

交通事故防制成效分析方法 - 以路口多功能科技執法為例

王銘亨¹、陳弘益²

摘要

評估道安改善成效的主要方法係比較事前事後（Before-After）的交通安全指標（如交通事故件數、死傷人數），常見的方式係直接以目標範圍的事前交通安全指標，比較事後的交通安全指標，如比較事後和事前同期的事故件數或死亡人數，但此方法忽略整體交通環境的變化對交通安全指標的影響，且有統計上的偏誤。為了改善統計上可能的偏誤，本研究採文獻上常見的事前事後評估方法，包含單純直接比較、對照比較，及經驗貝式事前事後評估方法，以臺南市所建置的路口多功能科技執法路口為例，推估事後交通事故期望件數，並與實際交通事故件數進行比較，分析科技執法在防制交通事故的成效，研究結果發現，採用單純比較法和經驗貝式比較法（單純），交通事故件數並無顯著的差異，但使用對照組比較法和對照經驗貝式比較法，路口交通事故件數和比率，在使用科技執法設備後，均顯著下降。另依碰撞型態比較，發現側撞事故，包含左轉側撞，不論使用何者方法，交通事故件數都顯著下降，而「追撞」事故，以單純直接比較法，事故案件則明顯增加，但以對照組比較法，卻有減少的趨勢，可能是科技執法造成的外溢現象（Spillover），致使其他鄰近路口的「追撞」事故案件亦有增加，目標路口追撞事故案件相對的較少。實施科技執法後，駕駛人的猶豫區間可能有所改變，號誌的轉換時段，包含黃燈和全紅，應配合重新檢視調整，以防制「追撞」事故型態發生。

關鍵字：科技執法、對照比較法、經驗貝式事前事後評估方法、外溢現象

一、前言

改善道路交通安全是政府及各道安相關單位積極努力的目標，歷年也持續推動各類道安改善策略和計畫，包含工程改善、執法作為及教育政策等，期能有效減少交通事故死傷。然而各項的改善策略，普遍缺乏系統性及科學化的評估方法，以科技執法為例，近年來，全國各縣市近年來積極在路口設置科技執法系統，應用各種先進科技，自動偵測並攝影紀錄交通違規，進行逕行舉發，甚至有縣市還成立「科技執法中心」，期能有效降低交通事故死傷。然而，不論是早期的測速照相或新設的路口多功能科技執法，其對於交通事故的防制成效，基本上多是以執法單位的取締件數或實施前後同期的交通事故件數或死傷人數比較，普遍缺乏科學化的統計檢定方法，以及執法系統對交通事故型態或違規行為改變的影響，相對於整體交通事故發生趨勢的關係，也無嚴謹、科學化的檢討和評估。

¹ 臺灣警察專科學校交通管理科副教授（聯絡地址：116078 臺北市文山區興隆路3段153號，電話：(02)22308512 #3303，E-mail：mhwang@mail.tpa.edu.tw）。

² 臺南市政府警察局交通警察大隊組長。

評估道安改善成效的主要方式係比較事前事後（Before-After）的交通安全指標（如交通事故件數、死傷人數），最關鍵的核心在於如何推估目標範圍或路口，在假設未實施所設定的道安作為的狀況下，交通安全指標的期望值，並與實際該目標範圍的交通安全指標進行比較，作為交通安全改善或事故防制成效評估的績效值。推估或預測交通事故的方法很多，建立道安績效評估指標（Safety performance Function, SPF）（Hauer et al., 2002），或直接以目標範圍的事前的交通事故件數（Hauer, 1997; Shin and Washington, 2007; Shin et al., 2009），或參考類似路口的交通事故變化趨勢，以對照比較的方式（Elvik, 1997; Elvik, 2002; Shin and Washington, 2007; Shin et al., 2009），推估目標路口的事後的預期交通事故件數。且為了改善統計上可能的均質迴歸（regression-to-the-mean, RTM）偏誤，過去文獻普遍使用經驗貝式（Empirical Bayes）的事前事後方法（Hauer, 1997; Hauer et al., 2002; Shin and Washington, 2007; Shin et al., 2009），推估事後交通事故件數，評估交通事故防制成效和計算交通安全指標的重要依據。

本研究採文獻上常見的事前事後評估方法，包含單純直接比較、對照組比較，及經驗貝式（Empirical Bayes）事前事後評估方法，以臺南市近年來新建置的路口多功能科技執法路口為例，推估事後交通事故期望件數，並與實際交通事故件數進行比較，分析科技執法在防制交通事故的成效及差異，期能藉以建立科學化道安績效評估機制、方法及流程，作為後續道安績效評估及擬定道安政策的參考。

二、文獻回顧

目前科技執法係依據「道路交通管理處罰條例」（以下簡稱處罰條例）第7-2條文中，有關汽車駕駛人之行為，得以逕行舉發的概括性規定，「經以科學儀器取得證據資料證明其行為違規。」，只要使用符合「經過定期檢定合格之法定度量衡器」，並經公告或現場預告程序，取得違規證據，不論何項違規行為，都可以逕行舉發的方式進行取締，目前的區間測速、路口多功能科技執法即是依此條文授權，且除了取締違規超速之外，其他科技執法地點，並不須設有標誌預告或警告，惟實務單位都會在執法地點設置且警告標誌牌，某種程度也是影響駕駛行為。

