

# 開發震後大量傷患緊急救護應變模型— 行政區 EMS 既有能量評估方法

## Towards Development of a Simulation Model of EMSs for MCI Following an Earthquake – The Assessment Approach of Existing Capacity in Administrative Districts

曾偉文 Wei-Wen Tseng<sup>\*</sup> 楊承道 Cheng-Tao Yang<sup>\*\*</sup>  
趙守恩 Shou-En Chao<sup>\*\*\*</sup> 廖廷軒 Ting-Hsuan Liao<sup>\*\*\*\*</sup>

### 摘 要

本研究以新北市斷層帶活動造成大量傷病患事故，做為研究範圍與情境。藉由緊急應變計畫所規劃之緊急救護應變資源條件，對照地震災害模擬結果，探討地震事故發生後，到院前緊急醫療資源因應地震災害境況。研究目的包括：建立地震災害造成大量傷病患事故其影響範圍、人數及緊急救護需求之估算方法，以及釐清地震災害大量傷病患事故應變下，對緊急救護時空需求的影響，提出緊急救護既有能量評估方法；前者主要是對台灣地震損失評估系統模型的操作學習及提出未來介接之建議；後者著重在地震大範圍緊急救護應變程序設定，作為開發模型的依據。由於尚在持續建置及介接各醫療及消防單位資料庫，因此僅以新北市林口區及板橋區作為模型先導測試，探討行政區既有緊急救護能量在面對大範圍地震災害處理的能力，並確認所開發模型的合理性。

**關鍵詞：**離散事件系統、模擬、緊急救護、時空分析

---

<sup>\*</sup>中央警察大學消防學系（所），副教授（通訊作者：weiwen.tseng@gmail.com）。

<sup>\*\*</sup>國家地震工程研究中心，副研究員。

<sup>\*\*\*</sup>國立暨南國際大學資訊管理研究所，研究生。

<sup>\*\*\*\*</sup>中央警察大學消防學系，研究生。

## Abstract

This study analyzes the scope and context of a mass casualty incident (MCI) caused by tectonic fault activity in New Taipei City. It uses data related to the current status of emergency medical service (EMS) resources. By combining this data with seismic disaster simulation results, the study reviews the pre-hospital emergency medical resources response in a range of scenarios to devise an emergency response plan. The research objectives include: establishing a method for estimating the impact range, number of people, and EMS needs in an MCI caused by an earthquake; clarifying the impact of an earthquake disaster MCI on the time and space requirements of EMS; and proposing a method to assess existing EMS capacity. As the medical and fire units' database is still under construction and interfacing, only Linkou and Banqiao Districts of New Taipei City are used as pilot tests in this study. The ability of existing EMS capacity in these jurisdictions to deal with a large-scale earthquake disaster are, therefore, assessed with the aim of devising a rational development model for the future.

**Keywords:** Discrete event system, Simulating, Emergency medical services (EMS), Temporal/geospatial analysis.

## 壹、前言

在都市化的趨勢下，全球有 70% 的人口將會居住於都市，而台灣 6 直轄市 2018 年底戶籍登記人口數即占全國總人口達將近 7 成，這意味著大都會地區大量傷病患事故 (Mass Casualty Incidents, MCIs) 的發生頻率和規模將會顯著增加 (Lynn, 2016)，2019 年底開始的全球新型冠狀病毒肺炎疫情 (COVID-19 Pandemic) 就是明顯的例子。因此，不論是災害管理人員或是第一線的消防應變人員，在擬定 MCIs 應變計畫以及相關教育訓練的過程中，必須仰賴合理的科學分析和先進的決策工具進行輔助，才能達成大量傷病患事故發生時之緊急救護 (Emergency Medical Services, EMS) 時效與品質的雙重要求。

在足以引發大量傷病患事故的地震災害中，震波對於都市的劇烈衝擊不僅造成建築物倒塌受損及道路堵塞，更會接連導致大範圍的人員傷亡與 EMS 應變作業障礙的聯乘效應 (Cascading Effect)。因此，在擬定防災計畫階段，對於估算可能的大量傷患數量、區域分佈、醫院收治容量以及緊急醫療救護系統資

源動員能量就變得至關重要。本研究主要透過台灣地震損失評估系統（Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES）模型進行都會區域地震情境受傷人數與分佈的推估，結合開發的地理資訊系統與離散事件模擬，對於轄內消防 EMS 動員及醫院收治地震災害大量傷病患的容量進行評估，以深入了解消防 EMS 動員及醫院能量，並評估在不同策略下的影響。

目前應變的相關研究，大多僅針對消防 EMS 或是急救責任醫院容留單方面進行探討，而本次研究屬結合兩者之整合性探討，將提供不同的觀點。使用 TELES 模型推估出來的震災傷患人數與空間分佈，搭配本文所提出整併 Python 時間分析與 QGIS 空間分佈功能之模型，檢討消防 EMS 能力與醫院容量的動員需求與分流策略，讓每一處災區搜救出來的傷患，都能派遣最近堪用的救護人車，迅速後送至具有收治能力的急救責任醫院。本研究以新北市消防局第一大隊之板橋地區以及第二大隊之林口地區為對象進行模擬比對，針對不同的消防動員方式以及後送分流策略進行比較分析，進而檢視現有地震災害緊急救護應變計畫內容，以及修正調整未來教育訓練之方向。

以往文獻討論地震災害人員傷亡的推估，多以美國、土耳其、義大利及馬來西亞等地震災害頻繁國家為例。其中，美國採取陸軍工兵部隊所提供的估算方法（US Army Corps of Engineers, 2008），區分成兩種判斷方式：第一種方法採用總樓地板面積來估算，以每 70 平方英尺 1 人（即 人/6.503 平方公尺）來估算受困人數；第二種則是以場所分類來估算，如住宅 1 間寢室以 2 人計算等。然而，以我國歷年來相關災例，美國推估單位面積受困人數高出我國 3.4 倍，此乃由於該估算方法，係提供美國特搜隊（Search and Rescue Teams）於開發中或第三世界國家建築物搜救評估使用，除耐震等級與我國要求不同外，其對高層建築物定義僅為 4 樓以上，而與我國消防單位認定 10 樓以上、建管單位 16 樓以上之定義相距甚大，因此，美國推估方法較難適用於台灣地震建築物倒塌事故中。

另外，土耳其學者之研究則是採人口分布（Population-based）方式進行推估，地震時 EMS 需求分別以人口數最小 0.5%、中數 1% 及最大 1.5% 分別來計算（Kılıç et al., 2016），例如：震央附近 1 萬人之行政區域，取最嚴峻之 150 人 EMS 需求。對比台灣 1999 年 921 大地震，當時南投近 50 萬人口，受傷就醫人數僅 715 人而言，我國傷亡比例顯然較低，主要原因推測也是建築形式與抗震結構要求不同所致（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）。馬來西亞 Esmaili 等（2016）使用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，美國近來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，但因各國的地理環境及建築物結構特性差異甚大，相關損失評估方法，難適用在本土地震災害預測與推估。因此，本研究採我國廣泛使用的震災境況模擬軟體 TELES，該工具係由國家地震工程研究中心開發，自 2000 年開放使用以來，經常被政府機關及研究者用以評估地震潛在的危險程度與可能造成損失。由於該軟體能設定災害情境，在政府的防救災業務和民間企業的風險評估與管理上有許多的運用。

