

以離散事件模擬推估大量傷病患現場 緊急救護作業時間

Estimate On-site Operation Time of Emergency Medical Services for a Mass Casualty Incident by Using Discrete Event Simulation

曾偉文 Wei-wen Tseng^{**}

摘要

要用特定的模型來描述和分析大量傷病患事故緊急救護應變需求是非常困難的，由於緊急事故的不可預測性、規模差異、不確定性以及複雜性等因素，很難以量化方式評估撰擬應變計劃，因此，本文採取離散分析理論來建置模型，以模擬方式對大量傷病患事故緊急救護進行評估，並以 2015 年 6 月 27 日所發生的八仙事故 499 人受傷情境進行嘗試模擬，藉由虛擬與隨機到院前情境，以 VB 程式語言編譯建構模擬模型，經由模擬與分析，可以發現整個應變作業的瓶頸、評估大量傷病患事故緊急救護、來提供未來群聚活動事故撰擬緊急應變計畫的參考。

關鍵字：VB 程式語言、離散事件模擬、大量傷病患事故

※中央警察大學消防學系，助理教授 (Weiwen.tseng@mail.cpu.edu.tw)。

Abstract

It is difficult to describe and analyze the Emergency Medical Services (EMS) for Mass Casualty Incidents (MCIs) just by certain modeling, the unpredictability, magnitude, uncertainty, and complexity of these events also make it hard to develop efficient response plans based on quantitative assessments. Therefore, a stochastic modeling and simulating method for EMS/MCI evaluation is proposed based on the Discrete Event System theory. An incident titled “Color Play Asia” party, which occurred on 27 June, 2015, in Taiwan, causing 499 burn injuries, was used in the case study. With different virtual and stochastic pre-hospital scenarios, the relevant simulation model is constructed with the Visual Basic programming explicitly. Through simulation and analysis, it is easily to discover the bottlenecks, to evaluate the EMS/MCI system and to provide the emergency operation plan as a reference for such mass gathering incident.

Keywords: Visual basic, Discrete event simulation, Mass casualty incident.

壹、 研究背景

我國災害防救法於 2000 年 7 月公布以來，要求中央災害防救業務主管機關及公共事業就其掌理業務或事務擬訂之災害防救計畫，以雪山隧道為例，交通部就需針對該量體訂頒緊急應變計畫，並依照計畫每季舉辦演練一次，但是為了避免日常營運受到影響，演習多選在深夜且人車均已管制淨空，演練情境亦先行排演套招，極短時間就演練完畢，因此，遇有真實事故，常臨危處置慌亂無序；另外，內政部所訂頒「大型群聚活動安全管理要點」，雖已要求主辦單位研訂安全防護計畫，但多未估算群聚事故可能影響的範圍與樣態，無法類似消防主管機關，針對大型空間自衛消防編組演練暨驗證及建築主管機關針對建築物防火安全避難驗證，以量化的方式進行建築物內部使用人員人命安全的風險

評估，較難對活動危機處理與事故管理作完善的規劃與準備；因此，如何就現行各種災害應變計畫的成效進行量化評估，已成為災害管理學界以及實務界現今努力的目標。

儘管目標以臻明確，但因災害管理僅是近年來新的研究領域，而其涉及減災、整備、應變及復原的主題範圍極為廣泛，應變主題的次子題內容又琳瑯滿目，其中到院前緊急救護，在災害管理之相關研究更是有待開發 (Hoejenbos et al., 2008; Bradt, 2009)，到目前為止，實證研究清楚定義了災害境況所需的緊急醫療應變原則與評估方法還是屈指可數，大多數的相關研究還是著重在質性描述和專家訪談 (Stratton, 2014)，而有關於災害管理應變的相關資料庫也有待開發，雖然在 2004 年 12 月南亞海嘯後，國際間已經對大型災害的醫療介入，開始進行資料蒐集並有系統化的檢討，但仍沒有關於災害醫療系統對災害緊急救護與醫療成效的相關研究 (Blanchet et al., 2015)，而廣泛使用隨機對照試驗 (Randomized Controlled Trials, RCT) 等研究方法，雖可用於量化評估，然而，在緊急醫療實務上或倫理上卻不可行也不適當，而且不像到院後急診作業，到院前 EMS 收集 MCI 有效的數據是非常困難的，因為，過程中第一線應變人員會將傷者處置作為第一優先，不會有時間去做資料登錄以及作業決策記錄 (Morton et al., 2011)，讓大量傷病患事故 (Mass Casualty Incident, MCI) 緊急救護 (Emergency Medical Service, EMS) 的研究，在缺乏佐證資料下，更加侷限其實證研究的方法；另外一個問題，是必須對不同災別 EMS 所產生傷況應變成效進行評估，例如：群聚活動燒燙傷與建築物倒塌創傷的差別，以及在相同災害的不同應變策略間進行差異比較，例如：燒燙傷與創傷投入不同應變資源等，迄今仍沒有一個標準化的架構 (Debacker et al., 2010)，因此，讓 MCI 所需 EMS 應變策略與計畫要以實證的方法進行就更具挑戰性。

雖然具高度的挑戰，但實證方法已儼然成為主要不可逆趨勢，且過去十幾年來，模擬也已經成為研究災害應變的理想方法，只要釐清應變的關鍵因素與特徵，即能開發 MCI 所需 EMS 的觀念模型 (Hubloue et al., 2010)；由於傳統的列隊理論 (Queue Theory) 與系統動態 (System Dynamic) 等分析方法不能掌握複雜的 MCI 中的傷患流 (Wu, 2008; Hoyos et al., 2015)；現今計算機建模和模擬已經能夠彌補上述問題，在虛擬可控制的實驗環境中，進行研究並測試假設情境，也就是模擬允許災害管理應變上，能整合隨機和動態相關情境，避免不切

實際的假設，為災害管理研究者提供了很大程度的控制，也讓模型中相關因素之間的關係，可以放入情境進行討論 (Hoyos et al., 2015)，當應用特定應變介入措施或程序時，確保緊急醫療資源運用最佳化，電腦模擬可以依實證數據，綜合考慮到受影響 MCI 背景因素與具體情景，如果使用正確，模型模擬可結合災例經驗數據，有效幫助 MCI 之 EMS 應變決策和介入的實證探討 (Hoard et al., 2005)；而與災害防救訓練和演習相比，模擬更可以探究所有可能的應變情境，在對傷者和第一線應變人員無風險負擔的環境下，來檢視緊急應變計畫的可行性與合理性 (Christie and Levary, 1998)。

為了解國內外相關研究情況，作者以美國國家醫學圖書館所建置的 PUBMED/MEDLINE 及 GOOGLE SCHOLAR 資料庫，以災害、大量傷病患、緊急救護等關鍵字搜尋國內外相關研究，包括大量傷患事故或災難事件緊急救護派遣問題，並查 Aboueljinane 等學者對相關議題所做的近 90 篇文獻整理 (Aboueljinane, Sahin, and Jemai, 2013)，發現相關文獻皆利用 AnyLogic, Arena 等商用軟體，來建立 MCI 狀況下 EMS 系統模型，並透過所建置的模型來了解不同決策對應變結果的影響，並且進一步分析各種決策對此系統產生的變化，透過模擬實驗設計，得到系統改變後的量化結果，最後對決策方式做出建議；而相關研究採用商用軟體而不用類似 Visual Basic (VB) 等高階程式語言撰寫的主要原因，是其研究將系統模型分解成相當細膩的子模型，例如：學者 Debacker 等人自 2011 年建置模型開始，陸續蒐整現場搜救效率、作業型態、檢傷方式、投入資源、後送排序、分流到院及急救責任醫院收治量等七大項影響大量傷病患緊急救護應變時間的因子，提供離散事件模擬使用 (Debacker et al., 2016)，盡管所建置模型相當細膩，但仍缺乏許多關鍵數據資料，過程中必須設定許多研究假設；而本文僅針對災例投入資源策略進行談論，包括動員救護車數量以及緊急救護技術員 (Emergency Medical Technician, EMT)，將以非商業軟體之高階語言 VB 做為工具，一方面比較適合有限的調查資料，另一方面未來蒐集資料擴大與模型細緻化後，可與選用的商用軟體結果進行比對。

