九十五年道路交通
安全與執法研討會
中華民國95年9月

交通安全分析與改善績效評估方法之研究

管政夫[1]

摘要

交通事故之發生極具機率性，其原因甚為複雜，無論人為因素造成抑或自然環境使然，或者歸過於車輛機械、幾何設計、縱橫斷面、交通流量、車流組成……等都與事故發生之機會有關，交通管理者以及警勤執法者莫不希望事故減少至最低程度，交通安全研究者則欲從事故之現場或者以往資料探索、判讀、解析以提供見解協助促進交通安全。然交通安全之分析是一門專業，交通安全改善與否不能單以事件發生次數增減加以論斷。由於交通安全分析主要目的在於瞭解安全癥結所在以作為改善策略參考，並經一段時日後對改善績效加以評估，基此不同之交通安全分析目的應有不同方法。

評估交通安全狀況，表達方式大都以百萬車公里或登記車輛數、人口數、汽油消量所發生事故次數加以評估，屬短期性交通研究之一種，吾人僅能瞭解狀況之表徵，其內含不得而知，若能應用統計理論做些檢定、估計、變異……等分析，則應有較具深度之見解，其他如各種形式之迴歸，微分方程都是交通分析有力之工具。甚者採用等級檢定變數關係，利用史培爾曼ρ(Spearman's RHO)從事次數趨勢分析。然各種之交通分析首要條件就是資料完整性，一般而言研究者大都使用次級資料(Secondary Data)，使用前需加以檢定以瞭解資料機率分配性質，因事故為機率性之事件並非服從均勻分配(uniform distribution)或單調增加(monotonic-increasing)、單調減少(monotonic-decreasing)。有關於此，統計理論卻也提供我們一些方法。

關鍵字：統計量、一因子、檢定、臨界值

[1]管政夫　中華技術學院 副教授 cfkuan@yahoo.com
台北市南港區115研究院路三段245號　(02)2786-4501　Ext：11

壹、前　言

統計學是一門應用科學，很多的社會、經濟現象都可藉之加以解釋，只是吾人還未習慣此種較有論基之方式。交通安全分析最終目的在於改善交通，廣泛之分析方法參與有助於決策導向，而統計學是一門普遍學科，近似通識，但能加以應用者不普遍，有鑑於此本文從應用方面選擇性的對交通安全進行探討，希冀有所啟發應用統計分析交通。

1.1 研究動機

交通安全分析有助於改善決策釐定，各種分析有其時空背景，然常受資料來源之匱乏或不適性而限制了分析範疇。交通管理者有需一種反向思考，益集各種之資料於平時即需設計完整性之蒐集或調查。俾便利用各種應用統計理論進行分析。

1.2 研究目的

統計是一門應用科學，有助於交通管理者或執法單位了解交通內涵，希冀藉由應用之探討，使交通安全分析更精進，以達到策劃未來以促進交通安全。

1.3 研究方法

應用統計理論分析交通事故，本研究旨在應用統計，分析資料則予簡化或假設資料，以便統計應用說明。基於很多的統計理論都可作為事故分析，如利用史培爾曼 ρ(Pearman’s RHO)從事等級相關分析作為一種之長期趨勢預測等盡可能的加以探討。

1.4 研究內容

以較實用方便之統計方法為宗旨，統計上之卡方檢定中之適合度檢定，機率分配、變異數分析、無母數等級趨勢分析、假設檢定，都很實用於交通安全分析及績效評估，故為本研究內容之主體。其他諸如變量分析或各式迴歸則未列入本文內容。

貳、交通事故資料適合度檢定

任何的交通分析，其各種形式的資料母體，除非已知歸屬於何種機率分配的形式，否則都要自行先予探討，以利後續分析。在機率分配理論中連續之機率分配以常態分配$X \sim N(\mu,\sigma^2)$為中心，離散機率分配以波式分配$X \sim P(\mu)$較為實用，因此在卡方檢定中將以此二種機率分配為例，做適合度檢定(Independence Test)。

2.1 資料來自常態分配之檢定

高速公路自 80 年到 90 年各月發生事故之統計次數分配下；

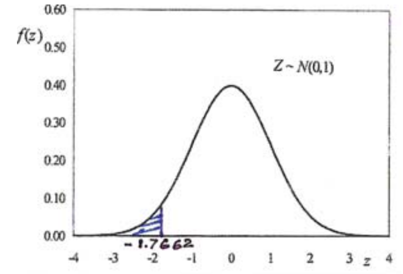
組別 n	次數 Oi
0≦X＜5	3
5≦X＜10	18
10≦X＜15	20
15≦X＜20	32
20≦X＜25	28
25≦X＜30	21
30≦X＜35	8
35≦X＜40	2
total	132

