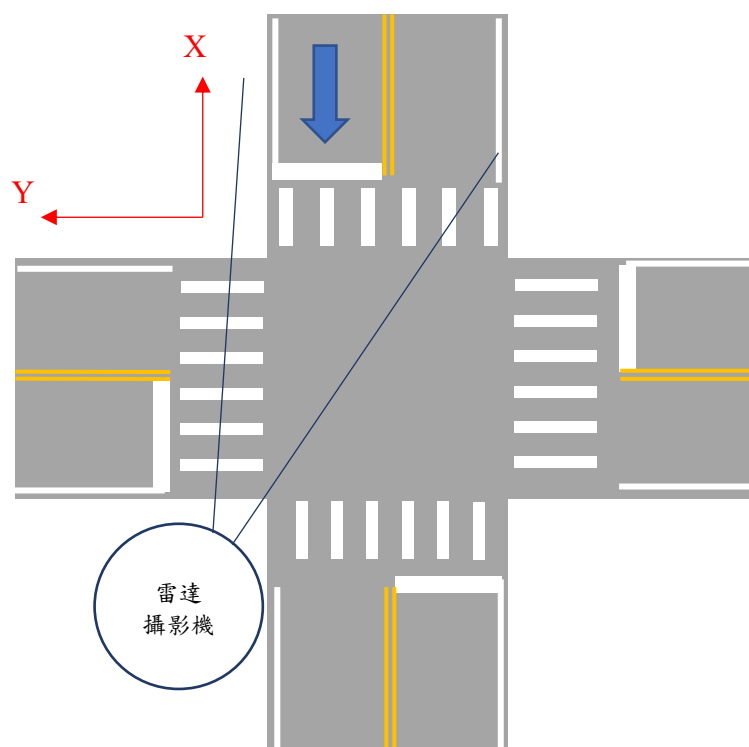


圖 4.2.1 資料蒐集示意圖

4.2.1 雷達資料

雷達資料呈現如圖 4.2.2，紀錄時間以毫秒為單位，每秒約可記錄 12 至 15 次的路口各物件狀態。

Time	Object id	X	Y	Velocity X	Velocity Y	Object length
06-10-2020,09:07:36.597	7	26.752	8.192	0	0	4.6
06-10-2020,09:07:36.597	36	42.24	8.96	-0.4	0	1.6
06-10-2020,09:07:36.659	7	26.752	8.192	0	0	4.6
06-10-2020,09:07:36.659	36	42.24	8.96	-0.5	0	1.6
06-10-2020,09:07:36.707	7	26.752	8.192	0	0	4.6
06-10-2020,09:07:36.707	36	42.24	8.832	-0.5	0	1.6
06-10-2020,09:07:36.715	7	26.752	8.192	0	0	4.6
06-10-2020,09:07:36.715	36	42.24	8.832	-0.6	0	1.6
06-10-2020,09:07:36.846	7	26.752	8.192	0	0	4.6
06-10-2020,09:07:36.846	36	42.112	8.832	-0.6	0	5.6

圖 4.2.2 雷達蒐集資料原始樣式

第一欄之變數為時間，紀錄格式為 mm-dd-yyyy,hh:mm:ss.000，最小單位為毫秒；第二欄之變數為物件編號，物件被雷達偵測到後，雷達會自動給該物件一個編號，為 1 至 254 隨機數字，編號會重複使用，但同一個時段內不會有物件的編號是相同的。第三第四欄為物件的平面座標，座標原點為雷達位置，觀察車輛之直行方向的單位向量為 $(-1,0)$ ，直行方向順時針 90° 的單位向量則為 $(0,1)$ ，如圖 4.2.1 左上角所示；第五第六欄則為，觀測車輛在該時間點，X 方向與 Y 方向之瞬時速率；最後一欄為偵測的物件長度。

表 4.2.2 雷達資料變數說明

變數名稱	說明
Time	雷達時間
Object id	偵測物件編號
X	物件之 X 座標，單位 m
Y	物件之 Y 座標，單位 m
Velocity X	物件之 X 方向速度，單位 m/s
Velocity Y	物件之 Y 方向速度，單位 m/s
Object length	物件長度，單位 m

4.2.2 影像資料

本研究之攝影機每秒幀數為 30，亦即以每秒約 30 張相片的方式記錄成影片，影片並無精確真實時間，但可清楚顯示觀測車輛對向的號誌狀態。因此本研究的研究路口，需雙向號誌同步，無早開、遲閉等情形；此外，影像資料除了對照時相狀態外，亦可辨別車種。

4.3 資料結合

蒐集的資料中，雷達資料記錄了詳細的標準時間，但無法記錄號誌狀態，影像資料並沒有標準時間，從 0:00:00 秒開始記錄，然而影像資料有清楚的時相狀態，因此須利用影像資料中的時相狀態，加入到雷達資料中。

4.3.1 時間同步

根據各路口得到的資料，蒐集到的雷達資料與影像資料，起始時間相差數秒到數十秒不等，因此需不斷的校正，提升準確度，才能精確地找到雷達資料中的黃燈時段，以下以基隆市崇智街與明德一路交叉口，調查東來向(East Approach)之車輛，說明本研究如何將號誌時相，加入到雷達資料的各個步驟。

步驟一：車輛配對

首先，先觀察影像資料中，第一個紅燈期間，各輛車抵達路口的先後順序及速度變化，如圖 4.3.1 所示，圖中號誌狀態為紅燈，且有兩輛機車靠近路口。



圖 4.3.1 影像資料—辨識車輛編號

接著將雷達資料由長數據轉換為寬數據，每列為一個雷達偵測的時間點，各欄則為偵測物件的位置、速度、長度，如圖 4.2.2 所示，圖中有二部車的資料，39X 表示編號 39 物件的 X 座標，39VX 表示 X 方向的順時速度，39Y 則為 Y 座標，39VY 表示 Y 方向的順時速度，39length 表示物件長度，另一輛車為編號 40。可從 X 座標及 X 方向速度，看出編號 39 車輛較靠近雷達且速度較慢，編號 40 車輛，離雷達較遠，且速度較快，對照圖 4.3.1，可以得知較靠近停止線的機車為編號 39 車輛，離停止線較遠的機車為編號 40 車輛。

radartime	39X	39VX	39Y	39VY	39length	40X	40VX	40Y	40VY	40length
09:07:55.313	43.52	-0.6	2.048	0	2.6	51.84	-5.8	3.328	-0.1	4.6
09:07:55.387	43.52	-0.6	2.048	0	2.6	51.328	-5.6	2.816	-0.1	4.6
09:07:55.471	43.52	-0.6	2.048	0	2.6	50.944	-5.4	2.176	-0.1	4.6
09:07:55.554	43.392	-0.6	2.048	0	2.6	50.56	-5.2	2.048	-0.1	4.6
09:07:55.614	43.392	-0.6	2.048	0	2.6	50.176	-5.1	2.048	-0.1	2.6
09:07:55.688	43.264	-0.6	2.048	0	5	49.792	-5.1	2.048	-0.1	2.6
09:07:55.758	43.264	-0.6	2.048	0	5	49.536	-4.8	2.048	-0.1	2.6
09:07:55.841	43.264	-0.6	2.048	0	5	49.152	-4.6	2.048	-0.1	4.6
09:07:55.914	43.136	-0.6	2.048	0	5	48.896	-4.5	2.048	-0.1	2.6
09:07:55.988	43.136	-0.6	2.048	0	5	48.512	-4.3	2.048	-0.1	2.6
09:07:56.064	43.136	0	2.048	0	5	48.256	-4.1	2.048	-0.1	2.6
09:07:56.145	43.136	0	1.536	0	5	48	-4	2.432	-0.1	2.6
09:07:56.191	43.136	0	1.408	0	5	47.744	-3.8	2.816	-0.1	2.6
09:07:56.288	43.136	0	1.408	0	5	47.36	-3.7	3.2	-0.1	2.6
09:07:56.364	43.136	0	1.92	0	4.6	47.104	-3.5	2.816	-0.1	2.6
09:07:56.439	43.136	0	2.048	0	4.6	46.848	-3.4	2.176	-0.1	2.6
09:07:56.514	43.136	0	2.048	0	4.6	46.592	-3.4	2.048	-0.1	2.6
09:07:56.589	43.136	0	2.048	0	4.6	46.336	-3.1	2.048	0	2.6
09:07:56.664	43.136	0	2.048	0	4.6	46.208	-2.9	2.048	0	2.6
09:07:56.715	43.136	0	2.048	0	4.6	45.952	-2.9	2.048	0	2.6

圖 4.3.2 雷達資料—辨識車輛編號

步驟二：位置配對

由於機車體積較小，在配對位置時，以機車為優先記錄對象，以減少誤差，圖 4.3.3 為編號 39 機車及編號 40 機車完全停止於路口的畫面，記錄其影像中約略位置，由第一步驟，可以知道圖 4.3.3 的橘框機車於雷達資料的編號為 39，其停止位置之座標為紅框機車於雷達資料編號為 40，對照雷達資料上，編號 39、編號 40 車輛的速度長時間速度為 0 之座標，從圖 4.2.4 可知編號為 39 機車的停止位置為 (43.264, 1.536)、編號為 40 機車的停止位置為 (42.752, 3.2)，將畫面放大可以知道二輛機車壓在停止線上，換句話說，可推為雷達資料上停止線之約略 X 座標；另外，由圖 4.3.2 的 39length、40length 可發現，雷達資料偵測之車長較不穩定，因此將會在完成時間疊合後，以雷達資料之車長對照影像資料的車

種，若為機車，則選擇雷達資料中，車長小於 3.5 公尺之眾數，若為汽車，則選擇車長大於 4 公尺之眾數。



圖 4.3.3 影像資料—雷達與停止線距離

radartime	39X	39VX	39Y	39VY	39length	40X	40VX	40Y	40VY	40length
09:08:27.520	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.592	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.667	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.721	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.817	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.893	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:27.968	43.264	0	1.536	0	4.6	42.752	0	3.2	0	4.6

圖 4.3.4 雷達資料—雷達與停止線距離

步驟三：時間配對

此步驟同樣以機車為優先記錄對象，以減少誤差。從步驟二得知，於圖 4.3.3 中編號為 40 機車的停等座標為 (42.752, 3.2)，接著以 X 座標為 42.752 搜尋雷達資料，找雷達資料中，相近時間有經過 X 座標為 42.752 之行進間機車，結果如

圖 4.2.5 所示，編號 40 機車停留於 (42.752, 3.2) 的最後時間約為 09:08:39，而編號 69 約在 19 秒後通過該相同的 X 座標。

radar time	Object	X	Velocit	Y	Velocit	Object
09:08:39.191	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.301	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.376	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.452	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.527	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.602	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:39.677	40	42.752	0	3.2	0	4.6
09:08:40.127	39	42.752	-2.3	1.024	0	4.6
09:08:42.160	42	42.752	-3.9	4.352	-0.1	4.6
09:08:58.672	69	42.752	-9.2	4.608	-0.2	2.6
09:09:13.533	74	42.752	-12.6	3.968	-0.2	2.6

圖 4.3.5 雷達資料—時間配對

接著觀察編號 40 機車啟動約 19 秒後的影像資料，將影像以照片方式（每 1 秒約有 30 張相片），繪製一條平行停止線之線條，與圖 4.3.3 比較，選出照片的 X 座標位置最接近的一張照片（圖 4.3.6），該相片之時間軸於左上角，為影片的 1 分 27 秒 766 毫秒處，對應之雷達時間為圖 4.3.5，09 時 08 分 58 秒 672 毫秒。



圖 4.3.6 影像資料—時間配對

因影像資料會有失幀問題，因此雷達資料與影像資料的時間配對會有誤差，因此需利用號誌中各時相長度，結合雷達時間，才能較準確地將號誌狀態加入雷達資料中。

步驟四：時相長度之計算

表 4.3.1 整理影像資料中各時相轉換時間點，可記錄號誌週期及各時相長度，可發現，黃燈時間應為三秒，但在表 4.3.1 中，仍可發現影像資料中，黃燈時間長度的最大值與最小值，有 0.2 秒內之差異，為將誤差再降低，將會以各時相平均時間計算。

表 4.3.1 號誌週期 (MM:SS.000)