2.1 路口多功能科技執法系統

路口多功能科技執法系統係以高畫質攝影機和 AI 運算辨識車種，並針對車輛不停讓行人、闖紅燈、轉彎未依規定行駛、跨越雙白線、違規停車、佔用機車停等區、汽車行駛機車道及機車行駛人行道等違規項目偵測取締。科技執法設備系統主要包括以下四個主要設備，包含 1. 多功能違規偵測控制主機；2. 4K Resolution 偵測攝影機；3. 智慧型違規偵測感應器；以及 4. 高精度測速雷達。系統運作的流程，包含幾個步驟：

1. 高畫素攝影機＋車牌辨識系統：透過高畫素攝影機監視車輛移動影像，並透過車牌辨識系統，辨識車輛的車牌。
2. AI 運算辨識車種＋自動判斷違規行為、路徑：追蹤車輛運行軌跡，自動確認違規項目，並擷取違規行為影片。

3. 過透路口網路系統，將違規行為影片、違規行為判定、車牌資料、時間、地點等資料，傳送至雲端科技執法平台。
4. 員警由後端管理平臺從嚴審查，符合要件才製單舉發。

2.2 路口科技執法成效評估

有關科技執法的評估，文獻上主要針對自動測速照相（Automated Speed Photo Enforcement, ASPE）和闖紅燈違規照相（Red Light Camera, RLC）實施前後的速率和交通事故頻次變化進行評估。針對交通事故防制成效評估，Elvik and Vaa (2004) 整理所有評估 ASPE 文獻，歸納結果顯示 ASPE 可降低 19% 的所有交通事故件數，及 17% 的傷害事故件數。事故件數降低成效在都市地區（28%）較郊區（4%）更能顯著。Pilkington and Kinra (2005) 也整理文獻，發現 ASPE 可降低 5% 至 69% 的交通事故件數、12% 至 65% 的事故傷害人數，以及減少 17% 至 71% 的事故死亡人數。在 RLC 的執法成效評估文獻中，多數文獻都證實 RLC 可減少路口交岔撞的交通事故型態，但也同時會增加追撞事故（Retting and Kyrychenko, 2002; McGee and Eccles, 2003）。Retting et al. 2003 回顧評估 RLC 的文獻發現可降低約 40-50% 的闖紅燈違規，且雖然 RLC 會增加追撞事故的頻次，但整體而言，仍減少 25% 至 30% 的交通事故件數。

然而早期的文獻，不論是針對 ASPE 或 RLC 的事故防制成效評估，由於使用的評估方法並未考慮資料均質迴歸（RTM）的問題，而容易放大的評估的成效（Hauer, 1997; Elvik, 2003; Ritting et al., 2003; Persaud et al., 2005）。為克服 RTM 的問題，Hauer (1997) 提出以經驗貝式（Empirical Bayes, EB）的事前後比較方法，用於評估各種道路和交通工程交通安全改善情形，後續的研究也多數應用 EB 事前事後方法，進行 ASPE 或 RLC 的事故防制成效評估（Elvik, 2002; Elvik, 2003; Shin and Washington, 2007; Shin et al., 2009）。

Sin and Wahsington (2007) 使用四種不同的事前事後評估方法，包含僅以目標路口的單純事前事後比較法、對照組，以交通量校估方法，及考量時間變化的經驗貝式方法，針對四個城市 24 個設有 RLC 的路口進行評估，結果顯示不同的城市的事故防制效果不一，特別是最大的城市，但多數城市的「路口交岔撞」和「左轉」相關的事故型態都會下降趨勢，但和其他文獻一樣，路口在設置 RLC 之後，「追撞」事故型態都有增加的現象。Shin et al. (2009) 也應用前述的應用對照組、交通流量校估，以及經驗貝式事前事後評估方法，評估 ASPE 對於快速公路交通事故防制的成效，結果顯示即便採用不同的評估方法，ASPE 都可降低除「追撞」事故以外的交通事故件數。

三、研究範圍與研究方法

3.1 研究範圍和交通事故資料

本研究以臺南市 2022 年 12 月 1 日起同時啟動執法的 17 處路口多功能科技執法為範圍，蒐集系統啟動執法前三年，以及事後一年，應用不同的事前事後評估比較方法，進行評估。為避免系統啟動前，系統或警示牌以裝置，駕駛行為已改變，以及和剛啟動時，駕駛人尚未改變用路行為，在系統啟動前後各一個月的

範圍內，稱為緩衝期，在分析時移除緩衝期的事故資料。故事前的交通事故資料涵蓋期間為 2019 年 11 月起至 2022 年 10 月，合計三年，事後的資料則以 2023 年 1 月起至 2023 年 12 月底止，共一年期間，作為本研究評估路口多功能科技執法成效的資料。

本研究所使用的資料為交通事故死傷（A1 和 A2）案件，不包含無人傷亡的 A3 事故資料，交通事故死傷資料的內容為處理員警所記錄之道路交通事故調查報告表中的內容，包含交通事故發生的時間、地點、道路基本特性、事故撞擊型態，以及事故當事人的基本資料，駕駛資格、事故前運行狀況，以及傷害情形。由於影響交通事故的傷害嚴重度與事故當事人使用車種及當事人生理特性有關，本研究僅考慮交通事故的件數，不考慮交通事故傷害的嚴重程度。事故資料扣除酒駕相關，以及非駕駛行為所造成的事故，如車輛機械故障、裝載不當等資料亦未納入分析。

3.2 評估指標和研究方法

為確認施行道安改善措施前後，交通事故件數的變化情形，一般都採用事前-事後實際發生的交通事故的件數進行比較，包含同時期總件數或每月期平均件數比較，是目前實務單位最常用的方法，但此方法易忽略整體交通環境和交通流量的變化。由於各路口的交通流量取得不易，本研究採用相對的比較方式，選取目標路口週邊 1-2 公里範圍內的事件件為對照組，比較對照組和目標路口（50 公尺內）的交通事故變化情形，即若目標路口的事後交通事故件數雖有增加，但增加的幅度相較於對照組的增加幅度顯著較低，則可稱為所採用的道安策略（科技執法）是有防制事故的效果。