因此，本文嘗試使用 VB 程式語言來模擬群聚活動 MCI，希望依先前研究理論架構與收集資料 (曾偉文, 2017)，提出 MCI 現場 EMS 應變作業時間的推估方法，並以八仙事故比對模型的有效性，讓此量化評估的方法，能做為未來檢討應變計畫以及執行演練的參考，除本節說明研究動機以及國際相關研究外，

第二節討論 MCI 現場 EMS 各個作業流程以及輸入資料方式，第三節說明災例之情境設定，第四節中將以八仙大傷事故與模擬結果進行比對，最後說明本文量化方法實務面的運用，以及敘明未來努力發展方向。

貳、 研究方法與材料

大量傷病患事故現場通常將患者分為重傷、中傷、輕傷或預期死亡；最危急，最嚴重，但有機會存活或改善預後的病患稱為重傷，應該立即處理，通常用紅標作為識別；狀況嚴重，但稍晚點處置並不會危及生命的病患，稱為中傷，也就是說可以暫緩處理，通常用黃標作為識別；狀況輕微的病患，稱為輕傷，可延遲處理；通常用綠標作為識別；至於已經明顯死亡，或是即使投注大量醫療資源也生機渺茫的嚴重傷病患，通常用黑標作為識別，我國因醫療設施可及性較高，醫療處理的順序是重傷最為優先，其次是中傷，再其次是輕傷，而黑色患者最後處理，這樣才能最為有效地運用醫療資源；由於本文災例現場並無黑標傷患，對於行動力較好的綠標病患，還必須管制在待援區內，避免影響檢傷區紅標及黃標傷患先行檢傷與後送的相關作業，絕大部分綠標傷患不耐等待，多由朋友載送或攔車自行就醫，到院處理完畢即返家，醫院依照個資法也無法提供，提高原始資料追蹤的困難度。惟本文藉由既有單一案例資料建置模型，主要希望了解模型與真實世界的差異，為簡化模型，傷患部分僅針對紅標及黃標人員之救護相關作業時間進行評估。

要建置 MCI 之 EMS 模擬模型，需要設定大量的具體參數，剛開始所考慮到的只是模型的邏輯問題，例如：什麼傷者（實體）被搜救、檢傷、初步處理以及後送，以及 EMT 人數與救護車車次需求等資源，實體怎樣進入及離開系統、需要哪些資源、移動的路徑、以及過程中每個事件處理方式差異等等，這些都被稱作結構建模 (Structural Modeling)，本文針對現場處理估算時間，將藉由圖一：大量傷病患傷者動向來描述未來現場處理模擬的架構，即現階段消防單位對所有 MCI 現場傷病患 EMS 的內容主要有三：包括評估傷病患的情況排定優先順序（即檢傷）、救命的醫療（如大出血的控制等初步處理）、以及按優先順序後送至適當而有能力處理的醫療院所（即後送）。依照緊急醫療大傷現場救護優先處理原則，EMT 人員會將搜救進入集中區傷患，先就行動力與反應力

較佳傷患自行去具集中區步行距離數十公尺綠標等待區依序處理，即初步檢傷或稱第一次檢傷；現場重傷人員再依呼吸、脈搏以及反應等生命徵象 RPM 分數，來進一步區分為黃標與紅標，基本上是在集中區旁的檢傷站及醫療站進行；因此，當消防單位到達災害現場，為避免二次災害，會決定一個相對安全區域 (Casualty Collecting Point, CCP) 將所有傷患集中，並以傷者行動力進行初步區分輕重傷，為避免輕傷人員干擾，會請綠標傷患移動到待援區 (Green Tag Area, GTA)，重傷人員就會在 CCP 旁之檢傷站 (Triage Post, TP) 立即進行二次檢傷，分辨紅標與黃標傷患，並分別給予初步處理，如果傷者過多以及尚有適當空間，還會在旁邊成立醫療站 (Medical Post, MP) 進行處理，在台灣，MCI 災害現場多以「簡單檢傷及快速處置」(Simple Triage And Rapid Treatment, START) 進行分類，將傷患分為四級：優先（紅標）、延遲（黃標）、可行動（綠標）及預期死亡（黑標），而黑標則非 EMS 服務對象、多數綠標亦搭乘一般交通工具自行就醫，或是不佔擔架在後送站 (Delivery Post, DP) 與重傷共乘救護車前往指定醫院，所有緊急醫療資源幾乎投入在重傷的照護；因此，在 MCI 混亂且眾多的傷患中，如何迅速掌握紅、黃標等重傷 EMS 需求，動員派遣適當車輛人員，並正確進行病患檢傷及分類，對於整體的救護運送及醫療處置有極大的關聯性 (Good, 2008)，也是本研究模擬評估的重點；除上述流程外，還需要考慮下列理論架構與案例調查實證資料。

因此，如圖 1 現場處理時間 (On-site Time)，含括現場搜救、架站、檢傷、以及初步醫療，然後決定後載運型態，配合現場後送官指揮調度之整體作業；對於重傷傷患而言，即依推估 EMS 需求人數，調查進入現場緊急救護系統的時間、即重傷人員出現時間，到檢傷站排隊等待初步處理直到處理完成、即檢傷初步處理時間，以及到達後送站等待救護車分流送醫、即現場等候救護車時間的整體流程作業時間，茲分別說明如次。

