

## 高速公路安全績效函數初探： 以國道五號蔣渭水高速公路為例

陳躍翔<sup>1</sup>

吳宗修<sup>2</sup>

### 摘 要

交通事故發生數、嚴重程度及事故率等，為民眾及政府主管機關評價道路行車安全良窳之重要指標；但這些指標存有缺乏曝光量(exposure)及統計迴歸效應(regression-to-the-mean)等問題，難以有效判斷或預測行車安全績效。美國州際公路與運輸官員協會(AASHTO)於 2010 年發表第 1 版公路安全手冊，提出具有科學基礎之分析技術，運用量化方式評估道路行車安全。國道五號蔣渭水高速公路自 2006 年 6 月 16 日逐段通車後，有效縮短往來大臺北及宜蘭旅程及旅行時間，通行輛次逐年提高，依據國道五號頭城收費站紀錄，自 2007 年計通過 1,425 萬 6,869 輛次、至 2013 年計通過 1,907 萬 4,092 輛次，平均年增 76 萬 1,671 輛次或 4.69%；伴隨著通行量逐年提高，空氣汙染、壅塞、流量管理、災害防處及行車安全等問題，亦漸成為公眾所關心之議題。本研究針對 2012 年至 2015 年國道五號各路段傷亡事故發生數、交通量、路段長度、車道寬度及速限等資料，運用美國公路安全手冊建議之評估安全績效方式，建立國道五號安全績效函數。依美國公路安全手冊及相關研究，行車事故發生數符合負二項式分配(negative binomial distribution)性質，故本研究運用負二項式迴歸模型，分析國道五號各路段傷亡事故發生數。依據迴歸模型參數校估結果，各路段年平均日交通量之自然對數值  $\ln(\text{AADT})$ 、路段長度及車道寬度等，對於傷亡事故發生數有顯著影響( $p < 0.05$ )，且函數模型有較佳之配適結果，惟速限及是否行駛於雪山隧道路段等因素，對於傷亡事故發生數無顯著影響。綜上，運用國道五號各路段年平均日交通量、路段長度及車道寬度等資料，以及本研究所得安全績效函數參數校估結果，可模化及預測國道五號傷亡事故發生數，並得作為後續分析評估各項交通措施，對於行車安全影響程度之重要基礎。

**關鍵字：**國道五號、安全績效函數、公路安全手冊、SPF

### 一、前言

臺灣本島總面積為 3 萬 5,882 平方公里(內政部地政司，2015)，其中平地僅占本島總面積約 3 分之 1，大部分集中於西部沿海地區，其餘部分屬山地及丘陵地形，主要分布於本島中部及東部，整體而言地形海拔起伏落差顯著；於此特殊地理環境下，臺灣孕育具多樣性之生態，亦支配生活於此之民眾人

<sup>1</sup> 交通大學運輸與物流管理學系博士班研究生、臺北市政府警察局警務正。

<sup>2</sup> 交通大學事故鑑定研究中心執行長(聯絡地址：30010 新竹市大學路 1001 號運輸與物流管理學系，電話：03-5731998，E-Mail: thwoo@g2.nctu.edu.tw)。

口分布、生活型態及經濟活動。依據內政部戶政司統計，截至2014年底臺灣本島約95.6%戶籍人口集中於西半部，僅有4.4%戶籍人口登記於宜蘭縣、花蓮縣及臺東縣等東部縣市(內政部戶政司，2015)，另與民眾生活與經濟產業活動息息相關之重大交通建設，如高速公路、高速鐵路、商港及都市捷運系統等，亦集中於臺灣本島西部縣市，東部則以仰賴鐵路、省縣道及航空等運輸方式。政府為平衡臺灣本島東西部發展，改善省道台2線(北部濱海公路)及台9線(北宜公路)受限於雪山山脈阻隔及海岸線公路迂迴等影響運輸效能等因素，交通部於1989年核定興建高速公路，定名為蔣渭水高速公路，編號為國道五號，又稱北宜高速公路(以下簡稱國道五號)。國道五號於2006年6月16日正式通車，北起臺北市境內南港系統交流道與國道三號連接，以高架及隧道方式行經新北市坪林、石碇等多山地形區域，續以雪山隧道穿越雪山山脈，南迄宜蘭縣境內蘇澳交流道，沿途共設7處交流道，總長度約54.3公里；國道五號正式開通後，減緩東部地區與北部之地理限制阻隔，有效縮短往來旅運時間、提升疏運效能，亦驗證我國具有領先國際之交通運輸工程技術。