週期	綠轉黃瞬間	黃轉紅瞬間	紅轉綠瞬間	黃燈長度	紅燈長度	綠燈長度
1	00:18.033	00:21.000	01:08.016	02.967	47.016	01:19.884
2	02:27.900	02:30.867	03:17.794	02.967	46.927	01:19.772
3	04:37.566	04:40.666	05:27.615	03.100	46.949	01:19.816
4	06:47.431	06:50.400	07:37.367	02.969	46.967	01:19.797
5	08:57.164	09:00.265	09:47.210	03.101	46.945	01:19.823
6	11:07.033	11:10.033	11:56.949	03.000	46.916	01:19.916
7	13:16.865	13:19.831	14:06.816	02.966	46.985	01:19.782
8	15:26.598	15:29.565	16:16.533	02.967	46.968	01:19.865
9	17:36.398	17:39.365	18:26.410	02.967	47.045	01:19.785
10	19:46.195	19:49.162	20:36.175	02.967	47.013	01:19.824
11	21:55.999	21:58.966	22:45.899	02.967	46.933	01:19.900
12	24:05.799	24:08.732	24:55.777	02.933	47.045	01:19.754
13	26:15.531	26:18.469	27:05.554	02.938	47.085	01:19.701
平均				02.989	46.976	01:19.826

表 4.3.2 計算影像資料中，黃燈起始時差，每個黃燈起始時間差，即為一個號誌週期，於表 4.2.2 有 36 個號誌週期長度可計算出平均號誌週期，得出平均號誌週期長度為 2 分 9 秒 792 毫秒，而實際週期長度為 2 分 10 秒。

表 4.3.2 平均號誌週期長度

No.	黃燈起始時差	No.	黃燈起始時差	No.	黃燈起始時差
1	02:09.867	13	02:09.867	25	02:09.778
2	02:09.666	14	02:09.799	26	02:09.821
3	02:09.865	15	02:09.734	27	02:09.752
4	02:09.733	16	02:09.865	28	02:09.843
5	02:09.869	17	02:09.768	29	02:09.739
6	02:09.832	18	02:09.798	30	02:09.867
7	02:09.733	19	02:09.734	31	02:09.717
8	02:09.800	20	02:09.800	32	02:09.877
9	02:09.797	21	02:09.797	33	02:09.765
10	02:09.804	22	02:09.804	34	02:09.724
11	02:09.800	23	02:09.766	35	02:09.878
12	02:09.732	24	02:09.737	36	02:09.777
總平均			02:09.792		

步驟五：時相疊合

在步驟四找到號誌平均週期後，使用與步驟三相似之方法，於影像資料中，找到一輛行進間的機車，行經停止線附近，如圖 4.3.7，為影像資料 15 分 26 秒 599 毫秒處，為號誌由綠轉黃瞬間，且一輛機車行經停止線附近；而圖 4.3.8 則為該輛機車行經停止線之瞬時，為影像資料 15 分 26 秒 832 秒處，其時間差為 233 毫秒。

跳轉：下一影格(00:15:26.599, 27797:30)



圖 4.3.7 影像資料—號誌由綠轉黃

跳轉：上一影格(00:15:26.832, 27804:30)



圖 4.3.8 影像資料—車輛駛過停止線瞬間

接著由步驟一的方式找到該車輛編號為 47，找到其軌跡如圖 4.3.9，以停止線 X 座標約 43（步驟二），可以得知圖 4.3.8 的影像資料時間 15 分 26 秒 832 毫秒約等於雷達資料 9 時 22 分 59 秒 49 毫秒，再以影像資料時間差 233 毫秒乘上車輛 X 方向速度 7.4m/s（圖 4.3.9），約為 1.7 公尺，圖 4.2.7 號誌轉換瞬間的時間點，約為雷達資料 9 時 22 分 58 秒 824 毫秒，如圖 4.3.9 中黃色框所示。最後，將步驟四求得之號誌週期，與雷達資料結合，即可以較精確的方式，將號誌狀態加入雷達資料中。

Time	radar time	Object	X	Velocit	Y	Velocit	Object
06-10-2020,09:22:58.674	09:22:58.674	47	45.824	-7.5	5.632	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:58.711	09:22:58.711	47	45.312	-7.5	5.632	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:58.824	09:22:58.824	47	44.672	-7.3	5.632	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:58.900	09:22:58.900	47	44.16	-7.3	5.632	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:58.974	09:22:58.974	47	43.648	-7.4	5.504	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:59.049	09:22:59.049	47	43.008	-7.5	5.504	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:59.125	09:22:59.125	47	42.368	-7.4	5.504	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:59.198	09:22:59.198	47	41.856	-7.3	5.504	-0.1	1.6
06-10-2020,09:22:59.274	09:22:59.274	47	41.344	-7.4	5.504	-0.1	1.6

圖 4.3.9 雷達資料—時間疊合

步驟六：結果檢驗

為確認疊合結果的準確性，須分別確認疊合時間點與疊合週期。於疊合時間點部分，會檢視雷達資料上的紅燈期間，是否有行經路口之車輛，在此路口的結果中，有八輛車有這樣的情況，對照影片後發現，皆為黃燈期間通過停止線，時相轉紅後仍未完全通過路口。

另外關於號誌週期的部分，係利用各黃燈起始時間之車輛位置，假如疊合的時間點位在影像資料中的第 5 週期，且影片計算之平均週期長度較實際週期長度短 100 毫秒，則第 15 個號誌週期，誤差會到 1 秒。因而在第 15 個黃燈號誌瞬間，各車輛在雷達資料中的位置會較實際與路口距離更遠，將其與影像資料便可發現差異，與疊合時間點時間差越大，位置差異會越明顯，將會透由各黃燈號誌之初始狀態檢視，調整號誌週期。

4.3.2 路口範圍

本研究之路口範圍計算方式如圖 4.3.10 所示，若研究車流為幹道車流，則將路口範圍訂為停止線與支道機車待轉區外側邊線之垂直距離（圖中 W ），單位為公尺。本研究之不當駕駛行為之一，為時相轉紅時，仍未完全通過路口，亦即表示，在紅燈始亮時，若車輛之車身在圖 4.3.10 中的 W 的範圍內，則符合本研究定義之駕駛不當行為。

因資料在蒐集過程中，僅記錄下雷達與停止線距離（ $W+L$ ），並未量測本研究定義的路口真正寬度（ W ），因此透由 google map 衛星模式量測該路口寬度，量測方式的說明以基隆市明德一路與崇智街路口為例（圖 4.3.11），量測出的路口寬度（ W ）定義方式，為觀察車流方向之道路邊緣延伸線，與機車待轉區較外側之延伸線的交會點。當駕駛人黃燈期間續行決策不當時，最可能於此範圍內與車輛發生路口交岔撞事故。

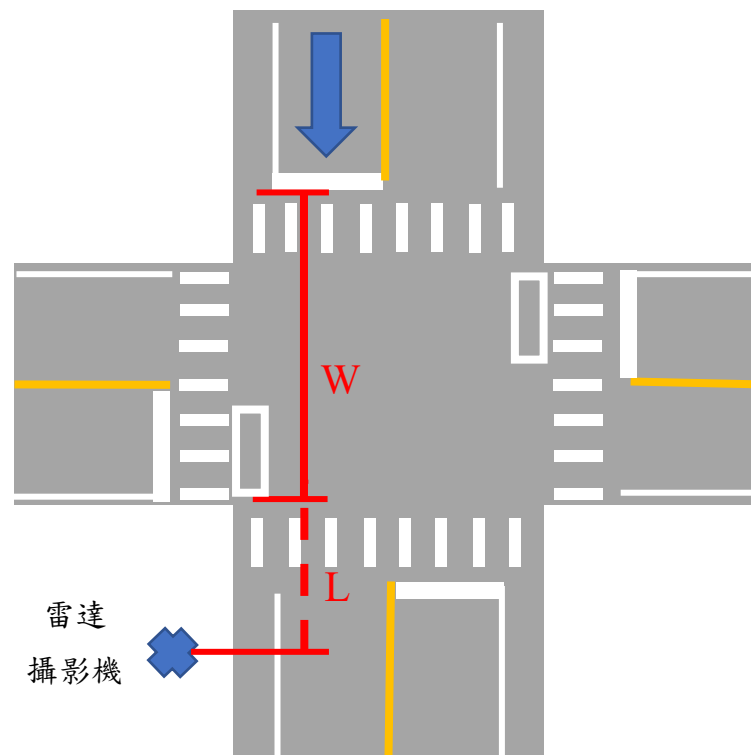


圖 4.3.10 路口範圍示意圖

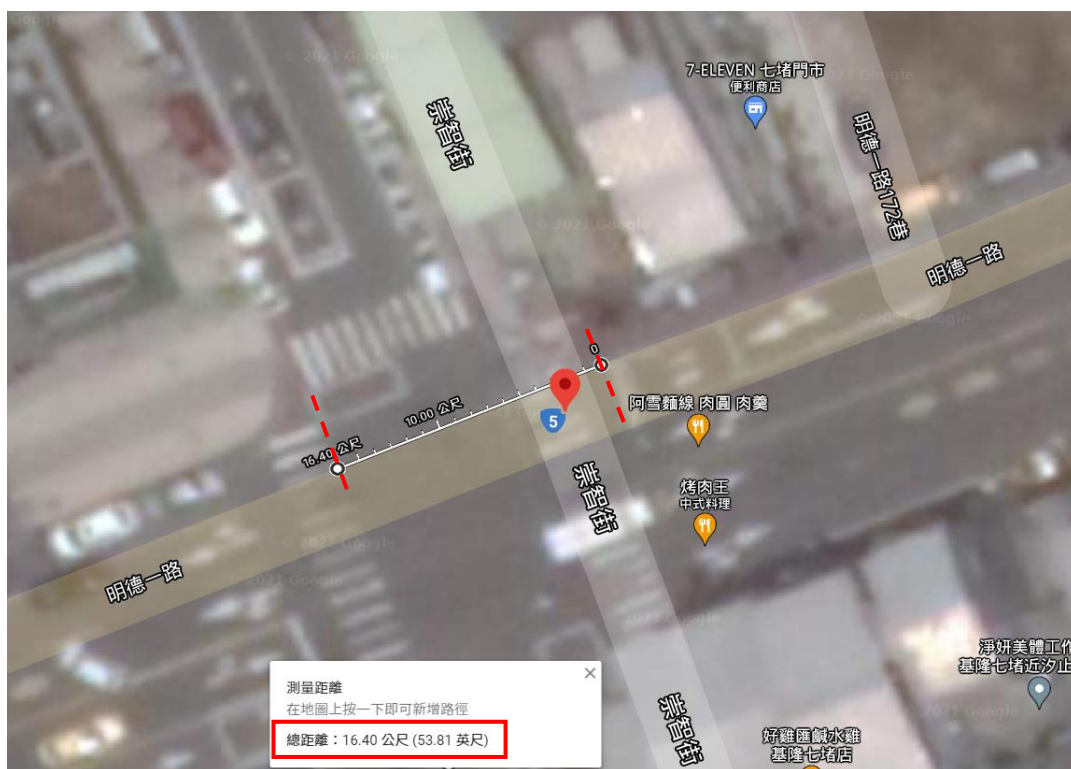


圖 4.3.11 路口寬度量測說明

4.4 資料處理

將號誌狀態加入雷達資料後，篩選出黃燈前五秒、黃燈期間、黃燈後三秒的資料，為本研究所需之研究範圍，接著用下列方式處理資料。

4.4.1 過濾非研究範圍資料

在雷達資料偵測過程中，除了車輛外，亦會偵測到行人、自行車等其他物件，因此在資料過濾的第一步會先以物件長度篩選，將物件長度小於等於一公尺的資料刪除。

另外，本研究僅研究黃燈期間通過路口之車輛，因此第二步為，刪去所有 X 方向速度為 0 的資料，刪去左右轉之車輛，以及刪除該期間內未通過路口的資料，還有刪除車輛進入路口後，號誌才轉為黃燈的資料。

4.4.2 過濾偵測異常資料

由於雷達儀器本身可能會受環境等因素影響，或車輛過於密集的情況，此可由影像資料對照後發現，有時會出現偵測上的錯誤，例如基隆市崇智街與明德一路交叉口之路口範圍約在 $20.5 < x < 43$ 之間，圖 4.4.1 為該路口一部份雷達資料，

在雷達資料上顯示，疑似有車輛停滯於路口，藉由影像發現，該物件為一輛於黃燈期間通過路口的機車，卻在雷達座標（31.104,4.48）後，失去該物件軌跡。這樣的遺漏情況，會使本研究之變數會有遺漏值，因此會將其濾除。

radar time	Object	X	Velocit	Y	Velocit	Object
09:31:48.802	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:48.877	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:48.952	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.027	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.101	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.176	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.201	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.328	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.403	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.480	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.553	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.628	93	31.104	0	4.48	0	4.6
09:31:49.700	93	31.104	0	4.48	0	4.6

圖 4.4.1 雷達資料—路口物件偵測異常

另一種情況推測為，車輛間隔距離過近，導致雷達將二輛以上的車輛誤判為同一物件，距離雷達較近時，才使雷達判定成二輛車，導致其中一車之車輛資料不完整，因此在本研究中，若在研究期間資料有超過 0.5 秒以上的缺失，會將該車輛資料過濾。

