

編輯報告

國防安全研究院的「兵棋室」(War Room)，作為國內首個與目前唯一具有執行電腦兵棋與量化模擬分析的民間智庫單位，除了引進獲多國軍事單位青睞的電腦兵棋系統 Command Modern Operations Professional Edition (後以CPE簡稱)，並於去年(2023)發表首期《模式模擬專題》特刊，向外界展示相關研究成果。過去一年，War Room進一步獲得能夠模擬關鍵基礎設施防護的電腦兵棋系統MASA，以及用於演算法開發、數值模擬計算的MATLAB，擴充本院在相關議題之研究能量。因此，本院War Room今年同樣發布「軍事模式模擬」專題特刊，作為延續首期專題特刊之成果，並規劃未來每年定期出版電腦兵棋與模擬的研究報告。

本期《軍事模式模擬》專題特刊的內容兼具「理論探討」與「模擬實作」。例如，〈電腦兵棋系統推演與模擬整合運用概念與實務〉一文，探討了如何以CPE為工具，同時進行推演訓練與模擬分析之任務；〈電腦輔助兵棋於關鍵基礎設施防護之應用〉一文，則是首度使用MASA電腦兵棋於災防演練的模擬，作為本院War Room關鍵基礎設施防護模擬分析的能量建置之先導研究；〈美、中航艦艦載機出動能力模擬比較分析〉一文，則是建立計算「艦載機出擊架次率」的數學模型，並透過數值計算軟體MATLAB進行隨機模擬，探討美、中航艦的作戰能力。

〈應用強化式學習於兵棋推演之探討〉一文，則是結合強化式學習演算法與CPE電腦兵棋，探討不同反制無人機的方案；〈大語言模型於國軍電腦兵推之應用方向〉的作者，則是導入時下最熱門的GPT概念，運用Claude 3.5大型語言模型，嘗試生成可用

於電腦兵棋的「作戰行動方案 GPT」(Course of Action-GPT, COAGPT)。最後，在〈俄烏戰爭對開源情報和軍事模擬的影響：情報民主化的趨勢〉一文，作者則是以「俄烏戰爭」為例，探討了來自西方友盟的政府與民間力量，如何以「開源情報」(Open-Source Intelligence, OSINT)改善作戰規劃，增強態勢感知和決策能力，協助烏克蘭在戰場上抵抗俄羅斯的入侵。

兵推與模擬整合運用理論與實務

林傳凱

網路安全與決策推演所

壹、前言

戰爭攸關國家的存亡絕續與人民生命財產安全，無法透過「實戰」去預習戰爭，以便對未來可能發生的戰事，評估最佳的決策與預作戰爭的準備，於是乎「兵棋推演」與「模式模擬」，便成為可行且普遍為軍事戰略專家、學者以及國防安全規劃者採用的方法。

推演與模擬並非現代的產物，遠自古代於進行軍事行動前，在沙盤上推演、發展戰爭計畫並推測未來戰事可能的結果，實與現代所謂推演與模擬功能與目的並無二致。透過推演與模擬，可以達成孫子兵法所云：「策之而知得失之計」以及「多算勝，少算不勝，而況於無算乎」之目的。¹

貳、電腦兵棋系統之「推演」與「模擬」

受惠於現代電腦科技的進步與發展，運用電腦兵棋系統進行兵棋推演與模式模擬，可依評估議題的需求設計想定與建構虛擬作戰場景來進行推演與模擬，而不受「時間」、「空間」、「人力」及「物力」等因素的限制與影響。尤其在面對戰爭等「國之大事」之重大決策時，善用電腦兵棋系統來獲得關鍵之議題推演與模擬的結果，可以提供決策者做為決心下達前重要的判斷「基礎」。

一、兵棋推演與模式模擬的內涵

「兵棋推演」是一種針對未來環境的描述，以瞭解現在情勢、推演解決面臨問題的可行方案，以及推測未來可能發展趨勢的重要方法。所謂的「情境」(Scenarios)，係指「戲劇情節的腳本」或「

¹ 見《孫子兵法》〈虛實篇〉及〈始計篇〉。

故事內容」，包括人物、事件、時間、地方、物件等要素。²因此對應想定狀況所需發展的處置方案，可運用情境推演的方法，由戰略規劃人員、作戰人員及相關領域專家等，用相互討論的方式來描繪未來可能面對的景況，在參演者對未來戰爭局勢有清楚且一致的想像，並針對特定狀況及處置方式具備相同的認知及共識的基礎下，逐步完成應對行動方案的規劃、發展與分析，並推演出合理、可行的處置方案，以提供後續面臨實際景況的處置參考。

「模式模擬」則是一個系統簡化或抽象的表示，係藉由建立各類型模式來描述系統行為，並利用電腦技術重複進行實驗後，再運用統計方法對實驗結果進行研判。³運用「模式模擬」技術進行運算與分析，可以獲取軍事戰略，建軍備戰等國防相關事務之經驗或資訊。⁴另「作戰模擬」係指研究作戰過程、分析戰爭局勢和策略等所運用的一種技術，主要借助於模擬器、模型、電腦和網路技術等手段，在實際或假設的想定環境下，按照事先給定的規則或程序，對兩支或多支對抗力量的軍事衝突進行演練；「作戰實驗」則是運用「作戰模擬」的手段，對戰爭的問題進行設計、規劃、推演、評估的動態反饋分析過程，其本質是發現作戰行動的因果關係，並利用因果關係進行決策的研究活動。⁵

一個完整的「兵棋推演」組成，通常包含目標、想定、資料庫、模式、規則、推演者與分析等要素。⁶推演活動依各個要素的功能，可形塑出一個模擬面對狀況、推演因應行動方案與進行決策的環境，使參演者可以在此環境中討論與互動，最終得出在假設前提下

² 高雅玲、陳文棠，〈技術策略規劃（2）情境推演法〉，2024年7月1日，https://www.itis.org.tw/Files/PublicationFile/2012101019010_ThinkWave060801.pdf。

³ 國防部，《國軍軍語辭典》（臺北：國防部，2004年），頁7-23。

⁴ 國防部，《國軍模式模擬與電腦兵棋要綱》（臺北：國防部，2022年），附錄37。

⁵ 胡劍文、常青、馮曉文，《作戰仿真實驗理論、平台與應用》（北京：國防工業出版社，2016年），頁3-5。

⁶ 翁明賢、常漢青，《兵棋推演-意涵、模式與操作》（臺北：五南出版社，2019年），頁40-43。

的推演結果或重要發現。而「模式模擬」則屬無推演者參與的封閉式系統，將想定、行動方案或計畫輸入模式後，即由模式運用內建的「資料庫」與「演算規則」自行運算，再依模式運算產出之數據資料進行分析，最後得出行動方案或計畫效益的量化分析結果。

一般而言，軍事作戰的兵棋推演活動多以桌上型兵推（Board game）來實施，⁷當推演面臨兩軍交戰的情境時，則以擲骰子的方式來處理不確定因素並獲得交戰的結果。擲骰子的優勢在於可迅速獲得交戰的結果，以使兵棋推演活動得以繼續向前推進，不受複雜運算影響推演的節奏與時效。同時通過桌上兵棋可以驗證作戰概念，篩選出合理、可行的作戰構想及行動方案，提供模式模擬後續分析運用。

電腦兵棋系統的出現提供了新的運用選擇，不論是「兵棋推演」與「模式模擬」，均可利用電腦兵棋系統做為平台來運作，並各依其目的執行兵推模擬的活動。從模式模擬分析以獲得最佳方案的目的而言，對於想定方案的輸入、假設條件的設定及模型的構建，都必須格外謹慎，以避免模擬結果的偏差，從而引發“垃圾進，垃圾出”詬病。因此，如何在模式模擬作業的前端，即能獲得合理、可行的想定行動方案是一個挑戰，而桌上型兵推結合模式模擬的整合運用，適可提供一個可行解決方案的參考。

二、電腦兵棋系統類型與功能

「兵棋推演」與「模式模擬」的主要差異，源自於兵棋系統的特性與運用目的的不同。教育型兵棋旨在促進軍事和政治精英的決策模擬；分析兵棋推演則在分析軍事問題，以便更好地為政策提供資訊。⁸而就我國電腦兵棋系統最大使用者的國軍而言，一般將電腦

⁷ 例如 The Dietz Foundation 發行的《Littoral Commander Indo-Pacific》桌上型兵推系統。

⁸ Mark F Cancian et al., *The First Battle of the Next War—Wargaming a Chinese Invasion of Taiwan* (Washington, DC: CSIS, January 2023) p. 26.

兵棋系統區分為訓練參謀人員的作業與指揮官的指揮管制能力等，精進其戰術戰法及熟練戰場指揮應變措施的「推演性兵棋」；以及針對想定、計畫進行計算分析，其結果對所欲探討問題，提供具有價值之資訊的「分析性模式」等兩類。⁹因此，國軍主要運用「推演性兵棋」執行「備戰」等課目之推演訓練；而以「分析性模式」進行「建軍」等方案之模擬評估。

此外，運用兵棋推演的方法，可以針對特定地區的安全情勢和可能發生的事件，包括戰略的分析及危機應對的策略等，藉由特想定狀況的推演，掌握事件可能的趨勢、發展應對的可行方案與提供預應作為的建議，以協助制訂更為有效的政策和戰略。同時，兵棋推演亦可提供參演者在特定想定中一個「預習經驗」的機會，以便在面臨真實狀況時，可以下達正確、有效的決策。

由於戰爭具有高度複雜性、代價過於高昂，以致無法於現實世界中進行戰爭的實驗。而軍事決策的研究方法，包括計量分析、作業研究、模式模擬、競爭策略分析等，¹⁰其中「模式模擬」係將各種相關因素納入模式中來運行作戰實驗，使「模式模擬」成為了作戰決策研究中的一個重要方法，也被戲稱為「最後手段」(Method of Last Resort)。¹¹除了用以回答「*what-if*」的問題之外，也成為探討「因果關係」的主要手段。¹²

「推演性兵棋」可提供參演者一個思路及工具，依據推演的目標及想定狀況，發展與分析出針對事件狀況適切、可行的解決方案，惟無法給出行動方案客觀、量化的效益值。由於需要參演者推演(Human in the Loop)，因此參演者的狀況處置作為將直接影響推演的結果，使得「推演性兵棋」即便可產生數據資料，亦因人為因

⁹ 國防部，《國軍軍語辭典》(臺北：國防部，2004年)，頁7-24~25。

¹⁰ 陳偉華，《軍事研究方法論》(桃園：國防大學，2003年)，頁126。

¹¹ Averill M. Law, *Simulation Modeling and Analysis 5e* (NY: McGraw-Hill Education, 2014), p. 5.

¹² 劉達生，〈軍事模式模擬淺釋〉，《國防情勢特刊》，第25期，2023年3月，頁4。

素的介入，致使數據資料客觀性受到影響。而以「分析性模式」進行之模式模擬，則是利用作業研究的學術理論，將解決問題的思維方式及作業過程轉化成電腦可模擬的數位流程，進一步運用電腦模擬整個思維或系統，使其能在輸入相關參數後，自動地產生出結果。¹³因屬於封閉式的模式（Model），可以免除人為因素的干擾，研究人員將行動方案輸入模式後，逕由模式依其規則運行蒙地卡羅（Monte Carlo）模擬，並以隨機的方式解決作戰之不確定因素，以便獲得行動方案客觀、量化的效益評估結果。

參、軍事決策程序與推演模擬

軍事決策程序是協助參謀發展及擬訂達成軍事任務的行動方案（Course of Action, COA），並輔助指揮官進行作戰決策的一套工具與方法。運用「兵棋推演」的群體思考（Group Thinking），可以發掘影響任務執行的潛存問題與發展因應措施，做為任務行動方案選項中最佳行動方案判斷的依據。¹⁴由於戰場狀況瞬息萬變，且具有高度不確定性，致使決策時間甚為有限，因此指揮官與參謀多仰賴直覺式的決策模式來決定行動方案，¹⁵而最終採取之方案是否為最佳行動方案？抑或只是決策者經驗或固定思維模式下的抉擇，值得進一步探討。

檢視美軍聯戰計畫程序（Joint Operation Planning Process, JOPP）中「發展行動方案」、「分析行動方案」及「比較行動方案」等步驟，可以整合運用定性的「兵棋推演」方法，集相關軍事幕僚人員之經驗與智慧進行腦力激盪，以發展及分析具適切性與可行性的行

¹³ Roger D. Smith, "Essential Techniques for Military Modeling & Simulation," (Proceedings of the 30th conference on winter simulation, (Washington, D.C., December 13-16,1998).

¹⁴ 宋開榮，〈軍事決策程序中的「關鍵性思考」〉，《國防雜誌》，第27卷第2期，2012年3月，頁28。

¹⁵ Floyd J. Usry, Jr, *How Critical Thinking Shapes the Military Decision Making Process* (Newport RI: Naval War College, Joint Military Operations Department. 17 May, 2004), p. 3.

動方案；再運用定量的「模式模擬」方法，依據模擬運算產出之數據資料，按先前制定之評估標準，採科學、量化的方式「比較」行動方案效益，以提供指揮官下達決心前重要的判斷基礎（如圖 1-1）。

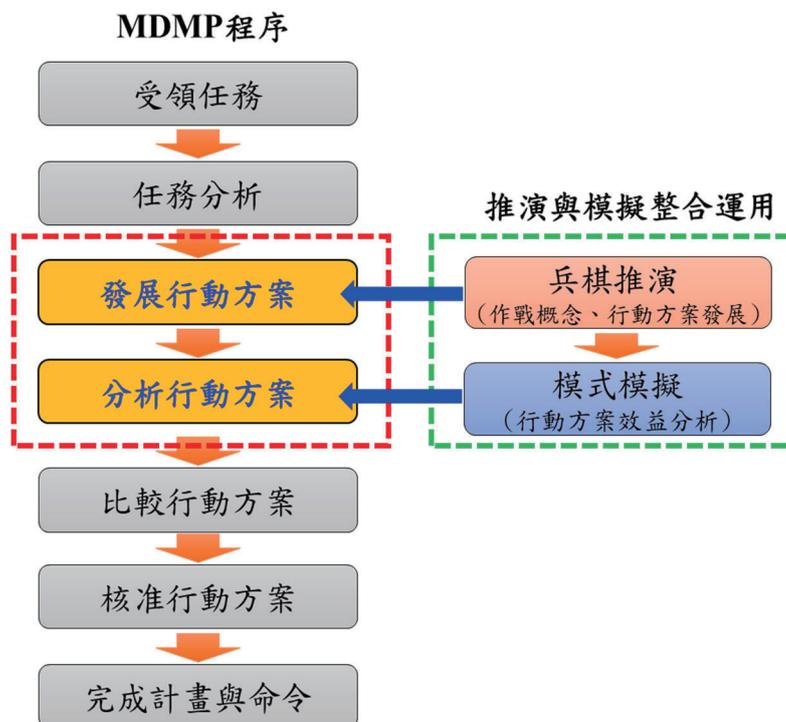


圖 1-1、推演與模擬支持 MDMP 之概念

資料來源：本文參考 MDMP 程序繪製。

國軍軍事決策程序（Military Decision Making Process, MDMP）也強調應運用「科學、量化」的方式執行分析、比較作業，諸如透過運用「敵行動方案圖解」、「敵徵候圖解」及「高效益/價值目標表」等資訊進行綜合考量與分析，期獲得周延的評估結果，然多屬質化的評估，缺乏量化分析的支持。考量軍事作戰屬於高度複雜之議題，可善用「分析性模式」的特性，執行「武器系統效能評估」、「創新戰術戰法發展」以及「最佳作戰方案分析」等模擬評估，從而獲得客觀、量化的分析資訊。以最佳行動方案評估為例，「分析性模式」可針對行動方案進行反覆模擬分析，產出行動方案可能出現的一系列結果，並以「效益導向」依據設定的量測指標成效及評估準據，從不同方案模擬結果中比較、評選出最佳行動方案，協助指揮

官做出最佳的作戰決策。此外，亦可借鑒美軍廣泛運用資訊化的系統，發展國軍所屬的「指管系統」、「共同資料庫」、「分析應用軟體」及「圖文產生器」等資訊輔助工具，¹⁶以加速國軍軍事決策程序的運作，期能於未來的戰場中搶佔作戰有利的機勢。

肆、「推演」與「模擬」整合運用構想與案例

美軍軍事決策程序的過程中，除使用各種資訊化輔助系統、應用軟體和工具之外，同時也運用「分析性」及「推演性」電腦兵棋系統論證及推演各行動方案。¹⁷因此，參照前述圖 1-1 之推演與模擬支持國軍軍事決策程序之概念，針對流程中「發展行動方案」、「分析行動方案」及「比較行動方案」的程序，可依據敵情及威脅狀況，運用「兵棋推演」的方法發展與分析適切、可行之「行動方案」(COA)；另結合「模式模擬」產出客觀、量化的數據資料，以評估行動方案作戰及成本效益。簡言之，就是以「兵棋推演產出行動方案」，以「模式模擬評估方案效益」(如圖 1-2)。



圖 1-2、兵棋推演與模式模擬整合運用概念

資料來源：本文自行繪製。

一、推演與模擬整合運用之方法論

¹⁶ 梁華傑、馬汝青，〈美軍與國軍計畫作為之差異分析〉，《國防雜誌》，第 24 卷第 4 期，2009 年 8 月，頁 75。

¹⁷ 同註 16，頁 87。

就「推演」與「模擬」整合運用的流程而言，是結合「定性」與「定量」兩種不同的研究方法。「兵棋推演」係運用專家意見、腦力激盪及情境推演的方法，由參演者依設定的情境，就面對的問題、狀況，進行討論與互動，並以發展「作戰概念」(Concept of Operations, CONOPS)及分析適切、可行的行動方案為目標。而此一階段所謂的「最佳行動方案」是指涉該方案被最少的矛盾證據所否定，而非最多的證據符合該方案，也就是指情報資訊所獲證據與假定事項檢證契合最近者。¹⁸

而「模式模擬」則屬定量的研究方法，在定義完成效益量測的各項指標，以及最佳行動方案的評估準則後，即可將推演發展完成之行動方案輸入模式執行模擬。隨後依模式產出之數據資料進行各評估指標的效益分析，並依多準則決策進行最佳化評估，最終獲得符合「作戰」及「成本」效益的最佳行動方案(如圖 1-3)，此一階段係以「效益導向」為考量，以效益最能符合所定義之準則為「最佳行動方案」。因此，針對所欲探討之議題，可整合運用兵棋推演方法發展及分析具適切性、可行性之行動方案，並以模式模擬系統進行方案效益性分析，以滿足兼顧行動方案「可行性」與「效益性」的目標。

¹⁸ 同註 14，頁 27。

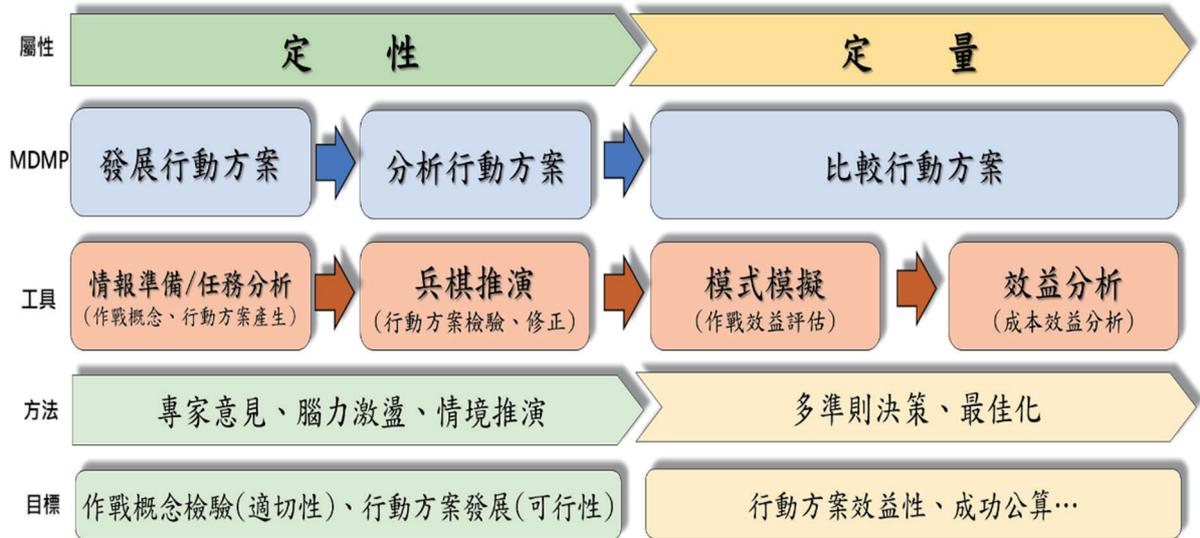


圖 1-3、推演模擬整合運用之方法論

資料來源：本文自行繪製。

二、推演模擬系統與案例

中共運用其發展之「墨子聯合作戰推演系統」，邀集所屬軍事院校學生與兵推愛好者等，舉辦「墨子盃」兵棋推演競賽多年，除進行國防科普教育外，亦從多屆的兵棋推演成果中，累積可觀的想定及參數資料，提供發展電腦兵棋系統重要的參考。以敵為師，我國亦可整合運用電腦兵棋系統「推演」與「模擬」之方法，舉辦軍事作戰議題的兵推競賽活動，以兵推想定教育參演者了解我國所面臨的威脅；以狀況誘導參演者腦力激盪、集思廣益發展威脅因應方案，並以「效益導向」模擬評估「最佳行動方案」，以深化兵棋推教育訓練之成效。

本文案例係運用本院已籌建完成軍用專業版的「指揮：現代作戰 (Command Modern Operation Professional Edition, CPE)」之電腦兵棋系統與運作能量，依據圖 1-3 之推演與模擬整合運用的方法與流程，協助國軍某單位進行軍事作戰之決策兵棋推演教育訓練。CPE 電腦兵棋系統具友善的操作介面，加以外掛 3D 顯示模組 (Tacview)，可呈現視覺化的敵、我雙方交戰模擬過程。本案例以

CPE 做為兵棋推演系統圖台，提供參演者依想定場景及我方的作戰構想與能量集思廣益，並發展、分析出反制敵方威脅的行動方案；另將發展、分析完成之行動方案，交由 CPE 進行多回的模擬運算，最後依據 CPE 產出之數據，進行相關效益量測指標之量化分析。

(一) 推演模擬主題與目標

本文案例係以一般較熟稔的敵方導彈等攻擊我方之想定，由我方遂行「飛彈防禦」為推演模擬主題。想定的威脅強度與攻擊動次，則以中共《艦船知識》雜誌 24 小時內攻克臺島模擬案之導彈及空中攻擊計畫為基礎，¹⁹另參考「俄烏戰爭」及「以哈戰爭」的作戰場景，於想定中增列無人機及火箭彈的運用，以加大空中威脅的類型與強度，提高前端兵推參演者發展及擬訂行動方案，以及後端模式模擬後效益分析的挑戰性。而推演與模擬的目標，是以「效益導向」發展出可行且有效的反制作為，同時兼顧我方防空飛彈的存量，避免與開戰初期即耗損大部分防空彈藥，以維持後續作戰階段的持續戰力。

(二) 推演模擬想定狀況設計

想定交戰時間設定為 2027 年，由敵方於 D 日 05:10 時發起攻擊，並於 7 小時內區分 11 波次投射約 700 個空中威脅，攻擊我方各處關鍵基礎設施。另想定中設計敵方除主要以導彈、巡弋飛彈對藍軍進行攻擊外，其間並穿插無人機及火箭彈對我方進行打擊，以增加各組參演者發展及分析「飛彈防禦」行動方案的挑戰性(如圖 1-4、1-5)。另敵方攻擊狀況循想定計畫但「不劇透」方式逐次發布，期使兵推場景中對於敵方的作戰企圖與攻擊行動，具備局部戰場迷霧與不確定性，以考驗參演者審慎權衡威脅狀況及我方的接戰能量，發展及分析「飛彈防禦」適切、可行且有效的行動方案之能力。

¹⁹ 蘇磊、夕霧、趙四、克里斯、儲遇隆、安海督、亞山，〈祖國統一之戰的仿真推演〉，《艦船知識》，第 7 期，2020 年 6 月，頁 28-52。

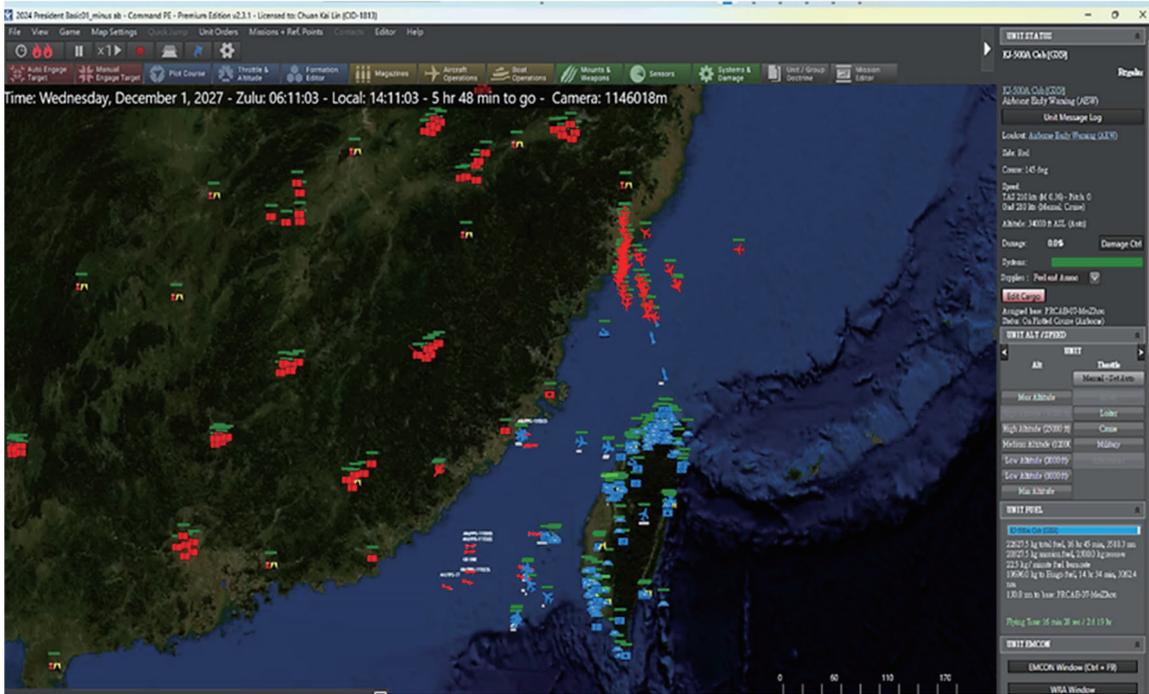


圖 1-4、CPE 電腦兵棋系統敵我交戰過程回放截圖

資料來源：本文推演模擬案例。

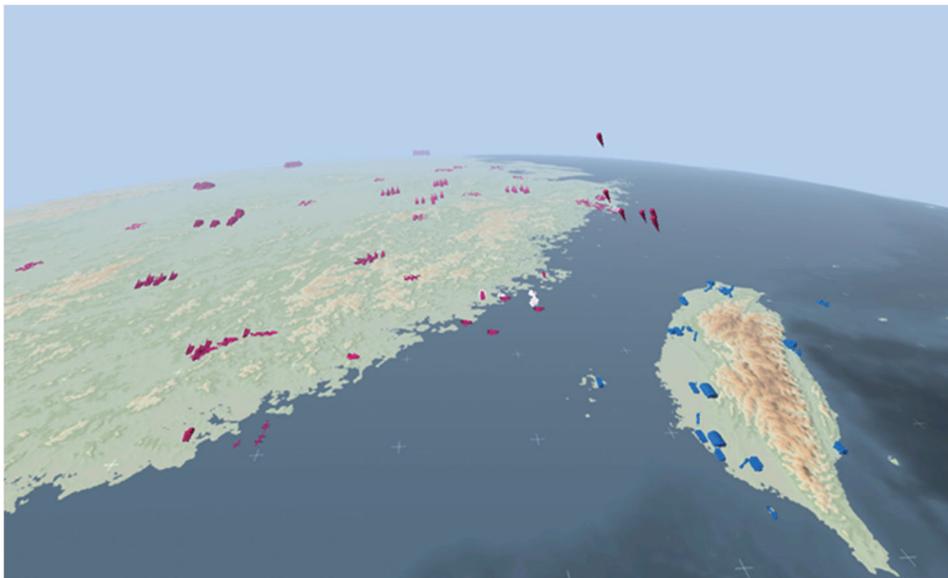


圖 1-5、Tacview 3D 模組敵我交戰過程回放截圖

資料來源：本文推演模擬案例。

(三) 推演模擬效益量測指標 (Measurement of Effectiveness)

效益量測指標為評估行動方案各面向成效優、弱的重要憑藉，也是以「效益導向」進行多準則決策，求取最佳化方案的重要準據。就本文案例進行之飛彈防禦想定的評估指標中，則考量決策兵棋

推演訓練目標，分別定義了威脅的「攔截率」、「關鍵基礎建設存活率」、「精準彈藥存量」……等 8 項效益量測指標，並設定各量測指標不同權重，以利後續進行數據分析時，據以計算各參演分組的總分，以評定績效最佳之行動方案組別。

（四）推演模擬參數資料

為避免涉及國軍機敏資訊，本文案例係運用 CPE 電腦兵棋系統之內建參數資料進行推演與模擬。CPE 參數資料庫自公情蒐集冷戰時期至當今絕大部分之武器系統功、性能參數資料，具備一定之合理性，足敷本文推演模擬案例使用。另依據美國智庫「戰略及國際研究中心」(CSIS) 執行兵棋推演案例，說明機密資料對於建構可信的兵棋推演並不是絕對必要的，儘管機密數據可能有助於調整武器系統參數（例如導彈射程、攔截機率和潛水艇探測能力等），但不會改變戰局的基本結構或結果。²⁰另本文案例中，各組在同樣的「想定」及「參數」基礎下，依據威脅狀況各自發展與分析「飛彈防禦」的因應行動方案，其最終結果產生之差異，應是來自於不同的「作戰構想」與「兵力運用」等的反映，適可提供效益量測指標進行分析，並為「效益導向」評估最佳行動方案之依據。

（五）推演模擬參演者與編組

本文推演模擬案例參演編組共計區分 5 組 (A~D)，各分組編組成員約 3~4 員，多為國防部各聯參及各軍種人員參與決策兵棋推演訓練。各組成員中均擔任軍事決策作業之參謀與指揮官的角色，並依據決策兵棋推演訓練之目標，發展與分析所屬之行動方案，提供後續模式模擬評估運用。本案例將參演者予以區分小組，主要考量係提供該組內部進行充分研討，集思廣益、發揮群體智慧，又可維

²⁰ Mark F Cancian, Matthew Cancian, & Eric Heginbotham, *The First Battle of the Next War—Wargaming a Chinese Invasion of Taiwan* (Washington, DC: CSIS, January 2023), pp. 41-42.

