

建構大量傷病患事故緊急救護應變通用模型

A General Response Model of Emergency Medical Service for Mass Casualty Incidents

曾偉文 Wei-Wen Tseng^{*}

沈子勝 Tzu-Sheng Shen^{**}

吳浚澤 Yu-Ze Wu^{***}

摘要

本研究回顧不同大量傷病患事故，檢視所需緊急救護的應變計畫，藉由建構通用模型進行模擬，希望運用模擬模型來檢討災例，並協助演練規劃來改善災害管理，特別是透過模擬模型，進行「假設」分析來預測可能情境的結果，第一線應變人員可依模擬模型預測結果，作為訓練標準化的參考；另外，由於建構過程中模型的驗證、確認、以及認證是可信度評估工作的基礎，也是不可缺的過程，本文也介紹相關的評估方法，並以離散事件模擬理論，提出不同事故大量傷病患樣態緊急救護策略方式與模擬模型的運用，採用先前發表大傷案例事件進行說明，了解模擬結果分析，發現投入資源的效能，進而評估應變系統的有效性，提供未來災例檢討與計劃撰寫情境量化分析的方法。

關鍵字：通用模型、緊急救護應變、大量傷病患事故

^{*}中央警察大學消防科學研究所，助理教授（通訊作者：weiwen.tseng@mail.cpu.edu.tw）。

^{**}中央警察大學消防科學研究所，教授。

^{***}桃園市政府消防局，科員。

Abstract

This study reviews a variety of mass casualty incidents in order to plan for efficient responses from the emergency medical services. It aims to construct a general simulation model to help in reviewing MCIs to assist in planning exercises that can improve disaster management. This simulation model utilizes ‘what if’ analyses to predict likely consequences of a range of scenarios, so first responders may find a useful reference in their standard training. Verification, validation, and accreditation (VV&A) is used as an indispensable part of the process in evaluating the model. This paper also introduces relevant evaluation methods used in the general model based on discrete event simulation theory. It will use the previous case studies for further illustration. The results will be used to assess the response effectiveness, and provide a reference for reviewing the efficiency in response plans. It is anticipated to provide methods for reviewing cases and compiling plans with the quantitative scenario in near future.

Keywords: General model, Emergency medical services, Mass casualty incidents

壹、前言

Dauphinee (2015) 曾將大量傷病患事故 (Mass Casualty Incident, 以下稱 MCI 或大傷事故) 所需緊急救護 (Emergency Medical Service, 以下簡稱 EMS) 應變, 依時間長短分為兩種樣態: 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 2015 年發生的八仙群聚事故、2016 年台南大地震、2017 年蝶戀花翻車、以及 2018 普悠瑪出軌事故等, 而第二種則屬於長時間的事件, 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, 此類災害初期可能隨事件時間增加, 慢慢到達緊急醫療高峰期。即使兩種災害的樣態相同, 但其型態間的差異, 亦可能導致相關離散推估理論與模擬所需參數設定會大有不同。因此, 以 MCI 所需 EMS 應變系統作為基礎, 整合不同災害型態, 並發展可調整系統中策略與流程的通用模型是絕對必要的。

國外針對 EMS 建置模擬模型的研究, 最早可回溯到近三十年前 Trudeau,

Rousseau, Ferland & Choquette (1989) 所建構評估工具，提出 EMS 需求預測、排程、待命地點以及模擬等 4 個面向的評估模式；Channouf, Ecuyer, Ingolfsson & Avramidis (2007) 利用 EMS 資料庫做時間序列的變化，來預測每小時與每天的救護需求，但該研究與之前相關研究皆沒有考慮 EMS 空間地區的需求；Brown, Lerner, Larmon, LeGassick & Taigman (2007) 運用需求型態分析 (Demand Pattern Analysis) 將 EMS 區峰值、平緩峰值及 90 百分等級三種需求模式進行比較，然其仍以整體趨勢進行分析，未考慮時間與空間分佈因素。

2007 年之後，比較有 EMS 時空需求的文獻出現，例如 Setzler, Saydam, & Park (2009) 提出使用類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 模型來預測緊急報案量，並從北卡羅來納州夏洛特-梅克倫堡的緊急醫療服務機構，以移動平均 (Moving Average, MA) 方法建置之 MEDIC 模型進行比較，並以 2004 年的數據，回測、驗證及比較所提 ANN 與傳統 MEDIC 兩模型之預測能力。我國學者 Chen, et al. (2016) 模仿 Setzler 研究方法與步驟，使用支援向量機 (Support Vector Machine, SVM)、迴歸分析 (Regression)、ANN 及 MA 等方法，建立緊急救護需求量之預測模式，採用新北市三年之緊急救護資料，進行每三小時與每日之需求量預測，為了更加了解緊急救護案件的時空特性，也導入地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS)，幫助建構資料管理模組，但受限機械學習需要長時間的資料供給，其初步預測力僅 23.01%。

在上述之國內外相關研究，我們認為國外 Setzler 與國內 Chen 等學者，以機械學習等人工智慧方式做 EMS 建模方式雖值得借鏡，但也存在數個實務操作的困境。首先，他們研究的主要目的是希望能作為「緊急救護動態佈署模式」(dynamic ambulance deployment models) 或稱「預置佈署」(preallocation) 的依據；然而，我國人口密集土地有限，與歐美幅員遼闊人口分散有極大的環境差異，考量我國緊急醫療可及性高，救護車配置方式都採靜態配置模式 (static ambulance deployment models)，在靜態配置模式中救護車皆於固定駐點 (即消防分隊) 待命，與動態配置模式，車輛位置依據案件的時間、空間特性機動調整位置等待派遣有極大的不同且成本較高 (Kuehl, 2002)，不考慮成本效益，以我國現行消防勤務制度、消防設施配置及經費預算下，將難以實施動態部屬。

再者，視緊急醫療文化不同，在歐美配合救護車動態派遣，其概念是「把醫療帶給傷患」，與我國的靜態派遣「把病患帶到醫療」的邏輯完全不同，除了因整體環境考量外，主要原因是歐美 EMS 多由衛生單位，而我國及日本則是由消防單位負責，因此派遣的相關作業也大不相同；其三是所採用的研究方法，需要輸入長時期資料，以「大數據深度學習」來提高準確率，且時空條件不能更替太大，例如：最近部分縣市研議「使用時機」與「收費規範」杜絕濫

用緊急醫療資源，如實施民眾需求定會大幅降低，就會具有影響預測準確度的外在變項；其四是相關研究皆以日常救護派遣為主題；最後，運用門檻較高的分析工具或使用昂貴的商業 GIS 軟體，對未來移轉實務單位應用，會造成經費需求壓力與操作訓練難度的障礙。

