

AI 區域模式 StormCast 作業化測試

江宙君、朱容練、徐理寰、林冠伶

王璿瑋、林欣弘、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)與輝達公司(NVIDIA)合作，將高解析 AI 區域模式 StormCast 進行臺灣在地化訓練，克服區域與地形的限制，成功將 StormCast 從原本適合美國中部的版本，重新訓練成為適合臺灣地區的模組，並針對臺灣災防需求對模型進行調整，提供防災應變所需要的氣象資訊。本研發已完成在地化訓練，相關模組已於災防科技中心進行作業化測試，每日 4 次，每次可推估未來 12 小時。

一、 起源

近年來，生成式人工智慧(Generative AI)技術快速演進，在氣象預測領域已展現出媲美甚至超越傳統數值天氣預報(Numerical Weather Prediction, NWP)的巨大潛力。以 FourCastNet 為代表的全球 AI 氣

象模式，空間解析度約達 30 公里，在維持預報精度的同時，運算速度已可提升數個數量級(約為數百倍)。然而，能夠精確模擬公里等級(km-scale)氣象系統變化的區域 AI 模式至今仍為少數，其原因在於公里尺度的大氣運動涉及高度非線性的強對流現象，其複雜程度遠超全球模式的中期預報。面對這一挑戰，傳統數值天氣預報的侷限日益凸顯。NWP 依賴求解複雜的流體動力學方程式，對於雷暴、颱風等劇烈天氣現象，計算成本極高，在縮短預報產出延遲方面也遭遇瓶頸，難以即時支援防災決策。

在這樣的背景下，高解析度降尺度模式 CorrDiff，以及新一代的 AI 區域模式 StormCast 有望成為解決此難題的重要工具。StormCast 是由 NVIDIA 與勞倫斯伯克利國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory)等機構合作開發，全球少數幾個的公里級對流允許模型(Convection-Allowing Model, CAM)生成式模擬器，其相關成果已於 2026 年正式發表於 Science AdvancesG 《Kilometer-Scale Convection Allowing Model Emulation using Generative Diffusion Modeling》(Pathak et al., 2026)。

區域對流生成式模擬器(Pathak et al., 2026)—StormCast 基於 NVIDIA Earth-2 研究架構與 PhysicsNeMo 模型庫，採用生成式擴散模型(Generative Diffusion Model)，並延伸 CorrDiff 的殘差校正擴散

技術(Mardani et al., 2025)，將確定性迴歸與隨機校正結合，以 3 公里解析度，以自回歸的方式模擬大氣對流及降雨，其原創設計目標為模擬美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration)運作中的 HRRR(High-Resolution Rapid Refresh)高解析度數值模式(圖 1)。