持獨立思考不受其他組別的影響的機會，有利於發展與分析具備多樣性與鑑別度的行動方案，避免「群體迷思」現象產生。

(六) 推演與模擬結果分析

1. 各組依據想定狀況進行推演與研討後，決定採行之「飛彈防禦」策略並完成行動方案發展與分析，如下表：

表 1-1、各組「飛彈防禦」之行動方案策略

組 別	A 組	B 組	C 組	D 組	E 組
策 略	戰力發揚	戰力保存	戰力發揚為主	戰力發揚為主	戰力發揚為主
			戰力保存為輔	戰力保存為輔	戰力保存為輔

資料來源：本文推演與模擬案例。

2. 各組方案完成模式模擬後，依據前述定義之「攔截率」等 8 項「效益量測指標」進行分析，並繪製各組之量測指標績效雷達圖（如圖 1-6）。由雷達圖呈現之資訊可得知，各組採行之「飛彈防禦」策略，多為兼顧戰力發揚與保存（C、D、E 組）；部分採戰力發揚（A 組）與戰力保存（B 組），因此所獲之績效亦略有差異，其中又以 D 組整體績效相較之下最為均衡。

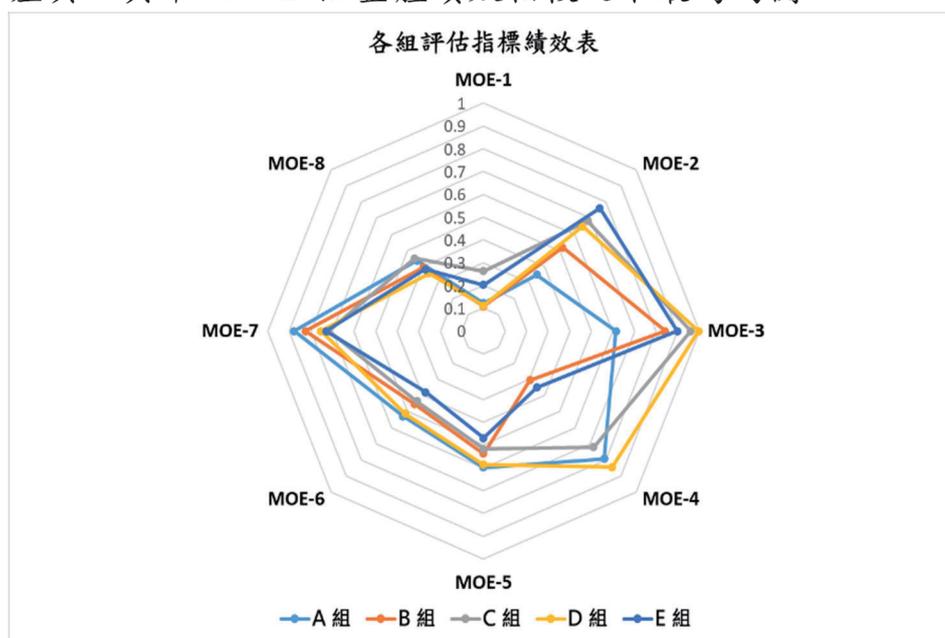


圖 1-6、各組行動方案效益雷達圖

資料來源：本文推演模擬案例。

3. 本文推演模擬案例各「效益量測指標」依重要性設定權重，主要著眼於面對敵方空中威脅時，除能有效運用我方飛彈防禦戰力攔截來襲威脅目標之外，同時考量「飛彈防禦」貫穿作戰全程，需適度保存戰力提供後續飛彈防禦之需求。經以定義之評分準則計算後，繪製各組行動方案總分（如圖 1-7），五組中以 C 組績效最佳；A 組次之。

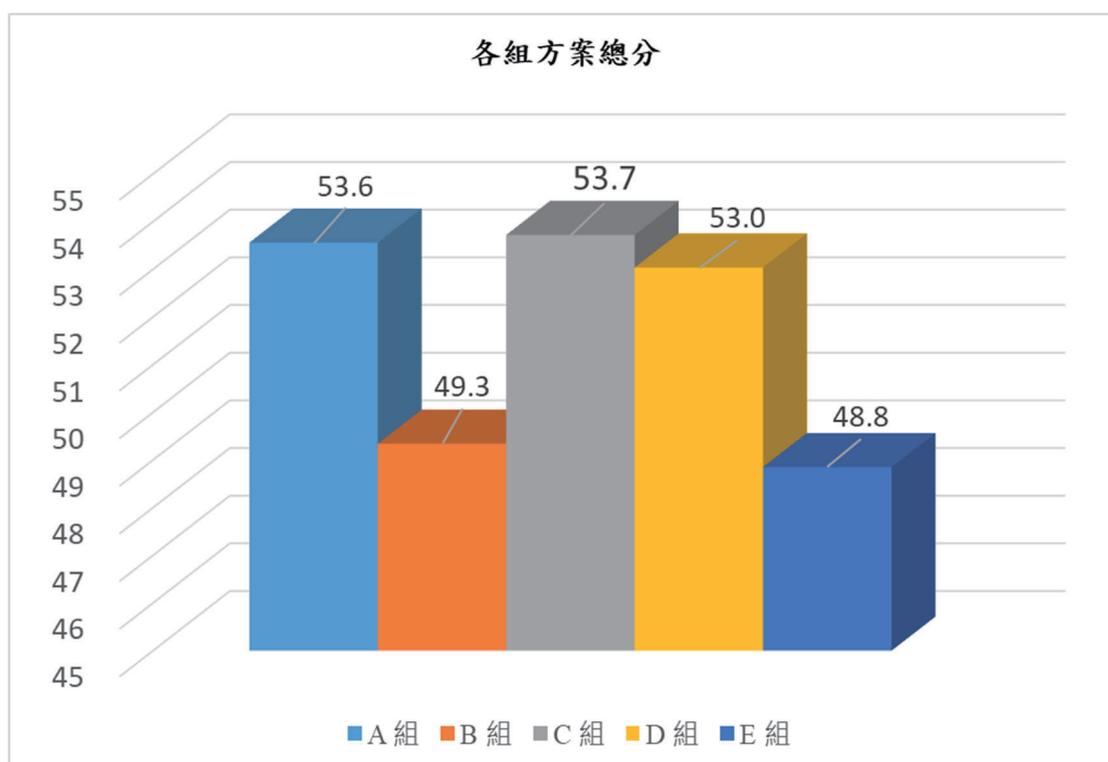


圖 1-7、各組行動方案績效總分圖

資料來源：本文推演模擬案例

4. 由各方案績效總分顯示，面對 D 日敵方高強度的空中威脅，我方應以發揚飛彈防禦戰力為主要考量，以保障我方關鍵基礎設施之存活率與韌性，惟需保存部分有限防空資源，以肆應後續戰事需要。

伍、結語

運用兵棋系統進行「兵棋推演」或「模式模擬」，二者活動的目的雖有不同，然從支援「軍事決策程序」的觀點而言，就其中「發展行動方案」與「分析行動方案」等流程，可運用「兵棋推演」的方式，依據想定威脅狀況，透過群體智慧、腦力激盪與情境推演，發展與分析出適切、可行的行動方案，並提供後續「比較行動方案」流程中「模式模擬」建模的依據，俾能從模擬後各效益量測指標數據中，以「效益導向」進行「最佳行動方案」比較，提供指揮官下達作戰決心之重要參考。

就兵棋推演教育訓練活動而言，運用電腦兵棋系統提供圖台的功能，可以動態呈現作戰空間、場景與敵軍的威脅情況，使參演者易於融入兵棋推演想定的作戰情境中，有助於參演者發展與分析因應的方案。其後，行動方案透過模式模擬多回的運算與數據分析後，可依先前設定之績效評估準則，提供行動方案客觀、量化的優、弱分析結果，促使參演者進一步思考精進之道，從而獲得更佳之行動方案。

本文作者林傳凱為國防大學管理學院運籌所碩士，備役空軍上校，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副研究員。主要研究領域為：作業研究、模式模擬、效益評估。

Wargaming and Simulation Integration: Theory and Practice

Chuan-Kai Lin

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

Wargaming and modeling simulations are indispensable tools for modern warfare planning, preparation, and assessment. Their application provides decision-makers and commanders with a crucial basis for making informed decisions. In military decision-making processes, the steps of "COA development", "COA analysis" and "COA comparison" can integrate qualitative wargaming methods to develop and analyze feasible action plans; quantitative modeling simulations can then be used to scientifically and quantitatively compare the benefits of different action plans to identify the optimal one.

In terms of wargaming education and training, computerized wargame systems can dynamically present the operational environment, scenarios, and enemy threats, helping participants immerse themselves in the operational context of the wargame. This immersion aids in developing and analyzing responsive action plans. Additionally, modeling simulations can run multiple iterations to analyze the strengths and weaknesses of action plans, providing participants with further insights for refinement and improvement.

Keyword: Wargaming, Modeling Simulations, Military Decision-Making Processes, Cost analysis

電腦輔助兵棋於關鍵基礎設施防護之應用

杜仲平

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

任何現代化國家及都市，如何評估及預先掌握都市的各項威脅（threats）、韌性（resilience）及脆弱度（vulnerability），並經由風險評估及不同政府層級之防災資訊分享機制，採取各項強化或災害防護作為，是當今各國政府相當重視的工作。而都市災害與關鍵基礎設施（Critical Infrastructure, CI）之確保與防護有重大關係，在災害應變及國土安全中扮演重要之角色，亦為各國近年來在推動國土安全政策中重要的一環。舉凡電力、通訊、網路、水庫、橋樑、鐵路、港口、化學管線等重大關鍵基礎設施之安全維護與運作，不論在天然災害或人為災害中，都扮演不可或缺的一環。因此，要如何強化「國家關鍵基礎設施防護」應變計畫，並協助地方政府推動、落實國土安全相關工作，亦是國際間對國土安全研究與都市防災領域的重要議題。¹

由於關鍵基礎設施之防護牽涉到不同層級、不同單位，甚至橫跨公、私部門，且關鍵基礎設施有其相依性，可能牽一髮動全身。依據「國家關鍵基礎設施安全防護計畫指導綱要」，為驗證 CI 風險是否均能有效控制，防護計畫是否能確實降低災害損失，迅速復原，各次領域主管機關應督導設施提供者舉行演練，演習方式可混合採取桌上演練（問題探討及狀況模擬）、兵棋推演（想定及狀況處置）或實兵演習（依兵棋推演內容採實地、實物、實作方式演習），並結合中央政府、地方政府、外部支援單位參與。²然而，在演習實務

¹ 黃俊能，〈國家關鍵基礎設施防護 - 論風險管理與韌性評估〉，《最高檢察論壇》，第 2 期，2023 年 12 月，頁 3，https://sp.cpu.edu.tw/var/file/88/1088/attach/66/pta_25911_8037327_37016.pdf。

² 行政院國土安全辦公室，《國家關鍵基礎設施安全防護計畫指導綱要》，2018 年 5 月 17 日修頒，頁 14，<https://ohs.ey.gov.tw/File/73C6F32571960243>。

執行上，多採紙本、簡報配合小規模實作演練，常面臨情境與想定設計過於簡略、應變組織的任務分工不夠完整、指揮官與幕僚的互動不足、僅由參演單位口述相關 SOP、未見決策過程等缺失³，須持續改善與精進。而電腦輔助模式模擬與兵棋推演，也成為各國災防演練不可或缺的工具。

模式模擬系統已大規模運用在各個領域，做為計畫評估、人員訓練、聯合行動驗證等輔助工具，近年來隨著人工智慧發展，新一代模式模擬系統具有更強的仿真性及決策支援能力，成為各國防災救難及戰備整備推演不可或缺的工具，許多國家運用模式模擬工具來提高其關鍵基礎設施防護能力。這些工具的應用和效果因國情而異，一般可歸納如下：

- 風險評估和情境模擬：評估各種潛在風險和情境，包括自然災害、恐怖攻擊、網絡威脅等。這些模擬能夠幫助國家識別關鍵基礎設施的脆弱性，並制定相應的應對計畫。
- 性能優化、強化韌性：一些國家使用模擬工具來優化其關鍵基礎設施的性能，包括評估不同的運營策略，以提高系統的效率 and 可用性。
- 培訓和演習：模擬工具在培訓和演習方面非常有用。許多國家進行定期的演習，模擬各種危機情境，以測試應對程序和培訓人員，以提高應對危機事件的能力。
- 政策制定和決策支持：模擬工具提供了制定政策和決策所需的數據，可以幫助政府評估不同政策選項的影響，並選擇最適合的防護策略。
- 即時監控和反應：一些國家已整合了模擬工具到關鍵基礎設

³ 行政院國土安全辦公室，《關鍵基礎設施防護演習指導手冊》，2021 年 4 月 9 日，頁 2，<https://ohs.ey.gov.tw/File/4C741488FE6B6AF5>。

施的即時監控系統中。這些工具可以自動偵測異常情況，並啟動應對程序，從而提高了對事件的快速應變能力。

綜上所述，關鍵基礎設施防護在任務整備、執行與評估階段，需要跨部門間縝密的計畫、協調合作及資訊共享，才能及時做出應變處理，作者擬運用模式模擬化的分析與決策支援系統，建構實體基礎設施防護想定，進一步探討未來演練導入系統的可能性，以縮短演練整備時間、降低演練人力、物力動員的成本，並提高訓練成效。

貳、模擬系統介紹

本案運用 MASA SYNERGY 建構基礎設施防護想定，模擬設施遭攻擊破壞後，應變及復原機制作業情形，並進一步評估其執行成效，做為修訂預防整備計畫及精進人員訓練的參考。

MASA SYNERGY（針對公共安全）由法國 MASA 集團開發，是一款和 MASA SWORD（針對軍事作戰）同樣具有人工智慧（AI）演算的危機管理電腦兵棋，主要用於想定發展、程序演練及計畫驗證，並做為指揮所演練、危機管理、戰略規劃、行動後分析、作業程序和資源設備分析等運用，目前計有法國軍方、民間及國外機構等 30 幾個使用單位（如圖 2-1），本院首次引進，為國內唯一使用單位。



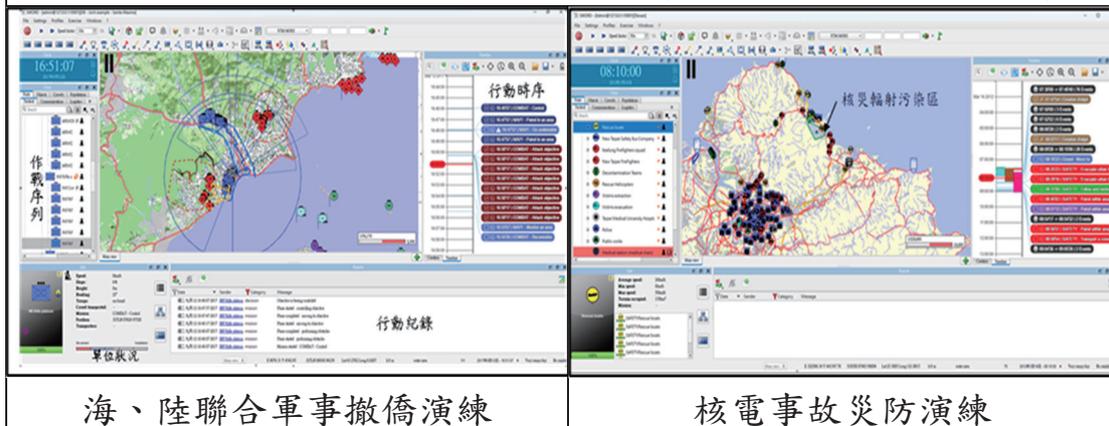
圖 2-1、軟體使用單位

資料來源：原廠課程簡報，筆者自行整理。

SYNERGY 具有下列幾項特點（系統展示如圖 2-2）：



2016 巴西聖塔卡塔莉娜市防洪演練（使用 MASA SYNERGY）



海、陸聯合軍事撤僑演練

核電事故災防演練

圖 2-2、系統展示

資料來源：原廠課程簡報，筆者自行整理。

● 模擬技術先進

- 仿真度高：可呈現複合性災害、多單位聯合應處實況場景。
- 跨系統整合：使用案例包含災防訓練、決策支援、防護計畫評估與驗證等，並可介接多種災防單位目前使用系統。
- 人工智慧演算：系統可依演練狀況向模擬事故應變組發送指管命令，模擬應變組即依預設條件自主應處並回報任務執行情形。

● 擴充彈性且資料完整

- 軟體套件完整：包含伺服器、場景時序編輯器、行動後分析模組、決策支援模組及分散式演練所需的雲端介面。
- 資料庫內容豐富：可編輯的參數資料庫，包含警、消、救護、交通運輸、後勤、通信中心、醫院等公共基礎設施及自然災害、人為破壞及核生化等威脅參數資料。
- 客製化：可依需求增修人員、裝備及調整行動準據。

● 成本效益高

- 設置容易：可快速設置系統；雲端架構可遠端分散執行。
- 直覺式操作：圖形化介面，可縮短使用者訓練時間。
- 良好的軟體支援：系統定時更新，依需求持續發展及維護。

SYNERGY 災防管理模擬系統資料庫豐富（如圖 2-3），可藉由結合虛擬與實兵演練，呈現更接近實況的場景，並提供比桌上兵推（Table Top Exercise, TTX）更公正、精確的數值評估結果，做為後續精進參考。

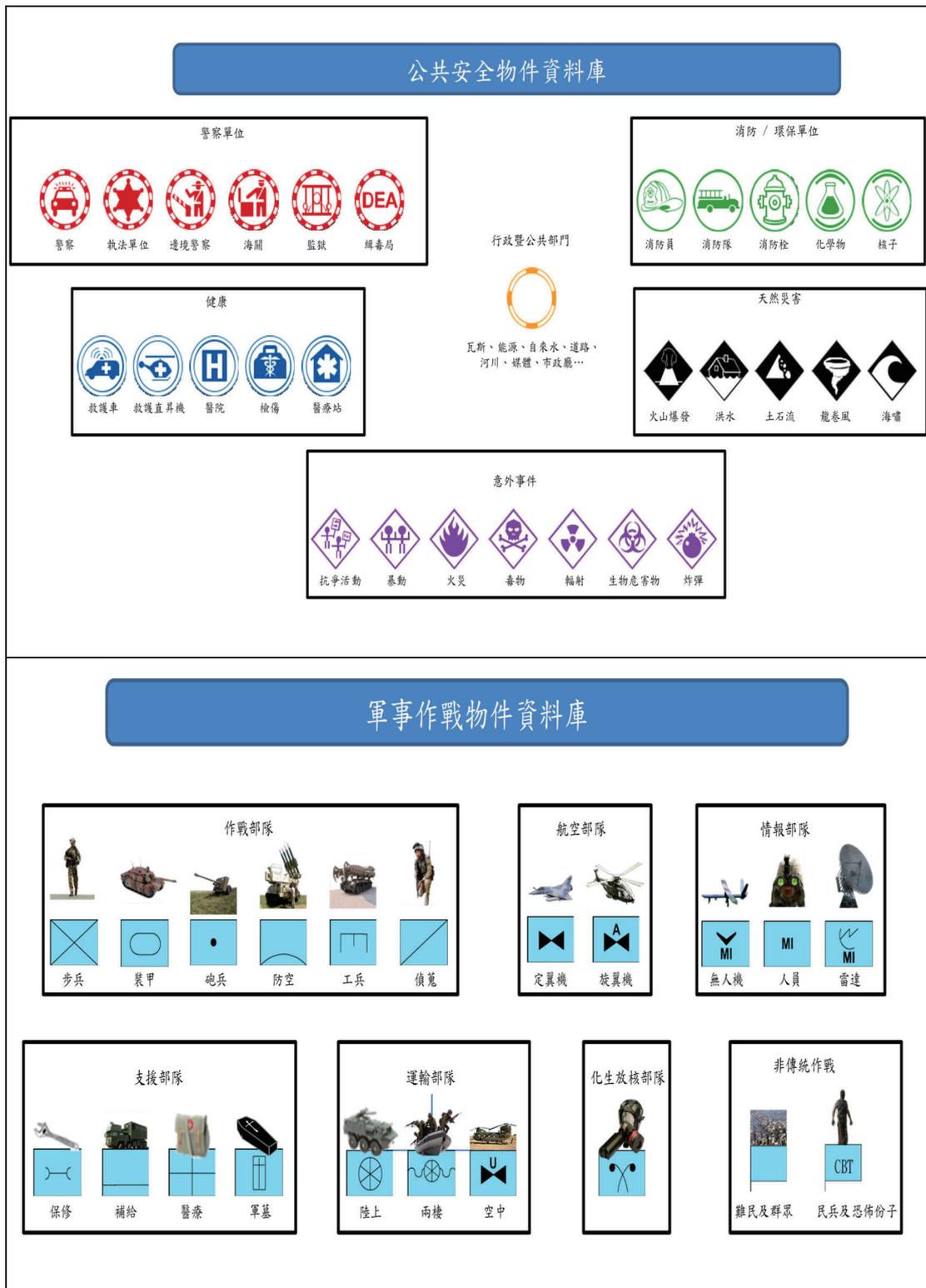


圖 2-3、物件資料庫

資料來源：原廠課程簡報，筆者自行整理。

參、想定設計

- 一、想定概述：境外勢力為破壞臺灣社會安定，以無人機及爆裂物破壞台北市南港地區變電所，並於捷運站內施放沙林毒氣，造成南港地區斷電、交通阻斷及大規模人員受傷。台北市政府立即提升災害應處等級，開設二級應變中心，動員全市 1/2 警消及民防單位，指示（1）優先救助傷患；（2）處理可能受污染地區的人員疏散與安置；（3）控制污染及環境清消。並持續掌握災情，視狀況向中央及軍方申請人物力支援。
- 二、研究問題與目的：本研究在探討導入電腦兵棋於災防演練的效益及國土防衛有關救災防護資源配置、應變程序及軍警動員能力等問題，著眼於關鍵基礎設施遭惡意破壞後的緊急應處機制評估，目的為國土安全官員提供決策支援，藉以優化基礎設施的防護策略，降低災害所造成的損失。
- 三、範圍與限制：主要模擬範圍為台北市南港區及週邊地區的警、消、醫療、運輸因應災害所執行的區域性救災任務，建物內部人員疏散模式及關鍵基礎設施相依性不屬於本文的研究範圍。模擬情境中的物件、組織編制、作業能量及行為模組等系統內建參數，依專家討論和網路開源資料做適當修正，簡化有關人口分佈、城區配置、交通路網、指管、保修補給等環境參數設定，降低模擬複雜度，提高作業時效。
- 四、流程與方法：關鍵基礎設施防護模擬採「分析性兵棋」方式完成推演，由本院研究小組與法國原廠、警察大學共同進行產學合作，運用法國 MASA 模擬軟體建構敵人特攻運用無人機攻擊變電所及大眾運輸設施的場景（程序及全般狀況如圖 2-4、2-5）。首先由專家研討確認變電所爆炸、毒氣施放等模擬情境、軍警消聯合應變行動方案構想、評估要項及量測指標，並將所需參數依下列流程輸入 MASA Synergy 系統，進行應對行動方案比

較與分析。狀況及行動方案採時序性設定，推演的結果基於客觀的人員、裝備屬性與環境數據，透過電腦系統模擬進行「裁決」(adjudication) 所得出，最大程度避免人為主觀偏見之影響，做為「驗證」(validate) 不同行動方案的效益與可行性的比較評估。

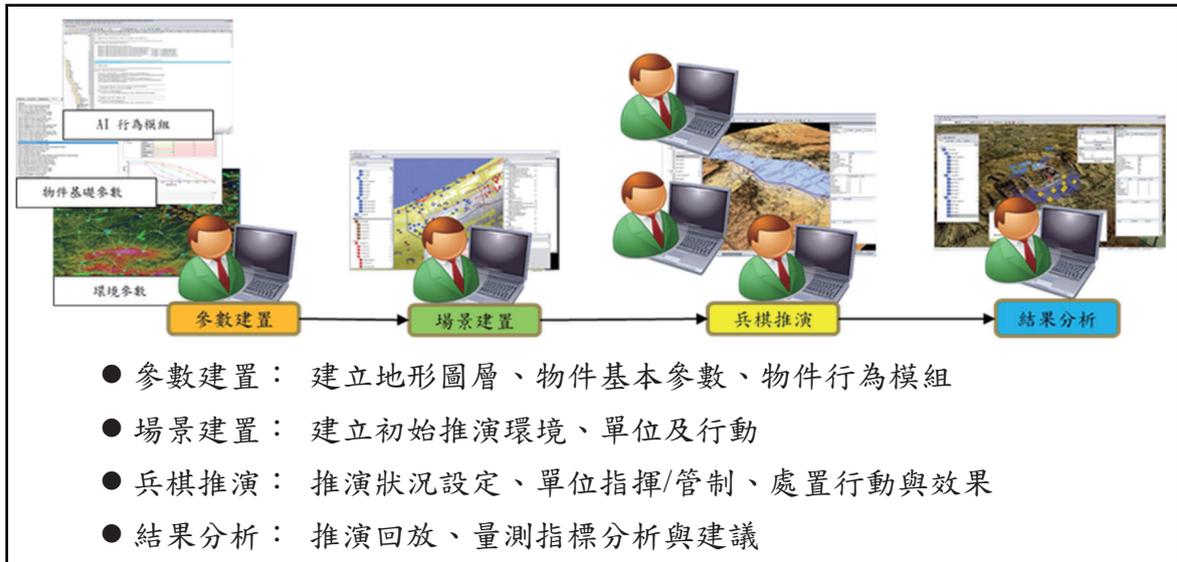


圖 2-4、場景建置流程

資料來源：原廠課程簡報，筆者自行整理。

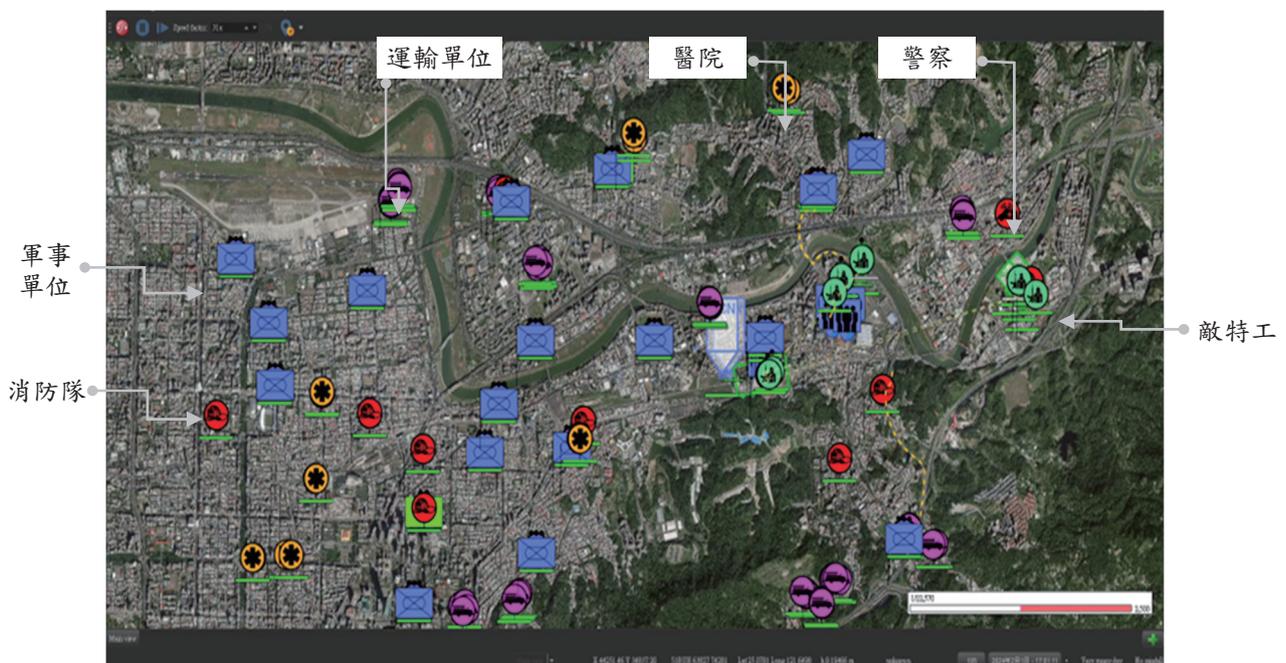


圖 2-5、全般狀況示意圖

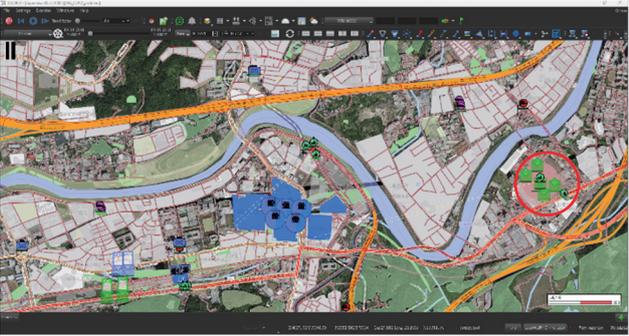
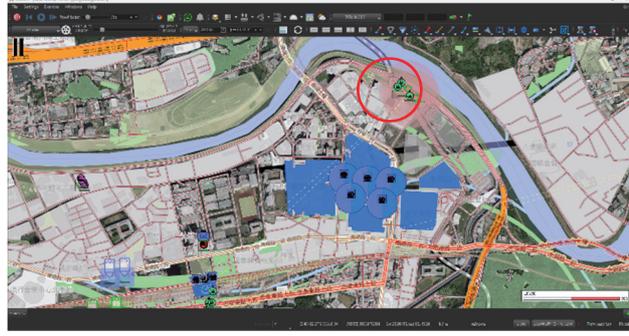
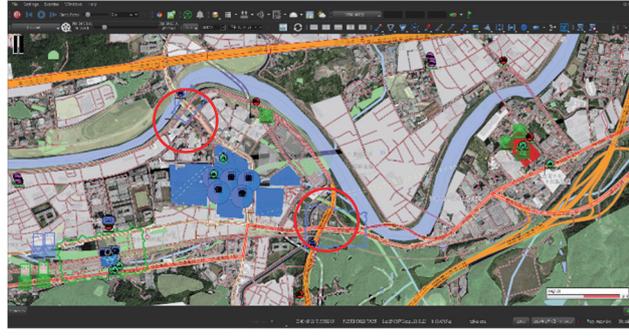
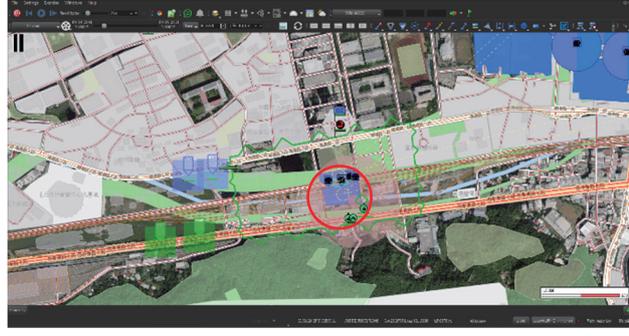
資料來源：本研究繪製。