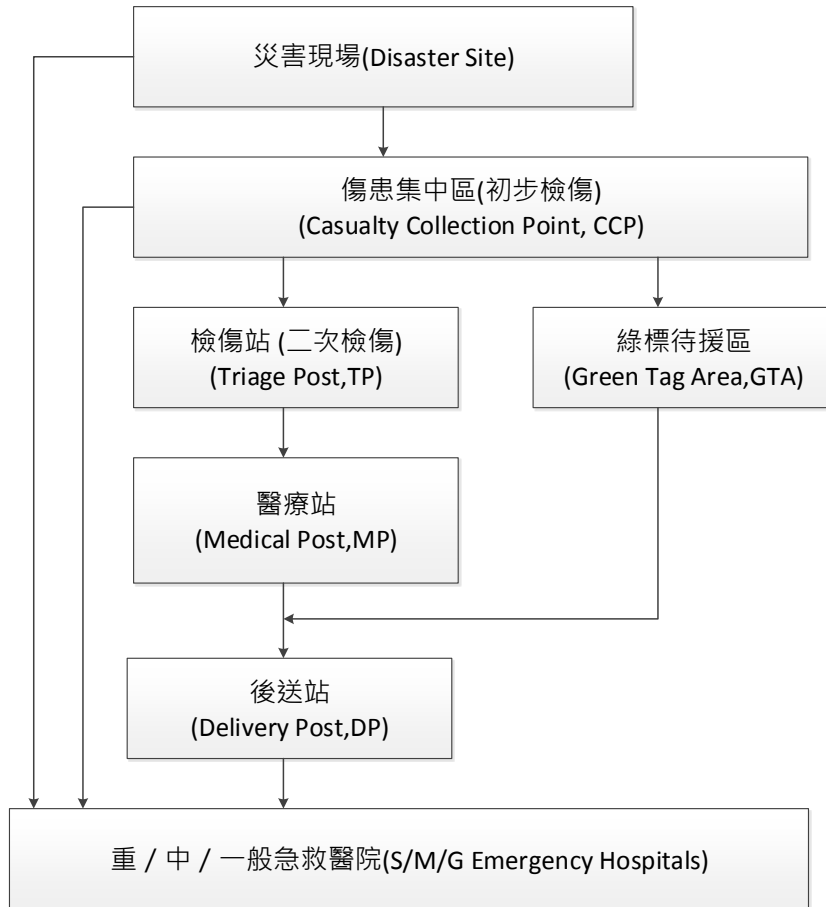


圖 1 大量傷病患傷者動向圖

一、推估 EMS 需求人數

緊急應變及處置時間可長可短，不論是人為災害，抑或天然災害，必須視災害所造成的境況及傷亡情形，進而動員所需人員、設備及耗材等；學者 Wayne 將 MCI 依應變時間長短分為兩種樣態 (Dauphinee, 2015)，第一種是在一定時間內，傷病患的高峰期會依災害應變處置而下降，例如：2014 年高雄市地下丙烯管線氣爆、2015 年新北市八仙樂園粉塵爆燃以及 2016 年 2 月 6 日維冠金龍大樓倒塌事故等災害；上述災害型態，在災害初期，大量救援能量及緊急醫療投入現場，但災害事故趨緩後，其現場救援需求會漸趨於穩定，所需的救援能量及醫療資源較容易協調調度；另一種災害屬於長時間的事件，例如：2003 年全球 SARS 傳染病、2015 臺南登革熱疫或近年來國外核生化惡意攻擊等，災害初

期可能僅是個案，隨事件時間增加，慢慢到達緊急醫療高峰期，而本研究所需 EMS 需求人數，係以針對前者樣態進行推估，並以群聚事故為驗證對象，俾與八仙事故研究 (曾偉文，2017) 進行比對。

(一) 群聚事故

Wayne 建議 MCI 現場，EMS 動員救護車數量，應以提供 20~50% 傷者後送服務做為派遣原則 (Dauphinee, 2015)；對於群聚 MCI，由八仙災例現場近 500 名民眾，最後紅標 16 人以及黃標 88 人等資料來看 (曾偉文，2017)，符合柏拉圖 (Pareto Chart) 所謂的 80/20 的趨勢或原則，也就是只要解決 20% 重傷病患需要 EMS 的問題，即 $(16+88)/499=0.21$ ；其中特別是重傷傷患 20% 的紅標病患應特別優先處理，案例雖僅 15% (16/104)，跟理論需求推估有差距，主要原因是彼此缺乏大量實證資料所造成的偏誤 (bias)，但是在模擬的時候，在輸入現場人數時，VB 要能以理論估算重傷人員，來了解動員緊急救護資源的需求。

(二) 分散建築物事故

土耳其學者地震採人口分布 (Population-based) 方式，地震 EMS 需求人口數 0.5% (最小)、1% (中數) 及 1.5% (最大) (Kılıç et al., 2016)；例如：震央附近 1 萬人行政區域取最嚴峻 150 人之 EMS 需求；比對台灣 1999 年 921 大地震當時南投近 50 萬人口，受傷就醫人數 2421 人則為最小值，主要應該是建築結構不同所致；另 Esmaili 等學者 (2016) 以受地震影響區域人口數、年齡分布、發生時間、修訂麥加利地震強度、性別、以及各類場所分布比例等因素，以決策支援系統估算地震所需救護車後送人數；另外，美國亦發展結合簡易建築物損害評估與異質網路介接技術開發 SUPER-MAN 資源決策系統 (Chen et al, 2012)，推估大範圍地震災害所需 EMS 資源。

(三) 單一建築物事故

參考美國陸軍工兵部隊以結構性估算受困者的人數，其所提供表格中分成 Panel A 及 Panel B 兩種預判方法：panel A 採建築區域來估算，例如學校類的搜救可能是以每平方英尺估算有 1/70 人受困；panel B 以占用類型來估算，例如學校每間教室估算 20-30 人受困，醫院則是以每個病床估算 1.5 人受困 (US Army Corps of Engineers, 2008)；以歷年地震單一建築物倒塌，對 EMS 需求分別為維冠大樓 1,3142 平方公尺為 211 人、東星 11,259 平方公尺為 190 人、以及博士的家 6,500 平方尺 73 人等來看，的確與建築總樓地板面積有的線性關係。

二、重傷人員出現時間

本文模擬群聚活動 MCI 情境基本上，現場可行走的 80% 綠標傷者不是 EMS 緊急救護資源投入的主要對象，在事故發生後，多配合重傷先後送，以不佔擔架方式由救護車後送離開現場；而無行動能力傷患從由現場民眾 (Bystanders) 或消防人員按照順序運送至 CCP，除特殊空間量體，例如作者曾探討隧道特殊空間傷患搜救出現型態外 (Tseng, Shen and Shen, 2017)，必須考量我國搜救效率，作為現場搜救傷患出現頻率的主要依據；對於開放空間活動 MCI，無涉搜救程序，一般在某時間區段內，平均會發生若干次「事件」，但是有時候很少，有時又異常地多，因此，由開始到第一次事件發生的時間到下一事件應該採常用的指數分配，由於指數分配可以用來表示獨立隨機事件發生的時間間隔，一個指數分布的機率密度函數、累積分布函數以及反向累積機率函數分別為：

$$f(x) = (\lambda)[\exp(-\lambda x)]$$

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$$

$$F^{-1}(u) = 1 - \frac{\ln(1-u)}{\lambda} = -(\text{mean})[\ln(1-u)]$$

其中"Exp()"代表括弧中數值自然對數的指數，而"ln()"則是自然對數， u 為 0~1 的隨機變數；當我們依前節群聚總人數推估重傷與紅標傷患人數，也可以了解各個傷患送進檢傷站做初步處理的時間，例如紅標傷患假設平均每 5 分鐘會進入檢傷區，就是 $\lambda = 0.2$ ，如果給定隨機機率 $U[0,1]$ 為 $u = 0.5636$ ，就能得到隨機出現紅標傷患的間隔時間為：

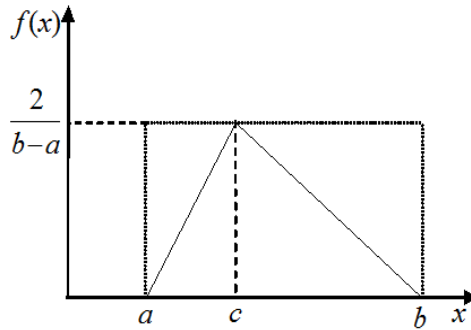
$$F^{-1}(0.5636) = -(5\text{min})[\ln(1 - 0.5636)] = 4.1\text{min}$$

