

# 以可靠度觀念分析捷運乘客對行車延誤 之可忍受度

## APPLYING THE RELIABILITY CONCEPT TO THE ANALYSIS OF THE TRAVEL DELAY TOLERABILITY FOR MASS RAPID TRANSIT PASSENGERS

馮正民 Cheng-Min Feng<sup>1</sup>

王基洲 Jin-Chung Wang<sup>2</sup>

康熙宗 Chao-Chung Kang<sup>3</sup>

(91 年 3 月 1 日收稿，91 年 7 月 9 日第一次修改，91 年 8 月 14 日  
第二次修改，92 年 3 月 26 日定稿)

### 摘 要

本文利用系統可靠度觀念，構建乘客行車延誤之可忍受度模式，並以台北都會區大眾捷運系統之高運量系統為例，分析捷運乘客對行車事故延誤時間之可忍受度，同時討論捷運延誤時間補償之效果。經本研究發現，捷運於不同時段產生行車延誤，捷運營運者實施補償措施較無補償措施雖可提高乘客可忍受度，但提升幅度有限。同時，尖峰時段乘客移轉運具機率較非尖峰與假日時段高，乘客不耐等候且產生較高移轉運具比率常出現於最初延誤與延誤較久時段。

- 
1. 國立交通大學交通運輸研究所教授（聯絡地址：100 台北市忠孝西路一段 114 號 4 樓交通大學交通運輸研究所；電話：02-23494956；E-mail：cmfeng@cc.nctu.edu.tw）。
  2. 交通部路政司專員（聯絡地址：100 台北市長沙街一段 2 號交通部路政司；電話：02-23492163；E-mail：jcg\_wang@motc.gov.tw）。
  3. 靜宜大學企管系助理教授（聯絡地址：433 台中縣沙鹿鎮中棲路 200 號靜宜大學企管系；電話：04-26328001 轉 13312；E-mail：cckang@pu.edu.tw）。

**關鍵詞：**行車事故；延誤時間；可靠度；可忍受度；捷運

## ABSTRACT

*This paper applied the reliability concept to the analysis of the travel delay tolerability for mass rapid transit (MRT) passengers in Taipei. The empirical results showed that passenger's toleration was higher when the compensation systems exist for delayed time in peak period, non-peak period and weekend, but the increase of toleration due to the compensation was limited to some degree. Moreover, the possibility of shifting to other transportation modes in peak period was higher than that of the other two periods..*

**Key Words:** Traffic accident; Delay time; Reliability; Toleration; MRT

## 一、前言

由於大眾捷運系統具備便捷、快速、安全與準點性之特性，常為通勤者所使用之運具。然而，捷運系統行車順暢與否，除與行控系統因素有關外，亦受機電、號誌、軌道、人為侵入或天災等系統之干擾，產生不同程度之行車延誤。干擾程度輕者，延誤幾分鐘；干擾程度重者，延誤數日。以納莉颱風而言，水患重創台北都會區捷運系統，造成捷運系統延宕數日、數月，無法正常運作，對乘客與市區交通系統產生重大衝擊，此種即屬捷運行車事故類型之一。由此來看，捷運運輸系統與民眾生活密不可分，如此一來，任何捷運事故自不可忽略乘客感受度之影響層面。

以往研究大眾運輸、軌道運輸多探討列車營運準點性 (李治綱等人<sup>[1]</sup>)，運輸系統服務可靠性與改善策略 (張有恆<sup>[2]</sup>，Crandall<sup>[3]</sup>)，服務指標之建立 (張有恆<sup>[4]</sup>)，捷運乘客滿意度分析 (藍武王、洪維強<sup>[5]</sup>；藍武王、吳炯炎<sup>[6]</sup>)，災害事故<sup>[7]</sup>及風險安全<sup>[8,9]</sup>課題。上述研究有採模擬方法，分析列車營運延滯時間與旅行時間可靠度問題 (李治綱等人<sup>[1]</sup>，Kesling 和 Whittaker<sup>[10]</sup>)。運輸系統可靠性指標主要是在建立大眾運輸服務衡量指標，例如準點率、事故率之指標。以事故災害角度分析軌道運輸服務問題，主要以傷亡人數代表行車事故嚴重程度，此隱含傷亡人數越多，行車事故越嚴重，延誤時間較長。然而，在軌道系統引進行車自動控制系統 (ATO、ATP、ATS) 與預防偵測機制後，事故傷亡數、事故規模與行車延誤時間不必然成正比關係。以乘客角度分析軌道設施服務滿意度，主要討論使用者對於捷運系統所提供之硬體設施與管理服務措施是否滿意。安全是軌道運輸服務之重要指標，安全高低可用風險來代表，而此方面研究多以事故傷亡人數作為事故規模依據，傷亡人數多，代表事故規模大、風險高、安全性低。

長期以來，無論研究運輸系統可靠度、服務品質、系統設施滿意度、安全與風險問題，皆針對運輸系統本身而言，欠缺以乘客角度，分析乘客對捷運事故或行車延誤所產生可忍受度問題；然此一課題，對於營運者與乘客有其重要意義。

基此，本文目的以乘客角度，利用系統可靠度觀念，建立乘客對行車事故延誤可忍受度模式，此有助於改善捷運行車控制及管理之基礎。本文首先回顧運輸系統可靠度、服務品質、滿意度分析與行車事故相關文獻；其次，說明本文研究課題；再者，利用可靠度觀念，分析乘客對行車事故延誤可忍受度；第五部分則以台北都會區大眾捷運系統為例，進行實例分析；最後提出本文結論與建議。

## 二、文獻回顧

運輸系統最終目的在提供使用者安全與滿意的服務，衡量運輸系統服務品質可由系統服務穩定性及使用者滿意度來討論。系統服務穩定可利用可靠度觀念分析，如張有恆<sup>[2]</sup>討論影響都市大眾運輸系統服務因素，提出改善運輸系統服務可靠性之策略。金克非<sup>[11]</sup>討論公車服務可靠度，以準點時間變異係數、標準差、機率衡量公車路線服務可靠度，而影響公車服務可靠度因素包含號誌延誤、上下車延誤、阻塞及其他延誤因素。由文獻來看，其研究課題與張有恆君相同。網路觀念亦可分析運輸系統服務可靠性問題，如李治綱等人<sup>[1]</sup>，Kesling 和 Whittaker<sup>[10]</sup>以模擬方法，模擬鐵路列車營運計畫延誤時間。此類研究係模擬運輸網路流量穩定性 (Chen 等人<sup>[12]</sup>)、運輸網路之旅行時間、準點性，或延誤時間之誤差問題 (Taylor<sup>[13]</sup>)。Abkowitz 和 Tozzi<sup>[14]</sup>認為影響都市運輸服務可靠度因素有車輛行駛時間、行駛時間變異、headway 變異、即時控制策略 (real-time control) 及乘客等待時間，利用迴歸分析分析路線之總等待時間與上述因素之關係，並預測路線總等待時間。