國道五號正式開通後，因有效縮短往來大臺北及宜蘭花東旅程及旅行時間，故通行輛次逐年提高，依據國道五號頭城收費站紀錄，自2007年通過1,425萬6,869輛次、至2013年通過1,907萬4,092輛次(交通部，2015)，平均年增76萬1,671輛次或4.69%，但伴隨著國道五號通行量提高，空氣汙染、壅塞、流量管理、災害防處及行車安全等問題逐漸成為公眾議題。其中行車安全評估與比較，仍以傳統之交通事故發生數前後期比較、事故嚴重程度、事故率、駕駛者主觀認知或新聞大眾媒體報導等方式進行評價，尚無運用符合科學原理或統計方法，予以數據化客觀校估、模化及預測，亦無法進一步針對各項交通管理措施對於安全之交互影響，提出有力支持或反駁。

交通事故本質上屬於稀少性隨機事件(rare random event)，且事故發生數具有高度統計迴歸效應(regression-to-the-mean)，即短期事故發生統計數據，隨時間呈現隨機波動起伏、長期趨於事故發生數期望值之現象(AASHTO, 2010)，故短期評估某項交通措施執行前、後之事故發生數，無法客觀明確地評估該措施對於交通安全之長期效果或影響。另一方面，單純事故發生數及事故嚴重程度比較，亦未將曝光量(exposure)因素納入考量，而導致錯估交通安全之良窳，如單純將不同交通量路段之事故發生數進行比較，雖低交通量之路段事故數較少，仍不能明確推論該低交通量路段行車較為安全。美國非官方州際公路與運輸官員協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)於2010年發表第1版公路安全手冊(Highway Safety Manual, HSM)，提出具有科學基礎之分析技術，運用統計量化方式進行道路安全、運輸經營、環境衝擊及投資效益等事項進行評估，建立路點、路段或路網之安全績效函數(safety performance functions, SPFs)，包含特定期間、幾何設計、交通控制及曝光量等變數，函數校估結果可運用於預測特定條件下之交通事故發生數或發生頻次期望值(AASHTO, 2010)。

本研究以國道五號為研究對象，針對2012年至2015年於國道五號發生之傷亡事故，以及傷亡事故發生當時之交通量、道路設計、速限管理等因素，建立國道五號安全績效函數，以模化及預測國道五號傷亡事故發生數。

## 二、研究方法

### 2.1 安全績效函數(safety performance functions, SPFs)

安全績效函數為可用運於預估某特定路點、路段或路網之期望碰撞事故發生頻次之統計基礎模型(AASHTO, 2010)，藉由長期觀察蒐集發生事故之路點、路段或路網之道路特徵、組態及交通量等，與碰撞事故具有關聯性之資料，於碰撞事故發生頻次或發生數符合負二項式分配(negative binomial distribution, NB)前提下，運用統計學上複迴歸技術(multiple regression technique)進行參數校估及變數顯著性判斷。此安全績效函數基本上由研究路段年平均日交通量(AADT)、路段長度等參數所組成，當對於不同道路特徵及組態進行安全性研究時，可再納入其他相關變數，如道路寬度、有無照明、有無轉彎專用車道等，同時進行安全績效函數模型校估(AASHTO, 2010)。

依據公路安全手冊及學者 Srinivasan 研究(Srinivasan et al., 2013)，發展安全績效函數之建議方式及步驟如下：

1. 確認道路類型。必須先行確認道路等級及分析類型，確認使用何種規模等級之安全績效函數分析方式，如進行專案分析(project-level analysis)或進行路段、路網分析。
2. 取得及彙整必要資料。依據道路等級及分析類型取得必要資料，如年平均日交通量(AADT)、事故發生數、事故嚴重程度及事故相關變數資料，並且確認分析樣本數。
3. 初步判斷安全績效函數分配形式，如負二項式分配、卜瓦松分配(Poisson distribution)或伽瑪分配(gamma distribution)等。依據公路安全手冊及相關研究，負二項式分配之配適結果較為良好。
4. 安全績效函數參數校估。可運用統計軟體進行函數校估及判斷變數顯著性。
5. 診斷安全績效函數校估結果，如利用殘差圖或累積殘差圖檢視殘差值，或使用適當統計技巧檢視極端值，以及進行函數配適度分析。
6. 依據函數診斷結果，再次修正安全績效函數，重複步驟5及步驟6獲得有效之安全績效函數。