因此，本文嘗試使用不同案例 MCI 之 EMS 緊急應變探討，彙整先前不同災害型態模擬理論架構與收集資料 (曾偉文、沈子勝, 2017)，提出 MCI 現場 EMS 應變作業時間推估與資源運用方法，並以八仙群聚事故 (曾偉文, 2017；曾偉文, 2018)、0206 台南維冠大樓倒塌 (曾偉文、郭原齊、陳崇岳, 2018) 與雪山隧道緊急應變計畫 (Tseng, Shen, & Hsieh, 2018) 等實證資料，提出通用模型，最後，針對模型的驗證、認證與確認方法進行說明。本文第貳單元探討不同 MCI 類型之 EMS 需求理論，第參單元依相關理論，提出通用理論模型的架構，第肆單元以過去探討不同案例事故與模擬結果，解釋模型的驗證、認證與確認方法，說明災例之調整策略情境設定，並且討論 MCI 現場 EMS 各個作業流程以及輸入資料方式，最後說明通用模型量化方法實務面的運用，及敘明未來努力發展方向。

貳、MCI 之 EMS 應變理論

作者先前曾探討群聚活動、地震建築物倒塌、以及公路隧道車禍 MCI 的相關研究 (曾偉文, 2017；曾偉文、郭原齊、陳崇岳, 2018；Tseng, Shen, & Hsieh, 2018)，在了解 EMS 需求並掌握可用的 EMS 資源後，即可對各不同 EMS 資源動員進行作業研究 (Operation Research, OR)，將不同救護資源搭配災害情境進行模擬。

Hoyos, Morales, & Akhavan-Tabatabaei (2015) 針對災害管理隨機事件的作業研究模式以及研究方法做了非常全面性的彙整，如圖 1 所示作業研究運用在災害管理，包括數學程式、機率統計、專家系統及人工智慧、列隊理論、決策理論以及模擬等研究方法，上述中最常用的電腦建模的方法，包括地理資訊系統、決策支援系統、代理人機模擬、以及過去研究採用的離散事件模擬 (Discrete Event Simulation, DES) 等。依據先前案例研究，以整個應變作業流程建構 DES 模型，本單元規劃如圖 2 左側之理論模型流程，包括報案資訊、動員資源、現場作業、後送分流、移交調整等 5 個模組進行理論模型的建構，而文中所稱應變系統係指如圖 2 右側之模擬模型流程事故發生開始至 EMS 應變結束；另為

分析時空需求，並將其加入 Google Map API「車行計算」模組，貫穿在上述動員、後送及調整資源三個模組中，各模組相關理論及主要功能說明如後。

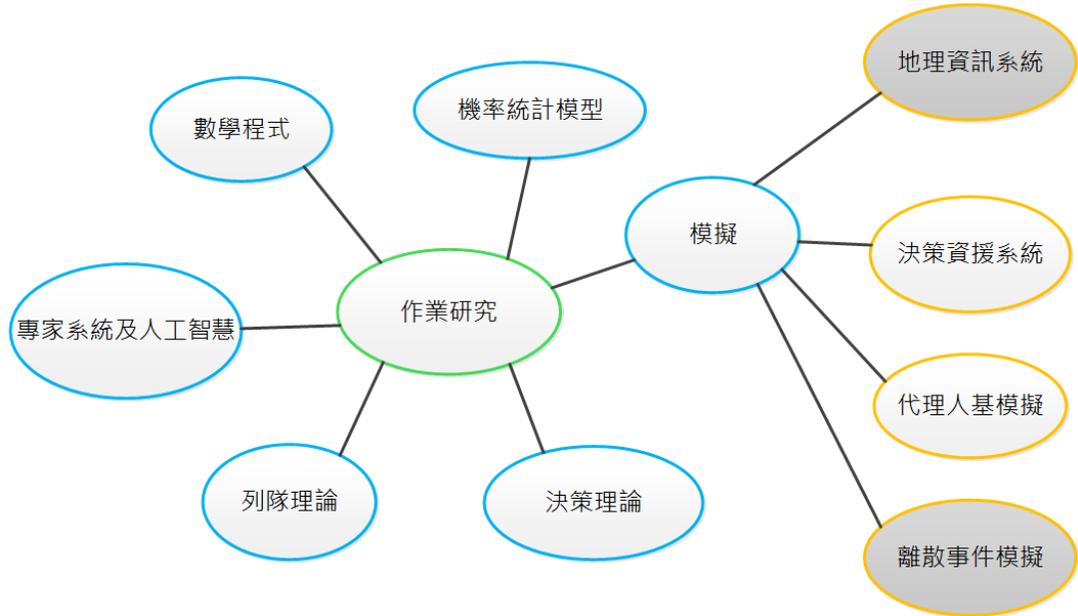


圖1、作業研究運用在災害管理之研究方法

資料來源：Hoyos, et al. (2015)

一、報案資訊

報案資訊影響緊急應變資源投入決策甚大，不同事故型態受影響的人數也都一樣，而受影響的民眾也不一定需要 EMS 的介入，因此，合理推估 EMS 需求才能決定投入多少緊急救護資源，為能以理論估算重傷人員，來了解動員緊急救護資源的需求，我們先前研究針對群聚活動 MCI 之 EMS 需求，發現頗符合柏拉圖 (Pareto Chart) 所謂的 80/20 的原則，例如：八仙群聚活動現場 500 人受到影響，解決 20% 紅、黃標約 100 名重傷病患 EMS 的需求即可；但換成建築物倒塌事故，受困人數就必須納入建築量體規模、發生事故時段及搜救速度等因素來考慮，例如：以台灣地區歷年來災例推估夜間住宅大樓人數，可用建築物總樓地板面積每 64 平方公尺 1 人來推估受困人數，以台南大地震維冠大樓倒塌為例，1,3142 平方公尺的總樓地板面積為推估受困 205 人，受困傷患地震後 30 分鐘開始陸續救出，震後 5 小時內共有 56 人被搜救出來，之後由於搜救困難度劇，EMT 應變則相對趨緩，則不在模擬範圍；相關分析與國外學者 Noji 等調查，在地震發生後 24 小時內被搜救出的傷者，有超過 90% 的存活率頗為相符 (Noji, Kelen, Armenian, et al., 1990)，雖然，我國搜救持續作業一般要

求在 72 小時，但經分析僅以最初 24 小時的存活率較高，且地震發生後 300 分鐘搜救效率佳，EMS 介入時間亦較能有固定的分配來進行模擬，之後隨著開挖搜救困難度加大，其死亡率亦隨之增高，EMS 應變與一般日常救護無異（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）；因此在建構通用模型報案資訊模組時，必須詳細分析所蒐集的資料，除了做為輸入資料使用外，還要決定模擬時間的起始範圍，以確保模擬過程中各離散事件「初始化」以及「模擬時鐘」的功能。

