

市區混合車流中道路障礙物屬性對機車駕駛 避障行為之影響

The Influence of Road Obstacle Attributes on Motorcyclists' Obstacle-Avoidance Behavior in Urban Mixed Traffic

洪百賢 Pai-Hsien Hung¹

柯朝元 Chao-Yuan Ko²

沈靖原 Jing-Yuan Shen³

摘要

臺灣的機車數量在整體交通環境中有相當高的比例，也是民眾外出的主要運距之一。而機車的物理特性是體積小、加減速度大，且方向偏移容易，在汽機車混流的情況下，其駕駛行為屬於高度多樣性。也因為機車的移動敏捷性，導致民眾容易有高風險的駕駛行為，導致事故頻發。在機車駕駛行為中，遇到前方障礙而產生的反應是重要的關鍵行為之一。在市區道路中，當車流密度較高時，機車往往可利用體積小的特性較小客車與大型車更容易往前移動，而在移動過程中，當前方有障礙出現時，會在短時間內做出不同反應。一般常見的反應包含減速或偏移，或是兩者兼行。而市區混合車流中，這些避障行為是造成路段衝突的重要來源之一。若能分析駕駛在面對障礙物的反應偏好，可據此提出適當的教育或宣導對策，以降低這類型的交通事故數量。近年來，藉由無人空拍機影像還原車輛微觀軌跡的分析方法漸受重視，應用於探討車流行為的研究持續增加。本研究以無人空拍機蒐集市區路段之混合車流影像，追蹤機車軌跡並將其面對前方障礙物之反應區分為減速、偏移與複合式三類，再以羅吉斯迴歸分析不同障礙物屬性及其情境因素之相對影響。研究結果顯示：障礙物種類與運動狀態為左右機車反應型態之最主要屬性，側前方障礙物會顯著提高偏移傾向。據此，本研究提出路側障礙與臨停車輛管理、巷口視距改善等建議，以降低市區混合車流中機車避障過程的交通衝突風險。

關鍵詞：機車駕駛、障礙物閃避、市區混合車流

一、緒論

機車是臺灣市區道路市占比較高的交通工具，同時也有較高的傷亡人數，依交通部道路交通事故統計，民國 110 至 114 年間普通重型機車死亡人數占全體交通事故死亡人數約六成（介於 60%至 63%），顯示機車駕駛仍承受較高風險。由

¹逢甲大學運輸與物流學系助理教授，臺中市西屯區文華路 100 號，04-24517250 分機 4663，phhung@fcu.edu.tw。

²逢甲大學運輸與物流學系學生。

³逢甲大學運輸與物流學系學生。

於機車防護性較低、行駛位置彈性較大，又經常與汽車、公車、臨停車輛、施工設施及其他二輪車輛混行，當駕駛在遇到突發道路狀況時，必須在短時間內判斷採取適當避讓動作。

過去有關駕駛行為與交通安全之研究，多著重於汽車駕駛行為、事故統計分析或事故發生後之肇因整理，較少從事故發生前的操作過程，觀察機車駕駛面對障礙物時會如何反應。然而，市區道路常見的臨時施工、違規停車、公車停靠、車輛變換車道或慢速車輛占用車道等情境，都可能影響機車原本的行駛路徑與速度；這些障礙物未必會直接造成碰撞，但可能迫使後方駕駛減速、偏移，或同時採取兩者，進而增加潛在交通衝突。

朱建全（1999）曾以兩階段反應架構描述機車駕駛之避障行為，惟受限於當時之資料蒐集條件，有效樣本較少，變數則主要包含碰撞時間（Time-to-Collision, TTC）與所需偏移最小寬度兩項，較難完整呈現市區混合車流中障礙物屬性之多樣性。近年來，藉由無人空拍機影像還原車輛微觀軌跡之分析方法漸受重視，但較少用以釐清究竟「障礙物的何種屬性」最能左右機車的避障反應。

因此，本研究嘗試以無人空拍機蒐集市區路段之混合車流影像，將障礙物定義為「位於機車正常行駛路徑或其前方行進空間中，具有阻擋、減速、占用車道、改變車流路徑或干擾視線等特性，足以對後方機車駕駛產生行駛阻礙，並迫使其明顯改變縱向或橫向行為之物體或道路事件」，追蹤機車軌跡並將其面對前方障礙物之反應區分為減速、偏移與複合三類，再以羅吉斯迴歸分析各障礙物屬性及其情境因素之相對影響。研究重點並非單純判斷障礙物是否違規，而是分析其種類、運動狀態、相對位置、反應距離與 TTC 等屬性，是否會影響機車駕駛之避障決策。研究目的如下：

- 一、探討交通衝突急迫性（TTC、初始反應距離與機車速度）對機車反應型態之影響，並檢驗當衝突越急迫時，機車駕駛是否更傾向先採取減速反應。
- 二、檢驗障礙物相對位置是否會改變機車採取偏移之機率，以辨識誘發橫向避障決策之關鍵因素。
- 三、評估障礙物種類（其體積、遮蔽程度與占用空間之代表）對機車反應策略之影響。
- 四、建立各障礙物屬性對機車反應行為之相對重要性排序，回應不同障礙物屬性之影響程度是否有所差異。

二、文獻回顧

2.1 混合車流中之機車避障反應

臺灣都市交通具有高密度汽機車混合車流特性。黃家耀等人（2015）利用無人機觀測指出，機車在車道內之橫向位置呈「三角形分佈」，與小汽車集中於車道中央之特性不同。王鴻傑（2013）以影像分析將機車駕駛分為激進、一般與保守三型；李易如（2013）則指出駕駛行為具情境依賴性，單一模式不易完整解釋所有道路情境。

面對道路障礙物或突發衝突時，朱建全（1999）指出約 90%的機車駕駛採「先減速再偏移」模式，即先以減速降低時間壓力，再以偏移進行空間閃避。Nugent et al.（2019）以機車模擬器驗證：TTC 僅 1 秒時閃避成功率約 6%，增至

1.5 秒時提高至 45%，呼應 TTC 門檻概念，本研究亦據以 TTC 1.5 秒作為衝突急迫與否之參考。針對特定障礙物類型，羅峻庭（2015）發現公車進出站會明顯改變機車動線；Bella et al.（2024）則將機車超車歷程分為三階段，提供觀察微觀操作之參考。

