

2025全大氣觀測與模擬實驗計畫

蔡嘉倫¹ 廖宇慶² 林沛練² 陳韓鼎³ 劉千義³ 蔡世樵⁴ 黃柔嫚⁵

¹中國文化大學大氣科學系 ²國立中央大學大氣科學系 ³中央研究院環境變遷研究中心

⁴國防大學環境資訊及工程學系 ⁵國立嘉義大學景觀學系

摘 要

本實驗計畫名稱為全大氣觀測與模擬實驗，主要目的為探討太陽活動、重力波、閃電與對流降水系統的生成、發展、增強之交互作用。實驗區域選定為嘉義，實驗期間為 114 年 7 至 8 月。本實驗為大氣學門內跨次領域的整合工作項目，主要利用多部掃描式都卜勒光達觀測晴空大氣邊界層之動力與熱力結構與變化特徵，及多部氣象雷達進行降雨觀測。除此之外，也結合中高層大氣領域的觀測，了解大氣中閃電和重力波與近地面強對流降雨的交互作用機制。由於實驗計畫所關注的天氣現象為夏季劇烈對流降雨系統，因此儀器的部署除了向盛行風向上游區域拓展(台南)，還會沿著嘉義市向東邊山區延伸。主要參與實驗的研究團隊橫跨了許多台灣國內大氣科學相關的教研及作業單位，包含了中央氣象署、空軍氣象聯隊、中央研究院、中央大學、台灣大學、中國文化大學、嘉義大學、國防大學。除了達成設定科學目標外，觀測實驗之研究及分析結果還可應用在資料同化與氣象作業上，以增進對強降水系統的可預報度，也提供在台灣中南部區域環境監測上與飛航安全等不同面向的分析與應用。本觀測觀測提供了珍貴的全大氣資訊，並進一步透過 WISSDOM 與 TPTRS 反演出更細緻的三維風場與熱力場，以及透過全大氣耦合模式、衛星資料來進行分析。其研究結果不僅可提升對劇烈對流降雨的可預報度與降低氣象災害，對於增進學門內各團隊師生的合作交流也有很大的幫助。

關鍵字：太陽活動、重力波、閃電、對流降水系統

中央氣象署114年天氣分析與預報研討會

臺灣地區短延時強降雨氣候特徵分析

高聿正 林品芳
中央氣象署海氣遙測組

摘 要

近年臺灣短延時強降雨事件發生頻率有逐年增加的趨勢，對各級政府的防災應變工作造成嚴峻的挑戰。本文利用QPESUMS系統2015至2024年期間全臺灣地區1,582雨量站經過檢核的時雨量資料(時間解析度10分鐘)，分析臺灣地區短延時強降雨於年際、季節及日之地域空間分布特徵。

結果顯示短延時大雨(時雨量 ≥ 40 毫米)有顯著地域性，分別於陽明山區、臺北盆地、南投嘉南高屏山區、嘉南高屏平地及宜蘭山區為熱區，西南部平地及山區有較高的大雨發生機率。此外，受東亞季風與臺灣地形因素的影響，西半部大雨主要集中於5至8月，東半部則為8至10月，同時亦伴隨有顯著日變化特徵，主要發生於午後，北部大雨發生時間較早(14-17時)，中部以南時間較晚(15-18時)；年際變化特徵則顯示，2022年後平均發生次數明顯增加，平均降雨強度略為增強。另外全臺有17.0%的雨量站(269站)有極端時雨量(≥ 100 毫米)發生次數，發生機率在0.2%以下，最高平均降雨強度(時雨量108.8毫米)則位於北部地區。短延時強降雨氣候特徵分析除了可供氣象預警作業應用之外，亦可作為防、救災相關單位平時推動各項救災資源整備或是啟動防、救災緊急應變相關業務之重要參考依據。

關鍵字: 雨量資料檢核、短延時強降雨

A new strategy of the Machine learning based data calibration method for boundary layer observations with a low-cost mini-radiosonde system

Shih-Hao Su^{1*}, Min-Lun Wu¹

¹Chinese Culture University, ²National Taiwan University

Abstract

Even today, radiosondes remain the most direct method for measuring atmospheric vertical profiles. Generally, their high cost has limited sampling frequency in field campaigns. Low-cost mini-radiosondes now enable high-frequency, dense 3D observations, but maintaining consistent data quality across instruments is crucial. This study presents the strategies of the machine-learning (ML) based calibration method for the novel mini-radiosonde system, Storm Tracker (ST). To address temperature and moisture errors caused by solar radiation heating. We adopted a couple of ML modules as the kernel for data calibration. We used the co-launch radiosonde data from ST and Vaisala-RS41 between 2018 and 2022 as a training dataset to develop the ML model. The data calibration system can correct the temperature using the ML modules and then calibrate the moisture based on the corrected temperature.

The results show the linear calibration model exhibits good calibration capability for observing the planetary boundary layer (1000-700 hPa). On the other hand, the non-linear calibration model, with a more complex structure, maintains even better calibrating performance statistically. The data correction modules mentioned above are all based on a "point-to-point" data structure. However, for vertical atmospheric structure characteristics, such as atmospheric stability, it is likely more important. Based on this concept, we propose a new mini-radiosonde data correction strategy that can be more suitable for sequential data architectures. This approach integrates the sequential variation of radiosonde measurements into the correction model.

Key words : data calibration, machine learning, radiosondes

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會

39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

丹娜絲颱風(2025)異常資料品管分析

陳燕玲¹ (Chen Y.-L.) 齊祿祥¹ (Chi L.-H.) 鄭龍聰¹ (Cheng L.-T.) 林宜萱¹ (Lin Y.-H.) 李宜臻¹ (Li Y.-C.)

¹中央氣象署大氣觀測組

¹Observation Division, Central Weather Administration

摘 要

本研究針對丹娜絲颱風期間自動測站觀測資料進行系統性資料檢核與品質控管。資料異常偵測流程包含時間序列與空間分布比對、鄰站觀測值與模式估算參考，以及場址效應檢討。經由多重比對與交叉驗證，有效辨識受損儀器所致之極端值，並排除不合理觀測紀錄。研究顯示，導入多源資料檢核與場址條件分析，有助提升資料品管效能。建議未來品管機制應強化資料檢核邏輯並結合場勘與模式輔助，以確保氣象觀測資料之正確性與一致性。

關鍵字：丹娜絲颱風、資料檢核、場址效應

Quality Control Analysis of Abnormal Meteorological Observations During Typhoon Danas(2025)

Abstract

This study conducts a systematic data validation and quality control process for automatic weather station observations during Typhoon Danas. The outlier detection procedure includes temporal and spatial consistency checks, reference to nearby station observations and model-based estimates, as well as evaluations of siting effects. Through multi-source comparisons and cross-validation, extreme values caused by instrument malfunction were effectively identified and excluded. The results indicate that integrating multi-source validation and siting condition analysis can significantly enhance data quality control performance. It is recommended that future quality control frameworks strengthen validation logic and incorporate field inspections and model-assisted verification to ensure the accuracy and consistency of meteorological observations.

Key words : Typhoon Danas, Data Validation, Site Effects

C波段防災降雨雷達定量降雨估計法技術精進

邱健倫¹ 唐玉霜² 張保亮² 梁信廣²

¹資拓宏宇國際股份有限公司 ²中央氣象署科技發展組

摘 要

C波段防災降雨雷達的建置主要為都會區和低窪易淹地區，進行每兩分鐘更新的最低三層仰角的降水觀測，具有高時空解析的優點，而由此計算出的雷達定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)提供了面化的降雨資訊補足單點雨量站觀測限制，有利於防災單位進行與預警與應變。一般在計算雷達QPE時採用雷達資料的仰角角度越低，更能反應接近地面的真實降水情況，但防災降雨雷達建置之目的為的是補足都會和低窪地區觀測的不足，故其站址都在海拔較低之處，受地形和建築物遮蔽的情況難以避免，經過去除非氣象觀測資料後容易出現資料空洞和破碎的問題，為彌補空洞，目前劇烈天氣監測系統產製之降雨雷達QPE採用最低三層仰角之最大值降雨率來計算出QPE，利用2025年暖季多個案分析，與雨量站校驗結果顯示估計的降雨較實際觀測有高估的情形。因此本研究選擇最低層仰角資料，且在空洞或地形遮蔽影響區域使用條件性最大降雨率，得到整合的降雨估計產品。結果顯示條件性最大降雨估計法較最低三層仰角內取最大降雨率的方法能夠改善原本降雨高估的偏差。

關鍵字：防災降雨雷達、定量降雨估計

中央氣象署 114 年第三十九屆天氣分析與預報研討會

39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

雷達定量降水即時預報外延技術之改善

許佳諺¹ 張保亮¹ 方偉庭¹ 梁信廣¹ 唐玉霜¹

¹中央氣象署科技發展組

摘 要

由於目前傳統線性雷達回波外延技術對於 1-2 小時與 2-3 小時的預報能力易受到天氣系統的強度或移動速度的變化而快速遞減，而在過去研究嘗試系集方法，期改善外延的預報回波場進而改善雷達定量降水即時預報(Quantitative Precipitation Nowcasting, QPN)之預報能力。經由不同線狀對流個案分析與評估後，使用系集方法確實能改善決定性預報結果。