在高雄市的青年路與建國路路口，在雷達資料的結果中，出現順時速率不合理的情況。兩次雷達偵測的時間相差 0.11 秒，物件編號（objectid）163，而兩者的 X 座標相差約 16.5 公尺，表示每秒可移動 150 公尺，以車輛的速度檢視並不合理，因此將其視為異常資料，不納入分析樣本中（圖 4.4.2）。

4.4.3 車輛編號

由於雷達資料上的車輛編號為隨機編號，會有重複的情況出現，且隨機編號難以辨別，因此須將車輛編號依地點、年份、號誌週期、車道、第幾部車等加入編號，在對照影片時容易找到車輛。如一輛編號為 KLB80611，前二字 KL 為縣市名縮寫，表示基隆，B 表示該縣市錄製第二個路口，8 表示計畫年度為 108 年，06 表示資料蒐集期間的第 6 個黃燈時相期間，1 表示由外側往內數第一個車道，最後一個 1 表示，該週期的某車道第 1 部通過的車輛，綜合來說標號 KLB80611，

表示 108 年基隆市第二個觀測路口，第 6 個週期，於外側數來第 1 車道，第 1 輛黃燈期間續行的車輛。

radartime	Object id	X	Y	Velocity X	Velocity Y	Object length
18:06:12.152	158	39.808	-1.792	-8.2	0	5
18:06:12.152	74	44.032	-12.672	0	0	5.6
18:06:12.152	167	49.536	-1.152	-8.5	0	4.6
18:06:12.152	163	50.304	-3.584	-13.3	-0.1	4.6
18:06:12.152	105	50.432	-12.672	-0.3	0	14
18:06:12.152	94	58.496	-12.672	0	0	4.6
18:06:12.152	152	64.256	0.768	-4.7	0	1.6
18:06:12.152	103	65.792	-12.544	0	0	5
18:06:12.152	159	67.584	-2.176	-17.1	-0.1	5
18:06:12.152	154	70.528	-5.248	-10.6	-0.1	4.6
18:06:12.152	112	73.344	-8.832	0	0	5
18:06:12.152	164	82.432	-7.68	-14.6	-0.1	4.6
18:06:12.152	156	86.144	-4.096	-10.8	-0.1	5
18:06:12.152	162	90.24	-1.536	-11.9	-0.1	4.6
18:06:12.152	160	116.48	-1.408	-9.3	0	5.4
18:06:12.152	147	129.92	-1.408	-8.1	0	5
18:06:12.262	165	-5.12	-5.632	-12.2	-0.1	2.6
18:06:12.262	157	0.768	-9.216	-15.1	-0.1	5
18:06:12.262	153	7.936	-5.632	-10.9	-0.1	5.6
18:06:12.262	146	-14.592	-7.04	-13.4	-0.1	4.6
18:06:12.262	161	-16.128	-9.6	-20.6	-0.1	5
18:06:12.262	166	18.048	5.632	-1.1	0	1.6
18:06:12.262	155	21.504	6.528	-2.2	0	1.6
18:06:12.262	148	21.248	-9.088	-14.5	-0.1	4.6
18:06:12.262	158	30.08	-1.92	-8	0	5
18:06:12.262	163	33.792	-5.504	-13.8	-0.1	2.6
18:06:12.262	167	38.784	-1.792	-9	0	5.6
18:06:12.262	74	44.032	-12.672	0	0	5.6
18:06:12.262	169	47.104	-1.664	-8.9	0	4.6

圖 4.4.2 雷達資料—移動速度不合理

4.4.4 車速計算

受限於道路交通環境的影響及雷達本身偵測的誤差，雷達資料的 X 軸並非完全與車輛行進方向平行，因此會以雷達資料上 $\sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ 計算車速，較接近真實車速。而本研究中，有一變數為黃燈亮起瞬間之車輛速度，該變數將採黃燈亮起時間點前後 0.3 秒之平均速度。

4.4.5 車種異常值處理

圖 4.4.2 雷達資料圖（紅框所標示之 Object id 為 163 的 Object length）可發現，雷達偵測同一物件編號之車長，可能受道路環境或鄰近車輛影響，有不同的

值，甚至會將機車車長偵測超過 4 公尺，此現象通常會在車流密度較高時發生。因此將先以影片資料辨識車種，若為機車，則以雷達資料，該物件長度小於 3.5 公尺的數值中，頻次最高者，為該車輛車長；另外有資料為軌跡完全符合影像資料中的一輛機車，雷達資料偵測物件卻由始至終，將其物件長度偵測超過 4 公尺。遇到此類情形，若為機車，則會將其車長改為，雷達資料中，機車長度之眾數 2.6 公尺；若為汽車，則會將其車長改為，雷達資料中，汽車長度之眾數 5 公尺。

4.4.6 距離定義

本研究之前後車關係，以車道為區別，行駛在同車道的情況下，即有前後車關係，由於每輛車之車寬不同，因此本研究的車距僅考量 X 方向的垂直距離，與停止線距離亦僅考量 X 方向垂直距離。另外在影片中可以發現有部分車輛會有跨越車道的現象，遇到此類車輛，將以該車車身大部分所在之車道為準。

前後車偵測異常影響，也會影響到車距間的關係，若影像資料中，前（後）車，未被雷達偵測，則會以再前（後）車之車距除 2 計算該車距。

4.4.7 未完全通過路口之判定

本研究訂定黃燈期間續行之車輛，於紅燈始亮時，車輛包含車身，須完全通過路口，以紅燈始亮之車輛 X 座標，加上車長，檢視其 X 座標是否在路口範圍內或位在停止線上游，則定義為車輛未完全通過路口。

時相設計時將會包含清道時間，全紅時段始亮時，位在路口中的車輛，這些車輛發生路口交岔撞事故的可能性不高，但全紅時相長度與黃燈時相長度之相異處在於，全紅時段長度並非定值，隨路口不同而有差異（表 2.5.2），駕駛人並不容易掌握，因此本研究將所有紅燈始亮時，位在路口中的車輛，也納入駕駛行為不當的車輛，探討駕駛人若選擇煞停，是否為更佳的选择。

4.4.8 車道可直行及左轉之記錄方式說明

當遇到車道可同時直行、左轉或同時直行、右轉時，紀錄方式說明如圖 4.4.3，圖 4.4.3 為台東市民航路與中興路二段四岔路口，內側車道同時可直行及左轉，

圖為黃燈始亮的瞬時狀態，橘框內之休旅車在等待對向車流，準備左轉，但同時占用到後方大貨車（紅框）的直行空間，如紅框中的大貨車受橘框中的休旅車影響而變換車道，則與前車的車距部分，會記錄與綠框中小客車車尾的距離；如紅框中的大貨車未變換車道，而以減速應對，則會與黃框中的休旅車，探討與前車車距。

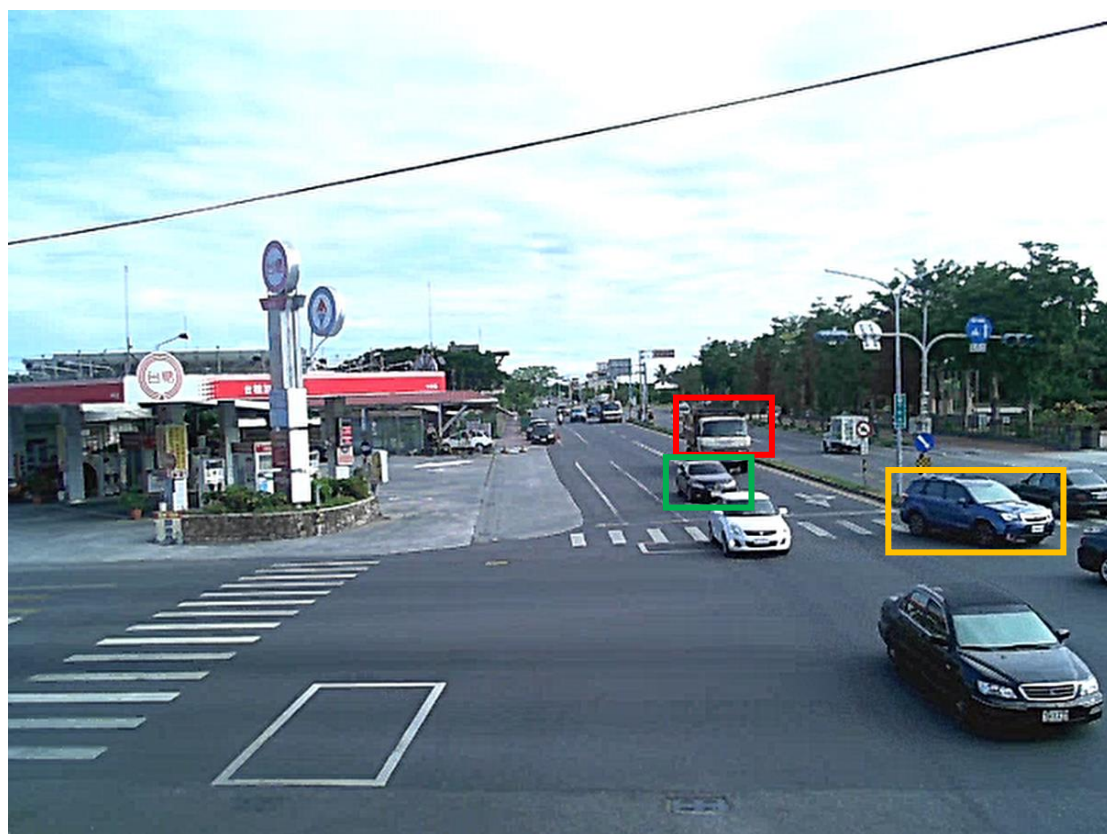


圖 4.4.3 車道同時直行與左轉說明圖

4.5 路口資訊

本研究整理十個路口的資料蒐集結果，單一年度每個路口蒐集時間長度為 60 分鐘，因單年度的樣本數較少，基隆市及台東縣在路口相同、黃燈時相長度相同的條件下，使用了 107、108 兩個年度的資料。苗栗縣在 107、108 年度皆在同個路口蒐集資料，但從影像中發現，107 年度的黃燈長度與 108 年度不同，在速限為 60 km/h 的情況下，107 年度苗栗縣國華路與民族路口黃燈長度為 5 秒，與 108 年度的 4 秒不同，因此僅採用 108 年度，交通控制符合《道路交通標誌標線號誌設置規則第 231 條》的資料。

十個路口共約 12 個小時的雷達資料中，可觀察符合本研究所需求之車輛數共 681 輛，但有 167 輛車在雷達偵測過程中有異常現象，因此將其濾除，這些無法運用的資料，主要原因有二，最常見為車輛密度過大，在車輛較接近雷達時，才被偵測到，第二個常見原因為，該車於黃燈始亮時，已超過雷達偵測距離，因此無法被雷達偵測到，最後共蒐集到 514 筆完整車輛資料符合本研究條件。

表 4.5.1 為本研究的路口資料，其中號誌時相長度已四捨五入至秒；黃燈時相長度與紅燈時相長度，皆以直行車的角度紀錄，如苗栗縣國華路與民族路口、宜蘭縣中正路與中興路口，皆設有左轉專用號誌，於左轉專用號誌結束時，亦會有黃燈，但在本研究中會將其記錄在紅燈長度中；本研究之單向車道數，僅計算開放直行之快慢車道數，故左轉專用道不在本研究車道數計算之範圍內。影像觀察車輛數為，影像資料中黃燈期間內選擇通過的車輛數，雷達觀察車輛數則為，雷達資料中，於黃燈期間內選擇通過，且具有完整資料的車輛數。

4.6 小結

本章先介紹研究路口的篩選依據，接著介紹本研究使用的雷達資料及影像資料，並詳述資料處理過程及特殊情況的判定。由於雷達資料中並無包含號誌狀態，因此須透過影像資料，經過六步驟後，將號誌狀態加入雷達資料中。雷達資料增加號誌狀態後，可進一步除濾非研究範圍內資料、不完整的資料、偵測異常資料。最後將符合研究範圍的完整資料，整理成本研究欲探討的變數形式。