然而，針對地震人命傷亡推估之部分，僅尚少華(2015)使用蒙地卡羅法隨機模擬 100 組地震事件參數帶入 TELES 演算震後火災的風險評估，並針對臺北市及新北市的消防分隊進行防災整備力之探討，分析地震後火災搶救的不確定性，評估大臺北區域整體之消防應變能力。黃麒然(2010)與尚少華(2015)兩篇學位論文，EMS 資源判斷基準僅以空間認定，亦即發生地點有消防車涵蓋服務範圍即資源足夠，不考慮災害現場需求以及 EMS 能量，亦沒有針對地震災害 EMS 動員分派與重置補位進行探討；除此之外，研究雖使用蒙地卡羅方式對醫療需求量進行評估，卻無時間空間需求的詳細檢討，亦無作業流程的分析。綜上，國外對於地震災害範圍的預測以及傷亡的推估，由於地理環境以及建築特性的差異，預測該推估方法難以適用於國內地震災害境況之中，而對於將國內發展 TELES 模型運用在緊急救護上，除前述提及之兩篇研究外，皆沒有涉及 EMS 相關的運用。

本研究以先前「單一建築物倒塌現場緊急救護病患作業模擬」(曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018)有關動員、應變及後送相關研究之結果，設定 EMS 需求應變動員的原則，並結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)及離散事件模擬(Discrete Event Simulation, DES)，進行大範圍地震災害中對於 EMS 需求的完整時空分析，以建構大量傷病患緊急救護模型檢討現有行政區緊急醫療資源。

有關 EMS 緊急救護作業時間之模擬，還是以日常狀況下，針對救護車配置或派遣問題的相關研究為主，並皆著重於到現場時間或距離(Morohosi, 2008)，主要原因在於作業時間的長短，是影響緊急醫療病患死亡或失能的重要關鍵之一(De Maio et al., 2003)，而且較容易對社會大眾展現績效(Erkut, Ingolfsson, and Erdoğan, 2008)，例如 Aboueljinane 等人為開發法國馬恩河谷省(Val-de-

Marne) 之 EMS 系統 (SAMU 94) 的過程, 使用 Arena 軟體進行離散事件模擬 (DES), 以分析 EMS 系統流程可能的變化, 來提高日常緊急救護覆蓋運作時間績效 (Aboueljinane, et al, 2014)。對於大量傷患情境, 近來偏重於 MCI 反應時間的研究, 從策略的選擇上, 來探討整體作業時間的差異, 例如 Debacker 等人 (2016) 為擬定 MCI 到院前 EMS 的策略, 使用其建立的模擬模型 (SIMEDIS) 來進行不同決策的對照比較, 在大量傷病患緊急救護模擬架構下, 加入搜救效率、作業策略、檢傷程序、到院前資源、後送排序、傷患分流到院、後送過程照護等級以及急救責任醫院收治能量等相關策略因子, 同時使用 Arena 軟體進行離散事件模擬, 在 EMS 局部與整體作業時間的模擬過程中, 針對 MCI 所需 EMS 策略給予建議, 唯設定情境仍僅針對單一事故現場進行模擬, 並未以大範圍多事故地點做為應變境況。

國內部分, Wu & Hwang (2009) 考量非緊急性之暫時性事件, 如車輛保養維修、大型活動需救護車現場警戒、支援外縣市, 造成系統之救護車數量減少時, 因例行日常救護事故亦同時不斷發生, 故必須估計系統所能負荷額外勤務的能力, 避免日常救護之反應時間惡化以維持系統品質, 因此利用離散事件模擬, 推估我國臺南市緊急醫療救護系統可因應暫時性事件之車輛數上限, 並依不同時段及不同車輛數, 提出最佳之暫時性事件救護車派遣方式, 但未分析各分隊所屬行政區不同時段與區域需求的差異。另外, 張偉德 (2016) 探討緊急醫療救護系統面對多事故點的大量傷患之救護車派遣問題, 以最小化傷患總等候時間為目標, 決定救護車應去特定事故點, 並將傷患後送至指定醫院的最佳派遣路徑, 但其將所有資源投入重大事故, 並未考慮特殊的臨時服務案件。

在上述的相關文獻評析中, 可得知有關模擬作業時間與空間研究的共通性, 包括: 第一, 承襲醫學研究的傳統, 實證方法也已成爲到院前緊急醫療的主要趨勢, 特別是近十年來, 模擬已經成爲災害醫學中理想的研究方法, 特別是與災害應變有關 EMS 的相關研究, 只要釐清應變的關鍵因素與特徵, 即能開發災害所需 EMS 的觀念模型; 第二, 傳統的分析方法較難掌握大範圍突發地震事故大傷人數與 EMS 需求, 以及應變災害時日常救護需求傷病患流 (Patient Flow) 的複雜性, 而電腦建模和模擬能夠彌補上述問題。如前述, 在虛擬可控制的實驗環境中, 進行想定並測試假設情境, 也就是模擬技術在災害管理應變中能整合隨機和動態的相關情境, 為研究者提供了很大程度的合理程序掌控, 讓模型中相關因素間的關係, 可以放入情境進行討論 (Hoyos, Morales, & Akhavan-Tabatabaei, 2015)。當應用特定應變措施或程序介入時, 為確保緊急醫療資源運用最佳化, 電腦模擬可以依實證數據, 綜合考慮到受影響背景因素與

具體情境，結合災例經驗數據，有效幫助 EMS 應變決策和介入的實證探討，與 EMS 應變訓練和演習相比，模擬更可以探究所有可能的應變情境，並在無風險的環境下來檢討案例應變重建的績效，或是檢視緊急應變計劃的合宜性。

本文除本單元介紹研究目的及國內外相關研究外，其餘部分安排如下：由於是採用時空分析的離散事件模擬做為主要研究方法，因此第二單元「緊急救護設定」將說明整體作業流程以及模型輸入與輸出內容；第三單元則是針對「模型開發」的四個模組架構進行說明，藉由了解現有 EMS 應變能量來測試開發的模擬模型；第四單元「模擬先導測試」將使用 TELES 所給定的情境，搭配研究者以往實證研究的結果，以新北市板橋與林口兩個地區透過 TELES 推估的傷亡及蒐集的 EMS 資源資料，設定在行政區自助狀況下進行模擬；第五單元「結論與未來研究方向」，對於先導測試的結果進行探討，除了解預測地震對人命的衝擊、推估受傷人數和建置 EMS 資源資料庫內容確認外，希望藉由一些情境的改變，對開發模型進行靈敏度測試，確認模型的可信度（Accreditation），以便用於未來模擬大規模及大範圍的 EMS 應變，進而檢討消防和醫院等緊急醫療資源的能量與能力；主要檢討模型尚待調整改善的功能，做為未來努力的方向。

## 貳、緊急救護設定

本文使用作業研究（Operation Research, OR）中較常使用的 DES，搭配 GIS 的資源與需求時空分析，來建置地震災害 EMS 應變動員分派通用模型，除蒐整之緊急醫療資源及 EMS 大傷應變分派等實證資料，併 TELES 推估地震災害傷亡分布地點進行初步時空分析，以 MySQL 格式轉譯成輸入資料庫進行情境運算，以下就整體作業流程以及模型輸出入內容進行說明。

### 一、EMS 應變作業程序

依照 TELES 推估傷亡人數分布，考慮搜救速率的 MCI 需求動員後，依圖 1 左方應變流程，各現場指揮官需求資訊轉給救護派遣員調度消防分隊待命車輛出動，救護車出動到返隊中間所有的過程為 EMS 應變流程。

