

氣象數位優化與智能預警技術研發

Development of Meteorological Digital Optimization and Intelligent Early Warning Technologies

國家災害防救科技中心 氣象組

Meteorology Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘要

災防科技中心氣象組針對臺灣常見之颱風、短延時強降雨、水資源與空氣污染事件，進行數位化氣象監測與智慧化預警技術研發。整合雙偏極化雷達觀測、自動化降雨估計、AI 預測模組及高解析度模擬系統，以提升預報即時性與區域精度。研究中完成 10 分鐘降雨估計程序並應用於凱米颱風事件，明顯改善降雨預測誤差。另建置次季節診斷平台與空氣品質模擬機制，除了提供旱災相關參考情資外，對 2024 年區域火災案例中之污染傳輸也有模擬測試。進一步導入 GraphCast 等八種氣象 AI 模式，建構高解析度每日氣象預報圖資，與作業化測試。綜上所述，本研究於氣象防災作業層面展現高度實用性與跨尺度整合潛力，持續累積強化國家風險治理與智慧決策支援之具體能量。

關鍵字：雙偏極化雷達、落雨小幫手、季節曆、AI 氣象模式、HYSPLIT

ABSTRACT

The Meteorology Division of the National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) has been actively developing digital meteorological monitoring and intelligent early warning technologies in response to Taiwan's prevalent hazards such as typhoons, short-duration intense rainfall, water resource concerns, and air pollution events. By integrating dual-polarization radar observations, automated rainfall estimation, AI-based forecasting modules, and high-resolution simulation systems, the project significantly enhances the timeliness and spatial precision of meteorological forecasts. A key achievement includes the implementation of a 10-minute rainfall estimation process, which notably improved prediction accuracy during Typhoon Khanun. Additionally, a subseasonal diagnostic platform and air quality simulation

mechanism were established, providing reference information for drought-related assessments and enabling pollutant dispersion modeling for a regional fire incident in 2024. Furthermore, eight AI meteorological models—such as GraphCast—were incorporated to generate high-resolution, daily weather forecast products and support operational testing. In conclusion, this research demonstrates strong practical applicability and cross-scale integration potential in meteorological disaster response, continuously building concrete capacity to enhance national risk governance and support intelligent decision-making.

Key Words: Dual-Polarization Radar, Raining Bell, Seasonal Timeline, DWP, HYSPLIT

一、前言

隨著氣候變遷日益加劇，臺灣面臨極端天氣事件頻率上升、降雨型態異常等重大挑戰，特別是颱風與短延時強降雨所引發的洪水、淹水與空氣品質惡化等災害，對社會安全與環境永續構成嚴重威脅。為因應此一趨勢，建立更即時、更精確的氣象預報與災害預警體系已成為刻不容緩的任務。

本研究聚焦於「智慧化颱風洪水技術」的研發與應用，涵蓋短延時降雨預測技術、雙偏極化雷達應用、人工智慧模式訓練、次季節氣候診斷、極端天氣類型判識及空氣污染模擬等多面向課題。透過整合氣象觀測、數值模式、AI 演算法與高解析度模擬工具，本計畫致力於強化臺灣在極端氣象災害下的預警能力與應變效率，實現氣象科技的作業化與防災實務應用轉化。

二、專案重要性

本專案針對臺灣面臨的氣候風險，發展先進氣象預警與防災科技，具有極高的重要性與實務價值。從氣象觀測數據的整合優化出發，導入雙偏極化雷達技術、

自動化降雨估計、AI 預報模組及短延時災害預警系統，能有效提升預報時間解析度與空間精度，彌補現行作業模式的不足。

此外，計畫將深度學習與人工智慧技術導入氣象模式與資料同化流程，不僅強化強降雨與颱風等極端事件的推估，也擴展至次季節尺度的旱災水資源預警與氣候異常診斷，具前瞻性與跨領域整合的特性。凱米颱風與區域空污事件的模擬應用，則為日後智慧防災預警的落實工作奠定基礎。