安全績效函數為建立事故發生數(頻次)與交通量、道路幾何特徵及相關影響因子之關聯性，以預測平均或期望碰撞事故發生數(頻次)。校估安全績效函數，最常運用廣義線性模型中負二項式迴歸(GLM with NB model)，以控制事故發生數計數資料變數(count variable)過度離勢現象(overdispersion)(Naznin et al., 2016)；另可依據解釋變數之個數，區分為單一解釋變數之簡單安全績效函數(simple safety performance function)及多解釋變數之完整安全績效函數(full safety performance function)，其中簡單安全績效函數模型以交通量為單一解釋變數，完整安全績效模型除包含交通量外，再加入道路幾何設計、路段長度、速限等與事故發生數相關之解釋變數，經研究發現，完整安全績效模型有較佳之模型配適結果(Naznin et al., 2016)。以負二項迴歸模

型配適安全績效函數之函數型式如下(AASHTO, 2010; Park et al., 2016)：  
簡單安全績效函數模型(simple safety performance function)：

$$N_{\text{predicted},i} = \exp [\beta_0 + \beta_1 \ln(\text{AADT}_i)] \quad (1)$$

完整安全績效函數模型(full safety performance function)：

$$N_{\text{predicted},i} = \exp [\beta_0 + \beta_1 \ln(\text{AADT}_i) + \sum_{n=2}^k \beta_n X_{ni}] \quad (2)$$

## 2.2 負二項式迴歸(Negative binomial regression, NB)

交通事故可視為交通運行中進行試驗的結果，發生事故(成功)、未發生事故(失敗)，可依伯努利分配(Bernoulli distribution)表示，如公式(3)，若重複觀察某路段交通運行狀況事故發生數 $X$ ，即重複進行 $n$ 次交通運行試驗，可將事故發生數 $k$ 之機率分配，以二項式分配表示，如公式(4)，若進一步長期觀察某路段交通運行狀況事故發生數 $X$ ，即重複進行無限多次交通運行試驗，可將事故發生數 $k$ 之機率分配，以卜瓦松分配(Poisson distribution)表示，如公式(5)，但卜瓦松分配必須服從隨機變數之期望值 $\lambda$ 與變異數 $\sigma^2$ 相等( $\lambda = \sigma^2$ )之假設(Hilbe, 2011)。

$$f(x) = p^x(1-p)^{1-x} \quad (3)$$

其中： $p$ 為發生事故(成功)之機率

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)} = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^k \quad (4)$$

其中： $p$ 為發生事故(成功)之機率、 $q$ 為未發生事故(失敗)之機率( $p + q = 1$ )、 $n$ 為試驗次數、 $k$ 為事故發生數

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} [P(X = k) = \binom{n}{k} p^k q^{(n-k)}] &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{\lambda}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{n-k} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n-1) \dots (n-k+1) \lambda^k}{k! n^k} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} \\ &= \frac{\lambda^k}{k!} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda}{n}\right)^{-k} = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \sim \text{Poisson}(\lambda) \quad (5) \end{aligned}$$

其中： $p$ 為發生事故(成功)之機率、 $q$ 為未發生事故(失敗)之機率( $p + q = 1$ )、 $n$ 為試驗次數、 $k$ 為事故發生數、 $\lambda$ 為平均(期望)事故發生數( $\lambda = np$ )

卜瓦松分配必須服從隨機變量之期望值 $E(X)$ 與變異數 $V(X)$ 相等( $E(X) = V(X) = \lambda$ )之特性。但因交通事故之稀少性及隨機性，某路段特定期間內事故發生平均數與變異數難以相等，而呈現事故發生數變異數 $V(X)$ 大於期望值 $E(X)$ 之過度離勢狀況；如以2012年至2015年發生於國道五號之傷亡事故統計數為例，每年平均發生23.5件傷亡事故、傷亡事故變異數為69.67件、傷亡事故數之變異數大於平均數，未能符合卜瓦松分配特性，事故發生數之機率分配，不宜以卜瓦松分配進行後續分析。

負二項式分配克服未能符合卜瓦松分配期望值與變異數相等之要求(Shankar et al., 1995; Abdel-Aty and Radwan, 2000; Washington et al., 2010)。負