表 4.5.1 路口資料

縣市	基隆市	苗栗縣	宜蘭縣	台東縣	高雄市	台北市	新北市	桃園市	雲林縣	台中市
資料蒐集年度	107、108	108	108	107、108	108	108	108	108	107	107
觀察路名	明德一路	國華路	中正路二段	民航路	建國路三段	承德路	三和路四段	中山路	明德北路二段	文心路一段
研究車流方向	東來向	北來向	北來向	南來向	西來向	南來向	西北來向	東來向	東來向	南來向
通過路名	崇智街	民族路	中興路三段	中興路二段	青年路二段	民族西路	自強路四段	國際路二段	鎮北路	向上路一段
通過路口寬度	16.4 m	20 m	21.2 m	24 m	27.2 m	29.5 m	28.7 m	27 m	21.5 m	25 m
速限	50 km/h	60 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	50 km/h	50 km/h	50 km/h	60 km/h	50 km/h
黃燈時相長度	3 s	4 s	3 s	4 s	5 s	3 s	3 s	3 s	4 s	3 s
紅燈時相長度	48 s	76 s	52 s	75 s	81 s	97 s、135 s	83 s	92 s	64 s	85 s
單向車道數	2	3	3	3	3	4	2	2	3	3
左轉專用號誌	無	有	有	無	有	有	有	有	有	有
影像觀察車輛數	40	8	77	100	126	67	39	94	40	90
雷達觀察車輛數	35	8	65	95	67	61	30	51	35	67

第五章、研究結果

有完整雷達資料的樣本數共 514 輛，先列出蒐集路口的資訊及初步統計結果後，接著分別對各自變數做羅吉斯迴歸模式，再將顯著的自變數以逐步選取法建立最終羅吉斯迴歸模式，找出顯著影響黃燈續行決策的自變數；接著再以典型判別分析法，了解黃燈始亮時之車輛速度、位置，車輛長度，及路口環境的數值型變數，對駕駛人決策無誤、駕駛人陷入猶豫區間、駕駛人決策不當三類的影響程度。

5.1 基本統計量

三個黃燈期間的不當駕駛行為中，以紅燈始亮車輛未完全通過路口的情況最為嚴重，約有 69% 的黃燈續行車輛有此現象，其中在紅燈始亮時未完全通過路口的車輛中，還有約 26% 的續行車輛（佔所有續行車輛 18%）在紅燈始亮時，仍位在停止線上游（闖紅燈）；約有 37% 的車輛於黃燈期間，未保持安全車距；另有 35% 的車輛於黃燈期間超速。表 5.1.1 進一步呈現各類型路口，駕駛不當行為數量統計。

表 5.1.1 不當駕駛行為基本統計

速度	黃燈期間未超速	黃燈期間超速	總計
	335(65%)	179(35%)	514
前車車距	保持安全距離	未保持安全距離	總計
	327(63%)	187(37%)	514
紅燈始亮 車輛位置	完全通過路口	未完全通過路口/闖紅燈	總計
	157(31%)	357(69%) / 93(18%)	514

514 輛觀察車輛中，有 446 輛車至少有一項駕駛不當行為，約佔所有觀察車輛中 87%，當中以速限 50 公里/小時、黃燈時間為 3 秒的路口，黃燈續行車輛至少有一駕駛不當行為的情況最為嚴重。（如表 5.1.2）

表 5.1.2 路口型態與駕駛不當行為

路口型態 (速限、黃燈時間)	無不當駕駛行為	至少有一駕駛不當行為	總計
50 km/h、3s	14(5%)	295(95%)	309
60 km/h、4s	28(20%)	110(80%)	138
70 km/h、5s	26(39%)	41(61%)	67
總計	68(13%)	446(87%)	514

5.2 試算結果

本研究假設感知反應時間為 1 s，加速度為 2.56 m/s^2 ，減速度為 3 m/s^2 ，將至少有一項不當駕駛行為的車輛，以黃燈始亮車輛的速度及位置試算，用型一猶豫區間公式計算通過與煞停之試算結果，共有 446 輛車符合此條件，結果如表 5.2.1 所示。(在試算通過的過程中，有 7 輛車與前車車距不足，依照 2.56 m/s^2 的加速度試算，會追撞到前車，因此這 7 輛車的試算過程中，以等速前進而非依 2.56 m/s^2 的加速度，以符合實際情況)

在試算是否通過的結果中，有 123 輛車的黃燈始亮速度及位置，可依速限、適當加速度，於紅燈始亮前，完全通過路口。試算是否通過的結果中，有 323 輛車無法完全通過路口，因此再進一步試算駕駛人選擇煞停，結果有 215 輛車於黃燈始亮的速度、位置，處在猶豫區間，導致駕駛人選擇通過會無法完全通過路口，選擇煞停也無法煞停於停止線上游。另有 108 輛車，在試算車輛煞停的結果中，可以煞停在停止線上游，因此將這 108 輛車歸類為駕駛人決策不當(可煞停卻續行)，後續將建立模式，了解車輛狀態與環境因素，對駕駛人決策的影響。

表 5.2.1 試算結果表

	結果	駕駛人 決策無誤	駕駛人 陷入猶豫區間	駕駛人 決策不當
試算 通過	通過路口	V		
	未通過路口		V	
試算 煞停	超出停止線		V	
	於停止線上游			V
	數量	123(28%)	215(48%)	108(24%)
	總計	446(100%)		

5.3 黃燈始亮之車輛速度、位置與紅燈始亮車輛位置

由於速度及黃燈長度會影響車輛的行駛狀態，本節將路口以速限及黃燈長度做區隔，共有三個路口型態，每個路口型態將會有兩張散佈圖。首先，先說明散佈圖中，每個點所代表的涵義，除了座標位置外，另有顏色及形狀分別表示不同涵義。

(1) 座標

X 軸表示在黃燈始亮時，車輛與停止線距離，單位為公尺，Y 軸則表示，黃燈始亮時，車輛的瞬時速率，單位為公尺/秒。

(2) 顏色

顏色所代表的是紅燈始亮（黃燈結束）時的車輛位置，藍色點表示紅燈始亮時，車輛包含車身已完全通過路口；橘色點表示紅燈始亮時，車輛已通過停止線，但未完全通過路口；紫色點則表示，於紅燈始亮時，車輛位於停止線上游，亦表示該類車輛，為最可能發生路口交岔撞事故的車輛。（如圖 5.3.1）

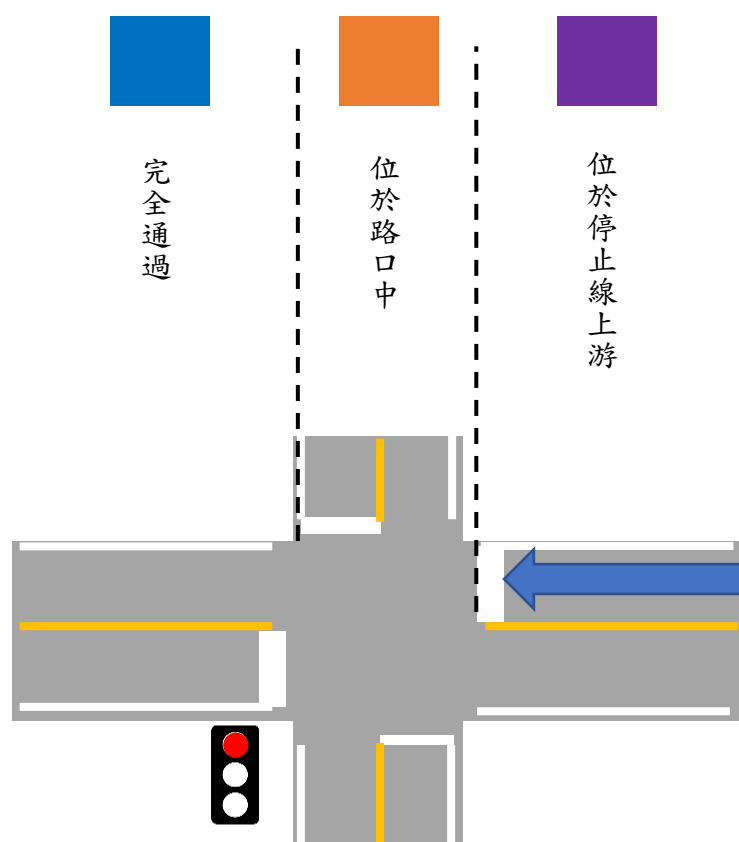


圖 5.3.1 散佈圖顏色示意圖

(3) 形狀—三角形、圓形

若黃燈期間內，速度小於速限者，則以圓點表示；若速度大於速限者，則以三角形表示。我們由型一猶豫區間公式(式 2-2)得知，煞停距離與速度成正比，一旦有緊急情況需煞車應對，會需較長的煞停距離。

根據 European Transport Safety Council (1995) 指出，在車速 80 公里/小時的情況下發生死亡事故的機率為車速 30 公里/小時的 20 倍；而對行人而言，行人遭時速 20 英里/小時 (32 公里/小時) 的車輛撞到，死亡的機率為 5%；行人遭時速 30 英里/小時 (48 公里/小時) 的車輛撞到，死亡機率為 45%；若行人遭時速 40 英里/小時 (64 公里/小時) 的車輛撞到，死亡機率為 85%。

(4) 形狀—X、菱形

將紅燈始亮車輛位置結合試算結果呈現的散佈圖中，X 表示試算結果歸類為無法煞停在停止線上游，菱形則表示試算結果為駕駛人決策不當，可以藉此了解，黃燈期間續行車輛於紅燈始亮位置，與試算結果的關聯性。

藉由多維度的方式，來了解各車輛危險程度，於黃燈期間未完全通過路口的車輛，可以透由清道時間，盡速通過路口，當紅燈始亮時，位在停止線上游的車輛 (紫色)，當其進入路口時，其他方向的號誌已轉綠燈，可能容易與車輛發生路口交岔撞的事故，也可能撞上合法通行的行人；若是紅燈始亮後才進入路口的車輛，且又以超速通過的方式通過路口 (紫色三角形)，一旦發生事故，則可能造成事故嚴重度較高。

5.3.1 速限 50 km/h (黃燈時相長度 3 秒) 路口

黃燈期間續行在速限 50 km/h 路口的車輛共 309 輛，其中，有 153 輛車於黃燈期間有超速的情況；另有 245 輛車在紅燈始亮時，車輛未完全通過路口，當中包含 69 輛車有闖紅燈的情況。紅燈始亮後才通過路口，且又在黃燈期間有超速情況的車輛共有 36 輛，約佔黃燈期間續行於限速 50 km/h 路口車輛的 11%。(如圖 5.3.1)

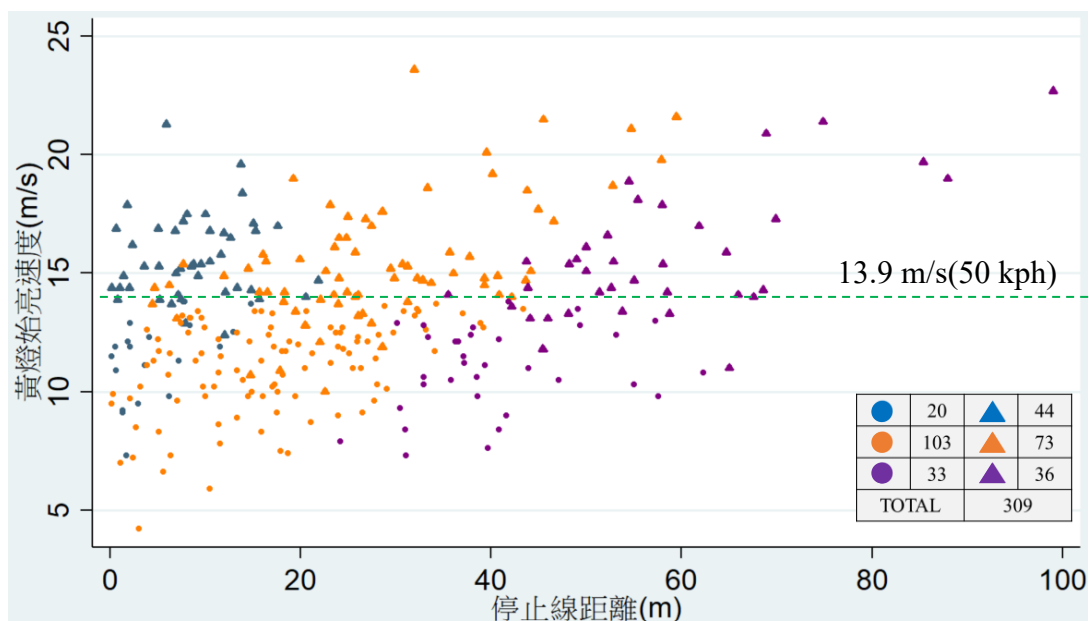


圖 5.3.1 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 50 km/h）

圖 5.3.2 改變散佈圖形狀的含意，由原先的黃燈期間超速與否，改為各車輛於黃燈期間的試算結果，X 表示該車駕駛人決策無不當，菱形則表示該車駕駛人決策不當，試算該車於黃燈期間選擇煞停，車輛可煞停於停止線上游。在速限 50 km/h、黃燈長度 3 秒的路口中，在紅燈始亮時位在路口範圍內的車輛（橘色點）共 176 輛，其中有 7 輛車為駕駛人決策不當，約為 4%；另外，69 輛有闖紅燈行為的車輛（紫色點），在試算結果中，有 45 輛車是駕駛人決策不當，可以煞停於停止線上游，約佔有闖紅燈行為車輛的 65%。

