

代理人基礎模型在全社會防衛韌性之應用

蔡承翰

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

在面對灰色地帶衝突、極端氣候災害與資訊戰等多重非傳統威脅交織的當代戰略環境中，臺灣已將「全社會防衛韌性」(Whole-of-Society Defense Resilience) 視為國防轉型與社會安全的核心戰略目標。雖說全社會防衛韌性與傳統軍事安全有別，但此一概念強調軍民整合、跨域協作與民間能量的全面動員，不僅提升災害與衝突期間的應變能力，更強化社會在面對衝擊後的持續運作與快速復原能力。因此全社會防衛韌性其實可以說是兼具傳統軍事安全與非傳統軍事安全的面向。2025 年「漢光 41 號演習」首次納入多項社會基礎運作中斷的模擬情境，包括通訊、電力、交通與醫療系統的失能與復原機制，標誌著臺灣防衛演訓已從傳統軍事作戰轉向更為複雜的「平戰轉換」與整體韌性建構。進一步而言，「漢光 41 號演習」中所實施的「全國性城鎮韌性演練」，更是臺灣首次跨縣市、跨部會整合的全國層次的演練行動。¹該演練模擬敵軍導彈襲擊、交通與通訊癱瘓，以及關鍵基礎設施遭攻擊等演練場景，地方政府需即時啟動替代指揮系統、動員民防與消防能量、調度緊急醫療資源，並協調志工與民間組織投入庇護收容與物資分送作業。演練同時測試「異地指揮所」運作、「電力備援」切換系統、與「災區醫療分級轉送」能力，強化政府與社會各界在重大危機下的協同應變與自我支撐機制。根據總統府所推動的政策藍圖，全社會防衛韌性涵蓋五大核心面向，包括民力訓練、戰略物資與糧食安全、關鍵基礎設施

¹ 各縣市參與城鎮韌性的資訊可以參考下列網頁：
https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=24&SerialNo=233864。台南市因為投入丹娜絲颱風災後重建，故取消本次城鎮韌性演習。

維運、社福醫療與避難設施整備，以及政府與產業持續運作機制。其中，關鍵基礎設施維運可謂韌性體系中的關鍵樞紐，其範圍涵蓋電力、通訊、水資源、交通運輸與數位基礎建設等系統，任何一項若遭破壞或癱瘓，皆可能引發全面的系統性衝擊，進而削弱整體社會運作與防衛效能。因此，政府特別強調「多重備援」、「異地部署」與「在地自救」等概念，透過實兵演練與跨區協調等方式，全面檢視系統抵抗受損的能力與快速恢復機制。同時，在去中心化與社區動員的原則下，強化地方政府與基層組織的初級應變能量，也成為提升整體社會防衛韌性不可或缺的一環。透過中央與地方、軍方與民間、政府與產業的橫向整合與縱向動員，全社會防衛韌性正在逐步從政策宣示轉化為具體制度與現場實踐，為臺灣面對未來多元威脅奠定堅實的安全基礎。

如前所述，全社會防衛韌性涵蓋民力訓練、戰略物資與糧食安全、關鍵基礎設施維運、社福醫療與避難設施整備等五大面向。2025年城鎮韌性演習即是上述政策構想的實際演練。其中一項重點在於防空警報解除後，於特定地點進行後續的救災與醫療應變演練。內容包括災民轉移與收容的「救濟站」設置、現場傷患處置的「急救站」部署，以及災區搜救與環境清理等行動。此類演練不僅檢視地方政府動員與跨部門協調的實務能力，更進一步顯示在緊急情境下持續維持醫療體系運作的關鍵地位。

事實上，醫療韌性的建構必須同時涵蓋戰術層級與民用層級的有效銜接。具體而言，戰術戰傷救護（Tactical Combat Casualty Care, TCCC）主要負責在高風險戰場環境中執行即時止血與初步處置，緊急救護技術員（Emergency Medical Technician, EMT）則承擔後線穩定救治與轉診後送任務。介於兩者之間，戰術緊急救護（Tactical Emergency Casualty Care, TECC）則是專為警察、消防、特勤與民防