二、資源動員

Lynn (2016) 針對波士頓馬拉松爆炸等群聚活動大傷案例進行調查，發現如在 90 分鐘內將傷者後送完畢，較能獲得民眾對應變效率較高的滿意度；因此，在上述目標下，資源的動員方式就顯得格外重要。但現行消防機關針對大傷動員，在固定動員資源比率的狀況下，忽略現場重傷患出現的分布，將影響投入的 EMS 資源，往往會造成人等車或是車等人的現象。例如在八仙事故新北市動員轄區 40% 的 EMS 資源，重傷傷患在現場平均等待 98 分鐘；而維冠大樓事故中，台南市動員轄區 30% 的 EMS 資源，卻是救護車到現場平均待命將近 58 分鐘。

上述這種固定資源投入的方式，不但可能發生人等車或是車等人的狀況，遇上如大地震造成大範圍多事故地點等狀況時，資源動員將更困難，因為同時還要因應轄內日常的救護勤務；因此，傷患在現場等待後送時間，以及救護車現場待命時間等，皆可列為通用模型的分析指標，由於不同的搜救效率與資源動員比例將影響前兩項時間甚鉅，因此資源動員策略必須搭配移交調整模組，來做不同形式的資源運用，再藉由實驗設計來進行探討，例如八仙事故中可提高動員比例，而在維冠倒塌事故則降低初始動員比例，並檢討醫院移交後是否返回現場。

三、現場作業

對於 MCI 現場 EMS 的指揮官而言，應視現場狀況以及救護資源決定作業型態，一般可採取兩種作業策略 (Lynn, 2016)，第一種方式多為歐洲國家所使用，對於傷者先做初步處理後送醫 (Stay and Play, S&P)，這種處理方法在傷患集中區 (Collection Casualty Point, CCP) 進行初步檢傷來分出重傷患，進一步地再做二次檢傷來區分紅標和黃標，並且予以初步處理，然後在後送區等待救護

車送醫；另一種則是北美慣用的方式，所謂的救到即後送 (Scoop and Run, S&R)，也就是在 CCP 救護車直接就把傷患後送到指定的急救責任醫院，兩者對傷患的影響是在傷勢的惡化率有不同的改變 (Sacco, et al., 2005)。

作者先前所探討的八仙事故群聚活動 MCI 情境，由於是傷患等救護車，因此會採 S&P 之作業型態 (曾偉文, 2017)，利用第二次檢傷等待時間以燙傷包做前置初步處理；但以單一建築物倒塌災例型態而言，因受限於搜救效率，多是由救護車等傷患；而災害現場位於醫療資源較充裕的都會地區，考量搜救出的傷患大範圍的內外創傷，難用一般 EMT 使用之創傷包進行初步處理，因此，多會採取 S&R 的作業策略，此與群聚活動 MCI 之 EMS 有著極大的不同。

四、後送分流

MCI 現場後送站派遣作業通常採先到先送 (First In First Out, FIFO) 或分組排序 (Subgroup Sorting, SGS) 方式，依序編排上救護車 (Inoue, Yanagisawa, Kamae, 2006)；前者不區分傷患嚴重度，先到優先後送；而後者將傷患分組後，以傷患存活率由低至高作為後送優先排序；未來模擬除了採一般大傷 FIFO 的後送方式外，也會模擬調整現場後送控管為 SGS 方式，特別配合不同檢傷方式後，除紅標或黃標同一級的病患採先到先送，也會再區分比較嚴重的先送；由於重傷患多無法行動，必須使用擔架運送，考量救護車空間配置、EMT 病情監控及大量傷病患人數眾多，也會擬具合理共乘後送方式供模擬比對。

急救責任醫院除依規定設置急診室，依照緊急醫療應變組織、人力、會診、品管、體系及照護等不同要求標準，區分為重度級、中度級及一般級；緊急救護後送如果不考慮醫院急救等級，以及燒燙傷、重大外傷、產婦及新生兒等專科傷別，勢必要面臨轉院後送的緊急醫療風險，對大量傷病患緊急救護第一時間得到穩定及持續的照護的目標也會造成衝擊；因此，未來模擬會將不同分流到院策略納入考量，除了由近至遠的後送策略外，急救責任醫院的等級以及專科醫院優先的策略，也將做為後送分流到院模擬實驗的情境，例如：紅標傷患以後送重度急救責任醫院，以及燒燙傷病患送至有燒燙傷病床醫院等情境。

五、移交調整

後送分流除了考量上述距離、等級與專科能力外，為了控制傷者後送的動向，必須掌握急診作業量。先前用大傷實證資料驗算模型後，為能後送分流有一定判斷標準，皆以衛生單位登記的床數百分之五十逕行設定模擬之作業量

(曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018)，這將與醫院評鑑或是急重症分級評定時，大多以平均來診人數及暫留人數來計算醫護人員的人力推估急診作業能量的作法有所差異，未來如有區域緊急醫療應變中心所規劃大傷應變計畫之大傷急診作業量，該值將可做為輸入資料的參考。在瞭解後送急救責任醫院的治療能力和容量後，當 MCI 發生之後，各急救責任醫院收到區域緊急醫療應變中心通知啟動計劃時，就要空出床位，當救護車到達醫院急診室，除必須核對傷者身分基本資料，還需確認現場檢傷、後送處理、以及到院惡化情況等資料。而移交時間的長短，如無確切資料，可參考八仙事故案例，以平均數之決定型資料作為模擬輸入資料，如採救護登錄資料，也可考慮採用 0206 台南大地震以機率型資料輸入模擬。

在醫院急診室完成移交作業後，救護車是否返回現場或是返回分隊，取決於事故現場緊急醫療資源的狀況。群聚活動 MCI 將主要取決於留在現場的人數，而建築物倒塌則取決於搜救速率，這些也都牽涉到救護車應變的趟次，以及整體緊急救護應變的時間。

六、車行計算

Google 深入人們的生活甚深，其提供了各式各樣的服務，幾乎每一種服務都有提供一個以上的 API 讓開發者使用，這些 API 常常與 ajax、javascript、xml 或 json 等技術結合，除了自行開發程式之外，部分的 API 還有附帶一些輔助性的服務，可讓使用者透過簡單的設定即可使用這些 API 功能，譬如使用 Google Map API 讀取點座標，提供距離及行車時間就是其中的一種服務。為配合 xml 檔案格式，我們將以 Visual Basic (VB) 讀取分隊、醫院及事故地點地址 excel 檔，利用 API 傳送 google map 運算，運算完後把算回來的 xml 格式資料解析，並存成陣列輸出成 csv 檔，在資源動員、分流後送及移交調整中，作為分隊到達現場、現場後送醫院、以及醫院返回現場或分隊車行計算時間。