2.2 障礙物屬性與駕駛反應

Dutta and Vasudevan（2021）指出，靜態障礙物之位置與尺寸會影響駕駛人之減速與側向距離保持；大型車可能帶來更明顯之視覺壓迫感並縮減側向安全緩衝。Kolekar et al.（2020）以駕駛模擬器建立「駕駛人風險場」，指出風險場在縱向呈高斯遞減、橫向呈冪律遞減，即使障礙物已超出車寬範圍，駕駛人仍可能產生明顯轉向反應。Happee et al.（2017）則以「介入時間」描述危險出現至有效控制所需之時間，並指出最小 TTC 與最小障礙物淨距可作為閃避情境之安全評估依據。上述研究顯示，閃避行為除受到 TTC 影響，更受到障礙物位置、尺寸與可通行空間共同作用。

在相對位置之判別上，本研究參考美國聯邦公路總署（FHWA）替代性安全評估模式（SSAM）之規範（Pu and Joshi, 2008），以車輛軌跡交角 30 度以內為追撞衝突、30 至 85 度為側向衝突、大於 85 度為交叉衝突。Jannah et al.（2026）提出二維交通衝突量測（2D-TTC）亦指出其較傳統 TTC 更能同時描述縱橫向衝突。偏移行為之量化門檻則參考鍾易詩等人（2024）之軌跡偏移判定原則，以軌跡夾角 8 度作為實質橫向避讓之主要判準；因該門檻多建立於車速 30 km/h 以上情境，本研究依市區中低速情境調整速度與時間窗條件。

2.3 多項羅吉斯模式（MNL）之應用

多項羅吉斯模式（MNL）常用於分析汽機車面對前方障礙或慢速車時之路徑選擇。羅峻庭（2015）與李健豪（2012）指出，MNL 可將駕駛人之決策劃分為「跟車」、「向左偏移／錯車」與「向右偏移／錯車」等互斥方案，並量化相對速度、相對距離及障礙物類型對各方案效用之影響。當依變數為二元結果時，二元羅吉斯迴歸則可透過勝算比呈現各因素之相對影響；許閔淳（2021）以「是否發生碰撞」為依變數建立模型，AUC 達 0.798、整體預測正確率 75.4%，顯示該方法能同時處理連續變數與類別變數並易於解讀。Bella et al.（2024）結合觀測影像、存活分析與羅吉斯迴歸分析機車超車決策，Liu et al.（2021）則以實測軌跡資料計算替代性安全指標並建立迴歸模型，二者均呈現「軌跡資料→衝突指標→迴歸分析」之完整流程，與本研究架構相近。白梓吟（2022）另以階層式迴歸指出，道路幾何條件可能強化或抑制危險駕駛行為形成事故之過程，提醒本研究應留意道路環境之調節作用。

綜合而言，既有研究多偏重汽車駕駛行為，或僅針對單一障礙物類型進行討論，較少系統性分析混合車流環境下多類型障礙物如何影響機車閃避策略；部分研究並以模擬或實驗環境為主，較少使用實地影像觀測取得自然駕駛資料，結果未必能完整反映實際市區道路情境。本研究即針對此一缺口，以空拍影像取得實證資料並結合羅吉斯迴歸，釐清障礙物屬性如何影響機車駕駛之減速、偏移與複合反應。

三、研究方法

3.1 研究資料蒐集與樣本篩選

本研究初期原以市區人行天橋作為觀測場域，惟天橋影像多屬斜向俯視，距離量測不一致，故僅作為初期駕駛行為判斷，於初步辨識常見障礙物類型與反應型態。後續資料蒐集採無人空拍機於路段上方拍攝，取得接近垂直俯視之影像，以利判讀行駛軌跡與障礙物空間關係，並降低斜向視角之距離估計誤差。

觀測地點係參考交通事故熱點挑選候選路段，再實地檢視車流量、機車通行量、障礙物出現頻率與影像遮蔽程度。篩選原則包含以下四項：車流量須足以取得機車樣本、但不得高至壅塞停滯而難以辨識避障反應；道路周邊需具巷口、路側停車等可能產生障礙物之活動空間；觀測路段上方應避免行道樹、招牌或大型建物遮蔽。經篩選後選定臺中市5個路段與彰化縣2個路段，共7個路段（表1）。

表 1 觀測地點一覽表

地區	觀測路段
臺中市	中清漢口路口、三民路康樂街口、福星西安街口、福星逢甲路口、麥當勞中港二店前
彰化縣	員鹿路三段（彰水路至平等街路段）、彰化市中山路一段延平路口

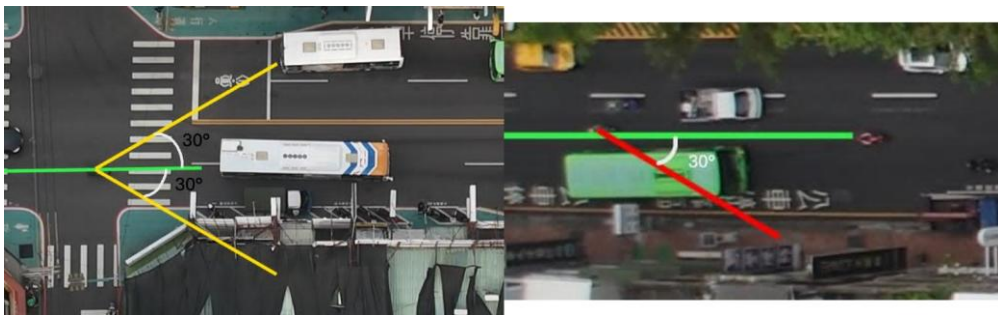
本研究以單一「機車—障礙物互動」作為基本分析單位。當機車於觀測範圍內接近前方障礙物，且其行駛狀態受到該障礙物直接影響，進而出現減速、偏移或複合反應時，即記錄為一筆有效樣本；若同一畫面中存在多個可能障礙物，則以最先引發機車行為改變、且與機車行駛路徑最直接相關之障礙物作為主要對象。為確保資料品質，本研究排除下列樣本：（一）車輛或障礙物受到行道樹、建物、招牌或大型車遮蔽，無法判讀其軌跡者；（二）機車反應主要受到號誌停等、車流壅塞或上游衝擊波影響，而非單一障礙物直接引發者；（三）障礙物位置、車輛相對距離或反應起始點無法明確判定者；（四）影像晃動、解析度不足或拍攝角度不利於距離換算者。