等人員設計，適用於遭遇暴力攻擊、恐怖攻擊或大型災難等「準戰場」場景，其流程與訓練架構承襲 TCCC 原則，卻更貼近民間應用需求。

TCCC、TECC 與 EMT 三者分別定位於戰術區、準戰區與民用後送區域，形成一套層次分明、任務明確的醫療應變系統。三者協同運作、相互銜接，共同構成災難與戰時醫療應變體系的核心架構，亦是全社會防衛韌性中不可或缺的關鍵支柱。

貳、戰術戰傷救護、戰術緊急救護與緊急救護技術

戰術戰傷救護（TCCC）是一套專為戰場環境所設計的創傷處置準則，起源於美國特種作戰部隊，並於 1996 年正式納入美軍到院前創傷救護手冊，成為標準作業流程之一。TCCC 的核心目標為三大任務並重：保障傷患生命、預防更多傷亡，以及協助完成作戰任務。不同於一般醫療系統，TCCC 強調的是在敵方火力持續攻擊、資源匱乏與通訊困難的高風險情境下，第一線人員如何依據戰術環境迅速做出醫療判斷與處置。根據美軍實務經驗，TCCC 的全面推行已大幅降低戰場致死率，從越戰時期的約 15% 降至伊拉克與阿富汗戰爭期間的 7.6% 至 9.4%；其中，多數可預防性死亡皆與四肢大出血與氣道阻塞有關。²

TCCC 採取三階段處置流程：敵火下救護（Care Under Fire）、戰術區照護（Tactical Field Care）與戰術後送照護（Tactical Evacuation Care），並以 M.A.R.C.H. 原則（Massive Hemorrhage, Airway, Respiration, Circulation, Hypothermia）作為核心處置架構。不同於緊急救護技術員（EMT）所採行的 ABCDE 模式，TCCC 優先處理可致命大出血，再進行氣道與循環維持處置，強調「先救可戰

² 姜人瑜、陳建浩，〈國軍戰術戰傷救護發展與精進作法探討研析〉，《陸軍後勤季刊》，第 4 期，2018 年，<https://reurl.cc/Y39Yjl>。

門人員，再穩定重症患者」的戰術優先順序（許聖德，2021）。³例如，在敵火持續壓制的場域中，立即以止血帶控制四肢出血為首要行動；而在進入較安全的階段後，才依序處理呼吸與循環問題。

臺灣自 2016 年起由國防醫學院衛勤訓練中心導入 TCCC 訓練課程，針對具 EMT-1 資格之志願役人員設計班隊，內容結合實兵演練與模擬戰場情境，包括掩體救援、火力壓制下救護、MARCH 處置與戰術後送回報程序等操作訓練。2023 年底，國防醫學院衛勤訓練中心啟用「戰術戰傷及災難事故救護訓練大樓」，專責訓練軍方人員應對高風險環境下的傷患救護任務，同時也協助消防、警政等民防體系辦理 TECC（戰術緊急傷患照護）課程與證照認證，強化平時應變與戰時轉換的接軌能力。根據中央社報導（2024 年 5 月 26 日），國軍此項整合 TCCC 與 EMT 能量的措施，標誌著戰術與民用醫療應變系統之間的聯動已逐步成形，為全社會防衛韌性奠定更堅實基礎。⁴

此外，醫界亦已呼籲應將 TCCC 納入災難醫療體系的一環。由於 TCCC 所累積的戰場創傷照護經驗具高度實證支持與標準化流程，已成為適用於大規模災難現場的重要指引。不僅僅是一套軍事專業技術，TCCC 更逐漸被視為強化我國醫療韌性與全民防衛體系的重要基礎。