然而，過去研究雖然採用了 18 組不同參數設定的系集成員，並透過修正之系集平均搭配機率擬合平均法(New Probability-matched ensemble Mean, NPM)進行雷達回波外延預報，成功改善了決定性預報的表現，但此方法在實際作業應用上面臨了兩大挑戰：首先，18 組成員的預報需耗費大量運算資源，導致整體運算時間過長；其次，高頻率的回波外延資料亦造成儲存空間需求迅速增加，對於即時作業系統構成負擔。

因此，本研究進一步針對系集成員間的預報結果進行相似性分析，以評估是否存在高度冗餘的參數組合。藉由比對各成員在不同降雨門檻、時效及個案中的空間降水結構差異，篩選出彼此相似度較高者加以剔除，期望在保留預報多樣性與不確定性表徵的前提下，達到減少計算負擔與資料量的目的。

此外，也針對不同季節(如梅雨季與颱風季)進行敏感度測試與氣候分群，評估各參數組在不同氣候條件下的適用性與代表性，以利未來雷達外延預報作業能更有效率且穩定執行。

關鍵字：雷達定量降水即時預報

中央氣象局114年天氣分析與預報研討會

雙偏極化參數於強降水個案特性之探討

楊承泰 林品芳
中央氣象署海氣遙測組

摘 要

因應臺灣雷達觀測網於2023年起全面更新為雙偏極化雷達觀測網，以及臺灣短延時強降雨事件發生頻率有逐年增加的趨勢，臺灣地區雙偏極化觀測於短延時強降雨事件的探討、統計特徵以及後續的相關技術開發也愈趨重要。本研究使用臺灣北部S波段與C波段雙偏極化雷達以及地面觀測雨量資料，並根據中央氣象局所定義的大雨標準(時累積雨量達到40mm/hr以上)，將其分為大雨個案以及非大雨個案，探討兩者間在對流胞發展期間，其雙偏極化參數的特徵與差異。

初步分析多個個案結果顯示出，大部分的大雨個案在對流胞發展初期，其 Z_{DR} (差異回波)中位數較高，而 K_{DP} (比差異相位差)中位數則較低。隨時間演變， Z_{DR} 中位數逐漸下降，而 K_{DP} 中位數則逐漸上升，呈現趨勢相反的情形，且該趨勢特徵皆在對流胞內時累積雨量達到40mm/hr之前發生。而非大雨個案其 Z_{DR} 雖同樣有隨時間其中位數逐漸下降之趨勢，但 K_{DP} 則較無上升的趨勢，且中位數值整體偏低。根據這些統計特性與差異，可以幫助後續雙偏極化參數預警工具之開發以及可參考依據。

關鍵字：雷達、雙偏極化參數

嘉義地區夏季午後對流前兆之觀測研究

Observational Study of Precursors to Summer Afternoon Convection in the Chiayi Region

黃佩霖¹ (Huang P.-L.) 蔡世樵¹ (Tsai S.-C.) 蔡嘉倫² (Tsai C.-L.)

¹國防大學理工學院 ²中國文化大學

¹National Defense University

²Chinese Culture University

摘要

臺灣夏季午後常受熱對流影響，產生短延時強降雨、雷暴與強陣風等劇烈天氣現象，對天氣預報與防災作業帶來顯著挑戰。嘉義地區位處臺灣中南部平原與丘陵交界，午後對流活動頻繁，且具強烈局地性與突發性，對流生成前的環境演變與潛在前兆值得深入探討。本研究利用2024年8月11日至9月3日進行之「嘉義晴空大氣邊界層觀測實驗」觀測資料，針對8月13日與14日兩個具明顯對流發展之個案進行分析。實驗期間佈設多項高解析度觀測儀器，包括掃描式都卜勒光達、雷達剖風儀、多頻道微波輻射儀及施放微型探空等，並搭配歐洲中期天氣預報中心第五代大氣再分析資料(ECMWF Reanalysis v5, ERA5)進行環境場結構驗證與輔助分析。觀測網涵蓋嘉義市區、嘉大蘭潭校區與水上機場等多站點，提供連續性的邊界層風場與熱力結構資訊。

本研究聚焦於對流生成前1至3小時之大氣環境演變，探討晴空條件下各項觀測指標對午後對流前兆判識之可行性。初步分析結果顯示，對流發展前期常伴隨地面氣溫上升、相對濕度增加，對應邊界層內潛在不穩定能量累積；掃描式光達與剖風儀資料顯示，對流爆發前數小時可偵測到中低層風切變增強與局部風場輻合現象，為潛在的動力觸發條件。此外，ERA5資料亦顯示對流發生前有明顯之氣流輻合與水氣抬升現象，可作為實測資料之輔助與驗證工具。本研究驗證晴空條件下應用光達與多源觀測資料於午後對流前兆判識之可行性，對提升劇烈天氣預警能力與發展即時觀測系統具有實務價值。未來將持續擴展事件樣本並進行統計驗證，以建立可量化之嘉義地區午後對流前兆指標。

關鍵字：午後對流前兆、都卜勒光達、雷達剖風儀、多頻道微波輻射儀、ERA5

台灣地區冰雹天氣系統的分析探討

Investigation on Weather Scenarios Related to the Hail Phenomena
in Taiwan Area

徐天佑¹ (Hsu, T.-Y.) 何台華² (Hor, T.-H.) 吳宗霖¹ (Wu, T.-L.)

¹台大天氣團隊 ²龍華科技大學

¹Weather Team, National Taiwan University

²Lunghwa University of Science and Technology

摘要

冰雹是劇烈強對流的天氣現象，台灣地區處亞熱帶地區，但冰雹現象偶爾還是會發生，尤其在春夏季節，當大氣不穩定、對流旺盛時，冰雹就有可能出現。冰雹常因「飗線」系統或冷心低壓通過時而產生，並伴隨雷雨、強風等劇烈天氣。

今年(2025 年)台灣地區在冷鋒過境，3 月 4 日台北市信義、內湖、南港、文山區，及新北市汐止、新店、中和區各地紛紛下起冰雹。

6 月 26 日和 27 日有冷心低壓通過台灣高空，屏東高樹鄉海豐地區 6 月 27 日下午出現冰雹。

7 月 1 日嘉義地區午後對流旺盛，閃電及雷雨雨勢驚人，也出現下冰雹現象。

上述三種不同天氣系統所產生冰雹現象的異同是本文研究的重點，尤其 DCAPE (Downdraft Convective Available Potential Energy) 值的大小是影響冰雹產生的關鍵因素之一，本文也將冰雹當時的探空以及雷達觀測剖面加以分析，以進一步了解產生冰雹的相關原因，並探討其中的可預報度。

關鍵字：冰雹，DCAPE，可預報度。

上游海風與地形效應對臺北盆地午後對流發展之觀測分析

吳珮燁, 蔡嘉倫

中國文化大學 大氣科學系

摘 要

本研究利用交通部民用航空局桃園機場與中央氣象署五分山都卜勒雷達以及地面氣象測站資料，分析 2007 年 8 月 22 日的台北午後對流降雨個案。主要目的為瞭解臺北盆地上游桃園市的海風如何受小尺度地形的影響而激發出對流，以及此對流後續的發展對臺北午後熱對流之影響。透過分析雷達回波的變化特徵後可發現，1100 ~ 1200 LST (Local Standard Time) 這段時間內，桃園市的桃園區有微弱的淺對流產生。隨後在 1220 LST，桃園市及新北市交界處的光明山產生第一個雷達回波大於 35 dBZ 的對流胞，此時可定義為對流生成(Convection Initiation，CI)的時間。接著這個對流胞持續成長為雷達回波大於 50 dBZ 的對流胞，並且從光明山逐漸往東北東方向朝臺北盆地移動。於 1310 LST 左右與另一個在臺北內湖區生成的對流胞合併，此時可定義為跨尺度對流成長(Upscale Convective Growth，UCG)。從雷達回波觀測可以得知，接下來直到 1700 LST 前桃園產生的對流會持續以東北方向往臺北盆地內移動，持續發展成中尺度對流系統(Mesoscale Convection System，MCS)的強度，而為臺北盆地帶來了顯著降雨。透過桃園機場雷達之徑向風場、ERA5(ECMWF Reanalysis v5)以及桃園地面測站資料的分析顯示，桃園沿海的海風可將水氣帶入且可深入內陸約 18 公里，其位置與雷達回波所觀測到的淺對流一致。因此，本個案分析之臺北盆地午後降雨機制可能為上游水氣深入內陸後於 1100 ~ 1200 LST 這段時間內在桃園市的桃園區產生淺對流，而此淺對流之降雨所引發的冷池外流受到光明山地形抬升而激發出對流(即為 CI)，後續 UCG 所形成的 MCS 造成臺北盆地之顯著降雨。位於上游桃園的環境條件和地形結構對於桃園的 CI 與下游台北盆地的 UCG 扮演了相當重要的角色，本研究結果預期將可應用在提升首都臺北市午後對流降雨強度、時間與範圍的可預報度。

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會 39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

閃電落雷偵測系統之資料分析及應用

陳燕玲¹ (Chen Y.-L.) 李育棋¹ (Lee Y.-C.) 齊祿祥¹ (Chi L.-H.)