三、 專案亮點成果

1. 雙偏極化雷達應用突破

- (1) 完成自動化區域降雨估計流程，成功提升山區極端降雨命中率至 35%，平地則達 75%。
- (2) 建立 10 分鐘自動化降雨估計程序，有效提升短延時預警準確度。
- (3) 針對凱米颱風個案，利用 2 分鐘解析資料，顯著改善降雨預估誤差。

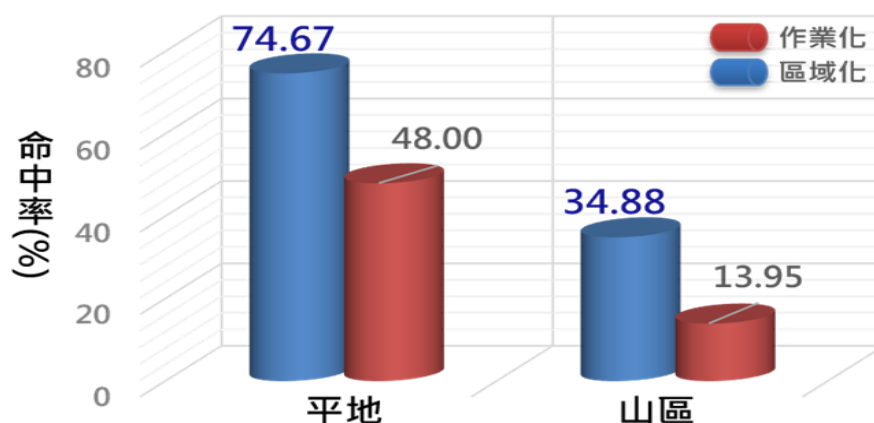


圖 1 時雨量大於 40 毫米的極端降雨事件，現行作業與區域化降雨估計的命中率進行比較

2. 落雨小幫手應用強化(劉等，2024)

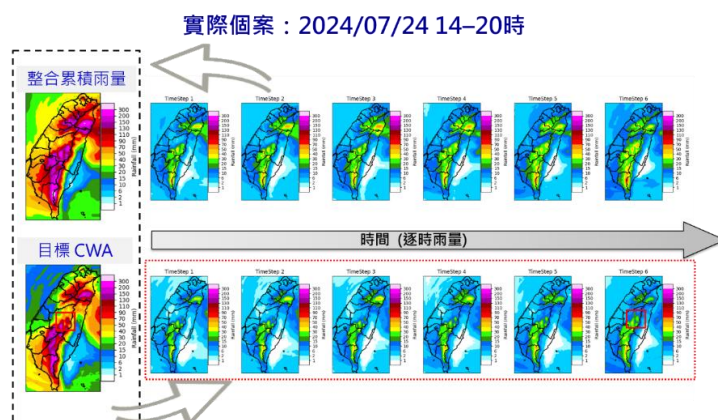


圖 2 凱米颱風於 2024 年 7 月 24 日 14 至 20 時的逐時雨量調整情況。上排顯示原始逐時雨量，下排顯示調整後的逐時雨量

- (1) 透過 16 個月歷史數據評估，在颱風與梅雨季期間表現出色，綜合指標分別達 0.7 與 0.6。
 - (2) 在凱米颱風期間提供即時 10 分鐘更新雨量預測，精準掌握颱風動態。
- ## 3. 雷達資料同化與短時預報技術升級
- (1) 實施無雨資料同化，改善模式背景場濕度與雨水誤差。
 - (2) 將 ExAMP 技術應用於 10 分鐘降雨預報，對短延時強降雨有良好應用潛力。
- ## 4. 次季節時序判釋智慧化(林等，2023)
- (1) 建立季節時序診斷模組與展示平台，支援 9 次水情會議情資。
 - (2) 導入 AI 模式掌握梅雨演進及雨量變化趨勢。