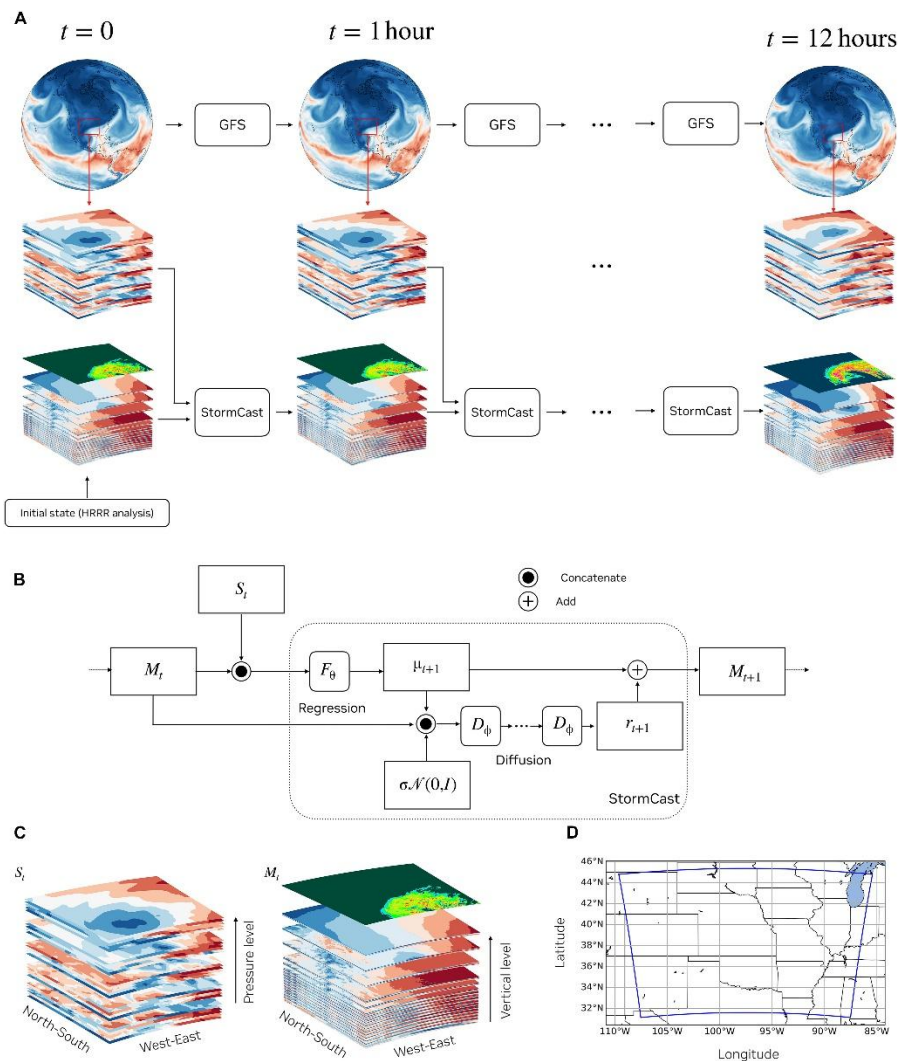


圖 1、StormCast 流程圖(來源: Pathak et al., 2026)

StormCast 的開發，不僅填補了深度學習模型在公里級大氣模擬中長期存在的技術缺口，更證實了生成式 AI 能以極低的運算成本，

提供即時且高解析度的整合預報，是大氣科學與人工智慧深度結合的重要里程碑。

二、 跨界合作

災防科技中心與輝達公司組成研究團隊展開合作，源於雙方在提升高解析度氣象預報技術以及其防災應用上的共同目標，希望能將生成式人工智慧應用於臺灣複雜地形與極端天氣的模擬。災防科技中心過去已將 NVIDIA 與中央氣象署共同開發的 CorrDiff 模型落實於「天氣與氣候監測網 (Weather Analysis and Taiwan Climate Hybrid monitor system, WATCH)」之中，不僅在改善預測精度與運算效率上獲得了具體成果，也為雙方建立了合作基礎與經驗。

受到臺灣地形複雜、極端天氣災害頻繁的影響，傳統 NWP 模式高昂的計算成本，在即時支援防災決策方面面臨很大挑戰；NVIDIA Earth-2 計畫與 PhysicsNeMo 模型庫所提供的 AI 加速物理模擬能力，正好滿足了災防科技中心高度仰賴高效、高解析度模擬工具的需求。本次合作即在上述背景上，研究引進 StormCast 模型的可行方案，目標是將模擬解析度推進至公里等級的對流尺度，並產出適合臺灣區域的防災資訊。

為支援 StormCast 在大型資料集下進行在地化訓練與驗證所需的龐大算力，災防科技中心與 NVIDIA 透過合作研發的方式，由

NVIDIA 提供「Taipei-1」高效能運算平臺的算力資源，災防科技中心則挹注在地化的研發能量與氣象領域知識，共同推動 StormCast 模型在臺灣地區在地化的建置工作。首先，研究團隊在模型正式訓練開始前，已根據文獻資料與小樣本實測結果完成詳盡的算力評估，確認所需節點數量與使用時程。接著在 2025 年 8 月 18 日至 9 月 12 日正式部署於超級電腦「Taipei-1」進行模型訓練。Taipei-1 是 NVIDIA 所建置的 GPU 高速電腦，搭載 64 臺 NVIDIA DGX H100 共計 512 顆 GPU 算力。在 2024 年 6 月發布的世界 500 大超級電腦排名中，排名全球第 38 名。

在 Taipei-1 上，研究團隊執行了涵蓋 1 年與 2.5 年資料集的多組完整訓練實驗，包含 Regression 與 Diffusion 兩個模型的訓練階段；其中多變數版本的實驗耗時最長，合計使用 2,280 GPU 小時。值得一提的是，團隊善用 Taipei-1 的 224 顆核心 CPU，導入多程序平行化(multiprocessing)機制，將全臺 3.5 年氣象資料的前處理效率提升約 300 倍，使原本需耗費數天的資料前處理流程得以在數小時內完成。此外，研究團隊也在 Taipei-1 上建立了基於 SLURM 系統的任務提交流程與 Jump Server 協作機制，並開發自動化訓練監控模組，確保實驗的可重現性。

Taipei-1 使用結束後，研究團隊成功將訓練環境遷移至國家高速

網路中心的「晶創 25」超級電腦，並重現了 Taipei-1 的訓練結果，驗證了系統跨平臺運行的穩定性與技術延續能力。

整體而言，此次合作透過 Taipei-1 的強大算力，克服了高解析度 AI 區域模式訓練中的算力瓶頸，完成 StormCast 在臺灣地區的首次應用驗證，為未來防災業務中自動化 AI 預報的落地奠定了關鍵技術基礎。