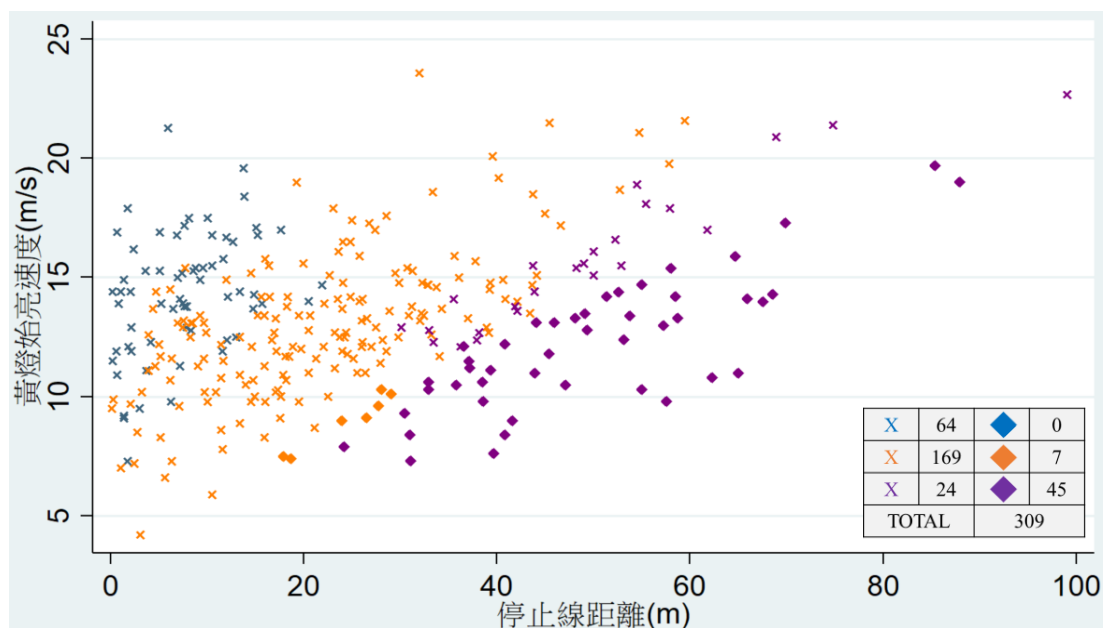


圖 5.3.2 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 50 km/h）

5.3.2 速限 60 km/h（黃燈時相長度 4 秒）路口

黃燈期間續行在速限 60 km/h 路口的車輛共 138 輛，其中，有 26 輛車於黃燈期間有超速的情況；另有 90 輛車在紅燈始亮時，車輛未完全通過路口，當中包含 23 輛車有闖紅燈的情況。而紅燈始亮後才通過路口，且又在黃燈期間有超速情況的車輛有 5 輛，約佔黃燈期間續行於限速 60 km/h 路口車輛的 4%。（如圖 5.3.3）

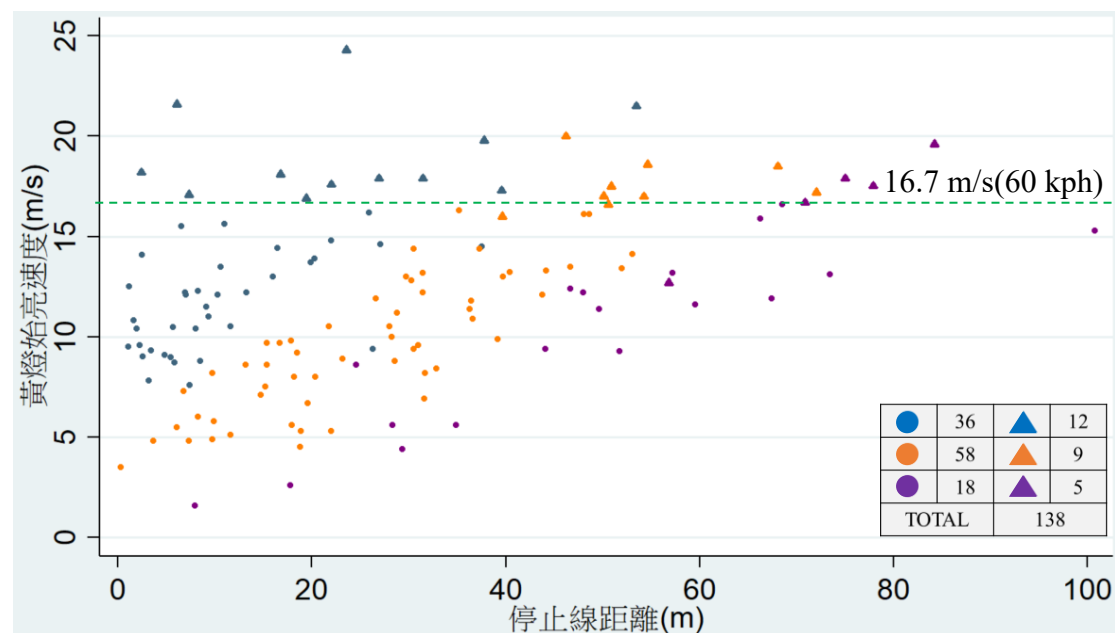


圖 5.3.3 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 60 km/h）

在速限 60 km/h、黃燈時相長度 4 秒的路口，在紅燈始亮時位在路口範圍內的車輛（橘色點）共 65 輛車，其中有 27 輛車為駕駛人決策不當，約有 42%；另外，23 輛有闖紅燈行為的車輛（紫色點），在試算結果，全數皆為駕駛人決策不當，若於黃燈期間煞停，應可煞停於停止線上游。（如圖 5.3.4）

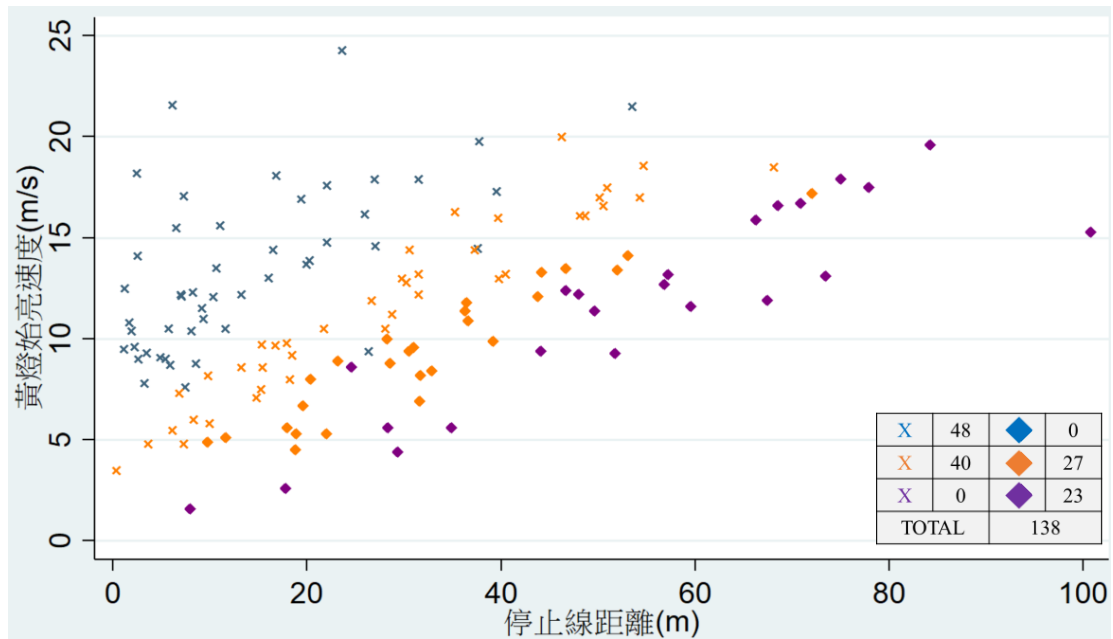


圖 5.3.4 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 60 km/h）

5.3.3 速限 70 km/h（黃燈時相長度 5 秒）路口

黃燈期間續行在速限 70 km/h 路口的車輛共 67 輛，其中，沒有車輛於黃燈期間有超速的情況；另有 22 輛車在紅燈始亮時，未完全通過路口，當中包含 1 輛車有闖紅燈的情況。（如圖 5.3.5）

這並不表示速限越高，黃燈時間越長，闖紅燈的狀況會減少，本研究速限 70 km/h，黃燈長度為 5 秒的路口僅有高雄市，為建國路三段與青年路二段交叉口，在影像資料中，該蒐集時間內共有 126 輛車於黃燈期間續行，但只有 67 輛車有完整雷達資料，許多不完整的資料是因為黃燈始亮時的位置，與雷達距離過長，雷達未偵測到該車輛，因此無法得知該輛車在黃燈始亮的速度及確切位置。（參閱表 4.5.1）

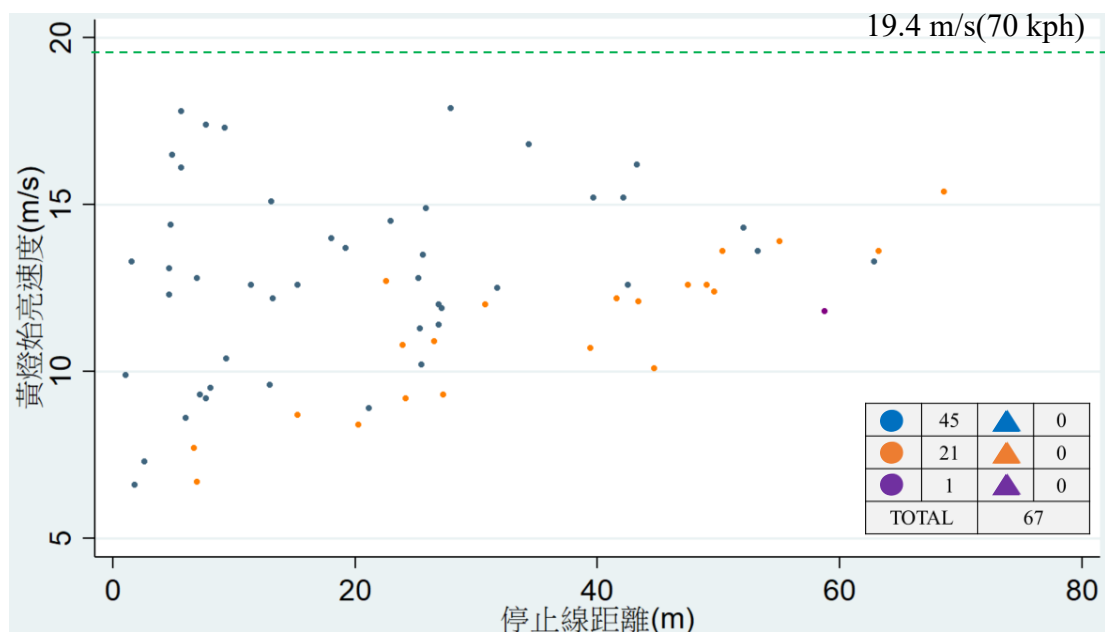


圖 5.3.5 紅燈始亮車輛位置散佈圖（速限 70 km/h）

在速限 70 km/h、黃燈時相長度 5 秒的路口中，在紅燈始亮時位在路口範圍內的車輛（橘色點）共 18 輛，其中有 4 輛車為駕駛人決策不當，約為 22%；另外，1 輛有闖紅燈行為的車輛（紫色點），在試算的結果中，該車駕駛人決策不當，可於黃燈期間，應煞停於停止線上游。（如圖 5.3.6）