三、檢傷初步處理時間

前節亂數所給的傷患時間間隔的設定，重傷傷患出現後就是使用資源時間的設定，也就是檢傷時間；類似的作業分布通常取決於已知變量之間的關係，由於數據的收集成本太高而缺少採樣數據的場合，像是在大傷現場，EMT 人員忙於檢傷初步處理時間，通常是憑經驗給定最小值與最大值，從而推算合理的常見值，本文作者根據透過案例的調查（曾偉文，2017），發現燙傷紅標傷患到達檢傷站的時間是呈指數分配，平均時間為 6.9 分鐘，即 $\text{Exp}(6.9)$ ；另外，檢傷初步處理時間，基本上都是憑經驗 (Experience-based) 做合理推估，需多緊急醫療相關文獻，不論是到院前 (Debacke, 2016) 或到院後的檢傷 (Cao and Huang, 2012)，亦採專家訪談後，選用三角型分布進行模擬，本文有關 Emergency Medical Technician Paramedics (EMTP) 對紅標傷患檢傷的所需時間，經由案例調查及訪談能得到 EMT 處理紅標傷患時間大概是 1 到 5 分鐘，其中最有可能的時間採 3 分鐘，因此在這裡我們採用三角形分布，即 $\text{TRIA}(1, 3, 5)$ ，而黃標傷患則採 $\text{TRIA}(1,2,3)$ ，即

$$\begin{aligned} f(x, a, m, b) &= \left[\frac{2}{(b-a)} \right] \left[\frac{(x-a)}{(m-a)} \right] \\ &= \left[\frac{2}{(b-a)} \right] \left[\frac{(b-x)}{(b-m)} \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

有關 VB 中使用資源的選用原則如表 1，在設定時，當傷患來到檢傷區如果 EMT 忙碌，傷患就必須等候，雖然愈多 EMT，傷者平均等候時間就愈短，但閒置資源的時間就越多，本文將針對重傷傷患設定 1~3 名救護技術員來比較其中差異，由於反函數較為複雜且不易求得，因此，針對群聚燒燙傷進行考慮三角分配 (Triangular Distribution) 反向累積機率函數，將採接受拒絕法 (Acceptance-rejection Method) 撰寫程式，即：



演算法：

1. 產生 r_1 及 r_2
2. 讓 $x = a + (b - a)r_1$
3. 若 $x \leq c$ ，則至步驟 4；若 $x > c$ ，則至步驟 5
4. 若 $y \leq \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}$ ，則接受 x ，否則捨棄
5. 若 $y \leq \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}$ ，則接受 x ，否則捨棄

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, & c \leq x \leq b \end{cases}$$

表 1 設定處理時間選項與原則

類型	說明	數值設定	選用原則
Constant	常數，時間固定不變	固定值	自動化作業
Normal	常態分佈	平均值(Mean) 標準差(Std Dev)	與平均值差距越大，可能性越低
Triangular	三角形分佈	最小值(Minimum) 最可能值(Most Likely) 最大值(Maximum)	在一定區間內變化 知道最有可能的值
Uniform	在區間內的均勻分布	最小值(Minimum)	只知道在一定區間內變化
Expression	由機率變數組成運算式		複雜或不規則變化

四、現場等候救護車時間

先前八仙案例研究中 (曾偉文, 2017), 曾就實地調查、收集資料與分析, 分下列步驟進行: 先確認所登載 127 名傷患年齡、傷勢、現場 START 檢傷、後送救護車、醫院及時間等資料彙整; 在作業時間中, 累積到達現場與離開現場救護車次調查資料, 執行後送救護車迴歸, 可以獲得車輛與事件發生後時間關係式為「到達現場車次= A(T-B)」, 其中 T 為事故發生後時間 (分鐘), A 為車輛動員係數, B 為第一梯次到達現場時間; 以八仙事故為例, 為確認中現場紀錄資料的正確性, 各趟車次抵離時間, 所屬分隊與後送醫院, 皆以 GOOGLE MAP 推估再確認; 例如, 第一部救護車係由該局第二大隊最近分隊派出, 該車駐點距離事發現場 3.1km, 在事故發生後 12 分鐘抵達現場, 由於必須架設指揮、醫療、檢傷及後送等站, 在等距離 13.9km 外消防分隊派出 A1 救護車抵達事發後, 才由 A1 執行第一車次後送傷患離開現場, 以夜間 90 秒出勤, 平均車速 40 km/hr 計算, A1 車讓所後送傷患等待時間約為 24 分鐘, 總共後送服務時間 45 分鐘, 以新北市消防局救護車實際投入案例後送 47 部車, 將回歸服務車次所得 $0.3(T-12)$, 做為嘗試模擬的依據。

參、 實驗設計與嘗試模擬

為探討本研究採用緊急救護架構模型理論於大量傷病患之運作效益, 將以所撰擬 VB 模型模擬核對先前調查八仙事故資料進行檢驗, 首先將圖 1 流程中的組織結構定義在 VB 模擬演算法中, 而此步驟同時也符合 MCI/EMS 架構, 亦即探討應變的開始必須以作業流程為出發點, 嘗試性模擬依不同策略因子, 針對不同救護車動員與 EMT 參與等資源投入調整變數, 並轉換成 VB 軟體介面進行模擬, 操作截圖如圖 2。

The screenshot shows a software interface titled 'Form1' with the following sections:

- 查核點一 (Check Point 1):** Includes a text box for '初估影響總人數(75~5000):' with the value '500', and three stacked text boxes for '總人數:500', '重傷(趟數):100', and '紅標:20'. A '下一步' (Next) button is present.
- 查核點二 (Check Point 2):** Includes a dropdown menu for '紅標進入時間:' set to '指數分配' (Exponential Distribution), a text box for '平均時間:' with the value '6.9', and a '下一步' (Next) button.
- 查核點三 (Check Point 3):** Includes a dropdown menu for '處理時間分配:' set to 'Triangular', and three text boxes for '接近值:' (3), '最大值:' (5), and '最小值:' (1). A '下一步' (Next) button is present.
- 查核點四 (Check Point 4):** Includes a text box for 'EMT人數:' with the value '2' and a '下一步' (Next) button.
- 查核點五 (Check Point 5):** Includes a slider for '救護車參數:' and a '初抵達時間' (Initial Arrival Time) section with a '下一步' (Next) button.
- 到車率 (Arrival Rate):** A text box shows '到達現場車次=0.31(T-12)'.

圖 2 大傷現場作業 VB 模式介面

一、模擬災例

本研究以 2015 年 6 月 27 日八仙樂園災例作為研究素材 (曾偉文, 2017), 當日新北市消防局救災救護指揮中心於 20 時 32 分接獲 119 報案, 先後出動各式消防車及救護車輛、消防及義消人員前往搶救, 事後統計動員救護車計: 轄區新北市 53 輛、台北市 20 輛、桃園市 12 輛、台北港 1 輛、基隆港 1 輛、基隆 5 輛、新竹縣 2 輛、新北、各縣市衛生局及民間 44 輛、軍方 5 輛、桃園機場 1 輛, 合計 144 部救護車, 但現場 499 名傷患中, 347 名 (約佔 70%) 傷勢較輕民眾, 採自行或由同儕護送就醫, 就醫處理後自行返家; 至於台北市、基隆市及桃園縣等他轄支援救護車計 91 輛, 因對路況不甚熟悉, 僅在外圍待命區協助載送非經檢傷自行步出園區外部之 25 名綠標傷患, 由於到院敷藥後皆自行離院, 資料登錄不全難以查對, 將不在本文討論範疇; 因此, 本文僅就轄區新北市消防局動員之 53 輛救護車, 其中扣除 6 輛待命救護車在現場執行指揮管制、初步處理及檢傷分類, 針對實際執行後送救護車 47 輛, 歷經三個半小時共計 65 車次 (其中跑 3 趟 1 輛、跑 2 趟 16 輛、及僅跑 1 趟 30 輛), 完成 127 人後送醫院

