

AI 驅動智慧防災外交—— 國合會攜手臺大土木團隊協助貝里斯、瓜地馬拉政府建置早期預 警系統的技術驗證與治理實踐

何昊哲

國立臺灣大學土木工程系副教授

李真

財團法人國際合作發展基金會駐瓜地馬拉技術團計畫經理

段瑞君

財團法人國際合作發展基金會駐貝里斯技術團計畫經理

摘要

面對極端氣候導致的災害風險上升，建立具前瞻性的早期預警系統已成為全球防災治理的重要課題。財團法人國際合作發展基金會（國合會）攜手國立臺灣大學團隊，在貝里斯與瓜地馬拉推動以人工智慧（AI）與物聯網（IoT）技術為核心的智慧防災合作計畫。

透過布建監測站網絡、開發 AI 水文模型及建置「軟體即服務」（SaaS）雲端預警平臺，計畫成功提升兩國防災決策的即時性與準確性，並協助政府建立制度化、可持續的災害治理機制。同時，計畫亦著重於技術人員培訓與社區動員，強化中央至地方的整體防災能量。成果顯示，導入早期預警系統後，社區撤離效率提升，顯著減少災害損失。本篇計畫案例不僅為臺灣科技防災外交的典範，也展現 AI 技術於開發中國家強化災害韌性的實際應用潛力。

關鍵詞：AI 智慧防災、早期預警系統、科技外交、國際合作、貝里斯、瓜地馬拉、氣候韌性

一、前言

隨著極端氣候日益頻繁，提升防災韌性已成為國際社會共同目標。在聯合國氣候峰會等場合，強化災害預警系統被視為減少災害損失的關鍵行動。根據聯合國減災辦公室（United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR）資料，早期預警與及時行動是降低災害傷亡最行之有效且具成本效益的措施之一^{1,2}。2022 年聯合國更啟動「讓全民皆享有早期預警」倡議³，呼籲在 5 年內（至 2027 年）讓全球每一個人都受到預警系統的保護。然而截至 2022 年，全球仍只有約一半的國家具備複合型災種預警系統，特別是開發中國家中不到一半擁有預警體系⁴。因此，如何協助開發中國家導入智慧防災技術、強化預警能力，是國際防減災趨勢的重要課題之一。

在這股全球趨勢下，臺灣近年來積極運用科技專長展開國際防災合作，透過財團法人國際合作發展基金會（國合會）對友邦進行「科技外交」援助。其中一項亮眼成果，便是國合會與國立臺灣大學土木工程系何昊哲副教授團隊合作，在中美洲友邦貝里斯與瓜地馬拉建置智慧防災預警系統的經驗。計畫充分運用人工智慧（artificial intelligence, AI）結合物聯網監測技術，為當地帶來更精準的災害預警，及為當地居民爭取更多寶貴的應變時間，同時也成為臺灣推動科技防災外交的成功案例。

二、友邦導入我國智慧防災系統的成功典範—貝里斯與瓜地馬拉

貝里斯位於中美洲加勒比海沿岸，地勢低窪且颶風頻繁，是極端降雨和洪水災害的高風險區域；與之比鄰的瓜地馬拉亦面臨相同的挑戰，每年雨季（5 至 10 月）豐沛的降雨量再加上本就多山崎嶇的破碎地形，長時間豪雨經常引發洪水及土石流等複合型災害。近年來，在氣候變遷影響日益加劇的背景下，極端天氣事件頻率與強度持續增加，進一步凸顯這兩國防減災體系的結構性限制，及強化災害韌性的迫切需求。

自 2019 年起，國合會與駐貝里斯技術團、貝國永續發展部及臺大氣候天氣災害研究中心合作在貝里斯推動為期 3 年的「貝里斯城市韌性防災計畫」（Belize Urban Resilience and Disaster Prevention），並於 2022 年接續推動「貝里斯河流域水災預警能力提升計畫」（Flood Warning Capacity Improvement for the Belize River Basin Project，以下簡稱貝水計畫），著眼於提升貝國觀光重鎮 San Ignacio 以及該國重要流域 - 貝里斯河之防救災能力，並導入臺灣豐富的治水經驗和科技防災。2023 年起，鑒於臺灣在貝國智慧防災的成功經驗，以及受 2020 年 Eta 與 Iota 颶風襲擊所帶來的迫切需求，瓜國政府與臺灣政府簽署合約，透過駐瓜地馬拉技術團、瓜國防

¹ UNDRR. (2024). Early Warnings for All (EW4All). P.9.

² UNDRR. (2024). Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems 2024. P.30, 75, 101–105.