¹中央氣象署大氣觀測組

¹Observation Division, Central Weather Administration

摘 要

閃電可能直接造成災害，並影響大氣物理及化學變化，閃電資料可以提供災防資訊，並可應用於監測短期劇烈天氣及長期氣候變遷。在短期劇烈天氣，閃電是強烈雷雲電場的直接反應，由強烈的大氣濕對流和冰粒的活躍降水過程而產生，可以幫助監測雷暴的發展狀態。在長期氣候變遷，由於雷電放電會產生雷電氮氧化物，進而產生對流層上層臭氧等溫室氣體，影響空氣品質。在閃電氣候學的相關研究顯示，由於雲冰和對流強度的增加，閃電隨著氣候變遷而增加。整體而言，閃電提供了有關各種大氣過程的有用信息，並為天氣、氣候、大氣化學和閃電物理學等廣泛學科提供了重要的科學見解。此外，雷電本身直接對公共安全造成威脅，有些復發熱點甚至年復一年地被重複擊中。為進行閃電落雷偵測系統資料分析及應用，本研究使用中央氣象署、天氣風險公司及台電公司的閃電資料，分析閃電的時空分布特徵，並探討其與短期天氣及長期氣候之關聯性。

關鍵字：閃電

Data Analysis and Application of Lightning Detection System

Abstract

Lightning can directly cause disasters and affect atmospheric physical and chemical changes. Lightning data can provide disaster prevention information and can be used to monitor short-term severe weather and long-term climate change. In short-term severe weather, lightning is a direct response to the strong thundercloud electric field, which is generated by strong atmospheric moist convection and active precipitation of ice particles, and can help monitor the development of thunderstorms. In long-term climate change, lightning discharges will produce lightning nitrogen oxides, which in turn produce greenhouse gases such as ozone in the upper troposphere, affecting air quality. Related studies in lightning climatology show that lightning increases with climate change due to the increase in cloud ice and convection intensity. Overall, lightning provides useful information about various atmospheric processes and provides important scientific insights into a wide range of disciplines such as weather, climate, atmospheric chemistry, and lightning physics. In addition, lightning itself directly threatens public safety, and some recurring hotspots are even struck repeatedly year after year. In order to analyze and apply lightning strike detection system data, this study uses lightning data from the Central Weather Administration, Weather Risk Corporation, and Taipower Corporation to analyze the spatiotemporal distribution characteristics of lightning and explore its correlation with short-term weather and long-term climate.

Key words : Lightning

臺灣高山冬季固態降水觀測特徵分析與預報方法探究

Winter Solid Precipitation in Taiwan's High Mountains: Observational Characteristics and Forecasting Methods

朱美霖 (Chu M.-L) 劉宇其 (Liu Y.-C.)

中央氣象署氣象預報中心
Weather Forecast Center, Central Weather Administration

摘 要

臺灣是多山的島嶼，雖然位處於亞熱帶，每年冬春季高山皆有降雪發生。惟高山天氣及地形複雜，加上觀測資料較為稀少，模式難以精確掌握相關變數，使高山降雪預報有其困難度。本研究以玉山氣象站為代表分析歷史資料，以了解冬季固態降水好發特性，其次聚焦於2024/2025年冬至春季實際固態降水事件，進行預報校驗及分析相關氣象參數之特徵。結果顯示，玉山降雪好發於每年11月至隔年4月間，以1至3月最頻繁且積雪量較多。冷季固態降水型態以雪為主，其次為冰珠、雪粒、霰及凍雨。2024/2025年冬至春季期間，除玉山外，雪山、合歡山、嘉明湖等3000公尺以上地區，以及太平山、梨山、拉拉山、武陵與福壽山農場、司馬庫斯等1500~2000公尺以上地區亦有固態降水發生。比對模式分析場發現，固態降水事件與僅有結冰或降雨事件在結冰高度、水氣層厚度與中層溫度等參數上有所差異；歐洲系集模式之降水類型機率產品在近時效與顯著事件下具參考價值，惟須留意模式取樣海拔與實際地形之差異。上述分析可助提升冷季固態降水預報準確度及研判信心。

關鍵字：臺灣高山、固態降水、降雪預報、系集模式預報降水類型機率

Abstract

Taiwan is a mountainous island in the subtropics, where snowfall can occur at high altitudes during winter and spring. However, complex terrain, limited observations, and model resolution constraints make snowfall forecasting difficult. This study uses Yushan Weather Station to examine historical solid precipitation characteristics and focuses on the 2024/2025 winter-spring season to verify forecasts and analyze related meteorological parameters. Results show snowfall mostly occurs from November to April, especially from January to March, with snow being the most common type, followed by ice pellets, snow grains, graupel, and freezing rain. During 2024/2025, solid precipitation was also reported at altitudes above 3000 meters, such as Mount Syue and Mount Hehuan, and at altitudes of 1500–2000 meters, such as Taipingshan and Wuling Farm. Events were linked to lower freezing levels and deeper moisture layers. ECMWF ensemble forecasts provided useful guidance for near-term and significant events, though terrain mismatch must be considered.

Key words: High mountains areas of Taiwan, solid precipitation, snow forecast, ensemble precipitation-type probability forecast

測站及雨量計查核協作系統介紹

謝黎惠 樓順忠 黃國文 林軍廷 楊志賢

國立臺灣大學水工試驗所 臺大雨量計校正實驗室

摘 要

降雨因生成機制不同（天氣系統）可能有空間、時間不連續問題，但雨量計只要持續輸出數據，很難判斷一地降雨量測是否準確。然而多數觀測單位的傾斗式雨量計校正週期為3年，對於設置戶外日曬雨淋、暴露於溫濕度變化劇烈，甚至處於鹽化鏽蝕、化學汙染等環境的雨量計而言，量測可能隨清潔維護、使用頻率、使用年限…等而變化，無法確保雨量計在兩次校正期間能持續精準量測。

臺大雨量計校正實驗室（TAF 3487）十餘年來累積近3,000部雨量計校正經驗，為解決現地觀測問題，簡化實驗室標準校正程序，研發現地查核儀具，建置可作業化的查核程序，開發APP（Android系統）讓第一線人員能於現場迅速、簡易地查核雨量計量測器差、判斷勘用狀況。同時，提供測站維護清單讓人員每次到現場可逐一查核代辦事項、避免掛萬漏一，同時解決人員傳承及維護資料儲存與檢索問題。本系統已取得中華民國發明專利第I793041號，並獲氣象署及農村水保署認同使用。目前更規劃「測站及雨量計查核協作系統」，除可將手機查核結果上傳，供相關主管機關能透過雲端、對轄下雨量計之查核進行檢視，掌握各測站及雨量計現況，更整合實驗室方的歷史校正資料，一站式達主動管理雨量計目的。本系統期以臺大及本實驗室多年投入，計畫透過觀測單位、校正單位(CWA及NTU)、供應商及維護商，能分權管理、一起協作，共同打造雨量計生命履歷、建立測站分級制度，讓降雨觀測者對自己的觀測更有信心，而降雨資料使用者也能判斷自己對分析資料結果的可信度。

關鍵字：傾斗式雨量計（TBRG, Tipping Bucket Rain Gauge）、現地查核儀具（Field Calibration Device）、現地查核APP（Field Check APP）、測站及雨量計查核協作系統（www.rgiss.com.tw）

TAHOPE期間台灣南部午後對流系統發展之探討

Research on Thunderstorms in Southern Taiwan during TAHOPE

宋偉國¹、陳智羿²、朱宗良²

¹ 空軍航空技術學院軍事氣象系 ² 航空技術學院戰航管氣象組

¹Soong Wei-Kuo, ²Chen Chih-Yi, ²Chu Tsung-Liang

¹Department of Military Meteorology, Airforce Institute of Technology

²Department of Tactical Control, Air traffic Control & Meteorology, Airforce Institute of Technology

摘要

本文目的為分析TAHOPE期間6月29-30日午後發生於台南、高雄交界處之對流系統發展條件。透過大氣水文資料庫提供氣象署資料、落雷資料，探討6月29-30日對流個案短時間發生顯著降雨，然而6月30日對流迅速減弱，6月29日對流系統卻可以持續發展並北移。研究結果顯示二個個案均為午後海風與地形局部環流形成的輻合場，配合大尺度水氣供應，使雷暴迅速發展，但6月30日綜觀環境無法提供垂直風切，雷暴下沉氣流抑制地面上升運動，且夜間地面溫度已下降，此時海風已消散，缺乏局部環流提供的輻合機制下，該對流系統迅速減弱消散。6月29日則有顯著垂直風切，近地面至850 hPa西南風，700 hPa東南風，台灣南側颱風低壓擾動伴隨的西南風帶來豐富水氣使CAPE增加，配合高低層風向的差異，使對流持續成長。

2025年熱帶低壓TD02和2024年熱帶低壓TD19引發的 暴洪災害多重情境分析與預警

Analysis on the Multiscale Situations of Flood Disaster Involved in the Tropical Depressions of 2025 TD02 & 2024 TD19 for Early Warning

何台華¹ (Hor, T.-H.) 徐天佑² (Hsu, T.-Y.) 朱炯光³ (Chu, C.-K.) 曾俊傑⁴ (Tseng, C.-C.)

¹龍華科技大學通識教育中心 ²台灣大學天氣團隊

³空軍作戰指揮部督察室 ⁴天宇宏圖規畫諮詢顧問公司

¹Lunghwa University of Science and Technology

²Weather Team, National Taiwan University

³Inspection Office, Air Force Combat Command, ROC

⁴Tian Yu Hong Tu Planning Consultants Co.