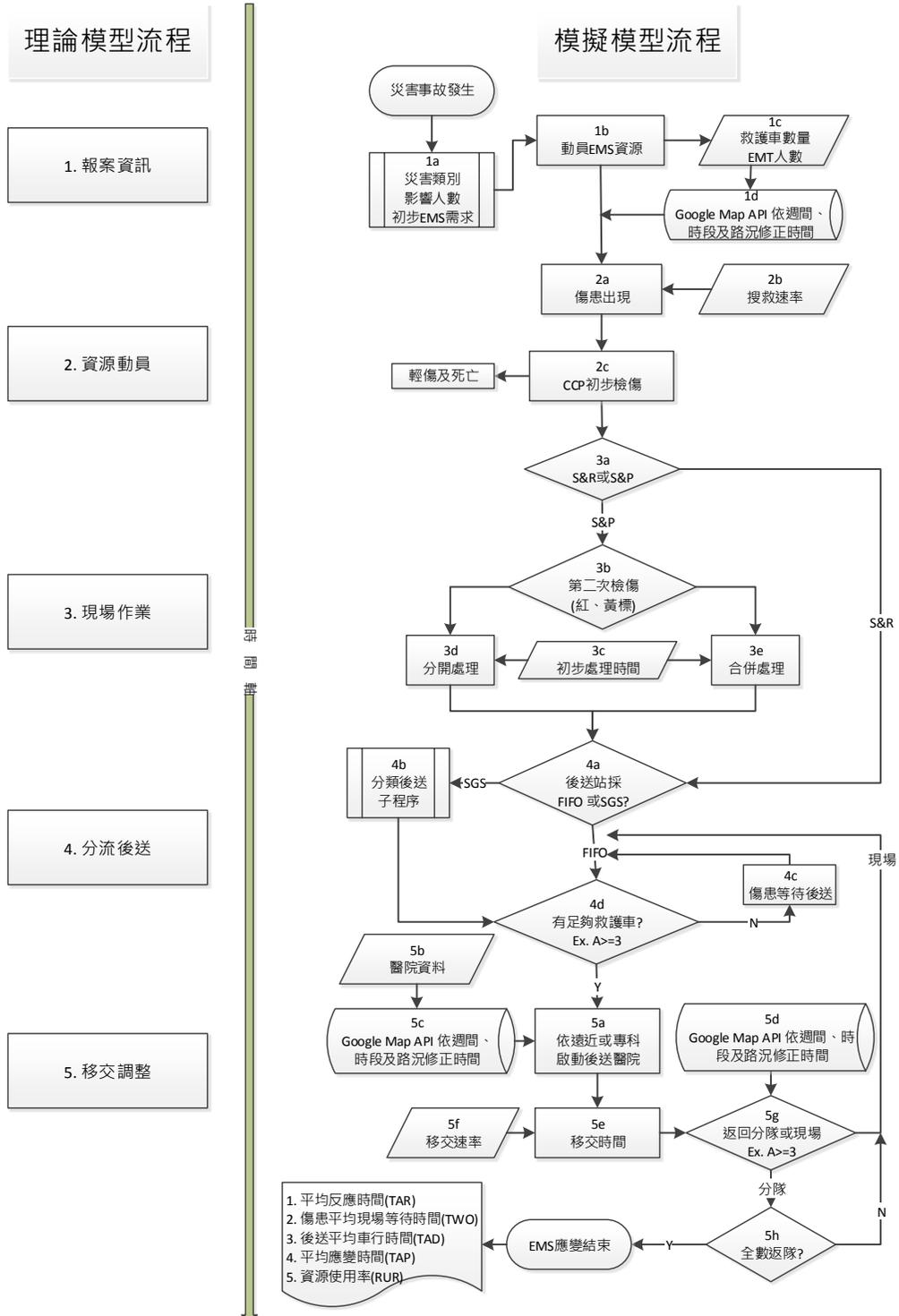


圖2、大傷事故緊急救護應變通用模型

參、通用模型建構

前一單元主要依圖 2 左側大傷 EMS 應變過程中，就各階段相關應變理論進行探討，本單元說明理論模型轉譯圖 2 右側模擬模型過程，以下分別解釋各步驟功能（文中以 [] 代表圖中功能）及相關演算法重點，本節內容所提範例，皆以表 1 之 0206 台南大地震資料（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018），以及八仙群聚活動事故（曾偉文，2017）來予說明。

有關報案資訊，係提供進行模擬時所須輸入之相關資料。該輸入的資料來自兩部分，分別為手動參數輸入（如輸入總樓地板面積估算受困人數），以及自動讀取資料庫（如分隊救護車、人力以及醫院資料）。報案資訊可依災害類別及理論模型來設定影響人數以及判別初步 EMS 需求 [1a]，讀取救護資源資料 [1c]，亦可搭配應變計畫預設動員 EMS 支援，包含救護車以及 EMT 數量 [1b]，再經由以下 Google Map API 車行的演算 [1d]，了解緊急醫療資源的反應時間。

動員資源的主要工作在於快速將搜救讓傷患進入 EMS 系統，以及之後將傷患快速後送醫院離開 EMS 系統。因此，在建構模擬模型流程中，經常需要描述個別的隨機現象，例如：傷患被搜救出來進入 EMS 系統中，以及送到醫院移交後完成傷患到院前應變作業等。其中，搜救速率 [2a]與移交時間 [5b]等參數都可以從救護紀錄資料的多次結果分析而得，我們可以分析隨機現象的變化是否接近某些常用隨機變數的分佈，例如：維冠案例中，EMS 應變時間啟動後的前 5 個小時，搜救出 56 人的出現時間，Input Analyzer 軟體判斷由開始到結束可用指數等分配，以 $30+EXPO(271)$ 表示，消防人員在現場 30 分鐘後救出第 1 人，最後一位在 301 分鐘出現到 EMS 應變系統，由於指數分配可以用來表示獨立隨機事件發生的時間，過程中還要經過泡沫法排序後再進行模擬，亦即經由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即可求得，由於 DES 每個情境需要 30 次以上重複演算，也就是單一情境總共必須產出 1680 個傷患出現時間亂數進行離散模擬。

上述 EMS 的作業時間間格 (time interval) 的方式，可以同樣用在現場 EMT 處理傷患所需時間，以及後送到院後移交所需的時間，來產製離散資料提供模擬（曾偉文，2017；曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）；如果缺乏實證資料，也可以由文獻中取得，例如：以聯合國國際救援隊伍分級評測三級搜救效率要求 (INSARAG External Classification, IEC)，初、中、高級在發生災害後 10 至 30

分鐘，每分鐘能夠救出重傷人數應為 2/3、4/3 及 6/3，災害發生 30 分鐘後，每分鐘能夠救出重傷人數應為 1、2 及 3 名受困者。

現場作業模組最主要在了解每一位傷患由事故發生後到離開現場的時間，包括前述被搜救出傷患出現 CCP 的時間 [2c]，等待 EMT 初步處理之時間 [3a] 等。例如：先前在八仙事故發現紅標傷患到達檢傷站的時間呈指數分配（曾偉文，2017）；至於 EMT 對紅標傷患檢傷的所需時間 [3c]，經由訪談之表面效度 (face validity) 只能得到大概是 1 到 5 分鐘，其中最有可能的時間是 3 分鐘，因此在這裡我們採用三角形分佈，即 TRIA(1, 3, 5)，演算法說明出現 S&R 以及 S&P 的不同作業型態 [3a 及 3b]，作業策略模組如採 S&P 方式，傷患到達後送站之時間除考慮搜救受困者出現時間外，還必須考慮等待 EMT 時間以及現場初步處理時間。