³ UNDRR. WMO. (2022). Early Warnings for All Initiative: Executive Action Plan 2023–2027. P.4

⁴ UNDRR. WMO. (2022). Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems–Target G Report 2022. P.5.

災委員會（Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, CONRED）以及臺大團隊合作啟動「瓜地馬拉防災預警系統計畫」（Guatemala Early Warning and Disaster Management System Project，以下簡稱瓜防災計畫），針對當年受災最嚴重的 Alta Verapaz 省 Cahabón 流域，導入臺灣在早期預警機制的專業經驗，協助瓜地馬拉建置一套針對淹水與土石流的早期預警系統。

三、透過監測站數據打造人工智慧模型

貝瓜兩國除天然條件本就易致災外，在基礎設施、預警機制、應變能力以及人力資源等方面亦明顯不足。其中，兩國皆面臨監測設施數量有限且分布不均的問題，致使水文資料缺乏即時性與完整性，限制了對洪水風險的動態掌握。

有鑑於此，計畫於初期著重於完善監測網絡，以提升資料收集的完整性與後續水文分析的精確度。貝水計畫在貝里斯河流域上、中、下游 5 處關鍵區位（Double Run、Big Falls、Iguana Creek、Banana Bank 與 Rancho Dolores）設置水情監測站；瓜防災計畫則於 Cahabón 流域建置 2 處水情監測站，並額外針對土石流建置一處監測站以監測地表位移動態。各監測站依需求設置雨量計、水位計、坡度計、太陽能電源系統及 4G 通訊模組，能即時將數據傳輸至各國雲端伺服器，逐步形成覆蓋整個流域的觀測網絡，為災害預警與風險管理提供可靠的科學依據。

國合會駐外技術團與臺大團隊合作，開發人工智慧模型結合數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）、歷史降雨紀錄與水文水理參數，針對不同降雨條件（50 至 300 毫米）進行 6 小時與 12 小時的多情境模擬，並生成淹水潛勢圖。這些成果再與災後的現地淹水資料進行比對，以驗證模型的精度與適用性。以貝國為例，2024 年 11 月 Sara 風暴造成 Belmopan、San Ignacio 等地實際淹水範圍，與災前模擬結果高度吻合；而近年瓜地馬拉計畫執行地點數次強降雨事件所造成的積淹水情形，亦與淹水潛勢圖高度一致，顯示該模型具備支持決策所需的可信度。

為使模擬成果與災害潛勢可視化，並有效支持災害預警決策，兩國家計畫分別為建置了基於「軟體即服務」（Software as a Service, SaaS）的早期預警平臺。該平臺整合即時環境數據與 AI 模擬結果，並依據災害分析設定警戒閾值；一旦監測數據觸發警戒值，系統將自動透過 WhatsApp 發送警報予中央防災決策單位，並可依需求進一步通報地方政府、救難單位或社區領袖。值得一提的是，平臺內建 AI 模型生成的災害潛勢圖，使資訊接收者不僅能掌握警戒等級，亦能清楚了解可能受淹的區域。此設計大幅提升了資訊的可讀性與行動導向，有效縮短了從數據到決策的反應時間。

四、應用早期預警系統爭取災前應變時間

建立 AI 防災預警系統的目的就是要爭取最關鍵的「黃金 6 小時」避難時間。貝瓜兩國的智慧化災害早期預警系統在幾次風災中得到驗證並展現成效。2020 年 11 月，兩場強烈颶風 Eta 和

Iota 先後侵襲中美洲，貝國西部與南部連降豪雨引發洪水，基礎設施受損嚴重。然而，由於貝水計畫執行地點 San Ignacio 地區及早導入臺灣建置的預警平臺，居民得以及時接獲通知並提前撤離，成功爭取約 3 小時的黃金避難時間，使該區受災程度明顯低於其他沒有導入該技術的其他地區，大幅減少人員傷亡與財產損失。而瓜國以最近一次強降雨事件為例，9 月 16 日清晨 6 時，位於 Alta Verapaz 省 Cobán 市 Puente Chiu 的 3006 號測站透過平臺發布警訊，隨後該市兩處低窪地區於當日晚間 19 時與 20 時即相繼發生淹水。另在 9 月 14 日 22 時，位於同省 Santa Cruz 的 3008 號測站同樣透過平臺發出警報，而當地的 Acamal 1 地區則於 9 月 16 日 21 時起出現淹水情形，水深達 50 公分。這些案例顯示，早期預警系統能在多數事件中提前且更標準化地預測淹水狀況，為應變行動爭取寶貴時間，降低災害影響。