值得注意的是，TCCC 與 EMT 在實際演練情境中存在明顯差異。TCCC 主要應用於戰場或高風險環境的「熱區」與「戰術區」，而 EMT 的訓練與執勤場域則以日常生活中的「冷區」與災後處置為主。前者著重即時止血與初步救命處置，後者則強調穩定病況與後送銜接。兩者在空間位置與任務分工上本質不同。

³ 潘師典、陳俊宏、陳柏銓，〈戰術戰傷「Role 1」於台灣災難應變的運用〉，《台灣急診醫學通訊》，第 5 卷第 2 期，2022 年，<https://www.sem.org.tw/EJournal/Detail/393>。

⁴ 游凱翔、吳書緯，〈戰傷救護提升存活率 重要性、國軍推動現況一次看〉，《中央社》，2024 年 5 月 26 日，<https://www.cna.com.tw/news/aip/202405260037.aspx>。

為強化兩者間的有效銜接，「戰術緊急救護」（Tactical Emergency Casualty Care, TECC）應運而生。TECC 為一套參考 TCCC 標準而設計的災難醫療準則，適用於第一線警察、消防與特勤單位所面對的「準戰場環境」，如槍擊案、爆炸、恐攻或複合型人為災難等場景。根據黑熊學院（2024）說明，TECC 所強調的核心理念包括：安全為先、任務導向、資源有限下的處置優先順序，並強調應變人員在壓力中能執行有效、簡單與可重複的流程操作。⁵ TECC 可以說是 TCCC 的民間版本。

整體而言，TCCC、TECC 與 EMT 分別定位於戰術層級、準戰術層級與民用後送層級，三者共同構成層次分明、分工有序的醫療應變體系。此一體系的建構與整合，不僅是國防戰備中的衛勤核心，更是建立全社會防衛韌性、提升關鍵基礎設施應變能力不可或缺的重要支柱。

參、研究方法：代理人基礎模型之應用

本文將在此節敘述主要使用的研究方法。如前所述，本文採用代理人基礎模型，以模擬並評估 TCCC、TECC 及 EMT 等不同急救體系在戰傷救治成效上的差異與影響。本文將首先說明使用代理人基礎模型的理由，接著介紹其基本原理與跨領域應用。

選擇代理人基礎模型的主要原因，在於 TCCC、TECC 與 EMT 等急救體系的實施場域，多發生於戰場這類高度不確定且瞬息萬變的環境。在真實戰場中，無論是實地操作的成本、不同層級救護人員的數量與配置，或是實驗條件的可重現性，皆充滿挑戰。傳統方法難以滿足在此類動態環境中進行多情境評估的需求，唯有透過模

⁵ 陶漢，〈那些你該考慮進修的救護技能（二）：美軍急救體系「戰術戰傷救護」〉，《黑熊學院》，2024年8月20日，<https://kuma-academy.org/article/41>。

擬方式，方能建立具彈性的實驗條件，進一步比較不同體系的救治效益與系統表現，而代理人基礎模型正是實現此目標的重要工具。

Railsback 與 Grimm (2012) 指出，代理人基礎模型是一種模擬方法，用以描述由多個具獨立行為邏輯的個體，即代理人 (agent) 所組成的系統。這些代理人能彼此互動，並與所處環境產生動態關係。相較於假設系統整體平均行為的分析架構，代理人模型更能掌握系統中異質性與非線性互動所造成的複雜性。其應用涵蓋廣泛，不僅限於社會科學領域，也深入生物學、生態學與公共衛生等自然科學領域。⁶

舉例而言，在軍事行動分析上，傳統評估方式常以部隊整體的平均行動能力為基礎，或預設個體行動規則一致，難以真實呈現士兵間的差異與互動。然而代理人模型可賦予每位士兵或作戰單位不同的特性與決策邏輯，如士氣、體能狀態、裝備配置、戰術反應與通訊能力。這些異質性的個體可依據自身條件與局部戰況做出自主行動。透過模擬，我們能觀察部隊如何從局部接戰逐步演變為包圍、撤退或其他戰術形勢，並分析個體之間的連鎖反應如何影響整體戰局。此方法不僅提升戰術預測能力，也協助指揮官比較各種策略下的潛在風險與效益。