對於分流後送作業相關演算法，MCI 現場後送站派遣作業通常採 FIFO 或 SGS 方式依序編排上救護車 (Inoue, Yanagisawa, Kamae, 2006)；前者不區分傷患嚴重度，先到先後送；而後者事故發生初期，因醫療資源無法因應大量傷患需求，會考慮將傷患分組後，以傷患存活率由低至高做為後送優先排序；在 0206 台南大地震現場指揮官因可掌握救護車動態，且初期救護車動員到車率可因應搜救速率，車輛現場等待被搜救出的傷者即可後送，因此採 FIFO 方式後送較為合適 [4a]；此有別於八仙事故群聚活動大傷，對於事故初期因人車資源不足，來要考量事故發生之當地可急救責任醫院分流策略，可採紅標或黃標的病患共乘，即 SGS 分組後送方式 [4b]；亦可考量救護車空間配置、EMT 病情監控、以及大量傷病人數眾多，調整現場後送控管採用 SGS 方式的考量。

最後，就是到院移交以及堪用救護車重新調整模組的相關演算部分，救護車抵達指定後送醫院後，EMT 人員必須依照流程，與醫護人員核對傷患身份以及觀察過程中傷勢的變化，填具救護資料庫所需相關資訊，有時還需等待擔架，才能完成移交作業 [5a]，醫院移交時間視資訊蒐集的狀況，可以用決定型資料也可以用隨機型資料 [5b]，勤務指揮中心得知救護車已經完成移交作業，會與現場指揮官聯繫，衡量受困人數以及搜救狀況，決定救護車是否返回現場執行下一趟次的後送，或是調整救護車返隊待命 [5g]，程式中以輸入的現場待命應變的救護車輛數來做判斷依據 [5f]。

針對前述模擬模型架構所描述之流程與所需資料來源，以一般程式語言建構於動態模擬的執行，除比對模擬與實際搜救出現的差異，模擬結果將以下列 5 項指標 (Outcome Indicators) 輸出並進行比較，其中：

1. 平均反應時間 (Average Response Time, TAR)：係指消防分隊由受命動員到現場的時間。
2. 傷患平均現場時間 (Average on-site Waiting Time, TAW)：係指傷患在災害現場被搜救出後，初步處理到救護車後送的現場時間。
3. 後送平均車行時間 (Average Delivery Time, TAD)：係指救護車離開現場抵達醫院的車行時間。
4. 平均到院前時間 (Average Prehospital Time, TAP)：係指救護車自受命出動或至醫院返回現場，到醫院完成傷患移交後，整體到院前緊急救護應變流程所需時間。
5. 資源使用率 (Resource Utilization Rate, RUR)：係指救護車自出動到返隊之動員時間扣除到達現場等待傷患時間，除以該救護車的動員時間，了解資源使用的效率。

表1、同類型大量傷病患事故緊急救護應變考慮因子比較表

考慮因子	群聚活動 (八仙事故) ^[註1]	建築物倒塌(維冠事故)
推估影響人數 (人)	現場人數 (499)	0.016*總樓地板面積 (211)
EMS 應變需求 (人)	柏拉圖 20/80 原則 (104/499)	柏拉圖 20/80 原則 (37/175) ^[註2]
EMS 模擬時間 (分鐘)	210	300 ^[註2]
搜救出現 (間隔) 時間 (分鐘)	EMS 應變 2.5 小時出現間隔呈指數分配 EXPO(2.07)-0.5	EMS 應變開始前 5 個小時出現時間間隔呈指數分配 30+EXPO(271)
初步處理時間 (分鐘)	三角分配 (紅 TRIA(1,3,5), 黃 TRIA(1,2,3))	N/A
作業型態	S&P	S&R
檢傷方式	START	START
派車比率 (%)	新北市共 118 輛 (40 %)	台南市共 86 輛 (30%)

考慮因子	群聚活動 (八仙事故) ^[註 1]	建築物倒塌(維冠事故)
後送排序	FIFO / SGS	FIFO
醫院移交時間 (分鐘)	15	韋伯分配 4.5 + WEIB(13.4, 1.19)

註 1：請參考曾偉文 (2017)。

註 2：事故共有 175 人生還，EMS 大傷應變時間 5 小時內共後送 56 人，後因搜救效率大幅降低，無需 MCI 應變，改由一般緊急救護派遣。

肆、模擬模型檢定

由真實案例取得的數據資料加以彙整分析，並依前節各作業程序相關理論建構模型，完成之模擬模型後，與熟悉到院前救護工作之專家進行討論，掌握模擬模型邏輯無誤，同時諮詢熟悉此模擬軟體之模擬專家，進行模擬程式編寫各階段的查核方法；最後，我們依圖 3 程序，執行模型驗證 (Verification)、認證 (Accreditation) 與確認 (Validation) 的動作 (Kleijnen, 1995)。

第一步將使用圖 2 右側中各模擬方法步驟產出資料進行驗證，如模擬救護車車行時間 (1d、5c 及 5d)、被搜救出傷患出現時間 (2b)、以及到院後移交時間 (5f) 皆屬之；第二步將圖 2 左側有作業流程之理論模型進行比對，例如：動員的救護車越多理論模型應該顯示傷患現場等待後送時間越短，相對救護車現場等待載送傷患時間越長 (模組 2)，或是選擇由近到遠醫院的後送時間應該要較重度急救責任醫院優先時間更短 (模組 4)；最後則與歷史資料統計分析進行比對，確認模擬模型與真實世界系統的相似性。

以下分別介紹上述各步驟所常用的統計分析方法，內容主要針對模擬範圍統計分析的運用，詳細內容可參考統計學相關教材，另外，本節內容所提範例皆以表 2 之 0206 台南大地震模擬結果進行說明 (曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018)，所有 Verification, validation, and accreditation (VV&A) 方法也適用於群聚活動 (曾偉文，2017) 以及公路隧道大量傷病患事故 (Tseng, Shen, and Hsieh, 2018)。

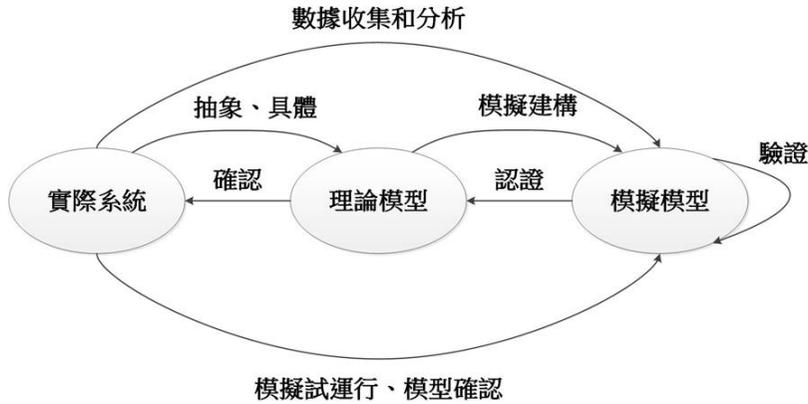


圖3、模型驗證、認證與確認流程

一、模擬模型輸入資料驗證 (Verification)