二項式分配定義為進行一連串獨立且不相關之伯努利試驗，於第 $r$ 次試驗成功前試驗失敗次數之分配，其數學推導結果為卜瓦松分配及伽瑪分配混合模型(Poisson-gamma mixture model)，符合負二項式分配隨機變量之變異數為 $\mu + \mu^2/v$ 或 $\mu + \alpha\mu^2$ ，其中 $\mu$ 為卜瓦松分配之變異數(或期望值)、 $\mu^2/v$ 或 $\alpha\mu^2$ 為伽瑪分配之變異數， $v$ 或 $1/\alpha$ 為伽瑪分配之形狀參數(gamma shape parameter)、 $\alpha$ 為離勢參數(overdispersion parameter)，可修正隨機變量變異數 $V(X)$ 大於期望值 $E(X)$ 、過度離勢之問題。此外，可將卜瓦松分配視為負二項式分配之特例，當離勢參數 $\alpha = 0$ 時，負二項式分配即降階為卜瓦松分配(Hilbe, 2011)。

負二項式迴歸模型運用最大概似函數(maximum likelihood function)或廣義線性模型(generalized linear models, GLMs)進行參數校估。廣義線性模型必須選用適當之連結函數(link function)，以建立解釋變數 $x'\beta$ 與擬合值 $\mu$ 或 $\hat{y}$ 之線性關係，負二項式迴歸模型之連結函數為自然對數 $\ln(\mu) = x'_i\beta = \eta_i$ 、反連結函數為 $\mu = \exp(x'_i\beta) = \exp(\eta_i)$ ，可運用牛頓法(Newton-Raphson maximum likelihood)或迭代再加權最小平方法(iteratively re-weighted least squares, IRLS)進行廣義線性模型校估(Hilbe, 2011)。

### 三、研究資料處理與分析

#### 3.1 研究資料處理

本研究使用2012年至2015年國道五號傷亡事故(含A1類及A2類事故)為研究資料，以相接鄰之兩交流道間路段及交流道至隧道口路段(不分南北向總和計算)為分析路段，共分為八段；各路段傷亡事故數統計如表1。2012年至2015年國道五號總計發生94件傷亡事故，其中以雪山隧道內及頭城交流道至宜蘭交流道路段，累計發生傷亡事故數為最高，計17件；單一年度及單一路段傷亡事故數，以2015年雪山隧道內發生8件為最高，2015年羅東交流道至蘇澳交流道未發生傷亡事故。

表 1 2012 年至 2015 年國道五號各路段傷亡事故數統計

路段	2012	2013	2014	2015	總計	平均
南港系統-石碇交流道	4	3	6	3	16	4.00
石碇交流道-坪林行控專用道	2	2	4	5	13	3.25
坪林交流道-雪山隧道北口	1	1	1	2	5	1.25
雪山隧道內	2	3	4	8	17	4.25
雪山隧道南口-頭城交流道	1	2	1	4	8	2.00
頭城交流道-宜蘭交流道	1	3	6	7	17	4.25
宜蘭交流道-羅東交流道	1	4	3	5	13	3.25
羅東交流道-蘇澳交流道	3	1	1	0	5	1.25
總計	15	19	26	34	94	23.5

交通資料部分，各研究路段之里程範圍，取自國道高速公路局公布之交流道服務區里程一覽表(國道高速公路局，2016a)及隧道里程查詢(國道高速公路局，2016b)、路段長度為相接鄰上下游端交流道或隧道口里程相減後取絕對值，車道寬度自南港系統至頭城交流道(南港頭城段)為3.5公尺、頭城交

流道至蘇澳交流道(頭城蘇澳段)車道寬度為3.65公尺，速限部分自南港交流道至雪山隧道北口為80公里/小時、雪山隧道北口至蘇澳交流道為90公里/小時，彙整如表2；各路段年平均日交通量(AADT)，取自國道高速公路局公布之交通量參考值(國道高速公路局，2016c)，如表3及表4。

本研究使用R-software 3.30版為統計軟體，配合MASS套件模組(含廣義線性模型負二項式迴歸指令glm.nb)進行分析。

表 2 國道五號各路段里程範圍、路段長度、車道寬及速限

編號	路段	里程範圍 (公里)	長度 (公里)	車道寬 (公尺)	速限 (公里/小時)
1	南港系統-石碇交流道	0 - 4	4	3.5	80
2	石碇交流道-坪林行控專用道	4 - 14	10	3.5	80
3	坪林交流道-雪山隧道北口	14 - 15	1	3.5	80
4	雪山隧道內	15 - 28	13	3.5	90
5	雪山隧道南口-頭城交流道	28 - 30	2	3.5	90
6	頭城交流道-宜蘭交流道	30 - 38	8	3.65	90
7	宜蘭交流道-羅東交流道	38 - 47	9	3.65	90
8	羅東交流道-蘇澳交流道	47 - 54	7	3.65	90