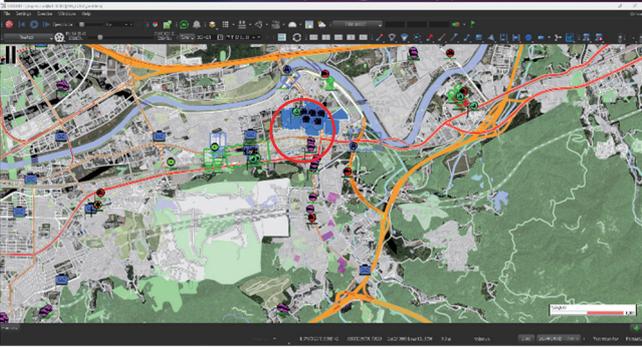
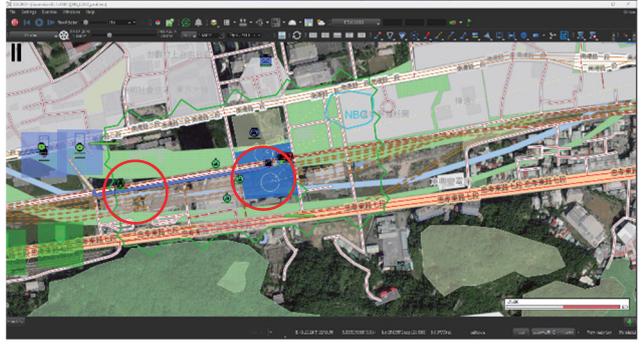
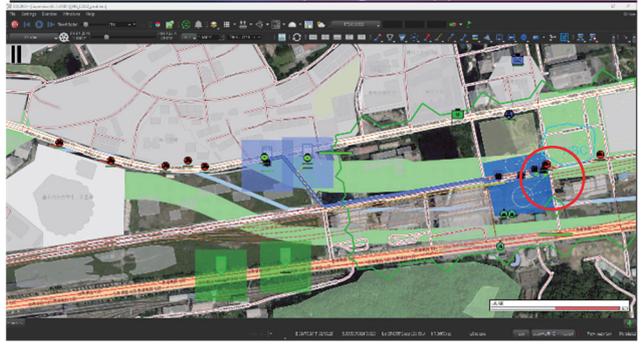
肆、模擬推演與分析

- 一、分析要項：軍警消聯合災害應變行動效益分析
- 二、量測指標：人員疏散/收容數/電廠可運作值/單位裝備的消耗數；人員救護/傷亡數/受汙染數/已清消數；控制災損時耗
- 三、行動方案：COA1 以北市府所屬警消醫療及中央業管支援單位執行災害應處；COA2：新增憲兵、化兵、運輸單位支援災害應處（如下表所示）

COA1：災害應處基礎單位		
單位	下轄單位	任務
南港周圍 消防分隊*15	消防小隊*4 救護小隊*1 信義及內湖增設清消隊*2	滅火 救護 清消
南港周圍 派出所*19	交通警察*4 巡邏員警*2 特勤員警*3	管制交通 巡邏警戒 抓捕嫌犯
民間運輸 業者*15	運輸車輛*4	疏散群眾
醫療機構*9	醫院*1、救護隊*1	治療傷患
COA2：新增國軍支援單位		
單位	下轄單位	任務
化學兵	清消部門*2、偵消部門*2	化災清消
汽車隊	大型運輸部門*1	人員疏散
憲兵隊	憲兵隊*2	交通管制
憲兵特勤隊	步兵單位*3 反恐單位*3	反恐維安
松山分院	醫院*1 救護隊*1	醫療救護
基隆分院	醫院*1 救護隊*1	醫療救護
榮民總醫院	醫院*1 救護隊*1	醫療救護

四、模擬時序與狀況處置 (如圖 2-6)

項目	圖示	狀況及處置
1		<p>1630 時敵特工以 UAV 攜炸藥破壞南港變電所。</p>
2		<p>1650 時敵特工以佈設急造炸藥 (IED) 破壞台電北資變電所。</p>
3		<p>1700 時舊莊派出所及東湖派出所派出警察於南湖大橋、汐止抽水站、南港車站週邊建立 2 處攔檢點。</p>
4		<p>1700 時南港車站內部傳出低沉爆炸聲以及電力中斷，隨後大批民眾聞到刺鼻氣味後感到身體不適，並驚慌向外奔逃，造成附近交通嚴重堵塞。</p>

項目	圖示	狀況及處置
5		<p>1700 時東湖消防局派出滅火隊前往台北北資變電所進行滅火；南港地區民營客運業者大都會客運、大有巴士以及國防部汽車大隊加入疏散人口密集地區南港展覽館任務。</p>
6		<p>1710 時南港派出所派出交通警察台北憲兵隊派出憲兵隊於南港車站旁阻塞路段疏導交通；南港消防隊救護人員抵達實施人員檢傷分類；國軍化兵群出發支援毒物清消，信義及內湖消防局派出清消隊建立清消站，接續清潔消毒及後送治療傷患。</p>
7		<p>1720 時車站人群前往清消點進行汙染物清消，信義、永吉、八德、成德、南港消防隊派出救護車集結於清消點，預備執行後送醫療救護任務。</p>

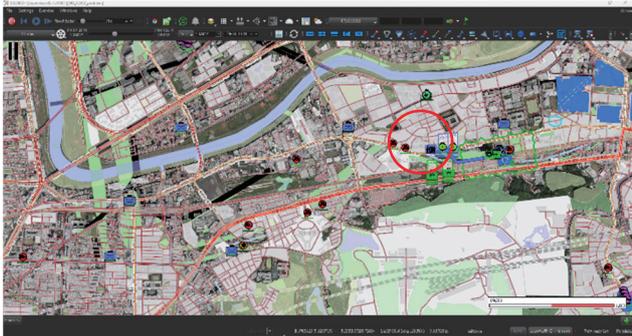
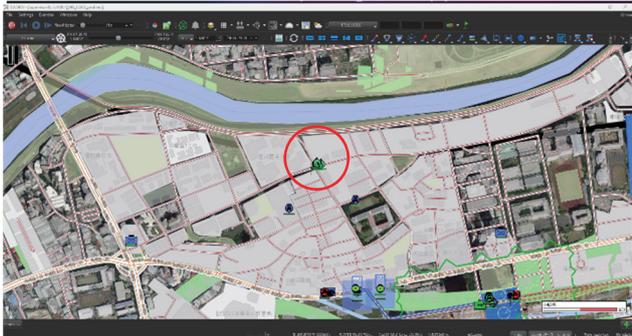
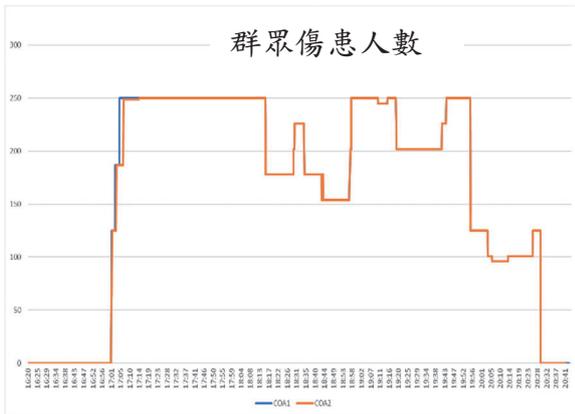
項目	圖示	狀況及處置
8		1810 時救護車持續運送傷患至鄰近醫療機構。
9		1820 時玉成、南港派出所派出警察搜捕敵特工人員。

圖 2-6、MASA Synergy 模擬時序與狀況處置圖

資料來源：本研究繪製。

五、方案比較 (如圖 2-7)

項目	量測指標比較圖	說明
1		<p>COA 1 – 藍色 COA 2 – 橘色</p> <p>兩案無顯著差異，群眾全數獲得醫療救治。圖示線條為群眾傷患數量變化。群眾因接觸毒氣造成受傷（上升），救護車後送受傷人員及完成治療（下降）。</p>

項目	量測指標比較圖	說明
2		<p>COA2 救護人員受傷數較 COA1 多，經查為支援南港車站交通管制的憲兵單位，因誤入污染區域未妥善防護，接觸毒氣造成受傷，反映出救災的風險與協調通聯的重要性。</p>
3		<p>兩案無顯著差異。滅火物資主要用於撲滅電廠遭受爆炸及縱火所引起的大火。未來可針對演練目的，納入更多樣的評估項目（急救包、毒物清消劑...等）。</p>
4		<p>COA2 增加 20 輛軍方軍輛支援，大幅加快 5000 名民眾疏散速度達 21 分鐘</p> <p>COA1 開始時間 17:05 完成時間 18:13 所用時間 68 分鐘</p> <p>COA2 開始時間 17:05 完成時間 17:52 所用時間 47 分鐘</p>

圖 2-7、MASA Synergy 模擬執行結果

資料來源：本研究繪製。

六、分析

本次推演分析首度運用前揭軟體支援，相關參數與分析指標設定仍有精進空間。模擬結果呈現出 2 個行動方案雖在人員傷亡及災損控制時耗上無顯著差異，但在人員疏散表現上明顯呈現動員軍事裝備後提升的效益。因此，為因應各類型災害發生，軍民整合救災須於平時就建立相互支援的聯合救災體系，使災前準備、災害救援部署與災後恢復等工作皆須於平時進行模擬演練，以確保救災資源充足，避免災害發生時相關部署調度不盡完備，造成大量人員傷亡。軍民整合救災可提供更快速、更有效率的救援行動、更多專業知識和技術支援、更多物資和資源及更強大的組織和指揮體系等優勢；但同時也面臨溝通和協調困難、不同組織文化和作業方式的差異、法律／政治與權限／隱私等挑戰需克服。

其次，MASA Synergy 系統參數仍需要不斷累積本地使用經驗予以客製化調修。電腦兵棋具有客觀「裁決」效果，但高仿真度來自適當的參數設定，而參數的設定除考量系統架構複雜度、模擬需求外，需要時間不斷由推演除錯逐次修正完善。本研究首次引進災防兵棋，運用內建參數完成推演，以具體視覺化動態展示其在災損影響、資源部署運用與指揮管制等多方面的適用性，未來可納入國土安全單位共同參與演練，進而擬定最佳策略與配套措施，強化設施防護韌性。

伍、結論與建議

本研究有別於純軍事對抗型推演，首次以電腦兵棋呈現災防任務執行成效及分析，初步完成驗證系統的適用性。電腦兵棋系統可以透過「數位孿生」虛擬呈現各種不同類型的災害及其影響，包括地震、颱風、洪水等天然災害，及縱火、爆炸等人為破壞與人員傷

亡、建築倒塌等，幫助防災單位在災害發生前做好準備工作。此外，災防單位可以在模擬的情況下制定應變計畫，包括人員疏散路線、物資調度等。透過電腦兵棋可幫助災防單位進行演練，檢驗應變計畫的實際效果，找出存在的問題加以改進，使其更有效地應對各種災害，提高災害應急反應的效率和準確性，從而保障人民生命財產的安全。

有鑑於科技防災的重要性，國科會下轄行政法人「國家災害防救科技中心」目前已成功開發災害情資網⁴及全災害兵棋台⁵，並由中央推廣至各縣市使用。災害情資網集成了各種災害情報來源，包括氣象資訊、地震監測數據、人口流動數據等。透過災害情資網，一般大眾可以獲取及時的災害信息，即時掌握災害發生的情況。其次，全災害兵棋台則是採時序性進行的虛擬仿真推演平台，災防單位可以在兵棋台模擬的各種災害情況下進行演練和模擬，測試不同的應急預案和決策方案，找出最佳的應對策略。

全災害兵棋台為我國自行開發系統，同時介接災害情資網，因此資料庫豐富且災害潛勢分析模組和操作使用上較 MASA Synergy 更符合臺灣環境，目前已成為政府單位主要災防兵推平台。MASA Synergy 的優勢在於其開放性，互動仿真度高，具擴充彈性且資料庫完整並可客製化，已獲得國外許多單位使用驗證，系統穩定，應用面更廣。未來可運用政府公開資訊逐步充實資料庫，並邀集專家參與，共同推動電腦輔助指揮所演練，以充分發揮系統功能。

⁴ 黃俊宏、蘇文瑞、楊鈞宏、陳毓樺、張子瑩，〈全災害決策圖台-災害情資網應用推廣〉，《國家災害防救科技中心災害防救電子報》，第 201 期，2022 年 4 月，<https://www.ncdr.nat.gov.tw/UploadFile/Newsletter/a867aa281c774ffa024d5ac5918ba38.pdf>。

⁵ 蘇文瑞、黃俊宏、楊鈞宏、陳毓樺、張子瑩，〈全災害兵棋臺應用推廣〉，《國家災害防救科技中心災害防救電子報》，第 218 期，2023 年 9 月，<https://www.ncdr.nat.gov.tw/UploadFile/Newsletter/671a2204b4d94e2eac4ca7d4e14ce069.pdf>。

本文作者杜仲平為中華民國海軍陸戰隊備役上校，前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，研究領域：模式模擬、兵棋推演、軍事戰略計畫作為。

Study on Strengthening the Resilience of Critical Infrastructure Protection by Computer-Assisted Simulation

Chung-Ping Duh

Former Assistant Research Fellow

Abstract

The implementation of annual disaster prevention and rescue drills at all levels of government units in Taiwan often faces shortcomings such as sketchy design, incomplete task assignment, and lack of interaction between commanders and staff. To address these issues, computer-assisted simulation has become an essential tool for disaster prevention drills.

This study introduces MASA Synergy, a new generation crisis management tool developed by the French MASA Group, which utilizes artificial intelligence algorithms for concept development, process rehearsals, plan validation, command center exercises, crisis management, strategic planning, after action review, operational procedures and resource analysis.

The study conducted expert discussions to design scenarios and responses focusing on Taipei City and its surrounding areas. The scenarios involved foreign forces disrupting social stability by damaging an electricity substation using drone-delivered explosives in Nangang District while releasing a poisonous agent in the metro station. Taipei City Government immediately raised the level of disaster preparedness and dispatched police, firefighters, and medical units to coordinate response efforts to minimize casualties.

The study compared two scenarios to evaluate the benefits of introducing computerized simulation in disaster prevention drills. The results provided decision-making assistance information to homeland

security officials, promoting optimized infrastructure protection measures and loss reduction.

While simulation results showed minimal variation between scenarios, detailed examination by experts is necessary. This study demonstrates that introducing computerized disaster prevention simulation enhances traditional paper-based exercises by providing visual analysis, situation assessment, risk evaluation, personnel/facility damage assessment, and developing optimal supporting measures to enhance facility resilience.

Keywords: CIP, MASA Synergy, Social Resilience, Wargame

美、中航艦艦載機出動能力模擬分析

謝沛學

網安與決策推演研究所

壹、前言

中國第三艘航空母艦「福建號」(Type 003 *Fujian*)於2022年下水，並開始進行海上測試，代表了解放軍對第一島鏈所施加的軍事壓力達到新高。美、中兩強的海上競爭進入白熱化，亦引發對兩國航艦作戰能力的分析與比較。¹ 正如同「垂直發射系統」(Vertical Launch System, VLS)的發射單位元數量，在評估驅逐艦與潛艦等戰鬥艦艇作戰能力上的角色；作為投射空中武力的海上平台，衡量航空母艦作戰能力最關鍵的指標之一，即「艦載機出擊架次率」(Sortie Generation Rate, SGR)。² 以美海軍為例，不僅航艦打擊群(Carrier Strike Group)指揮官需要參照SGR來擬定每趟任務的作戰與後勤整補計畫；海軍也經常以最新技術將為新建造的航艦提升多少比例的出擊架次率，作為向國會爭取預算之說帖。³

因此，本文先建立計算「艦載機出擊架次率」的數學模型，並選擇美海軍演習的實際數據為基準案(Baseline)，透過數值計算軟

¹ Kyle Mizokami, "China Confirms It's Building a 4th Aircraft Carrier—and the Tables Are Turning," *Popular Mechanics*, Mar 12, 2024, <https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a60116121/china-building-a-4th-aircraft-carrier>; Brandon J. Weichert, "China's New Aircraft Carriers Have a 'Sizeable Edge' over U.S. Navy for 1 Reason," *National Interests*, September 5, 2024, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/chinas-new-aircraft-carriers-have-sizeable-edge-over-us-navy-1-reason-209948>; Sam Roggeveen, "Chinese Aircraft Carrier's Voyage Hints at Plan for 'Post-U.S.' Navy" *Nikkei*, May 17, 2024, <https://asia.nikkei.com/Opinion/Chinese-aircraft-carrier-s-voyage-hints-at-plan-for-post-U.S.-navy>.

² Aidan Quigley, "Downey Confident Ford Can Meet Sortie-generation Rate Requirement," *Inside Defense*, January 24, 2022, <https://insidedefense.com/daily-news/downey-confident-ford-can-meet-sortie-generation-rate-requirement>; Loren Thompson, "The Logic of Aircraft Carrier Strike Groups," *Lexington Institute*, September 2019, <https://www.lexingtoninstitute.org/wp-content/uploads/2019/10/Brief-The-Logic-of-Aircraft-Carrier-Strike-Groups2.pdf>.

³ Admiral S. J. Paparo, "Aircraft Carriers: Still Indispensable," *USNI Proceedings*, July 2024, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2024/july/aircraft-carriers-still-indispensable>.

體 MATLAB 進行隨機模擬。⁴若本文建立的數學模型所得之數據與基準案之間沒有統計上的顯著差異，再進一步對「福建號」進行模擬，比較美、中航艦在出擊架次率上的不同。本文試圖建立單艘航艦艦載機最大出擊能量的分析模型，作為後續相關研究之基礎。

貳、艦載機起降能力數學建模

一、艦載機起降作業流程

如圖 3-1 所示，航空母艦艦載機出動流程依作業場域可劃分為「航艦端」與「空中端」兩大區塊，並依序分別由「彈射」、「空中任務」、「降落回收」與「後勤維保」四個階段所組成。在「彈射」階段（圖 3-1 中的梯型圖示），當日排定第一波出發的艦載機，經過前一天任務結束後的維護補保，已預先於停機區待命，一旦接獲出擊命令，立即滑行至律定的彈射位置進行彈射起飛。「空中任務」階段（圖 3-1 中的菱型圖示），已起飛的艦載機則在航艦附近空域盤旋與加油，等待僚機陸續起飛後，編隊飛往指定的集結區執行任務。⁵

「降落回收」階段（圖 3-1 中的橢圓型圖示），結束任務返航的艦載機群，於距離航艦約 5 海里左右的上空盤旋，形成數個所謂「馬歇爾堆疊」（Marshall Stack）的等待降落隊列圈，再依順序陸續進場，於「斜角甲板」（Angled Flight Deck）著艦降落；未能順利著艦者，如下降角度不佳等因素，造成艦載機攔阻索掛勾失敗時，需立即拉起復飛，重新加入空中的等待降落隊列圈。⁶成功降落後，則進入第四個階段「後勤維保」（圖 3-1 中的四方型圖示），由甲板後勤小

⁴ MATLAB 為 The Math Works 所開發的程式語言，可用於演算法開發、數值模擬計算與資料分析。本院 War Room 引進的版本為 R2023b。

⁵ Rajarshi Ghosh Dastidar and Emilio Frazzoli, "A Queuing Network Based Approach to Distributed Aircraft Carrier Deck Scheduling," *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, March 2011, <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2011-1514>.

⁶ 這種攔截索掛勾失敗，必須拉起重飛的狀況，美軍專門術語稱之為「Bolter」，詳見「NATOPS General Flight and Operating Instructions,» *Office of the Chief of Naval Operations*, <https://www.cnatra.navy.mil/tw6/vt10/assets/docs/training/cnaf-3710.7.pdf>; LCDR Joe "Smokin" Ruzicka, "How To Land A Fighter On An Aircraft Carrier On A Stormy Night," *The War Zone*, July 2, 2020, <https://www.twz.com/3559/how-to-land-a-fighter-on-an-aircraft-carrier-on-a-stormy-night>.

組牽引至停機位進行檢測。未出現毀損與故障的艦載機，直接在甲板上進行加油與彈藥補充等後勤工作；升降機則是將故障或需大幅保養的艦載機調運至下層機庫甲板，並直接以機庫備援的妥善機替換，避免維修任務佔用停機位與跑道，影響飛行甲板起降作業。⁷

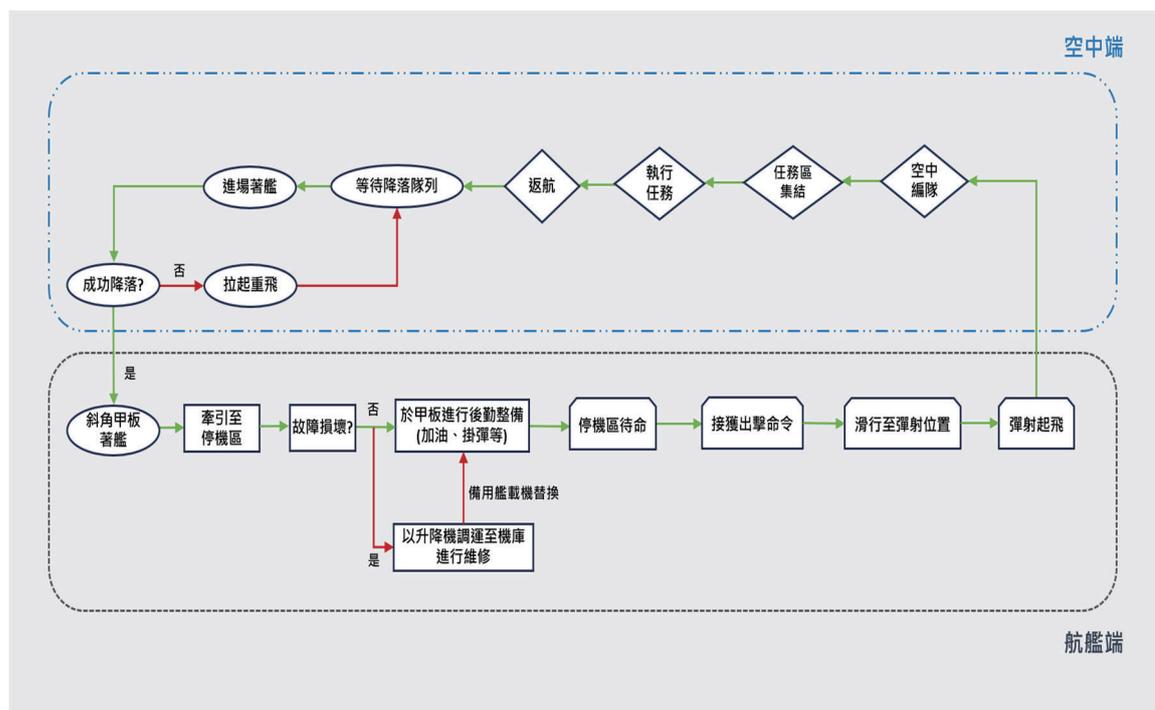


圖 3-1、艦載機起降作業流程圖

資料來源：作者自製。

二、出擊架次數學模型

「艦載機出擊架次率」係指，一艘航空母艦上部署的艦載機，在一個飛行任務日內，完成了從「彈射」、「空中任務」、「降落回收」再到「後勤維保」，完整的「任務週期」(Mission Cycle)之平均出擊次數。⁸以美國海軍的運作模式為例，一個任務週期以 1 小時為基準，並依任務目標與性質的不同，向上疊加所需的額外時長間隔，如 1+5 週期，即該任務預計於 65 分鐘內完成； 1+10 則是 70 分鐘

⁷ Aircraft Elevators and Ship Lifts for Aircraft Carriers” Defense Redefined, August 29, 2022, <https://defencereDEFINED.com.cy/l3harris-aircraft-elevators-and-ship-lifts-for-aircraft-carriers-photos/>; “Brief analysis of aircraft carrier elevators,” *Inertial World*, August 15, 2024, <https://inertialworld.com/post/7a35bd49-b13b-459e-8326-577226330d5b>.

⁸ James W. Harris, Jr., “The Sortie Generation Rate Model,” *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 2002, <https://ieeexplore.ieee.org/document/1172972>.

的任務週期，並以此類推。儘管理論上，任務週期越短，每個任務日所能執行的任務波次就越多；唯 1+00 週期所能提供甲板調配輪轉的作業時間過短，對後勤人員甚至是飛行員的負荷過重，無法作為常態性的任務模式。⁹ 每架艦載機能夠執行的任務週期回合數，除了取決於單一任務週期的長度，更受限於飛行任務日的總天數與總時數。例如：「雷根號」航艦戰鬥群 (USS Ronald Reagan CVN-76) 赴南海執行為期 5 天的演訓任務；根據演訓目標，律定每個飛行任務日程為橫跨晝夜共 12 小時 (12:00 至 24:00)。若任務週期採 1+10 時長，此次 5 天的演訓任務期間，約有 51 個任務週期回合供「雷根號」艦載機群進行晝夜起降訓練。因此，一艘航空母艦艦載機總出擊架次的具體計算方式為，可表為如下公式：

$$N_{\text{總出擊架次}} = \left(\frac{T_{\text{任務週期時長}}}{T_{\text{單機完成任務週期}}} \right) N_{\text{任務週期回合數}} N_{\text{艦載機總數}} \dots\dots\dots (1)$$

其中， $T_{\text{任務週期時長}}$ 與 $N_{\text{任務週期回合數}}$ 依任務目標與性質律定，本文不再贅述。從前述第一小節航艦艦載機出動作業流程可知，一個完整的任務週期可分為「空中端」與「航艦端」兩大階段，因此：

$$\begin{aligned} T_{\text{單機完成任務週期}} &= T_{\text{空中端}} + T_{\text{航艦端}} \\ &= T_{\text{空中任務}} + T_{\text{降落回收}} + T_{\text{後勤維保}} + T_{\text{彈射}} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

⁹ Angelyn Jewell and Maureen A. Wigge ed., “USS Nimitz and Carrier Airwing Nine Surge Demonstration,” *The Center for Naval Analyses*, April 1998, <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA362472>.