由於運輸最終在提供安全服務，因此有研究從安全與風險角度<sup>[8,9,15]</sup> (Knight<sup>[15]</sup>)，討論軌道安全問題。運輸安全、風險與可靠度具有一體兩面關係，亦即運輸系統可靠度高，安全性高，風險低；反之，可靠度低，安全性低，風險性隨之遞增，服務品質亦隨之低落。以行車事故或風險觀念之研究，主要目的在估算行車事故率、行車事故規模，行車事故風險。如高應斌和歐陽讓<sup>[16]</sup>詮釋軌道行車事故危險因子，台北捷運股份有限公司<sup>[17]</sup>以列舉方法，歸納捷運系統有 25 種行車事故形態。基本上，高應斌和歐陽讓與台北捷運股份有限公司屬非量化研究，此賴經驗法則或主觀觀點，欠缺客觀性與公正性。因此，部分研究者利用風險觀念衡量行車事故風險 (蔡明志和張新立<sup>[8]</sup>)，然而風險評估涉及風險認知與「風險可忍受度」概念，如 Slovic<sup>[18]</sup>研究乘客對大眾運輸安全風險感受度問題。不同於 Slovic<sup>[18]</sup>的研究，HSE<sup>[19,20]</sup> (Health Safety Executive) 機構採風險評估三角形 (risk triangle) 之風險可忍受度臨界值觀念，將風險區分為不可忍受風險區域 (intolerability risk)、ALARP (as low as reasonable practical) 區域及可忽視風險 (negligible risk) 區域，超過可忍受度臨界值以外，可分不可忍受與可忽視風險，該研究提出不可忍受觀點。

風險衡量雖可提供客觀數據，惟其前提須有龐大資料，否則易生偏誤；但捷運系統事故資料屬稀少性，在有限樣本下，欲以機率或期望值求風險，實屬不易。服務指標之建立是另一種客觀量化作法，如張有恆<sup>[4]</sup>構建台北捷運系統服務指標，利用服務指標反映運

輸系統服務可靠性，藉由指標中之事故率、延滯時間、準點率與行車安全反映系統服務可靠度。另外，Jones 和 Loomes<sup>[21]</sup> 以敏感度觀念分析大眾運輸服務屬性，研究顯示乘客對「延誤時間」的敏感程度不次於「安全風險」。

由上述文獻研究顯示，這些研究以運輸系統角度，來討論運輸系統服務之可靠性、安全性及風險性課題，欠缺由乘客角度分析使用者感受度或滿意度問題；換言之，以往研究認為，運輸系統本身所提供服務的可靠度低、服務品質低、安全性低、風險高，乘客之滿意程度自然低。但是，是否所有乘客對所有系統設施之滿意度低？這便是值得再去思考的問題。因此，藍武王和洪維強<sup>[5]</sup>；藍武王和吳炯炎<sup>[6]</sup> 便由使用者角度，討論捷運乘客滿意度問題，利用問卷與統計方法，調查乘客對捷運系統各項設施與管理方法之滿意度。

相對於前述文獻討論運輸系統延誤時間或乘客滿意度，Bates 等人<sup>[22]</sup> 討論個人旅行與選擇運輸工具相互影響之旅行時間可靠度問題。由於個人旅行時間涉及所選擇運輸系統之準點性，班表時間與旅行者隨機到達等因素，因此，Bates 等人利用間接效用函數，發展旅行時間可靠度衡量指標。Bates 等人的研究將系統可靠度與旅行者選擇行為聯結起來，擴展乘客選擇運具之旅行時間可靠問題。而 Tisato<sup>[23]</sup> 研究重點將公車服務品質與政府補貼機制聯結起來，利用效用函數、社會剩餘與消費者剩餘觀念，推導最適每單位公車補貼等於最適保護乘客量 (optimal patronage passengers level) 下，平均總成本與邊際社會成本之差 (參見<sup>[23]</sup> pp. 424-425)。所考量使用者之成本因素，如等候時間、公車班表時間、到離差時間等因素，建立公車不可靠服務指標 (level of service unreliability)，利用標準差衡量此指標，再將此標準差納入平均總成本與社會邊際成本函數中，得公車載運乘客與補貼機制之間關係架構。由 Tisato 研究來看，他討論公車營運虧損、載運乘客量與政府補貼政策之間的關係，此對於政府研擬補貼公車營運政策具有參考價值。

由文獻可知，雖然已有相關研究提出大眾運輸系統可靠度分析、軌道運輸事故安全與風險衡量、捷運乘客滿意度分析，惟忽略乘客對運輸系統之感受度課題。然若單以「風險評估三角形」臨界值觀念來衡量感受度，似乎無法真正表現乘客對捷運延誤時間可忍受度真實問題。因此，對於探討乘客對捷運行車延誤可忍受度深具意義，是值得研究的課題。

### 三、研究課題說明與研究限制

本節首先說明研究問題，其次將相關研究課題與研究限制說明如后。

#### 3.1 研究問題說明

台北捷運股份有限公司對於當捷運系統發生行車事故且產生時間延誤，對乘客研擬不同補償措施。補償措施之一為：當捷運行車事故延誤達 20 分鐘以上者，則免費發給乘客捷運搭乘卷乙張；補償措施之二為：若捷運行車事故延誤時間達 30 分鐘以上者，除免費發給捷運搭乘卷乙張外，另加發計程車卷乙張且啟動公車接駁。前述補償措施不區分平常

日、例假日或尖離峰時段。

根據台北捷運股份有限公司所研擬補償措施，本文所要思考的問題是，若無補償措施時，乘客對捷運行車延誤時間之可忍受度為何？若有補償措施時，乘客可忍受度為何？有實施補償與無補償時，兩者差異多大？乘客移轉運具彈性效果如何？

### 3.2 相關研究課題與定義

#### 課題一：捷運行車事故定義

本文所謂捷運系統行車事故意指在捷運系統內所發生任何意外或足以影響系統正常運作者，包含電扶梯、電梯造成旅客傷亡，乘客非法進入軌道區，火災、天災（洪水、地震、颱風）及系統設施故障，足以影響系統安全正常運作。

#### 課題二：捷運行車事故延誤時間之定義

本文將捷運行車事故延誤時間定義為：「捷運系統因行車事故（號誌系統、列車系統、供電系統等類型）產生延誤時間超過五分鐘以上之事件者」。

#### 課題三：乘客可忍受延誤時間之「感受」定義

本文所謂「感受」係指：乘客依例行搭乘捷運習慣之認知，面對捷運系統發生行車事故產生延誤時間，心中承受的感覺。

#### 課題四：乘客可忍受度之定義

本文將乘客可忍受度定義為：「在某特定期間內，發生行車事故產生行車延誤，乘客所感受之可忍受延誤時間大於行車事故產生延誤時間之機率」。

### 3.3 研究限制

由於台北都會區大眾捷運系統（簡稱台北捷運系統）分高運量與中運量系統，不同系統設施，控制方式不同，事故類別有異。高運量系統事故類型可因軌道系統、號誌系統、供電系統、電聯車系統、人員入侵、天災等類別而致；中運量系統因以電聯車系統為主，且車站具有自動門隔離措施，人員入侵所產生事故很少；兩者系統不同，事故類型也有差異。同時，由於台北捷運系統，高運量系統運能舉足輕重；故本文以此系統為實例探討對象。

雖然捷運系統事故原因有軌道、號誌、供電、電聯車系統、環控、通訊、人員入侵、天災及其他等因素。惟人員侵入軌道區事故屬門禁管制問題，且目前台北捷運系統已完成門禁偵測管理系統，此類事故已大幅降低，故將之排除於應管理而未管理之類型。天災所致捷運系統正常運作者，如地震後營運檢修，災後復舊，時間長短不一，短則 1~2 小時，長則數月之久，延誤時間超過一般乘客所可容忍延誤時間範圍內，故不在探討之內。另外，環控及通訊系統等設備所致之事故，並不造成行車延誤，亦不列入探討之內。