Abstract

The heavy rainfall events on 12-13 June 2025 (TD02, Case 1) and 21-22 September 2024 (TD19, Case 2) due to the influence of tropical depressions brought severe flash floods with landslides, damage of roads, houses and crops in Taiwan areas. The objective of this research is to realize the large-scale dynamic conditions, and furthermore, the physical mechanisms from the mesoscale point of views to find out the approximate approaches for disaster prevention and early warning.

The primary findings for Case 1 suggest that under the influence of Pacific High and TS Wutip (蝴蝶), a convergent effect of southeasterly steering flow was located off the east and northeast area of Taiwan in an intensely unstable environment, and this weather pattern made TD02 propagate northwestward in moving speed~15 m/s. Furthermore, just before the landfall at Fengbin, Hualien (花蓮豐濱), its vertical structure was in a tilt form and a secondary vortex was obvious at the south-southwest flank of the primary one, probably organized by the Taiwan complex terrain and mountains. The low-pressure belt was formed and shifted northward near the south coast of Taiwan, and, combining the circulation flow of Pacific High, the southwesterly flow with moist and warm air resulted in the heavy rainfall over the south part of Taiwan with maximum hourly rainfall rate of 89 mm (高雄大寮) and daily rainfall rate of 239 mm (屏東春日), respectively. Also, in Case 2, the vigorous water vapor was delivered from the South China Sea to Taiwan, Japan and Korea areas, and the positive vorticity in low level and negative vorticity in high level off the northeast coast of Taiwan brought an unstable environment for maintenance of TD. Again, the coupling effect of Taiwan terrain and circulation of TD19 as well as the intrusion of a cold moist tongue from the east coast of China to the north coast of Taiwan triggered the initiation and development of deep convection between TD19 and Taiwan topography. Based on the radar observations, the cloud top of the well-defined deep convection could reach more than 10km in altitude, and it resulted in the maximum hourly and daily rainfall rates were 102mm (新北三貂嶺) and 369mm (新北平溪), respectively.

The forecasts of TD track, duration of stay, amount of accumulated rainfall and intensity of wind field are the key factors for disaster preparation, and more information input for nowcasting is quite significant for well preparation, including intensive satellite and radar observations. Hopefully, the preliminary concept models combined from these two catastrophic flooding cases could offer a multiscale weather scenario for the early warning of disaster.

Key words : tropical depression, flash flood, disaster prevention

交通部中央氣象署 114 年第三十九屆天氣分析與預報研討會

– 中英雙語摘要格式說明 –

摘要內之字體大小說明如下 (請參閱所附範例)

中文字體請採用新細明體，英文字體採用 **“Times New Roman”**字體。用字大小以中文視窗WORD為例：

中文	English
(一) 題目 : 16 點加黑	1. title : 14 points, <u>bold</u>
(二) 作者及單位 : 10 點加黑	2. Author(s) and affiliation(s) : 10 points, <u>bold</u>
(三) 段名 : 14 點加黑	3. paragraph heading : 12 points <u>bold</u>
(四) 內容 : 10 點	4. other : 10 points
(五) 紙式:A4(1頁50列,2欄/列,22字/欄)	5. size :A4(60 rows × 2 col./page)
(六) 範圍:A4紙張左,右及上方各空2公分	6.scope:2cm left from edge on right, left, and top

AWIPS-II NSHARP 在臺灣地區特殊天氣過程中的實務應用

Practical Application of AWIPS-II NSHARP during Special Weather in Taiwan Area

林定宜 (Lin, Ting-I)

中央氣象署預報中心

Meteorological Forecast Center, Central Weather Administration

摘 要

NSHARP 是美國風暴預報中心 (SPC) 和航空氣象中心 (AWC) 預報員用來顯示 Skew-T 圖、風徑圖和各種穩定性指數的工具，由 NCEP 開發人員轉移到 AWIPS-II 的「插件軟體」，成為 AWIPS 可視化環境 (CAVE) 的組成部分。本報告之重點是聚焦其在天氣分析作業上之應用，內容包括臺灣地區特殊天氣個案研究，以驗證 NSHARP 在地化之適用性。研究結果大致符合預期，對於本地實際作業面，具有良好的天氣診斷分析價值，未來若能加強建置本土自身的物理量參數統計資料庫，將更能符合臺灣特殊天氣變化特性，而使 AWIPS-II NSHARP 功能發揮至更極致。

關鍵字：AWIPS-II NSHARP, Skew-T, Hodograph

Abstract

NSHARP, a tool used by the U.S. Storm Prediction Center (SPC) and the Aviation Weather Center (AWC) forecasters for displaying Skew-T plots, Hodograph, and various stability indices, was transferred from the NCEP developers to the AWIPS-II “plug-in software”, which is an integral part of the AWIPS Visualization Environment (CAVE). This report focuses on the application of NSHARP in weather analysis, including a case study of special weather in Taiwan to verify the applicability of NSHARP in localization. The research results are generally in line with expectations, and have good value for local actual operations in weather diagnosis and analysis. In the future, if we can strengthen the establishment of a local statistical database of physical parameters, it will be more in line with the characteristics of the special weather changes in Taiwan, and the function of AWIPS-II NSHARP will be utilized to the fullest extent.

Key words: AWIPS-II NSHARP, Skew-T, Hodograph

離岸氣象塔量測資料對海表面粗糙度之數值解析

On the quantities describing the ocean surface roughness reduced from the offshore met tower data

苗君易¹ (Miau J.-J.) 陳喻歆^{1*} (Chen Y.-H.) 陳盈如¹ (Chen Y.-R.) 李承佑¹ (Lee C.-Y.)
商清妍¹ (Shang C.-Y.) 紀惠珊¹ (Chi H.-S.) 莊智清² (Juang J.-C.) 董東璟³ (Doong D.-J.)
范揚洛³ (Fan Y.-M.) 葉文豪⁴ (Yeh W.-H.) 蔡永富⁴ (Tsai Y.-F.)

¹國立成功大學 航空與太空工程學系 ²國立成功大學 電機工程學系 ³國立成功大學 近海水文中心
⁴國家太空中心

¹National Cheng Kung University, Department of Aeronautics and Astronautics

²National Cheng Kung University, Department of Electrical Engineering

³National Cheng Kung University, Coastal Ocean Monitoring Center

⁴Taiwan Space Agency

*Email of corresponding author: asterr1228@gmail.com

摘 要

在使用GNSS-R來獲取海面風場資訊時，一項極為重要的物理參數便是由風力所驅動海浪所造成的海表面粗糙度。在考慮從海面散射而來的GNSS訊號功率時(Juang et al, 2016)，海浪的均方傾度(mean square slope, MSS)對NBRCs(Normalized bistatic radar cross section)具有關鍵影響。在描述海面粗糙度方面，文獻中常見三種指標：其一是粗糙高度 k_s ，用以描述完全粗糙平板紊流邊界層(Clauser, 1956；Schlichting, 1968)，因為所考慮的大氣邊界層可視為此類型之一；其二是粗糙長度 z_0 ，此為描述空氣與海洋交互作用現象的經驗公式中常見參數(Charnock, 1955)；第三則是前述的波浪均方斜率MSS。在本研究中，透過在台中港外海氣象塔所同步量測的風與波浪資料，使得這三種粗糙度參數之間得以進行比較。我們利用超音波風速儀取得的風速資料，分析了粗糙高度 k_s 與粗糙長度 z_0 在不同風速條件下的相關性。從理論上看， k_s 與 z_0 兩者應具備關聯性，因為它們皆被用於對數律速度剖面中。同時，結合由氣象塔上波浪儀所得的MSS資料，我們也探討了MSS與 k_s (或 z_0)之間的相關性；這些參數經由摩擦速度(u^*)與空氣動黏度(ν)無因次化後進行分析。值得一提的是，從本研究波浪資料推算出的MSS值，與CYGNSS任務在距離氣象塔70公里以內觀測地點所報告的數值具有良好的一致性。

本研究由TASA支持(合約編號: TASA-S-1130505)，並致謝永傳能源股份有限公司提供離岸氣象塔為本研究使用。

關鍵字：GNSS-R、海表面粗糙度、均方傾度

Abstract

In using the GNSS reflectometry method to retrieve the information of wind over an ocean surface, a physical parameter of great importance is the roughness of ocean surface which is due to wind driven waves essentially. In considering the power of GNSS signals scattered from the ocean surface (Juang et al. 2016), the mean square slope of waves on the ocean surface plays a key role affecting the normalized bistatic radar cross section (NBRCs). For characterizing the roughness of ocean surface, in fact they are three ways readily found in the literature, namely, the roughness height k_s characterizing a fully-roughened flat-plate turbulent boundary layer (Clauser 1956; Schlichting 1968) since the atmospheric boundary layer under consideration can be regarded as one of this kind, the roughness length z_0 which is appeared in an empirical relation concerned with the phenomenon of the air-sea interaction (Charnock 1955), and the mean square slope of waves, MSS, mentioned above. In this study, a comparison of the three quantities was

enabled with the wind and wave data obtained simultaneously on an offshore met tower near Taichung Harbor. A correlation between the two quantities of k_s and z_0 was examined over a range of wind speeds based on the data obtained from an ultrasonic anemometer. Theoretically speaking, k_s and z_0 should be correlated because they are introduced in the respective log-law velocity profiles. Along with the MSS values reduced from the wave gauges on the met tower, a correlation between MSS and k_s (or z_0), which were non-dimensionalized by the friction velocity (u^*) and the kinematic viscosity of air (ν), was examined as well. It is worthwhile to mention that the MSS values reduced from the present wave data were in good agreement with those reported by CYGNSS mission at the locations near the met tower within a distance less than 70 km.