3.2 障礙物屬性與機車反應之操作型定義

障礙物屬性依觀測與資料整理需求分為地點、影片顯示時間、障礙物種類、障礙物運動狀態、初始反應距離、障礙物相對位置、TTC 與反應時間餘裕等欄位，其中主要分析變數之定義如下。

1. 障礙物種類：指迫使機車駕駛改變行駛狀態之對象，依體積與外型分為四類。大型車（市區公車、遊覽車、大貨車等）車體龐大，嚴重遮蔽視線並佔據大量車道空間；小型車（自用小客車、計程車、小貨車）為市區最常見之障礙物來源；二輪車輛（機車、微型電動二輪車、自行車）體積小、遮蔽低，但動態靈活且軌跡較不穩定；道路施工則包含施工區域、圍籬、交通錐或臨時鋪設之鐵板等。

2. 障礙物運動狀態：指反應當下障礙物主體之移動情形。「移動中」指具實質行駛速度與位移軌跡者，包含行進、變換車道、轉彎或減速靠站尚未完全停止之車輛；「靜止」則指觀測期間完全停止、未產生位移者。
3. 初始反應距離：指機車駕駛產生首次避障反應當下，機車車頭與障礙物最近端點間之直線距離（公尺）。距離越小，代表駕駛承受之空間壓力越高。
4. 障礙物相對位置：指反應當下障礙物主體相對於駕駛行駛軌跡線之空間方位。依前述 SSAM 規範，以障礙物與機車行進軌跡線之交角 30 度作為臨界值，區分為前方障礙（軌跡交角小於 30 度）、左前方障礙與右前方障礙（位於駕駛左／右側前方且軌跡交角大於 30 度），如圖 1 所示。
5. TTC：指機車駕駛產生首次避障反應之瞬間，若機車與障礙物皆維持當下之運動狀態，兩者發生實質碰撞所剩餘之時間。該數值直接反映交通衝突之急迫性：TTC 越小，代表駕駛所承受之衝突急迫性越高。

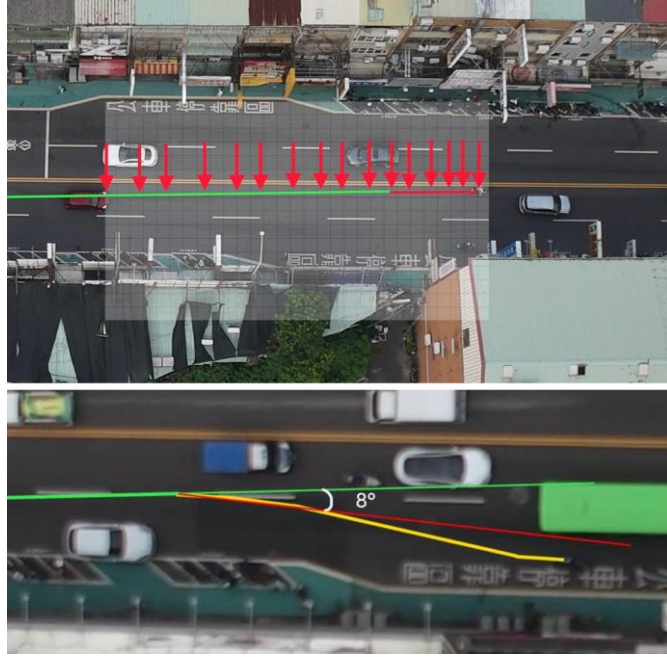


註：綠線為機車之行駛軌跡。左圖黃線為機車路徑左右 30 度夾角，因公車位於 30 度範圍以內，故計為前方障礙；右圖紅線為機車路徑右方 30 度夾角，因公車位於右方 30 度範圍以外，故計為右前方障礙。

圖 1 障礙物相對位置判定示意圖

機車駕駛反應係指駕駛面對前方障礙物時，因避讓、維持安全距離或降低衝突風險而產生之可觀測行為變化。由於影像資料無法直接觀察駕駛之內在心理狀態，本研究僅以外顯且可量測之車輛行為作為判斷依據，歸納為下列三類（圖 2）。

1. 減速行為：駕駛為增加安全空間或降低衝突風險所採取之縱向速度變化。本研究於影像中建立道路比例尺與時間序列標記（0.1 秒為間隔），觀察機車於時間標記間隔中前進距離是否出現明顯縮短，且後續軌跡持續呈現較小移動間距；若符合此條件，則判定為減速行為。若可清楚觀察煞車燈亮起，亦可作為輔助判讀依據，但不以煞車燈作為唯一標準，以避免因影像解析度或車種差異造成誤判。
2. 偏移行為：駕駛為閃避障礙物而產生之橫向軌跡變化。判斷時先依障礙物出現前之行駛方向建立原行駛軌跡基準線，再繪製反應後之避障軌跡，並量測兩條軌跡所形成之夾角。若軌跡夾角大於 8 度，且該變化可合理判定為因前方障礙物引發，而非一般車道微調、道路彎曲或車流自然擺動，則定義為偏移行為。
3. 複合行為：同一筆機車—障礙物互動樣本中，駕駛同時符合減速行為與偏移行為之判定標準。此類反應代表駕駛在縱向與橫向兩個層面同時進行風險控制，例如先降低速度以爭取反應時間，再透過偏移避開障礙物。



註：上圖為減速行為，綠線為產生反應之前之行駛軌跡，紅線為減速之後之軌跡，上方紅色箭頭為機車每 0.1 秒記錄之位置；下圖為偏移行為，綠線為產生反應之前之行駛軌跡，黃線為偏移之後之軌跡。