理想上，分析乘客可忍受度應以課題一宏觀定義進行，惟經研究限制條件得知，部分系統並不會造成事故延誤，天然災害所致延誤時間變異大，延誤時間多超過乘客可忍受範圍；另依研究問題所述，當捷運系統延誤時間超過 30 分鐘以上時，接駁公車即開始運轉。故在此研究限制下，本文以課題二為模式與實證分析之基礎。

## 四、可靠度觀念與可忍受度模式之建立

### 4.1 理論依據

本文利用工程可靠度理論，構建乘客可忍受度模式並進行實證分析。

在可靠度之干擾理論<sup>[24,25]</sup>係以機率觀點建立強度機率與應力機率，此二機率密度函數交集部分即系統強度受到外力干擾之故障機率。換言之，系統的可靠度 = 1 - 故障機率。依此觀點，某系統之可靠度即以強度機率密度函數為目標函數，應力機率密度函數為限制條件，所得到之強度機率大於應力機率即為可靠度。概念如圖 1 所示。

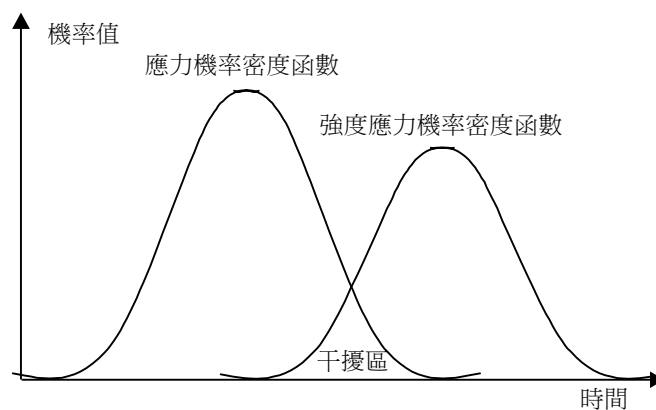


圖 1 可靠度概念

### 4.2 乘客可忍受度之先驗知識

利用 4.1 節觀念，本文所定義之「乘客感受可忍受延誤時間」有如該理論之「強度」，「行車事故延誤時間」有如外來之「應力」。換言之，以乘客感受可忍受延誤時間代表系統本身可承受外力的「強度」；「行車事故延誤時間」如「外力」一樣，考驗乘客對延誤時間之可忍受程度。因此，「乘客可忍受度」可以以乘客感受可忍受延誤時間之機率函數為目標函數，行車事故延誤時間之機率函數為限制函數，求取之「在某特定的期間內，發

生行車事故延誤時間，乘客感受可忍受延誤時間的機率」即「乘客可忍受度」。

由於「乘客可忍受度」是由「行車事故延誤時間之機率函數」與「乘客感受可忍受延誤時間的機率函數」共同積分而成。惟在積分時，需事先知道函數分配型態，方能訂上下限。

依捷運營運初期之行車事故延誤時間資料得知，初期，捷運營運處於設備易故障、行車事故率高、延誤時間小之磨合期；相對初期而言，捷運營運屬行車事故頻率較低、延誤時間較長。此顯現，此期捷運行車具備事故延誤時間較小，事故頻率較高；行車事故延誤時間較長，事故頻率較低之特性。故在先驗知識上，推論行車事故機率函數屬指數分配。

由於捷運系統具備準點性高，乘客選擇捷運著眼於縮短旅行時間，以先驗知識來說，乘客可忍受延誤時間以時間少者居多；反之，甚微。如此可推論，乘客可忍受延誤時間之機率應呈指數分配。

### 4.3 行車事故延誤時間下之乘客可忍受度

延續 4.2 節論述觀念，假設某乘客可忍受延誤時間之機率密度函數為  $f_S(S)$ ， $S$  為乘客感受延誤時間， $f_S(S)$  為指數分配； $D_0$  為某行車事故延誤時間，行車事故延誤機率密度函數  $f_D(D)$  為指數分配，則乘客對行車事故延誤時間可忍受度  $T$ ，可定義為式(1)，概念如圖 2。

$$T(D_0) = \int_{D_0}^{\infty} f_S(S) ds \quad (1)$$

將式 (1) 修改為  $1 - T(D_0) = 1 - \int_{D_0}^{\infty} f_S(S) ds$ ，令  $\bar{T} = P(S < D)$ ，不可忍受度機率  $\bar{T}$  定義為：

$$\bar{T} = P(S < D) = 1 - \int_{D_0}^{\infty} f_S(S) ds = 1 - T(D_0) \quad (2)$$

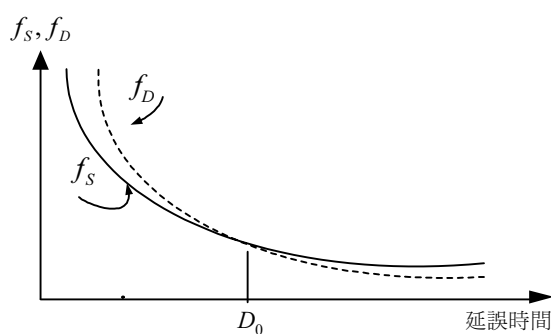


圖 2 行車事故延誤時間乘客可忍受度

利用式(1)、(2)與圖 2 概念，假設某行車事故延誤時間為  $D$ ，機率函數為  $f_D(D)$ ，乘客感受可忍受延誤時間為  $S$ ，機率函數為  $f_S(S)$ 。在任何「行車事故延誤時間」下，「乘客感受可忍受延誤時間」大於「行車事故延誤時間」之機率為  $P(S > D)$ ，利用圖 1 干擾區積分概念進行求解，如式(3)；得到機率值即乘客對某行車事故延誤時間可忍受度。

$$T = P(S > D) = P(S - D > 0) = \int_{D_0}^{\infty} f_D(D) \left[ \int_{D_0}^{\infty} f_S(S) dS \right] dD \quad (3)$$

根據式(2)概念，不可忍受機率  $\bar{T}$ ， $\bar{T} = 1 - T = 1 - P(S > D) = P(S \leq D)$ ；同理，依圖 1 積分概念，不可忍受機率  $\bar{T}$  為：

$$\begin{aligned} \bar{T} &= 1 - \int_0^{\infty} f_D(D) \left( \int_D^{\infty} f_S(S) dS \right) dD = 1 - \int_0^{\infty} f_D(D) \times (1 - F_S(S)) dD \\ &= 1 - \int_0^{\infty} f_D(D) dD - \left( \int_{-\infty}^{\infty} f_D(D) \times F_S(S) dD \right) \\ &= \int_0^{\infty} f_D(D) F_S(S) dD \end{aligned} \quad (4)$$

因假設行車事故延誤時間與乘客感受之可忍受延誤時間均為指數分配，故  $f_D(D)$  與  $f_S(S)$  之機率密度函數分別如式(5) 與(6)。

$$f_D(D) = \lambda_D \times e^{-\lambda_D D}, \quad 0 < D < \infty \quad (5)$$

$$f_S(S) = \lambda_S \times e^{-\lambda_S S}, \quad 0 < S < \infty \quad (6)$$

其中， $\lambda_D$ ， $\lambda_S$  分別為行車事故延誤時間率與乘客感受延誤時間率。由於行車事故延誤時間與乘客感受延誤時間為指數分配，該指數分配期望值分別為  $E(D) = \frac{1}{\lambda_D}$  與  $E(S) = \frac{1}{\lambda_S}$ 。換言之，行車事故延誤時間期望值等於行車事故延誤時間率之倒數，乘客感受延誤時間期望值等於乘客感受延誤時間率之倒數。