表 3 2012 年至 2015 年國道五號各路段年平均日交通量(AADT)資料-北上

路段	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
南港系統-石碇交流道	31,422	32,081	33,731	33,289
石碇交流道-坪林行控專用道	29,770	31,049	32,823	32,373
坪林交流道-雪山隧道北口	27,674	28,503	30,031	29,411
雪山隧道內	27,674	28,503	30,031	29,411
雪山隧道南口-頭城交流道	27,674	28,503	30,031	29,411
頭城交流道-宜蘭交流道	23,902	24,709	24,126	29,411
宜蘭交流道-羅東交流道	18,559	18,266	17,642	18,288
羅東交流道-蘇澳交流道	9,663	9,126	8,368	8,687

表 4 2012 年至 2015 年國道五號各路段年平均日交通量(AADT)資料-南下

路段	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
南港系統-石碇交流道	29,411	29,807	31,033	29,987
石碇交流道-坪林行控專用道	29,229	30,325	31,869	31,482
坪林交流道-雪山隧道北口	27,730	29,111	29,914	29,247
雪山隧道內	27,730	29,111	29,914	29,247
雪山隧道南口-頭城交流道	27,730	29,111	29,914	29,247
頭城交流道-宜蘭交流道	23,834	24,940	24,522	24,486
宜蘭交流道-羅東交流道	19,685	20,495	19,150	19,676
羅東交流道-蘇澳交流道	9,854	9,598	9,049	9,648

## 3.2 研究模型假設與模型選擇方式

### 3.2.1 研究模型假設

本研究針對國道五號各路段年平均日交通量、路段長度、速限、車道寬度以及是否進入雪山隧道等因素，對於傷亡事故發生數之影響程度，運用負二項式迴歸模型進行分析。迴歸模型應變數(independent variable)為傷亡事故發生數，屬計數變數(count variable)；自變數包含路段年平均日交通量、路段長度、速限、車道寬度及是否進入雪山隧道等，其中路段年平均日交通量及路段長度以連續變數(continuous variable)進入模型求解，速限、車道寬度及是否進入雪山隧道等，依國道五號各路段實際狀況，以類別變數(categorical variable)進入模型求解，類別變數設定如下：速限(80 公里/小時 = 0、90 公里/小時 = 1)、車道寬度(3.5 公尺 = 0、3.65 公尺 = 1)、是否進入雪山隧道(隧道外 = 0、隧道內 = 1)。模型及假設說明如下：

#### 模型I：建立曝光量與傷亡事故發生數之關係

模型I-1：建立年平均日交通量與傷亡事故發生數之關係。

假設：當交通量提高時曝光量增加，傷亡事故發生數提高。

模型I-2：建立年平均日交通量、路段長度與傷亡事故發生數之關係。

假設：當交通量提高、路段長度增加時曝光量增加，傷亡事故數提高。

模型I-3：建立延車公里數(年平均日交通量\*路段長度)與傷亡事故發生數之關係

假設：當延車公里數提高時曝光量增加，傷亡事故數提高。

#### 模型II：建立曝光量、速限、車道寬度、雪山隧道內外等因子與傷亡事故發生數之關係

模型II-1-1：建立年平均日交通量、路段長度、速限、車道寬度與傷亡事故發生數之關係。

模型II-1-2：建立延車公里數、速限、車道寬度與傷亡事故發生數之關係。

假設：交通量及路段長度不變時，當速限提昇、車道寬度增加，傷亡事故數提高。

模型II-2-1：建立車輛進入雪山隧道後，發生傷亡事故風險之關係，曝光量資料使用年平均日交通量及路段長度。

假設：當車輛進入雪山隧道後，發生傷亡事故數提高。

模型II-2-2：建立車輛進入雪山隧道後，發生傷亡事故風險之關係，曝光量資料使用延車公里數。

假設：當車輛進入雪山隧道後，發生傷亡事故數提高。

### 3.2.2 模型選擇方式

本研究模型選擇方式以赤池信息量準則(Akaike information criterion, AIC)為判斷標準，此方法由學者日本學者赤池弘次(Hirotsugu Akaike)於1974年發表，目前已廣泛應用於判斷或挑選配適模型，以避免變數過多而誤判過