此外，代理人模型在其他領域也展現出高度價值。例如，在社會科學中可用來模擬國家之間的貿易政策互動、外交結盟行為或社會運動的群體動員過程；在生物學中，可應用於探討動物遷徙與生態系統穩定性；而在傳染病學方面，代理人模型可模擬疾病在個體之間的傳播途徑，並用以評估隔離、疫苗接種、社交距離等公共衛生政策的成效。

總體而言，代理人基礎模型採取自下而上的建模策略 (bottom-

⁶ Railsback, Steven F., and Volker Grimm, *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*(Princeton, NJ: Princeton University Press, 2012), pp. 3-45.

up approach)，強調個體之間的異質性與互動關係，提供一個連結微觀行為與宏觀結果的分析框架。透過此方法，我們得以深入理解複雜系統背後的多層次動態邏輯，對於應對不確定性極高的決策場域具有關鍵意義，並已成為當代計算社會科學與跨領域研究中的核心方法之一。

如上所述，代理人基礎模型的應用相當廣泛，因此，本文主要以該研究方法作為模擬評估的工具。

肆、模擬場景設定

一、熱區 (Hot Zone)、暖區 (Warm Zone) 與冷區 (Cold Zone) 的定義

如前所述，TCCC、TECC 與 EMT 三種人員類型，在戰場環境中的實踐場景與功能定位有所差異。因此，為確保模擬設計的一致性與操作性，對於熱區 (Hot Zone)、暖區 (Warm Zone) 與冷區 (Cold Zone) 的區分與定義。本文統一採用 TCCC 所建立的分區標準，作為模擬與評估不同人員效益的分析依據。

根據 TCCC 框架 (Butler et al., 1996; Montgomery et al., 2017)，戰場可劃分為三個主要區域，依據敵方威脅程度與可實施之醫療行為進行界定：

(一) 熱區 (Hot Zone)

指持續遭受敵方火力威脅的高危險區域，如作戰現場或爆炸發生地點。此區對應 TCCC 中的「戰火下的救治 (Care Under Fire)」階段，主要醫療行為為快速止血，例如使用止血帶與戰術撤離，目的在於減少醫護人員與傷患暴露於交戰現場下的風險。

(二) 暖區 (Warm Zone)

相較於熱區，暖區的敵方威脅已有所下降，屬於中度風險區域，例如防護後方或局部控制下的戰場空隙。此區對應 TCCC 的「戰術

現場救治 (Tactical Field Care)」階段，允許執行完整的初級醫療評估與處置，例如 MARCH 算法：止血、氣道、呼吸、循環、低體溫與頭部傷害等相關救治。

(三) 冷區 (Cold Zone)

完全排除敵方威脅的安全區域，遠離交火現場，適合進行後送與進階醫療處置。此區對應 TCCC 的戰術後送救治 (Tactical Evacuation Care) 階段，常見的醫療行為包括靜脈輸液、止痛管理與醫療後送 (Medical Evacuation, MEDEVAC) 等相關協調事宜。

根據 TCCC 區域分類的基本原則，各類救護人員依其專業訓練與任務屬性，分別對應於不同區域，以發揮最大救援效益。本文據此設計兩種模擬方案進行比較：方案 A 將 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員分別部署於熱區、暖區與冷區，依循任務分工執行戰場醫療行動；方案 B 則將所有救護人員統一配置於高風險的熱區，以模擬在區域界線模糊或全面交戰狀態下的醫療救援情境。

之所以採用方案 A 與方案 B 作為模擬評估的設計基礎，關鍵在於**實際戰場環境中常難以明確劃定區域邊界**。例如，當交戰地區無法完全排除敵軍火力威脅，或戰況變化迅速，導致暖區與冷區難以穩定建立時，TECC 與 EMT 人員的行動能力與救護效能即可能大幅受限，無法發揮其原預期之功能。相對而言，TCCC 人員具備在高風險環境下執行醫療任務的訓練與經驗，即使在形勢未明或敵情尚未排除的狀況下，仍可維持基本救治作業，展現其在極端條件中的戰術適應能力。