由於本研究以 DES 方式進行，對於程序中每個步驟所需的時間，都必須由緊急救護資料庫取得實證資料進行分析，除可做為模擬輸入分布參數，亦可做為不同策略情境執行成效的性能判斷標準（Performance Criteria），其中所需要的輸入資料，通常區分為決定型（Deterministic）與機率型（Probabilistic）兩種，前者包括分隊到現場、現場到醫院以及醫院返隊等由 Google Map 應用程式介面（Application Programming Interface, API）或 QGIS 計算的車行時間；後者則

是傷者被搜救出來後，依救護車現場狀況進行初步處理穩定生命徵象，以及後送醫院移交時距等，需由實證資料進行分析後，所產製相同配適之機率型資料。

本研究針對 MCI 救護車因應 EMS 需求，對於整個處理過程時間與未來 EMS 補位策略息息相關，而 MCI 過程又以現場處理最為複雜也最難以估算時間，因此將藉由先前大量傷病患傷者動向來描述現場處理的模擬架構(曾偉文,2017)，包括評估傷病患的情況排定優先順序(即檢傷)、初步處理(如大出血的控制)、按優先順序後送至適當而有能力處理的醫療院所，來推估 EMCI 應變所需整體作業時間，搭配第 3 單元模組四之緊急救護時空離散計算流程及說明(圖 1)。

## 二、模型輸入資料

建置輸入「資料庫」是模型存取的重要準備步驟，經實證資料時空分析產製模擬的配適，推估災害發生後每個過程中事件的時距 (Time Interval)，亦即將模擬過程所需之資料事先建好進行讀取，來產製每個事件的模擬時鐘。本文利用 MySQL 做為資料庫建置工具，需讀取之資料表及資料欄位 (Tag) 內容如下：

### (一) MCI 資料表

嘗試用 TELES 預測影響範圍、建築物倒塌數量及傷亡人數，並利用先前研究估算受困人數、搜救速率及大傷 EMS 需求參數(曾偉文、郭原齊、陳崇岳, 2018)。資料表中欄位包含：MCI 之編號、斷層名稱、地震強度、事故地點、建築物面積、計算初估受困人數。由於 TELES 無法給定 MCI 地點，亦無法提供最小統計區範圍對應資源與需求，因此，本文將以三級發布範圍，相當直轄市「區級」的規模，做為受災行政區之人口密度「點中心」進行模擬。

### (二) EMS 資料表

由消防機關使用之救護資料庫擷取最新日常救護案件資料，欄位包含：案件編號、案發時間、案類、案發地點、送醫人數、出勤車輛、出動時間、到達時間、送醫時間、現場處理時間(分)、到院時間、以及離院時間等，來計算派遣、反應(準備及到現場)、現場處理、到醫院、移交、返隊或下一趟任務等，各事件所需之時距，俾於未來在大傷動員日常救護補位狀況下使用。

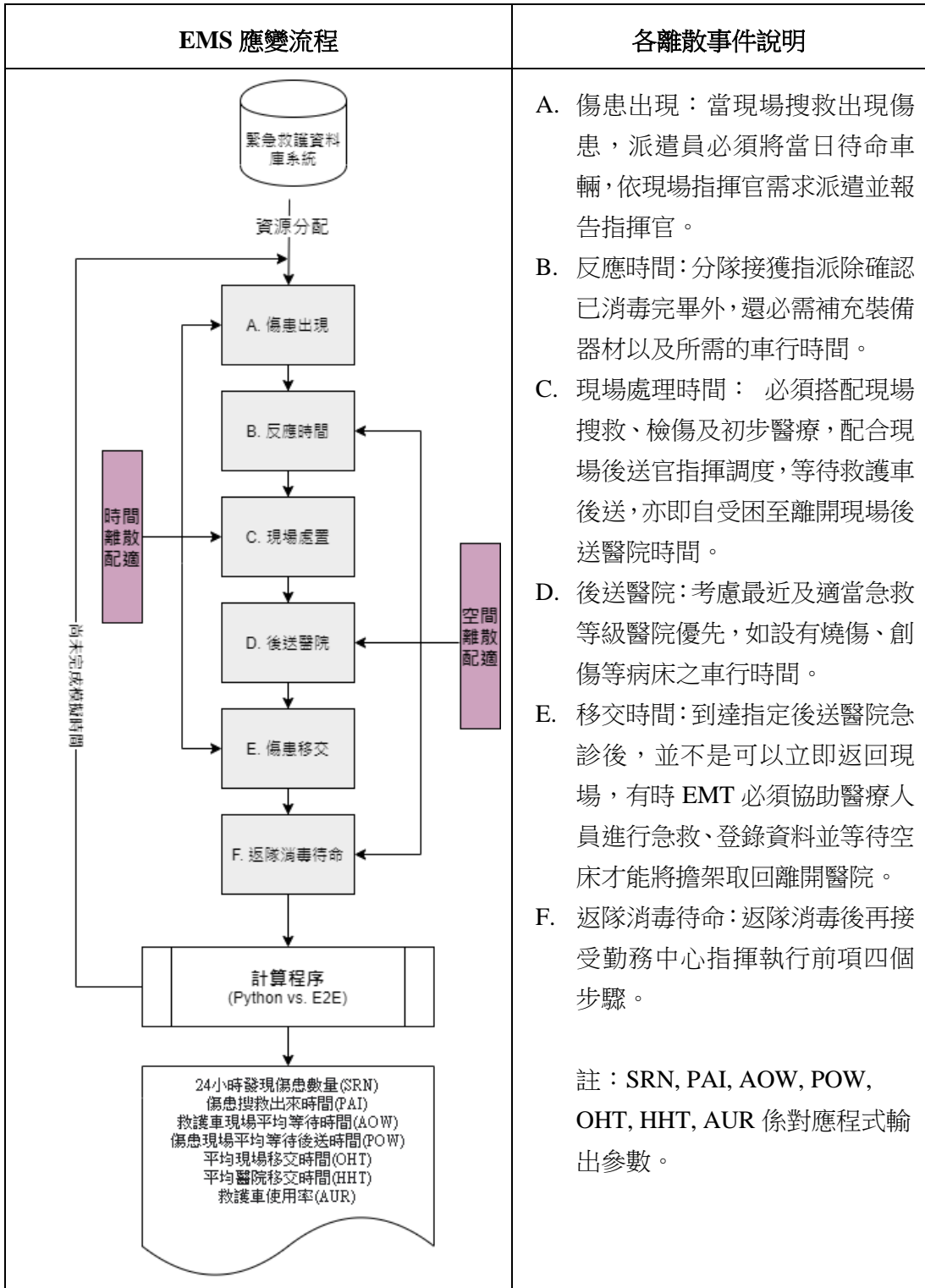


圖 1 緊急救護時空離散計算流程及說明圖



### (三) 分隊資料表

消防分隊是第一線應變人員，分隊資源即動員資源，分隊位置等屬性資料即為資源初始位置，因此欄位包含：「分隊名稱」、「分隊地址」、「分隊救護車數」以及「救護人員 (Emergency Medical Technician, EMT) 人數」，分隊資料表主要用途在模擬模型中能標註「資源代號」、計算「車行時間」，及紀錄「救護車趟數」及「救護車使用率」等。

### (四) 醫院資料表

醫院的選擇是 EMS 應變的重要策略，不但牽涉應變作業時間，也會因正確的分流讓傷病患送到最適當的醫療場域進行到院後處理，因此「醫院資料表」欄位包含：「急救責任醫院名稱」、「醫院地址」、「醫院等級」、「醫院急診收治床數」、「醫院專門科別」、「加護病房床數」、「開刀房床數」及「急診觀察床數」等，資料表主要用途在模擬模型中能標註「醫院資源代號」、計算「後送時間」，以及紀錄「收容傷患數」等資料。