將式(5) 與(6) 之機率密度函數代入式(3) 中，得式(7)。

$$\begin{aligned} T &= \int_0^{\infty} f_D(D) \left[ \int_D^{\infty} f_S(S) dS \right] dD = \int_0^{\infty} \lambda_D e^{-\lambda_D D} \left[ \int_D^{\infty} \lambda_S e^{-\lambda_S S} dS \right] dD \\ &= \int_0^{\infty} \lambda_D e^{-\lambda_D D} (e^{-\lambda_D D}) dD = \int_0^{\infty} \lambda_D e^{-(\lambda_D + \lambda_S) D} dD \\ &= \frac{\lambda_D}{\lambda_D + \lambda_S} \int_0^{\infty} (\lambda_D + \lambda_S) e^{-(\lambda_D + \lambda_S) D} dD, \end{aligned}$$



$$\therefore \int_0^{\infty} (\lambda_D + \lambda_S) e^{-(\lambda_D + \lambda_S)D} dD = 1$$

$$\therefore T = \frac{\lambda_D}{\lambda_D + \lambda_S} \quad (7)$$

式(7)說明，考量捷運之行車事故延誤時間與乘客感受延誤時間下，乘客對某捷運行車事故延誤時間可忍受度為  $\frac{\lambda_D}{\lambda_D + \lambda_S}$ ，該值可由指數分配之  $\lambda_D$  與  $\lambda_S$  加權求得。換言之，如果我們掌握行車事故延誤時間與乘客感受延誤時間屬於指數分配，即可知乘客行車延誤時間之可忍受度。

#### 4.4 乘客移轉運具彈性分析

一般研究系統可靠度工程在顯示系統服務穩定與否、產品品質良率高低。而值得注意的是，當延誤時間超過乘客可忍受時間，會產生多少比率運具移轉效果。亦即，當捷運系統發生行車延誤，部分乘客無法忍受進而轉搭其他運輸工具之比率，此即本節所要討論議題。

一般分析運具選擇或運具移轉會以 Logit 模式，無論是巢式 Logit (nest logit)、傳統 Logit 模式或經濟上之彈性函數皆可進行。由於本文旨在探討有無補償下，乘客可忍受及其他相關議題，故採經濟理論之彈性公式，至於 logit 模式或其他模式，建議後續研究就此方面進行研究。

在處理乘客移轉效果時，本文延續 4.3 節乘客感受延誤時間之機率密度函數  $f_D(D)$ 。並定義乘客移轉運具機率  $f_t(t)$ ，此意義為乘客在不可忍受延誤時間下，選擇其他運具機率，概念如圖 3。

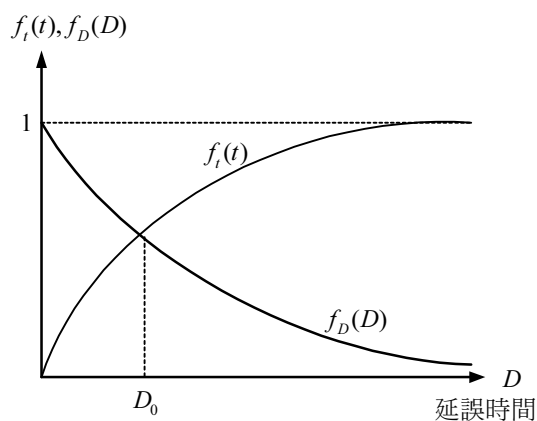


圖 3 乘客轉移運具機率密度曲線

依圖 3 概念，當捷運列車不發生行車延誤，乘客移轉運具機率為 0；反之，乘客移轉運具機率為 1，故乘客移轉運具機率  $f_i(t)$  與  $f_D(D)$  具替代關係，即  $f_D(D) + f_i(t) = 1$ 。換言之，知道  $f_D(D)$ ，即可求  $f_i(t)$ 。

利用彈性概念<sup>[26]</sup>，茲定義乘客移轉運具彈性為「實施延誤時間補償與否，捷運系統發生行車事故，延誤時間變動程度，使得乘客改搭其他交通運具變動程度」。理論上，乘客移轉運具彈性與延誤時間變動量及乘客移轉運具變動量有關；乘客移轉量變動幅度又受尖峰與非尖峰各站上下人數影響，列車總搭客人數變化很大，但只要能求移轉機率彈性，再乘以乘客人數，或各站上下人數，即可估計乘客移轉運具量，故將原乘客移轉運具彈性以乘客移轉運具機率彈性代之。假設  $\varepsilon$  為乘客移轉運具機率彈性； $d_i$  為行車事故延誤時間； $f_i(t)$  為乘客轉移運具機率， $i$  為有無補償措施，此  $\varepsilon$  如式 (8)。

$$\varepsilon = \frac{\Delta f_i(t)}{\Delta d_i} = \frac{\frac{(f_2(t) - f_1(t))}{(f_2(t) + f_1(t))}}{\frac{(d_2 - d_1)}{(d_1 + d_2)}} \quad (8)$$

利用式(8)，得彈性值即是各時段下乘客移轉運具之機率，此值界於 0 ~ 1。將行車事故發生當時之列車總人數乘以彈性值，即可知有無補償措施下，乘客選擇其他運具人數。

## 五、實例研究

本文以台北都會區捷運系統為例，有關行車事故資料則來自於台北捷運股份有限公司，乘客延誤時間則採調查方式。相關假設條件說明如 5.1 節。

### 5.1 假設條件

1. 本研究探討對象以捷運高運量系統設備故障，造成行車事故延誤時間大於 5 分鐘以上者，延誤時間在 5 分鐘以下者不列入探討。另外，考量捷運公司於延誤 30 分鐘以上實施接駁公車接駁乘客，故延誤時間超過 30 分鐘以上不列入探討。
2. 乘客對行車事故延誤時間感受可忍受時間以廣播列車延誤算起，惟自廣播延誤前仍有 4 ~ 5 分鐘故障處理之落差時間。為使與行車事故延誤時間基準相同，假設列車延誤廣播後，乘客對延誤時間之可忍受第 1 分鐘，即是行車事故實際發生延誤時間之第 5 分鐘；乘客可忍受延誤時間之第 2 分鐘，即行車事故實際發生延誤時間之第 6 分鐘，其餘依此類推。
3. 假設乘客不在意行車事故類型，而在意延誤時間長短，分析以延誤時間為主，不作行車事故類型分類。同時假設不同系統所產生之行車事故 (列車、號誌、供電等) 獨立，另外行車事故發生屬隨機性，延誤時間具有連續性。

4. 為求研究分析之可靠性，以 86 年 4 月至 87 年 12 月之資料為主，此期資料屬於行車事故穩定時期。另外，為了解乘客不同時段對行車事故延誤時間可忍受差異性，問卷中分尖峰時段（上午 7 時至 9 時；下午 5 時至 7 時）、非尖峰時段及假日時段。

## 5.2 資料蒐集與分析

### 5.2.1 行車事故資料分析

表 1 係台北捷運系統初期路網營運情形，捷運重運量採階段性通車營運方式。自 86 年 3 月 28 日淡水線第一階段通車以來，迄 88 年 12 月底，陸續完成淡水線後續路段通車及中和線、新店線與板南線部分路段之通車。