而 $T_{空中任務}$ 又可拆解為「空中編隊」、「任務區集結」、「作戰停留」與「返航」四個部份，表為如下算式：

$$T_{空中任務} = T_{編隊} + T_{任務區集結} + T_{作戰停留} + T_{返航} \dots\dots\dots (3)$$

其中「任務區集結時間」與「返航時間」分別可由「任務區航程」除以艦載機「巡航速度」(Cruise Speed)求得。「作戰停留時間」則可由艦載機「作戰半徑」(Combat Radius)除以艦載機「戰鬥速度」(Military Speed)求得。必須注意的是，作戰半徑的計算並非直接取「最大航程」(Maximum Range)的一半。因為除了考量往返航程，艦載機還需預留一定的燃料供戰區上空停留之用。基於經驗法則，一般將「最大航程」劃為三等分，扣除往返航程所需的各一段作戰半徑，剩餘的三分之一距離則是艦載機抵達戰區後的燃料冗餘。¹⁰

$$T_{任務區集結} = T_{返航} = \frac{任務區航程}{巡航速度}$$

$$T_{作戰停留} = \frac{作戰半徑}{戰鬥速度} \dots\dots\dots (4)$$

決定 $T_{降落回收}$ 的關鍵因素之一在於艦載機「是否重飛」。雖然理論上艦載機可能因為失誤而必須進行多次重飛，在美海軍運作實務上，單架次重飛超過一次的機率微乎其微。因此，本文設定單架艦載機在單次任務週期內，最多重飛一次。需要進行重飛的艦載機，其降落所耗費的總時長則為正常成功著艦降落艦載機的 2 倍，表為如

¹⁰ “Aircraft Combat Radius Calculation Procedure for Various Mission Profiles and External-Store Configurations,” RAND, April 1969, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD0688482.pdf> ; William Stanley and Gary Liberson, “Measuring Effects of Payload and Radius Differences of Fighter Aircraft,” RAND, 1993, https://www.rand.org/pubs/documented_briefings/DB102.html.

下公式 5。其中 μ 為一個服從均勻分佈的隨機數，其範圍介於 0 到 1 之間。¹¹當 μ 數值為 1，代表艦載機降落過程出現失誤，必須重飛； T_{ij} 則代表第 i 架艦載機於第 j 個任務週期進行著艦降落所耗費的時長。

$$\begin{cases} \mu \sim U(0, 1) \\ \text{if } 0 \leq \mu < 1; T_{\text{降落回收}} = T_{ij} \\ \text{if } \mu = 1; T_{\text{降落回收}} = 2T_{ij} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

成功降落著艦後，影響「航艦端」的「後勤維保」與「彈射」任務耗費時長之關鍵因素，在於「升降機」與「彈射器」的數量。此處可以「作業研究」(Operations Research)領域的「排隊理論」(Queueing Theory)來看，將「升降機」與「彈射」設施類比為服務站，降落的艦載機類比為客戶，服務站的數量與客戶等候服務的時長成反比。此處的數量並非單純的「名目」數量，而是在客戶抵達的當下，處於「可用狀態」的服務站數量。¹²以本文探討艦載機作業為例，航艦的噸位與甲板面積越大，則有更多空間設置「彈射」與「升降」設施，但這只是名目上的設施數量。除了故障率之外，影響設施可用數量的因素，以「甲板同時停放艦載機數量」最為關鍵。在極為有限的甲板空間條件下，同時停機的數量越多，越可能佔據本要作為調運滑行的空間，甚至必須臨時佔用彈射器區域及升降機的空間進行後勤補保，從而增加艦載機接受維護及彈射的等待時間。以美海軍的操作實務與條令規定來看，甲板同時停放艦載機數量上限，除非獲得艦隊司令部的核可，不得超過該航艦所配署艦載機總數的 80%，因為這將造成航艦喪失最基本的彈射起飛，進行緊

¹¹ 本文模擬過程，以 MATLAB 的函數 rand 產生介於 0 與 1 之間的隨機數值，用以計算艦載機降落出現重飛的機率。

¹² Dennis C. Dietz and Richard C. Jenkins, "Analysis of Aircraft Sortie Generation with the Use of a Fork-Join Queueing Network Model," *Naval Research Logistics*, Volume 44, Issue 2, March 1997, pp. 153-228.

急接戰的能力。¹³

本研究所分析的美軍「尼米茲號」(USS *Nimitz* CVN-68) 航艦設置有四條彈射器 (Catapult) 與四座升降機 (Elevator)；解放軍的「福建號」則有三條彈射器與二座升降機。如下方公式 6 與 7 所示，在模擬計算的設定上，此處依美軍的操作經驗，設定排水量 10 萬噸的「尼米茲號」，其甲板同時停放艦載機數量上限為所配署艦載機總數的 80%，超過此上限則全部彈射器與升降機將無法使用。隨著甲板同時停放艦載機數量按比例遞減，當少於 20%，全部甲板設施的使用皆不受影響；排水量 8 萬噸的「福建號」，其甲板停機數量上限則設定為 60%，並按比例遞減至 20%。如公式 8 所示，再將「故障率」納入考量，即可分別計算出艦載機降落著艦的當下，甲板可用的彈射器與升降機數量。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{when } C_{\text{彈射}} = 4; E_{\text{升降}} = 4 \\ \text{if } D_{\text{停機數量}} > 80\%; C_{\text{受影響彈射}} = 4, E_{\text{受影響升降}} = 4 \\ \text{if } 80\% > D_{\text{停機數量}} > 60\%; C_{\text{受影響彈射}} = 3, E_{\text{受影響升降}} = 3 \\ \text{if } 60\% > D_{\text{停機數量}} > 40\%; C_{\text{受影響彈射}} = 2, E_{\text{受影響升降}} = 2 \\ \text{if } 40\% > D_{\text{停機數量}} > 20\%; C_{\text{受影響彈射}} = 1, E_{\text{受影響升降}} = 1 \\ \text{if } D_{\text{停機數量}} < 20\%; C_{\text{受影響彈射}} = 0, E_{\text{受影響升降}} = 0 \end{array} \right. \dots\dots\dots (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{when } C_{\text{彈射}} = 3; E_{\text{升降}} = 2 \\ \text{if } D_{\text{停機數量}} > 60\%; C_{\text{受影響彈射}} = 3, E_{\text{受影響升降}} = 2 \\ \text{if } 60\% > D_{\text{停機數量}} > 40\%; C_{\text{受影響彈射}} = 2, E_{\text{受影響升降}} = 2 \\ \text{if } 40\% > D_{\text{停機數量}} > 20\%; C_{\text{受影響彈射}} = 1, E_{\text{受影響升降}} = 1 \\ \text{if } D_{\text{停機數量}} < 20\%; C_{\text{受影響彈射}} = 0, E_{\text{受影響升降}} = 0 \end{array} \right. \dots\dots\dots (7)$$

¹³ “Navy Aircraft Carriers: Cost-Effectiveness of Conventionally and Nuclear Powered Carriers,” *General Accounting Office Report*, August 27, 1998, <https://www.gao.gov/products/nsiad-98-1>.

$$\begin{cases} C_{\text{可用彈射}} = C_{\text{未受影響彈射}} \times P_{\text{故障}} \\ E_{\text{可用升降}} = C_{\text{未受影響升降}} \times P_{\text{故障}} \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

根據「排隊理論」，我們設單位時間 Δ_t 內到達的艦載機數量為 λ_n ，當 n 達該航艦甲板同時停放數量的上限，則甲板無法再接收艦載機，故 λ_n 為0（如公式9所示）。甲板設施（彈射器與升降機）在單位時間 Δ_t 的平均服務能力為 μ_n ，當 n 超過該航艦甲板可用設施數（ $D_{\text{可用設施數}} = C_{\text{可用彈射}} + E_{\text{可用升降}}$ ）， μ_n 必須服從於 $D_{\text{可用設施數}}$ 的限制，故為 $D\mu$ （如公式10所示）。¹⁴

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda, n \in [1, N_{\text{甲板停機上限}} - 1] \\ 0, n \in [N_{\text{甲板停機上限}}] \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

$$\mu_n = \begin{cases} \mu, \text{if } n \in [1, D_{\text{可用設施數}}] \\ D\mu, \text{if } n \in [D_{\text{可用設施數}} + 1, N_{\text{甲板停機上限}}] \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

因此，該航艦的甲板設施在單位時間 Δ_t 的服務強度為 $\rho = \lambda_n / \mu_n$ ，每架艦載機在甲板設施的平均排隊等待時間為：

$$T_{\text{排隊時間}} = \frac{\rho}{\mu_n - \lambda_n} \dots\dots\dots (11)$$

¹⁴ Dennis C. Dietz and Richard C. Jenkins, "Analysis of Aircraft Sortie Generation with the Use of a Fork-Join Queuing Network Model," *op cit*.

參、個案設計

首先，以美海軍的操作經驗為例，艦載機出擊可分為「高峰」模式（Surge Operations）與「持續」模式（Sustained Operations）。¹⁵前者為應對高強度的作戰目標，必須在短時間內全天候、無間斷地出動，投入最大兵力打擊敵戰力。由於對後勤人員與飛行員的負荷過重，「高峰」模式僅能維持數日，通常運用在行動任務初期，敵方防空體系未遭受破壞，仍保有最大作戰能力時，由己方施以飽和打擊並突穿防禦。後者則是追求對敵陣地與目標，長時間、穩定地輸出空中兵力。通常運用在作戰中、後期，敵防禦體系已遭嚴重削弱，己方艦載機持續對剩餘敵軍進行壓制與掃蕩。由於採 12 小時出擊、12 小時休整與補給的輪替節奏，「持續」模式通常可維持數週，甚至達 30 天的作戰長度。¹⁶本研究目的在於探究單艘艦載機最大出擊能力，因此想定主軸設為：美、中航艦在第一島鏈海域偵獲的敵方關鍵海上目標，以「高峰」模式投送空中兵力進行飽和打擊。

美太平洋艦隊第三艦隊（Third Fleet, USPACFLT）於 1997 年所進行的「高峰 97」演習，是截至目前為止，對單艘航艦艦載機出擊能力極限值的最大規模測試。¹⁷因此，本文以「高峰 97」演習的數據為基準案，先透過數值運算軟體 MATLAB，進行 1 千次的蒙地卡羅隨機模擬，檢視前揭所建立的出擊架次數學公式。倘若該公式所得之「尼米茲號」艦載機出擊架次模擬數據，經統計檢定後，與「高峰 97」演習的結果沒有顯著差異，則進一步以相同方法模擬並得出「福建號」的艦載機出擊數據。幾個關鍵參數，例如任務週期長度、假想敵目標區距離，以及飛行任務日的總天數與總時數等，我們皆參照「高峰 97」演習的實際數據。倘若不對這些參數進行控制

¹⁵ “Navy Aircraft Carriers: Cost-Effectiveness of Conventionally and Nuclear Powered Carriers,” *op cit.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ Angelyn Jewell and Maureen A. Wigge ed., “USS Nimitz and Carrier Airwing Nine Surge Demonstration,” *op cit.*

，則因為給予的時間長度條件不同，將嚴重影響航艦艦載機能夠出擊的頻率，所得出的模擬結果不具可比較性。

其次，本研究分析標的之選擇原則，係具有「彈射起飛／攔阻回收」能力（Catapult Assisted Take-Off But Arrested Recovery, CATOBAR），且「滿載排水量」達 8 萬噸以上的「超級航空母艦」（Supercarrier）。¹⁸此類最先進的航艦目前僅美、中兩強有能力建造與操作，而「福建號」更是中國第一艘「超級航艦」，以其作為分析對象當屬合理。至於美軍航艦不選擇最新的「福特號」（USS *Gerald R. Ford* CVN-78），仍以「尼米茲號」的原因在於，除了本研究分析的基準案——「高峰 97」演習係以「尼米茲號」為測驗對象。從目前美海軍的造艦規劃與進度來看，即使到了 2027 年的「戴維森窗口」（Davidson Window），甚至是習近平宣稱中國將「基本實現國防和軍事現代化」的 2035 年，「尼米茲級」各型航艦仍是解放軍海軍面對的最主要對手。¹⁹

再者，航艦艦載機有「定翼機」（Fixed-wing）與「旋翼機」（Rotary-wing）兩類，執行的任務包括「戰鬥」與「戰鬥支援與其他」等項目。前項任務包含奪取空優、對水／地面打擊、對敵防空壓制（Suppress Enemy Air Defense, SEAD）等，基本上由定翼機執行；後項任務則包括空中加油、預警、航艦防衛圈的偵搜與反潛、搜救等，通常由旋翼機與部份定翼機協同執行。以美海軍的操作經驗，「

¹⁸ 「福萊斯特號」（USS *Forrestal* CV-59）航艦是人類史上第一艘達到此標準的超級航艦。

¹⁹ 即使依美海軍原訂的規劃，在 2035 年之前，最多只有 4 艘「福特級」服役，現有的「尼米茲級」則至少還會有 7 艘在役。然而，原訂在 2029 年服役，計劃取代「艾森豪號」（USS *Dwight D. Eisenhower* CVN-69）的「福特級」3 號艦「企業號」（USS *Enterprise* CVN-80），目前傳出進度延宕。在 2035 年之前有 4 艘「福特級」服役的規劃恐落空。Megan Eckstein, “US Navy Mulls Timing of New Double-carrier Award Amid Enterprise Delay,” *Defense News*, October 27, 2023, <https://www.defensenews.com/naval/2023/10/26/us-navy-mulls-timing-of-new-double-carrier-award-amid-enterprise-delay/>.

戰鬥」任務佔了艦載機起降架次的絕大多數比例（約八成）。²⁰本研究僅探討定翼機執行戰鬥任務的起降架次，這除了可簡化模擬分析流程，亦可排除以旋翼機等非戰鬥任務機種的起降，拉高整體艦載機出擊次數，造成該航艦作戰能力不俗的假象與偏誤。此外，本研究亦不考量正在研發測試或甚至仍在「概念假想」（Hypothetical）階段的武器，僅分析已服役的艦載機。透過這些設定，可以避免探討如空警-600 與殲-35 這類遲遲未正式服役的載台。

此外，由於本文試圖以美軍的演習經驗，推論出解放軍「福建號」航艦艦載機「最大出動能力」。故「效益量測指標」（Measure of Effectiveness, MOE）設為攻擊方的艦載機是否能成功起飛至作戰區並返航完成降落，不模擬實際接戰場景，亦不計算攻守雙方的戰損。想定場景中的防守方僅作為目標區示意之用，預設攻擊方的目標問題已解決，一開局便已獲得守方的部署位置。攻擊方的艦載機飛抵作戰區停留其最大航程三分之一的時間，即判定完成作戰任務，進入返航著艦作業，所掛載的武器僅作為影響艦載機燃料消耗與航程的因素。最後，由於本案探討的是單艘航艦依其自身條件進行艦載機出動能力的測試，故不討論空軍岸基機場出動的定翼機與其它水面艦編隊的協同作戰。本文所使用的武器參數，皆來自於公開情資。

肆、個案探討

本研究的基準案——「高峰 97」演習係由「尼米茲號」航艦所領軍的「第七航艦打擊群」（Carrier Strike Group Seven）與所配署的「第九航空聯隊」（Carrier Air Wing Nine）進行。²¹「尼米茲號」航艦的飛行甲板長度約為 1,092 呎（約 333 公尺）、寬度為 252 呎（約

²⁰ Angelyn Jewell and Maureen A. Wigge ed., “USS Nimitz and Carrier Airwing Nine Surge Demonstration,” *op cit.*

²¹ *ibid.*

76.8 公尺)、總面積至少有 18,211 平方公尺。²² 最大適航吃水 (Max Navigational Draft) 為 40 呎 (約 12.2 公尺), 水線長度為 1,040 呎 (約 317 公尺)、寬度為 134 呎 (約 40.8 公尺), 滿載排水量 (Full Displacement) 可達 10 萬噸以上。此外,「尼米茲號」配備的二座西屋 A4W 核反應爐與四座蒸汽渦輪發動機,可產生約 194 兆瓦的動力,使其最大航速達 30 節以上。²³

如此龐大的體積與甲板面積,讓「尼米茲號」有足夠的空間設置多達四條蒸汽彈射器 (Steam Catapult) 與四座飛機升降機 (Aircraft Elevators)。如下圖所示,紅色線條 1 至 4 標示 4 條彈射器位置,主軸向甲板與斜角甲板分別設有二條彈射器。藍框 1 至 4 分別標示四座升降機位置;其中,三座位於右舷(艦島前二座、艦艉一座)、另一座設於左舷艦艉附近。

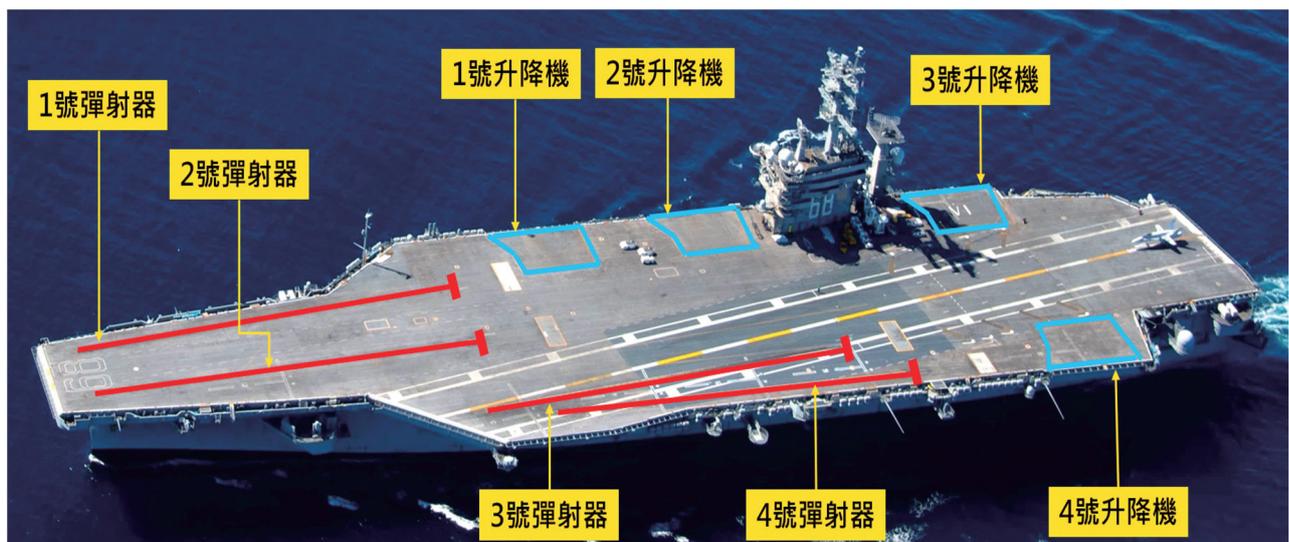


圖 3-2、「尼米茲號」(CVN-68) 甲板配置圖

資料來源：作者修改自原圖，CVN-68 Nimitz-class, Sea Forces,
<https://www.seaforces.org/usnships/cvn/CVN-68-USS-Nimitz.htm>。

²² NAVSEA Shipbuilding Support Office, “USS NIMITZ (CVN 68),” *Naval Vessel Register*, https://www.nvr.navy.mil/SHIPDETAILS/SHIPSDETAIL_CVN_68.HTML.

²³ John F. Schank and Mark V. Arena eds., “Refueling and Complex Overhaul of the USS Nimitz (CVN 68): Lessons for the Future,” *RAND*, April 1, 2002, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/MR1632/RAND_MR1632.pdf.

「尼米茲號」航艦最大可搭載約 85 至 90 架艦載機（定翼與旋翼）。²⁴「高峰 97」演習期間，「尼米茲號」部署了共 68 架定翼機，符合甲板最大同時停機數 80% 的上限，其中，執行「戰鬥」任務的機型，如 F-14A、F/A-18C 與 EA-6B 共部署 54 架，亦符合「戰鬥」任務佔所有部署艦載機約 8 成的比例。

表 3-1、「尼米茲號」航艦艦載機配置²⁵

機型	數量	任務內容	武器掛載
F-14A	14	奪取空優	<ul style="list-style-type: none"> • AIM-54C*4 • AIM-9M*2 • AIM-7P*2
F/A-18C	36	對水面打擊	<ul style="list-style-type: none"> • AGM-84D*2 • AIM-120A*2
EA-6B	4	對敵防空壓制	<ul style="list-style-type: none"> • AGM-88C*2 • AN/ALQ-99I ECM POD*2

資料來源：作者自製。

演習期間，「尼米茲號」以平均約 1+20 的任務週期長度，向平均距離約 200 海里遠的數個假想敵目標區投送空中兵力，進行連續 4 天、全天候出動的攻擊與起降演練。排除因為部分因素，無法順利起飛或必須提前中止的出勤，上述各類型艦載機群共完成了 769 架次的「打擊」任務，平均每日每架出擊率為 3.56 次。²⁶

我們透過 MATLAB R2023b，以前揭建立的出擊架次數學公式，對「高峰 97」演習基準案進行 1 千次的蒙地卡羅模擬。運作的系統

²⁴ “Developing Home Port Facilities for Three NIMITZ-Class Aircraft Carriers in Support of the US Pacific Fleet,” *Department of Navy*, July 1999, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA365590.pdf>.

²⁵ 此配置係依照「高峰 97」演習數據，惟目前美海軍的 F-14 已全面退役，「尼米茲號」的艦載機攻擊中隊也已改配署 F/A-18E Super Hornets。

²⁶ 「高峰 97」演習數據的總打擊任務是 771 架次，惟其中有 2 架次是由 S-3B「維京式」反潛機完成。而該機型在演習期間主要是以非戰鬥的支援任務為主（共執行了 88 架次），故在模擬分析上把 S-3B 的 2 架次排除。Angelyn Jewell and Maureen A. Wigge ed., “USS Nimitz and Carrier Airwing Nine Surge Demonstration,” *op cit*.

環境為 Win 11 專業工作站版、Intel Xeon Silver 4208 CPU 2.10 GHz 與記憶體 32GB。所得的模擬數據為「尼米茲號」艦載機群 4 天內共完成了 794 架次的「打擊」任務，平均每日每架出擊率為 3.68 次、標準差為 2.437。

為了比較以數學公式模擬得出的平均出擊率，與「高峰 97」演習實際觀察到的數值之間是否有統計上的顯著差異，此處採取「單樣本 t 檢定」，以雙尾檢定、顯著水準 0.05 的條件，檢定假設如下：

- $H_0: \mu = 3.68$ (兩個日均出擊率數值沒有顯著差異)
- $H_a: \mu \neq 3.68$ (兩個日均出擊率數值存在顯著差異)

由於 $N=1,000$ ，檢定拒絕域的臨界值 $t_{0.05,1000} = \pm 1.96$ ；若 $-1.96 < t_{\text{統計量}} < 1.96$ ，則無法拒絕虛無假設 (H_0)。經計算， $t_{\text{統計量}}$ 為 1.558，並未落在左右端任一拒絕域內，故接受虛無假設 (H_0) 成立，本文建立的艦載機出擊率數學公式所模擬得到的數據，與「高峰 97」演習基準案的結果，沒有統計上的顯著差異。

接著以相同的數學模型對「福建號」航艦進行模擬。「福建號」航艦的飛行甲板長度為 1,036 呎 (約 316 公尺)、寬度為 249 呎 (約 76 公尺)，總面積至少有 16,330 平方公尺，滿載排水量可達 8 萬噸以上。²⁷此外，從船體結構來看，採傳統動力的「福建號」至少可配備不亞於前型「山東號」數量的柴油發動機，並搭配數座渦輪發動機。雖然詳細的發電機型號與動力未知，若以前型「山東號」航艦的速度來推估，「福建號」最大航速應亦可以達 30 節以上。²⁸

²⁷ “How Advanced Is China’s Third Aircraft Carrier?” *China Power Project CSIS*, <https://chinapower.csis.org/china-type-003-fujian-aircraft-carrier/>.

²⁸ Richard Thomas, “What we know about the Fujian, China’s new aircraft carrier,” *Naval Technology* May 9, 2024, <https://www.naval-technology.com/news/analysis-what-we-know-about-the-fujian-chinas-new-aircraft-carrier/?cf-view>.

不同於美軍「尼米茲號」的四彈四升配置，「福建號」僅設有三條電磁彈射器（Electromagnetic Catapult）與二座飛機升降機。如下圖所示，紅線 1 至 3 標示三條彈射器位置，由於「福建號」的斜角甲板角度較小，向外延展的空間不足，故僅能設置一條彈射器。藍框 1 至 2 分別標示二座升降機位置，皆位於右舷（艦島前後各一座）。

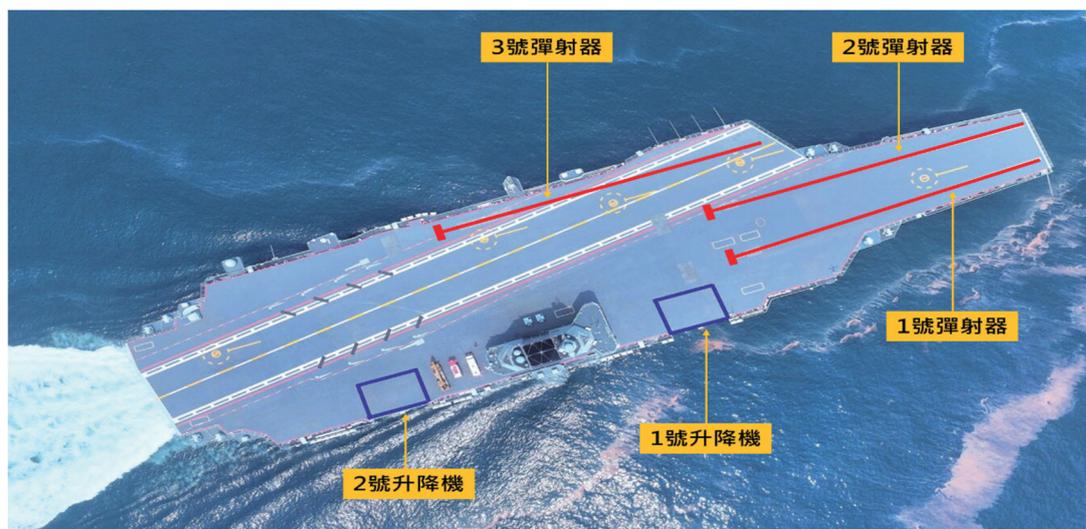


圖 3-3、「福建號」甲板配置圖

資料來源：作者修改自原圖，〈中國海軍福建艦順利完成首次航行試驗，達到預期效果〉，《俄羅斯衛星通訊社》，
<https://big5.sputniknews.cn/20240508/1058884587.html>。

以公情資料來推估，「福建號」航艦最大可搭載約 60 架艦載機（定翼與旋翼）。²⁹ 此處依前揭建立的公式律定，「福建號」甲板最大同時停機數上限約為最大可搭載數量的 60%；其中，執行「戰鬥」任務的機型，如 J-15T 與 J-15D，則律定約佔所有部署艦載機約 8 成以上的比例，本文設定總共 34 架，任務掛載簡述如下：

²⁹ *Ibid.*

表 3-2、「福建號」航艦艦載機配置

機型	數量	任務內容	武器掛載
J-15T	10	奪取空優	<ul style="list-style-type: none"> • PL-15*6 • PL-10*2
J-15T	22	對水面打擊	<ul style="list-style-type: none"> • YJ-83K*2 • PL-8C*2
J-15D	2	對敵防空壓制	<ul style="list-style-type: none"> • YJ-91*2 • PL-8C*2

資料來源：作者自製。

我們同樣透過 MATLAB 進行 1 千次的蒙地卡羅模擬，上述「福建號」艦載機群共完成了 403 架次的「打擊」任務，平均每日每架出擊率約為 2.96 次、標準差為 1.751。在採取「單樣本 t 檢定」，雙尾檢定、顯著水準 0.05 的條件下，比較「福建號」與「尼米茲號」艦載機群日均出擊率差異的檢定假設如下：

- $H_0: \mu = 2.96$ (福建號與尼米茲號日均出擊率**沒有**顯著差異)
- $H_a: \mu \neq 2.96$ (福建號與尼米茲號日均出擊率**存在**顯著差異)

由於 $N=1,000$ ，檢定拒絕域的臨界值 $t_{0.05,1000} = \pm 1.96$ ；若 $-1.96 < t_{\text{統計量}} < 1.96$ ，則無法拒絕虛無假設 (H_0)。經計算， $t_{\text{統計量}}$ 為 -7.419，落在左端拒絕域內，故拒絕虛無假設 (H_0) 的成立，「福建號」與「尼米茲號」艦載機群日均出擊率的模擬數據，確實存在統計上的顯著差異。

由於本研究已經控制任務週期時長等參數，亦不考量飛行員與甲板人員因素對艦載機出擊的影響（註：本文假定解放軍航艦人員的訓練度和技術水準與美軍相當）；因此，我們可以推論，造成美

、中航艦在艦載機最大出擊率差異的主要關鍵因素，在於航艦本身硬體設備的條件。「滿載排水量」決定了單艘航艦每次出航所能搭載的艦載機、飛行中隊與甲板運作部門人員的總數量，連帶影響了「任務妥善」(Mission-ready)、能隨時出擊的艦載機數量。而「甲板尺寸」則決定「彈射器」與「飛機升降機」的最大設置數量，進一步限制了艦載機出擊的波次頻率與每一波次出擊數量上限。

2023 年「山東號」在沖繩縣宮古島以南海域進行遠航訓練期間，艦載機實際起降的數量，與本文模擬的「福建號」起降數量之間的差距，亦可用來說明航艦本身的硬體條件對艦載機出動的影響。根據日本防衛省統合幕僚監部所公布的情資，「山東號」在 10 月 28 日至 11 月 5 日，共 9 天的期間，J-15 艦載機共起降約 420 次（日均 46.6 架次），每架 J-15 的日均出擊率則約為 1.94 次（以總搭載數量 24 架計算）。³⁰ 「山東號」滿載排水量約 6 萬噸，飛行甲板長度約 305 公尺、寬度約 75 公尺。³¹ 不僅艦船體量與能搭載的艦載機數量明顯少於「福建號」，本身亦無彈射起降能力。儘管無法確定 2023 年 10 月的這次遠航，「山東號」是否正在進行艦載機出動極限能力的測試。從所能獲得的公開情資來看，日均出動 46.6 架次 J-15，已是「山東號」自 2019 年服役以來的最大出擊率。簡言之，「福建號」在硬體條件上的優勢，直接反映的就是其艦載機出擊率的預期極限值，相較於「山東號」目前所能錄得的最高出擊數據，有非常顯著的提升。

本文並非否定人員等「軟因素」對於航艦運作效率的重要性。美海軍分析中心在「高峰 97」演習後的檢討報告，確實點出航艦上

³⁰ 〈中国海軍艦艇の動向について〉，《統合幕僚監部報道発表資料》，2023 年 11 月 6 日，https://www.mod.go.jp/js/pdf/2023/p20231106_01.pdf。

³¹ “What Do We Know (so far) about China’s Second Aircraft Carrier?” *China Power Project CSIS*, <https://chinapower.csis.org/china-aircraft-carrier-type-001a/>。

部署的相關人員之關鍵，例如，是否滿編、訓練度、疲勞度等。³²必須注意的是，這份報告是對「尼米茲號」演習前後的效果進行比較，分析的標的只有「尼米茲號」，是在控制硬體相關參數一致的條件下進行比較。當硬體設備的上限已確定，此時人員等「軟因素」自然成為提升艦載機出擊率的關鍵。惟「有無彈射能力」、「升降機與彈射器數量」、「飛行甲板面積」等物理條件，已經決定了某型航艦在單位時間內艦載機出擊率的上限。人員等「軟因素」提升的用處，更多是在於盡可能發揮航艦本身的硬體潛能，實難以跨過物理限制的鴻溝。

伍、小結

本研究探討了基於硬體條件不同下，美、中航艦在艦載機最大出擊能力上的差異。後續的研究除了可運用本文所發展的數學模型，作為其它電腦兵棋系統，在處理包含航艦作戰的想定場景時，艦載機出擊數據輸入之參照。並可進一步從單艦擴充為數個航艦打擊，甚至是納入美國及其友盟海軍的多艦區域聯防模型，探討在第一島鏈針對解放軍艦隊的聯合作戰之效果。

本文作者謝沛學為美國內布拉斯加大學林肯分校政治學博士，任職於國防安全研究院，現職為網安與決策推演所副研究員，研究領域為兵棋推演、模式模擬、軍備競賽、地緣政治、國防經濟。

³² Angelyn Jewell and Maureen A. Wigge ed., “USS Nimitz and Carrier Airwing Nine Surge Demonstration,” *op. cit.*

Simulation Analysis of the Sortie Generation Capabilities of U.S. and Chinese Aircraft Carriers

Pei-Shiue Hsieh

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

China's third aircraft carrier, Type 003 *Fujian*, was launched in June 2022 and is undergoing sea trials, marking a significant escalation in military pressure exerted by the People's Liberation Army (PLA) vis a vis the First Island Chain. This development intensifies maritime competition between China and the United States. The Sortie Generation Rate (SGR) is a crucial metric to measure the operational capability of an aircraft carrier.