事前事後比較方法的重要概念係透過事前的資料推估事後預期資料，並比較事後實際（觀測）與預期資料之間的差異，以本研究比較採用科技執法路口前後交通事故發生件數的變化為例，則依事前的交通事故件數或其他相關資料，去推估事後該路口在沒有實施科技執法的交通事故件數，並與事後實際的交通事故件數進行比較，確認科技執法在防制交通事故的成效，比較的方式可計算事故件數差異，即實際件數減去預期件數，或比率差異，即實際件數除以預期件數，亦可稱為改善的效益（effectiveness）。

所以，研究的重點在於如何合理且精確的推估事後預期的交通事故件數。最簡單的方法是直接以事前的事件件數，作為事後在假設無科技執法設備的狀況下預期的交通事故，但此方法容易忽略整體交通環境的變化，如經濟活動、交通流量、或其他道安政策等，特別是交通流量對交通事故的影響。由於目前各路口並事前事後的交通流量資料，難以推導出交通事故預測模式，因此，參考過去的文獻，採用對比的方式，以其他未實施科技執法路口為對照組，假設交通事故的件數變化呈現相關趨勢，用以推估目標路口，在無科技執法的狀況下，預期事後交通事故件數。

本研究針對不同的事前事後比較方法，以臺南市實施科技執法路口為例，進行比較交通事故的變化情形，藉以分析交通事故的防制成效，作為道安單位在道安成效評估的參考。相關的參數定義如下：

1. π ：目標路口事後在假設無科技執法狀況下的預期交通事故件數
2. λ ：目標路口事後在實施科技執法狀況下預期交通事故件數

3. $\delta = \pi - \lambda$ ：科技執法推估可降低的交通事件數

4. $\theta = \frac{\lambda}{\pi}$ ：科技執法推估的改善安全成效指數（index）

如果 d 大於 1，或小於 1，代表科技執法可有效降低交通事故的發生，相反地，則會增加交通事故的件數。而上述的參數必須透過統計的推估，基本上， 1 為依實施科技執法後，實際發生的交通事件數，而 p 值必須透過實施科技執法前，實際發生的交通事故事件數進行推估。所需參數定義如下：

1. $K(k)$ ：目標路口事前實際（預期）交通事故事件數

2. $L(\lambda)$ ：目標路口事後（在實施科技執法後）實際（預期）事故事件數。

3. $M(\mu)$ ：對照組事前實際（預期）交通事故事件數

4. $N(v)$ ：對照組事後實際（預期）交通事故事件數。

3.2.1 單純直接事前事後研究法

單純事前事後研究法（Simple before and after study），即直接事前事後比較法，是在假設道路的幾何、交通流量、駕駛行為、天候等外在因素，在事前事後都沒有改變，事後也沒有其他科技執法以外的道安措施，且事前事後交通事故發生的機率，事故通報紀錄的標準都相同的狀況下，進行事前事後的交通事故事件數比較。所以事前的預期事件數 π 即為實際發生的事件數 (K)，即 $\hat{\pi}=K$ ，事後實施科技執法的預期事件數 (λ) 等於實際發生交通事故事件數 (L)。考事前事後的期間數（年或月）不同，以事前事後期間比率 (rd) 進行調整，換算成等期間（如年）的事件數，則：

$$\hat{\pi} = r_d \times \sum_{t=1}^B K_t = r_d \times K \quad (1)$$

$$\hat{\lambda} = \sum_{t=B+1}^{B+A} L_t = L \quad (2)$$

其中 $r_d = \frac{A}{B}$ ，為事後期間數 A 和事前期間數 B 的比率； t 為評估期程（年、月或週）。以本研究以年的資料進行評估。若以單純事前事後比較，則推估事前事後的事件差異， $\hat{\delta} = \hat{\pi} - \hat{\lambda}$ ； $\hat{\theta} = \frac{\hat{\lambda}}{\hat{\pi}}$ 。但推估交通事故事件數必須考慮事件發生的機率分配，才能依統計分法檢定其差異。理論上，在一定期間內發生交通事故的事件數係呈現呈卜瓦松（Poisson）分配，則推估交通事故事件數的變異數為其平均數，分別為：

$$var(\hat{\pi}) = \pi = r_d \times K \quad (3)$$

$$var(\hat{\lambda}) = \lambda = L \quad (4)$$

3.2.2 對照組事前事後比較（Before and after study with a comparison group）

僅比較目標路口事前事後的交通事故資料係假設其他交通環境或特性並未改變，僅增加科技執法設備，但實際上並非如此，影響交通事故的發生的因素甚為多且複雜，特別是交通流量的變化，且會隨著時間而改變。若以交通流量為基礎，配合各種影響交通事故的因素，如天候、車道數、寬度或大車比率，可以建立交通事故預測模式，以及各種調整因子，用以預測交通事故，但前提必須要有交通量和詳細的道路幾何，依歷史交通事故所建立的調整因子。

由於路口交通流量尚未健全，建立交通事故預測模式不易，針對目標路口交通事故件數預測，可採用對式方式，在假設整體或和路口的交通事故的件數趨勢相同的前提下，擷取其他未實施科技執法策略的路口的交通事故資料，作為對照比較資料，推估交通事故的變化趨勢，並藉以推估目標路口事後期間，推估目標路口未採用科技執法狀況下的預期交通事故 (π)，再與目標路口實際的交通事故件數進行比較，推估交通事故增減件數及安全評估指標。