圖 2 機車反應行為判定示意圖

3.3 影像資料量化處理

資料處理流程包含環境標定、軌跡追蹤、反應起點判定、距離與 TTC 計算及數據編碼。首先利用影像中已知標線長度（如車道線）建立實體比例尺；其次以機車完整進入畫面之瞬間開始繪製行車軌跡，於產生反應時變更軌跡線顏色並持續記錄至動向不再受障礙物影響，藉此精確標定反應起始點。於反應瞬間繪製機車與障礙物最近端點之直線，以比例尺換算初始反應距離，並量測該直線與行駛軌跡延伸線之夾角，判定障礙物之相對方位。

速度與TTC之計算則於影像中建立二維座標系，觀察機車與障礙物在 X 軸方向每秒之座標位移變化，分別得出機車速率 V_{mt} 與障礙物速率 V_{obs} 。上述位移取樣取自反應起點往前回推之穩定行駛路段，以確保所記錄速度反映駕駛反應前之運動狀態，避免減速行為影響速度與TTC之估計。相對接近速度為 $V_{rel} = V_{mt} - V_{obs}$ ，碰撞時間則依反應瞬間之初始車距 D 計算如下：

$$TTC = \frac{D}{V_{rel}} \quad (1)$$

為提升判讀客觀性，本研究之機車反應分類（減速、偏移或複合）與反應起點時間點，均由兩位以上研究人員依前述操作型定義獨立完成交叉編碼。其中減速行為以煞車燈與位移間距變化交互驗證，偏移行為以軌跡夾角量測為準，以降低主觀判斷對分類結果之影響。

3.4 統計分析設定

本研究以「機車駕駛面對前方障礙物產生駕駛反應」為分析對象，未納入未產生反應之情況。由於依變數（機車反應、是否偏移）均為類別變數，本研究以

羅吉斯迴歸為主要分析方法：多項模型參考組設為「減速」，障礙物種類參考組為二輪車、相對位置為前方、地區為臺中。多項與二元羅吉斯迴歸一般式如式(2)、式(3)，其中 Y_i 為第 i 筆之機車反應、 p_i 為採取偏移之機率、 x_{ij} 為自變數、 α_k 與 β_{jk} 為待校估參數。

$$\log \left[\frac{P(Y_i=k)}{P(Y_i=\text{減速})} \right] = \alpha_k + \sum_j \beta_{jk} x_{ij}, k \in \{\text{偏移, 複合}\} \quad (2)$$

$$\text{logit}(p_i) = \log \left[\frac{p_i}{1-p_i} \right] = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_{ij} \quad (3)$$

各研究假設之分析方法如下。假設一（TTC 越短、初始反應距離越近，越傾向採取減速行為）以多項羅吉斯迴歸檢定，自變數為 TTC、初始反應距離與機車速度。假設二（障礙物相對位置會影響機車是否採取偏移反應）將機車反應重新編碼為二元變數「是否偏移」（偏移、複合=1；減速=0），採二元羅吉斯迴歸，在控制其他變數後檢驗相對位置之作用。假設三（占用空間較大之障礙物較易使機車採取偏移或複合反應）採多項羅吉斯迴歸，將障礙物種類視為其體積、占用空間與遮蔽程度之代理變數。假設四（各障礙物屬性之相對重要性）則以逐一移除變數群之概似比檢定（ ΔLR ，數值越大代表該變數群對模型貢獻越大）、平均邊際效果（AME）與預測機率差三者並陳建立排序。連續自變數並以變異數膨脹因子（VIF）檢視共線性。

此外，本研究依實際樣本特性對分析設計作以下調整：第一，原始相對位置之左前方與右前方有效樣本各僅 10 與 11 筆，且右前方幾近全數採取偏移，易使迴歸產生完全分離，故合併為「側前方」並以前方為參考組；第二，因 TTC 與初始反應距離、機車速度於物理上彼此聯動而存在結構性共線，假設一改以對比方式呈現（模式 A 僅含 TTC、模式 B 為全變數），假設二與假設三則移除反應距離與機車速度，並納入運動狀態作為控制變數；第三，「反應時間餘裕」與「觀察行為」二項衍生指標僅用於樣本情境描述，未投入迴歸模型，時間面向統一以連續型 TTC 納入分析。上述處理之目的，在於 218 筆樣本之限制下取得較可信之估計。

四、研究結果與討論

4.1 樣本概況與敘述統計

本研究有效樣本共 218 筆（臺中市 153 筆、彰化縣 65 筆），均為機車駕駛面對前方障礙物且確實產生駕駛反應之事件。就駕駛行為而言，採偏移者 117 筆（53.7%）最多，其次為減速 59 筆（27.1%）與複合行為 42 筆（19.3%）；若以是否出現橫向偏移區分，有偏移者 159 筆、無偏移者 59 筆。各障礙物屬性、地區與機車反應之交叉分布如表 2 所示。

相對位置方面，前方障礙物共 197 筆（有偏移 140、無偏移 57），側前方共 21 筆（有偏移 19、無偏移 2）。側前方之「無偏移」僅 2 筆屬小樣本，Fisher 精確檢定顯示其與偏移之關聯為邊際顯著（Fisher 雙尾 $p=0.070$ 、卡方 $p=0.057$ ），顯著效果係於假設二之多變量模型中方告確立。運動狀態方面，靜止障礙物之偏移比例明顯較高（59/81）；兩地反應組成亦略有差異（臺中以偏移為主、彰化複合比例偏高），於後續模型中以控制變數呈現。

表 2 障礙物屬性、地區與機車反應交叉表（單位：筆）

變數／類別	減速	偏移	減速＋偏移	合計
障礙物種類：二輪車	26	15	5	46
障礙物種類：大型車	13	42	10	65
障礙物種類：小型車	20	60	27	107
運動狀態：移動中	50	58	29	137
運動狀態：靜止	9	59	13	81
地區：臺中市	47	85	21	153
地區：彰化縣	12	32	21	65
合計	59	117	42	218

註：障礙物種類於 3.2 節定義為大型車、小型車、二輪車與道路施工四類，惟「道路施工」於正式空拍觀測期間未取得有效樣本，故本表及後續迴歸僅含二輪車、大型車、小型車三類。