This work is supported by TASA under the contract number: TASA-S-1130505. Acknowledgement should also be given to Taiwan Generations Corp. for the use of the offshore met tower.

Key words: GNSS-R, ocean surface roughness, mean-square slope (MSS)

References:

- Charnock, H. (1955). Wind stress on a water surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81(350), 639-640.
- Clauser, F. H. (1956). The turbulent boundary layer. *Advances in applied mechanics*, 4, 1-51.
- Schlichting, H. (1968). Boundary-layer theory. Translated by Kestin, J., sixth edition, McGraw-Hill, Inc., pp. 581-583.
- Juang, J. C., Ma, S. H., & Lin, C. T. (2016). Study of GNSS-R techniques for FORMOSAT mission. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10), 4582-4592.

東北季風期間離岸與近岸風場風向差異分析

Comparative Analysis of Offshore and Coastal Wind Direction Discrepancy During Northeast Monsoon Periods

商清妍^{1*} (Shang C.-Y.) 苗君易¹ (Miau J.-J.) 陳盈如¹ (Chen Y.-R.) 陳喻歆¹ (Chen Y.-H.)
李承佑¹ (Lee C.-Y.) 紀惠珊¹ (Chi H.-S.)

¹國立成功大學

¹ National Cheng Kung University

*Email of Corresponding author: eqiq3322@gmail.com

摘 要

本研究針對台灣西部沿岸在強烈東北季風事件期間，不同測站之風向差異進行探討。選取兩個時間區段內共 20 組具代表性的東北季風事件，分別為 2016 年 10 月至 2017 年 3 月，以及 2022 年 10 月至 2023 年 3 月。風場觀測資料來自三座氣象測風塔：台電（TP）離岸測風塔（距岸約 6 公里，高度 95 公尺）、永傳能源公司（TGC）離岸測風塔（距岸約 8 公里，高度 86 公尺）以及設於台中清水的標檢局（BSMI）近岸測風塔（高度約 100 公尺）。分別篩選出 11 組（2016 – 2017）與 9 組（2022 – 2023）強盛季風事件進行比較。所有資料皆經由美國國家海洋暨大氣總署（NOAA, 2003）所制定之

《Manual for Real-Time Quality Control of Coastal and Oceanic Wind Observations》中所列之 Test 6、7 與 8 品質管制程序進行檢驗，以確保資料邏輯一致性與可靠性。整體資料的失效率低於 1%，唯 Test 7 約 5% 的數據被標記為異常，經人工檢視後並未發現不合理數據。雖然 NOAA 手冊是針對美國沿岸與大氣觀測所設計，但在台灣尚無風場品管準則的情況下，仍為具參考價值的依據。

研究結果顯示，離岸與近岸測風塔之間的風向具有顯著差異。於 2016 – 2017 年期間，TP 測風塔記錄之平均風向為 316.02°（北北西），而 BSMI 測風塔則為 29.58°（東北偏北），兩者相差逾 70°。於 2022 – 2023 年間，TGC 測風塔記錄為 345.71°，而 BSMI 為 28.69°，差異亦超過 40°。地面天氣圖顯示在上述事件中存在穩定的東北風場，而台中地區地面觀測亦顯示為典型東北風。然而，離岸測風塔所觀測到的風向偏向西北，顯示風向會隨測站位置產生顯著轉變。

導致此差異的機制可能包括埃克曼螺旋效應（Ekman spiral）、海陸表面粗糙度差異，以及地形導引或偏折等現象。雖然埃克曼理論指出北半球風向會隨高度順時針轉向，但一般認為在地表下方 100 公尺內，其轉向角度相對有限（Tse et al., 2016）。此外，地形效應與地表摩擦力在不同天氣條件下亦會對邊界層中的風向造成顯著影響（Pena et al., 2014）。

本研究顯示，在台灣西部沿岸，不同位置的邊界層風場於約 100 公尺高度處可能呈現顯著風向轉變，此現象可能與地表摩擦力與地形差異有關。研究結果強調，在進行離岸風能資源評估時，應審慎考慮風場的空間變異性與邊界層過程的影響。

特此致謝經濟部標準檢驗局（BSMI）、台灣電力公司（Taipower）與永傳能源公司（Taiwan Generations Corp.）提供本研究所需之氣象觀測風場資料。

關鍵字：東北季風、風向差異、埃克曼螺旋、地轉風、表面粗糙度、台灣海峽

Abstract

This study investigates wind direction discrepancies at different locations along the west coast of Taiwan during strong northeast monsoon events. A total of 20 representative monsoon cases were selected during two periods of time:

October 2016 to March 2017, and October 2022 to March 2023. Wind measurements were obtained from three meteorological masts: the Taipower (TP) offshore mast (approximately 6 km offshore, 95 m height), the Taiwan Generations Corp. (TGC) offshore mast (approximately 8 km offshore, 86 m height), and the BSMI onshore mast in Qingshui, Taichung (approximately 100 m height). A total of 11 (2016–2017) and 9 (2022–2023) strong monsoon events were collected for comparison. All data underwent quality control based on Tests 6, 7, and 8 as defined in the Manual for Real-Time Quality Control of Coastal and Oceanic Wind Observations published by NOAA (2003), ensuring logical consistency and data reliability. The overall data rejection rate was below 1%, with the exception of Test 7, which flagged approximately 5% of the records which revealed no significant issues by visual inspection. While the NOAA manual is designed for U.S. coastal and atmospheric environments, it remains a commonly referenced guideline in the absence of a Taiwan-specific quality control standard for wind data.

The results revealed significant discrepancies in wind direction between the locations of the offshore and onshore masts. During 2016–2017, the TP offshore mast recorded a mean wind direction of 316.02° (NNW), while BSMI recorded 29.58° (NNE), with a difference of over 70° . In 2022–2023, TGC offshore mast recorded 345.71° , and BSMI recorded 28.69° , with a difference exceeding 40° . Surface weather charts showed a stable northeasterly flow during these events, and ground-level observations in Taichung also indicated typical northeast wind direction. However, the offshore masts showed a northwesterly direction, suggesting that the wind direction shifted with the locations of the wind masts.

Multiple mechanisms may contribute to this discrepancy, including the Ekman spiral effect, differences in surface roughness between ocean and land, and terrain-induced channeling or deflection. While Ekman theory suggests clockwise turning of wind with height in the Northern Hemisphere, it is generally accepted that within the first 100 meters above ground, the turning angle is rather limited (Tse et al., 2016). Additional factors such as local terrain effects and surface friction may significantly influence the wind direction in atmospheric boundary layer subjected to different weather conditions (Pena et al. 2014).

This study demonstrates that along the west coast of Taiwan, the atmospheric boundary layers at different locations show substantial wind direction shifts at the elevation height of 100 m, which could be due to the effects of surface friction and terrain topology. These findings highlight the importance of accounting for spatial wind variability and boundary layer processes in offshore wind resource assessments.

Acknowledgment is given to Bureau of Standards, Metrology and Inspection (BSMI), Taipower Company and Taiwan Generations Corp. for the meteorological wind data available to this study.

Key words : northeasterly monsoon, wind direction discrepancy, Ekman spiral, geostrophic wind, surface roughness, Taiwan Strait

References:

- [1] NOAA, Manual for Real-Time Quality Control of Coastal and Oceanic Wind Observations, Version 1.0, U.S. Department of Commerce, 2003.
- [2] A. Peña, S.-E. Gryning, and R. Floors, “The turning of the wind in the atmospheric boundary layer,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 524, p. 012118, 2014, doi: 10.1088/1742-6596/524/1/012118.
- [3] K. T. Tse, A. U. Weerasuriya, and K. C. S. Kwok, “Simulation of twisted wind flows in a boundary layer wind tunnel for pedestrian-level wind tunnel tests,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 159, pp. 99–109, 2016, doi: 10.1016/j.jweia.2016.10.010.

運用黏性流理論對都卜勒雷達資料分析

Doppler Lidar Data Analysis with a Viscous Flow Theory

苗君易¹ (Miau J.-J.) 陳喻歆^{1*} (Chen Y.-H.) 陳盈如¹ (Chen Y.-R.) 李承佑¹ (Lee C.-Y.)
商清妍¹ (Shang C.-Y.) 紀惠珊¹ (Chi H.-S.)