三、 StormCast 作業化測試

為了將 StormCast 模型從原始設定的美國中部應用場景移植至臺灣(圖 2)，本研究對模型的空間網格與地理範圍進行了全面調整，將模擬區域重新定義為涵蓋臺灣本島及周邊海域的範圍(北緯 21.6° - 25.6° ；東經 119.75° - 122.25°)。相較於美國中部的開闊地形環境，臺灣中央山脈南北縱貫，地形對降水與風場的強迫作用顯著，且常遭遇颱風或梅雨等中尺度劇烈對流系統的侵襲，大氣的動力過程遠較原始應用情境複雜。因此，空間網格的在地化調整不僅是技術上的座標轉換，更是確保模型能夠捕捉臺灣特有中小尺度天氣現象的關鍵前提。

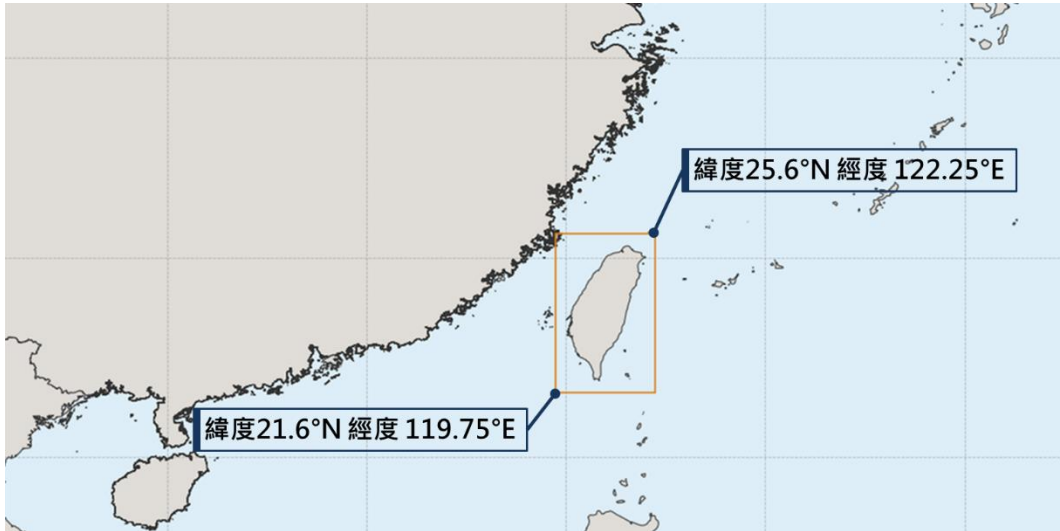


圖 2、臺灣 StormCast 範圍

在模型訓練階段，本研究以中央氣象署本土的 RWRP (Radar Weather Research and Forecasting model, RWRP) 數值模式初始場、Q 劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)，以及全球再分析資料 ERA5 (ECMWF Reanalysis v5, ERA5) 作為訓練資料。其中 RWRP 提供了高解析度臺灣附近的大氣動力場資訊，QPESUMS 提供了臺灣雷達網整合的細緻降水資料，而 ERA5 則作為大尺度環境場資訊的參考依據。三者的結合使模型在訓練過程中得以學習臺灣特有的地形降水機制以及梅雨鋒面及颱風侵臺等複雜天氣型態，為後續模型推論確立紮實的資料基礎。

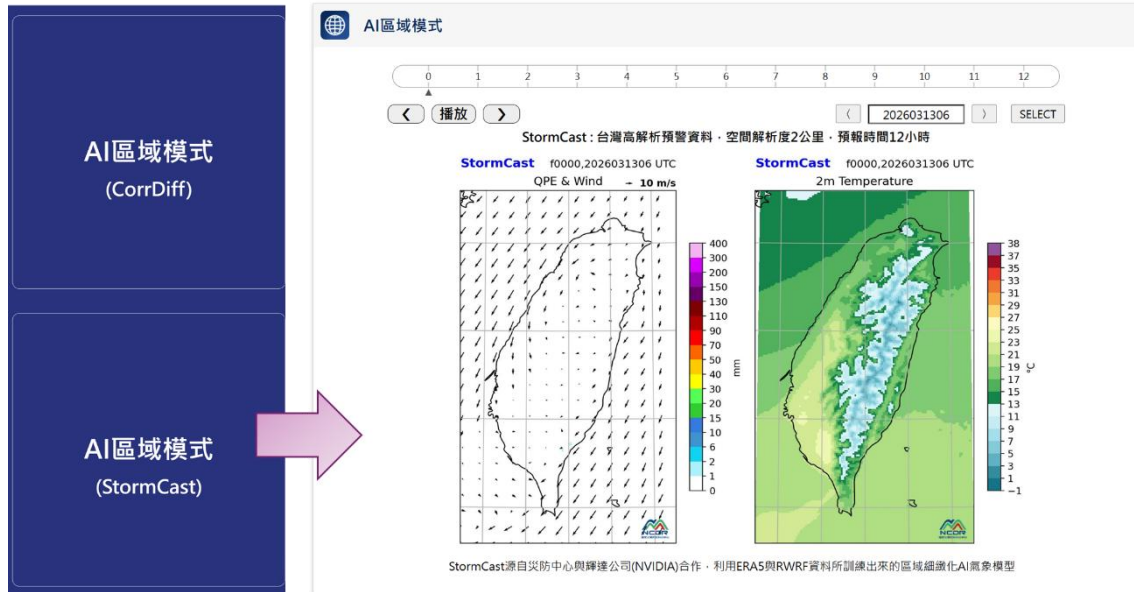
在訓練實驗的篩選上，本研究針對多組不同變數組合與訓練設定的實驗結果進行系統性評估，綜合考量模型輸出變數、目前常用 AI