因此，本文透過「區域明確」(方案 A) 與「區域模糊」(方案 B) 兩種情境的模擬設計，進一步探討不同人員配置策略對戰場救護成效與傷患存活率之潛在影響。

二、模擬參數設定

本模型採用代理人基礎模型架構，將戰場上的各類角色抽象化為具備異質屬性的 turtle 代理人，並透過空間化區塊 (patches) 模擬熱區、暖區、冷區三類救援場域。模型整體參數與語法邏輯如下：

(一) 全域變數 (globals)

為記錄模擬過程中的關鍵指標，模型設有多項全域變數，例如 total-injured (總傷患人數)、survived (存活傷患人數)、與 scenario (模擬情境類型)。此外，為衡量不同配置策略對傷患存活率的影響，另設定 survival-rate-A 與 survival-rate-B 以比較方案 A 與方案 B 之效果。

(二) 代理人屬性 (turtles-own)

在代理人基礎模型中，每個 turtle 即代理人皆具備若干核心屬性，用以模擬其在戰場情境中的角色與狀態變化。其中，role 用以區別代理人身份，包括「injured」(傷患)、「tccc」、「tecc」與「emt」等三種救援專業人員；「health」表示健康值，其範圍介於 0 至 100，並會隨時間推移而遞減，以模擬傷患在未獲救治情況下的身體惡化而 injury-type 則代表傷勢的嚴重程度。戰場上的傷勢類別眾多，本文僅以四肢出血此傷勢作為模擬。並進一步區分為「extremity」(可存活的四肢出血)與「non-survivable」(不可存活)兩種類型。透過上述屬性設計，可更真實地再現戰場醫療救援的差異化處置與救治成效。

(三) 初始條件設定 (setup)

在初始模擬情境中，系統會產生 100 名傷患人數，並根據機率分布將其隨機配置於熱區 (60%)、暖區 (20%) 與冷區 (20%)。各傷患初始健康值為隨機分配為 10-60，並有 25% 機率為可存活的四肢出血 (extremity)。另外，TCCC、TECC、EMT 等專業人員各

配置 10 名，並依其專業所對應之區域分布。

(四) 行為與效能參數設定 (go)

在模擬情境中，若傷患未能及時接受醫療處置，其健康值將持續下降，以本文四肢出血傷者為例，每個模擬時間單位若未接受適當的醫療處置將會減少 2 點生命值，直至死亡為止。可以把想像成若四肢出血傷者健康值為 60，經過 3 秒尚未得到救治，其健康值會減損至 54。以此類推，若 30 秒後依舊未得到救治，其健康值為 0，代表該傷患死亡。

為評估不同救護人員於各區域中的實際效能，模型依據戰術醫療教範設定各類人員的治療能力：在熱區，由 TCCC 救護人員負責對四肢出血傷者進行止血處置，具備最高的醫療效能，能使傷患回復 30 點健康值；在暖區，由 TECC 人員提供次級穩定治療，可回復 20 點健康值；而在冷區，由 EMT 人員進行後送與初步照護，其治療效益為回復 15 點健康值。

若為方案 B，則所有救護人員集中於熱區，並依據其原本專業訓練進行救治作業，此一配置有助於評估在區域界線模糊或空間壓縮條件下，集中部署對救護成效與邊際效益的潛在影響

本文在此強調的是，上述數值的設定皆參考過去相關研究的數值。同時 globals、turtles-own、setup、go、health 等英文字為 NetLogo 5.3.1 版本環境下的語法設定。本文只是概略性地介紹運行語法框架，並未詳細列出所有 NetLogo 語法。

伍、模擬分析

在模擬情境中，總計配置 100 名四肢出血傷患，並平均分布於熱區、暖區與冷區，各區分別安置 33、33 與 34 人。此外，每個區域另行配置 10 名救護人員，分別為 TCCC、TECC 與 EMT，對應其專業任務與行動區域進行救治。