作業進行評估，其中包括現場 EMT 於檢傷區判定之紅標 16 人、黃標 88 人及綠標 23 人；本文新北市消防局後送 127 人中均有接受醫院緊急醫療處理；雖然事後媒體陸續報導半年內發生死亡共 15 人，惟經查死亡 15 人，皆為親友自行載送就醫，因感染引發敗血所致，因此，非屬災例 127 人在現場接受緊急救護服務之探討對象。

二、情境設定

由於群聚大傷與日常救護都太過隨機，現階段為簡化相關作業研究，僅針對整體緊急救護資源進行動員假設，暫不考慮日常救護時空需求，對 MCI 動員所造成的影響；由於 MCI 發生時，新北市消防局為處理轄內日常救護勤務，必須保留一定數量救護車因應，而勤務指揮中心派遣作業，基本設定 MCI 最大動員車輛為 40%，搭配他轄支援救護車，實施大傷到院前緊急救護；惟先前研究發現（曾偉文，2017），他轄支援車輛對災區緊急醫療設施並不熟悉，且臨時應變無線電頻道，必須透過日常救護頻道轉送訊息，致難以指揮調度，執行效率很低；因此，建議災區提高轄內派車比率，並由他轄支援救護車補位至分隊，搭配當地 EMT 協助日常救護，來提升 MCI 所需 EMS 的效能。

針對救護車動員部分，當 MCI 發生時，消防單位為處理轄內日常救護勤務，必須保留一定數量救護車因應，以本文為例，新北市消防局全年救護量為 306,177 件，平均每小時 35 件，依八仙事故後送持續作業長達三個半小時來看，轄區百餘件日常救護案件，仍須提供一定服務量，因此，新北市消防局救護車實際投入案例後送 47 部車，僅占該局 40%（曾偉文，2017）；但救護車到達醫院交接病患後，又可以重返 MCI 現場執行下一波的後送工作，本文以迴歸服務車次可得 0.3(T-12)作為基準，為了瞭解投入資源對系統的影響，即原來 MCI 動員救護車，增加動員能量，了解重傷傷患等待救護車後送時間及整體應變時間的影響，並執行對系統靈敏度分析（Sensitivity Analysis）來對模型進行驗證（Verification），即動員係數 A 分別採 0.3、0.4 與 0.5 進行比對。

第二種情境是救護技術員 EMT 的人力資源投入，EMT 含括初級(EMT1)、中級 (EMT2) 及高級 (EMTP) 等不同級別救護技術員，MCI 現場依不同傷勢由不同 EMT 進行不同程度後送前的初步處理；如同不同等級急救責任醫院醫療能力對傷病患存活率的影響，不同等級緊急醫療救護員在後送過程對傷患的

照護，對於到院前生命徵象維持至關重要，但本文沒有以惡化率 (Deterioration Rate) 作為討論，因此假設現場處理能力是相同的，針對重傷傷患 EMT 的人力資源投入 1 至 3 名人力，了解在檢傷、初步處理及整體應變時間的影響。

三、性能指標

本研究發現透過前節理論架構所描述之流程與所需資料來源，以 VB 建構於動態模擬的執行，模擬結果指標 (Outcome Indicators) 如表 2 主要以下列八項，包括：

- (一) 紅標與黃標現場總時間等二項：也就是事故發生後到重傷傷患後送離開現場分別的平均時間。
- (二) 紅標與黃標傷患現場等待初步處理時間等二項：也就是紅標與黃標傷患在現場，分別等待 EMT 做初步處理的平均時間。
- (三) 紅標與黃標傷患等待後送時間等二項：也就是紅標與黃標傷患在現場，分別等待救護車後送的平均時間。
- (四) 救護車及 EMT 閒置待命時間等四項：也就是記錄 EMT 及救護車到達現場等待重傷傷患初步處理與後送外的分別閒置平均時間，借以比對重傷傷患現場等待時間的合理性。

表 2 不同情境嘗試性模擬結果：模擬單次/10 次/ (30 次)

情境 性能指標	調查資料 ¹	嘗試模擬 ²	情境 S1 A=0.4	情境 S2 A=0.5	情境 S3 EMT=2	情境 S4 EMT=3
紅標平均 等待檢傷 時間	N/A	1.16/0.95/ (0.94)	0.867/0.93/ (0.98)	1.99/0.63/ (1.06)	0/0.11/ (0.1)	0/0/(0)
黃標平均 等待檢傷 時間	N/A	16.82/ 26.08/ (25.77)	22.8/29.15/ (24.4)	16.17/27.1/ (26.18)	0.81/0.71/ (0.92)	0.14/0.14/ (0.15)
紅標平均 等待後送 時間	N/A	0.1/0.6/ (1.09)	0/0.74/ (0.92)	0.2/0.33/ (0.51)	0.48/1.46/ (1.52)	0.65/0.73/ (1.92)
黃標平均 等待後送 時間	N/A	65.93/ 65.1/ (63.14)	22.28/28.8/ (28.9)	11.24/8.46/ (9.8)	77.46/78.9/ (85.47)	89.77/ 90.22/ (87.93)

情境 性能指標	調查資 料 ¹	嘗試模擬 ²	情境 S1 A=0.4	情境 S2 A=0.5	情境 S3 EMT=2	情境 S4 EMT=3
紅標現場 平均時間	106.06±2 7.63 (Max 132 Min 22)	111.25/71.5 5/(75.47)	92.29/ 79.32/ (74.62)	64.3/86.58/ (86.09)	84.38/78.18/ (77.59)	65.99/ 75.67/ (72.51)
黃標現場 平均時間	101.76±1 3.49 (Max 210 Min 24)	147/147/ (147)	113.25/ 113.25/ (113.25)	93/93/ (93)	147/147/ (147)	147/147/ (147)
處理紅標 EMT 平 均閒置時 間	N/A	6.28/5.03/ (4.11)	5.91/3.58/ (4.29)	2.21/5.32/ (4.42)	7.83/5.7/ (5.48)	6.01/5.94/ (5.86)
處理黃標 EMT 平 均閒置時 間	N/A	0.01/0.04/ (0.04)	0.168/ 0.034/ (0.05)	0.046/0.034/ (0.03)	0.515/0.137/ (0.48)	0.642/ 0.706/ (0.76)
紅標救護 車平均閒 置時間	N/A	64.25/4.74/ (28.94)	54.04/ 31.95/ (38.18)	31.3/53.39/ (46)	37.38/32.84/ (29.73)	18.99/ 31.72/ (26.39)
黃標救護 車平均閒 置時間	N/A	0/0/0	0/0/0.008	0/0/0	0/0/0	0/0/0

1. 調查資料，以先前研究新北市政府消防局資料為依據 (曾偉文，2017)
 2. 嘗試模擬參數：紅標出現採 Exp(6.9)、黃標出現採 Exp(1.4)；紅標初步處理時間為 TRIA(1,3,5)、黃標初步處理時間為 TRIA(1,2,3)；車輛動員 A=0.3、B=12

肆、 結果與討論

依先前研究取得現場原始資料 (曾偉文，2017)，內容除傷患編號、性別、年齡等基本資料外，還有燒燙傷面積 (%)、START 檢傷、送醫車輛-趟次、離開現場時間、後送時間、及後送醫院等記錄；因此，現場調查資料僅能呈現表二中重傷傷患現場平均滯留時間，而調查資料紅標與黃標傷患在現場平均時間分別為 106.06 及 101.76 分鐘，這與 MCI 現場執行 EMS 的處理原則稍有不符，因為傷勢越嚴重的傷患不論是檢傷或是後送都要優先處理，現場平均時間應該越短，另由綠標輕傷傷患在現場的平均時間計 79.04 分鐘，更能理解現場混亂，