全球模式的相容性，以及各預報因子對防災應用的實際貢獻，從中擇優選取推論表現較佳的實驗設定組合，作為後續作業化的基礎模型。

進入作業化階段後，模型的驅動資料來源切換為即時產品。推論輸入整合了 RWRP 數值模式的即時預報場、QPESUMS 的即時降水估計，以及 AI 全球模式的輸出變數，確保模型推論所依據的初始場能夠即時反映當前大氣狀態，維持預報的時效性。預報因子的選取聚焦於與防災直接相關的地面要素，涵蓋地面風速風向、氣溫及降雨量，以滿足災害潛勢評估、應變決策與民眾預警等實務需求。

目前，作業化系統已穩定運行，每日執行四次推論循環，每次提供未來 12 小時的高解析度推論輸出，實現全自動化的即時運算與產品生成。預警結果已同步整合至災防科技中心的「天氣與氣候監測網(WATCH)」平臺進行展示服務

(https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_stormcast)，防災相關人員得以透過視覺化介面即時瀏覽臺灣各地的精細化天氣預報，掌握短延時的風雨動態變化。從模型訓練、在地化調整到作業化系統上線服務，這一完整的技術鏈結，標誌著公里級生成式 AI 氣象預報在臺灣防災業務中的首次落地應用。



圖、WATCH 平臺圖

四、 結語

這項研究以生成式人工智慧為核心，從技術引進、算力支援到作業化落地，呈現前沿 AI 氣象模型在地化的應用成果。在技術層面上，StormCast 填補了深度學習模型在公里級大氣模擬中長期存在的空缺。相較於傳統數值天氣預報高昂的計算成本與冗長的產出時程，生成式擴散模型以極低的算力實現了高解析度的對流動力模擬，為即時防災預警提供了全新的技術選項。本研究將此模型引入臺灣，針對臺灣複雜地形與極端天氣的特性重新定義模擬範圍，並以本土資料驅動訓練，完成了從「美國模型」移植到臺灣的關鍵技術發展。

在合作模式上，NVIDIA 提供 Taipei-1 高效能運算平臺的算力資源，災防科技中心則貢獻在地化的研發能量與氣象領域知識，雙方

各司其職、資源互補。這樣的合作模式不僅加速了模型的訓練與驗證進程，也為 AI 防災應用合作提供了實踐範例。

在應用成效上，作業化系統的穩定上線是最具體的成果。每日四次、每次 12 小時的高解析度預測循環，搭配地面風速風向、氣溫與降雨量等防災核心因子，以及天氣與氣候監測網平臺的視覺化展示，使公里級 AI 預報首度從研究成果轉化為可供防災人員即時使用的研判工具，大幅縮短了技術研發與實務應用之間的距離。

展望未來，無論是引入更長預報時效、擴展預報變數範圍，或是進一步結合整合預報與機率性集合預報，均有賴於此次在地化訓練與作業化部署所積累的經驗與資料。公里級生成式 AI 氣象預警在臺灣防災領域的首次落實應用，不僅是一個階段性的里程碑，更是邁向智慧化防災預警系統的重要開端。

參考文獻

- J.Pathak, Y. Cohen, P. Garg, P. Harrington, N. Brenowitz, D. Durran, M. Mardani, A. Vahdat, S. Xu, K. Kashinath, and M. Pritchard, Kilometer-scale convection-allowing model emulation using generative diffusion modeling. *Sci. Adv.* **12**, eadv0423(2026). DOI:10.1126/sciadv.adv0423
- Mardani, M., Brenowitz, N., Cohen, Y., Pathak, J., Chen, C. Y., Liu, C. C., ... & Pritchard, M. (2025). Residual corrective diffusion modeling for km-scale atmospheric downscaling. *Communications Earth & Environment*, *6*(1), **124**.