¹國立成功大學

¹National Cheng Kung University

*Email of corresponding author: asterr1228@gmail.com

摘 要

2025年2月於台中梧棲港進行的都卜勒雷達測量發現，當強烈的東北季風盛行時，大氣邊界層可視為一個厚度達1公里時間平均下的二維邊界層，且其自由來流上方存在著熱逆溫層。此觀測結果，讓位於港口外之離岸海氣象塔所測得的風場及波浪資料，所進行之海面上方大氣邊界層分析，提供了物理依據。在假設邊界層表面因海面波浪造成完全粗糙的情況下，利用對數速度剖面(Log velocity profile)(Clauser 1956；Schlichting 1968)推導出特徵粗糙度高度。根據黏性流理論(White 1975)，在海洋表面上之黏性力與壓力梯度達到平衡，且此壓力梯度是自自由來流就被決定了。在本研究中，利用近壁速度剖面(Spalding 1962)成功估算了動量方程中的黏性力項，並接著針對自由流中的流動進行了動量收支分析。結果顯示，壓力梯度的影響相較於科氏力更加顯著。

關鍵字：都卜勒雷達、東北季風、大氣邊界層

Abstract

Doppler lidar measurements made at Taichung Harbor in February 2025 unveiled that when strong north-east wind prevailed the atmospheric boundary layer can be treated as a time-averaged two-dimensional boundary layer with a thickness up to 1 km, capped by a thermal inversion layer of 0.5 km in thickness. This observation provides a physical ground for an analysis on the atmospheric boundary layer over the ocean surface offshore Taichung Harbor. The analysis was enabled with the wind and wave data obtained from an offshore met tower near the harbor. By assuming that the boundary layer is fully roughened by waves on the ocean surface, the characteristic roughness height was reduced from a log velocity profile (Clauser 1956; Schlichting 1968). Since at the ocean surface the viscous force is balanced by the pressure gradient (White 1975), the pressure gradient term was successfully evaluated with a near-wall velocity profile by adopting an expression inspired by Spalding (1962). Subsequently, a momentum budget analysis for flow in the freestream was carried out, in which two forcing terms of the pressure gradient and the Coriolis force are included (Pedlosky 1979). As a result, it is found that the pressure gradient effect is predominant over the Coriolis force effect in this case.

Key words: Doppler Lidar, Northeast Monsoon, atmospheric boundary layer

References:

- Clauser, F. H. (1956). The turbulent boundary layer. *Advances in applied mechanics*, 4, 1-51.
Pedlosky, J. (1979) *Geophysical Fluid Dynamics*, in Chapter 4: Friction and viscous flow. 172-174, Springer-Verlag.
Schlichting, H. (1968). *Boundary-layer theory*. Translated by Kestin, J., sixth edition, McGraw-Hill, Inc., pp. 581-583.
Spalding, D. B. (1961). A single formula for the law of the wall. *Journal of Applied mechanics*, 28(3), 455-458.
White, F. M. (1975). *Viscous fluid flow*. New York: McGraw-Hill.

東北季風下都卜勒雷達於台中梧棲漁港之大氣邊界層的現象討論

Doppler Lidar Observations of the Atmospheric Boundary Layer under the Northeast Monsoon at Taichung Harbor

陳喻歆^{1*} (Chen Y.-H.) 苗君易¹ (Miau J.-J.) 陳盈如¹ (Chen Y.-R.) 李承佑¹ (Lee C.-Y.)
商清妍¹ (Shang C.-Y.) 紀惠珊¹ (Chi H.-S.)

¹國立成功大學
¹National Cheng Kung University

*Email of corresponding author: asterr1228@gmail.com

摘 要

在2025年2月6日至2025年4月29日，本篇透過與氣象署借用的都卜勒雷達(Doppler Lidar - Halo Photonics Stream Line XR+)，觀測到多個東北季風期間大氣邊界層的現象，特別關注於當東北季風抵達此位置時之資料。在2025年2月8日整天的數據收集下，可見於地表上100m至1500m左右可達20m/s-25m/s之穩定高風速，風向角約穩定落在20°-30°；但是，當高度大於1500m之後，風向角會快速轉變至220°左右(西南風)，並隨著高度增加有漸漸變成西風的趨勢(270°)，也在抵達1500m離地高度前，風速在約700m高空之20-25m/s高風速會逐漸驟減至約0m/s。此處顯示的高空自由來流風速及風向轉換，於同時段澎湖馬公施放探空氣球之斜溫圖結果也可見這個現象的發生，此外，斜溫圖可見從1000m至1500m的高度，溫度是在增溫的，這逆溫層的現象，透過Richardson number估算約落在0.3，是穩定的大氣邊界層現象，較少的紊流現象發生。根據本研究觀察統計，當東北季風抵達時，這種大氣邊界層流場結構是頻繁出現的現象。

關鍵字：都卜勒雷達、東北季風、大氣邊界層

Abstract

During the period from February 6 to April 29, 2025, a Doppler Lidar (Halo Photonics Stream Line XR+), on loan from the Central Weather Administration (CWA), was employed to collect the data on the atmospheric boundary layer during the Northeast Monsoon season. On February 8, 2025, which was the day the Northeast Monsoon arrived, wind speeds steadily maintained around 20–25 m/s with wind directions relatively stable at 20°–30° at the elevation 100 m to 700 m. Between the elevation 700 m to 1500 m wind speed gradually decreased to 0 m/s with the wind direction remained. Above the elevation 1500 m, the wind direction shifted drastically to approximately 220° (southwesterly) and transitioned to 270° (westerly) with increasing altitude. This transformation in freestream wind speed and direction was also observed in the sounding balloon data released from Penghu Island at the same time. The temperature inversion layer, shown in a slant temperature profile, indicates a temperature increase from 1000 m to 1500 m altitude. Based on the estimation of a Richardson number of 0.3, this suggests a stable atmospheric boundary layer with minimal turbulence. The structure of the atmospheric boundary layer mentioned above was repeatedly seen in the scanning lidar data when the northeast wind prevailed.

Key words: Doppler Lidar, Northeast Monsoon, atmospheric boundary layer

應用物理模式提升衛星反演日射量準確度： 以氣膠光學性質為例

葉子葵¹ 鄭光浩² 翁敏娟¹

¹中央氣象署科技發展組 ²中央氣象署預報中心

摘 要

本研究旨在改善目前以向日葵衛星資料反演日射量的方法，透過引入更完整的物理模式來強化晴空情境下的太陽輻照度估計能力。現行系統係基於向日葵衛星搭載之先進向日葵成像儀（Advanced Himawari Imager, AHI）觀測資料，並結合輻射傳遞模型，以估算臺灣地區逐10分鐘、空間解析度達 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 之地表太陽輻照度（surface solar irradiance）。本系統整合天文因子與大氣效應，前者包含太陽位置、天頂角與大氣光程計算，後者則涵蓋瑞利散射(Rayleigh scattering)、懸浮微粒散射、水氣與臭氧吸收等。天空狀況由可見光之紅光頻道(Band 03, $0.64 \mu\text{m}$)的反照率判斷，若為晴空則以理論模式估算直達與散射輻射總和；若為多雲則額外考慮雲層之反射與吸收影響。該模式與實測值比較，在全天氣條件下具備0.9以上的高度相關性，於晴空情境可達0.99，顯示其具備良好的日射量估算能力。

然而，現有模式在高日照條件下（例如強烈晴空中午時段）存在反演飽和值限制，部分估計結果上限常低於 1000 W/m^2 ，與實測值超過 1200 W/m^2 情形不符。此一限制可能源自反照率轉換方式、預設光學參數簡化處理，或對氣膠光學特性未充分考慮所致。有鑑於此，納入氣膠光學厚度（AOD）、單次散射反照率（SSA）及非對稱因子（g）等變數，探討不同氣膠類型對日射量的調製效果。初步測試結果顯示，於晴空條件下引入具代表性氣膠類型與其對應光學參數，可有效改善高輻射情境下的低估現象，並使反演結果更接近實際觀測值。

關鍵字：向日葵衛星、太陽輻照度、衛星反演、日射量

Evaluation of GPM DPR Rain Parameters with North Taiwan Disdrometers

Balaji Kumar Seela¹, Jayalakshmi Janapati¹, Pay-Liam Lin^{1,*}, Chen-Hau Lan¹, Mu-Qun Huang¹

¹Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan,

Abstract

Global precipitation demonstrates a substantial role in the hydrological cycle and offers tremendous implications in hydrometeorological studies. Advanced remote sensing instrumentations, such as the NASA Global Precipitation Measurement (GPM) mission Dual-Frequency Precipitation Radar (DPR), can estimate precipitation and cloud properties and have a unique capability to estimate the raindrop size information globally at snapshots in time. The present study validates the Level-2 data products of the GPM DPR with the long-term measurements of seven north Taiwan Joss–Waldvogel disdrometers from 2014 to 2022. The precipitation and drop size distribution parameters like rainfall rate (R ; mm h⁻¹), radar reflectivity factor (dBZ), mass-weighted mean drop diameter (D_m ; mm), and normalized intercept parameter (N_w ; m⁻³ mm⁻¹) of the GPM DPR are compared with the disdrometers. Four different comparison approaches (point match, 5-km average, 10-km average, and optimal method) are used for the validation; among these four, the optimal strategy provided reasonable agreement between the GPM DPR and the disdrometers. The GPM DPR revealed superior performance in estimating the rain parameters in stratiform precipitation than the convective precipitation. Irrespective of algorithm type (dual- or single-frequency algorithm), sensitivity analysis revealed superior agreement for the mass-weighted mean diameter and inferior agreement for the normalized intercept parameter.

Keywords: GPM DPR, disdrometers, north Taiwan.