表 1 台北捷運系統初期路網各路線營運通車日期

通車日期	營運通車路線	通車車站數
86.03.28	淡水線第一階段營運通車 (淡水站至中山站)	19
86.12.25	淡水線第二階段營運通車 (中山站至台北車站)	1
87.12.24	中和線暨新店線北段 (台北車站至南勢角站)	7
88.11.11	新店線南段 (古亭站至新店站)	8
88.12.24	南港板橋線 (市政府站至龍山寺站)	9

資料來源：本研究整理。

截至 89 年 7 月 31 日止，台北捷運高運量系統之行車事故資料整理如圖 4。

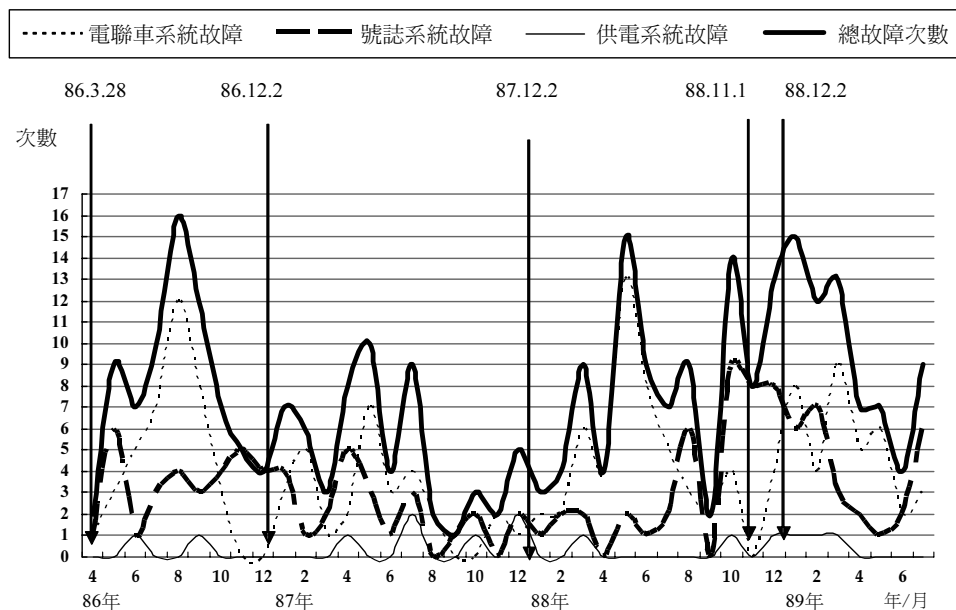


圖 4 台北捷運高運量系統行車事故分布圖

由圖 4 顯示，自 86 年 3 月 28 日至 89 年 7 月 31 日止，捷運系統初期路網通車以來，不同設備系統（如電聯車系統、號誌系統、供電系統等）行車事故變化相當大。86 年 3 月 28 日至同年 12 月 25 日與 87 年 12 月 24 日至 88 年 11 月 11 日間，行車事故曲線相近，此隱含營運初期之行車事故曲線有相同趨勢，直至營運第五個月，行車事故次數再度出現高峰。86 年 2 月 25 日淡水線第二階段通車，將原先通車至中山站延至台北車站，然由於淡水線第一階段通車時期，電聯車均駛至台北車站作列車調度，故第二階段通車對整個捷運系統運作影響不大，因此將 86 年 3 月 28 日至 87 年 12 月 24 日歸為同一期。再者，88 年 11 月 11 日與同年 12 月 24 日兩次通車日期相近，營運站數相當多，故 88 年 11 月 11 日至 89 年 7 月 31 日間之行車事故曲線不穩定。

綜上分析，86 年 3 月 28 日至 87 年 12 月 24 日之間屬捷運系統較穩定觀測期，故以此期之資料為分析對象。

### 5.2.2 行車事故延誤時間資料分析

本文課題在於探討捷運事故發生，產生延誤，在有無補償措施下，乘客延誤時間多久以內可以忍受。基此一課題，利用 86 年 4 月至 87 年 12 月之間的資料，針對延誤時間超過五分鐘以上者進行分析，資料整理如圖 5。

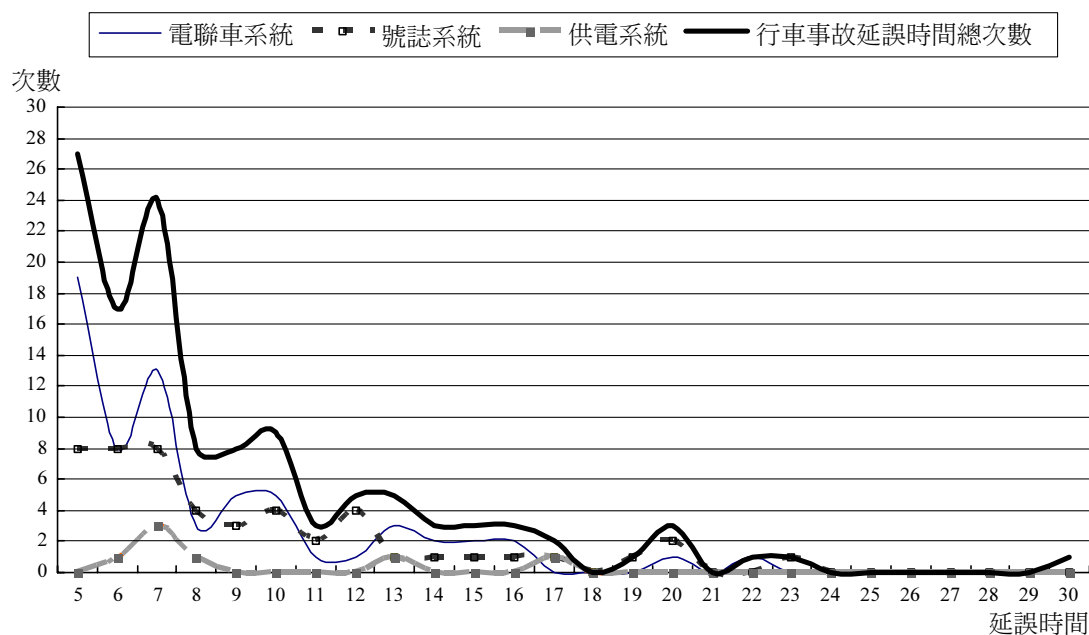


圖 5 捷運行車事故延誤時間曲線

圖 5 顯示，行車事故延誤時間以 5 分鐘最多，另一次高峰為延誤時間 7 分鐘，隨延誤時間增長，事故次數隨之劇減；除延誤時間 20 分鐘之次數達 3 次外，其餘延誤時間 18 分鐘以上之次數甚低。此說明，高運量系統行車事故延誤時間發生於 5 分至 10 分鐘內機率最高且呈指數分配形態。

### 5.2.3 行車事故延誤時間之統計檢定

圖 4 與圖 5 之行車事故延誤時間雖呈指數分配形態，惟須進一步進行統計檢定。由於捷運供電系統之行車事故次數較少，為避免樣本過少，造成適合度檢定偏誤，此部分將不作驗證。電聯車系統、號誌系統與行車事故總次數，則利用 Bartlett's Test<sup>[27]</sup> 進行檢定。經檢定，此三種系統之 Bartlett's 統計量分別為 25.476、9.088 及 16.447，查表  $\chi^2_{0.025}$ ，此三種系統下之事故延誤時間次數與理論分配差異性不顯著；換言之，電聯車系統、號誌系統與總行車事故之延誤時間均呈指數分配，結果如表 2。