(1)檢定統計量

$$X_0^2=\sum_{i=1}^{n}\frac{(0_i-e_i)^2}{e_i}$$　　n：組數　0i：觀察值　e_i：期望值(理論值)

(2)觀察值與期望值

觀察值為資料統計值，先計算出平均數 $\overline{X}$ 及標準差 S，理論值由各組上下限計算對應機率，再乘 n 即得各組理論次數。



$\overline{X}$ =18.9　S=7.78

P_1=P(0≦X＜5)=P(Z＜$\frac{5-18.9}{7.87}$)=P(Z＜-1.7662)=0.5-0.4613=0.0392

P_1；為常態分配 0 次到 5 次發生機率，係標準化後查表得之。

同理其他組別機率如下

P_2=P(5≦X＜10)=0.0910　　P_3=P(10≦X＜15)=0.1815

P_4=P(15≦X＜20)=0.2460　　P_5=P(20≦X＜25)=0.2257

P_6=P(25≦X＜30)=0.1403　　P_7=P(30≦X＜35)=0.0591

P_8=P(35≦X＜40)=0.0172

理論值 e_i=nPi　n=132

e_1=5.1744　e_2=12.012　e_3=23.958　e_4=32.472

e_5=29.7924　e_6=18.5196　e_7=7.8082　e_8=2.2704

(3)計算統計量

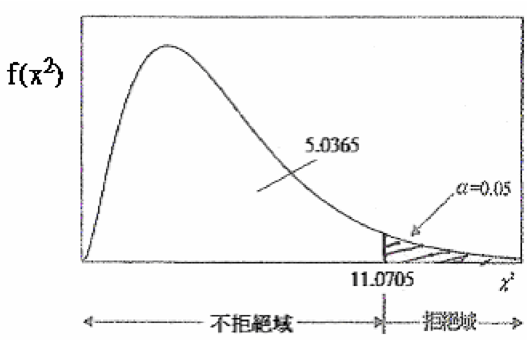
$$X_0^2=\sum_{i=1}^{8}\frac{(0_i-e_i)^2}{e_i}=5.0365$$

(4)　X^2 臨界值(假設顯著水準 α=0.05)

V=k-1-2　　(自由度)

V=8-1-2=5

$X_{0.05}^2(5)$=11.0705　(查 X^2 表)



(5)結論

高速公路 80 年至 90 年間每月發生交通事故之檢定統計量

X_0^2=5.0365＜$X_{0.05}^2(5)$=11.0705，在顯著水準 α=0.05 情況下為常態分配。

2.2 資料來自波式分配(Poisson Distributions)之檢定

波式分配主要應用在一段時間內或特定區域內，稀少性現象發生次數的問題，於交通研究在到達率或交通事故，除常態分配外，波式分配亦常被應用。其適合度之檢定方法與常態分配相似，以觀察值與期望直(理論值)進行分析。例如與檢定某一公路(或地區)過去 100 週事故記錄是否在顯著水準 α=0.05，每週平均發生 $\overline{X}$=1.1 次事故，其機率分配是否服從波式分配，過程如下：

一週發生事故件數(x)	0	1	2	3 件以上	n
週數	32	40	18	10	100

(1)設定假設

H_0：母體機率分配為平均數μ=1.1 之波式分配

H_1：母體機率分配並非平均數μ=1.1 之波式分配

(2)觀察值與理論值

觀察值為發生不同事故次數之週數

O_1=32　O_2=40　O_3=18　O_4=10

理論值：令隨機變數為 x，再查波式分配表得發生機率，再個別乘 n 即得理論值

P_1=P(x=0)=0.3329　　P_2=P(x=1)=0.3662

P_3=P(x=2)=0.2014　　P_4=P(x≧3)=0.0995

$e_1=nP_1$=100×0.3329=33.29　　$e_2=nP_2$=100×0.3662=36.62

$e_3=nP_3$=100×0.2014=20.14　　$e_4=nP_4$=100×0.0995=9.95

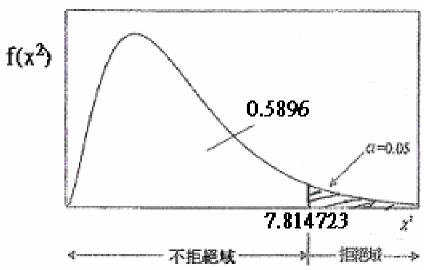
(1) 檢定統計量

$$X_0^2=\sum_{i=1}^{k}\frac{(0_i-e_i)^2}{e_i}=0.5896$$

(2) 臨界值

自由度　k-1=3　　α=0.05

$X_{0.05}^2(3)$=7. 81473　　(查卡方檢定表)