### (五) 空間資料表

欄位包含：「區人口密度點中心 (Barycenter)」、由 TGOS 批次地址轉座標之「醫院」、「消防分隊」等點資料；分隊、現場及醫院距離以及車行時間矩陣 (O-D Matrix) 之線資料；亦含括「行政區域界」及「網格」等面資料。

## 三、模型輸出

模型輸出資料主要有兩個功能，一是對隨機產製資料進行驗證 (Verification) 以及對模擬結果進行確認 (Validation)，其次是對不同假設策略 (What-if Policies) 模擬進行認證 (Accreditation)。除反應時間及達成率的性能指標外，其他性能指標還包括到院前時間以及救護車使用率等，到院前時間是指接獲報案到傷病患送到醫院完成交接為止的時間 (Savas, 1969)，而救護車利用率係指救護車自出動到返隊之動員時間扣除到達現場等待再送傷患時間，除以該救護車的動員時間，以了解 EMS 資源使用的效率。

以往研究主要使用反應時間做為確認模擬模型的性能指標，但本文在第 4 單元討論，以傷患在現場時間等待後送做為比較目標，並了解分隊的救護車使用率進行評估。除前述指標外，並增加建立後送醫院時間指標，亦即與傷病患有關之指標目的是為了解病患服務情形及於各流程中所花費之時間，而救護車佔用率暨服務比重則是為了解資源之使用情形。各指標定義如下：

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. 傷患現場平均等待後送時間 (Patient On-site Waiting Time, POW)：係指 EMT 初步處理到救護車後送的服務案件現場時間。
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，主要目的在測試未來不同醫院後送策略的表現。
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，即以傷患搜救出來時間 (Patient Arrival Interval, PAI) 開始、現場初步處理、移交到上救護車完成時間 (POW+OHT, Onsite Handover Time)、TAD 到平均醫院移交時間 (Hospital Handover Time, HHT)。
5. 救護車使用率 (Ambulance Utilization Rate, AUR)：係指救護車自出動到返隊之執行時間加上消毒時間總和，除以該救護車的總動員時間，了解資源使用的效率。

## 參、模型開發

整體模擬模型開發以四個模組作為架構 (圖 2)，包括資料前置處理模組、時間分析配適模組、空間分析配適模組及離散事件計算模組。

### 一、模組一：資料前置處理模組

本文配合 TELES 預測影響範圍、建築物倒塌狀況和推估傷亡人數，以相當於三級發布區的直轄市的「區」級進行統計，確認應變 EMS 需求量、地點及搜救速率，提供模組二及模組三進行時空分析、配適及產製模擬資料，供模組四執行離散事件模擬計算本研究所關心的。由於 TELES 尚未提供 API 功能，經過與開發單位國家地震工程研究中心協調，未來改採 Web Service 直接匯入本系統，並納入正在開發的「震後路網分析與救援道路規劃」以及「震後緊急醫療服務效能評估」的附屬套件 (Bundle)，進行更準確的模擬預測。

### 二、模組二：時間分析配適模組

如前所述，機率分布分為連續型和離散型，時距變量也是，其中隨機變量、機率密度、機率分布及樣本空間等，都必須依循隨機變量的數字特徵、大數定律、中心極限定理所涉及理論進行時間分析與配適。

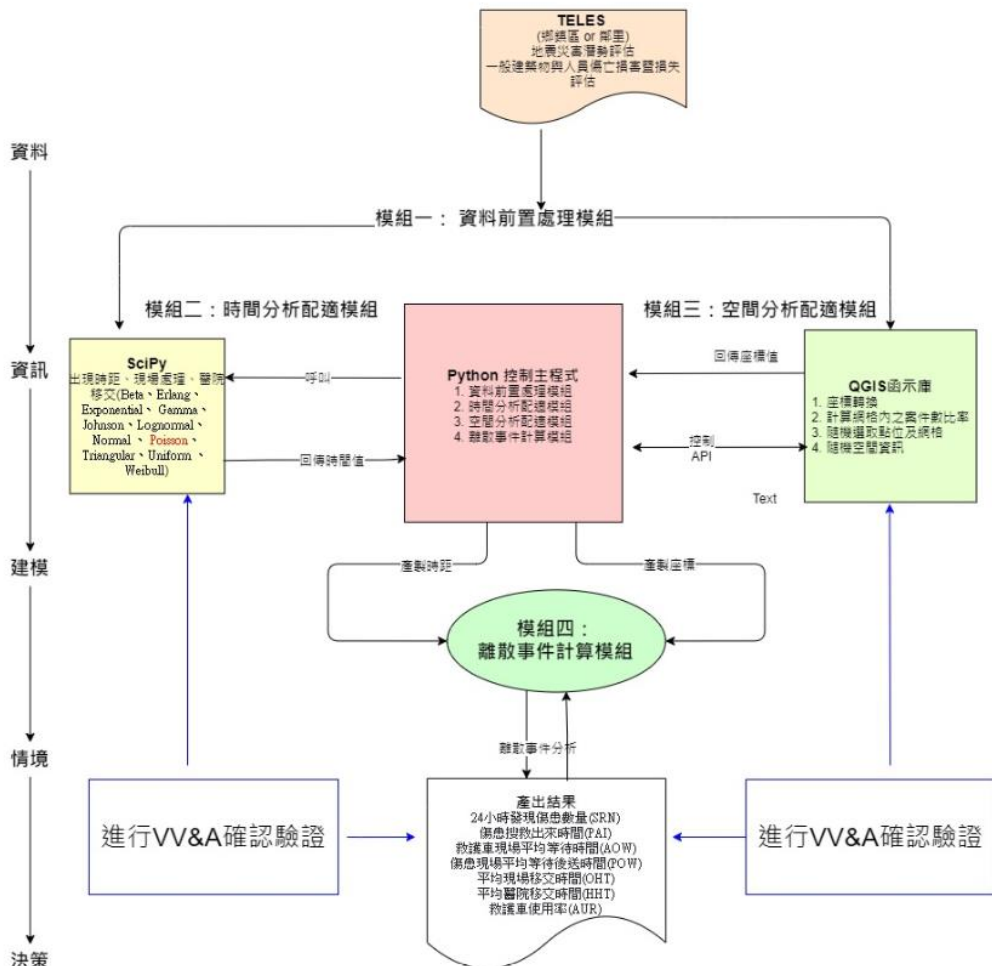


圖 2 模型設定控制流程

本研究以 2016 年 0206 台南大地震實證資料發現（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018），在震後依「直轄市縣（市）政府災害防救相互支援協定作業規定」在搜救部署 30 分鐘期間，進行 EMS 資源補位（Resource Relocation），開始進行 24 小時應變，平均每 5.87 分鐘即有住民被救出，整個時段成指數分配，經過 Input Analyzer 軟體執行配適可以用  $EXPO(5.87)+30$  來表示。如果給定機率就能得到出現下 1 名 EMT 需求的隨機間隔時間，EMT 到達服務現場後，必須視服務對象傷別及是否有救護車，來確認現場處理方式，並以維持生命徵象作為最優先處理考量，本文先以訪談資料，紅、黃標傷患分別為 1 到 3 分鐘以及 1 到 5 分鐘三角分配進行配適（曾偉文，2017）。未來尚需以創傷現場處理實證資料，再經過 Input Analyzer 軟體執行配適進行修正。