表 2 捷運行車事故延誤時間適合度檢定

檢定資料 \ 延誤時間類型	電聯車系統	號誌系統	總行車事故
Bartlett's Test 值	25.476	9.088	16.447
自由度	14	15	17
$\chi^2_{0.025}$	26.119	27.488	30.191
$\chi^2_{0.975}$	5.629	6.262	7.564
顯著性	差異不顯著	差異不顯著	差異不顯著
指數分配適用性	適用	適用	適用

## 5.3 乘客感受之資料分析

### 5.3.1 問卷資料分析

為探討乘客對捷運延誤時間之感受性以及捷運補償措施效果，本文進行問卷設計且針對捷運車站乘客進行訪問調查。問卷旨在了解乘客對捷運行車事故感受認知，問卷內容並針對無補償與有補償措施，乘客對延誤時間可忍受予以設計。「無補償」與「有補償」之內容可參見 3.1 節之研究問題說明；同時，該問題並分尖峰、非尖峰與假日時段進行設計，問卷第二部分則為乘客基本資料。問卷共發出 380 份，扣除未完整份數，計回收 360 份，有效問卷比率達 95%。由於本文重點在討論延誤時間可忍受問題，乘客基本資料統計分析不列入探討，茲將問卷調查結果整理如表 3。

表 3 資料顯示，無論尖峰、非尖峰與假日時段，有補償與無補償措施，捷運乘客可忍受行車延誤時間以 0 ~ 5 分鐘時段為首，9 ~ 10 分鐘為次高可忍受延誤時段，再者為 5 ~ 6

分鐘，其餘延誤時間所占比率不高，換言之，乘客普遍仍具有延誤時間越少越好心理。

表 3 不同時段與有無補償措施下乘客可忍受延誤時間

延誤 時間 時段	尖峰時段				非尖峰時段				假日時段			
	無補償		有補償		無補償		有補償		無補償		有補償	
	次數	%	次數	%	次數	%	次數	%	次數	%	次數	%
0~5分鐘	185	51.39	147	40.83	103	28.61	91	25.28	115	31.94	91	25.28
5~6分鐘	59	16.39	55	15.28	60	16.67	43	11.94	57	15.83	45	12.50
7~8分鐘	25	6.94	30	8.33	35	9.72	41	11.39	32	8.89	34	9.44
9~10分鐘	63	17.50	71	19.72	65	18.06	56	15.56	64	17.78	60	16.67
11~12分鐘	4	1.11	7	1.94	13	3.61	14	3.89	9	2.50	19	5.28
13~14分鐘	4	1.11	2	0.56	3	0.83	3	0.83	6	1.67	5	1.39
15~16分鐘	14	3.89	17	4.72	48	13.33	41	11.39	38	10.56	41	11.39
17~18分鐘	0	0.00	0	0.00	1	0.28	2	0.56	3	0.83	2	0.56
19~20分鐘	3	0.83	16	4.44	20	5.56	30	8.33	21	5.83	33	9.17
21~22分鐘	0	0.00	3	0.83	1	0.28	4	1.11	2	0.56	3	0.83
23~24分鐘	0	0.00	2	0.56	0	0.00	1	0.28	0	0.00	1	0.28
25~26分鐘	0	0.00	0	0.00	2	0.56	7	1.94	2	0.56	3	0.83
27~28分鐘	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.28	0	0.00	0	0.00
29~30分鐘	2	0.56	5	1.39	6	1.67	18	5.00	8	2.22	13	3.61
30分鐘~	1	0.28	5	1.39	3	0.83	8	2.22	3	0.83	10	2.78
合 計	360	100	360	100	360	100	360	100	360	100	360	100

資料來源：本研究整理。

### 5.3.2 延誤時間統計分配檢定

由表 3 顯示，無論任何時段或有無補償措施，乘客可忍受延誤時間以 5 分鐘以下為主要門檻，其次為 10 分鐘。資料顯示，延誤 10 分鐘以內似乎是乘客可忍受範圍界限，超過 10 分鐘以上，可忍受次數明顯遞減。

另考量本文假設條件 2、3 及乘客對於時間延誤習慣以 5、10、15、20、25、30 分鐘之衡量單位所可能產生誤差，茲將表 3 資料合併為表 4，也就是將表 3 延誤時間 5~6 分鐘與 7~8 分鐘資料合併，得表 4 中之 84，其餘延誤時間依此類推計算。再利用表 4 資料進行 Bartlett's Test 檢定，結果如表 5 所示。

合併後之表 4 資料顯示，無論有無補償措施，亦不分假日、尖峰與非尖峰時段，乘客可忍受延誤時間以 8 分鐘以內居多，其次為 9~12 分鐘時段，超過 17 分鐘以上者之可忍受比率明顯減少，所占比率不高。

表 4 乘客感受之可忍受延誤時間組間次數轉換調整

延誤時間 \ 時段	尖峰時段		非尖峰時段		假日時段	
	無補償	有補償	無補償	有補償	無補償	有補償
5 ~ 8分鐘	185	147	103	91	115	91
9 ~ 12分鐘	84	85	95	84	89	89
13 ~ 16分鐘	67	78	78	70	73	79
17 ~ 20分鐘	18	19	51	44	44	46
21 ~ 24分鐘	3	16	21	32	24	35
25 ~ 28分鐘	0	5	1	5	2	4
29 ~ 32分鐘	0	0	2	8	2	3
32分鐘以上	3	10	9	26	11	23
合 計	360	360	360	360	360	360

資料來源：本研究整理。

表 5 調整後捷運行車事故延誤時間適合度檢定

檢定資料 \ 時段	尖峰時段		非尖峰時段		假日時段	
	無補償	有補償	無補償	有補償	無補償	有補償
Bartlett's Test 值	9.4145	6.993	11.859	5.1643	10.414	6.872
自由度	5	6	7	7	7	7
$\chi^2_{0.05}$	1.145	1.635	2.167	2.167	2.167	2.167
$\chi^2_{0.95}$	11.070	12.592	14.067	14.067	14.067	14.067
檢定結果	差異不顯著	差異不顯著	差異不顯著	差異不顯著	差異不顯著	差異不顯著
指數分配適用性	適 用	適 用	適 用	適 用	適 用	適 用

資料來源：本研究整理。

表 4 資料經 Bartlett's Test 後知，在考量不同時段與補償措施因素下，乘客可忍受延誤時間之 Bartlett's 統計值分別為 9.4145、6.993、11.859、5.1643、10.414 及 6.872，上述統計量皆小於  $\chi^2_{0.95}(5)$ 、 $\chi^2_{0.95}(6)$  與  $\chi^2_{0.95}(7)$  值，故得知，表 4 之時間次數與理論分配差異性並不顯著，因此，表 4 資料形態屬指數分配形態。

## 5.4 乘客可忍受度分析

經上述 Bartlett's Test 檢定後，得知行車事故延誤時間與乘客可忍受延誤時間資料均屬指數分配。而由指數分配知，模式中需求參數即為該分配期望值倒數，故利用表 4 中資料求得期望值，並將此期望值代入式 (7)，即可得可靠度，結果如表 6。