五、專業能力建構與韌性社區的落實

雖然科技工具能顯著提升資料分析的即時性與精確性，但若無法轉化為具體行動，其效益將大幅削弱。因此，計畫在技術導入之外，特別著重於跨部會協作、在地化推廣、專業技術人員能力建構，以及韌性社區的動員，確保預警機制能真正落實於防災行動之中。

首先，為了強化中央單位的專業技術與管理能力，貝瓜兩國防災計畫分別邀請國家中央單位核心技術人員赴臺參與為期約 1 個月的專業訓練，包括貝國國家緊急事件管理局（National Emergency Management Organization, NEMO）、水文局、消防局以及瓜國防災委員會。訓練內容涵蓋氣象、水利、防災指揮中心運作，以及韌性社區實地案例觀摩。透過赴臺參訪與交流，除展現臺灣在科技防災的實力外，兩國專業技術人員亦能將所學知識與技能帶回本國，推廣至各自國家的防減災策略，並作為未來計畫長期推動的種子力量。臺大團隊也在 2022 年至 2025 年間頻繁造訪貝瓜兩國進行實地培訓，內容涵蓋監測站維護、數據驗證、科技防災應用、早期預警平臺操作及社區防災經驗分享等多元主題，深化兩國專業技術人員交流。

其次，防災行動的成效關鍵亦在於第一線面對災害衝擊的社區，因此社區動員至關重要。貝國以 Santa Familia 村作為示範據點，將 AI 模型生成的淹水潛勢圖納入防災教育與演練。透過圖資視覺化，居民得以清楚理解在不同降雨條件下，社區內潛在的淹水範圍，並透過兵棋推演與疏散演練，使居民熟悉撤離動線、避難所位置及警戒訊息的應變程序。2024 年 11 月 Sara 風暴期間，該社區居民能依據平臺發出的警訊與先前的演練經驗，提前封鎖低窪道路並協助弱勢家庭撤離，顯示在地化實踐對災害應變的具體貢獻。

瓜國同樣於 7 個示範社區召集志願者，組建防災社區、提供居民培訓、協助擬定緊急應變計畫，並為社區建置防災地圖看板及規劃避難動線。經過完整培訓後，社區志願者動員居民，計畫並聯合地方政府及救難單位（如軍警消及紅十字會）共同進行防災演練，展現跨層級、跨機構協作的強大支援能量。成功完成演練的社區將納入瓜國防災委員會體系，志願者亦被正式列為防災專員，為自己的家園盡一份心力，以實際行動守護社區安全。截至目前，共有 60 名社區居民成為防災專員，地方政府則有 223 名成員完成培訓。成果顯示，計畫介入前，當地平均

撤離時間約 10 小時，且多數情況下僅在災害發生後才啟動應變；而結合災害預警系統後，社區依緊急應變計畫在 4 小時內可完成撤離作業，應變效率提升約 60%，成功爭取關鍵部署時間，也為瓜國災害早期預警系統奠定初步基礎。

從跨部會協作、中央與地方專業人員培力、再到社區的組織動員，貝瓜兩國防災計畫成功將先進的 AI 與監測技術轉化為在地可行的行動模式。此一「科技落地化」的歷程，不僅強化了中央到地方的防災能量，也確保社區在缺乏外部支援時，防災行動仍然有效。

六、科技外交新展望

於貝瓜兩國案例顯示，AI 結合監測技術應用於防災，對於欠缺大型傳統防災基礎建設的開發中國家具有巨大的潛力，且智慧化災害早期預警系統確實提供了一條後發先至的途徑：透過部署感測器網絡與引進演算法分析，他們無需耗費鉅資興建大量硬體設施，即可大幅提升災害監測預警能力，在災害來臨前爭取到關鍵的避難時間。兩國經驗證明，只要有因地制宜的技術導入與培訓，即使在人力與資源相對有限的環境中，一樣能夠建構有效、具韌性及永續性的智慧防災系統，降低極端天氣事件帶來的衝擊。

對臺灣而言，協助友邦強化防災韌性，不僅是國際責任，更是展現科技軟實力的重要途徑。國合會作為橋梁，將國內先進的防災技術與多年實務經驗分享給國際社會，不僅造福貝瓜兩國當地居民，也提升臺灣在全球防減災領域的能見度。貝瓜兩國防災計畫作為臺灣「防災外交」的標竿，不僅將 AI 科技轉化為友邦可實際運用的防災能力，也彰顯臺灣在全球氣候治理的務實貢獻。臺灣將以堅定的力量持續在 COP30 等國際舞臺上展現運用科技優勢發揮影響力並推動全球減災行動的積極角色，實踐「Taiwan Can Help」的真實價值與承諾。