The author developed a mathematical model, using data from a U.S. Navy exercise, Surge 97, as the baseline to calculate SGR. The results indicated that over a four-day period, the U.S. carrier *Nimitz* completed 769 strike sorties, averaging 3.56 sorties per aircraft per day. In contrast, the *Fujian* achieved 403 strike sorties, with an average of approximately 2.96 sorties per aircraft per day. The primary factors contributing to the disparity in maximum sortie rates between U.S. and Chinese carriers include hardware specifications such as 'full displacement', 'deck size', and 'the number of catapults and elevators.

These elements fundamentally determine both the frequency of sorties and the maximum number of aircraft that can be launched in each mission cycle. While improvements in personnel training and other soft factors can enhance operational efficiency, they are unlikely to overcome inherent physical limitations. Future research can leverage this mathematical model for integration into various computer wargaming systems to simulate scenarios involving carrier operations.

Keywords: Aircraft Carrier, Sortie Generation Rate, Nimitz CVN-68, Type 003 Fujia

應用強化式學習於兵棋推演之探討

賀增原

網路安全與決策推演研究所

壹、前言

隨著技術的不斷進步，未來的電腦兵棋將不再僅僅依賴傳統模型，而是導入高度智慧化、能夠自我學習和適應的系統，使得軍事訓練和決策輔助過程更加有效率。因此，本研究以電腦兵棋系統「指揮：現代作戰專業版（Command：Modern Operation Professional Edition, CPE, 後文以 CPE 稱之）為平台，設計數個反制無人機的理想場景。並參考海軍研究院¹與其它關於「層級強化學習」（Hierarchical Reinforcement Learning, HRL）方法的文獻²，希望藉由強化式學習協助處理各種不同戰場複雜狀況，以了解不同戰術運用的差異，並作為後續電腦兵棋導入人工智慧的研究基礎。

貳、研究方法

一、強化學習

層級強化學習（HRL）是基於強化學習所發展出來，強化學習（Reinforcement Learning, RL）為機器學習中的一種方法，其目的在於研究代理者或者智能體（agent）在面對不同環境（environment）狀態（state）中的挑戰，將會採取什麼樣的行動（action）。智能體決定採取的任一種行動，其實就是在選擇一種策略（policy）。強化

¹ Scotty Black and Christian Darken, “Scaling Intelligent Agents in Combat Simulations for Wargaming”, *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference*, 2023 Paper No. 23302; Scotty Black and Christian Darken, “Scaling Artificial Intelligent for Digital Wargaming in Support of Decision-Making”, *NATO Science and Technology Organization*, 2023, Page 23-1 to 23-18; George Ellison and Andrew Shepherd, “Might Wargaming be Another Instance Where “Anything You Can Do, AI Can Do Better”?”, *Concept Paper*, 2024, doi: 10.20944/preprints202401.1311.v1.

² 張倩、李天皓、白春光，〈基於多智能體強化學習的分層決策優化方法〉，《電子科技大學學報》，第 24 卷第 6 期，2022 年 12 月，頁 91-96。

學習特別之處在於評估智能體採取行動後的狀態，藉由量化的大小給予獎勵 (reward)，期望在眾多策略中尋找一項最佳的策略。以上描述相關架構如圖 4-1。

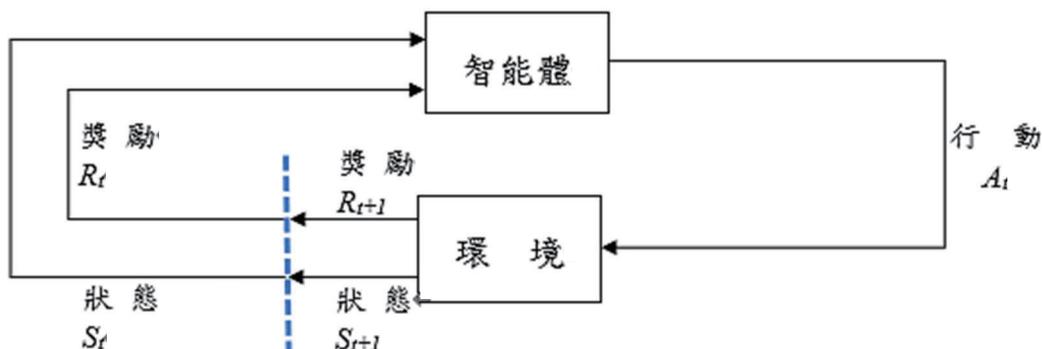


圖 4-1、強化學習的架構

資料來源：Scotty Black and Christian Darken, “Scaling Intelligent Agents in Combat Simulations for Wargaming,” *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference*, 2023.

基於上述的說明，智能體採取哪種策略(π)，在不同的狀態(S)以獲得的獎勵 (R)，一般可以採用動作價值函數 (action-value function) $Q^\pi(s, a)$ 來表示，³如下：

$$Q^\pi(s, a) = E[R(n)|s(t) = s, a(t) = a] \quad (1)$$

方程式(1)當中，當狀態(S_t)智能體會依據經驗採取一個行動(A_t)，方程式皆以小寫來代表。因此在時間(t)之後，環境依據行動給予獎勵，所以最初的獎勵方程式 $R(t) = r(t + 1) + r(t + 2) + \dots + r(T)$ ，不過智能體所採取的行動，不可能對未來發生的行動都有相同的影響，而是會隨著時間而遞減，因此需要一個介於 0 與 1 的衰減因子(discount factor) λ 。所以獲得新的獎勵方程式：

³ 蘇木春、張孝德，《機器學習-類神經網路、模糊系統以及基因演算法則》(新北市：全華圖書股份有限公司)，2004 年，頁 6-12 至頁 6-16。

$$R(t) = r(t + 1) + \lambda r(t + 2) + \lambda^2 r(t + 3) + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \lambda^k r(t + k + 1) \quad (2)$$

此處衰減因子 λ ，如果 $\lambda=0.01$ ，隨著次方增加，當它是 2 次方，則第三項獎勵將要乘以 0.0001，就可以忽略；反之 $\lambda=0.9$ ，即使是 $\lambda^7 = 0.48$ ，也仍然將近有一半的影響。由於智能體在不同環境，環境獎勵會隨著採取不同的策略給予考量，因此加入機率使動作價值函數是一個期望值。

本文先以一個例子來說明動作價值函數，⁴在此設計一個迷宮如圖 2。在此迷宮中僅有三種選擇，第一種前進、第二種向右、第三種向左，每一種選擇機率皆為 $1/3$ ，前進一步獎勵為 6，衰減因子設為 0.5，檢視以下說明如表 4-1，說明各項選擇以及獎勵。從表 4-1 當中可以了解各種不同路徑的獎勵值，當得到獎勵值越大就越可能是迷宮的出口，當然仍然要視實際狀況而定。

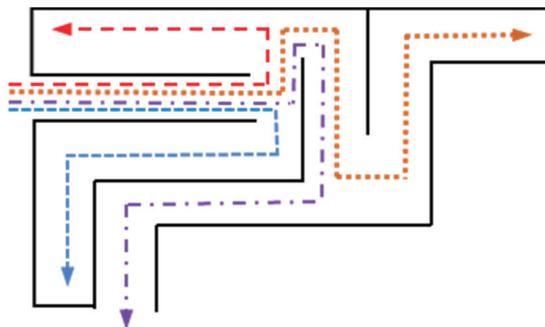


圖 4-2、迷宮

資料來源：作者繪製。

表 4-1、迷宮的路徑（取小數點後兩位）

路 徑	獎 勵 值	期 望 值	成 功 與 否
紅線	10.5	3.5	失敗
橘線	11.91	3.97	失敗
藍線	11.25	3.75	失敗
紫線	11.81	3.94	成功

資料來源：作者整理。

⁴ 梁瑋倫、林大衛、劉志尉，〈強化學習的簡介及其應用情境與高效訓練法〉，工研院產業學習網，<https://college.itri.org.tw/Home/InfoData/f6e19f2d-f81c-421c-bc36-ea6409ba0a5d/e39de825-d056-4100-bbf9-cae46f0fe0aa>（檢索日期：2024 年 6 月 20 日）。

二、層級強化學習

然而，更進一步「層級強化學習」的方法，是結合強化學習與階層架構的概念，將複雜的策略與多維度狀態空間劃分至不同階層，⁵各個階層負責不同任務或者行動（此處將任務切割為不同行動組合），藉此共享彼此的訊息。本研究參考 Scotty Black and Christian Darken 的論文，將兵棋推演中不同角色，⁶例如：指揮官、管理者與戰士分別劃分成不同層級，相關架構如圖 4-3。此外，戰場訊息通過不同的「觀察狀態通道」(observation space channel) 傳遞給智能體，智能體會根據這些訊息來做出合理的決策。舉例來說，如果我們在訓練一個軍事模擬的層級強化學習模型，觀察狀態通道可能包括：⁷

- 敵方單位的位置；
- 我方單位的位置；
- 資源的狀態(彈藥、糧食、燃料等)；
- 戰場環境變化(氣象、地形、建築物等)；
- 敵我通信狀態(感測資訊、確保指揮與控制)。

每個通道都提供一種特定類型的觀察，智能體需要學會如何整合這些資訊來形成有效的行動策略。層級的概念允許智能體在不同的抽象層次上學習和操作，這可以幫助處理更複雜的任務。依據參考文獻將電腦兵棋推演模擬的狀態轉換成觀察狀態通道，本文依序編排如圖 4-4，真實運用中視實際狀態調整。

⁵ 孫宇祥、彭益輝、李斌、周佳煒、張鑫磊、周獻中，〈智能博弈綜述：遊戲 AI 對作戰推演的啟示〉，《智能科學與技術學報》，第 4 卷第 2 期，2022 年，頁 157-173。

⁶ 謝沛學，〈從下棋到作戰：人工智慧在電腦兵棋的運用及其挑戰〉，《戰略與評估》，第 11 卷第 2 期，2021 年，頁 151-178；賀志豪譯，〈中共的人工智慧兵棋推演〉，《國防譯粹》，第 46 卷第 7 期，2019 年，頁 78-81；林傳凱，〈國防安全研究院模式模擬與兵棋推演發展目標〉，《國防情勢特刊-模式模擬專題》，第 25 期，2023 年 3 月 15 日，頁 24-34。

⁷ 蘇炯銘、羅俊仁、陳少飛、項風濤，〈海空跨域協同兵棋 AI 架構設計及關鍵技術分析〉，《指揮控制與仿真》，第 46 卷第 2 期，2024 年，頁 35-43；孫怡峰、李智、吳疆、王玉賓，〈作戰方案驅動的可學習兵棋推演智能體研究〉，《系統仿真學報》，第 36 卷第 7 期，2024 年，頁 1525-1535。

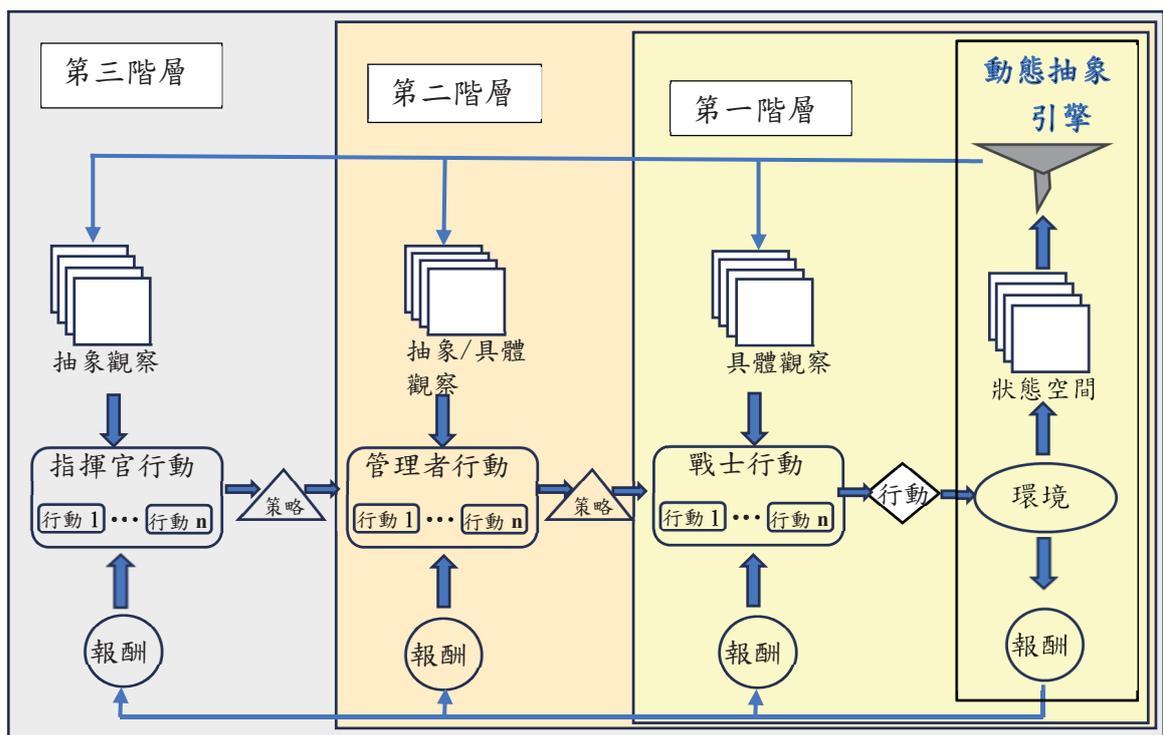


圖 4-3、層級強化學習架構

資料來源：整理 Scotty Black and Christian Darken, "Scaling Intelligent Agents in Combat Simulations for Wargaming," Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference, 2023.

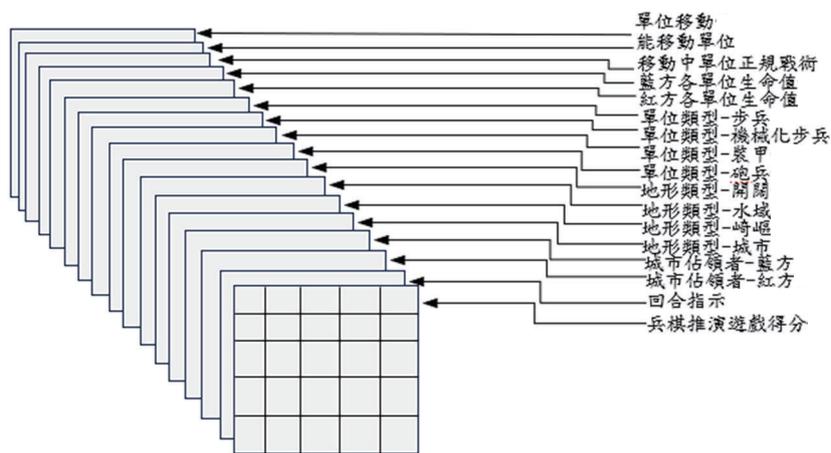


圖 4-4、觀察狀態通道

資料來源：整理 Scotty Black and Christian Darken, "Scaling Intelligent Agents in Combat Simulations for Wargaming," Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference, 2023.

參、兵棋推演個案介紹

運用動作價值函數以及層級強化學習，個案探討先從反制紅方「偵打一體」無人機開始，假定紅方運用翼龍-II 無人機 10 架準備偵查藍方關鍵基礎設施以及每架攜帶 2 枚藍箭飛彈進行攻擊；藍方派遣 3 輛車載式高能雷射武器系統如圖 4-5，各項單元的關聯性如圖 4-6，以及 6 輛復仇者防空飛彈系統進行防禦。

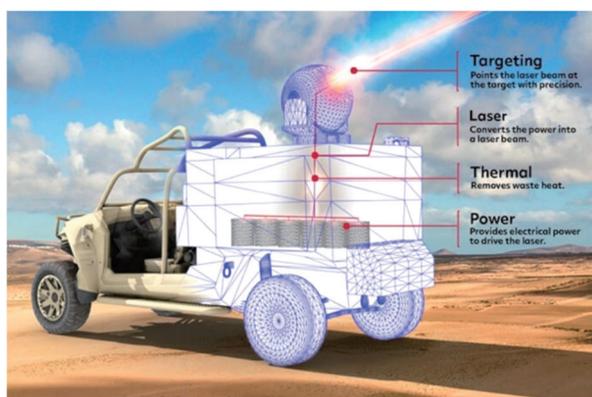


圖 4-5、車載式高能雷射武器系統

資料來源：<https://www.rtx.com/raytheon/news/2021/06/22/how-laser-defeats-hostile-drones>。

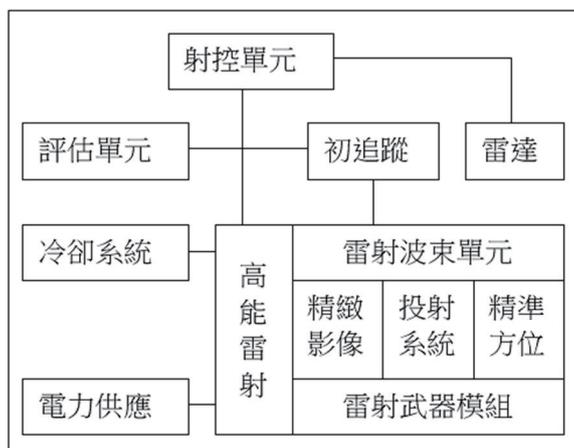


圖 4-6、雷射武器各單元相關性

資料來源：賀增原，〈模擬艦載雷射武器與防空飛彈任務效益之分析〉，第 19 屆軍事作業研究與模式模擬論壇，國立陽明交通大學，中華民國 112 年 9 月 26 日。⁸

⁸ 賀增原，〈模擬艦載雷射武器與防空飛彈任務效益之分析〉，第 19 屆軍事作業研究與模式模擬論壇，國立陽明交通大學，2023 年 9 月 26 日，頁 327-335。

說明：雷射武器的射控系統首先經由雷達偵測遠距離的威脅，接著評估單元藉由初追蹤，光電目獲系統利用寬視角放大倍率小，窄視角放大倍率高來辨識目標，並且評估威脅；接著電力供應高能雷射，同時高能雷射會產生大量高溫需要冷卻系統來調節溫度，避免影響光學影像，同時導入波束單元，進行追蹤與攻擊。⁹

此個案作者運用電腦模擬系統（CPE）進行不同武器交戰，整個過程會執行蒙地卡羅 30 次，會統計不同狀況的機率，CPE 在輸出的檔案內可獲得不同交戰的執行細節，系統可以清楚交代日期與時間（時、分、秒）、執行行動位置（經緯度）、如何接戰情況、以及各單位災損狀況等資訊。例如執行結果災損可以分成四種：擊中（hit）、擊毀（kill）、未命中（miss）以及摧毀（destroyed）等。

進一步說明：本文採用高能雷射抵禦無人機攻擊，由於高能雷射會隨著功率密度形成光束在目標燒熔光斑，因此無法一次照射即擊毀無人機，必須擊中多次或者是持續擊中才能摧毀。另外還會發生無人機脫逃現象，與持續飛行甚至發生油料不足墜地才摧毀的情況。因此，參照之前迷宮的例子，統計蒙地卡羅執行的各項機率，並且將造成來襲威脅三種損失的強弱，分別設計不同的獎勵，其中「未命中」為“0”、「擊中」為“3”、「擊毀」為“6”，「衰退率」可以設定為任何值。並且將輸出的數據放入層級強化學習的動作價值函數進一步比較不同武器的組合，哪一種所能得到的報酬最大，以分析不同戰術的運用。

⁹ K. Ludewigt, Th. Riesbeck, A. Graf and M. Jung, “50kW Laser Weapon Demonstrator of Rheinmetall Waffe Munition,” *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 8898, October 15, 2013, https://www.researchgate.net/publication/260668879_50_kW_Laser_Weapon_Demonstrator_of_Rheinmetall_Waffe_Munition.

肆、執行成果

一、執行情況

此個案當中，統計紅軍翼龍-II 型共 10 架，遭到藍軍高能雷射 (60k W Solid State Laser) 3 台的防禦，由於電腦兵棋系統執行的過程，是每隔 30 秒派遣一架無人機，同時順序是從編號 10 至 1，所以編號第 10 號無人機會先接戰。統計 30 次蒙地卡羅，整理各架損害的情況以及藍軍高能雷射車輛損壞情況如圖 4-7，圖形先以前三次的例子來說明，隨後會統計紅軍各架次在蒙地卡羅 30 次中各種損壞的情況如表 4-2。

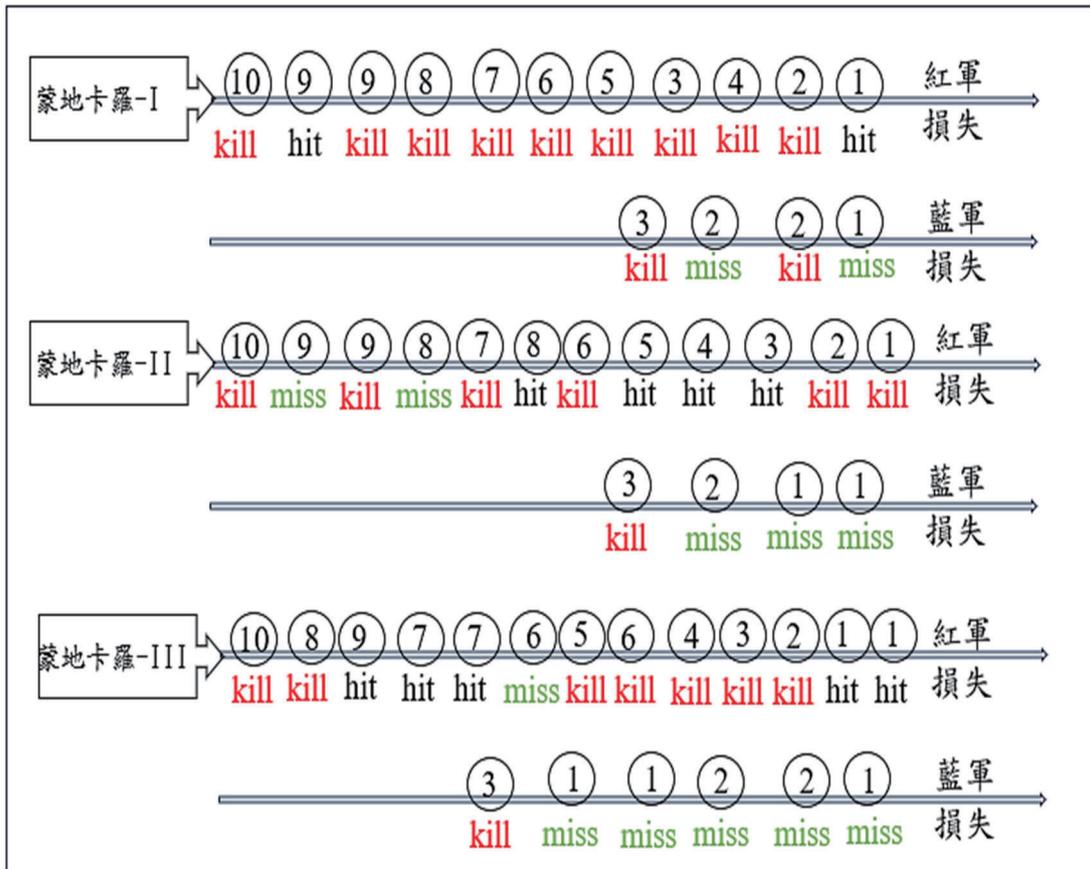


圖 4-7、紅藍軍損害情況

資料來源：作者整理。

在 CPE 執行的時間軸當中，第一次蒙地卡羅，可以發覺編號 10 的無人機首先被擊毀，接下來編號 9 的無人機被擊中，再隔 9 秒，

編號 9 的無人機就被擊毀，另外編號 1 的無人機被擊中，最後在失去引擎的功用，發生墜毀。

表 4-2、各架無人機損害統計

損害 無人機	miss	hit	kill	Sum
No. 1	7	18	18	43
No. 2	4	14	18	36
No. 3	5	9	24	38
No. 4	3	10	22	35
No. 5	2	21	14	37
No. 6	6	9	24	39
No. 7	3	14	21	38
No. 8	3	10	23	36
No. 9	3	16	21	40
No. 10	4	17	16	37

資料來源：作者整理。

二、分析方法

個案採用機率為分析方法，每台無人機 miss, hit, kill 的機率表示式：

未命中 (miss) 的機率

$$P_{miss,i} = \frac{miss_count_{i,j}}{total_shoot_{i,j}} \quad (3)$$

擊中 (hit) 的機率

$$P_{hit,i} = \frac{hit_count_{i,j}}{total_shoot_{i,j}} \quad (4)$$

擊毀(kill)的機率

$$P_{kill,i} = \frac{kill_count_{i,j}}{total_shoot_{i,j}} \quad (5)$$

方程式 (3) 至 (5) 中， i 代表無人機的架數， j 代表第幾回執行，分母則表示武器對某一個特定無人機射擊的枚數。

結合各台無人機不同狀況機率 (miss, hit, kill) 加上考慮衰減因子 λ 以及獎勵值，可以獲得新的動作價值函數

$$Q_i^\pi(s, a) = \sum_{j=1}^N \lambda^t (P_{miss,i,j} \cdot Rewards_{miss,i,j} + P_{hit,i,j} \cdot Rewards_{hit,i,j} + P_{kill,i,j} \cdot Rewards_{kill,i,j}) \quad (6)$$