一、 方案 A

圖 4-1 是根據 NetLogo 5.3.1 版本的模擬過程部分截圖。主要呈現第 0、7、9、11 次的模擬過程。第 0 次代表尚未模擬的初始狀態。藍色代表傷患，紅色代表 TCCC，黃色代表 TECC，綠色代表 EMT。救護人員同時遵守熱區、暖區與冷區原則並救治最靠近自己的傷患。

圖 4-2 呈現本研究模擬資料之視覺化結果，顯示 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員在處置四肢出血傷患方面皆具有一定之救治效能，存活率分別為 21.21%、12.12%與 20.59%。本研究設定之方案 A 係以戰爭情境為背景，並依據作戰實況明確劃分熱區、暖區與冷區，使各類救護人員能依其專業特性部署於最適合的區域，進而發揮最大醫療效益。然當戰場環境無法清晰界定各區域屬性時，救護人員之配置是否影響其整體醫療成效，即為方案 B 想要模擬與探討之重點。

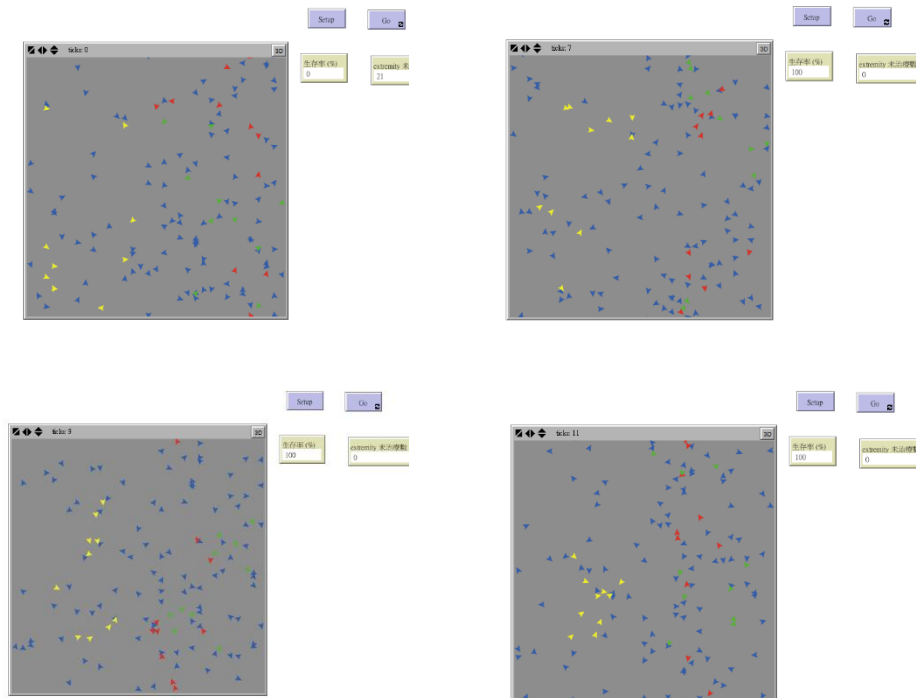


圖 4-1、方案 A 模擬過程

資料來源：作者根據 NetLogo 界面截圖。

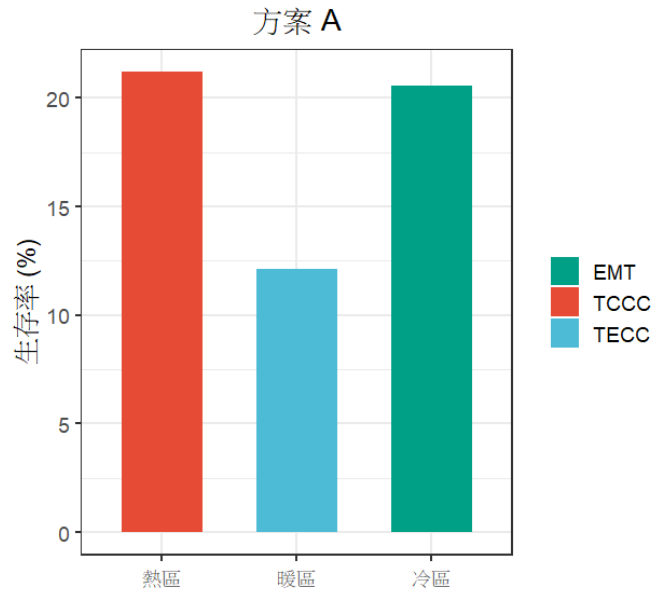


圖 4-2、方案 A

資料來源：作者根據模擬結果輸出資料。

二、 方案 B

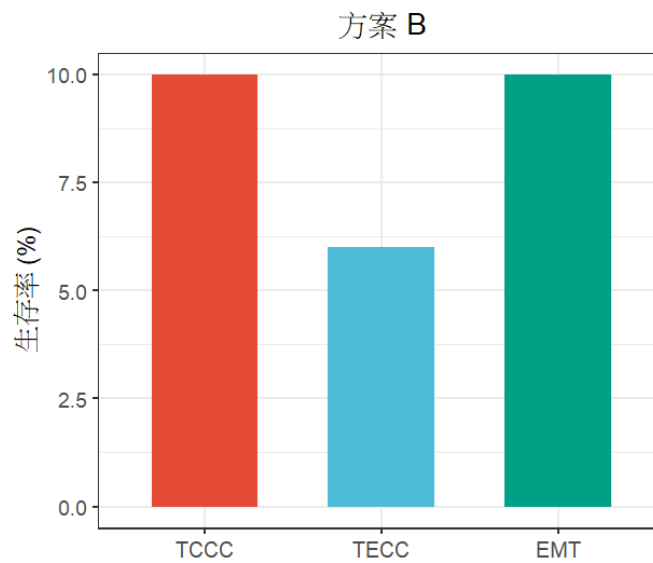


圖 4-3、方案 B

資料來源：作者根據模擬結果輸出資料。