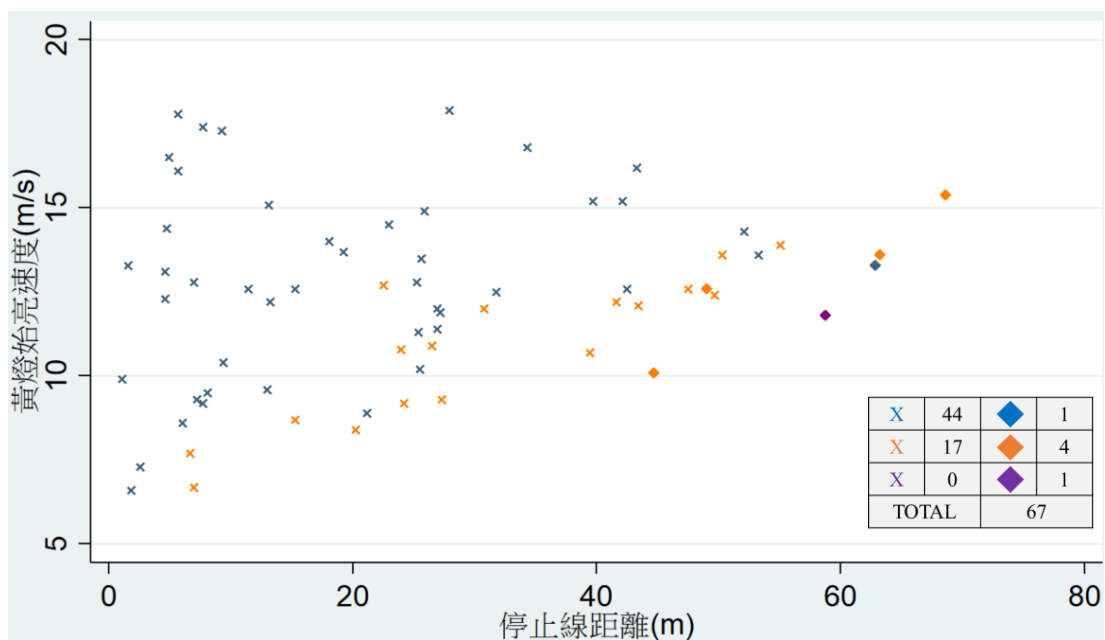


圖 5.3.6 紅燈始亮位置散佈圖與駕駛決策不當情形（速限 70 km/h）

5.4 羅吉斯迴歸結果

本節將先檢視各自變數的相關性，再以向後選取法（backward）建立模式。為了驗證模式精確度，本研究利用每個路口第 8 個號誌週期後的資料建立模式，再利用前 7 個號誌週期的觀察車輛驗證模式精確度。因此現有 514 個觀察車輛，將分成 409 個觀察車輛建立模式，105 個觀察車輛驗證模式。

本研究在羅吉斯迴歸模式中，原以「車種」作為分析變數，車種單獨與應變數做邏輯斯迴歸的情況下，「車種」對於駕駛人決策不當是有顯著影響的，但加入其他自變數後，車種並未顯著影響駕駛人決策，因此本研究為使二模式之計量型自變數一致，最後以「車輛長度」取代「車種」。

5.4.1 假設檢定

本研究羅吉斯迴歸式如下：

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots \beta_i X_i$$

假設檢定為：

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \text{ 至少有一係數不為 } 0$$

5.4.2 相關性檢定

為避免模式自變數間有共線性問題，因此在建立羅吉斯迴歸模式前，先檢驗計量型自變數間的相關係數，結果如表 5.4.1。

表 5.4.1 可以發現，紅燈長度與通過路口寬度的相關係數為 0.842，此二變數為高度正相關。以常理來推斷，通過路口寬度越長，表示該路口車道數越多，車流量越大，因此觀察路口之紅燈長度會較長，在本研究中，「通過路口寬度」應會更直接地影響駕駛人續行的決策。因此，為避免共線性問題，將於模式中保留自變數「通過路口寬度」，刪除自變數「紅燈長度」。除上述二變數外，其他自變數間並無高度正相關（相關係數大於 0.7）或負相關（相關係數小於 -0.7）。

表 5.4.1 相關係數表

	停止線 距離	黃燈始 亮速度	車長	黃燈長度	紅燈長度	通過路 口寬度
停止線距離	1					
黃燈始亮速度	0.3403	1				
車長	0.1848	0.0108	1			
黃燈長度	0.0623	-0.1446	0.1338	1		
紅燈長度	-0.0141	0.1595	-0.12	-0.0618	1	
通過路口寬度	-0.0107	0.102	-0.0874	0.1284	0.842	1

5.4.3 向後選取法 (backward)

向後選取法建立模式的過程為先將所有自變數加入模式後，依序將最不顯著的自變數刪除，直到所有自變數皆顯著為止，其挑選過程的結果如下：

- (一) 刪除「與前車未保持安全車距」
- (二) 刪除「車輛長度」
- (三) 刪除「後車未保持安全車距」
- (四) 刪除「通過路口寬度」

利用 409 筆車輛資料建立模式，模式結果的概似比統計量為 $340.77 > \chi^2_{(4,0.05)} = 9.488$ ，表示模式結果拒絕虛無假設 H_0 ，在顯著水準為 $\alpha < 0.05$ 的條件下，模式結果具解釋性的變數有「與停止線距離」、「黃燈始亮車速」、「黃燈長度」、是否有「左轉專用時相」。

進一步的量化結果可知，車輛與停止線距離每增加 1 公尺，駕駛人決策不當的可能性增加 1.834 倍；車速每增加 1 公尺/秒，駕駛人決策不當的可能性下降 0.065 倍；黃燈長度每增加 1 秒，駕駛人決策不當的可能性下降 0.047 倍；而相較於「無左轉專用時相」的路口，駕駛人在「有左轉專用時相」路口出現駕駛人決策不當的機率下降 0.066 倍。(如表 5.4.2)

表 5.4.2 模式結果

Logistic Regression				Number of obs		409
				LR chi2(4)		349.08
				Prob > chi2		0
Log likelihood=-35.81601				Pseudo R2		0.8297
變數	Odds Ratio	Std. Err.	z	P > z	[95% Conf. Interval]	
停止線距離	1.834	0.201	5.53	0.000***	1.479	2.273
黃燈始亮車速	0.065	0.032	-5.61	0.000***	0.025	0.169
黃燈時相長度	0.047	0.035	-4.09	0.000***	0.011	0.204
左轉專用時相	0.066	0.065	-2.77	0.006**	0.010	0.451
_cons	3.31E+09	1.46E+10	4.99	0.000***	601919.3	1.82E+13

註：*、**、***分別表示所校估之參數在 0.05、0.01、0.001 之顯著水準下不為 0

以上結果皆為合理，尚未出現與預期結果不同的情況，距離停止線越遠，可煞停於停止線上游的可能性越高；車速越快，煞停於停止線上游的可能性越低；黃燈長度越長，表示該路口速限越高，車速較快的情況煞停於停止線上游的可能性越低，且駕駛人有較長的黃燈時間通過路口；另外在有無左轉專用時相的變數，從模式結果來看，駕駛人在面對對向準備左轉的車輛，較不敢冒險選擇於黃燈期間續行。

5.4.4 模式結果分類

利用 409 筆車輛資料建立的模式，對 409 筆車輛資料分類駕駛人是否決策不當，可從分類結果中發現，86 個在試算結果為駕駛人決策不當的車輛中，有 78 輛車，模式正確歸類在駕駛人決策不當；另外試算結果為駕駛人決策無不當的 323 輛車，模式正確歸類 317 輛車在駕駛人決策無不當，整體模式歸類結果的精確度約 $96.58\% \left(\frac{78+317}{409} \right)$ 。(如表 5.4.3)

表 5.4.3 羅吉斯迴歸模式結果分類表

		模式結果		總計
		駕駛人決策不當	駕駛人決策無不當	
實際結果	駕駛人決策不當	78 (90.7%)	8 (8.2%)	86 (100%)
	駕駛人決策無不當	6 (1.9%)	317 (98.1%)	323 (100%)
總計		84	325	409

5.4.5 驗證模式

利用 105 筆車輛的驗證資料，驗證 409 筆車輛資料建立的模式結果，可以發現成功歸類的車輛有 103 輛，約 98.1% ($\frac{21+82}{105}$)，與建立模式資料的比例差異不大。(如表 5.4.4)

表 5.4.4 驗證結果

		模式結果		總計
		駕駛人決策不當	駕駛人決策無不當	
實際結果	駕駛人決策不當	21 (95.5%)	1 (4.5%)	22 (100%)
	駕駛人決策無不當	1 (1.2%)	82 (98.8%)	83 (100%)
總計		22	83	105

5.5 典型判別分析結果

利用判別分析，以黃燈始亮時的車輛速度、車輛位置結合環境因素，判斷車輛是否陷入猶豫區間。應變數分為三類，分別為駕駛人決策無誤、駕駛人陷入猶豫區間、駕駛人決策不當；而自變數為車輛狀態及環境因素的計量型變數。理論上判別分析的變數須符合獨立性、常態性、均質性等三個假設條件，因此本章將先檢驗是否有嚴重違反這三個假設條件，再建立典型判別函數，並呈現結果。

建立典型判別函數之樣本數與羅吉斯迴歸相同，共有 409 個觀察車輛建立模式，再以 105 個觀察車輛來檢驗結果。

5.5.1 獨立性

利用表 5.5.1 的相關係數表可以知道「通過路口寬度」與「紅燈時相長度」二自變數呈高度正相關，為避免共線性問題，刪除「紅燈時相長度」，其他數值型自變數並無明顯正相關或負相關。

5.5.2 常態性

本研究透過長條圖觀察各自變數的分布情況，圖 5.5.1 先由左至右再由上至下依序為停止線距離、黃燈始亮速度、黃燈時相長度、通過路口寬度、車輛長度。首先是黃燈始亮與停止線距離，分布情況為右偏態，因本研究僅針對黃燈期間續行車輛，離停止線越近的車輛，選擇續行的可能性越高，與停止線距離越短，選擇續行的車輛越多。接著為黃燈始亮時車速，分布情況接近常態分布；再來是黃燈時相長度，由於法規的限制，台灣的黃燈長度只有三類。通過路口寬度則受限於蒐集路口個數的影響，每個路口寬度相同，本研究共蒐集十個路口，各路口寬度可參見表 5.1.1 至 5.1.3，此自變數的分布非常態；最後為車輛長度，台灣道路上的車流型態為混合車流，以汽、機車比例最高，大型車較少，從長條圖中可發現車長約 3 至 4 公尺處有個間隙，為汽、機車的分隔，此自變數分布亦非常態。

根據陳順宇（2005）對判別分析的介紹，變數不要「嚴重」違反常態分配，所得的結果仍適用。在本研究的自變數中，除了黃燈始亮速度外，皆有部分偏態的情況。

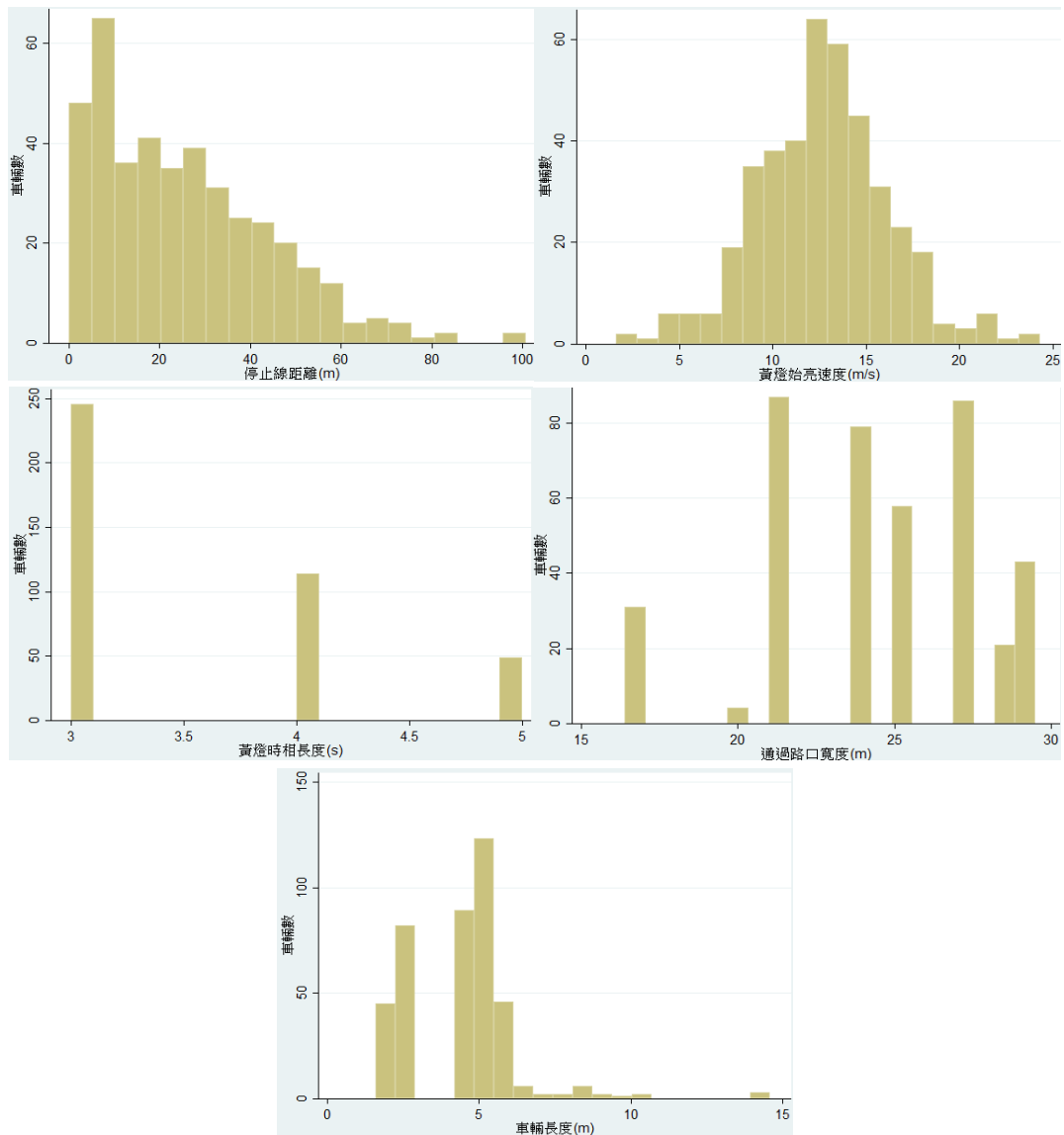


圖 5.5.1 判別分析自變數長條圖

5.5.3 均質性

判別分析需要假設各群體變數間的共變異矩陣有均質性，表 5.5.1 分別顯示駕駛人決策無誤、駕駛人陷入猶豫區間、駕駛人決策不當三組的共變異矩陣。共變異矩陣結果顯示，三組的差距最大的部分為，黃燈始亮時車輛與停止線距離的變異數，其次為黃燈始亮時停止線距離與黃燈始亮車輛速度的共變異數，其他變數的變異數及共變異數並沒有太大的差異。