連續變數方面，TTC 平均 1.99 秒（標準差 1.07，範圍 0.32 至 6.00 秒）、初始反應距離平均 13.49 公尺（標準差 7.59，範圍 1.66 至 37.01 公尺）、機車速度平均 26.32 km/h（標準差 10.18，範圍 4.30 至 65.25 km/h），整體屬市區中低速、衝突偏急迫之情境。將 TTC 分為低、中、高三組後，純減速比例呈遞減趨勢：低 41.9%、中 25.0%、高 13.9%（圖 3），亦即衝突越急迫，駕駛採取單純減速之比例越高。

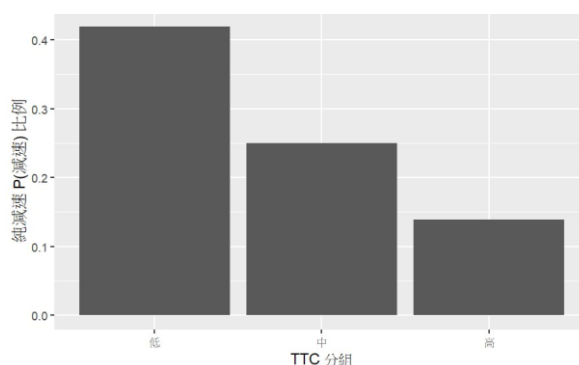


圖 3 各 TTC 三分組之純減速比例

4.2 各研究假設檢定結果

4.2.1 假設一：TTC 越短、距離越近，越傾向「減速為主」

如圖 3，低 TTC 組之純減速比例最高，並隨 TTC 增加而下降，敘述統計支持假設一。進一步以多項羅吉斯迴歸（依變數三類、參考組＝減速，自變數為 TTC、反應距離與機車速度）檢定，校估結果見表 3。

於核心模型（模式 A）中，TTC 對「偏移」與「減速＋偏移」之係數均為正且達顯著，意即 TTC 越長越傾向偏移或複合、越短越偏向純減速，與假設方向一致。以平均邊際效果而言，TTC 每縮短 1 秒，純減速機率約上升 3.1 個百分點（詳見表 7）。至於全變數模式 B 中 TTC 未達顯著，係其與反應距離、機車速度之結構性共線所致（三者 VIF 分別為 4.48、4.93 與 3.06，屬中度共線，使各自之標準誤放大、個別效果不易分辨），而非 TTC 不具作用。綜上，假設一之方向獲得支持。

表 3 假設一 多項羅吉斯迴歸模式校估結果

自變數與統計量	模式 A：核心模型	模式 A p	模式 B：全變數	模式 B p
依變數類別：偏移				
截距	-0.252 (0.349)	0.471	-1.197 (0.863)	0.165
TTC	+0.485 (0.180)	0.007**	+0.090 (0.406)	0.824
反應距離	—	—	+0.083 (0.062)	0.185
機車速度	—	—	+0.021 (0.031)	0.490
地區：彰化	+0.227 (0.394)	0.565	+0.512 (0.412)	0.214
依變數類別：減速+偏移（複合）				
截距	-1.983 (0.494)	<0.001***	-2.430 (1.050)	0.021*
TTC	+0.640 (0.219)	0.003**	+0.518 (0.448)	0.248
反應距離	—	—	+0.020 (0.072)	0.781
機車速度	—	—	+0.017 (0.038)	0.654
地區：彰化	+1.187 (0.458)	0.010**	+1.271 (0.474)	0.007**
ρ^2 （對 L(0)）	0.131		0.157	
樣本數 N	218		218	

註：括號內為標準誤。模式 A=TTC+地區（控制變數）；模式 B=TTC+反應距離+機車速度+地區。兩模式依變數皆為三類反應、參考組=減速。移除與 TTC 共線之反應距離後，TTC 於模式 A 轉為顯著，顯示假設一於全變數模式之不顯著係連續變數共線所致。* $p<0.05$ 、** $p<0.01$ 、*** $p<0.001$ 。

4.2.2 假設二：相對位置會影響機車是否偏移

假設二將依變數改為二元之「是否偏移」，控制 TTC、運動狀態、障礙物種類與地區後檢視相對位置之作用，校估結果見表 4。

表 4 假設二 模式校估結果（二元羅吉斯迴歸，依變數=是否偏移）

變數（參考組）	參數值 β	標準誤	z 值	p 值	勝算比 OR
截距	-1.328	0.460	-2.89	0.004**	—
相對位置：側前方（前方）	+1.706	0.870	1.96	0.050*	5.51
運動狀態：靜止（移動中）	+1.192	0.436	2.73	0.006**	3.29
TTC	+0.207	0.197	1.05	0.293	1.23
障礙物種類：大型車（二輪車）	+1.912	0.516	3.70	<0.001***	6.76
障礙物種類：小型車（二輪車）	+1.610	0.439	3.67	<0.001***	5.00
地區：彰化（臺中）	+0.823	0.463	1.78	0.076†	2.28

註：依變數=是否偏移（1=有偏移）。本模型剔除高共線之反應距離與機車速度，並納入運動狀態作為控制變數； $\rho^2=0.186$ ， $N=218$ 。† $p<0.10$ 、* $p<0.05$ 、** $p<0.01$ 、*** $p<0.001$ 。

相較於正前方，位於側前方之障礙物使偏移之勝算提升至約 5.51 倍（ $\beta=+1.706$ ，OR=5.51，95% CI 1.19–41.19， $p=0.050$ ）；控制變數中大型車（OR=6.76）、小型車（OR=5.00）顯著，靜止障礙物（OR=3.29， $p=0.006$ ）亦顯著提高偏移傾向，彰化（OR=2.28）為邊際顯著。就穩健性而言，以 Firth 懲罰概似迴歸校正側前方小樣本分離後，側前方 OR=4.44（剖面懲罰概似 95% CI 1.06–26.97，下界大於 1，PLR $p=0.024$ ），方向一致且達統計顯著，佐證側前方效果之穩健性。因此，相對位置確實會左右駕駛是否偏移，假設二在本研究中獲得支持。