在方案 B 中，模擬情境設定為整體區域皆屬於熱區，無法明確區分熱區、暖區與冷區。亦即，將 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員同時部署於熱區，評估其對四肢出血傷患的救治效能。

如圖 4-3 所示，三類救護人員在此高風險環境下的救治效果皆出現下降，其中 TCCC 與 EMT 的救治率下降幅度為 10%，TECC 則為 6%。本文推論，造成此現象的可能原因在於熱區敵軍火力較為密集，導致整體救治環境惡劣，進而影響人員之行動效率與醫療品質。

值得注意的是，儘管 EMT 的專業訓練與熱區任務配置原本與 TCCC 有所差異，其救治率在本模擬中卻與 TCCC 相當。本文認為，此現象可能與模擬設計僅針對四肢出血傷患進行評估有關。相對於其他更為複雜或危重的傷情，EMT 在處理此類單一類型傷患時，與 TCCC 間的效能差距可能縮小。相對而言，TECC 人員的救治效果甚至低於 EMT，顯示其在高度威脅環境下的表現更為受限。

此外，方案 A 與方案 B 在原始模擬設計中，並未納入敵軍火力強度的差異條件。為進一步檢驗高風險情境下各類型救護人員的效能，本文在既有方案 B 的架構上，調高敵軍火力強度並重新進行模擬。結果顯示，在敵軍火力強度提升的情境中，僅有 TCCC 救護人員對四肢出血傷患能發揮有效救治功能，整體生存率為 22%；相較之下，TECC 與 EMT 救護人員即使部署於熱區，亦無法對四肢出血傷患產生實質醫療效果。此結果進一步顯示，當作戰風險升高時，唯有具備戰術救護專業訓練之人員方能發揮關鍵效益。