表 5.5.1 共變異矩陣

駕駛人 決策無誤	停止線 距離	黃燈始 亮速度	黃燈長度	通過路 口寬度	車長
停止線距離	165.973				
黃燈始亮速度	8.83589	10.1562			
黃燈長度	5.31195	-0.406753	0.687242		
通過路口寬度	7.3945	-0.218067	1.41713	12.1664	
車長	3.311	0.516798	0.247997	0.190918	3.13882
駕駛人陷入 猶豫區間	停止線 距離	黃燈始 亮速度	黃燈長度	通過路 口寬度	車長
停止線距離	253.35				
黃燈始亮速度	37.7021	12.3727			
黃燈長度	0.671786	-0.157329	0.113801		
通過路口寬度	-2.96643	2.30395	-0.281808	13.3989	
車長	-0.518377	-0.552108	0.170302	-1.51434	3.26562
駕駛人 決策不當	停止線 距離	黃燈始 亮速度	黃燈長度	通過路 口寬度	車長
停止線距離	349.127				
黃燈始亮速度	58.7155	12.959			
黃燈長度	0.112216	-0.197203	0.358948		
通過路口寬度	4.45425	0.636546	0.187418	8.91827	
車長	3.36747	0.355789	0.143129	-307174	3.12112

5.5.4 典型判別函數

在黃燈期間駕駛人實際在做決策時，駕駛人決策無誤、駕駛人陷入猶豫區間、駕駛人決策不當的情況，推測出現的機率不完全相等（並非各 33.3%），因此將以納入驗前機率的方式建立典型判別函數。

在 409 個觀察資料，經過試算，有 163 輛車歸類為駕駛人決策無誤，約為 40%；有 161 輛車歸類為駕駛人陷入猶豫區間，約為 39%；有 85 輛車駕駛人決策不當；約為 21%。

本研究應變數共有三類，因此需要兩條判別函式區分出三個類別，由表 5.5.2 可得知函數 1 與函數 2 皆顯著，表示此二函數對三類應變數具有判別能力，其中函數 1 特徵值為 1.82815，解釋的變異量 84.37%；函數 2 特徵值為 0.338786，解釋的變異量為 15.63%。

表 5.5.2 典型判別函數特徵值

函數	正準相關	特徵值	變異量百分比	累積百分比	概度比	F	df1	df2	Prob>F
1	0.8040	1.82815	0.8437	0.8437	0.2641	76.045	10	804	0
2	0.504	0.338786	0.1563	1	0.7469	34.133	4	403	0

各自變數經標準化的係數，可以知道每個自變數對函數的影響程度，因此對函數 1 來說，停止線距離的係數 1.25993 影響函數 1 最多；對函數 2 來說則是黃燈時相長度係數-0.7759197 對該函數的影響最大。（如表 5.6.3）

表 5.5.3 典型判別函數標準化係數

	函數 1	函數 2
停止線距離	1.25993	-0.284468
黃燈始亮速度	-0.9403355	0.4393035
黃燈時相長度	-0.7783516	-0.7759197
通過路口寬度	0.214993	0.5413309
車輛長度	0.2445526	0.133654

表 5.5.4 為兩個函數內各自變數的係數，利用本表可以得知兩個函數的計算方式如下：

表 5.5.4 典型判別函數未標準化係數

	函數 1	函數 2
停止線距離	0.0822941	-0.0185804
黃燈始亮速度	-0.2775199	0.129651
黃燈時相長度	-1.258503	-1.254571
通過路口寬度	0.062127	0.1565025
車輛長度	0.1406328	0.0768593
常數	3.71414	-0.9200157

函數 1= 0.082*停止線距離-0.278*黃燈始亮速度-1.259*黃燈時相長度
+0.062*通過路口寬度+0.141*車輛長度+3.714

函數 2= -0.019*停止線距離+0.13*黃燈始亮速度-1.254*黃燈時相長度
+0.157*通過路口寬度+0.077*車輛長度-0.924

將各輛車的黃燈始亮時與停止線距離、瞬時速度、車輛長度、所在路口的黃燈長度、通過路口寬度，帶入函數 1、函數 2 計算後，可分別得到一個值，以組

別作平均，駕駛人決策無誤的函數 1 平均值為-1.522962，函數 2 平均值為-0.2969902；駕駛人陷入猶豫區間的函數 1 平均值為 0.4732035，函數 2 平均值為 0.6826789；駕駛人決策不當的函數 1 平均值為 1.977232，函數 2 平均值為-0.7466028。（如表 5.5.5）

表 5.5.5 正準變數類別平均值

	函數 1	函數 2
駕駛人決策無誤	-1.522962	-0.2969902
駕駛人陷入猶豫區間	0.4732035	0.6826789
駕駛人決策不當	1.977232	-0.7466028

圖 5.5.2 為 409 輛車的函數 1、函數 2 散佈圖。透由顏色可看出三個組別在兩個函數上的散佈型態，綠點代表駕駛人決策無誤，黃點代表駕駛人陷入猶豫區間，紅點代表駕駛決策不當。

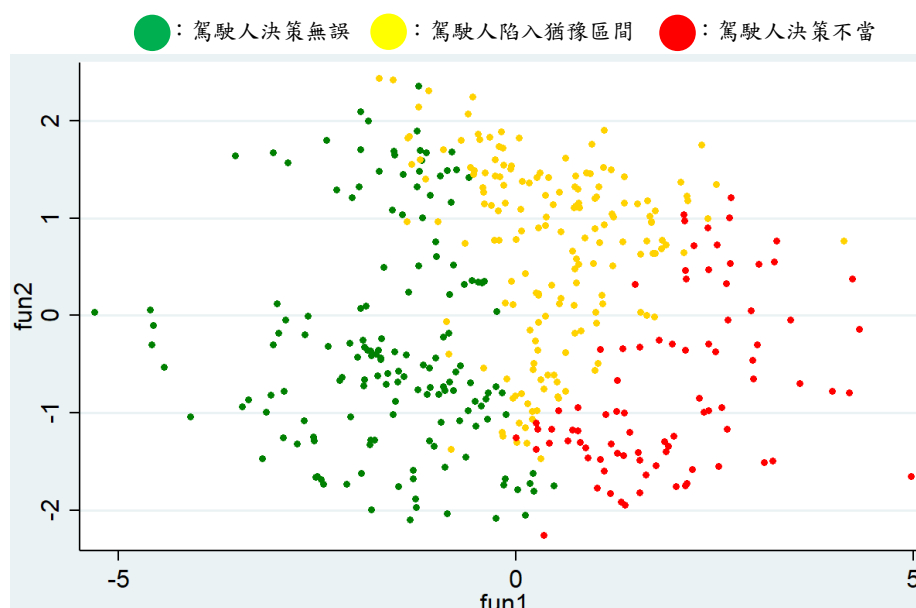


圖 5.5.2 組別散佈圖

以函數 1 (X 軸) 檢視三個組別的散佈型態，「駕駛人決策無誤」的函數 1 值相對較小，「駕駛人陷入猶豫區間」的函數 1 值集中在 0 附近，「駕駛人決策不當」的函數 1 值相對較大，表示函數 1 越大，駕駛人決策不當的可能性越高；函數 1 越小，駕駛人決策無誤的可能性越高。綜合各項影響函數 1 變數的係數（表 5.5.4），各係數正負值皆符合常理，黃燈始亮與停止線距離越遠，駕駛人決策不當的可能性越高；黃燈始亮時車輛速度越快，駕駛人決策不當的可能性越低，黃

燈時相長度越長，駕駛人決策不當的可能性越低；通過路口寬度越大，駕駛人決策不當的可能性越高；車輛長度越長，駕駛人決策不當的可能性越高。

接著用函數 2 (Y 軸) 檢視三個組別的散佈型態，「駕駛人陷入猶豫區間」散佈在函數 2 值相對較大的位置，且「駕駛人陷入猶豫區間」的正準變數類別平均值高於「駕駛人決策無誤」與「駕駛人決策不當」，而「駕駛人決策無誤」與「駕駛人決策不當」在函數 2 的散佈型態，沒有明顯差異。表示當函數 2 值越大，駕駛人陷入猶豫區間的可能性越大。

綜合各項影響函數 2 變數的係數 (表 5.5.4)，僅「黃燈始亮與停止線距離」較特殊，以猶豫區間公式 (式 2-1、式 2-2) 試算出的猶豫區間，為一個範圍，表示黃燈始亮時，駕駛人在停止線上游某個範圍內容易陷入猶豫區間，並非單純與停止線距離呈正向或負向關係。比較與函數 2 其他變數係數的絕對值後，「黃燈始亮與停止線距離」係數的絕對值為最小，因此對函數 2 的值影響較小。

其他變數的係數正負值符合常理，黃燈始亮車速越快，駕駛人越容易陷入猶豫區間；黃燈時相長度越長，駕駛人陷入猶豫區間的可能性越低；通過路口寬度越大，駕駛人陷入猶豫區間的可能性越高；車輛長度越長，駕駛人陷入猶豫區間的可能性越高。

將本研究假設之感知反應時間 1 s、適當加速度 2.56 m/s^2 、適當減速度 3 m/s^2 代入猶豫區間試算公式 (式 2-1、2-2)，求猶豫區間範圍的最小值，得到當「黃燈始亮車輛速度」變數為 6 m/s (21.6 km/h) 時，猶豫區間的範圍為最小，速度與 6 m/s 差距越大，猶豫區間範圍越大。大多數車輛的車速高於 6 m/s ，因此黃燈始亮車速越快，駕駛人陷入猶豫區間的可能性越高。

利用兩個典型判別函數，考量驗前機率，分類的結果如表 5.5.6，在 409 個觀察車輛中，可以黃燈始亮時車輛狀態、環境因素，正確預測 353 續行車輛的駕駛人決策。實際結果為駕駛人決策無誤共 161 輛車，典型判別分析可正確預測 140 輛，約 87%；實際結果為駕駛人陷入猶豫區間共 163 輛車，典型判別分析可正確預測 144 輛，約 88%；實際結果為駕駛人決策不當共 85 輛，典型判別分析可正確預測 69 輛，約 81%。

本研究欲利用典型判別分析，歸類陷入猶豫區間的車輛，歸類結果的準確度近 90%。受限於判別分析之自變數適用計量型變數，尚有車距、駕駛人狀態等因素無法納入考量，仍有約 10%陷入猶豫區間的車輛歸類不正確。

表 5.5.6 典型判別分析結果

		典型判別分析結果			總計
		駕駛人決策無誤	駕駛人陷入猶豫區間	駕駛人決策不當	
實際結果	駕駛人決策無誤	140 (34.23%)	19 (4.65%)	2 (0.49%)	161 (39.37%)
	駕駛人陷入猶豫區間	16 (3.91%)	144 (35.21%)	3 (0.73%)	163 (39.85%)
	駕駛人決策不當	1 (0.24%)	15 (3.67%)	69 (16.87%)	85 (20.78%)
總計		157 (38.39 %)	178 (43.52%)	74 (18.09%)	409 (100%)