接下來，運用 CPE 執行結果的數值，代入以上的方程式，來檢視強化式學習的不同功效。

三、執行結果

利用表格 4-2 的數據代入方程式 (3) 至 (5) 當中，可以獲得各架無人機的不同狀況機率。接者利用三種不同衰減因子， $\lambda=0.3, 0.5, 0.7$ ，利用圖七的順序，依序代入方程式 (6) 中，比較其期望值如表 4-3。從表 4-3 可以看出，無論任何的衰減因子，第一回合期望值優於第二回合，即使第二回合次數比第一回合多一次，但是由於未命中的次數達到兩次，造成整體的期望值降低；另外第三回合有兩種情況：第一種衰減因子= 0.3 由於第三回合前兩次攔截，均是造成擊毀，其次方的增加，造成後續的影響比較小，所以第三回合大於第一回合；第二種衰減因子=0.7，其次方的增加，造成後續的影響比較大，所以第三回合期望值比第一回合來得低分，藉由此表可以簡單說明不同衰減因子對應的期望值的大小，也因此在整個複雜的兵棋推演中，我們所期望是整體戰場的防禦能力，因此選擇衰減因子=0.7 較合適。

表 4-3、不同衰減因子對應的期望值(取小數點後兩位)

蒙地卡羅	衰減因子=0.3	衰減因子=0.5	衰減因子=0.7
第一回合	3.38	4.87	8.66
第二回合	2.91	3.65	5.86
第三回合	3.89	5.11	7.56

資料來源：作者整理。

四、進階分析

由於本文介紹的是層級強化學習，因此除了藍軍高能雷射的防禦，另外部署復仇者防空飛彈系統如圖 4-8 以及圖 4-9。¹⁰



圖 4-8、復仇者防空飛彈系統

資料來源：參考網頁 <https://www.military.com/equipment/avenger-weapon-system>。

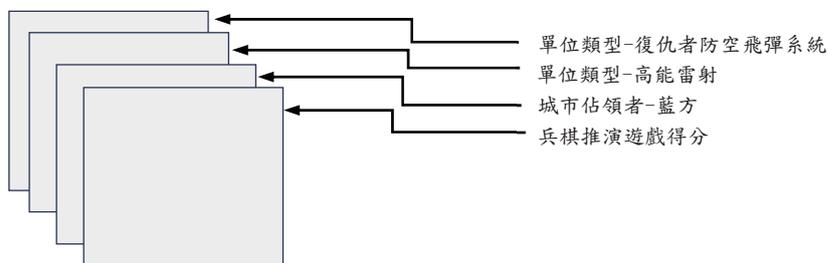


圖 4-9、層級強化學習的架構

資料來源：作者整理。

¹⁰ 楊培毅，〈復仇者飛彈系統發展歷史與未來性能提升之研究〉，《砲兵季刊》，2017 年 6 月，頁 30-47。

整理前三次蒙地卡羅執行的狀況，此部分結合高能雷射與刺針飛彈，檢視各架損害的情況如圖 4-10。由於翼龍-II 型在 CPE 中飛行高度與攻擊高度為 4,572 公尺至 7,620 公尺，復仇者防空飛彈系統防禦高度為 60.9 公尺至 4,876.8 公尺，因此在防禦高度明顯不足的條件下，即便高能雷射未完成對無人機的擊毀，但是刺針飛彈仍是未命中，例如無人機編號 10。

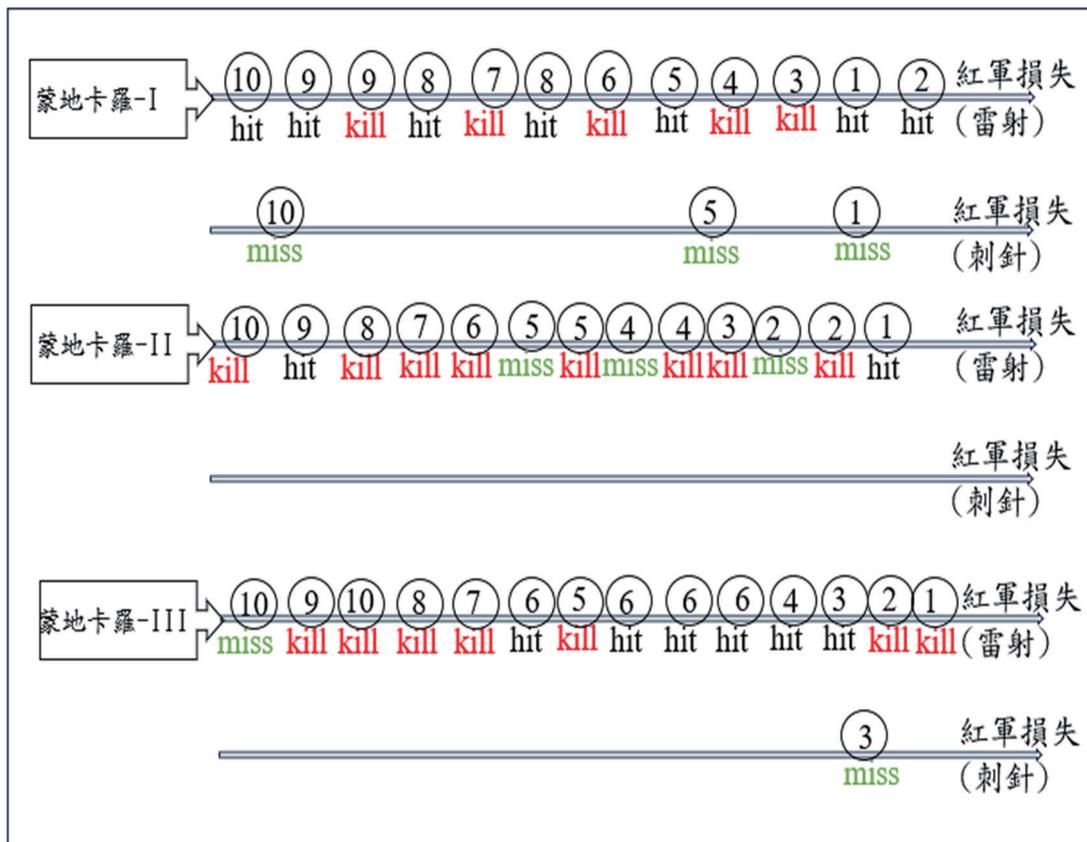


圖 4-10、結合高能雷射與刺針飛彈防禦情況

資料來源：作者整理。

由圖 4-10 可以大致看出伴隨著復仇者防空飛彈系統的加入其成效反而不如單獨高能雷射攔截效率好，除了第二回合之外，將圖 4-10 蒙地卡羅三個回合與圖七沒有部署刺針飛彈以衰減因子=0.7 做比較如表 4-4，此結果與參考文獻相近可以參考表 4-5。¹¹

¹¹ 賀增原、林傳凱、謝沛學，〈運用 CMO 模擬雷射反制無人機威脅之研究〉，《陸軍後勤季刊》，第 4 期，2022 年，頁 62-73。

表 4-4、衰減因子=0.7 刺針飛彈部署前後期望值的差異

衰減因子=0.7	部署前(僅有高能雷射)	部署後(加上刺針飛彈)
蒙地卡羅第一回	8.66	5.99
蒙地卡羅第二回	5.86	8.05
蒙地卡羅第三回	7.56	6.20

資料來源：作者整理。

表 4-5、紅藍軍毀損情況

行動方案	翼龍-II 毀損 (初始 10 架)	復仇者防空飛 彈系統毀損 (初始 6 輛)	雷射系統毀損 (初始 3 輛)
行動方案_1	298/300		27/90
行動方案_2	297/300	20/180	0/90

資料來源：作者整理。

伍、結論

作者以「層級強化學習」的方法，改進過去採用其它機器學習所產生的問題，並結合 CPE 電腦兵棋所模擬的數據，探討不同反制無人機方案。因此。本文盡可能用方程式，配合圖表的說明，以利讀者的閱讀，從分析的結果也可以看到本文所採用的方法與 CPE 所統計的資料沒有相背離，並且藉由不同衰減因子對應的期望值，雖然蒙地卡羅是隨機執行，不過藉著不同大小的衰減因子，將會很明顯檢視出不同回合蒙地卡羅的期望值，未來將朝向使用工具或者撰寫程式代入到整體架構，如此將可以進一步檢視在不同的戰術條件下，何種戰術的效益最好，可供決策者參考。

本文作者賀增原為國防大學中正理工學院國防科學研究所博士，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研究員，研究領域：決策分析、國防武器獲得管理、系統工程。

Discussion on Applying Reinforcement Learning in Wargaming

Tzeng-Yuan Heh

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

As battlefield environments rapidly evolve, the question arises: Can traditional war games effectively address the complexities of today's warfare and assist in personnel training and decision support? With the rapid advancement of artificial intelligence (AI), various AI methods have already been applied to wargaming. This paper explores the intersection of traditional war games and AI, examining their potential synergies and challenges.

This paper introduces hierarchical reinforcement learning (HRL) methods in a systematic manner. Beginning with an overview of reinforcement learning, the discussion proceeds to illustrate various path choices and their corresponding rewards using a maze example. Subsequently, leveraging existing literature, an HRL framework and observation space channels are constructed to enhance the interpretation of complex battlefield environments.

In the final stage of the wargaming case study, different discount factors in each phased and incremental exploration were examined. Initially, results obtained from computer software were utilized to statistically assess the probabilities of various drone damage scenarios. Employing Monte Carlo simulations across different rounds, the situations in which each drone encountered attacks were systematically organized. Subsequently, expected values with varying discount factors were

computed to validate the accuracy of the data. A more advanced analysis involved hierarchical reinforcement learning, wherein interactions between different anti-aircraft missile systems were examined. Graphs and tables derived from this analysis were used to evaluate weapon effectiveness.

This paper aims to enhance readability by incorporating equations and explanatory charts. The analysis results demonstrate alignment between the methods employed in this study and the statistical data generated by computer software. Future study will explore the integration of tools or custom programming within the overall framework. This approach will allow for a more detailed examination of tactical conditions, enabling the identification of optimal strategies for decision-makers.

Keywords: Reinforcement Learning, Wargaming, War Mode

大語言模型於國軍電腦兵推之應用方向

羅裕耀

元智大學工業工程管理博士候選人

壹、前言

兵棋推演是軍事規劃的重要工具，能模擬戰場環境並評估行動方案。然而，傳統方法耗時且難以應對瞬息萬變的現代戰場。隨著「大語言模型」(Large Language Model, LLM) 技術的發展與進步，特別是 GPT 系列的發展，兵棋推演迎來革新之契機。¹本文聚焦於 LLM 在國軍兵推的應用前景，探討其潛在優勢與風險。借鑒美軍相關研究，尤其是「作戰行動方案 GPT」(Course-of-Action-GPT, COA-GPT) 的實踐，本文分析未來如何將此技術融入我國軍事兵棋推演，提升決策效率，為國軍現代化提供新思維，促進軍事 AI 的本土化發展。²

貳、LLM 緣起

一、LLM 的起源與發展

LLM 概念源自圖靈測試，但近年隨著深度學習和神經網路技術的突破而蓬勃發展。³其發展歷程如后：

(一) 1950 年，圖靈於其開創性論文中提出著名的圖靈測試，為 AI 的發展奠定理論基礎。⁴圖靈測試探討人工智慧，為 AI 評估提供框

¹ Tom Brown and Ben Mann et al., "Language Models Are Few-Shot Learners," *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol.33 (2020), pp. 1877-1901.

² Vinicius G. Goecks and Nicholas Waytowich, "Coa-gpt: Generative Pre-trained Transformers for Accelerated Course of Action Development in Military Operations," in *2024 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS)* (IEEE, 2024), pp. 1-10.

³ Ian Goodfellow and Jean Pouget-Abadie et al., "Generative Adversarial Nets," *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol.27 (2014), pp. 1-10.

⁴ Alan M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, Vol. 59, No. 236 (October 1950), pp. 433-460.

架，激發對人工智慧本質的思考。⁵

- (二) 理論基礎：圖靈提出的「圖靈機理論」(Turing machine) 奠定了現代邏輯運算和 AI 算法的根基。⁶
- (三) 達特茅斯會議：1956 年達特茅斯會議標誌著人工智慧學科的正式誕生，會議首次提出「人工智慧」一詞，探討機器模擬人類智慧的可能性。⁷
- (四) 早期 AI 程序：50 至 60 年代初，AI 領域出現關鍵的程序。Allen Newell 和 Herbert Simon 開發的「邏輯理論家」(Logic Theorist) 和「通用問題解決器」(General Problem Solver)，以及 Arthur Lee Samuel 所開發的電腦跳棋程式，都展示電腦能進行自我學習與解決複雜問題的潛力。⁸
- (五) 符號人工智慧 (Symbolic artificial intelligence)：早期 AI 研究專注於符號處理和邏輯推理，形成符號人工智慧。此方法透過操縱符號來模擬人類思維過程。⁹

上述的早期發展奠定了 AI 關鍵理念與理論基礎。雖然當時技術仍無法實現 LLM，但為後續進展點燃明燈。圖靈測試尤為重要，不僅提出了 AI 評估方法，還引發對人工智慧本質的思考，至今仍影響 LLM 的研究。

二、神經網絡的復興

甫於 2024 年榮獲諾貝爾物理學獎的傑弗瑞·辛頓 (Geoffrey Hinton)，在 2006 年時提出「深度信念網路」(Deep Belief Network,

⁵ Graham Oppy and David Dowe, "The Turing Test," in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, Winter 2021 ed. (Stanford University, 2021), <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/turing-test/>.

⁶ Martin Davis, *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing* (Boca Raton: AK Peters/CRC Press, 2018).

⁷ Pamela McCorduck, *Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence* (Natick, MA: AK Peters/CRC Press, 2004).

⁸ Stuart J. Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd ed. (Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2016)..

⁹ John Haugeland, *Artificial Intelligence: The Very Idea* (Cambridge, MA: MIT Press, 1989).

DBN)，為現代「深度學習」(Deep-learning) 奠基。此突破解決深層網絡訓練難題，實現層次化特徵學習，大幅提升訓練效率。DBN 開啟深度學習新紀元。¹⁰此發展的重要性體現於幾個面向：

(一)DBN 克服了深層網路訓練的瓶頸，解決「梯度消失」(Vanishing gradient problem) 和「過度擬合」(Overfitting) 的難題。¹¹以無監督式預訓練方法突破障礙，使得深層網路的有效學習成真。

(二)DBN 擅長多層次特徵提取，能逐層分析從低階細節到高階概念。此優勢於處理複雜高維數據時表現卓越，尤其是圖像識別和語音分析領域。¹²

(三)DBN 的創新證實了深度學習的可行性，揭開逐層訓練的原理，為深層網絡初始化提供指引，並奠定其理論基礎，開啟了 AI 研究的新紀元。¹³

(四)DBN 突破了推動深度學習的創新，促進「自動編碼器」(Autoencoder) 和「卷積神經網絡」(Convolutional neural network, CNN) 的發展，掀起 AI 技術的新潮流，徹底改變機器學習的領域。¹⁴

三、生成式對抗網路的誕生

2014 年，Ian Goodfellow 等人提出「生成對抗網絡」(Generative Adversarial Network, GAN)，顯著促進 LLM 的發展，並對其應用帶來深遠影響，¹⁵具體表現於以下幾個觀點：

¹⁰ Geoffrey E. Hinton and Simon Osindero et al., "A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets," *Neural Computation*, Vol.18, No. 7 (July 2006), pp. 1527-1554.

¹¹ Yoshua Bengio, "Learning Deep Architectures for AI," *Foundations and Trends® in Machine Learning*, Vol.2, No. 1 (2009), pp. 1-127.

¹² Yoshua Bengio and Aaron Courville et al., "Representation Learning: A Review and New Perspectives," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 35, No. 8 (August 2013), pp. 1798-1828.

¹³ Geoffrey E. Hinton, "Training Products of Experts by Minimizing Contrastive Divergence," *Neural Computation*, Vol. 14, No. 8 (August 2002), pp. 1771-1800.

¹⁴ Yann LeCun and Yoshua Bengio et al., "Deep Learning," *Nature*, Vol: 521, No. 7553 (May 2015), pp. 436-444.

¹⁵ Ian Goodfellow and Jean Pouget-Abadie et al., *op cit*.

- (一)GAN 由生成器和判別器組成，透過對抗學習互相改進。¹⁶
- (二)GAN 能夠生成高度逼真的樣本，特別是在圖像生成領域取得了突破性的進步。¹⁷
- (三)GAN 可於無標籤數據的情況下學習（非監督式學習），大大拓展了 AI 的應用範圍。¹⁸
- (四)GAN 在圖像、文本等生成方面表現卓越，不僅促進「生成模型」(Generative model) 的理論發展，更推動了後續 LLM 發展，在軍事模擬等領域具有潛力。¹⁹

四、大語言模型

自 2017 年以來，LLM，特別是 GPT 系列，在「自然語言處理」(Natural Language Processing, NLP) 領域取得突破性進展，²⁰這一階段的特點，說明如次：

- (一)GPT-3 以其 1,750 億個參數的龐大規模，在自然語言處理領域取得重大突破，為 AI 發展樹立新標竿。²¹
- (二)藉由少樣本學習，LLM 能迅速適應新任務，顯著提升模型的通用性。²²
- (三)LLM 能執行文本生成、翻譯、問答等多種任務，無需針對特定任務進行額外的調整。²³

¹⁶ Alan M. Turing, *op cit.*

¹⁷ Andrew Brock and Jeff Donahue et al., “Large Scale GAN Training for High Fidelity Natural Image Synthesis,” arXiv preprint arXiv:1809.11096, September 28, 2018, <https://arxiv.org/abs/1809.11096>.

¹⁸ Alec Radford and Luke Metz et al., “Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks,” arXiv preprint arXiv:1511.06434, November 19, 2015, <https://arxiv.org/abs/1511.06434>.

¹⁹ Zhaoqing Pan and Weijie Yu et al., “Recent Progress on Generative Adversarial Networks (GANs): A Survey,” *IEEE Access* 7 (2019): 36322-36333; Martin Arjovsky, Soumith Chintala, and Léon Bottou, “Wasserstein GAN,” arXiv preprint arXiv:1701.07875, January 26, 2017, <https://arxiv.org/abs/1701.07875>.

²⁰ Tom Brown and Ben Mann et al., *op cit.*

²¹ *Ibid.*

²² Junyi Li and Tianyi Tang et al., “Few-shot Knowledge Graph-to-Text Generation with Pretrained Language Models,” arXiv preprint arXiv:2106.01623, June 3, 2021, <https://arxiv.org/abs/2106.01623>.

²³ Colin Raffel and Noam Shazeer et al., “Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer,” *Journal of Machine Learning Research*, Vol.21, No. 140 (2020), pp.1-67..

- (四)能更深入理解上下文，生成更連貫、更符合語境的文字。²⁴
- (五)能夠產生獨創性的文本內容，例如故事、詩歌和戲劇。²⁵
- (六)DALL-E 具有能夠根據文字描述生成圖像等跨模態之能力。²⁶
- (七)LLM 的發展引發新的倫理考量，包括 AI 偏見、隱私保護和潛在濫用等問題。²⁷

LLM 的出現，標誌著生成式 AI 邁入新紀元，其卓越的性能不僅拓展了 AI 應用的疆界，更為「通用 AI」（Artificial General Intelligence, AGI）的實現奠定了基礎。

參、美軍與解放軍軍事 LLM 應用現狀

由於 LLM 所帶來的運用潛能，世界上各主要國家刻正積極探索 LLM 在軍事領域的應用，以下是美軍與解放軍的發展現狀：

一、美軍：

美軍對於 LLM 的應用源自對人工智慧在國防領域潛在價值的長期關注。說明如下：

- (一)起源與發展：2018 年，美國國防高等研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）啟動了「AI Next」計劃，開發新一代人工智慧技術，為後續 LLM 應用奠定基礎。²⁸ 2020 年，隨著 GPT-3 等 LLM 的問世，美軍開始了解此技術於軍事領域潛在價值。²⁹ 2023 年，美國國防部正式成立「Task Force Lima」，專門負責研究和部署 LLM 的軍事應用，標誌著美

²⁴ Rishi Bommasani and Drew A. Hudson et al., “On the Opportunities and Risks of Foundation Models,” arXiv preprint arXiv:2108.07258, August 16, 2021, <https://arxiv.org/abs/2108.07258>.

²⁵ Renée DiResta, “AI-Generated Text Is the Scariest Deepfake of All,” *Wired*, July 20, 2020, <https://www.wired.com/story/ai-generated-text-is-the-scariest-deepfake-of-all/>.

²⁶ Aditya Ramesh and Mikhail Pavlov et al., “Zero-Shot Text-to-Image Generation,” in *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning*, PMLR 139 (July 2021), pp. 8821-8831.

²⁷ *Ibid.*

²⁸ Defense Advanced Research Projects Agency, “DARPA Announces \$2 Billion Campaign to Develop Next Wave of AI Technologies,” September 7, 2018, <https://www.darpa.mil/news-events/2018-09-07>.

²⁹ Tom Brown and Ben Mann et al., *op cit.*

軍在此領域投入。³⁰

(二) 主要應用：

1. 軍事決策支援：美軍正探索將 LLM 整合到聯合全域指揮控制（Joint all-domain command and control, JADC2）項目中，以快速分析大量戰場資訊，提供即時戰術建議，提升指揮官之決策能力。³¹
2. 情研分析：美軍目前雖無相關研究，然依「美國國會研究處」（Congressional Research Service）的報告，人工智慧情報分析技術應用於提升非結構化數據處理能力、增強跨語言情報整合、實現自動化情報蒐集分析與改進預測模型。明顯提升情報處理效率、擴大分析範圍，並增強預測能力。然而，在實際應用中仍需平衡資料安全、技術可靠性和與傳統方法的整合等挑戰。³²
3. 模擬訓練：可運用於自動生成複雜的訓練場景和腳本，提升軍事演習的真實性和挑戰性。³³ 具體應用包括模擬多變的戰場環境、建立動態的敵方行為模式，並依訓練者表現即時調整難度。

二、解放軍

解放軍亦致力於開發軍用 LLM，以提升智慧作戰能力，並了解 AI 和 LLM 在未來戰爭中的關鍵地位，將其視為獲取戰略優勢的關鍵因素，說明如下：

(一) 起源與發展：解放軍於 2010 年代啟動人工智慧研究，順應

³⁰ U.S. Department of Defense, “DOD Announces Establishment of Generative AI Task Force,” May 10, 2023, <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3397217/>.

³¹ John R. Hoehn, “Joint All-Domain Command and Control (JADC2),” Congressional Research Service, March 23, 2022, <https://sgp.fas.org/crs/natsec/IF11493.pdf>.

³² Kelley M. Sayler, “Artificial Intelligence and National Security,” Congressional Research Service, R45178, November 10, 2020, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45178>.

³³ Ayesha Binte Rashid and Amit Kumar Kausik et al., “Artificial Intelligence in the Military: An Overview of the Capabilities, Applications, and Challenges,” *International Journal of Intelligent Systems* 2023, no. 1 (2023): 8676366..

AI 發展趨勢。2017 年，中共發布的「新一代人工智慧發展規劃」將軍事應用列為重點³⁴；並密切關注美國的「第三次抵銷戰略」，積極探索 AI 在軍事應用。³⁵此外，採取「軍民融合」戰略，利用民用 AI 技術來促進軍事發展。³⁶中共中央軍委科委會主任劉國治中將強調，AI 將加速軍事變革，解放軍必須抓住此機遇。³⁷「艾武大模型+」系統的提出，意謂解放軍開始專門開發軍事用途的 LLM。³⁸

(二) 主要應用：「艾武大模型+」系統在軍事領域的主要應用包括以下幾個方面：

1. 透過多模態方式，能解讀指揮官口述命令及作戰計畫，可深入理解軍事術語。³⁹
2. 結合人工智慧的推理能力與戰場資訊，並生成符合作戰需求的任務建議。⁴⁰
3. 能快速處理大量戰場資訊，以提升整體戰況的認知能力。⁴¹
4. 支援雲端、邊緣及終端平台的協同作業與指令控制。⁴²
5. 創建逼真的軍事訓練環境，以提升訓練效果。⁴³
6. 利用人工智慧的圖像理解及大數據整合技術，製作精確的戰場

³⁴ 中共國務院，〈中共國務院印發《新一代人工智慧發展規劃》〉，《軍民兩用技術與產品》，第 15 期，2017 年，頁 4。

³⁵ Elsa B. Kania, *Battlefield Singularity: Artificial Intelligence, Military Revolution, and China's Future Military Power* (Washington, DC: Center for a New American Security, November 2017).

³⁶ 中共國務院，〈中共國務院印發《新一代人工智慧發展規劃》〉。

³⁷ 中國網，〈人大代表劉國治：人工智能將加速軍事變革進程〉，2017 年 3 月 8 日，http://www.china.com.cn/military/2017-03/08/content_40428805.html。

³⁸ 崔翛龍與高志強 等著，〈"艾武大模型+"：一種軍事大模型系統的開發與實證〉，《數據採集與處理》，第 39 卷第 3 期，2024 年。

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ 孟燕兵、房超和薛穎，〈智慧化分散式指揮與控制建設及關鍵技術應用〉，《國防科技》，第 45 卷第 1 期，2024 年，頁 55-61。

⁴² 張維明、黃松平、朱承等，〈指揮控制的新範式：邊緣指揮控制〉，《指揮資訊系統與技術》，第 12 卷第 1 期，2021 年，頁 1-7。

⁴³ 胡曉峰、郭聖明、賀筱媛，〈指揮資訊系統的智慧化挑戰——"深綠"計畫及 AlphaGo 帶來的啟示與思考〉，《指揮資訊系統與技術》，第 7 卷第 3 期，2016 年，頁 1-7。

態勢圖。⁴⁴

7. 透過人工智慧的知識萃取技術，能迅速從軍事文件中擷取關鍵的作戰資訊。⁴⁵

這些應用涵蓋了從戰略規劃到戰術執行的多個層面，充分展現「艾武大模型+」系統在智慧化指揮領域的全面性與前瞻性，應須值得深思，並且檢討我國軍事應用 LLM 之必要性。

肆、LLM 在軍事決策中的應用

一、軍事策定程序（MDMP）的增強

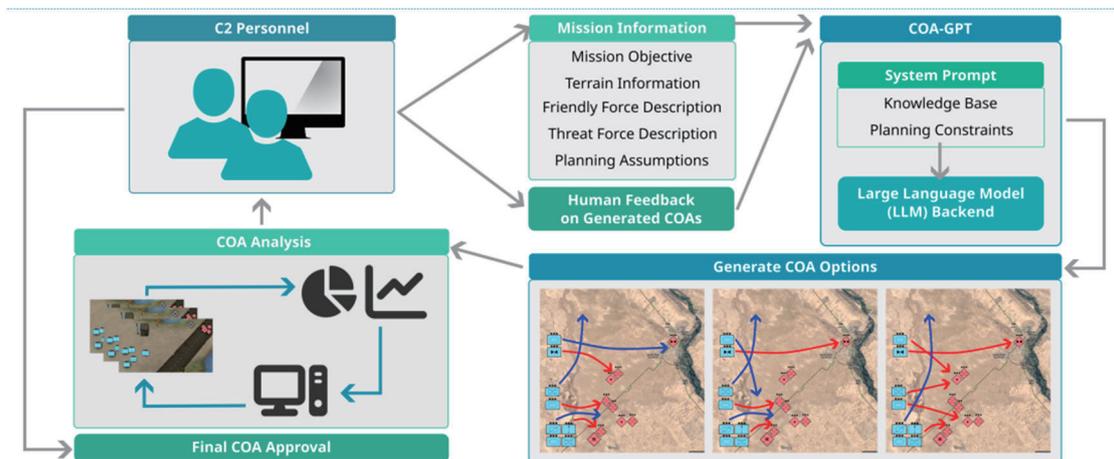


圖 5-1、美軍 COA-GPT 演練流程

資料來源: Vinicius G. Goecks and Nicholas Waytowich, "Coa-GPT: Generative Pre-trained Transformers for an Accelerated Course of Action Development in Military Operations," in *2024 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS)* (IEEE, 2024), pp.1-10.

二、情境模擬和戰場預測

美軍運用 LLM 及 AI 技術來強化軍事模擬訓練。主要應用包括：

- (1) 使用 COA-GPT 快速生成各種行動方案，提高決策效率；
- (2) 在 StarCraft II 遊戲引擎上建立軍事場景模擬環境；
- (3) 結合人機協

⁴⁴ 程霄，《基於知識圖譜的軍事資訊系統設計與實現》（北京：北京郵電大學，2023 年）。

⁴⁵ *Ibid.*

⁴⁶ Vinicius G. Goecks and Nicholas Waytowich, "Coa-gpt: Generative Pre-trained Transformers for Accelerated Course of Action Development in Military Operations," in *2024 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS)* (IEEE, 2024), pp. 1-10.