未能依照標準作業程序進行，經先前研究與第一線應變人員接觸訪談（曾偉文，2017），不難了解傷勢愈輕的病患愈有能力佔據 EMS 資源，他們會優先要求 EMT 先幫他們初步處理傷處，等救護車抵達現場，直接就跳到車上，因此，救護記錄雖然相當能反映實際狀況，但此應屬現場管制問題，對模擬而言，還是必須依照應變作業原則進行。

如表 2，一般 MCI 之 EMS 之調查資料不會根據傷患流處理事件逐一登錄，但 EMT 人員、急救裝備、救護車輛之間在現場應變作業的互相協同合作是一項相當繁雜的工作，如何開發一個模式去分析現場應變作業個事件就頗具挑戰，以往優勢戰力將所有緊急醫療資源投入現場，不但造成現場難以掌控，資源再現場閒置待命，更直接影響救護品質，如何優化人力及物力動員又是另一項挑戰，首先，要估計 MCI 現場各站的處理時間就有困難度，某些傷患在檢傷站評估 RPM 生命特徵比較久，有的在醫療站會處理得比較長的時間；透過離散事件模擬可以在同一個環境收集、分析、準備資料，再利用這些資料進行模擬，現場每一個站皆會產生各傷患的 log 檔如果 127 個病患各 CCP、MP 及 DP 在接受過服務，則會有 381 個事件資料被登錄，就可提供嘗試性模擬的基礎，讓我們可以做進一步對動員車輛與救護人員的調派的改變，了解現場作業時間變化。

MCI 現場之 EMS 作業各離散事件不論是現場調查或是模擬結果；都是相互獨立且來自相同分配，即 Independent and Identically Distributed (IID)，如果用不同的亂數來模擬，將會產生不同的平均值，因此，在呈現任何模擬結果，盡可能提供信賴區間，或是列出平均值並註明模擬誤差的幅度 (Kelton, Sadowski and Sadowski, 2010)，為了要提高模擬結果的準確度，本文藉由增加模擬次數 (Replications) 增加樣本數，即如表 3 經由 10 次與 30 次模擬來縮小半寬度 (Half-width) 來增加準確度，並以 Kelton 等人所建議 30 次重複模擬結果進行討論；因此，相對於調查資料，模擬的規則因受 MCI 之 EMS 處理規範，結果也相對的較為合理，例如：表 2 嘗試模擬紅標 16 人與黃標 88 人在現場的平均時間分別為 75.5 及 147 分鐘，現場平均等待檢傷初步處理時間分別為 0.9 及 16.8 分鐘，而平均等待救護車後送則分別為 1.1 及 63.1 分鐘，都是依循傷重者優先處理的規則。

表 3 重傷傷患模擬信賴區間之平均值及誤差幅度

	嘗試模擬	情境 S1	情境 S2	情境 S3	情境 S4
紅標現場平均時間					
模擬 10 次	71.55±8.26	79.32±10.77	86.58±16.52	78.18±8.92	75.67±8.06
模擬 30 次	75.47±6.2	74.62±5.9	86.09±8.14	77.59±6.76	72.51±5.42
黃標現場平均時間					
模擬 10 次	147±0	113.25±0	93±0	147±0	147±0
模擬 30 次	147±0	113.25±0	93±0	147±0	147±0

在模擬過程中黃標現場時間不論模擬多少次，結果都是相同，即能很清楚的觀察到，黃標人數眾多，必須依賴救護車來決定其在現場平均時間，而表二中載送黃標的救護車沒有閒置時間，即能說明都是人等車，救護車到達現場後是沒有閒置待命的時間，當進行動員救護車資源檢討，由表 2 情境 S1 及 S2 中動員係數由原有 0.3 提升 0.4 及 0.5 可以發現，現場重傷病患平均等待後送時間影響頗大，特別是對黃標 88 人，由 63.1 分鐘分別下降至 28.3 及 9.8 分鐘，亦即分別大幅縮短 55% 及 84%，以新北市現役救護車 116 輛，本文災例實際使用 47 輛僅佔 40% (動員係數為 0.3)，提升轄區派車抵達率應為未來提升 MCI 所需 EMS 效能的可行方案；因此，建議如受災轄區新北市如能提高轄內派車抵達率，災害現場救護車抵達率提高，傷病患等待時間就能縮短，而他轄支援救護車則用以補位 (Allocation) 至災區分隊而非直接投入災害現場，搭配受災轄區分隊人員執行日常救護勤務，不失為提升 MCI 所需 EMS 效能的方法；相同的，對於 EMT 的投入對重傷人員檢傷初步處理也是有影響的，特別是對黃標重傷患的檢傷與初步處理作業平均等待時間而言，由 25.8 分鐘分別下降至 0.9 及 0.1 分鐘，但是救護資源的投入必須適當而且有效的，以針對紅標傷患後送救護車而言，嘗試模擬動員係數 0.3 時，現場閒置待命時間為 28.9 分鐘，提高動員係數至 0.4 及 0.5 (即情境 S1 與 S2)，救護車閒置待命時間就會激增為 38.1 及 46 分鐘，但對於黃標傷患卻是可充分運用的，EMT 的投入亦是如此，因此，動員資源必須掌握整個大傷現場需求。

另外，一般在進行研究時，如果收集的資料太草率，分析出來的結果也難以比對，由於災例現場混亂，前述調查資料紅標與黃標綠標傷在現場平均時間，

與 MCI 現場執行 EMS 的處理原則難符，因此，僅能將採結果的分配與實證資料有相同的分配型態進行驗證；但是，由於現場收集資料並沒有個別傷患進入 CCP 時間、沒有檢傷初步處理時間、更沒有在檢傷站、醫療站及後送站排隊等待時間，現場資料中，資料僅能呈現傷患離開現場時間，進而用以推估個案現場整體作業時間；如本節第一段所述，模擬時每個傷患所經歷包括出現時間、等候檢傷時間、初步處理時間、等待後送時間皆為相互獨立且來自相同分配的事件 (IID)，其總結果的分配應與實證資料有相同的分配型態的假設 (Ho)，因此，本研究針對現場蒐集資料與模擬結果進行驗證 (Validation)，這裡作者以 ARENA 所提供 Input Analyzer 工具軟體，幫助模擬者用統計方法判定數據是否符合選定的隨機變數，或是自動尋找最接近的隨機分佈類型，以表二紅標傷患為例，現場平均時間為 106.06 ± 27.63 (最大值 132，最小值 22)，其中到達檢傷站的時間的指數分配 $\text{Exp}(6.9)$ ，以及紅標傷患檢傷所需時間的三角分配 $\text{TRIA}(1,3,5)$ ，都是依有限的調查數據利用軟體找出來的隨機分佈類型，軟體還會計算出該類型機率分佈的最佳參數，然後利用卡方檢定 (Chi-square Test) 以及 KS 檢定 (Kolmogorov-Smirnov Test) 哪一檢定數據是否接近設定的機率分佈，圖三說明調查資料與模擬資料的比較，如果數據接近設定的機率分佈，卡方值就不會太大，假設我們選擇紅標傷者在現場時間調查資料可呈現三角分布，模擬結果也是相同的分布，即從圖 3 可以看到 Input Analyzer 算出最接近的參數是 $\text{TRIA}(22,48.1,109)$ ，且卡方檢定的最後一行是 Corresponding P-value >0.15 ，代表 0.166 的卡方值不會過大，換句話說，它接受了數據符合三角形機率分佈的虛無假設；而另一個 KS 檢定也同樣接受了我們的選擇；說明離散事件模擬對於整體群聚 MCI 現場之 EMS 作業研究有不錯的表現；經由圖 4 紅標與黃標重傷患個別現場調查與模擬資料對照，雖然重傷患現場平均時間有所差異，但整個作業流程可以完整呈現，未來如有類似更詳實的調查資料輔助，用離散事件模擬來推估 MCI 現場作業時間，仍是可行的做法。