4.2.3 假設三：障礙物種類會影響機車反應

假設三回到三類駕駛反應之多項模型，以二輪車為種類參考組並控制其餘變數，校估結果見表 5。

表 5 假設三 模式校估結果（多項羅吉斯迴歸）

變數群與類別	參數值 β	p 值	勝算比 OR
依變數類別：偏移			
障礙物種類：大型車	+1.921	<0.001***	6.83
障礙物種類：小型車	+1.446	0.002**	4.25
運動狀態：靜止	+1.502	<0.001***	4.49
TTC	+0.114	0.582	1.12
相對位置：側前方	+1.649	0.062	5.20
地區：彰化	+0.514	0.291	1.67
截距	-1.408	0.003**	—
依變數類別：減速+偏移（複合）			
障礙物種類：大型車	+1.860	0.013*	6.42
障礙物種類：小型車	+2.078	0.001**	7.99
運動狀態：靜止	+0.185	0.741	1.20
TTC	+0.446	0.061	1.56
相對位置：側前方	+1.826	0.061	6.21
地區：彰化	+1.472	0.008**	4.36
截距	-3.353	<0.001***	—

註：依變數三類、參考組＝減速；種類參考組＝二輪車、位置參考組＝前方、地區與運動狀態參考組分別為臺中、移動中。本模型剔除反應距離與機車速度、納入運動狀態； $\rho^2=0.224$ ， $N=218$ 。
* $p<0.05$ 、** $p<0.01$ 、*** $p<0.001$ 。

相較於二輪車，大型車使機車採「偏移」之勝算約 6.83 倍（ $p<0.001$ ）、採複合行為約 6.42 倍（ $p=0.013$ ）；小型車採「偏移」4.25 倍（ $p=0.002$ ）、採「複合」7.99 倍（ $p=0.001$ ），均達顯著。以預測機率則更直觀：障礙物由二輪車改為大型車時，純減速機率平均下降 34.8 個百分點、偏移上升 28.2 個百分點、複合上升 6.6 個百分點（詳見表 7）。值得注意的是，大型車與小型車之效果相近，並未呈現「體積越大、效果越強」之尺寸梯度。據此，假設三為部分成立：障礙物種類確實顯著影響機車反應，但其作用機制較接近四輪車輛對行進路徑之占用與阻擋——相對於可鑽行、共用車道之二輪車，四輪車輛不分大小皆會占用並阻擋行進路徑——而非單純由尺寸大小決定。

4.2.4 假設四：各障礙物屬性對機車反應之相對重要性

假設四關注各屬性於完整模型中之相對重要性。作法為逐一移除某變數群、檢視概似比之變化（ ΔLR 越大代表貢獻越大），並輔以全模型之平均邊際效果，結果見表 6 與表 7。

表 6 各變數群之概似比檢定 (ΔLR)

變數	ΔLR	自由度	p 值	排序
(甲) 障礙物屬性				
障礙物種類	21.51	4	<0.001***	排序 1
運動狀態	18.51	2	<0.001***	排序 2
相對位置	4.86	2	0.088	排序 3
TTC	4.29	2	0.117	排序 4
(乙) 情境變數				
地區	8.24	2	0.016*	—

註： $\Delta LR = -2 \times (\text{移除後} - \text{完整模型對數概似})$ ，以卡方檢定；完整模型同時納入上列全部變數， $\rho^2 = 0.224$ 。地區為道路環境之情境變數，雖具顯著貢獻惟非障礙物屬性，故不納入屬性排序。

* $p < 0.05$ 、*** $p < 0.001$ 。

表 7 全模型之平均邊際效果 (預測機率差，單位：%)

變數對比	減速	偏移	複合
障礙物種類：大型車 (vs 二輪車)	-34.8	+28.2	+6.6
障礙物種類：小型車 (vs 二輪車)	-30.5	+15.4	+15.1
相對位置：側前方 (vs 前方)	-19.6	+11.8	+7.8
運動狀態：靜止 (vs 移動中)	-18.3	+31.2	-12.9
地區：彰化 (vs 臺中)	-11.6	-5.7	+17.3
TTC (每增加 1 秒)	-3.1	-1.9	+5.0

註：數值來自完整模型，正值表示該對比使對應反應之機率上升。

重要性排序如表 6 所示，本研究將變數區分為障礙物屬性與情境變數分別檢視。就障礙物屬性而言，以障礙物種類最為重要 ($\Delta LR = 21.51$, $df = 4$, $p < 0.001$)，其次為運動狀態 ($\Delta LR = 18.51$, $df = 2$, $p < 0.001$)，最後為相對位置 ($\Delta LR = 4.86$, $df = 2$, $p = 0.088$) 與 TTC ($\Delta LR = 4.29$, $df = 2$, $p = 0.117$)；後二者貢獻較小，且均未達顯著水準。地區 ($\Delta LR = 8.24$, $df = 2$, $p = 0.016$) 雖具顯著貢獻，惟屬道路環境之情境變數而非障礙物本身屬性，故僅作情境差異之佐證。全模型之平均邊際效果亦呼應此排序 (表 7)：障礙物種類與運動狀態最能促使駕駛由減速 (基準組) 轉為偏移或複合。據此，假設四獲得支持：各障礙物屬性對機車反應之重要性確有差異，並以障礙物種類為首、運動狀態次之。

為使各影響因子之效果更為直觀，圖 4 以森林圖呈現假設二各自變數之勝算比及其 95% 信賴區間，並以 $OR = 1$ 之虛線作為「無效果」之參考基準；信賴區間未跨越該虛線者，表示該變數與偏移與否具統計顯著之關聯。由圖 4 可見，障礙物種類 (大型車 $OR = 6.76$ 、小型車 $OR = 5.00$) 與運動狀態 (靜止 $OR = 3.29$) 之信賴區間明顯位於 1 之右側，為驅動偏移行為之主因；相對位置 (側前方 $OR = 5.51$) 之點估計雖高，惟 95% 信賴區間甚寬 (1.19–41.19)，反映側前方僅 21 筆樣本所致之估計不確定性，與表 6 中 TTC 解釋力最低之結論一致。