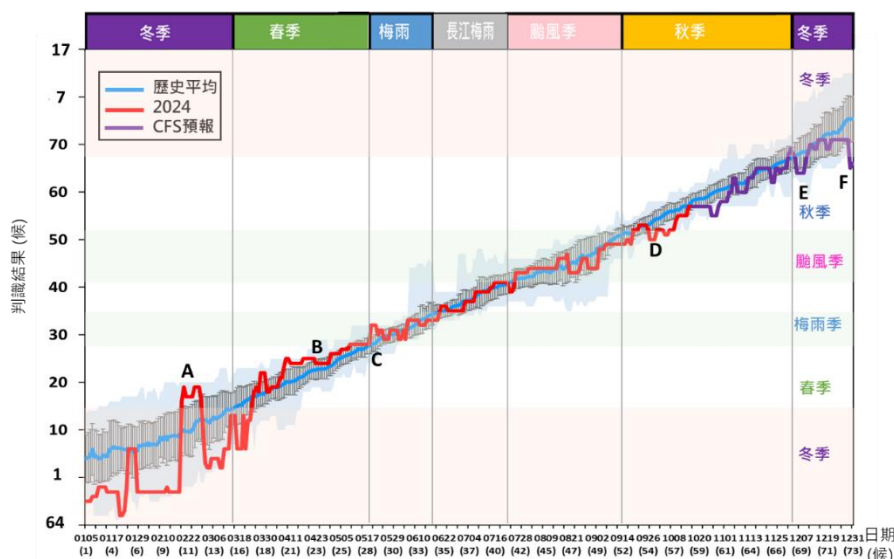


圖 3 以 AI 技術自動判識 2024 年季節時序以及未來時序演進

5. 空氣品質與污染模擬應用(黃等，2025)

- (1) 將 WRF 解析度提升至 3 公里，有效改善風速與 PM2.5 預測誤差約 30%。
- (2) 深坑火災事件中成功運用 HYSPLIT 模擬污染傳播軌跡，輔助防災應變。

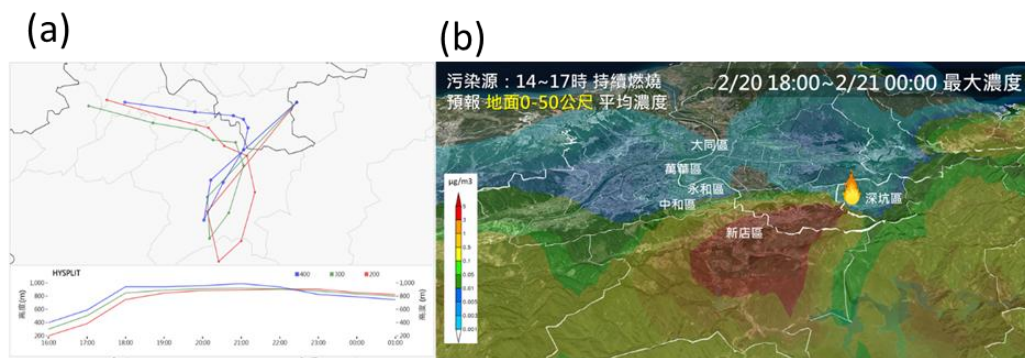


圖 4 深坑火災個案(a)2024 年 2 月 20 日下午 4 點開始的 PM2.5 軌跡模擬結果，上半部為水平軌跡，下半部為垂直軌跡隨時間的變化，(b) 2024 年 2 月 20 日 18 時至 21 日 0 時二氧化硫的最大濃度分布圖

https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_hysplit_conc_map

6. 高解析 AI 預報模組建置與上線

- (1) 引進 8 種 AI 氣象模組，如 GraphCast(Lam 等, 2023)、PGW(Bi 等, 2023)、FourCastNet(Bonev 等, 2023)等，作業化每日預報展示。
- (2) 使用 CorrDiff 模型(Mardani 等, 2023)生成 2 公里解析度風力與溫度預報圖資。