(3) 結論：在顯著水準 α=0.05 情況下，由於 X_0^2=0.5896＜$X_{0.05}^2(3)$=7.81473 故不拒絕虛無假設，亦即樣本資料之母體機率分配為波式分配屬實。

參、無參數統計方法次序趨勢分析

次序分析為無參數(nonparmetric)統計方法之一。採用等級檢定變數關係，史培爾曼ρ(Spearman's RHO)與迴歸分析中的相關係數r之計算方法類似，為一種次序

趨勢，由求相關係數r的公式簡化導出，其過程係於等級相關中，令x,y為具有等級(Rank)而無參數二元變數，推研得到檢定統計量ρ_i。

$$\rho_i=1-\frac{6}{n(n^2-1)}\sum_{i=1}^{n}(r_{ij}-j)^2$$

ρ_i：史培爾曼等及相關係數

n：分析年數

j：分析年等級(j=1,2,3……n)

i：分析時間(月、星期、小時)

ij：各時間在年等級中各時段所佔百分等級

本研究首重分析方法及過程，將資料整理簡略，僅將結果完整托出，試舉例高速公路 80 年至 90 年每日各時段發生交通事故之統計以分析其長期趨勢。其過程如下

(1) 歷年各時段發生事故次數統計

年 j 時段 i	年	年	…………	年
00-02	23			
02-04	26			
⋮				
22-24				
total	292			

(2)時段事故次數佔該年之百分比

年 j 時段 i	年	年	…………	年
00-02	7.88			
02-04	8.90			
⋮				
22-24				

(3)時數事故次數等級表

時段之百分比按年發生最少由 1 排至 n 年

年 j / 時段 i	年 j=1	年 j=2	…………	年 j=n
00-02	4	7		
02-04	2	10		
⋮				
22-24	9	6		

(4) ρ_i之計算

$$\rho_i=1-\frac{6}{n(n^2-1)}\sum_{i=1}^{n}(r_{ij}-j)^{2}$$

式中$\sum_{i=1}^{n}(r_{ij}-j)^{2}$為正數，乘上$\frac{6}{n(n^2-1)}$其值在 0 至 2 之間，因此由 1 去減時，可能產生正負現象(表 3.1)，此即表示事故趨勢方向之遞增或遞減。

表3.1 時段史培爾曼相關等級係數ρ_i與ρ_c比較表

時段	ρ_i	ρ_c	ρ_i與ρ_c比較	變異趨勢
00-02	-0.273	$\alpha=0.05$ $\rho_c=0.52$	|-0.273|<0.52	無顯著變化
02-04	0.245		|0.245|<0.52	無顯著變化
04-06	0.045		|0.045|<0.52	無顯著變化
06-08	0.300		|0.300|<0.52	無顯著變化
08-10	0.073		|0.073|<0.52	無顯著變化
10-12	-0.427		|-0.427|<0.52	無顯著變化
12-14	0.527		|0.527|>=0.52	顯著增加
14-16	0.055		|0.055|<0.52	無顯著變化
16-18	-0.555		|-0.555|>=0.52	顯著減少
18-20	0.500		|0.500|<0.52	無顯著變化
20-22	-0.309		|-0.309|<0.52	無顯著變化
22-24	-0.282		|-0.282|<0.52	無顯著變化

(5)結果

在顯著水準α=0.05 情況下，高速公路自民國 80-90 年十一年間各時段發生之交通事故，於 12-14 時有增加之趨勢，16-18 時則有減少之趨勢，此種應用統計理論分析之結論或可作為交管或警勤訂定某種措施之依據。

肆、改善績效評估

4.1 一因子變異數分析

所謂一因子變異數乃只以一個解釋變數來解釋反應變數來源的一種分析方法，於交通安全分析，以地點(交通路口、路段)為分析之因子，故事發生次數為應應變數，亦即以不同地點為變異來源。

4.1.1 分析方法與過程

利用變異數分析可對多個母體平均數是否相等的問題提出檢定方法，解決三

個或以上母體一次同時檢定其在α水準下平均數是否有差異存在。檢定的方法以解釋變數(S^2樣本變異數)為變異來源，分析組內平方和(Sum Square Within Group，SSW)及組間平方和(Sum Square Between Groups，SSB)由統計學上複雜之變異模型可歸納建立下列分析表