對於 MCI 之 EMS 應變系統模擬，所需要的輸入資料，通常區分決定型 (Deterministic) 與機率型 (Probabilistic) 兩種，以下介紹模型輸入資料的幾種驗證方法及範例。

有關決定型資料驗證常用包括點估計、信賴區間及相關分析等方法來做資料的驗證；點估計是透過有限數量的樣本去了解隨機實驗的特徵，包括估計隨機變數的期望值，這也是模擬分析的目的之一，例如：若欲估計傷患在災害現場的平均等候時間，或是八仙事故救護車在醫院的移交時間平均 15 分鐘等，我們都可以用點估計的方式來進行；除了點估計外，統計還可以幫助判斷一些假設是否成立，最常見的就是隨機試驗的期望值是否大於某個已知結果，或大於另外一個隨機試驗的期望值，對於模擬應用而言，也就是判斷新的方法或流程，是否有高於現況，例如：表 2 中可以由分隊到災害現場、現場到醫院以及醫院返回現場或分隊，Google Map API 模擬各階段車程的信賴區間分佈，來了解模擬模型的合理性；而相關分析可以經常用兩組數據，來檢驗資料數據的優劣，例如：在消防單位登錄的反應時間往往與 Google Map API 的車行時間相關性極低 ($r = -0.01 \sim 0.4$)，但消防單位登錄整體到院作業時間與模擬時間 (TAP) 相關性又很高 ($r > 0.8$)，能了解主要原因是由於大傷狀況現場 EMT 人員多在做臨床工作，細部資料登入只能在救護後送到院前途中進行，原始資料因有救護車 GPS 輔助出動及返隊時間偏差較小，其他細部作業時間實難完整登錄。

另外，離散事件模擬經常使用機率型資料，例如：圖 2 模型中程序 2b 傷者

出現以及 5f 醫院移交時間，但模擬的數據不適合用來估計變異數，原因是變異數的計算式需要獨立而且具有相同分配 (Independently and Identically Distributed, IID) 的數據，而模擬的數據通常是相關的，例如：前一個傷患的現場等候時間久，意味下一個傷患的等候時間也有可能很久，用這種正相關的數據，會低估真實的變異數，因此，我們經常使用卡方適合度檢定 (Chi-square test of Goodness of Fit) 及 Kolmogorov-Smirnov 檢定 (K-S test) 進行機率模擬資料的檢驗，由於卡方適合度檢定是檢定某組樣本是否服從某個理論分布，適合度即為觀測到的次數和服從某個理論分布下所期望發生的次數之間的配適程度，該檢定所得的檢定統計量大小會反映觀測次數和期望次數之間的差距，若兩者差距不大，則統計量小；若兩者差距很大，則統計量大，我們便可以用檢定統計量來判斷觀測值的資料，是否符合某個期望的理論分布，即將機率分佈的範圍分為 k 個區間，然後計算各區間的機率理論值 P_i 以及數據落在各區間的實際數量，在重傷人員出現例子中 (曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018)，如果模擬傷患樣本接近設定的機率分佈，卡方值就不會太大，譬如若 Corresponding p-value $0.517 > 0.005$ ，代表卡方值不會太大，因此，數據是由指數機率分佈所產生的可能性超過 99.5%，亦即數據符合指數機率分佈的虛無假設 (Fitzsimmons, 1971)；另一個 K-S 檢定 Corresponding p-value > 0.15 ，也會同樣接受了指數機率分佈的假設。

二、作業流程理論模組認證 (Accreditation)

大量傷病患作業流程，會因不同的災害型態來進行模擬模型與理論模型的認證比較，例如：八仙群聚事故因為現場是人等車，因此理論模型會要求提高動員比例，來降低現場傷患等待後送時間；但在於 0206 台南大地震事故現場卻是車等人。考量未來如有大範圍多建築物倒塌災害時，因為 EMS 資源有限，因此理論模型可要求降低動員比例，來進一步綜合探討大範圍多建築物倒塌災害的 EMT 動員方式，以及傷患現場等候與救護車利用率。基本上認證統計分析可以沿用模擬模型的方法，例如我們可以利用信賴區間來對理論模型不同流程進行比較，就像表 2 中我們可藉由調整資源動員 30% 為 20% 及 10%，來觀察整體應變時間及資源運用的表現。

而在進行統計檢定前，必須先設定虛無假設 (H_0 , null hypothesis) 與替代假設 (H_1 , alternative hypothesis)，通常虛無假設是新流程表現比較好，希望有強烈的數據可以支持虛無假設；但由表 2 結果看來，雖然資源的使用率由 0.57 大幅提升到 0.90，但是現場等待時間卻由 2.49 分鐘大幅增加到 38.52 分鐘，這並

不是我們所樂見的；針對這個結果，我們可以考慮增加回車與否的判斷條件，例如：如果沒有 3 輛車在現場，救護車到院交接後就必須返回現場，否則就必須回到分隊執行日常救護，但這些條件必須考量傷患現場等待的時間 (TAW)。假如現場超過 5、7 及 9 部車，等待時間會下降嗎？資源運用的表現可以接受嗎？這時候即可考慮使用靈敏度分析 (sensitivity analysis) 來進行認證。

敏感度分析法是指從眾多不確定因素中找出對目標有影響的敏感度因並分析、測算出其對項目具有明顯影響和敏感性程度 (Uyeno and Seeberg, 1984)。敏感度分析有助於確定某些風險對其項目具有最大的影響，例如：傷患現場等待後送時間，將其他所有不確定因素保持在 基準值下並考察每項因素對目標影響之程度。

敏感度分析包含以下列目的：一、找出影響項目效益變動的敏感性因素，分析敏感性因素變動的原因，並進一步探討不確定性分析 (如概率分析) 提供之依據，例如：救護車由醫院返回現場執行下一趟任務的判斷值；二、研究不確定性因素變動，如引起項目效益值變動的範圍或極限值，分析判斷項目承擔風險的能力，例如：台南市救護車到院後全數返回現場待命；以及三、比較多種方案的敏感性大小，以便在效益值相似的情況下，從中挑選不敏感的項目方案，例如：不同動員率搭配不同到院後返回現場的判斷條件，做 **Two-way ANOVA**，瞭解對於傷患或車輛現場等待是否有交互作用影響，尋找最佳的組合；也就是說在動員率需求與返回現場判斷值等不確定性因素，每次策略的變動，敏感度分析可以分別進行單因子和多因子敏感度分析。

三、通用模型輸出資料確認 (Validation)