度配適(overfitting)結果為較佳之模型，AIC值為取得變數個數與最大概似函數值之平衡，即模型變數少但可獲得良好之概似函數值，則該模型具有較佳之配適結果。運用AIC值進行模型選擇時，AIC值較小之模型為較佳之選擇，AIC值計算方式如公式(6)(Park et al., 2016)：

$$AIC = 2k - 2 \ln(L) \quad (6)$$

其中：k為模型中變數個數、L為模型最大概似函數值(maximum value of the likelihood function)

## 四、結果與討論

### 4.1 模型迴歸結果與討論

國道五號傷亡事故安全績效函數以負二項式迴歸分析結果，分就模型I及模型II說明及討論如下：

#### 模型I：建立曝光量與傷亡事故發生數之關係

國道五號傷亡事故發生數為應變數，依公路安全手冊建議之簡單安全績效函數型式，將年平均日交通量自然對數值  $\ln(AADT)$  為自變數，運用負二項式迴歸模型分析結果，如表 5，其中年平均日交通量自然對數值  $\ln(AADT)$  對傷亡事故發生數有顯著正向影響( $p < 0.05$ )。依據迴歸結果顯示，若該路段年平均日交通量自然對數值每增加 1 個單位，傷亡事故數增加約 1.18 倍 [ $\exp(0.7794)-1$ ]。

表 5 模型 I-1：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(1)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-7.5095	3.7881	-1.982	0.0474**
$\ln(AADT)$	0.7794	0.3727	2.091	0.0365**

$AIC = 204.63$ ,  $2\log\text{-likelihood} = -198.628$ ,  $*p < 0.1$ ,  $**p < 0.05$ ,  $***p < 0.01$

進一步以年平均日交通量自然對數值及路段長度為自變數，續運用負二項式迴歸模型分析結果，如表 6，其中年平均日交通量自然對數值及路段長度，對傷亡事故發生數均有顯著正向影響( $p < 0.05$ )。依據迴歸結果顯示，若路段年平均日交通量不變之狀況下，路段長度每增加 10 公里，傷亡事故發生數增加約 0.97 倍 [ $\exp(10*0.0676)-1$ ]；若路段長度不變之狀況下，該路段年平均日交通量自然對數值每增加 1 個單位，傷亡事故數增加約 1.34 倍 [ $\exp(0.8490)-1$ ]。

表 6 模型 I-2：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(2)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-8.7011	3.8064	-2.286	0.0223**
$\ln(AADT)$	0.8490	0.3731	2.276	0.0229**
路段長度	0.0676	0.0280	2.414	0.0157**

$AIC = 201.01$ ,  $2\log\text{-likelihood} = -193.012$ ,  $*p < 0.1$ ,  $**p < 0.05$ ,  $***p < 0.01$

再以各路段之延車公里數自然對數值  $\ln(\text{路段年平均日交通量} \times \text{路段長度})$  為自變數，運用負二項式迴歸模型分析結果，如

表 7，其中延車公里數自然對數值，對傷亡事故發生數有顯著正向影響( $p < 0.01$ )。依據迴歸結果顯示，若某路段延車公里數自然對數值每增加 1 個單位，傷亡事故數增加約 0.64 倍 $[\exp(0.4917)-1]$ 。

表 7 模型 I-3：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(3)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-5.4587	1.7723	-3.080	0.0021***
$\ln(\text{延車公里數})$	0.4917	0.1474	3.336	0.0009***

AIC = 198.39, 2log-likelihood = -192.386, \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

#### 模型II：建立曝光量、速限、車道寬度、行駛於雪山隧道內外與傷亡事故發生數之關係

國道五號傷亡事故發生數為應變數，除年平均日交通量及路段長度為自變數外，納入速限及車道寬度等變數，其中速限及車道寬度為類別變數，分別以速限 80 公里、車道寬 3.5 公尺為比較參考基礎(base,  $x = 0$ )，另以路段延車公里數，取代路段年平均日交通量及路段長度進行分析。負二項式迴歸模型分析結果，如表 8 及

表 9，其中模型 II-1-1 之路段年平均日交通量自然對數值( $p < 0.01$ )、路段長度( $p < 0.05$ )及車道寬( $p < 0.05$ )，對傷亡事故發生數有顯著正向影響，但速限對於傷亡事故發生數影響不顯著；模型 II-1-2 之延車公里( $p < 0.01$ )，對傷亡事故發生數有顯著正向影響，但速限及車道寬度對於傷亡事故發生數影響均不顯著。依據模型 II-1-1 迴歸結果顯示，於其他變數不變之狀況下，當車道寬度自 3.5 公尺增加至 3.65 公尺，傷亡事故數增加約 0.98 倍 $[\exp(0.6863)-1]$ 。