到達指定後送醫院急診後，並不是可以立即返回分隊，有時 EMT 必須協助醫療人員進行急救、登錄資料並等待空床才能將擔架取回離開醫院，整個時段分配，經過 Input Analyzer 軟體執行配適可以用  $4.5+WEIB(13.4, 1.19)$  來表示，當然最後所有為模擬產製的機率型資料分布都要經過卡方適合度檢定 (Chi-square Test of Goodness of Fit) 及 K-S (Kolmogorov-Smirnov, KS) 檢定等檢定程序，驗證符合實證資料的分配。

另外，由 2016 年台南大地震及 2018 年花蓮大地震建築物倒塌之 MCI 調查中，從事故發生、傷患後送到大鋼牙進場作業，救災作業雖持續長達 72 小時，但使用消防 EMS 資源之狀態，僅以最初 24 小時較為顯著。此與國外學者 Noji 等人 (1990) 調查，震後 24 小時內被搜救出的傷者有超過 90% 的存活率相符。

### 三、模組三：空間分析配適模組

有關 QGIS 整合問題，TELES 產生的傷亡推估，Python 必須依照各災害地點搜救速率分析進行配適，產製 EMS 需求資料，GitHub 皆可搜尋本研究撰寫 QGIS 函示庫主要功能，模組必要的空間需求分析、配適及產製執行程序包括：  
1. EMS 資源以及需求轉換成相同的空間座標 (Change CRS)；  
2. 空間點資料產製消防、醫療及案件需求資料圖層 (Convert Xlsx To Shape)；  
3. 計算網格 EMS 需求量 (Count Point In Grid)；  
4. 以方格點中心紀錄 EMS 資源以及需求屬性資料 (Find Barycenter)；以及  
5. 產製模擬 EMS 需求 (Random Points Inside Polygon)。

### 四、模組四：離散事件計算模組

本模組針對貳之一節 EMS 應變作業程序作業程序之離散事件進行計算，實證資料進行分析配適後，會由模組二及模組三提供模擬時空資料進行離散事件模擬計算。為擬定地震大量傷患到院前 EMS 的策略，提供模擬模型對照比較，依貳之一節 EMS 應變作業程序大量傷病患緊急救護模擬架構，提出以下各離散事件因素納入測試設計考量，包括：搜救效率、作業策略、檢傷程序、資源動員、後送排序、傷患分流到院及急救責任醫院收治能量 (曾偉文, 2017)。

## 肆、模型先導測試

本文目的主要在開發地震大量傷病患 EMS 模擬模型，採用 TELES 預測模型地震的影響人員傷亡做為情境背景，該模型是根據內政部營建署設定 475 年和 2500 年回歸期抗震建築設計標準，所採用的 TELES 軟體 2012 年版，提供本模型功能包括：地震災害潛勢分析、一般建築物損害評估及人員傷亡評估等功

能，採新北市政府萬安演習等最常使用地震情境，設定新北市山腳斷層芮氏規模 6.5 地震、震源深度 5.0 公里、斷層開裂長度 16.0 公里、寬度 13.0 公里、傾角 65 度、開裂方向 24 北偏東、經緯度分別為 121.4449 及 25.0290，預測新北市 29 個行政區的人員傷亡如圖 3。

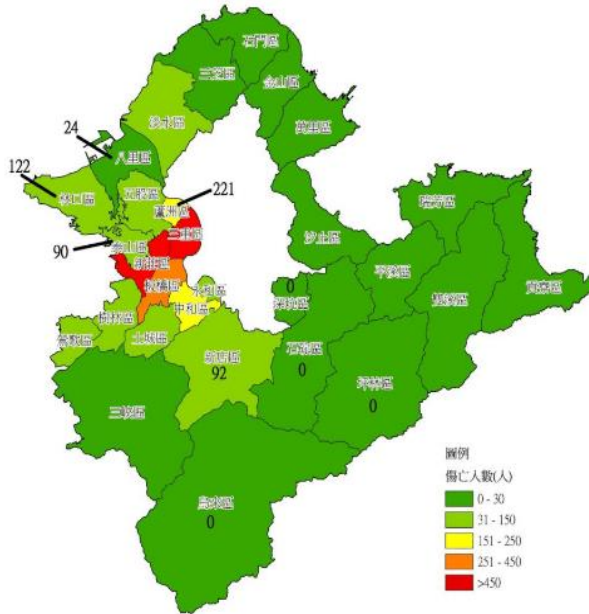


圖 3 本文地震情境 TELES 推估新北市各行政區傷亡人數

## 一、情境設定

本單元將以新北市板橋區及林口區夜間分別重傷 332 人及 122 人做為動員情境進行模型先導模擬測試；從以往台灣地區歷年來地震後單一建築物倒塌之研究可以發現，建築物總樓地板面積的確與受困人員數有線性關係，因此可視為對 EMS 資源之需求。相較於美國陸軍工兵部隊估算受困者每 19 平方公尺受困 1 人，我國因建築物建築結構差異，災例中每 64 平方公尺僅受困 1 人。因此，受困影響人數及 EMS 需求估算，仍應依我國地震歷史資料做為設定依據，以符合本土模型的境況（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）。

其次，先前研究針對群聚活動 MCI 之 EMS 需求，發現符合柏拉圖（Pareto Chart）所謂的 80/20 的趨勢或原則，也就是針對 20% 黃、紅重傷傷患需要 EMS 的問題即可（曾偉文，2017），此理論亦將用於地震災害建築物倒塌之初期搶救，配合實證資料的搜救速率，即能得到各事故地點傷者搜救出現、現場移交及醫院移交之時距分布（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）。各設定參數，如表 1。

表 1 測試山腳斷層因發生地震情境 EMS 需求設定參數

林口區情境參數	板橋區情境參數	參數來源說明
夜間重傷：122 人 (紅標：24 人，黃標：98 人)	夜間重傷：332 人 (紅標：68 人，黃標 =264 人)	TELES 運算結果
事故地點：11 個里災區點中心座標 121.3792394732, 25.0801305209	事故地點：126 里災區點中心座標 121.458675170927, 25.0084835672037	假設事故里、區人口密度質心
搜救速率：Exp(5.87) +30 (分鐘)		0206 台南大地震實證資料 (曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018)
現場移交：紅 TRIA(1,3,5) ，黃標 TRIA(1,2,3)		
醫院移交：4.5 + WEIB(13.4, 1.19)		
醫院收治量：重度急救 100 床、輕度中度 50 床		醫院由近到遠；紅標送重度、黃標送中度
動員行政區 3 部車，救護車移交傷患後，需返隊清理消毒 10 分鐘後，才能再派遣到現場。	動員行政區 10 部車，救護車移交傷患後，需返隊清理消毒 10 分鐘後，才能再派遣到現場。	現場原則有兩部待命
模擬 24 小時，DES 演算 30 次平均結果，係依地震存活率理論 (Noji, et al., 1990)		

## 二、模擬結果

由於斷層較近傷亡較嚴重為西北行政區域，因此選定該區域板橋及林口做為實驗對象，主要考量板橋係全區人口密度平均，126 個里皆有傷亡，而林口區北部丘陵地形無傷亡，僅南邊 11 個里有傷亡且資源少，可藉以測試 QGIS 人口密度質心函示庫功能及補位策略理論模型認證。