首先計算目標路口和對照路口的預期交通事故件數，假設事前事後的交通事故變化趨勢相同，則目標路口和對照路口的交通事故變化率 (r_T, r_C) 相同，即 $r_T = \frac{\pi}{k} = r_C = \frac{v}{\mu}$ 。

由於 r_C 為兩隨機變數 (μ 和 v) 非線性組合之隨機變性，且目標及對照路口實際交通事故件數均符合卜瓦松分配，則的推估值為：

$$\widehat{\pi}_C = \widehat{r}_T * K = \widehat{r}_C * K = \frac{N}{M} * K * \left(1 + \frac{1}{M}\right)^{-1} \quad (5)$$

若考慮時間對事故件數的影響，可依每年對照路口的交通事故變化，推估對照組的年事故變化率 ($\widehat{r}_C$) 為：

$$\widehat{r}_C(t) = \frac{N_p}{M_t} \left(1 + \frac{1}{M_t}\right)^{-1} \quad (6)$$

其中 M_t 為對照組事前在 t 年的交通事故件數， N_p 為對照組在事後期間，實際發生的交通事故件數，則事後目標路口的交通事故推估值 $\widehat{\pi}_C$ 為 (Hauer, 1997)，則推估事後無科技執法的事件件數為：

$$\widehat{\pi}_C = r_d \cdot \sum_{t=1}^B \widehat{r}_C(t) K_t \quad (7)$$

其中 B 為事前的期間 (年) 數。

3.2.3 經驗貝式 (Empirical Bayes, EB) 事前事後比較方法

雖然採用對比式的方法推估事故目標路口的交通事故可依交通事故的趨勢，推估較為精確的預期交通事故件數，但仍無法克服統計上可能的均質迴歸 (regression-to-the-mean (RTM)) 的影響。經驗貝式 (Empirical Bayes, EB) 的事前事後比較方法是常用於改善 RTM 影響的統計方法 (Hauer, 1997; Hauer et al., 2002)。若 K 存在 RTM，則最佳的推估值為 $E[\kappa|K]$ ，則實際值 K 和測測值 κ 為貝式模式中的樣本及先驗值。在假設事前實際事故交通事故件數 K 符合卜瓦松分配的狀況下， k 為參數，符合 gamma 分配，參數 α 和 β ， k 的後驗密度以貝式理論 (Bayesian theorem) 呈現為：

$$f(k|K) = \frac{f(K|k) \cdot f(k)}{f(K)} = \frac{(\alpha+1)^{K+\beta}}{\Gamma(K+\beta)} \cdot k^{(K+\beta+1)} \cdot e^{-(\alpha+1)k} \quad (8)$$

假設實際發生的交通事故件數在第 t 年，則 k_t 的期望值，在已知所有事故件數的情況下 (K) 為 (Hauer, 1997; Persaud et al., 2003; Garber et al., 2006; Shin et al., 2009)：

$$E(k_t|K_1, K_2, \dots, K_B) = \frac{\alpha + \sum_{t=1}^B K_t}{\left(\frac{\alpha}{E(k_t)}\right) + \sum_{t=1}^B C_t} \quad (9)$$

其中 C_t 為第 t 年交通事故件數期望值與基準年（第 1 年）的期望值比值，即為 $E(k_t)/E(k_1)$ ， $E(k_1)$ 為基準年的事故期望件數。則 k 的貝式期望期為：

$$\begin{aligned} E(k|K) &= w \cdot E[k] + (1 - w) \cdot K; \\ w &= \frac{E[k]}{E[k] + Var[k]}; Var[k] = E^2[k] \cdot \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

其中 w 為權重，介於 0 和 1 之間； $E[k|K]$ 為在實際交通事故件數 K 狀況下，預期發生的交通事故件數。 $E[k]$ 為參考群組的平均交通事故件數，與對照組相同，但參考群組應有使用實驗貝式 (EB) 方法，包含事故資料和共變數的安全績效函數。權重值 w 包含類似路口的平均事故件數 ($E[k]$) 及其變異數 (即 $V[k]$)。如果 w 值趨近於 1，則該路口的 $E[k|K]$ 將趨近於於參照組的平均數 ($E[k]$)，相反的，若 w 值趨近於 0，則 ($E[k]$) 的值主要受到實際觀測事故件數 K 的影響。

在貝式推估期望值 $E[k|K]$ 中，兩 $E[k]$ and $Var[k]$ 值為兩個主要的關鍵值，係藉由實值觀測資料進行實驗性 (empirically) 推估 (Carlin and Louis, 2000)，在 EB 的方法中，通常假設交通事故的發生件數符合負二項分佈 (negative binomial distribution) (Hauer, 1997; Hauer et al., 2002)，以負二項迴歸模式推估兩個關鍵參數，但由於本研究缺乏車流量資料，無法建立 SPFs 模式，故以事前各年度實際發生的事故案件數取代，即 $E[k_t] = Kt$ ，同樣的以實際發生的事故件數，計算 $\widehat{E[k]} = E[K]$ ； $\widehat{Var[k]} = Var[K]$ ；，則

$$\begin{aligned} \text{推估 } \alpha &= \frac{\widehat{Var[k]}}{\widehat{E}^2[k]}, \text{ 及 } \widehat{w} = \frac{\widehat{E[k]}}{\widehat{E[k]} + \widehat{Var[k]}}, \text{ 則} \\ \hat{\pi}_{EB} &= \widehat{E}(k|K) = \widehat{w} \cdot \widehat{E}[k] + (1 - \widehat{w}) \cdot K, \end{aligned} \quad (11)$$