表 8 模型 II-1-1：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(4)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-17.3523	6.6804	-2.598	0.0093***
$\ln(\text{AADT})$	1.6691	0.5735	2.911	0.0036***
路段長度	0.0597	0.0304	1.966	0.0492**
速限(90KMH) (80KMH 為基礎)	0.0165	0.0295	0.056	0.9555
車道寬(3.65M) (3.5M 為基礎)	0.6863	0.3399	2.019	0.0435**

AIC = 200.53, 2log-likelihood = -188.529, \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

表 9 模型 II-1-2：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(5)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-5.5267	1.8157	-3.044	0.0023***
ln(延車公里)	0.4995	0.1513	3.300	0.0001***
速限(90KMH) (80KMH 為參考基礎)	-0.07371	0.2902	-0.254	0.7995
車道寬(3.65M) (3.5M 為參考基礎)	0.0586	0.2901	0.202	0.8400

AIC = 202.32, 2log-likelihood = -192.318, \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

續加入是否進入雪山隧道路段自變數，以未進入雪山隧道為比較參考基礎(base,  $x = 0$ )，另以路段延車公里取代路段年平均日交通量及路段長度變數，進行分析。負二項式迴歸模型分析結果，如表10及

表11，其中模型II-2-1除年平均日交通量自然對數值( $p < 0.01$ )對傷亡事故發生數有顯著正向影響，其餘路段長度、速限、車道寬、是否進入雪山隧道路段，對於傷亡事故發生數未達顯著影響水準；模型II-2-2之路段延車公里自然對數值( $p < 0.01$ )，對傷亡事故發生數有顯著正向影響，但速限、車道寬度是否進入雪隧，對於傷亡事故發生數影響均不顯著。

表 10 模型 II-2-1：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(6)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-17.3322	5.9119	-2.932	0.0034***
ln(AADT)	1.6866	0.5744	2.936	0.0033***
路段長度	0.0477	0.0469	1.018	0.3088
速限(90KMH) (80KMH 為基礎)	-0.0917	0.4410	-0.208	0.8353
車道寬(3.65M) (3.5M 為參考基礎)	0.8306	0.5504	1.509	0.1313
進入雪山隧道 (未進入雪山隧道為參考基礎)	0.2280	0.6805	0.335	0.7375

AIC = 202.41, 2log-likelihood = -192.414, \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

表 11 模型 II-2-2：國道五號傷亡事故安全績效函數參數校估結果(7)

變數(Variable)	校估參數( $\beta$ )	標準誤(SE)	z 值(z-value)	p 值(p-value)
常數項	-6.2770	2.3220	-2.682	0.0073***
ln(延車公里)	0.5582	0.1933	2.887	0.0034***
速限(90KMH) (80KMH 為參考基礎)	0.1054	0.4583	0.230	0.8181
車道寬(3.65M) (3.5M 為參考基礎)	-0.1183	0.4506	-0.262	0.7929

進入雪山隧道 (未進入雪山隧道為參考基礎)	-0.2917	0.5838	-0.500	0.6173
--------------------------	---------	--------	--------	--------

AIC = 204.07, 2log-likelihood = -192.071 \*p < 0.1, \*\*p < 0.05, \*\*\*p < 0.01

## 4.2 模型選擇結果與討論

前點針對交通量、路段長度、速限、車道寬度及是否進入雪山隧道對於傷亡事故數之影響，運用負二項式迴歸分析結果，共得 7 組傷亡事故發生數迴歸模型，續以 AIC 值選擇具有較佳配適之安全績效函數，比較如下表 12 依據 AIC 值判斷結果，若僅考量曝光量之安全績效函數，以模型 I-3 為最佳配適模型(AIC 值最小)、若考量曝光量及其他可能影響傷亡事故變數之績效函數，以模型 II-1-1 為最佳配適模型(AIC 值最小)。依據負二項式迴歸結果及模型配適選擇結果，國道五號安全績效函數如下：

### 1. 僅考量曝光量

$$N_{\text{傷亡事故數,路段}} = \exp [-5.4587 + 0.4917 * \ln(\text{延車公里})] \quad (7)$$

### 2. 考量曝光量及其他影響因子

$$N_{\text{傷亡事故數,路段}} = \exp [-17.3523 + 1.6691 * \ln(\text{AADT}) + 0.0597 * \text{路段長度} + 0.6863|\text{車道寬} = 3.65 \text{公尺}] \quad (8)$$