### (一) 板橋地區動員情境 (BC01~03)

板橋為新北市的一個行政區，總面積為 23.14 平方公里，分為 126 里，全區人口約 55.2 萬，在全國鄉、鎮、市、區中排名第一。如圖 4 區內 7 個消防分隊共有 10 部救護車負責日常救護需求服務，主要後送包括亞東醫院等 8 家急救責任醫院。依 TELES 推估結果全區 126 個里中皆有出現 EMS 需求，共計 332 人；BC01 情境模擬主要目的在確認決定型行車時距，機率型搜救出現、現場處理與到院移交各事件時距合理性；然後調整現場最低救護車待命數量，即 BC01

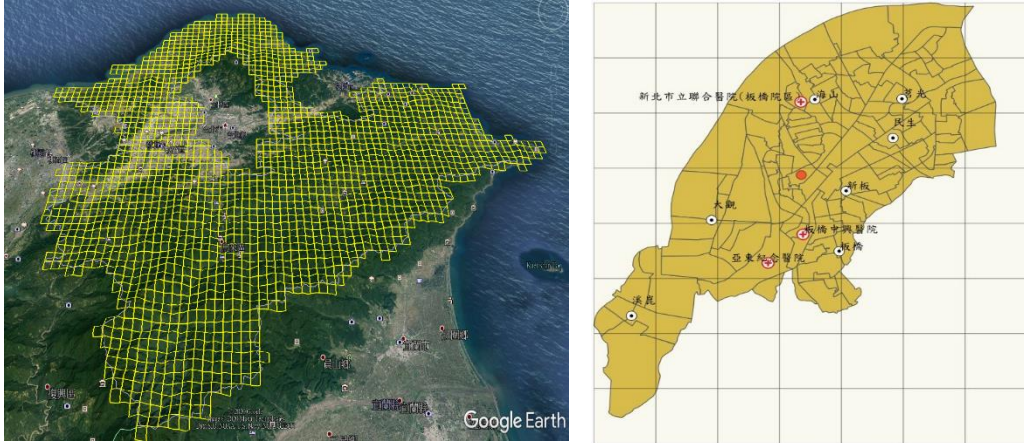


圖 4 (左) 以 Excel2Earth 呈現新北市 1km\*1km 網格；  
(右) 以 QGIS 繪製板橋地區 1km 方格分佈

兩部、BC02 四部及 BC03 八部，執行靈敏度測試，對理論模型與模擬模型做進一步的認證 (Accreditation)。

針對決定型行車時距驗證 (Verification)，為確認使用 Google Map API 來模擬分隊到災害現場、現場到醫院以及醫院返回分隊車行時間等決定型資料，先前用相關分析以資料處理實證及模擬 2 組數據，來檢驗日常救護資料數據的優劣，例如：在消防單位登錄的車行時間往往與 Google Map API 的車行時間相關性極低 ( $r = -0.02 \sim 0.28$ )，但消防單位登錄平均到院前時間與模擬時間 (TAP) 相關性又很高 ( $r > 0.8$ )，能了解主要原因是由於出勤 EMT 人員多在做臨床工作，細部資料登錄只能在救護後送到院後補登，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 (曾偉文, 2020)。

其次是對離散事件模擬過程中，所使用的機率型資料必須進一步驗證，例如：圖 1 模型中程序事件搜救出現、現場處理時間以及醫院移交時間，由於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：前一個案件處理時間久，意味下一個案件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，經常使用卡方適合度檢定及 K-S 檢定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佈，適合度意即觀測到的次數和服從某個理論分佈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，本文產製隨機時距，以 SciPy 函式庫設定兩個檢定  $p$ -value 都大於 0.15 代表通過，可以用以 DES 計算。

最後是針對貳之一節大量傷病患作業程序，以不同的條件設定來進行模擬模型與理論模型的認證比較；由於在 0206 台南大地震單一事故現場因資源豐富，現場是車等人狀況（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018），本研究未來在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現場待命救護車數量，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，以同時考量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 中我們可藉由調整現場待命救護車數量 2、4 及 8 部之情境 BC01~03，來觀察整體應變時間及資源運用的表現；由表 2 結果看來，重傷 332 人在 24 小時內僅能搜救出 242 人，由於尚未重置救護車狀況下使用率一直維持在 93~94% 左右，在資源極度匱缺，即使提高現場待命救護車，傷患現場等待時間仍高達 5.5 小時左右，這種 S&P 在現場長時間處理方式，對於我國救護採 S&R 策略，EMT 會承受極大的壓力。

綜上，新北市政府常用地震情境，必須考量非震災影響行政區支援來重置補位救護資源。在板橋地區，我們假設利用搜救出現第一名搜救傷患 30 分鐘，第一大隊消防分隊在既有資源下，重置支援 2、5、10、15 及 20 倍車輛，圖 6（左）可以很明顯的看出，如果要讓傷患在現場等待的時間低於 30 分鐘，動員救護車在災害應變中平均等待傷患的時間會超過 40% 以上，亦即每輛救護車在應變 24 小時當中，有將近 10 個小時待命未能載送傷患，在分散式地震災害極度有限的緊急醫療資源狀況下，支援救護車分配就顯得沒有效率，再下一個單元林口地區，會進一步說明計算傷患現場等待後送時間會下降狀況，以及資源運用的表現。

## (二) 林口地區動員情境 (LK01~06)

由於新北市災情分布很廣，隸屬第二大隊林口區目前有林口分隊（1 部）及文化分隊（2 部）兩個分隊合計三部救護車應變，依肆之一中 TELES 結果全區 17 個里中有 11 個里出現 EMS 需求，包括：東林里 12 人、林口里 8 人、西林里 15 人、菁湖里 7 人、中湖里 5 人、湖南里 29 人、南勢里 22 人、仁愛里 8 人、麗林里 7 人、東勢里 5 人及麗園里 4 人，合計 122 人。模擬主要目的是用有傷亡的 11 個里，以 1 個人口密度點中心作為搜救地點，與板橋區做比較。



依照我國搜救隊搜救速率，林口地區 122 名傷者，在震後 20 小時左右即可全部完成 EMS 應變，如表 2 不考慮資源補位以既有資源執行 EMS(LK01)，救護車狀況下使用率高達 96% 左右，隨著 EMS 資源增補，隨支援數量，傷患現場平均等待時間明顯下降，但是所有救護車使用率也大幅下降；本文貳之一節大量傷患應變下的作業程序，可用不同的動員支援型態進行模擬模型與理論模型的驗證比較；由於現場是人等車之情形，因此理論模型會要求提高行政區支援救護車數量，來降低大量傷患現場之傷患等待後送時間，基本上不同支援策略方案的統計分析可以沿用模擬模型的方法，例如：利用信賴區間來對理論模型不同流程進行比較，圖 6 (右) 中重置支援 2、5、10、15 及 20 倍車輛情境 LK01~06，現場支援分別至少維持 2~20 倍輛救護車進行補位，來觀察傷患現場等待時間及資源運用的表現。在進行統計檢定前，先設定虛無假設 (H0, null hypothesis) 望有強烈的數據可以支持虛無假設。

如表 2 結果，在現有 EMS 資源下，支援救護車提高到 10 倍 (即 30 輛救護車)，傷患現場平均等待時間由 857.68 分鐘大幅降至 74.30 分鐘，救護車尚有 2/3 的使用率；再將資源提升至 20 倍 (即 60 輛救護車)，傷患現場平均等待時間僅 1.71 分鐘，幾乎在搜救出進入系統後現場初步處理即可後送指定的急救責任醫院，但救護車有 2/3 時間閒置未執行應變勤務，由隨著支援救護車數量提升傷患現場等待後送時間縮減，符合我們的推斷，但補位的救護車救護車使用率由 0.96 下降到 0.30，卻不是大規模震災後緊急救護資源吃緊狀況下，緊急事故管理單位所樂見的；因此，如何有效運用支援救護車，必須視震災規模及可動用支援救護車資源整體考量，而圖 6 同時評估 EMS 需求之資源動員佈署，亦可為未來開發決策支援系統的基礎。