	自由度	均方
組內平方和：		
$SSW=\sum_{j-1}^{T}\sum_{i=1}^{n_j}(X_{ij}-\overline{X}_j)^2$	n-T	$MSW=\dfrac{SSW}{n-T}$
組間平方和：		
$SSB=\sum_{j=1}^{T}n_j(X_j-\overline{X})^2$	T-1	$MSB=\dfrac{SSB}{T-1}$

F 統計量

$$F=\frac{MSB}{MSW}$$

T：組數(如檢定定三個交叉路口，T=3)

n：全體樣本數

$\overline{X}$ ：全體平均數

$F_{\alpha}(V_1，V_2)$：F分配臨界值

α 顯著水準

$V_1 = T-1$　　$V_2 = n-1$

4.1.2 相似交叉路口平均交通事故，是否相同

變異數分析主要的目的在於比較三個或三個以上之應變數差異性，例如假設有三個主要交叉路，欲瞭解其每年發生平均嚴重事故是否相似，若以每二個地點比較則需抓對 $C_2^3=3$，需做三組之假設檢定，若有 5 個路口做分析則需 $C_2^5=10$ 次之檢定。應用變異數分析則可一次完成檢定。下例為某之各交通路口在 α=0.05 情況下歷年平均數檢定。

某交通路口歷年平均事故統計

年 i ＼ 交通路口 j	1	2	3
2000	58	56	59
2001	60	59	58
2002	53	60	54
2003	55	62	60
2004	50	53	62
$\overline{X}_j$	55.2	58	58.6
S_j^2	15.7	12.5	8.8

(1) 假設之建立

虛無假設 H_0：$\mu_1=\mu_2=\mu_3$

對立假設 H_1：至少有二個平均數不相等

(2) 檢定統計量

$$SSW=(n_1-1)S_1^2+(n_2-1)\,S_2^2+(n_3-1)S_3^2=148$$

$$MSW=\frac{SSW}{n-T}=12.333$$

計算全體樣本平均數

$$\overline{\alpha}\ =57.267$$

$$SSB=n_1(\overline{X}_1-\overline{X})^2+n_2(\overline{X}_2-\overline{X})+n_3(\overline{X}_3-\overline{X})=32.9333$$

$$MSB=\frac{SSB}{n-1}=16.4665$$

$$F\text{ 統計量}=\frac{MSB}{MSW}=1.3351$$

(3) 臨界值

查 F 分配表，自由度為(2, 12)

$F_{0.05}(2, 12)=3.88$

即統計量小於臨界值，落在不拒絕區

$F=1.3351<F_{0.05}(2, 12)=3.88$

(4) 結論

不拒絕需無假設，亦即表示此三個交叉路口歷年發生交通事故之平均數在 $\alpha=0.05$ 情況下並無差異存在。

4.2 交通安全改善績效評估

早期 1966 年英國學者麥克(R.M. Michels)發表"二種方法決定事故情況是否已有顯著改善"一文中首先從統計學理論機率分配之觀點加以分析，以事故減少百分比率值與臨界值比較以決定假設檢定之拒絕與否。此後，載斯(K. Dietz)於 1967 年加以修正，根據許多資料顯示在不同交通流量及交通安全措施下，事故次數之分配服從波氏分配(Poisson Distribution)時，仍近似常態分配，因此對於交通安全改善前後，其事故之增減亦可視為常態分配，基此理論欲評估通安全改善績效時，理應將改善前後之事故次數與予校正在同一標準，其校正之內涵為交通量及時間。

4.2.1 在相等條件情況下從事績效評估

某路段交通事故統計法

分析時間	日數	事故(次)	死亡(人)	受傷(人)	交通量	改善期間	改善項目
改善前 92,11-93,10	365	62	9	114	8,325,881	93,11 | 94,01	交通工程 加強執法
改善後 94,02-94,01	365	81	4	46	16,311,187		

4.2.1.1 事故次數改善評估

(1) 設定顯著水準α=0.05，則K_α=1.645 (查標準常態分配表)

(2) 計算臨界肇事次數減少百分率

$$D\%=\frac{K_\alpha\sqrt{2K_1}-0.5}{X_1\times 100\%}=\frac{1.645\sqrt{2\times 62}-0.5}{62\times 100\%}=28.74\%$$