2020 年 1 月 26 日氣壓大波動與低空風切關聯性之個案分析

蒲金標¹ 王重傑² 黃心怡² 蘇祐俊¹

¹財團法人中華氣象環境研究發展中心

²國立臺灣師範大學地球科學系

摘 要

本研究係利用松山機場 2020 年 1 月 26 日低空風切警告系統(Third Generation Low Level Wind-shear Alert System, LLWAS-III) 的風切警告數據和機場自動天氣觀測系統 (Automatic Weather Observation System, AWOS) 的氣壓觀測數據，就機場氣壓大波動(Large Pressure Fluctuation, LPF)與低空風切警告(Wind Shear Alert, WSA)之對應關係，做定量分析研究，獲得重要成果，1 月 26 日 1200Z 受台灣低壓(1006hPa)的影響，機場於 0945-1036UTC 發生低空風切警告 25 次，時段達 0.85 小時。Fixed-LPF 發生次數比 WSA 為少，發生時段較短；而 Mov-LPF 發生次數比 WSA 為多，時段增長 36 分鐘。Mov-LPF 偵測風切之準確率 (accuracy) 高，誤報率(false alarms) 和漏報率 (misses) 低。使用氣壓大波動具有和 LLWAS-III 觀測機場風切相當的功能，是檢測松山機場低空風切的輔助方案有相當程度的可靠性。採用 LPF 作為機場 WSA 偵測的輔助或附加方案似乎合理可行，可以對提高全球航空安全做出積極貢獻。

關鍵詞：低空風切警告系統、自動天氣觀測系統、風切警告、氣壓大波動、準確率、誤報率、漏報率。

Rain Microphysics of Rapid and Slow Intensifying Tropical Cyclones over the North Indian Ocean

Surya Pramod Jalakam¹, Pay-Liam Lin¹, Wei-Yu Chang¹, Balaji Kumar Seela¹, Jayalakshmi Janapati¹

¹Institute of Atmospheric Physics, Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Zhongli District, Taoyuan City 320317, Taiwan

Abstract

This study examines the rain microphysics of tropical cyclones (TCs) that experience rapid intensification (RI) and slow intensification (SI) over the North Indian Ocean (NIO) between 2014 and 2023, with a focus on the Arabian Sea (AS) and Bay of Bengal (BOB). Out of the 114 TCs recorded, 42 underwent intensification, with 22 classified as RI and 20 as SI. The probability density functions (PDFs) of key rain microphysical parameters differ according to intensification mode (RI vs SI) and precipitation type (total, stratiform, and convective). Storm height is found to be slightly greater in RI TCs compared to SI TCs, particularly in convective systems, highlighting the structural differences between the two categories. The contour frequency by altitude diagrams and vertical mean profiles show that RI TCs exhibit higher rain rates (R), stronger reflectivity (Z), larger drop sizes (D_m), and lower drop concentrations (N_w) compared to SI TCs. These findings could be used to improve the ability to predict RI from SI in TCs.

Key words: Tropical Cyclones, Rapid Intensification, Slow Intensification, Rain Microphysics

太陽能光電設置對校園微氣候之觀測分析

Observation and analysis of the effect of solar photovoltaic installation on campus microclimate

張承翰¹ 吳秉謙¹ 王聖翔¹

¹國立中央大學

¹ National Central University

摘 要

隨著再生能源政策推動，太陽能光電系統廣泛設置於校園及都會區，但其對當地微氣候之實際影響仍有待釐清。本研究於中央大學及桃園高中等多處場域，佈設地面型移動式監測系統並設置自主開發微型溫溼度感測器與熱顯像儀，透過輻射與氣象觀測，針對不同天氣型態與風場下，分析太陽能板設置對周遭溫度、濕度、輻射場與風場的微氣候變化。此外，結合一維地表過程模式，針對不同土地利用類型與調整參數進行模擬，有助評估未來環境友善型光電案場設置策略。本研究可為都市熱島效應緩解、永續能源規劃及校園微氣候管理提供科學參考。

關鍵字：太陽光電、微氣候、都市熱島

Abstract

With the advancement of renewable energy policies, solar photovoltaic (PV) systems have been widely installed in campuses and urban areas; however, their actual impacts on local microclimates remain to be clarified. In this study, we deployed ground-based mobile monitoring systems, self-developed miniature temperature and humidity sensors, and thermal imagers at multiple sites including National Central University and Taoyuan Senior High School. Through radiative and meteorological observations, we analyzed microclimate changes in temperature, humidity, radiation, and wind fields near PV installations under different weather conditions and wind regimes. In addition, we incorporated one-dimensional land surface process models to simulate various land use types and parameter adjustments, which can help assess environmentally friendly strategies for future PV site deployments. This study provides scientific references for urban heat island mitigation, sustainable energy planning, and campus microclimate management.

Key words : solar photovoltaics, microclimate, urban heat island

應用平行計算與快取優化技術提升衛星氣膠光學厚度資料 產製效率之可行性評估

曹培成¹(Tsao P.-C.) 馮智勇¹(Feng C.-Y.) 劉豫臻²(Liu Y.-J.) 張育承²(Chang Y.-Y.)

¹多采科技有限公司 ²中央氣象署

¹Manysplendid Infotech Ltd., Taiwan ²Central Weather Administration

摘要

因應高解析度環境監測資料的迫切需求，以及氣象署現行氣膠光學厚度（Aerosol Optical Depth, 簡稱AOD）網格資料產製流程面臨效能瓶頸，本研究提出整合平行計算與資料快取優化的產製方案，目標是達成逐10分鐘高頻率產製一筆全景範圍2公里解析度的AOD網格資料要求。

首先針對氣象署既有 AHI AOD 計算程式進行整合版本控管、重構與開發效益提升，針對像素處理流程實作OpenMP CPU平行計算技術進行平行化而加速主要運算流程。實作平行技術期間則是透過Tracy Profiler 工具精準分析效能瓶頸，並引入Do Line Cache (DLC) 策略，顯著改善衛星影像讀取效率。此外，同時調整資料壓縮等級以平衡 IO 效能與檔案大小，實測最佳化策略下之整體效能。

實測結果顯示，東亞區域未優化時的處理時間為 134.50 秒，最佳優化（CA_DLC_d0）僅需 15.58 秒，即使使用高壓縮等級亦僅 22.41 秒，具備每分鐘產製潛力。全景範圍未優化時的處理時間為 775.80 秒，優化後可降至 200.46 秒（僅佔目標時間33.4%），兼顧壓縮與效能的CA_DLC_d1 方案亦僅需 206.61 秒，證實可提升全景範圍AOD產製頻率為逐 10 分鐘一筆。

具體優化成效包括：ReadAHI時間減少82.6%，WriteOut時間減少90.2%，整體效率提升74.2%。另需注意，CA（快取命中）屬系統層級行為，實務部署中命中率不具可預測性，惟本方案已保留充足餘裕以應對潛在波動。整體而言高解析度與高頻率目標的AOD產製技術評估可行，為未來空品監測與即時環境分析奠定技術基礎。

關鍵字：AOD、OpenMP、Tracy、快取、平行化、壓縮

午後雷暴之結構分析：以嘉義機場8月6日及7日做比較

Analysis of the Structure of Afternoon Thunderstorm: A Comparison of Chiayi Airport on August 6 and 7.

陳智羿¹ (Chen C.-Y.) 宋偉國² (Soong W.-K.) 朱宗良¹ (Chu T.-L.)

¹航空技術學院 戰航管氣象組 ²航空技術學院 軍事氣象系

¹ Department of Tactical Control, Air traffic Control & Meteorology, Air Force Institute of Technology

² Department of Military Meteorology Engineering, Air Force Institute of Technology

摘 要

2022年8月6日至7日，台灣處於太平洋高壓弱綜觀環境，8月6日1400時，台南地區風場輻合引發對流胞。隨著雷暴持續發展，受3至10公里的北風影響，雷雨胞停滯於嘉義機場東南8至16公里處。8月7日的對流胞則受3至6公里南風影響，向北移動並進入嘉義機場，造成短時強降雨。對比兩日天氣情況發現，地表至3公里的風場有助於判斷南北風輻合現象，預測對流胞生成，而雷雨胞的走向則主要受3至6公里高空風場變化影響。

關鍵字：嘉義機場、午後雷暴、中層風場

Abstract

From August 6 to 7, 2022, under weak synoptic environment of the Pacific High, a convergence of north and south winds in Tainan, which, combined with thermal effects, led to strong afternoon thunderstorm (AT). On August 6, AT was stagnated away 8 to 16 km from southeast of Chiayi Airport, influenced by north winds from 3 to 10 km. On August 7, north winds from the surface to 2 km (800 hPa) caused AT to move south. As these ATs matured, south winds from 3 to 6 km (450 hPa) pushed them north, resulting in heavy rainfall at Chiayi Airport. In conclusion, the wind field from the surface to 3 km helps predict AT formation, while the movement of the ATs is influenced by the wind field at altitudes from 3 to 6 km.

Key words : Chiayi Airport, afternoon thunderstorms (ATs), X-band radar, precipitation structure.