作，指揮官通過口述方式修改 AI 生成的方案；(4) 利用強化學習訓練 AI 代理人，使其能於複雜環境中自主決策；(5) 通過模擬評估不同方案的效果，包括總體得分和傷亡指標。這些應用顯著提升軍事訓練的效率和真實性，為指揮決策提供有力支持。⁴⁷

三、敵情分析和預測

LLM 在敵情分析與預測方面展現出顯著的潛力。崔翛龍等人（2024）開發的「艾武大模型+」系統在敵我態勢分析中表現優異，能夠快速整合多元的敵情資訊，識別敵方的意圖，並生成全面的態勢報告。⁴⁸美軍 2024 年研究指出 LLM 可用於預測敵方行動、分析戰略模式，並生成多種潛在情境，⁴⁹其能快速處理大量非結構化資料，自動識別潛在威脅，並模擬複雜戰場情境，顯著提升情報分析的效率與準確性。然而，數據可靠性、模型偏差及可解釋性等問題仍需解決，以充分發揮其在敵情預測中的優勢。

伍、案例模擬：淡水河口防禦作戰

本研究運用 Claude 3.5 大型語言模型，透過提示工程將 AI 代理人塑造成淡水地區的軍事指揮官，負責漁人碼頭與觀音山的防禦。考量解放軍福建軍區的 22 型飛彈快艇威脅，採用 MDMP 決策流程，並以 Python 程式繪製兵棋推演圖。研究結果顯示，以「前沿重點防禦」為核心，提出三種可行方案並進行詳細評估，並繪製兵棋推演圖，具體方案如下表：

⁴⁷ 崔翛龍與高志強 等著，〈"艾武大模型+"：一種軍事大模型系統的開發與實證〉。

⁴⁸ *Ibid.*

⁴⁹ William N. Caballero and Peter R. Jenkins, "On Large Language Models in National Security Applications," arXiv preprint arXiv:2407.03453, July 7, 2024, <https://arxiv.org/abs/2407.03453>.

表 5-1、方案評估與兵棋推演

項次	前沿重點防禦	縱深彈性防禦	側翼包抄策略	
方案說明	<ul style="list-style-type: none"> ● 3 個機步營部署在漁人碼頭周邊 ● 1 個機步營駐守觀音山 ● 1 個機步營作為機動預備隊 	<ul style="list-style-type: none"> ● 2 個機步營部署在前沿陣地 ● 2 個機步營設置縱深陣地 ● 1 個機步營作為機動預備隊 	<ul style="list-style-type: none"> ● 2 個機步營正面防守漁人碼頭 ● 2 個機步營隱蔽於觀音山兩側 ● 1 個機步營作為預備隊 	
方案分析	<ul style="list-style-type: none"> ● 優點：前沿防線強大，可迅速反應敵軍登陸 ● 缺點：縱深防禦薄弱，易被突破 	<ul style="list-style-type: none"> ● 優點：防禦縱深大，靈活性強 ● 缺點：前沿防線相對薄弱 	<ul style="list-style-type: none"> ● 優點：可能造成敵軍側翼潰敗 ● 缺點：正面防禦力量不足，風險較大 	
方案評估	前沿防禦能力	高	中	低
	縱深防禦	低	高	中
	靈活性	中	高	高
	突襲能力	低	中	高
	風險	中	低	高
方案建議	<p>綜合分析後，選擇方案二：縱深彈性防禦，主要原因為：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 提供了良好的防禦縱深，增加了防線的韌性。 ● 保持了較高的靈活性，可以應對不同的登陸情況。 ● 平衡了風險和防禦能力，適合面對不確定的敵情。 			
兵棋推演圖				

資料來源： Claude 3.5 產製 (<https://claude.ai/chat/10033417-77f9-445d-be27-35efa8f8d664>)。

目前 LLM 在軍事應用上仍有局限性且尚未符合實需，需整合相關軍事專家建議與準則要求，進一步微調（fine-tune）或擷取增強生成（Retrieval Augmented Generation, RAG）以符合軍事規範。未來應建立專用的軍事 LLM，整合多方數據並採用離線部署，以提升系統的安全性與可靠性。結合地理資訊系統等工具，可實現多元資訊整合與快速方案生成，強化軍事決策支援能力。

陸、國軍兵棋推演中的未來具體應用

近年來，LLM 在軍事決策支援方面具有廣泛應用前景。其可協助制定與評估行動方案，提升決策效率與準確性。在國軍兵棋推演中，LLM 可發揮以下三點作用：

一、快速生成多元行動方案

COA-GPT 等大型語言模型在軍事決策支援上展現出巨大潛力，能快速生成多種行動方案，擴大戰略選項，並減少主觀偏見，顯著提升決策效率與準確性。未來研究應提升 COA-GPT 系統的可靠性與適應性，並探索人機協作，以最大化其在軍事決策中的效用。總體而言，COA-GPT 等系統具有增強軍事指揮控制效率之潛能，但其長期影響仍需進一步評估。

二、增強戰場態勢感知

LLM 亦可快速處理大量非結構化情報，自動識別潛在威脅，模擬複雜的敵我形勢。這些能力有助於提高軍事情報分析的效率和準確性。然而，實際應用仍然面臨挑戰，包括確保資料可靠性、減少模型偏差、提高可解釋性、增強模型對不斷變化的環境的適應性。克服這些挑戰對於充分發揮 LLM 在敵方分析和預測方面的潛力至關重要。

三、提升兵棋推演與模擬的系統環境

LLM 在增強現有戰術模擬系統方面展現出明顯的優勢。Goecks 等學者指出，這些模型能夠提供更真實且動態的敵方行為模擬，以大幅提升模擬真實性。如 StarCraft II 遊戲環境中進行的實驗顯示，基於 LLM 系統能夠生成更複雜、更具適應性的敵方策略。⁵⁰ Waytowich 等人的研究表明，這些模型透過整合 GIS 與氣象數據，能打造逼真的戰場環境，提升模擬訓練的實戰效能。⁵¹

柒、小結與建議

LLM 在國軍兵棋推演中的應用前景廣闊，具有顯著提升軍事決策效率和效果的潛力。透過整合先進的 AI 系統，如 COA-GPT，國防軍隊能夠實現更快速的行動方案生成、更精確的情境模擬和更全面的敵情分析。這些能力對應對現代戰爭的複雜性和不確定性至關重要。

然實現此潛力需要國軍於技術、政策和人才培育等做出系統性的努力，我們可體認 LLM 技術的應用不僅是技術問題，亦牽涉到組織變革、倫理考量和戰略思維等複雜過程。有鑒於此，以下提出建議：

- 一、國軍應強化軍事 LLM 研發，聚焦台海戰場需求。開發高適應性模型；提升複雜環境效能；研製智慧決策輔助；強化資電作戰應用；發展本土化智慧偵監系統。提升現代化作戰能力。
- 二、構築高安全性、高效能的數據管理系統，支援軍事 LLM 應用發展。重點包括：強化數據安全防護、優化數據處理流程、制定

⁵⁰ Vinicius G. Goecks and Nicholas Waytowich et al., "On Games and Simulators as a Platform for Development of Artificial Intelligence for Command and Control," *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, Vol. 20, No. 4 (2023), pp. 495-508, <https://doi.org/10.1177/1548512921999153>.

⁵¹ Nicholas Waytowich and Joshua Hare et al., "Learning to Guide Multiple Heterogeneous Actors from a Single Human Demonstration via Automatic Curriculum Learning in StarCraft II," in *Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications IV*, Vol. 12113 (SPIE, 2022), 283-293.

數據治理規範。此舉將為國軍人工智慧戰力提升奠定堅實基礎。

- 三、強化軍官 LLM 素養，培育軍事與自然語言處理專才。調整軍校課程，納入深度學習、自然語言處理等科目。與民間大學及科技業建立產學合作，引進最新 LLM 技術，提升國軍在智慧化指揮決策的能力。
- 四、建立 LLM 在軍事應用中的規範，並制定相應的倫理準則和監管機制。確保國軍人工智慧發展遵循國際標準，並調和國防需求與科技倫理之間的關係。
- 五、發展人機協作模式，優化 LLM 與指揮官之間的互動機制，強化 AI 輔助決策的效能。確保 LLM 能夠增強而非取代人類的判斷，提升國軍的智慧化作戰能力，實現人機協同的最佳效果。
- 六、鑒於 LLM 對數據的依賴，加強網絡安全措施至關重要。這包括強化 LLM 自身的安全性與保護支持 LLM 運作的整個數據生態系統。

藉由上述建議，國軍得以充分發揮 LLM 的潛力，提升兵棋推演的效率，增強決策能力，進而提高整體國防實力。然而，我們必須時刻謹記，技術僅為手段，非為目的。人工智慧的應用應服務於更廣泛的國家安全戰略，並與我們的價值觀和倫理準則相符。於人工智慧快速發展的時代，國軍面臨著機遇與挑戰。透過謹慎而積極的方式採納和應用 LLM 技術，得以在未來複雜的安全環境中保持戰略優勢，為台海和平與安全提供更有力的保障。

本文作者羅裕耀為元智大學工業工程管理博士候選人，主要研究領域為：人工智慧、人因工程、生成式 AI、美中無人機發展、中共戰略支援部隊與人工智慧、大語言模型軍事應用

The Use of Large Language Models in Military Computer Simulations in Taiwan's Army

Yu-Yau LUO

ABSTRACT

This study aims to explore the potential applications and impacts of large language models in military wargaming for Taiwan's army. It also seeks to analyze how rapidly deployable large language models can enhance the Military Decision-Making Process (MDMP) to improve the efficiency and effectiveness of wargaming.

Study results indicate that large language models demonstrate extensive application potential in decision-making processes. Specifically, they can accelerate the generation of action plans, enhance military simulations and rapid battlefield prediction capabilities, improve the accuracy of enemy situation analysis and forecasting, generate diverse action plans, enhance the ability to capture battlefield information, and improve the realism and dynamism of simulation exercises.

However, the study also highlights the challenges that may arise during the implementation process, such as information security, ensuring harmonious human-machine collaboration, enhancing the transparency and interpretability of models, and addressing ethical concerns related to Artificial Intelligence (AI). Therefore, it is advisable to commence extensive research and development of military AI technology, enhance the training of relevant professionals, and establish appropriate policy frameworks to address these challenges.

Keywords: Large Language Model, Generative Adversarial Network, COA-GPT, Military Decision-Making Processes, AI ethics

俄烏戰爭對開源情報和軍事模擬的影響： 情報民主化的趨勢

杜長青

國防大學國際與國防事務學院戰略研究所

壹、前言

2024年8月6日，烏克蘭經過了精心準備並權衡了資源分配，對俄羅斯庫斯克州（Kursk）發動跨境突襲，深入俄國境內30公里，佔領大片俄羅斯領土。在庫斯克反攻中，種種跡象顯現烏克蘭經過了縝密的情報蒐集分析與兵棋推演，在權衡資源分配後決定調動精銳部隊，以及投入歐美各國援助的武器裝具，刻意繞過俄羅斯陣地，致使俄羅斯遭逢二戰以來首次遭到外國軍隊入侵領土的重大恥辱。

烏克蘭此次成功的反攻令士氣大增，也為後續烏俄雙方可能進行的和談，爭取更多的籌碼。事實上，針對此次行動，外媒報導分析認為烏克蘭能成功突襲的原因，主要在於「保密」、「情報分析精確」與「運用精銳單位執行任務」等因素。而此次作戰行動在各國智庫如英國「國際戰略研究所」（International Institute for Strategic Studies, IISS）、「美國戰爭研究所」（Institute for the Study of War, ISW）以詳盡的開源情報（Open Source Intelligence, OSINT）進行兩軍態勢分析；抑或是BBC、CNN等國際媒體以各類衛星空照圖與現場圖片進行即時補充報導；甚或是非國家行為者與國際志工所架設的 *DeepStateMap.Live*，將戰況以互動地圖呈現，並積極揭露俄軍部隊動向與不利消息等等，顯示俄烏戰爭爆發後 OSINT 情報來源益加多元，而「情報去中心化、民主化」（The democratization of intelligence）的結果，也對傳統情報蒐集及分析模式造成衝擊。

本文後續將依序針對崛起的非國家行為者協力進行的公開情報蒐集作為，對於軍事決策流程、戰場情報準備、兵棋推演與模擬以及對於後續決策的影響進行分析，並進一步探討民主同盟國家如何因應趨勢與肆應變革，制定更為全面的情報戰略合作架構，強化政府部門以及非政府行為者對於協力 OSINT 準備、蒐集、分析、運用等概念的理解與認識。

貳、友盟國家對烏克蘭的軍事援助與訓練

自1993年以來，美國國民警衛隊一直與烏克蘭正規武裝部隊合作，促進漸進式改革，包括將快速決策權下放給基層軍官的訓練。2014年俄羅斯入侵克里米亞後，美國及西方友盟國家即對烏克蘭持續進行軍事援助與人員訓練，其中以美國與EUCOM和SOCOM合作的陸軍第10特種部隊群（The U.S. Army's 10th Special Forces Group）負責為烏克蘭特種部隊進行訓練，持續加強雙方的協同作戰能力培養，並逐步協助烏克蘭特種作戰部隊支援境外醫療救援、提供武器使用指導等任務¹。除了教導小部隊戰術外，2020年開始由綠貝雷帽（Green Berets）和佛羅里達國民警衛隊第20特種部隊（20th Special Forces Group）協助在烏克蘭的亞沃里夫軍事基地（The Yavoriv Base）進行「抵抗作戰」（resistance operations）²能力培訓，迄2022年1月間，總計培訓了約27,000名烏克蘭特種部隊成員。

在危機預警與情資分享上，美國情報界於2021年12月，即告警稱「俄羅斯計劃出動175,000名士兵對烏克蘭發動大規模軍事進攻

¹ Leigh, N. "Are Western Special Operations Forces in Ukraine?" *Overt Defense*. July 13, 2022, <https://www.overtdefense.com/2022/07/13/are-western-special-operations-forces-in-ukraine/>; Schmitt, E., Barnes, J. E. and Cooper, H. "Commando Network Coordinates Flow of Weapons in Ukraine, Officials Say." *New York Times*, June 25, 2022.

² 《抵抗作戰構想》在於協助確保國家戰略安全，因應部分或整體國家主權可能遭侵害進行自衛的準備。

」；³2022年2月11日，美國即公開警告「俄羅斯明顯有可能在幾天內入侵烏克蘭」。⁴事實上，西方國家透過全員情報的蒐集分析，早就預警俄羅斯將對烏克蘭進行攻擊，而拜登政府更積極以「偵測嚇阻」(Deterrence by Detection)的方式，整合運用整合情監偵(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, ISR)平台資源來公開情報以試圖威懾俄羅斯的侵略⁵。而後，美國在德國「拉姆施泰因」(Ramstein)成立一個規劃和協訓小組，由美國空軍和空軍國民警衛隊為烏克蘭空軍提供支援和戰術訓練。美國陸軍「歐洲-非洲聯合多國模擬中心」(U.S. Army Europe-Africa's Joint Multinational Simulation Center, JMSC)等單位亦運用模擬來協援烏克蘭武裝部隊指揮官及部隊參謀的培訓。許多專家認為，烏克蘭武裝部隊能夠抵禦俄羅斯大軍的入侵，其關鍵因素除了西方持續不斷的軍事援助以及平民自發性的支持與抵抗行為，自2015年以來接受美國系統化的軍事訓練與新穎的戰術戰法概念提供，也是持久作戰的一個重要關鍵因素⁶。

³ Shane Harris and Paul Sonne, "Russia Planning Massive Military Offensive Against Ukraine Involving 175,000 Troops, U.S. Intelligence Warns," *Washington Post*, December 3, 2021, https://www.washingtonpost.com/national-security/russia-ukraine-invasion/2021/12/03/98a3760e-546b-11ec-8769-2f4ecdf7a2ad_story.html.

⁴ Julian Borger and Dan Sabbagh, 'US Warns of "Distinct Possibility" Russia Will Invade Ukraine Within Days', *Guardian*, February 11, 2022, <https://www.theguardian.com/world/2022/feb/11/biden-ukraine-us-russian-invasion-winter-olympics>.

⁵ Katie Bo Lillis, *Natasha Bertrand and Kylie Atwood*, "How the Biden Administration Is Aggressively Releasing Intelligence in an Attempt to Deter Russia," *CNN*, February 11, 2022, <https://edition.cnn.com/2022/02/11/politics/biden-administration-russia-intelligence/index.html>

⁶ 美軍特種部隊也開設包括平民為戰鬥部隊提供各種類型的支援訓練相關課程(例如情報、燃料、糧食補給等)，以協助烏克蘭部隊維持戰鬥力。Egle E. Murauskaite, "U.S. Military Training Assistance to Ukraine Impact Assessment," *ICONS Project*, the University of Maryland, 2023, p.11.

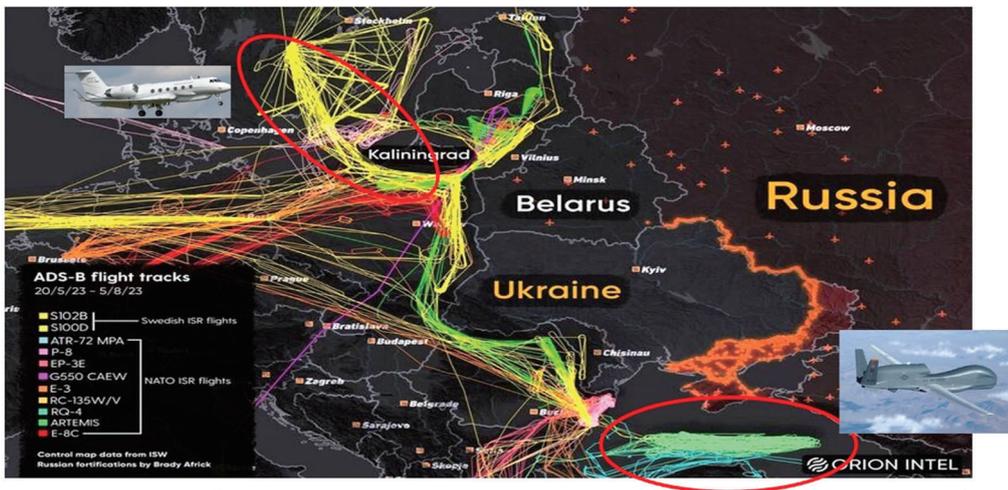
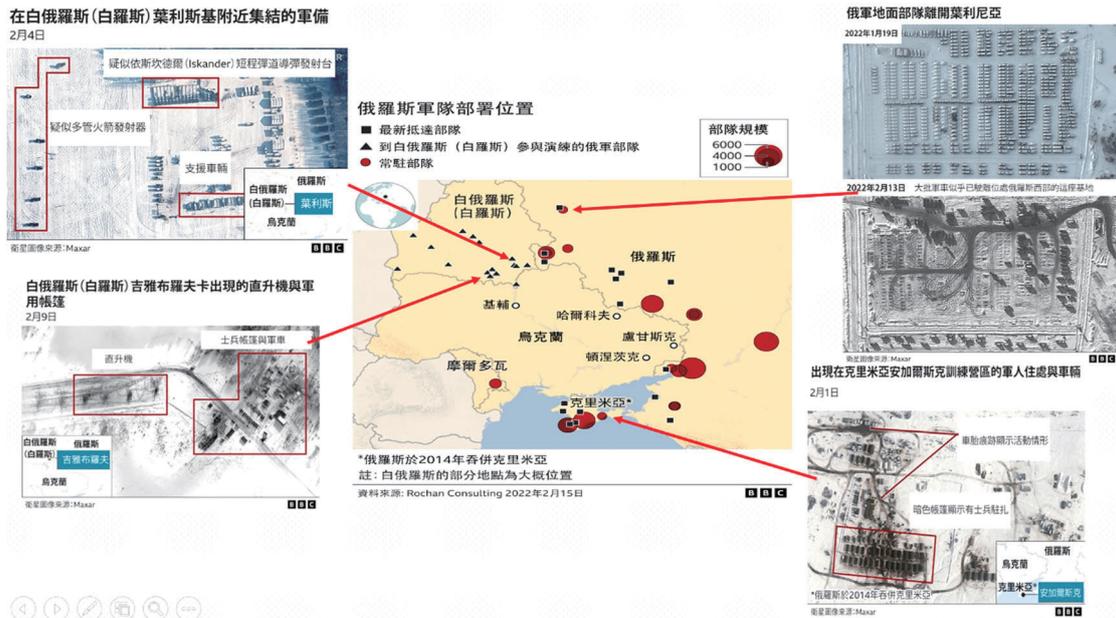


圖 6-1、西方國家提供烏克蘭及時預警情資

資料來源：編輯彙整自 David Brown，〈烏克蘭危機：俄羅斯都做了哪些作戰準備？〉，《BBC NEWS 中文》，2022 年 2 月 15 日，
<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-60385123>。

參、俄烏戰爭後的情報民主化趨勢

2014年俄羅斯侵占克里米亞後，美國和北約特種部隊即派遣軍事人員進駐烏克蘭協助進行部隊訓練，因此烏克蘭承繼美軍許多作戰思維，在指揮參謀作業流程上，亦借引許多概念以尋求與西方陣營建立協同作戰圖像。為了有效掌握作戰地區兵要、氣象、敵軍狀況、可用部隊資源、時間空間、民事（Civil Considerations）因素其

他情報狀況，以尋求對作戰環境、上級期望、任務使命、力量與資源等內容有深入了解，因此必須在決策過程中，必須對所接獲的任務進行全般的分析，因此必須透過公開資訊（Publicly Available Information）和開源情報（Open Sources Intelligence, OSINT）的適當蒐集、分析與整合，以形成有效的全源情報（All-source Intelligence），用以決策過程所有的資訊需求⁷。

俄烏戰爭爆發後，私部門與國際非營利組織（International Non-Government Organizations, INGOs）大量應用開源情報來協助烏克蘭進行作戰。例如2022年戰爭爆發初期，俄羅斯駭客成功破壞了傳統衛星通信，烏克蘭立即轉向使用由數千顆低軌道衛星組成的商用低軌衛星Starlink系統，構築綿密的C4ISR網絡，並運用PD-1無人偵察機及「三角洲」（Delta）系統，持續對俄羅斯部隊進行打擊⁸。此外，由非營利組織「Deep State UA」於2022年2月所建立的公開來源情報互動式線上地圖「DeepStateMap.Live」，該團隊擁有超過100名志願者以及60名負責事實查核人員，平日由各種開源情報如當地居民照片、社交影音平台、官方訊息中尋找地理位置以確保地圖準確性，定期匯集更新俄烏前線作戰態勢、俄軍部隊動向以及戰爭中的重大衝突事件，有效傳遞戰場景況並爭取國際對烏克蘭的輿論支持⁹。這些由公民團體、私部門與非營利組織大量建構的OSINT資訊網路讓戰場透明化大增，促使傳統仰賴官方及人員情報獲取重要訊息的模式大幅改變。

⁷ Army Techniques Publication, “Open-Source Intelligence (ATP 2-22.9),” *The US Army Headquarters*, July 10, 2012, pp.1-4.

⁸ 〈「星鏈」成烏克蘭下載量最大的APP！可引導無人機發射導彈，外媒盛讚馬斯克幫了烏克蘭大忙〉，《VITO雜誌》，2022年3月，<https://vitomag.com/society/bybdgz>。

⁹ Сергій Горбатенко, “DeepState: хто та як робить популярну мапу війни в Україні,” *Radio Свобода*, October 2022, <https://web.archive.org/web/20230822192424/https://www.radiosvoboda.org/a/deepstate-mapa-vijny-v-ukrajini/32094916.html>.

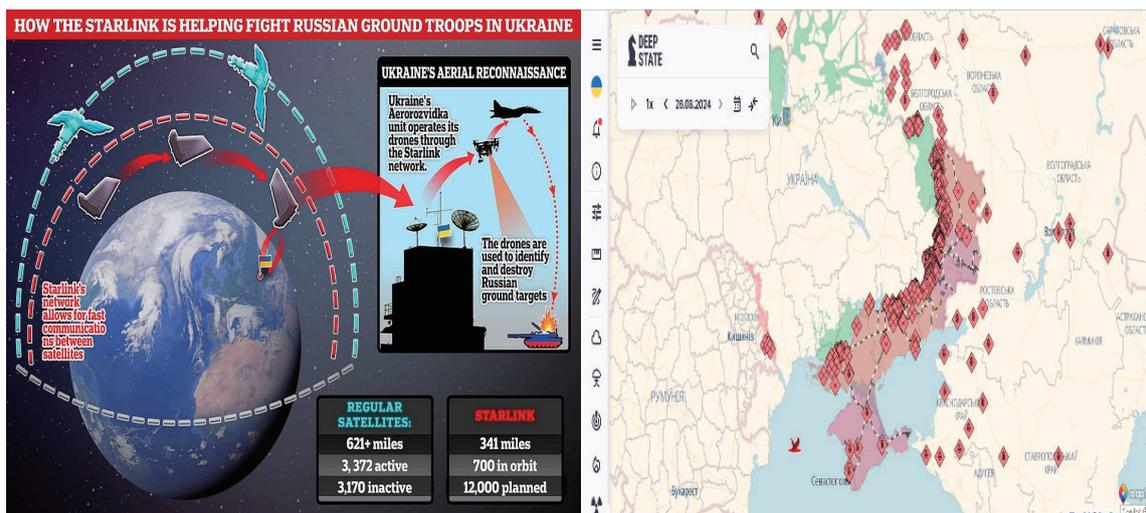


圖6-2、商用低軌衛星Starlink系統與非營利組織創建的「DeepStateMap.Live」俄烏戰事互動地圖

資料來源：同前註8、9。

傳統對於OSINT的定義，係指由公開資訊中蒐集有用資訊的一門情報學科，這些情報被收集、運用後，可以以滿足特定國家行為者（多數為情報部門）的情報資訊需求。但近年烏克蘭的作戰歷程運用大量非國家行為者（如一般公民、私部門、非營利組織等等）所提供的蒐集技術與各類數據資料，普及的資訊設備、感測技術與強大的演算法，致使國家及其代理不再是情報產、分析和傳播的唯一參與者。2022年12月至2023年5月間，跨國民間組織提供各種模擬工具如「自動化電腦兵棋模擬系統」（MASA SWORD Defense），可進行團、旅或營級的指揮官等多種指揮層級訓練模擬協助，有利於任務、邊界、戰線、目標和戰術準則行動的規劃與執行演練，藉以提升烏克蘭陸軍、國民警衛隊和國家邊境服務局抵抗俄羅斯的入侵的能力¹⁰。而烏克蘭政府亦能巧妙地整合非國家情報工作者，利用獨立的國際志工團體為基輔的防禦做出積極貢獻。雖然這些情報輔人員在組織形式、能力等各方面展現高度的靈活適應性以及去中心

¹⁰ Thomas Lasch, "M&S Support to the Ukrainian Land Forces," *NATOC2X2 Forum Agenda*, July 2023, p. 26, <https://www.mscoe.org/content/uploads/2023/10/Agenda-CF23-3.5.pdf>.

化指揮結構的價值，相對來說，也由於情報民主化缺乏統一的結構或原則，除了可能致使公民團體變成武裝衝突中的「合法目標」，亦讓俄羅斯模仿OSINT使用的技術來創造虛假論述並混淆事實¹¹。

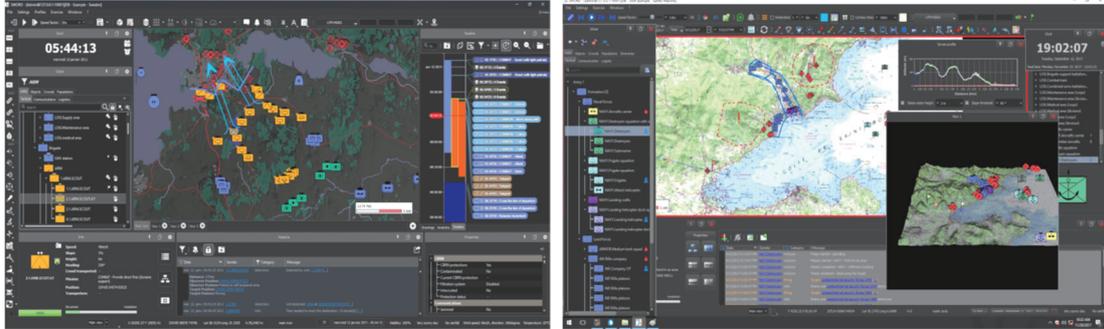


圖6-3、協助烏克蘭軍方作戰與訓練的MASA SWORD Defense軟體畫面

資料來源：MASA公司網站

https://www.masasim.com/en/_files/ugd/8d4563_d431910e1e26462680f6ada5e40143f9.pdf。

為了因應情報民主化的變革趨勢，美國國務院情報研究局於2022年創建了開源協調部門，並借鑒俄烏戰爭中各類型OSINT的資源運用情形，於2024年7月首次公佈「美國開源情報戰略」（Open Resource Intelligence Strategy），內容側重於制定有關開源情報使用、投資開源情報能力和資源，強化開源情報培訓和分析技術的合理治理和政策指導，並加強與盟友、合作夥伴、工業界、學術界和其他非政府實體的合作。其中，除與「國家開源委員會」（National Open Source Committee, NOSC）協調，制定符合情報處理作業程序、標準機制（SOP），以及開發工具、平台來增強分析、協作和開源資訊共享，更積極訂定商業數據、工具和平台的預算規劃、獲取、部署和採用策略，與產業界合作以優化開源情報的使用¹²，讓美國及其盟國透過OSINT收集和分析架構與標準，有機會與非國家情報

¹¹ Thomas Ewing, “Integrating Nonstate Intelligence: Ukraine Shows How It Might Work,” *RESEARCH SHORT*, National Intelligence University, December 2022, https://ni-u.edu/wp-content/uploads/2023/11/NIUShort_20221207_-DNI_2022_05375Unkdrane.pdf.

¹² Bureau of Intelligence and Research, “Open Resource Intelligence Strategy,” *US. Department of State*, May 2024, <http://mkc.cmes.org/article-detail/135819/466635>.