X_1：改善前事故次數

K_α：α=0.05 標準常態Z_α值

D%：公式來源自常態分配標準化$Z=\frac{\overline{X}-\mu}{\alpha}$，又因為兩個波氏分配之差構成之分配，其變異數為 $2X_i$，標準差為$\sqrt{2X_i}$，並且波式分配為一離散機率分配，當轉換為連續之常態分配時上限應加 0.5，經數整理移項變負 0.5。

(3) 校正改善後事故次數(校正因子為日數及交通量)

$$X_2^1=X_2\frac{T_1V_1}{T_2V_2}=81\times\frac{365\times 9325881}{365\times 16311187}=41.35(次)$$

T：時間

V：交通量

(4) 計算變動率

$$d\%=\frac{X_2^1-X_1}{X_1}\times 100=\frac{41.35-62}{62}=-33.31\%$$

$$|d\%|>|D\%|$$

(5) 就事故次數而言，經改善措施之後，在 α=0.05 情況下，的確有績效。本例看似改善後事故次數由 62 次增到 81 次，但從另外一個角度而言，不能單以次數增減論斷續效，經校正日數及交通量，於相同條件下進行評估具真實性，唯本法所需交通量很難正確收集，尤其在交叉路口更是難推估為缺憾。

4.2.1.2 改善死亡人數，增減績效評估

$\alpha=0.05$
$K_\alpha=1.645$
D%=71.99%
X_2^1=2.04(件)
d%=-77.33%

$|d\%| > |D\%|$

故就事故死亡人數而言，交通改善發揮顯著績效。

4.2.1.3 改善受傷人數增減績效評估

$\alpha=0.05$
D%=21.35%
X_2^1=23.48(人)
d%=-79.40%

$|d\%| > |D\%|$

就受傷人數而言，在 α=0.05 顯著水準下，變通改善有顯著差異。

4.2.2

麥克(R.M. Michels)與戴斯(K. Dietz)所創評估方法適合於有交通流量或延車公里資料之公路，都市交叉路口則由推估易失真，$|d\%|$之真值有正負，若為正號則表示績效不顯著，吾人亦可以 α 顯著水準之訂立嚴謹度，故此種評估方法證明交通事故改善與否是不能純以次數多寡論斷。

4.2.3 以前後母體平均數差檢定改善績效

應用統計學兩個母體平均數差的假設檢定，以瞭解某地區(路段)交通安全是否有改變，而這種改變在某種程度α水準下是否具有變異之意義存在。其方法乃另兩段不同時間之事故樣本平均數，樣本標準差及樣本數分別為$\overline{X}_1$，S_1，n_1及$\overline{X}_2$，S_2，n_2又因為分析以月發生事故為基礎，一年有 12 個月乃屬小樣本之分析，分析之前後時間不須等長。

4.2.4 假設檢定方法之選擇

交通事故假設檢定係根據對立假設的不同，分成雙尾、右尾、左尾三種檢定情形討論兩個母體平均數差等於特定值δ_0=0 的情形。

雙尾檢定
改善前後無差異，實際有差異
虛無假設H_0： $\mu_1-\mu_2=\delta_0$
對立假設H_1： $\mu_1-\mu_2\neq\delta_0$

(1) 右尾檢定

改善前後無差異，實際改善無績效

H$_0$： μ_1-μ_2=δ_0

H$_1$： μ_1-μ_2＞δ_0

(2) 左尾檢定

改善前後無差異，實際績效顯著

H$_0$： μ_1-μ_2=δ_0

H$_1$： μ_1-μ_2＜δ_0

以上三種情形的檢定統計量可依兩個母體變異數σ_1^2及σ_2^2已知，未知但相等，未知且不相等三種狀況。

(1) 若兩個母體變異數σ_1^2及σ_2^2已知，使用 Z 統計量與大樣本相同。

(2) 兩個母體變異數σ_1^2及σ_2^2未知，但$\sigma_1^2=\sigma_2^2$，使用自由度V=n_1+n_2-2 的t統計量。

(3) 兩個母體變異數σ_1^2及σ_2^2未知，但$\sigma_1^2\neq\sigma_2^2$，使用自由度為

$$V=\frac{(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2})^2}{\frac{(\frac{S_1^2}{n_1})^2}{n_1-1}+\frac{(\frac{S_2^2}{n_2})^2}{n_2-1}}$$

t 統計量為

$$t=\frac{(\bar{X}_1-\bar{X}_2)-S_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}}}$$