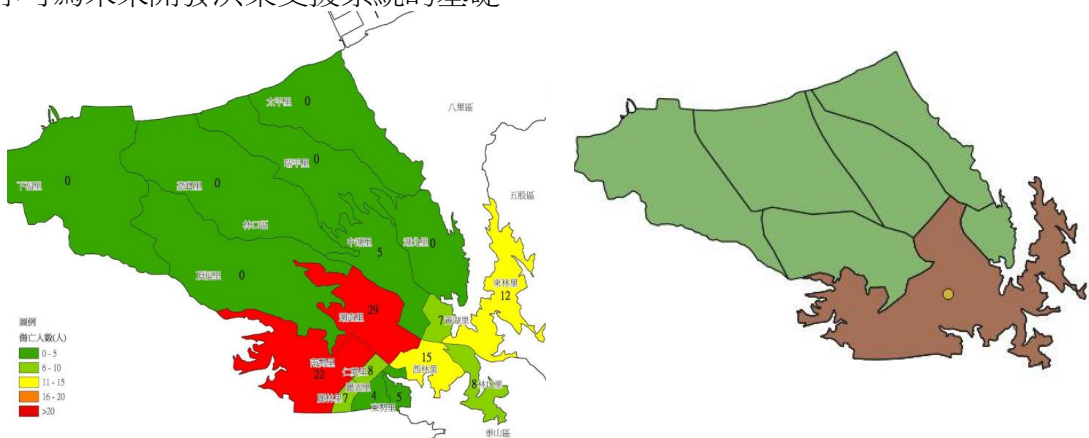


圖 5 (左) 新北市林口區各里傷亡分布；(右) 各里傷亡分布質心

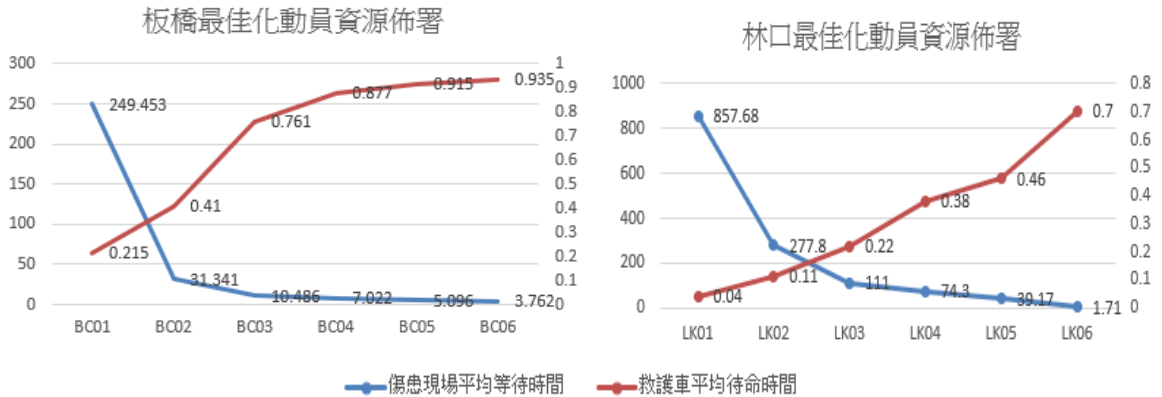


圖 6 板橋與林口行政區需求考量下資源動員佈署 (各圖主軸單位為分鐘、副軸為百分比)

## 伍、結論與未來方向

在台灣現行產製地震災損情境，可使用國家災害地震中心的 TELES，以及國家災害防救科技中心的 TERIA；兩者傷患數量、傷勢狀況與其空間分布等推估方式理論模型非常相似，本研究採用前者模型，第肆節並以新北市政府萬安演習等最常使用設定之地震情境，做為本研究震後 EMS 應變背景進行模型先導測試，以下針對建構模型過程結果進一步說明並討論未來改善的方向。

### 一、結論

本文肆之一板橋區 7 個分隊 10 輛救護車，執行應變每趟次要 1 個多小時，24 小時內要後送 242 人，傷患因為 EMS 資源的短缺，如依行政區 EMS 既有能量沒有補位，傷患在現場會等待後送會數個小時，而新北市萬安演習腳本，搜救出來就有救護車立即後送，就顯現缺乏實證資料驗證的想像狀況，所以要縮短現場等待時間，就必須考量肆、二、(二)林口區的補位情境方式來解決 (LK02~06)，但調用那些區的資源、調用時段長短等策略，才能讓傷者盡快後送並充分發揮救護車使用率，必需新北市全區或北北基跨區緊急醫療網等大範圍同時進行模擬計算。

現場等待傷患時間與 AUR 還是有很高的相關性，如果以皮爾森相關分析可以得到板橋  $r=0.82$ 、林口  $r=0.75$ ，由於前者是人等車，而後者是車等人，前者考驗第一線應變人員維持生命徵象的能力，後者考驗勤務指揮中心救護派遣員分配資源的能力。

表 2 模擬結果

	24 小時 搜救人 數(人)	傷患平 均發現 間隔時 間(分)	救護車 現場平 均等待 時間 (分)	傷患現 場平均 等待時 間(分)	平均現 場移交 時間 (分)	平均移 交醫院 時間 (分)	救護車 使用率 (%)
情境 BC01	242	5.81	0.31	343.79	2.20	28.44	0.93
情境 BC02	242	5.81	0.65	335.44	2.20	28.18	0.94
情境 BC03	242	5.81	1.57	326.86	2.20	27.92	0.94
情境 LK01 即有資源	122	5.88	0.70	857.68	2.21	28.18	0.96
	標準差	0.43	0.16	41.52	0.05	1.37	0.01
情境 LK02 2 倍資源	122	5.80	0.81	277.80	2.19	28.54	0.89
	標準差	0.62	0.21	38.55	0.04	1.87	0.01
情境 LK03 5 倍資源	122	5.80	0.94	111.00	2.19	28.40	0.78
	標準差	0.66	0.26	38.61	0.04	1.7	0.02
情境 LK04 10 倍資源	122	5.86	1.28	74.30	2.2	27.88	0.62
	標準差	0.38	0.64	19.83	0.05	1.52	0.02
情境 LK05 15 倍資源	122	5.79	2.57	39.17	2.18	28.39	0.54
	標準差	0.51	1.70	28.98	0.04	1.20	0.02
情境 LK06 20 倍資源	122	5.95	5.80	1.71	2.2	28.06	0.30
	標準差	0.43	0.90	0.86	0.06	1.69	0.02

本文第一單元前言所參考的重要文獻係有關地震災害預測與 EMS 需求推估、EMS 時空需求分析技術、以及資源分派應變作業模擬，作者採用先前單一建築物倒塌現場 EMS 作業模擬為基礎（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018），結合 GIS 與 DES，首次嘗試長時間、大範圍及多事故地點 EMS 需求完整的時空分析，來進行初步到院前緊急醫療資源運用策略的探討。由於傳統的分析方法較難掌握大範圍突發地震事故大傷人數與 EMS 需求，藉由電腦建模與模擬

即能夠彌補上述困境，在虛擬可控制的環境下進行想定並測試假設情境，也就是模擬允許災害應變上能整合隨機和動態相關情境，本研究亦以新北市 29 個受災需要 EMS 應變行政區進行模擬，並以板橋與林口兩區進行先導測試，希望未來能夠提供各行政區在大量傷病患動員派遣時人有較科學的需求評估方法。