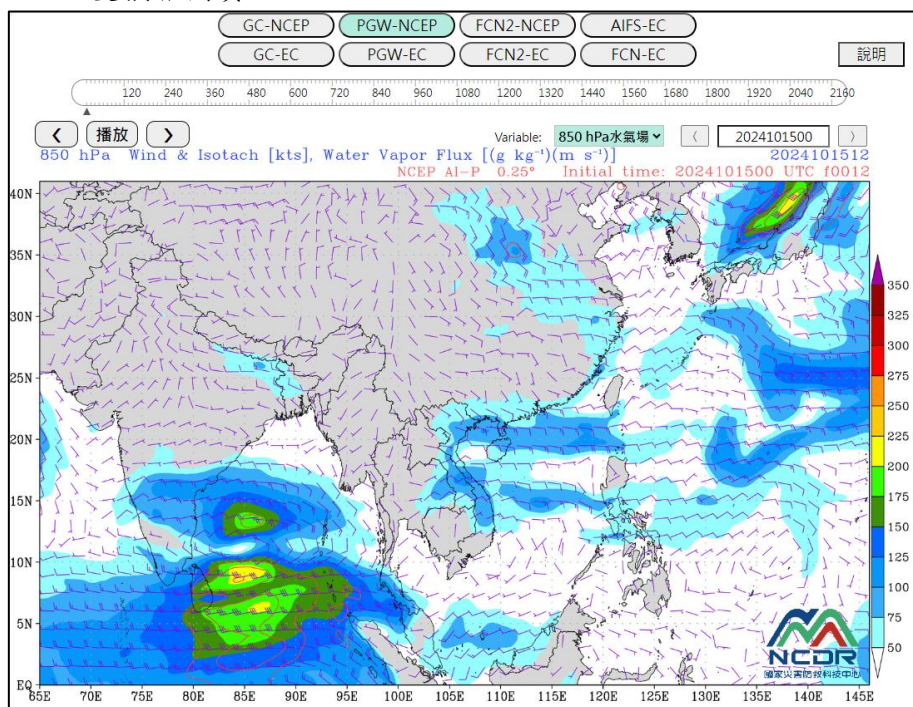


圖 5 八種 DWP 預報模組產品作業測試網頁
https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_dwp