表 6 乘客可忍受度

感受可忍受度 可忍受延誤 時間	尖峰時段		非尖峰時段		假日時段	
	無補償 ( $\mu = 10.39$ $\lambda_s = 0.16$ )	有補償 ( $\mu = 12.08$ $\lambda_s = 0.12$ )	無補償 ( $\mu = 13.31$ $\lambda_s = 0.11$ )	有補償 ( $\mu = 15.21$ $\lambda_s = 0.09$ )	無補償 ( $\mu = 13.24$ $\lambda_s = 0.11$ )	有補償 ( $\mu = 15.24$ $\lambda_s = 0.09$ )
$\mu = 8.97, \lambda_D = 0.20$	0.56	0.62	0.65	0.69	0.65	0.69

資料來源：本研究整理。

表 6 中之  $\mu = 8.97$  表示捷運列車行車延誤平均時間為 8.97 分鐘，不同時段之  $\mu$  值分別為 10.39、12.08、15.21、13.24 與 15.24，此代表不同時段、有無補償措施下，乘客感受延誤時間之期望值。例如， $\mu = 10.39$  說明尖峰時段且無補償措施下，乘客感受延誤時間之平均時間為 10.39 分鐘；其餘時段之  $\mu$  值意義依此類推。而表 6 亦顯示，無論何種時段，實施補償措施後遠較無補償措施下之可感受延誤時間較長，平均增加約 2 分鐘左右之可忍受延誤時間。

將表 6 中之  $\lambda_D$  與  $\lambda_s$  值代入式 (7) 中，如  $\lambda_D / (\lambda_D + \lambda_s) = 0.2 / (0.2 + 0.16) = 0.555$ ，其餘時段依此類推計算，分別得 0.62、0.65、0.69、0.65 及 0.69，此即乘客對捷運行車事故延誤時間之可忍受度，不可忍受度分別為 0.44、0.38、0.35、0.31、0.35 及 0.31。以尖峰時段、無補償措施下，乘客可忍受度值僅有 0.56，此代表 86 年 4 月至 87 年 12 月間，捷運系統於尖峰時段發生行車事故，產生延誤行車時間且無實施補償措施，乘客對延誤時間之可忍受度為 0.56。換言之，約超過一半乘客可以接受容忍範圍內之延誤時間。非尖峰無補償措施，乘客可忍受度為 0.65，不可忍受度 0.35，此說明，捷運系統於非尖峰時段發生行車事故，產生延誤時間，且捷運公司並無實施補償，約有 65% 乘客可以忍受；相對地，約有 35% 乘客無法忍受。

而由表 6 中顯示，不同時段，補償措施較無補償措施可提高乘客之可忍受度，約 4%~6% 效果。因此，本文得到一個結果，任何時段下，補償措施可以提升乘客對延誤時間之可忍受度，但提升幅度有限，可見現有補償措施方案對乘客誘因不大或緩不濟急，尤其尖峰時段，故目前台北捷運股份有限公司所實施之補償措施尚有改善空間。

### 5.5 乘客轉移運具彈性分析

由前述分析知，實施補償措施對於提升乘客之可忍受度有限，然而，這些無法忍受時間延誤之乘客中，有多少會轉搭其他運輸工具，為一值得探討的課題。

我們先利用乘客感受可忍受延誤時間資料，求不同時段及有無補償措施下，乘客轉移運具機率值如表 7。

根據表 7 資料顯示，無論任何時段，有無補償措施，行車事故發生後產生延誤時間，乘客改搭其他運具機率皆高達 0.86 以上。再利用表 7 中有補償與無補償之機率代入式(8)中，即得乘客移轉運具機率彈性值，如表 8。



表 7 乘客轉移運具機率值表

延誤 時間 (分)	尖峰時段		非尖峰時段		假日時段	
	無補償	有補償	無補償	有補償	無補償	有補償
5	0.866	0.891	0.904	0.918	0.904	0.919
6	0.886	0.903	0.913	0.925	0.914	0.926
7	0.902	0.915	0.922	0.932	0.922	0.932
8	0.916	0.925	0.930	0.938	0.930	0.938
9	0.928	0.933	0.937	0.943	0.937	0.943
10	0.939	0.941	0.944	0.948	0.944	0.948
11	0.948	0.948	0.949	0.952	0.949	0.952
12	0.955	0.954	0.955	0.956	0.955	0.956
13	0.962	0.959	0.959	0.960	0.959	0.960
14	0.967	0.964	0.963	0.963	0.963	0.963
15	0.972	0.968	0.967	0.967	0.967	0.967
16	0.976	0.972	0.970	0.969	0.970	0.969
17	0.980	0.975	0.973	0.972	0.973	0.972
18	0.983	0.978	0.976	0.974	0.976	0.974
19	0.985	0.981	0.979	0.977	0.979	0.977
20	0.987	0.983	0.981	0.979	0.981	0.979
21	0.989	0.985	0.983	0.980	0.983	0.980
22	0.991	0.987	0.984	0.982	0.984	0.982
23	0.992	0.988	0.986	0.984	0.986	0.984
24	0.993	0.990	0.987	0.985	0.987	0.985
25	0.994	0.991	0.989	0.986	0.989	0.986
26	0.995	0.992	0.990	0.987	0.990	0.987
27	0.996	0.993	0.991	0.989	0.991	0.989
28	0.996	0.994	0.992	0.990	0.992	0.989
29	0.997	0.994	0.993	0.990	0.993	0.990
30	0.997	0.995	0.993	0.991	0.993	0.991

由表 8 知，若捷運系統發生行車事故，以尖峰時段之乘客移轉運具機率彈性值較非尖峰及假日來得高，非尖峰時段與假日之移轉運具機率彈性值差異甚小。尖峰時段移轉運具機率彈性值介於 0.0035 ~ 0.1532；非尖峰時段介於 0.0020 ~ 0.0898；假日時段介於 0.0023 ~ 0.0893。不同時段發生捷運系統事故，移轉運具機率彈性呈現由高遞減再遞增現象。也就是說，乘客不耐等候時段出現於延誤之最初以及延誤甚久時段。延誤最初時段以尖峰時段最明顯，尤以延誤時間 8 分鐘以內之乘客移轉運具機率彈性較高；換言之，一般工作日之

尖峰時段，當捷運發生行車事故，縱使短暫時間的延誤以及實施補償措施，仍約有 15.32%、12.94% 及 10.31% 之乘客會選擇其他運具。

表 8 有無補償措施下乘客移轉運具機率彈性值

延誤時間 (分)	尖峰時段	非尖峰時段	假日時段
5 ~ 6	0.1532	0.0898	0.0893
6 ~ 7	0.1294	0.0850	0.0846
7 ~ 8	0.1031	0.0774	0.0771
8 ~ 9	0.0761	0.0679	0.0677
9 ~ 10	0.0501	0.0573	0.0572
10 ~ 11	0.0257	0.0461	0.0461
11 ~ 12	0.0035	0.0347	0.0348
12 ~ 13	0.0162	0.0234	0.0235
13 ~ 14	0.0332	0.0124	0.0127
14 ~ 15	0.0477	0.0020	0.0023
15 ~ 16	0.0597	0.0077	0.0074
16 ~ 17	0.0694	0.0168	0.0164
17 ~ 18	0.0770	0.0250	0.0246
18 ~ 19	0.0827	0.0324	0.0320
19 ~ 20	0.0867	0.0391	0.0386
20 ~ 21	0.0893	0.0449	0.0445
21 ~ 22	0.0905	0.0499	0.0495
22 ~ 23	0.0906	0.0542	0.0538
23 ~ 24	0.0898	0.0579	0.0575
24 ~ 25	0.0883	0.0608	0.0604
25 ~ 26	0.0861	0.0632	0.0628
26 ~ 27	0.0834	0.0649	0.0646
27 ~ 28	0.0804	0.0662	0.0659
28 ~ 29	0.0770	0.0670	0.0667
29 ~ 30	0.0735	0.0674	0.0671