## 二、未來方向

與多數的災害管理模型發展一樣，大概都會歷經初期只能驗證無法確認的困境，即使是發展超過 10 多年的 TELES，也低估近期美濃大地震傷亡人數（陳盈蓓，2016），主要原因是難以控制無形的外在變項，例如：土壤液化的變化、建築偷工減料，所以需要不斷的檢討修正模型參數。

本文主要在建置模擬模型輸入所需資料庫，並嘗試模型開發各模組間資料傳遞的連動測試，震後傷患就醫關鍵的外部影響因子很多，包括關鍵基礎設施的衝擊如消防分隊影響動員能量、醫療設施影響收治能量、路網影響行車時間、及救援單位或社區民眾互助影響搜救速率等，未來都應放在模型裡面的各模組，建立理論後建模做為情境選項，開發初期階段僅能將模型外部影響因素放在模型限制條件及未來努力方向，因此尚有以下未來研究方向。

### （一）介接與更新模型所需資料

參之一中輸入資料包括災害情境、消防醫療應變資源、以及行政區道路等資料，本文是手動下載或索取，由於資料結束動態，未來模型朝決策支援系統發展，以即時資料進行運算。未來還是需要與國家地震工程研究中心、內政部消防署、衛生福利部、以及地理資訊圖資雲服務平台等維護運作單位，洽商介接下載最新資料方式。

### （二）補強實證資料的蒐集

實證資料是修正模型最好的依據，原規劃蒐集九二一大地震作為實證資料的依據，惟經聯繫南投縣消防局以及南投衛生局協助，發現當時救護資料非常匱乏或缺漏無法還原使用，而表 1 設定的參數僅作者以往單一案例蒐納分析數據，難全面適用（曾偉文、郭原齊、陳崇岳，2018）；例如搜救速率  $\text{Exp}(5.87) + 30$  分鐘係以台灣近年來單棟倒塌建築物實證資料推估，對於同時多棟建築物是否有足夠的搜救能量，還需蒐集更多資料做進一步探討。

### (三) 確認影響模型之外在變項並納入中介變項

由於模擬過程暫不考慮地震災害對搜救能量、車行路徑及醫院收治容量的影響，而上述的外在變項卻會影響本研究模型的運作，現階段先針對震後路網行車路徑選擇，將國內發展的「震後路網分析與救援道路規劃」圖資納入模型變項進行計算（Yang et al., 2019）。

### (四) 進行模擬模型資料檢定方法

基本上以理論模型來確認真實世界系統的統計分析，如何設計模型驗證的方法，包括信賴區間之假設檢定、單一樣本 T 檢定、成對 T 檢定、以及變異數分析等。對於信賴區間之假設檢定，本文以估算圖 1 案件 7 個事件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，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。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：檢定某程序所需要的時間與記錄中的平均時間是否有差異時，就以單一樣本 T 檢定來檢驗來進行確認。

### (五) 調整實證資料時空配適、分析及產製資料

模組二及模組三需進一步探討，確認緊急救護資源有效分配，包括：支援車輛不會待命太久，傷患在現場能儘速後送。

### (六) 優化系統減少運算時間提供準確資訊

肆之二、(一)及(二)板橋及林口地區模擬，分別以有傷亡的 129 及 11 個里，以 1 個人口密度地理點中心作為搜救地點做相互比較，係侷於 TELES 以最小統計區提供機率型傷亡資料，如未來資料開放，將以有傷亡的各里地理點中心作為搜救地點，各點依出現時距及比例派遣，與前情境單一地理點中心進行比較分析，而隨著模擬範圍及需求數量增加，必須優化模擬模型系統縮短運算時間，以符合 DSS 功能的要求。

## 致謝

本文感謝科技部經費補助（108-2625-M-015-003），國家地震工程研究中心給予 TELES 介接方式、模擬範圍、緊急醫療資源及道路對模型的影響與改善建議，以及各級消防與衛生單位提供模擬所需資料，特此致謝。

## 參考文獻

- Aboueljinane, L., Sahin, E., & Jemai, Z. (2013). A review on simulation models applied to emergency medical service operations. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4): 734-750. doi: 10.1016/j.cie.2013.09.017
- Aboueljinane, L., Sahin, E., Jemai, Z., & Marty, J. (2014). A simulation study to improve the performance of an emergency medical service: application to the French Val-de-Marne department. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 47: 46-59.
- 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.
- 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.
- De Maio, V. J., Stiell, I. G., Wells, G. A., Spaite, D. W., & Ontario Prehospital Advanced Life Support Study Group. (2003). Optimal defibrillation response intervals for maximum out-of-hospital cardiac arrest survival rates. *Annals of Emergency Medicine*, 42(2): 242-250. doi: 10.1067/mem.2003.266
- Debacker, M., Van Utterbeeck, F., Ullrich, C., Dhondt, E., & Hubloue, I. (2016). SIMEDIS: a discrete-event simulation model for testing responses to mass casualty incidents. *Journal of Medical Systems*, 40(12): 273.
- Erkut, E., Ingolfsson, A., & Erdoğan, G. (2008). Ambulance location for maximum survival. *Naval Research Logistics*, 55(1): 42-58
- 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.
- 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.
- 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—A Applied Sciences and Engineering*, 17(2): 337-356.
- Lynn, M. (2016) *Mass Casualty Incidents*, Springer: New York.
- Morohosi, H. (2008). A case study of optimal ambulance location problems. *Proceedings of the 7th International Symposium on Operations Research*
- 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.

- Savas, E. S. (1969). Simulation and cost-effectiveness analysis of New York's emergency ambulance service. *Management Science*, 15(12): B-608.
- US Army Corps of Engineers (2017). *Urban Search & Rescue Structures Specialist Field Operations Guide*, Edition 8.2  
<[http://www.disasterengineer.org/LinkClick.aspx?fileticket=A0Cpn\\_aqYYc%3D&tabid=57&mid=394](http://www.disasterengineer.org/LinkClick.aspx?fileticket=A0Cpn_aqYYc%3D&tabid=57&mid=394)>
- Wu, C. H., & Hwang, K. P. (2009). Using a Discrete-event Simulation to Balance Ambulance Availability and Demand in Static Deployment Systems. *Academic Emergency Medicine*, 16(12): 1359-1366.
- Yang, C.T., Lin, C.-H., Chuang, Y.-J. & Huang, W.-H. (2019) Development of Seismic Impact Assessment for Taiwan Road Network, *International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake*, Taipei, Taiwan, September 15-19, 2019
- Yeh, C. H., Loh, C. H., & Tsai, K. C. (2006). Overview of Taiwan earthquake loss estimation system. *Natural hazards*, 37(1-2): 23-37.
- 尚少華 (2015) 大臺北地區地震後火災風險評估，國立臺灣科技大學建築研究所博士論文，臺北。
- 張偉德 (2016) 大量傷患緊急醫療救護之最佳救護車派遣數學模式研究，國立成功大學工業與資訊管理研究所碩士論文，臺南。
- 陳盈蒨 (2016) 以 2016 年美濃地震為例探討如何適當地應用 TELES 進行台南地區地震災害評估，國立成功大學地球科學研究所碩士論文，台南。
- 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 (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 : 35-59。
- 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。
- 黃麒然 (2010) 考量風險於地震後火災搶救與緊急醫療規劃之研究，國立臺北科技大學工程科技研究所碩士論文，臺北。