若採用對照式的資料，進行實驗貝式法推估值 $\hat{\pi}$ ，則 $E[k]$ 值以依對照所推估的 π_c ，再進行計算推估。

3.2.4 安全成效分析

評估科技執法對安全的成效評估以 δ and θ 指標，分別代表未實施科技執法的推估值和實際事故件數差異和比率。其中 $\hat{\delta} = \hat{\pi} - \hat{\lambda}$ ，另為避免統計上的偏誤 (bias)， θ 的推估可參考文獻 (Hauer 1997; Shin and Washington 2007a)，使用 delta 近似 (delta approximation) 值，由於 θ 為兩個隨機變數的非線性方程式，其計算公式為：

$$\hat{\theta} \cong \frac{\left(\frac{\hat{\lambda}}{\hat{\pi}}\right)}{\left(1 + \frac{var(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2}\right)} \quad (12)$$

為分析 θ 推估值在統計上的差異顯著程度，必須先確認各個 $\hat{\pi}$ 值的變異數，在假設交通事故的發生符合 Poisson 分佈，則各個值的變異數以 Delta 方法計算求得，分別為 Hauer (1997) and Washington and Shin (2005)：

$$\begin{aligned} \widehat{Var}[\widehat{\pi}_S] &= r_d K \\ \widehat{Var}[\widehat{\pi}_C] &= \hat{\pi}^2 \cdot \left(\frac{1}{K} + \widehat{Var}[\hat{r}_C]/\hat{r}_C\right) \\ \widehat{Var}[\hat{\pi}_{EB}] &= (1 - \widehat{w}) \cdot \hat{\pi}_{EB} \end{aligned} \quad (13)$$

再依不同方法所求得的 $\hat{\lambda}$ 和 $\hat{\theta}$ 的變異數，其中的變異數係同樣以 Delta 方法計算（Hauer, 1997; Washington and Shin, 2005）。

$$\begin{aligned} \text{var}(\hat{\delta}) &= \hat{\pi} + \hat{\lambda} \\ \text{var}(\hat{\theta}) &= \frac{\hat{\theta}^2 \left(\frac{\text{var}(\hat{\lambda})}{\hat{\lambda}^2} + \frac{\text{var}(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2} \right)}{\left(1 + \frac{\text{var}(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2} \right)^2} \end{aligned} \quad (14)$$

3.2.5 統計檢定

為確定事前事後交通事故的變化指標，差異件數和比率，在統計上的顯著程度，本研究以條件二項式檢定或卜瓦松平均數比的對數變換的常態近似進行檢定。假設 X 和 Y 為兩獨立卜瓦松隨機變數，參數為 π 和 λ ，條件二項式檢定以二項式分配，在 $X + Y = n$ 狀況下的 X 分配，其中 $n = \pi + \lambda$ and $\rho = \pi / (\pi + \lambda)$ ，如公式 (15)（Sahai and Misra, 1992; Hauer, 1996）。

$$\text{Pr}(X = \hat{\pi} | n = \hat{\pi} + \hat{\lambda}) = \frac{n!}{\hat{\pi}!(n - \hat{\pi})!} \rho^{\hat{\pi}} (1 - \rho)^{n - \hat{\pi}} \quad (15)$$

虛無假設 $H_0: \delta = 0$ ，參數 ρ 等於 0.5，則顯著值（p-value）為所有 X 小於或等於，如果小於的合計，否則，則為所有 X 大於 $\hat{\pi}$ 。另外，亦可以常態近似檢定，平均數 $n\rho$ ，變異數為 $n\rho(1-\rho)$ ，轉換成標準化常態分配檢定（平均數為 0，變異數為 1）。交通安全指數 (θ) 部分，虛無假設 $H_0: \theta = 1$ ，變異變為 $\frac{1}{\pi} + \frac{1}{\lambda}$ ，趨近常態分配，轉換成標準化常態分配檢定（Price and Bonett, 2000; Ng and Tang, 2005）。

四、結果分析

依不同的事前事後比較方法推估事後交通事故件數整理如表 1，其中左轉側撞型式，由於事故資料中並針對側撞型態細分，故以事故當事車輛中有左轉行為者計數，件數包含在所有側撞事故內。肇事原因件數以事故當人中有涉及相關肇因行為者計數，因此，部分類別事故件數會有重疊情形，如同一案件中，當事人可能分別違規「違反號誌管制」與「轉彎未依規定」時，在各類肇因分析時會重覆納入分析。

依據目標路口和對照路口事前的交通事故件數趨勢分析，所有資料類別和型態，包含全部事故資料的分析結果，皆符合一致性，代表目標路口和對照路口的交通事故件數變化趨勢是一致的，用於對照比較推估事後目標路口的交通事故件數具有代表性。在假設備無科技執法設備狀況下的交通事故推估值與實際交通事故的差異及交通安全指數，以及顯著統計檢定結果如表 2 和表 3。表格中背景加深及粗框代表顯著值（p-value）小於 0.05；僅背景加深代表顯著值（p-value）小於 0.1。