陸、結語與建議

本文應用代理人基礎模型，評估 TCCC、TECC 與 EMT 三類救護人員在不同戰場配置情境下，對四肢出血傷患的醫療處置效果。模擬結果顯示，在方案 A 中，若能依據戰區特性，將 TCCC 人員部署於熱區、TECC 人員配置於暖區、EMT 人員分派至冷區，則各類人員皆能發揮其專業所長，提升整體救治成效。

然而，實際戰場局勢往往瞬息萬變，敵情與環境難以明確區分作戰區域。本文也以方案 B 模擬在無法有效區隔區域的情境下，將

所有救護人員集中部署於熱區。模擬結果顯示，整體救治成效較方案 A 下降，尤以敵軍火力強度升高的情境下為甚。進一步模擬亦顯示，僅有 TCCC 救護人員在高風險熱區中仍具有效醫療效果，傷患生存率達 22%；相較之下，TECC 與 EMT 人員則因缺乏戰術救護專業訓練，無法在高強度敵火環境下發揮實質救治功能。

本文根據模擬結果提出幾項政策意涵。首先，TCCC 人員在高風險環境中的救治成效最為突出，因此國軍應持續強化相關訓練，並優先將其配置於前線熱區，以確保戰時能即時處置關鍵傷患。相較之下，TECC 與 EMT 人員在高強度戰鬥區域的效能雖然有限，但在區域劃分清楚的情況下，仍能在暖區與冷區發揮穩定支援的功能，特別是針對生命徵象相對穩定且需要後送的傷患，其角色不可或缺。進一步而言，模擬強調「因地制宜」的重要性，國防單位應依據地形條件、敵軍火力以及區域控制狀況，建構更具彈性的部署與調度機制，避免將訓練層級較低的醫療人員置於極端不利的位置。同時，應考量訓練成本與效益的平衡，尤其在 TCCC 訓練所需資源較高的情況下，不宜在短期內全面推動，而應依任務風險與部隊屬性進行差異化配置，既能維持前線戰力，又能確保整體醫療體系運作的彈性。整體而言，本研究顯示戰場醫療體系的設計應以「戰術風險導向」與「職能分工明確」為核心，並透過模擬與實證資料輔助決策，建立更具適應性與韌性的戰傷救護架構。

本文作者蔡承翰為美國克萊蒙研究大學政治經濟學博士。現為財團法人國防安全研究院網路安全與決策推演研究所助理研究員。主要研究領域為：國際政治經濟、衝突與和平、量化分析。

Applying Agent-Based Modeling to Whole-of-Society Defense Resilience

Cheng-Han Tsai

Institute for Cyber Security and Decision-Making Simulations

Abstract

This article employs Agent-Based Modeling (ABM) to analyze the contribution of battlefield medical systems—Tactical Combat Casualty Care (TCCC), Tactical Emergency Casualty Care (TECC), and Emergency Medical Technicians (EMT)—to Taiwan’s whole-of-society defense resilience. In response to hybrid threats, Taiwan has integrated critical infrastructure, healthcare, and civilian preparedness into national defense exercises, notably the 2025 Han Kuang 41 drill. To evaluate medical effectiveness under combat conditions, two simulation scenarios were designed.

Scenario A assumes clearly divided hot, warm, and cold zones with differentiated deployment of TCCC, TECC, and EMT personnel. Scenario B assumes an indistinguishable high-risk environment where all responders are concentrated in the hot zone. Results show that scenario A enhances survival when personnel operate within their designated roles, while scenario B reduces overall effectiveness, particularly under intensified enemy fire. TCCC personnel consistently provide superior outcomes in high-risk zones, achieving survival rates of up to 22%, whereas TECC and EMT personnel exhibit diminished capacity under the same conditions. These findings underscore the importance of prioritizing TCCC training and deployment at the frontline, while preserving layered TECC and EMT functions in support and evacuation roles. The study demonstrates the value of ABM for testing deployment strategies and

highlights its policy relevance for building adaptive and resilient defense systems.

Keywords: Agent-Based Modeling, Whole-of-Society Defense Resilience, Han Kuang 41 drill