5.5.5 驗證模式

利用 105 筆車輛的驗證資料，驗證 409 筆車輛資料建立的模式結果，成功歸類的車輛有 97 輛，約 92.38%；其中 36 輛駕駛決策無誤的車輛成功歸類 34 輛，約 85.71%；47 輛在實際結果陷入猶豫區間，成功歸類 44 輛陷入猶豫區間的車輛，約 93.62%；22 輛實際結果為決策不當的車輛，成功歸類 19 輛，約 86.36%。（如表 5.6.7）

表 5.5.7 典型判別分析驗證結果

		典型判別分析結果			總計
		駕駛人決策無誤	駕駛人陷入猶豫區間	駕駛人決策不當	
實際結果	駕駛人決策無誤	34 (32.38%)	2 (1.9%)	0 (0%)	36 (34.28%)
	駕駛人陷入猶豫區間	2 (1.9%)	44 (41.9%)	1 (0.95%)	47 (44.76%)
	駕駛人決策不當	0 (0%)	3 (2.86%)	19 (18.1%)	22 (20.96%)
總計		36 (34.29%)	49 (46.66%)	20 (19.05%)	105 (100%)

5.6 小結

統計結果顯示，黃燈期間續行的車輛中，有 86% 的車至少有一不當駕駛行為，以「紅燈始亮時車輛未完全通過路口」的比例最高，接著以散佈圖呈現黃燈始亮時車輛狀態與紅燈始亮時車輛位置的關係，有 18% 的續行車輛有闖紅燈現象，更有 8% 的續行車輛闖紅燈且在黃燈期間超過速限。結合試算煞停的結果，可以發現紅燈始亮時位在停止線上游的續行車輛，74.2% 在試算結果中，可以在黃燈始亮時選擇煞停於停止線上游。

表 5.6.1 整理兩個模式計量型自變數的結果，當各自變數增加 1 單位時，對駕駛人決策不當及駕駛人陷入猶豫區間可能性的影響。探討駕駛人決策不當方面，羅吉斯迴歸模式與典型判別分析的結果大致相同，「黃燈始亮車輛時與停止線距離」越遠、「黃燈始亮時車輛速度」越慢、「黃燈時相長度」越短，或在「沒有左轉專用時相的路口」，駕駛人決策不當的可能性越高。不同之處在於「通過路口寬度」、「車輛長度」二自變數並未在羅吉斯迴歸模式顯著影響駕駛人決策。

在比較各自變數對駕駛人決策不當及駕駛人陷入猶豫區間可能性的影響時，發現當「黃燈始亮車輛時與停止線距離」增加 1 單位，駕駛人決策不當可能性會增加，但駕駛人陷入猶豫區間的可能性則是會減少；「黃燈始亮時車輛速度」增加 1 單位，駕駛人決策不當的可能性會減少，駕駛人陷入猶豫區間的可能性則會增加。「黃燈時相長度」增加 1 單位，駕駛人決策不當及駕駛人陷入猶豫區間可能性皆會減少；「通過路口寬度」增加 1 單位，駕駛人決策不當及駕駛人陷入猶豫區間可能性皆會增加；「車輛長度」增加 1 單位，駕駛人決策不當及駕駛人陷入猶豫區間可能性皆會增加。

表 5.6.1 模式結果彙整表

自變數	羅吉斯迴歸	典型判別分析	
	駕駛人決策不當可能性	駕駛人陷入猶豫區間可能性	
停止線距離	增加	增加	減少
黃燈始亮車速	減少	減少	增加
黃燈時相長度	減少	減少	減少
通過路口寬度	不顯著	增加	增加
車輛長度	不顯著	增加	增加

第陸章、結論與建議

6.1 結論

本研究主要探討的是號誌路口黃燈始亮後，續行決策不當的駕駛行為，共蒐集 12 小時資料、514 部車輛。本研究續行決策不當的定義為：駕駛人無法於黃燈期間完全通過路口，且駕駛人應可在黃燈始亮時選擇煞停於該路口停止線上游。

結果顯示黃燈期間的續行車輛有 35%超速；另有 37%的續行車輛未與前車保持安全距離（2 秒時距）；而有 69%的車輛無法在紅燈始亮時，完全通過路口；更有 18%的續行車輛，有闖紅燈的現象，且同時有闖紅燈並超速行為的車輛，則約佔所有續行車輛的 8%。在黃燈時相長度 3 秒的路口的黃燈期間續行車輛中，有 22.3%的車輛有闖紅燈的現象；在黃燈時相長度為 4 秒的路口的黃燈期間續行車輛中，有 16.7%的車輛有闖紅燈的現象；在黃燈時相長度為 5 秒的路口的黃燈期間續行車輛中，有 1.5%的車輛有闖紅燈的現象，顯然在黃燈時相越短的路口，駕駛人闖紅燈的行為越嚴重。

根據試算結果，黃燈期間續行車輛中，有 20.8%的車輛可以在黃燈始亮時，經由 1 秒的感知反應時間後選擇以 3 m/s^2 的減速度順利煞停於停止線上游。闖紅燈的車輛中，有 74.2%的車輛應可煞停於停止線上游。黃燈時相為 3 秒的路口中，有 65.2%的闖紅燈車輛，應可煞停於停止線上游；黃燈時相為 4 秒及 5 秒的路口中，全數的闖紅燈車輛，都應可煞停於停止線上游。

利用羅吉斯迴歸分析駕駛續行決策是否不當，發現黃燈始亮時車輛與停止線距離、黃燈始亮時車輛速度、路口黃燈時相長度、是否有左轉專用時相等變數，對續行決策有顯著影響。黃燈始亮時車輛與停止線距離越遠、速度越慢，駕駛人越容易出現決策不當，黃燈時相長度越短、沒有左轉專用時相的路口，駕駛人出現決策不當的機會更高。

典型判別分析結果顯示，黃燈始亮時車輛與停止線越遠、速度越慢、車輛長度越長，駕駛人決策不當的可能性越高，黃燈始亮時車輛速度越快、車輛長度越長，黃燈期間續行車輛駕駛人陷入猶豫區間的可能性越高；當路口黃燈時相長度越短、通過路口長度越長，駕駛人決策不當的可能性越高；黃燈時相長度越短、通過路口長度越長，駕駛人陷入猶豫區間的可能性也會越高。

6.2 建議

本研究資料是在路口以雷達及攝影機蒐集車輛資料，黃燈長度越長的路口，資料缺失率越高，因為車輛距離雷達較遠，雷達無法蒐集黃燈始亮時之車輛狀態，因此缺失的資料，通常為黃燈始亮時，距離路口較遠且速度較快的車輛。建議未來在蒐集黃燈長度較長或通過路口較寬的路口資料時，可將雷達再往路口方向靠近，以減少資料缺失的情況。

由於攝影機角度的限制，本研究無法整理各路口全紅時間的長度，建議未來在實地蒐集時，可記錄下全紅時段長度，探討該變數對駕駛人續行決策的關係。

本研究欲將續行車輛之前後車距納入考量，但結果並未顯著。在定義前後車距的關係中，只要行駛於同車道即有前後車關係，推測與混和車流的環境有關。台灣機車比例高且體積較小，這樣的定義方式不一定適用於機車，未來可考慮其他定義前後車距的方式；且本次研究中，並未考量到機車停等區，汽、機車於停止線上游停等位置差異，建議未來研究可納入考量。

根據本研究結果，建議可以在闖紅燈比例高的路口（黃燈時相長度 3 秒的路口），提高執法強度，以減少駕駛人續行決策不當的情況。本研究兩個模式中的黃燈時相長度與駕駛人決策不當有顯著影響，顯示黃燈長度為影響駕駛人決策結果的重要因素，根據目前公路總局網站提供之新版機車筆試題庫與汽車筆試題庫，內容並未包含號誌路口黃燈時相長度的相關試題，建議納入考題，讓駕駛人熟悉速限與黃燈時相長度的關聯性，以減少駕駛人於黃燈期間出現決策不當的情況而增加事故風險，盡可能降低事故發生的機率，及降低事故的嚴重度。

文獻目錄

1. Amer, A., Rakha, H., & El-Shawarby, I. (2011). Agent-Based Behavioral Modeling Framework of Driver Behavior at the Onset of Yellow Indication at Signalized Intersections. 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Washington, DC: IEEE.
2. Bokare, P. S., & Maurya, A. K. (2017). Acceleration-deceleration behaviour of various vehicle types. *Transportation research procedia*, 25, 4733-4749.
3. Caird, J. K., Chisholm, S. L., Edwards, C. J., & Creaser, J. I. (2007). The effect of yellow light onset time on older and younger drivers' perception response time (PRT) and intersection behavior. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 10(5), 383-396.
4. Chang, M. S., Messer, C. J., & Santiago, A. J. (1985). Timing traffic signal change intervals based on driver behavior. *Transportation Research Record*, 1027, 20-30.
5. Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., & Nashar, D. (2010, 1). Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), pp. 101-111.
6. El-Shawarby, I., Rakha, H., Inman, V., & Davis, G. (2006). Effect of Yellow-Phase Trigger on Driver Behavior at High-Speed Signalized Intersections. 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference. Toronto, Ont., Canada: IEEE.
7. ETSC (European Transport Safety Council). 1995. Reducing Traffic Injuries Resulting From Excess and Inappropriate Speed. Brussels: ETSC.
8. Gates, T. J., Noyce, D. A., Laracuente, L., & Nordheim, E. V. (2007). Analysis of dilemma zone driver behavior at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2030, 29-39.
9. Gates, T. J., & Noyce, D. A. (2010, 1 1). Dilemma Zone Driver Behavior as a Function of Vehicle Type, Time of Day, and Platooning. *Research Article*, 2149(1), pp. 84-93.
10. Gates, T. J., McGee Sr, H., Moriarty, K., & Maria, H. U. (2012). Comprehensive evaluation of driver behavior to establish parameters for timing of yellow change and red clearance intervals. *Transportation research record*, 2298(1), 9-21.
11. Gazis, D., Herman, R., & Maradudin, A. (1960). The problem of the amber signal light in traffic flow. *Operations Research*, 8(1), pp. 112-132.
12. Hooper, K. G., & McGee, H. W. (1983). Driver perception-reaction time: Are revisions to current specification values in order? (No. HS-036 165).

13. Koonce, P., & Rodegerdts, L. (2008). Traffic signal timing manual (No. FHWA-HOP-08-024). United States. Federal Highway Administration.
14. Lertworawanich, P. (2006, August). Safe-following distances based on the car-following model. In PIARC International seminar on Intelligent Transport System (ITS) in Road Network Operations.
15. Li, X., Oviedo-Trespalacios, O., & Rakotonirainy, A. (2020). Drivers' gap acceptance behaviours at intersections: A driving simulator study to understand the impact of mobile phone visual-manual interactions. *Accident Analysis & Prevention*, 138, 105486.
16. Neuman, T. R. (1989). New approach to design for stopping sight distance. *Transportation Research Record*, 1208, 14-22.
17. Papaioannou, P. (2007, 1). Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece. *Accident Analysis & Prevention*(1), pp. 147-158.
18. Parsonson, P. S., Roseveare, R. W., & Thomas Jr, J. R. (1974). Small-area detection at intersection approaches. *Traffic engineering*, 44(Tech Rept).
19. Pathivada, B. K., & Perumal, V. (2017). Modeling Driver Behavior in Dilemma Zone under Mixed Traffic Conditions. *Transportation Research Procedia*, 27, pp. 961-968.
20. Rakha, H., Amer, A., & El-Shawarby, I. (2008, 1 1). Modeling Driver Behavior within a Signalized Intersection Approach Decision–Dilemma Zone. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2069(1), pp. 16-25.
21. Rakha, H., El-Shawarby, I., & Setti, J. R. (2007, 12 6). Characterizing Driver Behavior on Signalized Intersection Approaches at the Onset of a Yellow-Phase Trigger. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(4), pp. 630-640.
22. Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1996). Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3), 391-401.
23. Taoka, G. T. (1989). Brake reaction times of unalerted drivers. *ITE journal*, 59(3), 19-21.
24. Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., ... & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Volume II : Special Analyses. Indiana University, Bloomington, Institute for Research in Public Safety.

25. Urbanik Tom & Koonce Peter. (2007). The dilemma with dilemma zones. ITE District 6th Annual Meeting. Portland.
26. Wortman, R. H., & Matthias, J. S. (1983). An evaluation of driver behavior at signalized intersections. Phoenix, Arizona: Arizona Department of Transportation.
27. Zhang, Y., Fu, C., & Hu, L. (2014, 10). Yellow light dilemma zone researches: a review. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 1(5), pp. 338-352.
28. 吳昆峯、吳宗修、吳舜丞、張新立、朱純孝、李明聰、邱裕鈞 (2018)，107年道路交通安全觀測指標，國立交通大學交通運輸研究中心。
29. 陳俞文 (2019)，駕駛人猶豫區間車速反應行為分析，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
30. 陳順宇 (2005)，多變量分析，台北市：華泰書局。