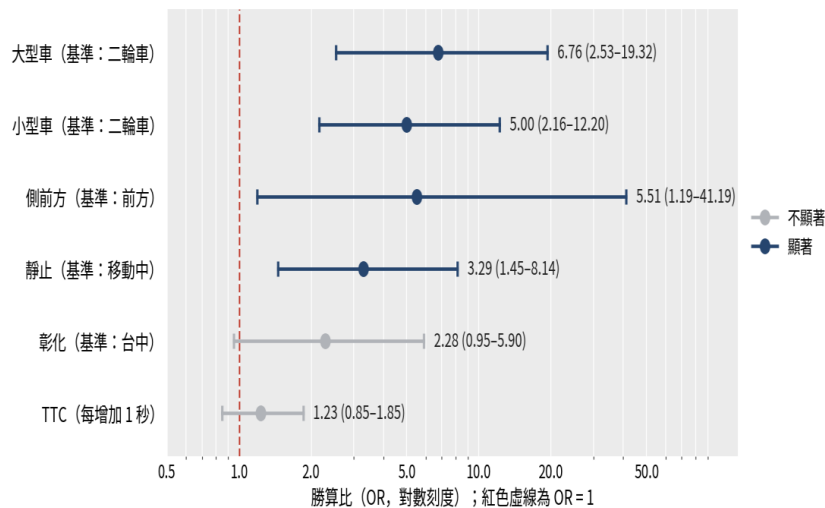


圖 4 偏移行為勝算比森林圖

4.3 綜合討論

就交通衝突急迫性而言，本研究結果與朱建全（1999）「急迫時先減速」之觀點一致：低 TTC 情境下純減速比例最高（41.9%），顯示衝突急迫時駕駛優先採取最直接的煞車，而非需要更多空間與時間的橫向偏移。惟 TTC、反應距離與速度於物理上彼此聯動、進入全變數模型時呈中度共線，表示時間急迫性構面具方向一致之關聯，但模式 A 之係數涵蓋三變數之共享變異，尚不足以表示單獨 TTC 之影響程度。

空間面的兩個結果則指向同一結論，側前方障礙物顯著提高偏移（假設二），呼應 Dutta 與 Vasudevan（2021）、Kolekar et al.（2020）對障礙物位置與交通風險之描述：當障礙物自車道側邊或巷口切入行駛範圍，駕駛更傾向以橫向偏移避讓。障礙物種類（假設三）之效果方向則與 Dutta 與 Vasudevan（2021）、羅峻庭（2015）對大型車之觀察相合，但本研究另發現小型車效果與大型車未出現顯著差異。推測可能是大型車與小型車的差異主要在於長度，車輛寬度較為接近，偏向是同類型車輛特性之延伸：相較於可鑽行、共用車道之二輪車，四輪車不分大小皆會阻擋路徑，故皆將駕駛由減速推往偏移。

地區雖僅為控制變數，不過彰化相對臺中仍呈顯著差異（純減速較少、複合較多），此可理解為不同道路環境（路寬、巷口密度、路側停車與車流組成）下之行為差異。整體而言，市區避障型態主要由「障礙物為何、是否移動、位於何處」決定，而非單純之時間急迫性。另須調和者，相對位置雖於「是否偏移」之二元模型達顯著，惟於三類反應之完整模型中增量貢獻相對較小（ $\Delta LR=4.86$ ， $p=0.088$ ）；此係因二者所回答之問題不同——前者檢驗「駕駛是否偏移」，後者衡量「在已控制種類與運動狀態等強因子後，位置對三類反應型態之額外解釋力」，故相對位置宜定位為左右「偏移與否」之重要因素，而非主導反應型態分化之主因。

4.4 研究限制

解讀上述結果時，須一併考量以下限制。首先，本研究只納入「已經做出反應」之事件，未納入「有障礙物但未反應」之對照情境，故所量化者為已反應前

提下三類行為之傾向差異，而非障礙物誘發反應之發生率。反應分類雖採兩位編碼者交叉編碼並協議歧異，惟未保留逐筆判讀紀錄，無法計算正式之編碼者間信度係數（如 Cohen's κ ）。其次，左、右前方樣本不足僅能合併為側前方，且側前方（21 筆）與複合反應（42 筆）樣本較少，使部分信賴區間甚寬，係數大小宜保守看待。最後，空拍影像仍受飛行高度、鏡頭變形與天候光線影響而有量測誤差，且僅能觀察外顯行為，無法得知駕駛內在之風險感知與決策過程。

五、結論與建議

5.1 結論

本研究以市區混合車流為對象，透過空拍影像觀測與人工軌跡判讀，將機車面對前方障礙物之反應區分為減速、偏移與複合三類，並分析 TTC、反應距離、速度、相對位置、種類、運動狀態與地區等因素之影響，把原本難以量化之即時反應行為轉化為可統計分析之資料。主要結論如下。

第一，在交通衝突急迫性方面，純減速比例由低 TTC 組之 41.9%遞減至中組 25.0%與高組 13.9%，多項羅吉斯迴歸亦呈一致方向；惟在同時控制反應距離與機車速度後，效果因三者 VIF 介於 3 至 5 之間而未達顯著。此結果與朱建全（1999）及 Nugent et al.（2019）之觀察一致，顯示時間急迫性雖有影響，卻非主導機車反應型態之關鍵因素。

第二，在障礙物相對位置方面，相較於位於正前方之障礙物，位於側前方者使機車偏移之勝算約為 5.51 倍（ $p=0.050$ ），且在控制 TTC、運動狀態、障礙物種類與地區後仍達顯著。此說明當障礙物由車道側邊、巷口、路側空間或停車區域切入機車行駛範圍時，駕駛更可能以橫向移動方式避開交通衝突，與 Dutta 與 Vasudevan（2021）及 Kolekar et al.（2020）之發現相互呼應。

第三，在障礙物種類方面，以二輪車為基準，大型車與小型車皆顯著提高偏移或複合反應之可能性（由二輪車改為大型車時，純減速機率平均下降約 34.8 個百分點），惟兩者效果相近、無尺寸梯度。影響機車反應之關鍵不全是障礙物大小，而更可能是其是否占用並阻擋行進路徑，故假設三為部分成立。