表 1 路口事前事後實際交通事故件數與推估無科技執法狀況下交通事故件數

資料類別和型態		實際交通事故件數				推估交通事故件數（事後）			
		目標路口		對照路口		單純比較法	對照比較法	經驗貝式比較法（單純）	經驗貝式比較法（對照）
		事前（3 年）	事後（1 年）	事前（3 年）	事後（1 年）				
全部事故		1,920	653	17,296	6,418	640	713.59	632.02	728.18
事故撞擊型態	交岔撞	92	30	1,565	484	31	28.55	32.71	29.92
	側撞	909	247	7,975	2,583	303	294.72	297.07	301.61
	側撞 - 左轉	437	98	4,168	1,140	146	119.97	146.86	126.29
	追撞	323	134	2,349	1,052	108	144.91	105.16	147.16
	同向擦撞	248	86	1,456	620	83	105.68	77.64	102.21
	行人有關	40	12	462	182	13	15.93	12.38	15.43
	其他	308	144	3,489	1,497	103	133.16	98.60	139.53
肇事原因（個別）	違反號誌管制	239	60	2,959	863	80	70.10	83.96	73.43
	未依規定讓車	411	98	4,118	1,390	137	138.63	131.42	139.12
	轉彎未依規定	314	89	2,589	912	105	112.18	105.57	117.45
	違反標線（誌）管制	144	66	592	284	48	68.84	46.25	64.76
	未保安全間隔	138	46	851	310	46	50.36	43.49	48.77
	未保安全距離	207	90	1,354	609	69	93.42	66.89	92.51
	其他肇因	736	277	8,021	3,016	245	277.11	239.43	276.00

4.1 交通事故防制成效

以事前事後換算成等長（一年）時間，在實施科技執法後，實際發生交通事故的件數與假設無科技執法的狀況下，同一路口可能的交通事故件數推估值的差異作為防制交通事故的成效（表 2），可發現在全部的事故資料中，若使用單純比較法和經驗貝式比較法（單純），即單純直接使用目標路口的事前資料進行推估，則事後的交通事故件數並無顯著的差異，但使用對照組比較法和對照實組證貝式比較法，路口交通事故件數在使用科技執法設備後，顯著下降約 61 到 75 件 / 年。顯示雖然整體的交通事故，包含目標路口，皆有上升的趨勢，但在實施科技執法的路口，針對目標路口，相對於整體事故增加的趨勢，增加的趨勢較低，可減少預期的交通事故的件數。

針對不同的交通事故碰撞型態，發現側撞事故型態，包含左轉側撞，不論使用何者比較方法，交通事故件數都顯著下降，參照肇事原因分析發現「違反號誌管制」、「未依規定讓車」、「轉彎未依規定」的件數都有明顯的下降，代表實施科技執法，對於防制駕駛人「未依規定讓車」，以號誌化路口而言，通常是左轉彎未禮讓直行車，「轉彎未依規定」，如從外側車道左轉或未兩段式左轉，以及「違反號誌管制」，如直行綠燈時違規左轉等，所造成的左轉穿越側撞，有很明顯的助益。但科技對於防制路口交岔撞型態，行人相關事故型態的案件數變化並不顯著。

表 2 在假設備無科技執法設備狀況下的交通事故推估值與實際交通事故的差異

資料類別和型態		單純比較法			對照比較法			經驗貝式比較法 (單純)			經驗貝式比較法 (對照)		
		δ	標準差	p-value	δ	標準差	p-value	δ	標準差	p-value	δ	標準差	p-value
全部事故		13	17.98	0.307	-60.59	18.47	0.002	20.98	17.921	0.201	-75.18	18.555	0.000
事故撞擊型態	交岔撞	-0.667	3.89	0.393	1.45	3.82	0.371	-2.71	3.956	0.316	0.08	3.870	0.399
	側撞	-56	11.67	0.000	-47.72	11.59	0.000	-50.07	11.613	0.000	-54.61	11.653	0.000
	側撞 - 左轉	-47.67	7.65	0.000	-21.97	7.34	0.005	-48.86	7.667	0.000	-28.29	7.428	0.000
	追撞	26.33	7.73	0.001	-10.91	8.34	0.170	28.84	7.676	0.000	-13.16	8.375	0.116
	同向擦撞	3.33	6.49	0.350	-19.68	6.89	0.007	8.36	6.388	0.170	-16.21	6.834	0.024
	行人有關	-1.33	2.51	0.347	-3.93	2.62	0.129	-0.38	2.469	0.394	-3.43	2.598	0.167
	其他	41.33	7.74	0.000	10.84	8.32	0.171	45.40	7.650	0.000	4.47	8.418	0.3464
肇事原因 (個別)	違反號誌管制	-19.67	5.85	0.001	-10.10	5.69	0.083	-23.96	5.916	0.000	-13.43	5.746	0.026
	未依規定讓車	-39	7.56	0.000	-40.63	7.58	0.000	-33.42	7.493	0.000	-41.12	7.583	0.000
	轉彎未依規定	-15.67	6.94	0.031	-23.18	7.04	0.002	-16.57	6.949	0.023	-28.45	7.116	0.000
	違反標線 (誌)管制	18	5.27	0.001	-2.84	5.80	0.354	19.75	5.215	0.000	1.24	5.717	0.390
	未保安全間隔	0	4.80	0.399	-4.36	4.90	0.269	2.51	4.728	0.347	-2.77	4.865	0.339
	未保安全距離	21	6.25	0.001	-3.42	6.77	0.351	23.11	6.194	0.000	-2.51	6.754	0.372
	其他肇因	31.67	11.41	0.009	-0.11	11.77	0.399	37.57	11.332	0.002	1.00	11.758	0.398

「同向擦撞」的事故型態案件數，使用對照比較法則有顯著的下降，雖然「違反標線管制」和「未保持安全間隔」有關案件數並無明顯變化，也代表駕駛在變換車道時更為謹慎，有助於防制交通事故。