表 12 國道五號傷亡事故數負二項式迴歸模型選擇表

模型代號	主要研究變數	顯著變數	AIC
模型 I-1	曝光量	ln(AADT)	204.63
模型 I-2	曝光量	ln(AADT)、路段長度	201.01
模型 I-3	曝光量	ln(延車公里)	198.39
模型 II-1-1	曝光量及 其他影響因子	ln(AADT)、路段長度、車道寬	200.53
模型 II-1-2	曝光量及 其他影響因子	ln(延車公里)	202.32
模型 II-2-1	曝光量及 其他影響因子	ln(AADT)	202.41
模型 II-2-2	曝光量及 其他影響因子	ln(延車公里)	204.07

## 五、結論與建議

運用負二項式迴歸模型進行傷亡事故數分析，可解決卜瓦松模型過度離勢現象，並能獲得配適結果較佳之事故發生統計模型。本研究以國道五號為研究對象，針對傷亡事故(含 A1 類及 A2 類事故)進行研究，提出單純考量曝光量為影響因子之安全績效函數，以及包含曝光量及車道寬度等因子之安全績效函數。依據研究結果顯示，單純考量曝光量時，若某路段延車公里數自然對數值每增加 1 個單位，傷亡事故數增加約 0.64 倍；若考量路段年平

均日交通量、路段長度及車道寬度時，除路段年平均日交通量及路段長度對傷亡事故數有顯著影響外，當車道寬度由 3.5 公尺提昇至 3.65 公尺時，傷亡事故發生數約增加 0.98 倍，但速限提昇及雪山隧道路段，對於傷亡事故發生數影響不顯著。運用國道五號各路段年平均日交通量、路段長度及車道寬度等資料，以及本研究所得安全績效函數參數校估結果，可模化及預測國道五號傷亡事故發生數，並得作為後續分析評估各項交通措施，對於行車安全影響程度之重要基礎。

本研究僅針對傷亡事故進行研究，建議後續應可加入單純財損事故(A3類事故)及息事事故，進一步確認交通量、車道設計、速度管理或相關管制措施對於國道五號行車安全之影響。

## 參考文獻

- 內政部地政司(2015)，臺灣地區面積及海岸長度，擷取日期：2016年6月25日，網址：<http://sowf.moi.gov.tw/stat/year/y05-17.xls>。
- 內政部戶政司(2015)，人口資料庫，擷取日期：2016年6月25日，網址：[http://www.ris.gov.tw/zh\\_TW/346](http://www.ris.gov.tw/zh_TW/346)。
- 交通部(2015)，統計查詢網：公路-高速公路計次收費通行量-國道5號收費站通行輛次，擷取日期：2016年6月25日，網址：<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100>。
- 國道高速公路局(2016a)，交流道、服務區里程一覽表，擷取日期：2016年6月25日，網址：<http://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=1906>。
- 國道高速公路局(2016b)，隧道里程查詢，擷取日期：2016年6月25日，網址：<http://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=1290>。
- 國道高速公路局(2016a)，日交通量參考值，擷取日期：2016年6月25日，網址：<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=1652>。
- AASHTO(2010), *Highway Safety Manual 1<sup>st</sup> edition*, Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abdel-Aty, M., Radwan, E.(2000), "Modeling traffic accident occurrence and involvement," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 32, pp. 633-642.
- Naznin, F., Currie, G., Logan, D., Sarvi, M.(2016), "Application of a random effects negative binomial model to examine tram-involved crash frequency on route section in Melbourne, Australia," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 92, pp. 15-21.
- Hilbe, J.M.(2011), *Negative Binominal Regression*, New York: Cambridge University Press.
- Park, J. and Abdel-Aty, M.(2016), "Evaluation of safety effectiveness of multiple cross sectional features on urban arterials," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 92, pp. 245-255.
- Shankar, V., Mannering, F.L., Barfield, W.(1995), "Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequency," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 50, pp. 539-553.
- Srinivasan, R., et al.(2013), *Safety performance function decision guide: SPF calibration vs SPF development*, North Carolina: Highway Safety Research Center, University of North Carolina.

Washington, S.P., Karlaftis, M.G., Mannering, F.L.(2010),*Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, Florida: CRC Press.