若自由度 V 不為整數，可捨去小數點或進位都可。

於交通事故探討不同時段發生月平均次數為樣本，實際上母體變異數不得而知，亦不知相等與否，故適合第三種方式為評估方式。下列舉例乃假設某地區(路段)，去年十二月個大小交通事故狀況及今年 1 至 8 月從事改善後狀況，採右尾檢定。

94，95 年交通事故統計

九十四年(1-12 月)	九十五年(1-8 月)
$\bar{X}_1$=56　S$_1$=5 n_1=12	$\bar{X}_2$=48　S$_2$=6 n_2=8

訂α=0.05 並依樣本資料n_1=12，$\bar{X}_1$=56，S$_1$=5，n_2=8，$\bar{X}_2$=48，S$_2$=6 欲檢定 94 年及 95 年交通改善是否有績效。

(1) 訂立假設

虛無假設H$_0$： μ_1-μ_2≦0 (交通改善績效無差異，或有改善績效)

對立假設H$_1$： μ_1-μ_2＞0 (交通改善沒有績效)

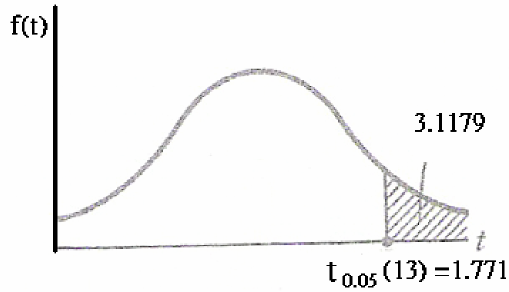
(2) t 檢定統計量

$$t=\frac{(\overline{X}_1-\overline{X}_2)-0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}}}=\frac{(56-48)-0}{\sqrt{\frac{25}{12}+\frac{36}{8}}}=3.1179$$

(3) 臨界值

$R=\{t>t_{\alpha}(V)\}$

$$V=\frac{(\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2})^2}{\frac{(\frac{S_1^2}{n_1})^2}{n_1-1}+\frac{(\frac{S_2^2}{n_2})^2}{n_2-1}}=\frac{(\frac{25}{12}+\frac{36}{8})^2}{\frac{(\frac{25}{12})^2}{11}+\frac{(\frac{36}{8})^2}{7}}=12.89$$



(採用自由度 13)

$t_{\alpha}(V)=t_{0.05}(13)=1.771$(查 t 分配表)

(4) 詮釋

本例在 α=0.05 顯著水準狀況下檢定統計量 t=3.1179＞$t_{0.05}(13)$=1.771 落在拒絕區，此表示 95 年之交通安全並無改善績效。由此可見從統計學理論而言雖然事故平均數由 94 年之平均 56 件降到 48 件，並不代表績效之顯現。，然本例乃舉例，實際應用因七分配比標準常態有較大的變異數，若 95 年之標準差有較小之數據則檢定之結果可能有不同之解釋。

伍、結論

促進交通安全是長久持續之工作，沒有一勞永逸的方法，永遠需要提出新的措施以改善交通，然新措施或新改善策略有賴往昔交通事故發生之分析，可應用之方法雖多，但說服力不盡相同，較可靠之方法就是利用統計原理進行探討，目前國內叫困難的處境在於交統各種資料沒有完善的蒐集與整理系統，布利於交通安全分析與改善。

統計檢定在一種顯著水準應用於交通事故分析有其實用性，其法甚多，非僅本文所用之部分而已，文提在於分析者如何判讀及選用。他如史培爾曼 ρ 之應用，在國外交通界亦應用多年，其實它只是將統計學內相關係數做理論上延伸而已。類似的情況統計學中機率分配、變異數分析、估計、時間數列……等都是交通事故分析與改善績效評估很普通但有用之方法，有賴學界導引應用更多統計方法分析交通。

參考文獻

[1] 林大煜 道路交通肇事資料分析方法之探討 運輸計畫季刊 1979.7

[2] 林惠玲、陳正倉 應用統計學 雙葉書廊

[3] 方世榮 統計學導論 華泰書局

[4] 張健邦 統計學 三民書局 1996

[5] 徐世輝 應用統計學 華泰書局

[6] 管政夫 高速公路通車十一年交通安全變異趨勢之研究 高速公路局 1990.7

[7] S. K.Dietz “Significance Test for Accident Reductions Based on Classical Statistic and Economic Consequences”, *Traffic Engineering, 1967.9*

[8] R. M. Michaels “ Two Simple Techniques for Determining the Significance of Accident-Reducing Measure”, *Traffic Engineering, 1966.9*