值得注意的是，在實施科技執法後，僅以目標路口案件進行分析，不論使用單純比較或經驗貝式推估方法，「追撞」事故案件有明顯的增加，此點與文獻（Shin and Washington, 2007）相同，在實施闖紅燈違規照相後，「追撞」事故有增加的現象，但以對照比較方法進行分析，差異並不顯著，但「追撞」事故卻有相對的較少，可能是科技執法造成的外溢現象（Spillover），駕駛人因而對於其他號誌化路口的燈號轉換變為較敏感，整體而言，皆有增加急煞車的狀況，致使整體的路口「追撞」事故案件都有增加，而相對的難以呈現目標路口追撞事故案件有增加的顯著性，惟必須進一步分析，以證實是否為外溢的影響。實施科技執法後，對於駕駛人的駕駛習，特別是駕駛人的猶豫區間（dilemma zone）勢必會有改變，號誌的轉換時段，包含黃燈和全紅（all-red），都必須重新的檢視和調整，以防制「追撞」事故型態的發生。

4.2 交通安全成效指數分析

以交通安全成效指數，即實際件數與推估件數的比率 θ 進行分析，其結果如表 3 所示，若 θ 小於於 1，代表實施科技執法後，實際發生的交通事故件數較預期的事故件數減少。同樣的，在採用單純的直接比較法或經驗貝式單純比較法，實施科技執法的路口平均交通安全指標皆大於 1，反而較不安全，但採用對照組比較法，安全指標小於 1，亦即相較於其它路口，實施科技執法的路口較為安全，在全部的事故中，以對照比較方法所推估的交通安全改善指數，可降低約 $1\%(100 \times (1-\theta))$ 。

安全指標改善較顯著的事務型態為「側撞」事故，包含左轉側撞，不論採用何種比較方法均有顯著的改善，約下降約 19% 至 33%，特別是「左轉側撞」下降的幅度更大，在目標路口事前事後直接比較時，則有顯著的下降 33%。

同樣的，在「追撞」的事務型態案件中，針對實施科技執法的路口前後直接比較，事故案件數明顯增加超過 24%，但與其他路口比，則反而下降 10%。而「同向擦撞」則出現同樣的趨勢，若採直接比較法或經驗貝式直接比較，都有增加的現象，但在採對照組的方式進行比較，則事故的比率則顯著下降約 10%，顯示在實施科技執法後，其他非科技執法路口的追撞及同向擦撞事故亦有增加的趨勢。

在涉及行人的事故中，實施科技執法後，目標路口的行人事故均有下降的趨勢，採用對照組的比較方式，實施科技執法後，可減少 28% 的行人事故，亦即相較於其他路口，實施科技執法對於行人事故的防制更為顯著。

表 3 科技執法路口交通安全指數

資料類別和型態		單純比較法			對照比較法			經驗貝式比較法 (單純)			經驗貝式比較法 (對照)		
		θ	標準差	p-value	θ	標準差	p-value	θ	標準差	p-value	θ	標準差	p-value
全部事故		1.020	0.002	0.000	0.901	0.013	0.000	1.032	0.002	0.000	0.896	0.002	0.000
事故撞擊型態	交岔撞	0.968	0.041	0.291	1.036	0.051	0.310	0.903	0.035	0.008	0.970	0.041	0.131
	側撞	0.814	0.003	0.000	0.827	0.012	0.000	0.829	0.002	0.000	0.816	0.004	0.000
	側撞 - 左轉	0.671	0.006	0.000	0.809	0.013	0.000	0.667	0.012	0.000	0.770	0.005	0.000
	追撞	1.241	0.016	0.000	0.893	0.033	0.002	1.264	0.028	0.000	0.904	0.006	0.000
	同向擦撞	1.036	0.017	0.038	0.807	0.013	0.000	1.101	0.037	0.010	0.833	0.007	0.000
	行人有關	0.878	0.079	0.123	0.721	0.064	0.000	0.916	0.067	0.182	0.731	0.017	0.000
	其他	1.398	0.020	0.000	1.043	0.046	0.262	1.451	0.068	0.000	1.025	0.018	0.252
肇事原因 (個別)	違反號誌管制	0.750	0.012	0.000	0.848	0.018	0.000	0.711	0.007	0.000	0.806	0.009	0.000
	未依規定讓車	0.714	0.006	0.000	0.701	0.009	0.000	0.743	0.005	0.000	0.699	0.009	0.000
	轉彎未依規定	0.848	0.010	0.000	0.771	0.023	0.000	0.840	0.014	0.000	0.751	0.003	0.000
	違反標線 (誌)管制	1.366	0.041	0.000	0.953	0.019	0.021	1.423	0.388	0.220	1.004	0.046	0.386
	未保安全間隔	0.993	0.028	0.386	0.902	0.028	0.001	1.054	0.130	0.366	0.924	0.030	0.003
	未保安全距離	1.298	0.027	0.000	0.956	0.017	0.015	1.333	0.067	0.000	0.962	0.011	0.000
	其他肇因	1.128	0.006	0.000	0.971	0.030	0.252	1.153	0.009	0.000	1.000	0.015	0.387

違規肇事案件中，多數的違規肇事情形均有下降的趨勢，基本上也是科技執法的主要執法項目，包含「未依號誌行駛」、「未依規定讓車」、「轉彎未依規定」等，均交通事故件數明顯下降 15% 到 30%。然而「違反標誌標線管制」、「未保持安全距離」，以及其他的違規肇事案件數，在目標路口本身，實施科技執法後反而有增加的現象，包含「其他」和「未注意車前狀況」案件，可能是駕駛人對於有科技法的違規項目較為謹慎，而忽略其他可能的違規駕駛行為。但與對照路口相比，則仍有下降的趨勢，是否為科技執法的外溢效用，造成其他無科技執法路口因而違規肇事較多，或整體交通環境使然，仍應進一步研究。