輔助機構合作，預先為此類挑戰做好準備。

肆、系統化 OSINT 蒐集、兵棋推演與模式模擬

美軍現行指揮參謀作業計畫與執行流程，不同的階層（如國家戰略階層、軍事戰略階層、作戰/戰術階層），均有不同的計畫與決策程序，用以檢查作戰概念、培訓參謀、探索可能威脅因素，並進一步評估部隊計畫作為與各種方案對作戰的可能影響。例如美國陸軍「軍事決策程序」（Military Decision Making Process, MDMP）就是一種分析框架，用以提供作戰場景中面對快速變化的敵情、任務及各行動方案分析後，參謀人員如何有效評估較佳行動方案，以作為指揮官下達決心/決策之參考。¹³進一步將美軍各種不同層級的指揮參謀作業流程進行比較（如下圖所示），可以發現美軍不同階層、不同軍種運用的指參作業程序中，第一階段為任務分析或危機評估，其中關鍵要素即是必須要預先進行詳盡的「戰場情報準備」（Intelligence preparation of the Battlefield, IPB）。

美軍教範律定部隊在接到任務後，指揮官須指導並要求參謀人員以OSINT進行公開資訊的初步評估，整個IPB產製過程包含「計劃、準備、蒐集和產製」（Plan, Prepare, Collect, Produce）四個步驟，以及「分析、產製情報知識、評估和訊息傳佈」（Analyze, Generate Intelligence Knowledge, Assess, and Disseminate）四個持續性行動，逐步由定義作戰環境、分析環境對威脅與友軍行動的影響（如地形、天候、民事考慮）、威脅評估與確定行動方案（識別、制定和確定可能影響友軍任務完成的可能威脅行動方案）¹⁴。

¹³ Max H. Bazeman, *Judgment in Managerial Decision-Making* (New York: John Wiley and Sons, 2002), p. 2.

¹⁴ Army Techniques Publication, “Open-Source Intelligence (ATP 2-22.9),” *The US Army Headquarters*, July 10, 2012, p. 2-2.

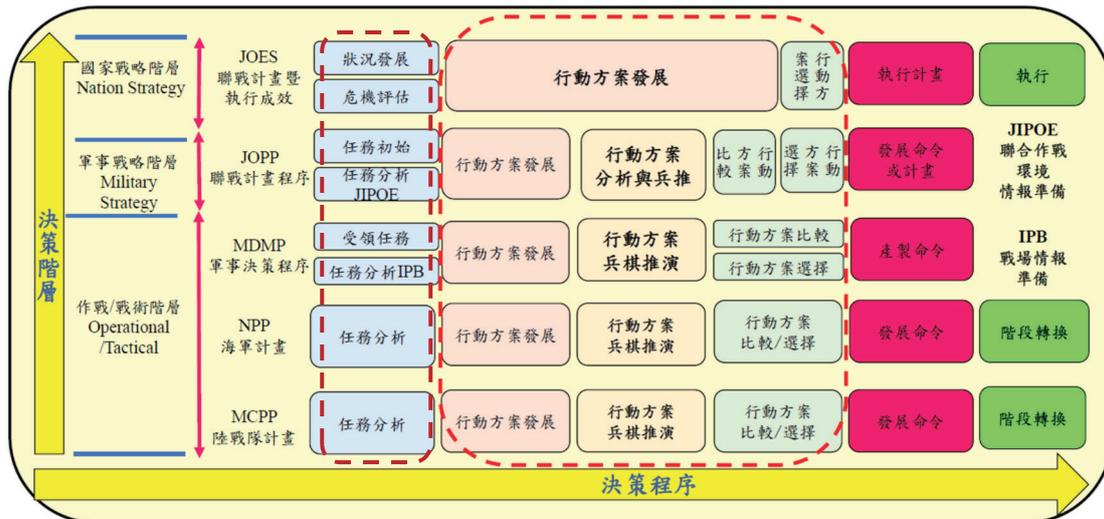


圖6-4、美軍不同軍種於不同階層之指參作業程序比較

資料來源：轉引自杜長青，〈勝兵先勝—應用商規(COTS)兵推軟體輔助決策教育之研究〉，《國防雜誌季刊》，第39卷第3期，2024年10月，頁22。

此階段IPB準備成效完善與否，仰賴於各項情報之蒐集及資料庫之建立，包含兵要情報、氣象情報、敵軍情報及其他情報等資料庫等等，其設計的目的在於支援MDMP和部隊領導程序，提供特定區域和任務的威脅、地形、天氣和民事考慮等變數，並據以進行情報資訊可視化的產出¹⁵。透過應用戰場情報準備，情報單位可以有效進行情報計畫準備、敵情資料處理，並進行情報判斷，以進行後續方案比較分析，提升決策效益，而個人、私部門、跨機構組織、非營利組織和跨國組織大量OSINT資料的產製提供，可以彌補過往在IPB地形分析上軍用地理資訊缺乏及時及有效性的問題，由非政府單位提供另類的現勘兵要資料，提升情報資訊的準確性，及時滿足指揮官「重要情資需求」(Commander's Critical Information Requirements, CCIR)。

¹⁵ Ibid, pp. 1-2-1-4.

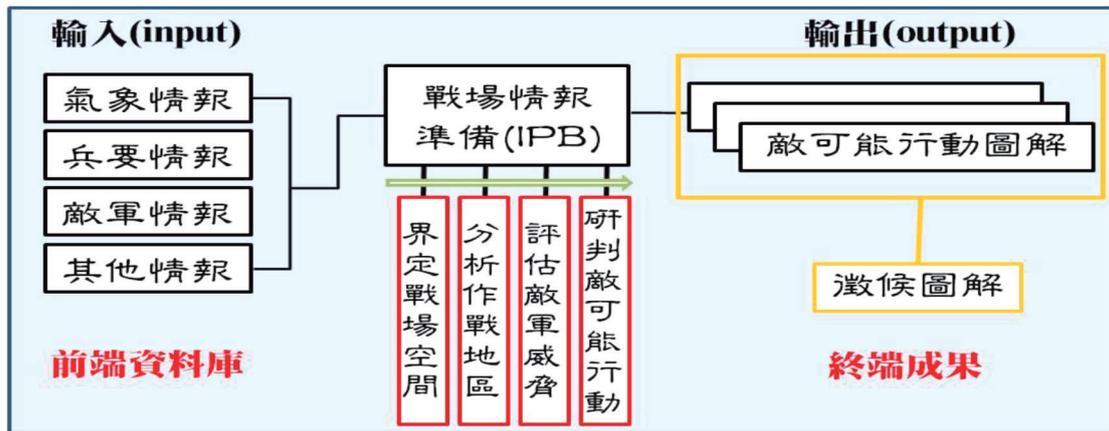


圖6-5、戰場情報準備作業思維程序

資料來源：高旻生，〈旅、營級戰場情報準備作業要領及其內涵之研究〉，《步兵季刊》，第270期，2008年10月，頁2。

其次，在 MDMP 的流程中，不同類型的行動方案多需要經過兵棋推演來分析優劣，因此在此一階段中，美軍經常運用各種類型的兵棋推演工具以測試各種行動方案之可行性，提供行動方案的改進意見，據此發現預期外的關鍵事件、行動、需求或相關的問題，以研擬最佳行動方案。「模式」(Modeling)、「模擬」(Simulation)、「兵棋推演」(Wargaming) 三個名詞中，「模擬」是「模式」的集合體，美國軍事專家鄧尼根認為，「兵棋推演」是具有對抗性質的「模擬」¹⁶。現代國家運用兵棋輔助軍事行動方案分析非常普遍，美軍認為運用兵棋推演來針對選定的行動方案 (Course of Action, COA) 進行比較分析，可以使決策者與參謀人員可以明確知道各行動方案的優點與缺點，據以進行風險威脅評估及行動方案選定流程¹⁷。由此可知，「兵棋推演」與「模式模擬」兩者具有類同內涵，在軍事決策判斷過程中，都扮演著行動方案分析驗證、支援指揮官決心下達的重要平臺或工具，是整體性搭配運用的概念，其重點在於進行「模擬

¹⁶ 何其昌主編，《桌面戰爭-美國兵棋發展應用及案例研究》(中國：航空工業出版社，2017年)，頁2。

¹⁷ 同前註，頁152。

」與「推演」後，所獲得之結果¹⁸。因此，全源情報中關於公開資訊與 OSINT 的蒐集成效良窳，將直接影響軍事決策流程中 IPB 成效以及兵棋推演及模式模擬的結果。而運用模擬戰場上的交戰數據可以輔助兵棋推演中的質性探討結果，以支持指揮官或決策者更明智的決策。

以北約「模式模擬與數位卓越中心」(Modelling & Simulation, Centre of Excellence, M&S COE) 目前建構的模擬軟體「兵棋互動場景數位疊加模型」(the Wargaming Interactive Scenario Digital Overlay Model, WISDOM) 為例，此套軟體可作為北約軍事和民間領域教育訓練、實驗與作戰任務整備使用。該模型將不同的兵棋推演和模擬方法所產製的各種戰術資訊整合至同一個戰略兵棋平台上(目前亦試圖與前面提到的 MASA SWORD Defense 軟體進行整合)，首先運用全源情報建置完各類 IPB 之後，該整合模型透過模擬計算每個行動方案的最佳路線，除了將直／間接射擊的火力裝備、敵軍位置、地形、友軍和敵軍的防禦狀態、戰術作為等要素納入考量，可確認每一個作戰單位與支援部隊的角色並賦予適切任務，是目前北約運用作為管理複雜戰場的有效決策支援工具之一，亦凸顯系統化 OSINT 蒐集對於兵棋推演與模式模擬的重要性。

¹⁸ 兵棋推演是戰術分析研究的一種技術，而「模式模擬」更著重運用電腦技術，並以作業研究(運籌學)為中心的建模、模擬和分析，透過自動化和軍事實驗可定量和定性地為決策提供更多元而充足的資訊，請參閱林傳凱，〈國防安全研究院模式模擬與兵棋推演發展目標〉，《國防情勢特刊》，第 25 期，2023 年 3 月，頁 24-26。



圖6-6、「兵棋互動場景數位疊加模型」(WISDOM)介面模擬圖

資料來源：Francesco PACILLO, “2023 NATO M&S CoE Annual Review,” *NATO Modelling & Simulation Centre of Excellence*, June 2024, p. 37。

伍、全源情報的蒐集分析與烏克蘭經驗借鑒

一、美軍 IPB 運用 OSINT 蒐集分析流程

俄烏戰爭的經驗顯示，情報不僅是提供給指揮官或決策者現成的分析資料，也是在危機情況下實現戰略效果的重要手段或管道，而面對瞬息萬變的戰場局勢，需仰賴完善的 C4ISR 網絡架構以獲取重要情報訊息，並針對各種因應方案進行兵推與模擬驗證。為了確保全源情報來源的正確性，美軍於準則中清楚律定 OSINT 分析流程與原則。在確認指揮官與上級意圖方向後，參謀人員開始依循「確定資訊和情報需求」、「依類型對情報需求進行分類」、「確定資訊蒐集來源」、「確認蒐集技術」等四個步驟進行公情資料蒐集分析，以確保任務變數和作戰變數（政治、軍事、經濟、社會、資訊、基礎設施）資訊精確性，後續再以兵棋推演/模式模擬來進行各類行動方案比較，俾做為領導者進行最後決心下達的參考憑據。

這邊必須要強調的是，由於 OSINT 來源種類繁多，內容包括學術界各層面的研究論文、簡報、講座、研討會資料；政府機構、智庫單位和非政府組織關於各種政治、經濟、軍事、社會、經濟、環境、地理、安全和科學技術研究的年鑑、分析報告、統計數據、資料庫等各類資訊；個人或團體的傳記、演講、談話、著作、繪畫、印刷出版品；廣播、電視、網路等大眾傳播媒體或社交軟體產製的相關報導、分析、活動、對話、評論等資訊；使用科技或軟體技術在深網（Deep Web）、暗網（Dark Web）¹⁹上發掘的材料和秘密訊息，包括內部技術分析報告、外流資訊、限制存取或非法犯罪交易等資訊。為了確保上述 OSINT 資訊的正確性，因此必須以交互比對資訊來源的方式，依據「可靠性」（Reliability）與「可信度」（Credibility）標準，將紛雜的資訊進行分類與鑑定評分（Ratings），這些流程將有助於理解問題，並獲致較為完整的資訊以協助評估分析。

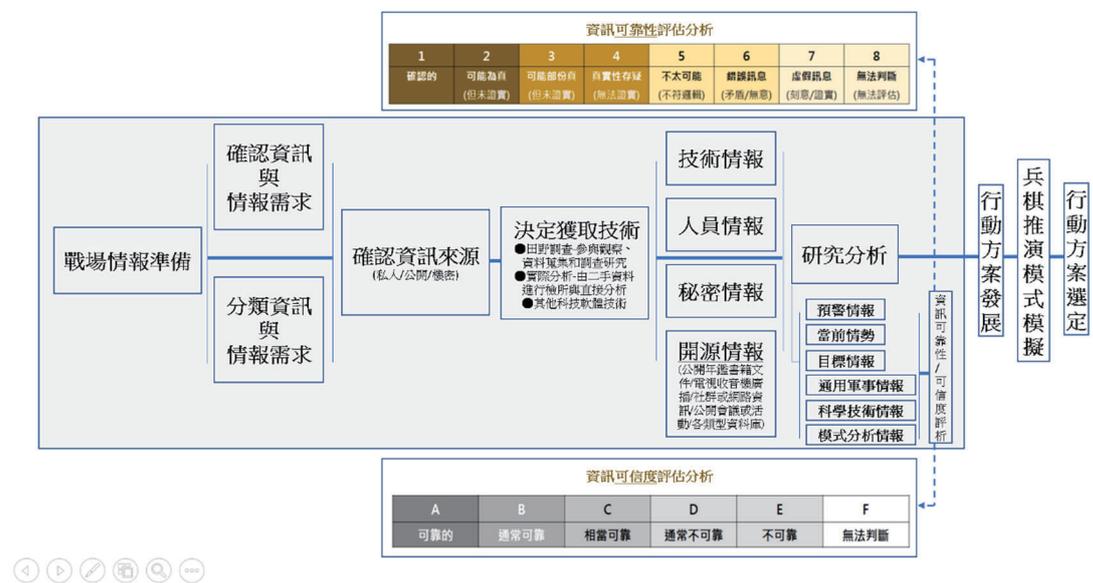


圖6-7、美軍IPB過程中OSINT運用概念架構圖

資料來源：作者參考美軍 *Open-Source Intelligence* (ATP 2-22.9) 概念整合繪製。

¹⁹ 深網（Deep Web）上的頁面通常受到登入頁面、密碼、付費專區或其他限制存取方式的保護，並且被設計為私人頁面，或是可透過網際網路存取但受身分驗證保護的內部公司資料和網站等；而暗網（Dark Web）主要用於隱藏網路犯罪集團活動，通常是外洩資料（個人或官方）、憑證、槍支、毒品和黑市非法服務的銷售流通管道。

二、烏克蘭與非國家情報夥伴的協力經驗

俄烏戰爭帶來情報民主化，為了避免過度氾濫的資訊以及對手刻意製造的虛假訊息誤導決策，因此，美國情報部門已制定戰略文件並推動立法，讓國家行為者建立結構化整體協調機制並規劃政策，強化國家與非國家行為者的情報合作，除可避免情報輔助人員侵犯公民自由、傳遞錯誤訊息、受反情報運用等風險，亦可確保情報民主化的趨勢可以支援各項任務，為中小型民主國家抵禦外敵提供無形助益。

銜互整個作戰期間，非國家情報輔助（協力者）提供的許多 OSINT 支援包括：非政府組織（NGO）志工廣泛使用商業無人機協助烏克蘭軍隊進行戰場情監偵（ISR）；運用 Primer 開發的幾種人工智慧演算法與自然語言處理技術篩選大量截獲的俄羅斯無線電通信，並創建資料庫來分析未來俄軍可能動向；民間科技人員運用手機定位、臉部辨識軟體以及影像分析軟體，自社群媒體影片中辨識俄軍人員身分與身處地點²⁰；全球各地的匿名自由行動者在網路和資訊領域攻擊俄羅斯，例如以 *WasteRussianTime.today* 軟體來癱瘓政府部門電話網路²¹；協助分析匯集俄國軍工產業鏈關鍵企業與資金流向，向西方國家倡議進行制裁²²；於網路與社交媒體搜尋分析俄羅斯違反戰爭罪相關資訊，如以 *Eyes on Russia: The Russia-Ukraine Monitor Map* 來接揭露俄軍在烏克蘭布查（Буца）大屠殺的照片，並主動分享與更新，讓俄國無法掩飾太平。²³此外，在非國家情報行為者中，

²⁰ Will Knight, "As Russia Plots Its Next Move, an AI Listens to the Chatter," *Wired*, April, 2022, <https://www-wired-com.cdn.ampproject.org/c/s/www.wired.com/story/russia-ukraine-war-ai-surveillance/amp>.

²¹ Kyle Barr, "New Site Allows Users To Crank Call Russian Bureaucrats To Protest War in Ukraine," *Gizmodo*, May 18, 2022, <https://gizmodo.com/waste-russian-time-prank-call-ukraine-war-protest-putin-1848942119>.

²² Human Rights First, "NGOs Identify Human Rights Abusers, Corrupt Actors for Sanctions Under U.S. Bill," Press Release, September 13, 2017, <https://www.humanrightsfirst.org/press-release/ngos-identify-human-rights-abusers-corrupt-actors-sanctions-under-us-bill>.

²³ Ross Burley, "Disinformation & Denial: Russia's Attempts To Discredit Open Source Evidence of Bucha," *Centre for Information Resilience*, April 13, 2022, <https://www.info-res.org/post/disinformation-denial-russia-s-attempts-to-discredit-open-source-evidence-of-bucha>.

具雄厚資金背景的民間私部門組織的情報蒐集與分析力量更為龐大，很大程度上已成為烏克蘭國家安全情報的主要外部供應者，例如商業衛星公司 Maxar 與 ICEYE 提供光電感測器、「合成孔徑雷達」 Synthetic Aperture Radar (SAR) 3D 圖像與衛星資訊給予烏克蘭，以追蹤俄軍部隊動向及支援人道救援任務²⁴；HawkEye 360 公司提供俄軍行動前 GPS 干擾訊號分析，進一步定位俄軍部隊演習位置²⁵。上述遍布全世界的「情報民兵」(Intelligence Militia) 以靈活、精確的 OSINT 的情報輔助手段協助進行情報蒐集與分析，已成為烏克蘭對抗俄羅斯入侵的重要關鍵物質因素之一。²⁶

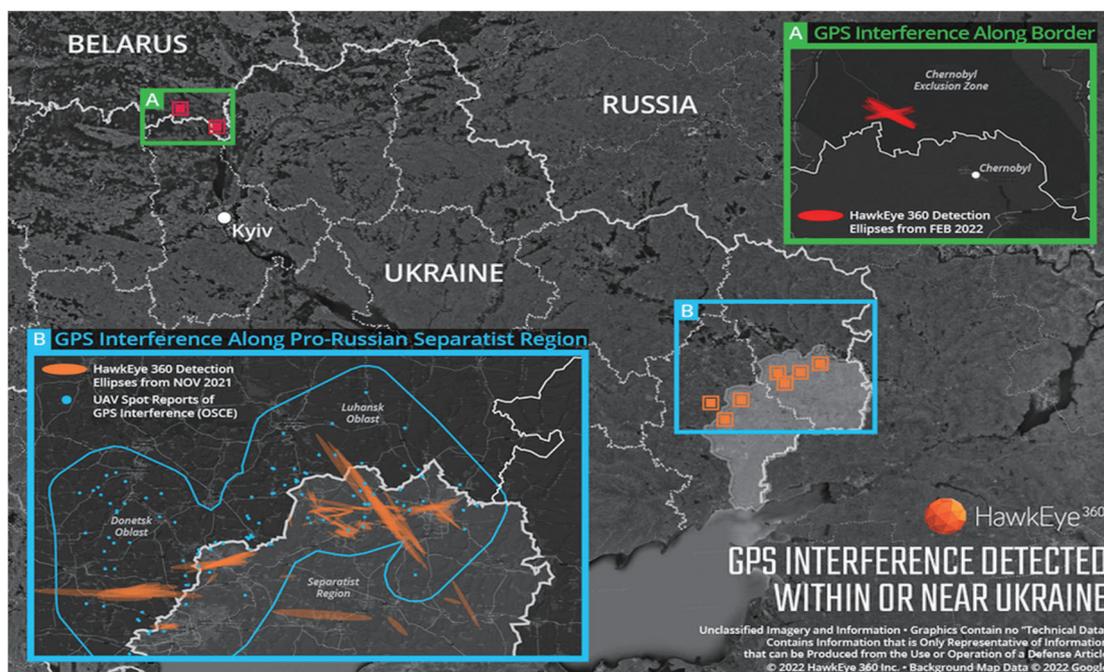


圖 6-8、俄軍於入侵前於烏克蘭週邊地區的 GPS 干擾分析圖

資料來源：同註 25。

²⁴ Sandra Erwin, "Maxar Eager To Launch New Satellites Amid Soaring Demand for Imagery Over Ukraine," *SpaceNews*, April 11, 2022, <https://spacenews.com/maxar-eager-to-launch-new-satellites-amid-soaring-demand-for-imagery-over-ukraine/#:~:text=3D%20mapping%20of%20Ukraine,after%20representations%20of%20the%20da mage.>

²⁵ Debra Werner, "HawkEye 360 detects GPS interference in Ukraine," *SpaceNews*, March 4, 2022, <https://spacenews.com/hawkeye-360-gps-ukr/>.

²⁶ Thomas Ewing, "Integrating Nonstate Intelligence: Ukraine Shows How It Might Work," *Research Short*, National Intelligence University, December 7, 2022, p.5, <https://ni-u.edu/research-short/>

三、情報民主化的變革與挑戰

許多非國家行為者在本次俄烏戰爭中所提供的多元 OSINT 支援，大幅提升軍事決策流程中的 IPB 建置與兵推模擬分析，對烏克蘭的作戰助益甚多。事實上，目前美國對於各種 OSINT 的蒐集，已有「情報研究局」(Bureau of Intelligence and Research, INR)、「國家安全局」(National Security Agency, NSA) 等單位負責；英國內閣辦公室、外交和聯邦事務部等政軍部門長年資助「英國廣播公司監測處」(BBC Monitoring)，運用媒體通訊機制進行各國公情分析；瑞士聯邦國防部「戰略情報局」(Strategic Intelligence Service)、「軍事情報局」(Military Intelligence Service) 均設有公開來源情報工作體系²⁷。雖然目前這些政府部門仍缺乏有效的跨域、跨國協調機制，在衝突與戰爭爆發時快速「動員」各國組織與公民，協力公開情報蒐集與分析，但俄烏戰爭的情報民主化趨勢，已經對軍事決策進程產生影響，美軍的戰場情報準備流程越來越多地納入來自各種來源的即時數據（如運用社群平台貼文的時間標記和數位地理資訊）改善作戰規劃，增強態勢感知和決策能力；此外，情報民主化亦打破傳統情報資訊遭大國壟斷的局面，民間組織和商用地理資訊服務廠商的協力加入，讓中小型國家如烏克蘭得以利用開源情報和公共衛星圖像，納列入整體國家情報評估 (National Intelligence Estimates, NIEs)，並有效監控俄羅斯軍隊的動向，提升戰場態勢感知，極大程度發揮開源情報的潛在優勢。

吾人必須了解，未來的衝突場景可能進程極短、規模有限，極少有機會讓多國組織與民間情報輔助機構主動投入，這意味民主國家及盟友需要在此次的經驗中制定更長遠的戰略規劃。鑑此，設立專責外部聯繫的部門，負責了解市場趨勢、整合資源、傳達戰略目

²⁷ 董慧明，〈以公開來源情報分析中共軍事活動的適用性與限制〉，《安全與情報研究》，第 6 卷第 1 期，2023 年 1 月，頁 69-70。

標、打擊虛假訊息，並致力於協調情報輔助機構支援軍事行動、引入具有有價值的軟體、數據或諮詢服務的情報輔助工具，以達成國家目標。而設立以任務為導向的合約框架，或提供包含財政支持的激勵措施，均可以促使更多的非國家行為者願意在危急時刻提供 OSINT 支援，適切納入整體國家情報評估；當然，這樣的合約框架亦可建立明確的規範和合作方式，避免侵犯隱私、違反相關法律規範，並保護情報協力單位與人員避免捲入國際戰爭法或敵對勢力的間諜指控。²⁸

陸、小結與建議

俄烏戰爭爆發前夕，烏克蘭在美國及北約的情報協助下，俄軍戰場行動「被透明化」，此一時期的主要運用各類預警情資的適時揭露來傳布危機議題，目的向烏克蘭及世界各國提醒俄羅斯的入侵迫在眉睫，除試圖嚇阻莫斯科切勿輕舉妄動，強化烏克蘭對於威脅的認知，亦希望透過此舉團結盟友，一同協助烏克蘭抵禦入侵，而這樣的「整合性嚇阻」行動，以及以情報作為資訊戰敘事的一部分，的確喚起了各國的重視，並取得部分的成功。

而後，俄羅斯無法迅速攻克基輔，俄羅斯國防官員於 2022 年 3 月下旬宣布，特殊軍事行動將集中在烏克蘭東部頓內茨克（Donetsk）等地區，俄烏兩軍自此陷入漫長的壕溝陣地戰，而這場戰爭也成為各類新式武器與戰術戰法的試驗場，美國、北約和中國等各方國家也將烏克蘭戰場的經驗與教訓，作為自身聯合作戰概念的修改參據，例如美國進一步提出「聯合全領域指揮管制戰略」（Strategy for joint all-domain command and control, JADC2），而北約亦發展出「多域作戰」（Multi-Domain Battle, MDO）概念即為例證。

²⁸ Thomas Ewing, "Integrating Nonstate Intelligence: Ukraine Shows How It Might Work," *Research Short*, National Intelligence University, December 7, 2022, pp. 8-10, <https://ni-u.edu/research-short/>

相對於俄羅斯世界第二的軍事實力來說，烏克蘭這個蕞爾小國能夠傾全國之力抵抗強敵至今，除了有西方國家的各類軍援，許多非國家行為者如國際志願工作者、私部門、非營利組織等個人或團體對於公開情報與資源的提供，促使戰場透明度大增，讓烏軍得以先發制人並維持戰場均勢，這些因素都是協助烏克蘭抵禦強敵的要素之一。本文聚焦於情報民主化的變革趨勢下，對於國家行為者在情報蒐集與分析運用上的利基與挑戰；此外，就軍事人員來說，OSINT 蘊含大量關於地面作戰環境的物理和人為資訊，而情報學科亦仰賴 OSINT 來支援作戰戰場情報準備、行動方案研擬；兵棋推演/模式模擬，以及行動方案比較分析，可提升軍事決策的效能。鑑此，本文亦倡議我國應思考如何在這樣的趨勢下進行情報變革，或可與其他國家建立長期合作框架；在公部門之外，亦可編列預算，建立彈性的公私協力 OSINT 合作小組，以有效統合國內外非國家行為者的龐大情報輔助能量。

本文作者杜長青為國防大學政治學博士，現為國防大學國際與國防事務學院戰略研究所上校副教授。主要研究領域為：區域安全研究、資料科學、文字探勘、兵棋推演與危機決策分析。

The Impact of the Russia-Ukraine War on OSINT and Military Simulation: Trends in Intelligence Democratization

Chang-Ching Tu

*Associate Professor, Graduate Institute of Strategic Studies, INDAC,
National Defense University*

Abstract

On August 6, 2024, Ukraine executed a meticulously planned cross-border incursion into Russia's Kursk region, penetrating 30 kilometers into Russian territory and occupying a substantial area of land. Foreign media attributed Ukraine's successful operation to factors such as "confidentiality," "accurate intelligence analysis," and "deployment of elite units". This military action was supported by comprehensive open-source intelligence (OSINT) from various think tanks, including the British International Institute for Strategic Studies (IISS) and the American Institute for the Study of War (ISW). International media outlets like BBC and CNN provided real-time supplementary reports using satellite imagery and on-site photographs. Additionally, non-state actors and international volunteers established platforms such as *DeepStateMap.Live* to present interactive battle situations and disclose Russian troop movements. These developments have gradually lifted the fog of war, demonstrating the increasing diversification of OSINT sources since the outbreak of the Russia-Ukraine conflict and highlighting the impact of intelligence decentralization and democratization on traditional intelligence collection and analysis models.

This article examines the niches and challenges for state actors in intelligence collection, analysis, and application amidst the changing trend of intelligence democratization. Furthermore, it explores how OSINT, which contains extensive physical and human information about the ground combat environment, supports military intelligence preparation of the battlefield, action plan development, war game/model simulations, and comparative analysis of action plans, thereby enhancing the effectiveness of military decision-making. Given these developments, this study advocates for intelligence reform in Taiwan, proposing the establishment of long-term cooperation frameworks with other nations. Additionally, it suggests allocating budgets and forming flexible public-private collaborative OSINT groups to effectively integrate the substantial intelligence assistance capabilities of domestic and foreign non-state actors.

Keywords: Intelligence Democratization, OSINT, Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB), War Game, Modeling & Simulation(M&S), Russia-Ukraine War