不同時段乘客移轉運具機率彈性值最小分別出現 0.0035、0.0020 及 0.0023，對應延誤時段，分別為 11 ~ 12、14 ~ 15 及 14 ~ 15 分鐘，超過上述時段，移轉運具機率彈性再呈現遞增現象。

從表 8 資料顯示，當捷運發生行車事故，乘客移轉運具出現兩次高峰，分別為在最初 8 分鐘以內及 15 分鐘以後。將此移轉高峰時段對照捷運所實施補償措施，可發現當行車事故延誤時間 30 分鐘以上，加發計程車卷乙張且啟動公車接駁措施，已無法符合乘客移轉運具之迫切性需求。

## 六、結論與建議

長久以來，研究軌道運輸課題一直著眼於運輸系統本身可靠性、事故規模、安全與風險、服務品質指標訂定、乘客滿意度調查等課題，忽略乘客對軌道運輸系統延誤忍受程度問題。有鑑於此，本文利用工程可靠度理論之干擾理論及經濟學之需求彈性觀念，分析捷運乘客對行車事故延誤時間可忍受度及乘客移轉運具效果。

以民國 86 年 4 月至 87 年 12 月之捷運行車事故資料而言，無論以電聯車系統、號誌系統以及總行車事故來看，經 Bartlett's 檢定，行車事故延誤時間均呈現指數分配，此與先驗假設條件相符合，問卷調查之乘客可忍受延誤時間亦符合指數分配。若於尖峰發生行車事故且無補償，乘客可忍受度僅有 0.56；若採補償措施，可忍受度提升至 0.62；若於非尖峰且無補償措施，乘客可忍受度僅為 0.65，實施補償措施，可忍受度提升至 0.69。若在假日且無補償，乘客可忍受度亦僅為 0.65，若實施補償措施，亦僅可提升至 0.69，非尖峰與假日之乘客可忍受度差異不大。

另外，捷運系統發生行車事故，尖峰時段乘客移轉運具機率彈性皆較非尖峰及假日來得高，非尖峰與假日時段之移轉運具機率彈性差異甚小。不同時段，乘客不耐等候時段出現於延誤最初以及延誤甚久時段。將此移轉高峰時段對照捷運所實施補償措施，可發現當行車事故延誤時間 30 分鐘以上加發計程車卷乙張且啟動公車接駁措施，已無法符合乘客移轉運具之迫切性需求，可見目前捷運所實施補償措施有改善空間。

本文雖獲得上述結果，唯尚有許多課題值得後續發展與探討，後續相關課題如下所述：

1. 本文乘客可忍受度的求解係假設許多系統獨立，後續研究可放寬此一條件，發展串聯或並聯之可忍受衡量模式；
2. 未來後續研究可就目前捷運實施兩種補償措施，分析此兩種補償措施與無補償措施下可忍受度變化情形。
3. 後續研究可利用運具選擇模式或其他方法分析乘客運具移轉效果，並探討捷運系統改善或惡化對乘客可忍受度變化情形。
4. 可利用本文分析模式與架構，討論其他軌道運輸或其他運輸系統之乘客可忍受度問題，如此將有助於營運者更切實掌握使用者感受度。

## 參考文獻

1. 李治綱、周學怡、孫志煌，「列車營運計畫之可靠性分析」，**運輸學刊**，第十卷，第一期，民國八十六年，頁 73-90。
2. 張有恆，「改善都市大眾運輸系統服務可靠性之策略」，**運輸計劃季刊**，第十三卷，第二期，民國七十三年，頁 165-175。
3. Crandall, M. A., "Toward an Operational Measure of Transportation System Reliability", Master Thesis, Northwestern University, 1972.
4. 張有恆，**都市大眾運輸—系統與技術**，華泰書局，民國七十六年。
5. 藍武王、洪維強，「台北市木柵線捷運系統無障礙設施滿意度之調查研究」，**運輸計劃季刊**，第二十六卷，第一期，民國八十六年，頁 203-232。
6. 藍武王、吳炯炎，「台北市木柵線捷運車站轉乘服務之滿意度調查研究」，**運輸學刊**，第十卷，第一期，民國八十六年，頁 141-162。
7. 交通部運輸研究所，**捷運鐵路保安制度問題之研究**，民國八十二年。
8. 蔡明志、張新立，「軌道運輸營運安全管理技術之研究」，**都市交通季刊**，第十五卷，第二期，民國八十九年，頁 27-40。
9. 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」，**運輸計劃季刊**，第二十九卷，第一期，民國八十九年，頁 181-212。
10. Kesling, G. D. and Whittaker, I. C., "A Simulation Model of Railroad Reliability", *Simulation*, Vol. 44, No. 4, 1985, pp. 168-172.
11. 金克非，「台南市公車路線服務可靠度之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國七十四年。
12. Chen, A., Yang, H., and Lo, H. K., "A Capacity Related Reliability for Transportation Network", *Journal of Advance Transportation*, Vol. 33, No. 2, 1999, pp. 183-197.
13. Taylor, M. P., "Travel Time Variability – The Case of Two Public Modes", *Transportation Science*, Vol. 16, No. 4, 1982, pp. 507-521.
14. Abkowitz, M. and Tozzi, J., "Research Contribution to Managing Transit Service Reliability", *Journal of Advance Transportation*, Vol. 21, No. 1, 1987, pp. 47-65.
15. Knight, T. E., "An Approach to the Evaluation of Changes in Travel Unreliability: A Safety Margin Hypothesis", *Transportation*, Vol. 3, 1974, pp. 393-408.
16. 高應斌、歐陽讓，「軌道運輸安全分析技術之應用」，第五屆運輸安全研討會論文集，民國八十七年。
17. 台北市捷運股份有限公司，「行車運轉工作說明書」，民國八十九年。
18. Solvic, P., *The Price of Saving Lives, Developing Railway*, London, 1993.

19. Health Safety Executive, HSE, *Major Hazard Aspect of the Transport of Dangerous Substances*, HMSO, London, 1991.
20. Health Safety Executive, *Quantified Risk Assessment: It's Input to Decision Making*, HMSO, London, 1992.
21. Jone-Lee, M. W. and Loomes, G., "Towards a Willingness to Pay Based Values of Underground Safety", *Journal of Transport Economic and Policy*, Vol. 28, No. 1, 1994, pp. 83-99.
22. Bates, J., Polak, J., Jones, P., and Cook, A., "The Valuation of Reliability for Personal Travel", *Transportation Research Part E*, Vol. 37E, No. 3, 2001, pp. 191-229.
23. Tisato, P., "Service Unreliability and Bus Subsidy", *Transportation Research Part A*, Vol. 32A, No. 6, 1998, pp. 423-436.
24. 柯耀輝，「可靠度保證」，中華民國品質學會，民國八十六年。
25. 品管學會可靠度推行委員會，「可靠度工程實務」，民國七十八年。
26. 張清溪、許嘉棟、劉鶯釧、吳聰敏，**經濟學**，三民書局，民國八十九年。
27. 顏月珠，**商用統計學**，三民書局，民國八十九年。