基本上理論模型來確認真實世界系統的統計分析，也是可以沿用前述模型認證的方法，包括信賴區間之假設檢定、單一樣本 t 檢定、成對 t 檢定、以及 ANOVA 等，對於信賴區間之假設檢定，我們可以估算圖 2 後送每一車次五個步驟流程的所需時間，也就是模擬的到院前時間與救護紀錄每一車次的啟動到醫院移交完成時間進行檢定 (即 TAP)，算出兩者的信賴區間，如果兩個信賴區間不重疊，則拒絕虛無假設，認定兩個系統有明顯差異，雖然這不是嚴謹的統計方法，但卻可以迅速判斷兩者的差距是否顯著；另外，如果要檢定模擬結果是否高於、低於或等於救護紀錄中的某一特定值，就要以模擬的平均數去和某一特定值做比較，例如：哪個程序所需要的時間與記錄中的平均時間是否有差異，此時就以單一樣本 t 檢定來檢驗來進行確認，如表 2，當使用救護紀錄

中現場傷患等待時間加上後送時間的和與模擬的時間進行比對 (即 TAP)，由 p 值 = 0.20 (>0.05)，顯示模擬到院前平均時間 (TAP)，透過 t 檢定與紀錄資料進行檢定，表示 30 次模擬之結果與實際狀況相符，代表接受虛無假設，可以確認模擬的結果與真實世界差異不大，如果真實世界救護車是採用 GPS 系統記錄時間，那就可以更進一步的確認模擬的品質；另外，控制動員救護車執行應變，取得資源使用率以及傷患現場等待時間，可以使用 one-way ANOVA 進行統計分析，在不同資源動員下，對傷患現場等待時間(TAW)、整體到院前作業時間 (TAP)、以及資源使用率 (RUR)，都有顯著的影響 (p 值 <0.05)，如：不同動員車輛比例 (30、40 及 50%) 對到院前平均時間 (TAP) 有顯著影響， p 值 = $3.75E-21 < 0.05$ 。

最後，對於更進階的輸出資料確認方法，實證資料與模擬結果的數據是可以配對進行檢定，例如：使用 Google Map API 去計算分隊到現場、現場到醫院、以及醫院返回分隊等車行時間，可以救護紀錄資料分別做成對 t 檢定，或是用兩個模擬的平均速度，用平均值與標準差建立信賴區間，如果區間不涵蓋 0，代表兩個隨機現象的期望值有顯著差異；另外，當有超過兩組以上的數據，依動員救護車比量執行應變，還要控制是否返回現場的判斷標準值，則可以使用多重比較方法 (Multiple Comparison Procedure)，若要進行更複雜的推論統計，還可以考慮回歸分析或是前述的 Tow- way ANOVA 進行分析。

表2、以0206台南大地震實證及模擬資料對通用模型VV&A範例

1. 行車時間 (用 30% 資源動員計算)			
時距	分隊到現場 (N=23)*	現場到醫院 (N=55)	醫院回分隊 (N=23)
救護紀錄時間* (標準差)	45.17 (48.36)	12.04 (6.06)	77.09 (126.38)
API 估算時間 (標準差)	21.34 (7.15)	17.82 (2.44)	18.89 (9.38)
API 估算距離 *(標準差)	12.23 (9.72)	6.22 (1.69)	9.46 (9.06)
救護紀錄與 API 時間相關性	-0.01	0.39	0.33
API 時間與距離 相關性	0.91	0.97	0.90

2. 不同動員資源分析 (案例中後送 8 家醫院做為模擬對象)					
模擬性能 指標	TAR	TAW	TAD	TAP	RUR
最近分隊 30% 優先 (標準差)	17.01	2.49 (2.67)	15.03 (0.05)	34.54	0.57 (0.04)
最近分隊 20% 優先 (標準差)	14.86	5.99 (8.33)	15.01 (0.05)	35.88	0.65 (0.06)
最近分隊 10% 優先 (標準差)	10.64	38.52 (14.84)	15.03 (0.05)	64.19	0.90 (0.04)
針對 TAP 進行 t 檢定	P = 0.20 > 0.05 30% (實際救護分隊，非災害地點最近分隊優先派遣)				
單因子變異數分析	TAP 的 p 值 = 3.75E-21 < 0.05 ; TAW 的 p 值 = 1.05E-25 < 0.05 RUR 的 p 值 = 8.65E-43 < 0.05				

*表中 N 為救護車趟次，時間估算單位為分鐘，距離估算單位為公里。

伍、結論與建議

本文主要針對過去進行大傷緊急救護相關研究，由實證資料調查到理論建構 (曾偉文、沈子勝, 2017)，運用在八仙事故、雪山隧道車禍、0206 台南建築物倒塌等不同災例探討 (曾偉文, 2017; Tseng, Shen and Hsieh, 2018; 曾偉文、郭原齊、陳崇岳, 2018)，以及相關工具及方法來解決離散事件模擬的需求，做較完整的心得整理；由開始蒐集不同災例資料、比對文獻理論、到建構模型概念，每個階段的研究成果，除可探討不同災害類別大傷 EMS 應變特性的差異外，來檢討模型通用性，並聚焦在模擬模型效能的改善，例如：取得流程各階對實證資料進行配適 (fitting)、驗證大量產製隨機資料後投入運算、比較模擬出現時間與間格的等隨機資料差別、轉換質性訪談成為隨機資料彌補現場紀錄不足、以及 Google API 嵌入 VB 程式，取代先前以線性推估車行時間等決定型資料的方法，亦即先前研究並非每次都完整依照本文所提固定方法來進行，讀者可以取得原文自行評析。

其次，建構模型最重要的目的，是希望現行應變計畫能納入情境進行量性

動態的討論，改善現行計畫僅列到院前緊急醫療資源質性靜態的描述，藉由大傷緊急救護災例實證研究過程中，進行各應變步驟理論探討來形成模型的流程，分解各步驟之決策功能模組，再以程式語言解譯成模擬模型流程，讓未來災害 EMS 應變重建與檢因為加入「假設」(what if) 的情境，能有非常彈性的運用，換言之，在案例調查實證資料驗算模型後，進行真實世界無法操作的實驗設計，例如：調整動員車輛比例、改變後送醫院選擇策略等進行模擬，未來亦可將先前集中式大傷動員所蒐集分析的實證資料，提供分散式 EMS 應變的模擬，例如：大規模地震災害，藉由模擬結果分析，探討降低傷者現場等待時間以及提高應變救護車使用率的應變方式，了解投入應變資源的效能，並評估到院前應變的有效性。