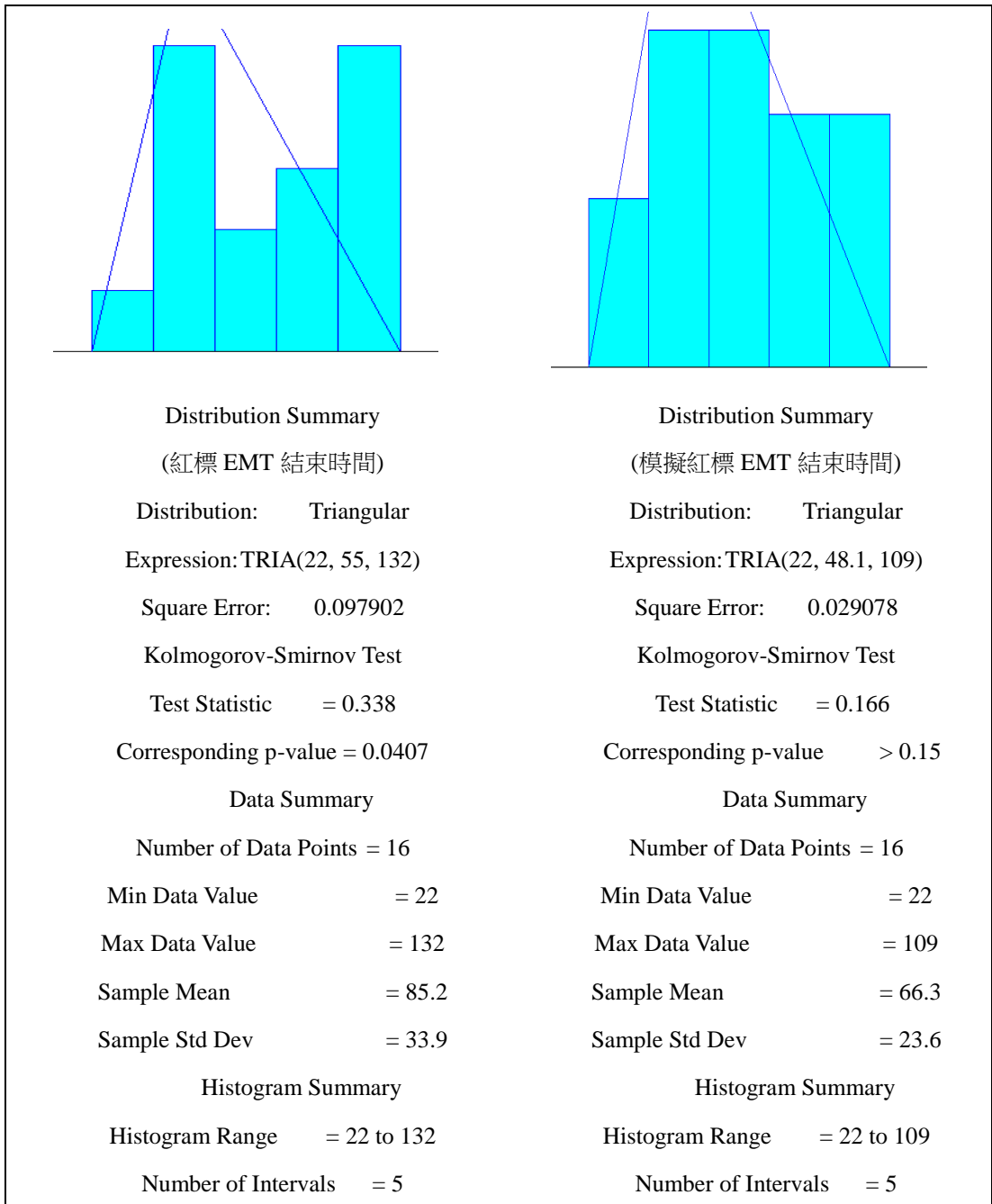


圖 3 左側調查資料與右側模擬資料比較

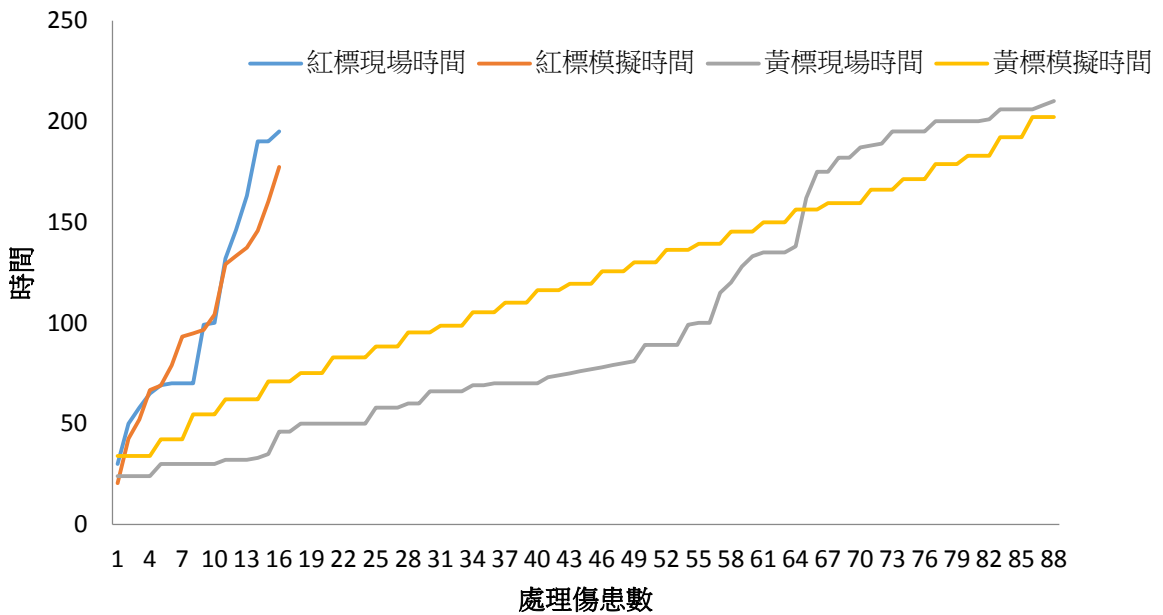


圖 4 紅標與黃標重傷患現場調查資料與模擬資料比較

伍、 結論與建議

一般應變計畫，內容多僅說明可動用的應變資源，包括 EMT、救護車、與後送急救責任醫院等，卻未檢討現場緊急救護需求以及因應方式，也造成整體應變計畫的缺陷；透過模擬模型的建構，可以了解整個 MCI 現場 EMS 作業流程的問題，例如：前節檢傷站與醫療站 EMT 配置、紅標與黃標平均等待初步處理時間、以及後送站平均等待救護車時間，了解現場應變作業的瓶頸，以模型重新評估現場作業的效率，提供未來類似群聚活動事故撰擬緊急應變計畫的參考。