第四，在各影響因素之相對重要性方面，以障礙物種類影響最大（ $\Delta LR=21.51$ ， $p<0.001$ ），其次為運動狀態（ $\Delta LR=18.51$ ， $p<0.001$ ），再次為相對位置（ $\Delta LR=4.86$ ， $p=0.088$ ），TTC 最小且不顯著（ $\Delta LR=4.29$ ， $p=0.117$ ）；地區（ $\Delta LR=8.24$ ， $p=0.016$ ）雖亦具顯著貢獻，但屬情境變數而非障礙物屬性。此結果顯示，市區機車避障行為並非單純由時間急迫性決定，而是受障礙物型態、出現位置與道路環境共同形塑；若要解釋機車面對障礙物時的反應，不能僅依賴 TTC 或反應距離等物理指標，亦應同時納入障礙物屬性與道路情境，據以由「障礙物是否存在」延伸至「障礙物如何影響機車行駛路徑」之管理思維。

5.2 建議

5.2.1 實務建議

根據本研究結果，障礙物種類為影響機車反應型態最主要之因素，且其機制在於四輪車輛類障礙物對機車行駛路徑之占用與阻擋。因此建議市區道路安全改善應優先針對容易占用機車行駛空間之障礙物進行管理，例如臨時停車車輛、公

車停靠、小型車臨停、路側裝卸貨車輛與施工設施等。具體作法上，可於機車流量高或車流密集之路段加強臨停宣導與執法、明確劃設裝卸貨車位時段與公車停靠彎，以減少障礙物直接侵入機車正常行駛路徑之情形。

其次，側前方障礙物之偏移勝算約為正前方之 5.5 倍，顯示巷口、停車場出入口與路側停車區等位置是機車避讓衝突之重要來源。因此建議加強路側出入口附近之視距維持與障礙物清除，例如避免於巷口前後緊鄰設置停車格、以紅線淨空轉角，並透過標線與反射鏡提升側向車輛出現之可預期性；Kolekar et al. (2020) 之駕駛風險場概念亦指出側向風險源對橫向閃避有明顯影響，提高其可預期性有助於降低臨時偏移所衍生之衝突。

第三，針對機車流量高且路側活動頻繁之路段，建議重新檢討機車行駛空間與車道配置。機車在混合車流中橫向移動彈性較高，遇障礙物時常以偏移尋找可通行空間，若缺乏足夠安全緩衝，偏移行為可能進一步壓迫鄰近車道車輛。故對臨停頻繁、店家密集或巷口出入頻繁之路段，可考慮以標線整理、停車管制、路側空間重新配置或機車緩衝空間規劃，降低避讓過程中與其他車輛交織之風險。

5.2.2 後續研究建議

首先，建議擴大樣本數與觀測地點，納入不同型態路段以提升外部推論能力，並特別增加側前方障礙物樣本（如巷口車輛、路側停車起步車輛），以細分左前方、右前方與正前方之差異並提高估計穩定性。其次，建議提升影像量測精確度，例如加入地面控制點、固定拍攝高度與校正鏡頭畸變，以降低連續變數間量測誤差所致之共線性干擾。第三，建議納入車道寬度、路側停車密度、巷口密度、車流量與尖離峰時段等道路環境變數，使「地區」得以被更具體之指標取代。最後，建議結合 Liu et al. (2021)、Pu 與 Joshi (2008) 之替代性安全評估與鍾易詩等人 (2024) 人工智慧探勘高風險路段之作法，建立可自動化、可重複之機車避障風險監測流程。

參考文獻

- 王鴻傑(2013)，汽車及機車於市區道路混合車流之行為模式，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
- 白梓吟(2022)，危險駕駛行為與事故之影響與調節因素分析，國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
- 朱建全(1999)，機車駕駛者面臨交通衝突之行為反應研究，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文。
- 李易如(2013)，小汽車於市區道路各情景下之變換車道行為模式分析及比較，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
- 李健豪(2012)，市區幹道汽機車超車行為路徑選擇決策模式，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 許閔淳(2021)，先前車禍經驗如何影響駕駛者的駕駛行為與警覺：以邏輯斯迴歸建構駕駛者風險模式，國立雲林科技大學工業工程與管理系碩士論文。

- 黃家耀、李子璋、陳彥佑、劉品均、羅湘盈、廖家慧、羅聖學、曾家瑜、黃維皓 (2015)，混合車流模擬技術研發—機車行為研究 (MOTC-STAO-104-04)，交通部專題研究成果報告。
- 鍾易詩、邱裕鈞、吳昆峯、余嘉萱、王佑星、顏君潔、彭信瑋、劉曜峯、吳碩捷、朱浩瑄、何玉鳳、葉祖宏、黃明正、黃士軒等(2024)，應用人工智慧分析技術探勘高風險路段 (3/4)：行車異常事件及高風險駕駛行為分析，交通部運輸研究所。
- 羅峻庭(2015)，機車於市區道路受公車影響之駕駛行為研究，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
- Bella, F., Gulisano, F., and Gagliardi, V. (2024), "Safety analysis of motorcyclists' overtaking maneuvers," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 208, 107809.
- Dutta, B., and Vasudevan, V. (2021), "An empirical study on the influence of on-road static obstacles on driver behaviour," *Current Science*, Vol. 120, No. 4, pp. 699-706.
- Happee, R., Gold, C., Radlmayr, J., Hergeth, S., and Bengler, K. (2017), "Take-over performance in evasive manoeuvres," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 106, pp. 211-222.
- Jannah, A. N., Moridpour, S., Tay, R., and Du, B. (2026), "A two-dimensional traffic conflict measurement for assessing the safety of light mobility vehicles," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 272, Part 2.
- Kolekar, S., de Winter, J., and Abbink, D. (2020), "Which parts of the road guide obstacle avoidance? Quantifying the driver's risk field," *Applied Ergonomics*, Vol. 89, 103196.
- Liu, T., Li, Z., Liu, P., Xu, C., and Noyce, D. A. (2021), "Using empirical traffic trajectory data for crash risk evaluation under three-phase traffic theory framework," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 157, 106191.
- Nugent, M., Savino, G., Mulvihill, C., Lenné, M., and Fitzharris, M. (2019), "Evaluating rider steering responses to an unexpected collision hazard using a motorcycle riding simulator," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 66, pp. 292-309.
- Pu, L., and Joshi, R. (2008), *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report (FHWA-HRT-08-051)*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.