但是，任何模型皆有限制，特別是大傷應變案例都是單一且獨特的，難使用日常救護長時間且大量數據的模擬方法，即日常救護模型可用一組資料建模來測試第二組的資料；大傷 EMS 應變模型所選用 DES 方法，主要把調查資料依模擬模型流程步驟拆解分別進行配適，然後產製離散資料，經過多次演算 (replication)，視我們策略改變或實驗設計重點，擷取文中建議 5 個結果指標中預測會影響的部分指標進行觀察、討論及分析，主要目的希望能改善現行大傷 EMS 應變計畫僅撰寫到院前緊急醫療可動員資源的狀況；但是，建立通用模型需要不同災害類型案例與大量有效的實證資料，少數災例與資料僅能提供建置修正模擬模型的理論依據，恐無法解釋所有類型的災害，本文藉由參考國內外 EMT 大傷應變相關文獻，檢視不同災例應變流程的共通性，建構第 2 單元及圖 2 左側之通用理論模型流程，未來也必須依不同類型災例所蒐集的實證資料持續修正，才能強化圖 2 右側模擬模型對不同災害的適用。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：無法了解傷者惡化情形等；由於大傷狀況現場 EMT 人員忙於臨床工作，資料登錄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，除詳細比對類似災別與規模所收集的資料，持續檢視修正模型外，更可考慮運用日益普及的 GPS 定位時間以及現行縣市開始導入電子化生命徵象自動監控設備 (Tele-medical / health Long-term care management Total Solution)，來補強模擬程序作業時間的準確性。

另外，本文在探討 MCI 所需動員 EMS 應變通用模型理論建構過程中，除希望釐清整體作業程序，做為撰寫程式的模組架構，藉由模組功能編寫模擬程序，了解程式中所需的資料與判斷邏輯；在模擬程式編寫各階段，本文也提出模型輸入資料驗證、理論模型認證、以及通用模型輸出資料確認的 VV&A 查核

方式與統計分析檢驗方法，以期能如圖 3 在模擬模型建構過程中，能確認程式本身是否存在語法和邏輯錯誤例，確保模擬模型是否精確代表理論模型，並確定模擬模型系統能真實反應實際系統，然後依據檢驗模型模擬之結果，進行分析並導入可能改善之替選方案，並就各替選方案下之各項模擬結果變項予以分析比較，如傷患出現的頻率、病患等候時間、病患送達醫院所需之時間，以及救護車資源使用率等我們想解決「假設」問題。

在研究方法與設計方面，當 MCI 狀況動員 EMS 後，其動員分隊到現場、現場到醫院、以及由醫院返回現場或分隊時間分析 (Temporal Analysis)，係經現有緊急救護資料庫 (Emergency Medical Service Data Base, EMSDB) 可統計取得，利用 EMSDB 消防分隊、案件現場及後送醫院等地點屬性資料進行分析，雖然計算量不大，但隨機資料都需要 30 次以上重覆模擬 (replication)，因此必須借助電腦軟體不可，但作者相關研究皆捨棄一般常見的統計分析軟體，如 SPSS, SAS, MiniTab 等，而 GIS 工具也不採專業軟體，如 GeoDa, ArcGIS, SuperGIS 及 MapInfo 等，而分別改採 EXCEL 及 Google Map API 等開放工具；在通用模擬模型程式工具，則採用具有彈性的 VB 作為主要的程式語言，而不採用類似 Arena 及 AnyLogic 等商業軟體，主要原因是上述商業軟體雖然功能互異，各有所長，然並非作者所熟悉，且一般來說，專業軟體學習成本高，價格不斐，僅輸出表格及圖面較為絢麗，但分析結果不會有差異，未來如能提供實務工作上運用，開放資料庫與免費軟體的結合應用，應是能否普及的關鍵。

致謝

本文承蒙 科技部經費補助 (107-2625-M-015-002) 以及審查委員指導與寫作協助，特此致謝。

參考文獻

- 曾偉文、沈子勝 (2017) 大量傷病患事故緊急救護模型理論建構與資料整備，第 12 屆兩岸警學研討會，澳門，12 月 3~5 日。
- 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。
- 曾偉文、郭原齊、陳崇岳 (2018) 單一建築物倒塌現場緊急救護傷患作業模擬—以台南大地震為例，*災害防救科技與管理學刊*，7 (2)：31-52。
- 曾偉文 (2018) 以離散事件模擬推估大量傷病患現場緊急救護作業時間，*防災科學*，3：36-59。
- Brown, L. H., Lerner, E. B., Larmon, B., LeGassick, T., & Taigman, M. (2007) Are EMS call volume predictions based on demand pattern analysis accurate? *Prehospital Emergency Care*, 11(2): 199-203.
- Channouf, N., L'Ecuyer, P., Ingolfsson, A., & Avramidis, A. N. (2007) The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta, *Health Care Management Science*, 10(1): 25-45.
- Chen, A. Y., Lu, T. Y., Ma, M. H. M., & Sun, W. Z. (2016) Demand forecast using data analytics for the preallocation of ambulances, *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 20(4): 1178-1187.
- Dauphinee, W. (2015) *Mass Casualty Management and Medical Surge*, CHRNet Disaster Management e-Textbook, <http://www.crhnet.ca/sites/default/files/library/Dauphinee.pdf>
- Fitzsimmons, J. A. (1971) *An emergency medical system simulation model*, Proceedings of the 1971 winter simulation conference, USA: New York, DATES.
- Hoyos, M. C., Morales, R. S., & Akhavan-Tabatabaei, R. (2015) OR models with stochastic components in disaster operations management: A literature survey, *Computers & Industrial Engineering*, 82: 183-197.

- Inoue, H., Yanagisawa, S., & Kamae, I. (2006) Computer-simulated assessment of methods of transporting severely injured individuals in disaster—Case study of an airport accident, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 81(3): 256-265.
- Kleijnen, J. P. C. (1995) Verification and validation of simulation models, *European Journal of Operational Research*, 82(1): 145-162.
- Kuehl, A. E. (Ed.) (2002) *Prehospital Systems and Medical Oversight*, 3rd ed., Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Lynn, M. (2016) *Mass Casualty Incidents*, 2nd ed., New York: Springer.
- Noji, E. K., Kelen, G. D., Armenian, H. K., Oganessian, A., Jones, N. P., & Sivertson, K. T. (1990) The 1988 earthquake in Soviet Armenia: A Case study, *Annals of Emergency Medicine*, 19(8): 891-897.
- Sacco, W. J., Navin, D. M., Fiedler, K. E., Waddell, R. K., Long, W. B., & Buckman, R. F. (2005) Precise formulation and evidence-based application of resource-constrained triage, *Academic Emergency Medicine*, 12(8): 759-770.
- Setzler, H., Saydam, C., & Park, S. (2009) EMS call volume predictions: A comparative study, *Computers & Operations Research*, 36(6): 1843-1851.
- Tseng, W. W., Shen, T. S., & Hsieh, P. P. (2018) Theory establishment and data preparedness for modeling emergency medical service in case of a mass casualty incidents in road tunnels, *Procedia Engineering*, 211: 36-45.
- Uyeno, D. H., & Seeberg, C. (1984) A practical methodology for ambulance location, *Simulation*, 43(2): 79-87.