模型是解決現實世界中各類問題的一種手段，因為，在很多情況下，如果通過實物的實驗找到正確的解決方案，往往付出很大的代價，甚至不可行，特別是災害管理相關課題，不論是構造的破壞性實驗或動員應變實驗，在過程中進行任何的調整或改變都可能太過昂貴、危險或不切實際。因此，可以選擇如八仙事故等重大案例，從現實世界得到經驗，用電腦語言來構建現實世界中的模型，在過程中，可採取重要流程的方法，忽視那些看來不相關的細節，僅保

留重要的部分，讓模型比現實世界的系統更加簡單。

本文主要在討論 MCI 所需 EMS 應變之模型模擬理論建構，運用相關程序與策略資料的蒐集，來針對群聚 MCI 傷患 EMS 緊急救護進行嘗試模擬，提供未來研究可以用此通用模型理論，視資料收集狀況，進行不同群聚大傷事故之緊急救護規劃，由定義 MCI 之 EMS 系統、機率理論、輸入資料分析、模擬應變作業時間、等待時間、資源使用等輸出分析逐步進行確認模擬流程、資料搜集及分析、建立模擬基礎模型、模擬模型驗證、以及分析輸出資料等模擬程序。

然而，災害管理相關資料收集，本來就有其困難性，特別是 MCI 之 EMS 應變當下的動態資料取得更具挑戰，例如：傷者惡化情形，由於大傷狀況現場 EMT 人員多在做臨床工作，資料登入只能在救護後送到院前途中進行，原始資料實難完整，後續查證與補遺亦需投入大量時間；未來建置模擬模型之實證研究，必須針對多個類似災例的資料收集，透過類似災別與規模所收集的大量資料，持續檢視修正模型，即本研究單一災例僅提供建置模擬模型的理論依據，尚無法就相類似災例做全般性的解釋。

EMS 是我國消防工作三大任務之一，動員大量到院前緊急醫療資源，必須考量日常救護服務需求的影響，恐非如"參、二、情境設定"中之大傷緊急救護動員派遣，係以整體緊急救護資源進行動員假設；未來如需更進一步探討動員能量，必須配合地理資訊系統，藉由救護資料庫系統，了解日常救護分佈是否呈現「群聚 (Cluster)」現象，也就是找出哪裡是「熱區 (Hotspot)」，加上「時間」的維度，例如：上班日特定時段報案量分布、一日之內的報案量分布、一週的報案量分布...等等，以推估 MCI 發生時，可實際動員救護車數量。

最後，本研究未來主要工作是進行 MCI 情境下所需 EMS 的模擬，希望經由案例發生真實系統相似的因果關係之模型建置後，可得到系統的活動情況結論，使用電腦程式進行離散事件模擬 MCI 所需 EMS 系統中，因果對應事件與行動之間的關係，並在進行模擬之際，用於評估系統績效所收集的統計量，包括 MCI 到院前整體時間、醫療資源 (EMT 及救護車) 使用率、以及重傷患者等待時間，在模擬結束做成摘要報告，希望讓模擬之替選方案能做為擬定策略參考與教育訓練依據。

參考文獻

- 曾偉文 (2017) 大量傷患事故緊急救護策略評估：以八仙樂園事故為例，*災害防救科技與管理學刊*，6 (1)：49-61。
- Aboueljineane, L., Sahin, E. and Jemai, Z. (2013) A review on simulation models applied to emergency medical service operations, *Computers & Industrial Engineering*, 66 (4): 734-750.
- Blanchet, K., Sistenich, V., Ramesh, A., Frison, S., Warren, E., Smith, A., Hossain, M., Knight, A., Lewis, C., Post, N., Woodward, A., Ruby, A., Dahab, M., Pantuliano, S. and Roberts, B. (2015) *An evidence review of research on health interventions in humanitarian crises*, London School of Hygiene & Tropical Medicine, Harvard School of Public Health, Overseas Development Institute, London, United-Kingdom.
- Bradt, D.A. (2009) Evidence-based decision making: applications in disaster relief operations, *Prehospital and Disaster Medicine*, 24(6): 479-492.
- Cao, H. and Huang, S. (2012) Principles of scarce medical resource allocation in natural disaster relief: A simulation approach, *Medical Decision Making*, 32(3): 470-476.
- Chen, A. Y., Peña-Mora, F., Plans, A. P., Mehta, S. J. and Aziz, Z. (2012) Supporting Urban Search and Rescue with digital assessments of structures and requests of response resources, *Advanced Engineering Informatics*, 26(4): 833-845.
- Christie, P. M. J. and Levary, R. R. (1998) The use of simulation in planning the transportation of patients to hospitals following a disaster, *Journal of Medical Systems*, 22(5): 289-300.
- Debacker, M., Van Utterbeeck, F., Ullrich, C., Dhondt, E. and Hubloue, I. (2016) SIMEDIS: A discrete-event simulation model for testing responses to mass casualty incidents, *Journal of medical systems*, 40(12): 273.
- Dauphinee, W. (2015) *Mass Casualty Management and Medical Surge*, CHRNet Disaster Management e-Textbook.
- Esmaili, E., Dahlan, H. M. and Desa, M. I. (2016) Model-driven support system for

- estimating number of ambulances required during earthquake disaster relief operation. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 90(2): 86.
- Hoard, M., Homer, J., Manley, W., Furbee, P., Haque, A. and Helmkamp, J.(2005) Systems modeling in support of evidence-based disaster planning for rural areas, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 208(1): 117-125.
- Hoejenbos, M. J. J., McManus, J. and Hodgetts, T. (2008) Is there one optimal medical treatment and evacuation chain for all situations: “scoop-and-run” or “stay-and-play”, *Prehospital and Disaster Medicine*, 23(4): 74-78.
- Hoyos, M. C., Morales, R. S. and Akhavan-Tabatabaei, R. (2015) OR models with stochastic components in disaster operations management: a literature survey, *Computer & Industrial Engineering*, 82: 183-197.
- Hubloue, I. and Debacker, M. (2010) Education and research in disaster medicine and management: Inextricably bound up with each other, *European Journal of Emergency Medicine*, 17(3): 129-130.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A. (2010) *Simulation with Arena*, 5th ed, McGraw-Hill.
- Kılıç, A., Gökçe, M. A. and Dinçer, M. C. (2016) Integrated Modeling of Disaster Emergency Response Activities Using Simulation: Bornova Case Study, *Anadolu University Journal of Science and Technology–Applied Sciences and Engineering*, 17(2): 337-356.
- Morton, M. and Levy, J. L. (2011) Challenges in disaster data collection during recent disasters, *Prehospital and Disaster Medicine*, 26(3): 196-201.
- Stratton, S.J. (2014) Is there a scientific basis for disaster health and medicine? *Prehospital and Disaster Medicine*, 29(3): 221-222.
- Tseng, W. W., Shen, T. S. and Sen, F. C. (2017) *Modeling Emergency Medical Services for a Mass Casualty Incident in Road Tunnels*, 8th Japan/Korea/Taiwan Joint Seminar for Tunnel Fire Safety and Management, April 9-11, Kanazawa, Japan.

US Army Corps of Engineers (2008) *Urban Search & Rescue Structures Specialist: Field Operations Guide*, 4th ed.

Wu, S. (2008) *Agent-based discrete event simulation modeling and evolutionary real-time decision making for large-scale systems*, Doctoral Dissertation, Unpublished, Swanson School of Engineering, University of Pittsburgh.