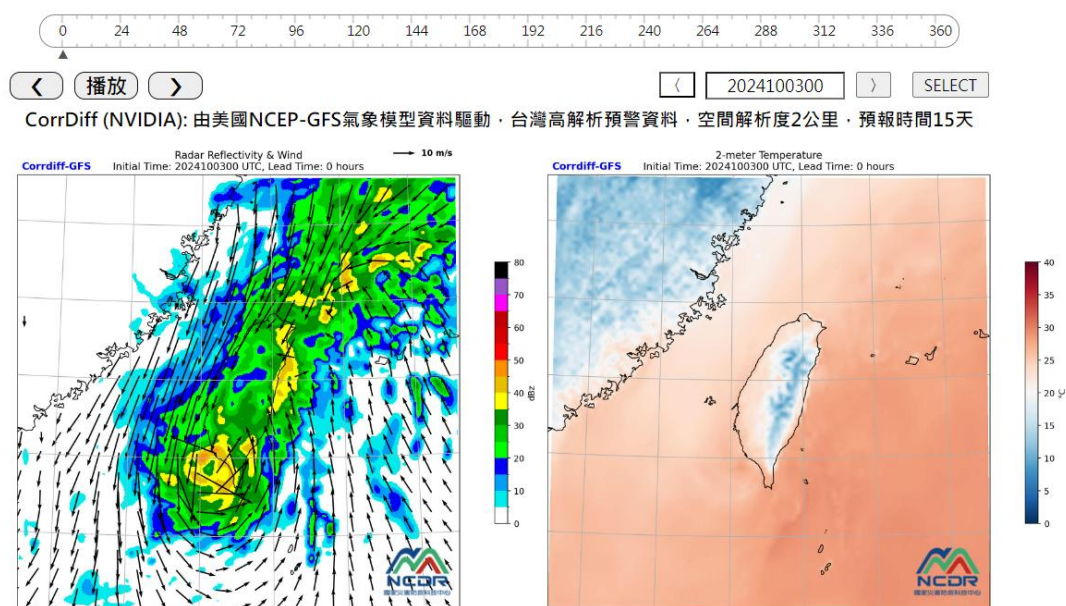


圖 6 CorrDiff 高解析度風力與溫度產品頁面
https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_corrdiff

7. 機器學習與深度學習應用成果

(1) SVR 模型推估陣風 R^2 高達 0.93，KNN 亦表現穩定。

(2) 使用 Attention、GNN、Bi-LSTM 組合，溫度預報可解釋變異量達 98.5%。

四、 結論

本專案透過多層次的氣象技術創新，成功建構一套兼具即時性、精確性與智慧化的災害預警系統，展現出強大的防災應變與操作實用性。從雙偏極化雷達資料的自動化降雨估計，到 AI 模型輔助的短延時預報與次季節氣候診斷，本研究不僅提升了颱風與強降雨等極端氣候事件的預測能力，也強化了面對旱災、空氣污染等綜合性風險的系統性應變能力。

透過真實案例驗證，如 2024 年凱米颱風與區域性火災污染事件，顯示本計畫成果已具備實務操作可行性，能提供決策單位即時且準確的風險資訊支援，為防災應變、資源調度與政策制定提供具體依據。此外，AI 預報模組、深度學習技術與大數據分析的導入，不僅開創氣象資料應用新局，更為臺灣災害預警與氣候韌性發展奠定科學根基。未來將持續擴展資料涵蓋範圍、強化跨域資料整合能力，並推動氣象智慧決策平台建構，全面提升預警系統的覆蓋力，實現氣象防災科技的永續發展與智慧治理目標。

五、 參考文獻

林冠伶、吳宜昭、朱容練、于宜強，2023:次季節氣候監測與產品服務，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 212 期。

黃麗蓉、林欣弘、王潔如、王璿瑋、黃柏誠、于宜強，2025：

HYSPLIT 模式在突發空氣污染事件之落實應用。台電工程月刊，917，38-47。

劉嘉騏、蔡直謙、廖信豪、于宜強，2024: 落雨小幫手之降雨預報

特性評估，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 230 期。

- Lam, R., Sanchez-Gonzalez, A., Willson, M., Wirnsberger, P., Fortunato, M., Alet, F., Ravuri, S., Ewalds, T., Eaton-Rosen, Z., Hu, W., Merose, A., Hoyer, S., Holland, G., Vinyals, O., Stott, J., Pritzel, A., Mohamed, S., & Battaglia, P. (2023). Learning skillful medium-range global weather forecasting. *Science*, **382**, 1416-1421.
- Mardani, M., Brenowitz, N., Cohen, Y., Pathak, J., Chen, C. Y., Liu, C. C., Vahdat, A., Mohammad Amin Nabian, M.A., Ge, T., Subramaniam, A., Kashinath, K., Kautz, J., & Pritchard, M. (2023). Generative residual diffusion modeling for km-scale atmospheric downscaling. arXiv preprint arXiv:2309.15214.
- Bi, K., Xie, L., Zhang, H., Chen, X., Gu, X., & Tian, Q. (2023). Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. *Nature*, **619**, 533–538. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>
- Bonev, B., Kurth, T., Hundt, C., Pathak, J., Baust, M., Kashinath, K., & Anandkumar, A. (2023). Spherical Fourier Neural Operators: Learning Stable Dynamics on the Sphere. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2306.03838>.