五、結論與建議

5.1 結論

推動道路交通安全，降低交通事故的發生，必須先了解各種道安相關策略，包含工程、執法或教育的改善措施，對於事故防制的成效，藉以確認政策或改善作為有效益，並藉以研擬或推廣具體有效的方案。本研究以臺南市實施的路口多功能科技執法為案例，應用不同的事前事後比較方法，包含單純直接事前事後比較、對照組比較，以及再分別以經驗貝式統計方法，分析科技執法對於路口交通事故發生頻次的影響情形，並以前後事故件數差異及比率，作為交通安全指數，進行統計比較分析，研究結果發現，採用單純比較法和經驗貝式比較法（單純），交通事故件數並無顯著的差異，應用交通安全指數分析，事故的比率甚至有顯著增但，使用對照組比較法和對照實組證貝式比較法，路口交通事故件數和比率，在使用科技執法設備後，均顯著下降。

針對主要交通事故撞擊型態及肇因的變化情形分析，可發現不論何種分析方法，路口實施科技執法後，「側撞」（含左轉側撞）事故的件數和比率都顯著的減少，「違反號誌管制」、「未依規定讓車」、「轉彎未依規定」等違規肇因案件數和比率，也有顯著的降低。然而「追撞」型態及「未保持安全距離」的事故件數和比率，在採用單純直接比較法均有增加的現象，但使用對照組比較法，實施科技執法路口相對的追撞事故比率則有減少的現象，相較於其他鄰近無科技執法路口的追撞事故件數，相對較少。而其他撞擊型態事故和肇因，則有顯著的增加，顯示實施科技執法後，交通事故的型態和肇因會有轉移到為非執法項目的肇因或型態的現象。

5.2 建議

路口實施科技執法後，針對科技執法的項目，如「違反號誌管制」、「未依規定轉彎」等違規肇事件數皆有顯著的降低，駕駛人也較路權觀念，而降低路口側撞、左轉側撞的事故型態件數，但整體而言，交通事故的件數並無顯著變化，反而轉移到其他事故型態和肇因，特別是「追撞」事故，以及「未保持安全距離」的肇因，在單純的事前事後交通事故件數比較反而是增加的，此點實際上是與其他文獻針對闖紅燈照相執法系統的影響一致，主因是駕駛人對於號誌的轉換燈號更為敏感，而會有急煞的情形發生。然而採用對照組的比較方法發現，相較於鄰近無科技執法的路口，「追撞」事故則呈現下降的趨勢，顯示鄰近路口的「追撞」事故也呈現增加的現象，有可能是整體交通環境改變，使整體交通事故件數增加，也有可能是科技執法的外溢效應，致使車輛駕駛人對於路口號誌轉換的反應，不論是否有科技執法，都較為敏感，駕駛人的猶豫區間可能有所改變，建議實施科技執法後，號誌的轉換時段，包含黃燈和全紅，都必須重新檢視調整，以防制「追撞」事故型態發生。

由於本研究並未納入 A3 的財損事故資料，而難以全般了解實施科技執法的實際效益，建議後續研究能納入 A3 事故，並進行較長期的觀測和評估，且針對因而轉移的其他肇事型態和肇因，持續的滾動檢討執法項目、方式和地點，及必要的交通工程的調整，期能發揮科技執法防制交通事故功能。

六、參考文獻

- Elvik, R., (1997). Effects on accidents of automatic speed enforcement in Norway. *Transport. Res. Record*, No. 1595, pp. 14–19.
- Elvik, R., (2002). The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures. *Accid. Anal. Prev.* 34 (5), 631–635.
- Hauer, E., 1997. *Observational Before–after Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Pergamon Press/Elsevier Science Ltd., Oxford/UK.
- Hauer, E., Harwood, D.W., Council, F.M., Griffith, M.S., (2002). Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. *Transport. Res. Record*. 1784,126–131.
- McGee, H.W., Eccles, K.A., 2003. Impact of red light camera enforcement on crash experience. In: *NCHRP Synthesis 310*. National Research Council, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Persaud, B., Council, F.M., Lyon, C., Eccles, K., Griffith, M., 2005. Multijuris-dictional safety evaluation of red light cameras. *Transport. Res. Record* 1922, 29–37.
- Pilkington, P., Kinra, S., 2005. Effectiveness of speed cameras in preventing road traffic collisions and related casualties: systematic review. *Br. Med. J.* 330 (7487), 331–334.
- Retting, R.A., Ferguson, S.A., Hakkert, A.S., 2003. Effects of redlight cameras on violations and crashes: a review of the international literature. *Traffic Inj. Prev.* 4 (1), 17–23.
- Retting, R.A., Kyrychenko, S.Y., 2002. Reduction in injury crashes associated with red light camera enforcement in Oxnard, California. *Am. J. Public Health* 92 (11), 1822–1825.
- Sahai, H., Misra, S.C., 1992. Comparing means of two Poisson distributions. *Math. Sci.* 17, 60–67.
- Shin, K., Washington, S., (2007). The impact of red-light cameras on safety in Arizona. *Accid. Anal. Prev.* 39, 1212–1221.
- Shin, K., Washington, S. and van Schalkwyk, Ida, (2009). Evaluation of the Scottsdale Loop 101 automated speed enforcement demonstration program, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol. 41.