Microphysical Characteristics of Heavy to Extremely Heavy Rainfall Events Over Taiwan

Jayalakshmi JANAPATI^{1*}, Balaji Kumar SEELA^{1,2}, Pay-Liam LIN^{1#}

¹National Central University, Taiwan, ²Academia Sinica, Taiwan

Heavy to extremely heavy rainfall events are the major source of flash floods, landslides and agricultural damage. An increase in heavy rainfall events, more particularly in between May to September months, over Taiwan necessitate for the detailed investigation. The present study is aimed to investigate the spatial and temporal variations in the heavy rainfall events over Taiwan. Long-term data sets from the ground-based rain gauges, disdrometers, airborne radars (TRMM/GPM DPR) are used to investigate the rainfall and microphysical attributes of heavy rainfall events. The results showed higher occurrence frequency of heavy rainfall events over central Taiwan than the rest of the island. The contour frequency by altitude diagram of rainfall and raindrop size distribution estimates from the GPM DPR data products revealed contrasts in the microphysical features of heavy rainfall events across Taiwan. Apart from this, Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Versions2 (MERRA-2), re-analysis. Moderate Resolution imaging spectroradiometer (MODIS) and re-analysis data sets are also used to explore the influence of aerosol-cloud interactions on heavy rainfall events over Taiwan.

臺灣區域再分析資料：發展與規畫

Taiwan Regional Reanalysis: Progress and Plans

連國淵 林怡萱 沈彥志 趙子瑩

中央氣象署科技發展組

摘 要

數值模式再分析（reanalysis）資料一直是大氣科學領域中應用最為廣泛的資料之一，在諸如氣候研究等多個領域有重要價值，而今在基於機器學習技術的天氣預報模型蓬勃發展之際，再分析資料作為高品質訓練資料的用途，又使其重要性進一步提升。再分析資料使用當今數值天氣預報系統，對過去時期運行預報－分析循環而來，為數值天氣預報發展綜合成果的展現。然而，國際上最先進的全球再分析資料ECMWF Reanalysis v5（ERA5），其解析度約為30公里，對於臺灣局地應用顯得不足，高解析度區域再分析資料成為迫切所需。

因應各界對臺灣區域高解析度再分析資料的期待，中央氣象署規劃以其極短期劇烈天氣預報系統RWRF（Radar WRF）為基礎，產製臺灣鄰近區域2公里解析度的再分析資料。初期規劃以逐小時循環的三維變分資料同化系統，同化使用臺灣的雷達與高密度地面觀測資料，產製近5至10年的再分析資料。本年為系統發展階段，大幅奠基於RWRF系統，補足其作為再分析系統的不足之處，並決定再分析產製流程中的各項設定。主要開發工作包含改善逐時循環分析場在時間上的連續性，以及完善長期運行與校驗流程等。同時，亦進行所需歷史觀測資料的整集。待系統發展完善後，預定自明（2026）年起開始進行臺灣區域再分析資料的生產，分階段提供各界使用。

關鍵字：區域再分析資料、RWRF

臺灣區域再分析資料混合方案與遞增式分析更新技術之應用與評估

沈彥志 林怡萱 連國淵

中央氣象署科技發展組

摘 要

中央氣象署自114年起啟動臺灣區域再分析資料之開發工作，目標為產製高時空解析度且一致性的氣象分析資料，供後續各界研究應用，例如人工智慧模式訓練及氣候應用等。氣象署再分析系統以現行作業極短期劇烈天氣預報系統 RWRF（Radar WRF）為基礎，依據再分析需求調整開發，整合歷史觀測資料，進行連續逐小時同化與短期預報。目前為此再分析系統的開發評估階段，本研究聚焦探討再分析資料在時間上連續性的問題，提出應用遞增式分析更新（Incremental Analysis Update，IAU）概念來執行空間濾波混合方案（blending scheme）的方法，評估其可行性及以此得到之再分析資料場品質。

混合方案可用以結合來自全球分析場的大尺度資訊至區域模式，可有效改善系統缺乏大尺度環流特徵的問題，同時保留區域分析中的中小尺度結構，使連續循環的區域模式不致偏離，並提升預報準確度。然而，在每次應用混合方案時，易導致分析場在時間上的不連續，進而影響再分析資料的一致與平滑。另一方面，IAU 技術可將資料同化後得到的分析增量，於模式預報過程中穩定地逐步施加，有助於緩解初始場的不連續問題，並降低模式初期的震盪現象，有機會藉以改善預報表現。本研究採用 IAU 概念，將混合方案所得之「混合增量」於預報過程中逐步施加，期能保有全球模式大尺度環流特徵，並維持再分析資料的時間連續性。

在基於 RWRF 的再分析系統中，依據作業經驗，混合方案每6小時進行一次，此與每1小時的資料同化循環長度不一，因此需將「混合增量」平均拆分為6等分，於每小時預報過程中逐步施加。結果顯示，此作法在保留全球模式大尺度特徵的同時，亦有效減緩混合方案所產生的時間不連續問題。再分析場經地面觀測驗證，顯示在10米風速、2米溫度與2米濕度方面，平均誤差與均方根誤差皆有明顯改善。短期預報結果方面則略有差異：10米風場表現稍降、2米溫度略有改善，而2米濕度則有顯著提升；降雨預報則與原方案相當。

關鍵字：再分析、RWRF、IAU、Blending

Deployment and Assessment of MPAS-A at Taiwan's Central Weather Administration

¹Wu, Y.-J., ²W. Wang, ¹H.-L. Huang ¹P.-S. Lin, ¹L.-F. Hsiao

¹Central Weather Administration, Taiwan

²University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, Colorado

The Model for Prediction Across Scales–Atmosphere (MPAS-A) is being evaluated as a prospective next-generation regional forecast model for the Central Weather Administration (CWA) of Taiwan. Prior research has identified a persistent negative pressure bias aloft on the downstream side of south-central China during winter when the Tibetan Plateau is included within the MPAS simulation domain. This upper-level pressure anomaly may further influence springtime cyclogenesis, altering the intensity of developing systems as well as the timing of frontal passages and associated moisture transport affecting Taiwan.

To further assess MPAS-A's performance, a series of variable-resolution mesh experiments were conducted to investigate the impact of the regional modeling domain on forecast quality. Preliminary results indicate that overall model errors are substantially larger in magnitude than the variations introduced by modifying the regional domain coverage. Additionally, quantitative precipitation forecast (QPF) skill was evaluated against the current operational Weather Research and Forecasting (WRF) model. In selected 2024 afternoon thunderstorm cases over Taiwan, MPAS-A demonstrated superior QPF performance compared to WRF, regardless of differences in model configuration.

Key words : MPAS-A, variable mesh, regional modeling

評估中央氣象署TCWA2雙矩量雲微物理參數法在MPAS模式模擬雙 偏極化雷達參數之表現

蔡子衿(Tsai, T.-C.)¹ 吳英璋(Wu, Y.-J.)^{1,2} 陳正平(Chen, J.-P.)² 蕭玲鳳(Hsiao, L.-F.)¹

1. 中央氣象署科技發展組、2. 國立臺灣大學大氣科學系

1. Technology Development Division, Central Weather Administration

2. Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

摘 要

雙偏極化(dual-polarization)雷達參數如差分反射率(differential reflectivity)與比相位差(specific differential phase)對水物粒徑和形狀敏感，近年廣受關注並亟欲應用於數值模式中。然而，目前模式對水物粒徑譜及其物理特性變化之掌握仍具挑戰。為改善此問題，中央氣象署與臺灣大學合作發展TCWA2(Taiwan Central Weather Administration 2-moment)雙矩量雲微物理參數法，透過將物理機制完整但高計算成本的NTU(National Taiwan University)方案部份預報變數(如表面積、體積及形狀矩量)以擬合診斷式取代，使預報矩量從28個簡化至11個，並成功移植至中尺度MPAS(Model for Prediction Across Scales)模式8.2.2版中。另本研究依據瑞利近似(Rayleigh approximation)假設，發展總體法(bulk method)內嵌雷達算符(embedded radar operator)，結合水物粒徑譜(包含斜率、截距與譜型參數)與物理特性(包含縱橫比、密度及融化比例)模擬雙偏極化雷達變數。模擬個案選取TAHOPE(Taiwan-Area Heavy rain Observation and Prediction Experiment)觀測實驗期間之夏季午後雷陣雨，並和地面雷達觀測資料進行驗證。初步比對顯示，TCWA2模擬能合理呈現水物分布與雙偏極化參數之統計特徵，具未來應用潛力，相關分析結果將於研討會說明。

關鍵字: 雙矩量雲微物理參數法、TCWA2、MPAS、雙偏極化、TAHOPE

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會

39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

林柏辰 (Lin P.-C.) 黃清勇 (Huang C.-Y.)

國立中央大學
National Central University

Track Deflection of Intense Tropical Cyclones Past a Mountain Range as Explored by Idealized Simulations

摘 要

本研究使用WRF理想化模式，探討熱帶氣旋(tropical cyclone, TC)由西向東通過不同角度之狹長山脈的路徑演變。這些TC在靠近地形之前的強度維持穩定，並擁有完整的眼牆結構。氣旋的左偏或右偏路徑取決於渦旋大小與地形長度的比值。當TC的出發位置距離地形中心越遠，其路徑偏折的幅度就越小。

大多數TC在接近地形時，會先偏向北方後再往南偏轉，顯示氣旋式(逆時針)偏折的路徑。TC的外圍環流在遇到地形迎風面時會分裂成兩部分，其中一部分會繞行地形較低的南側，再與TC核心環流輻合，稱之為”繞流”作用。TC在不同地形角度下的路徑偏折可以透過波數一(wavenumber-1, WN-1)環流與位渦(PV)收支趨勢。由地形引起的成對WN-1環流會隨時間逆時針旋轉，促進氣旋式路徑偏折。在位渦收支趨勢分析中，路徑偏折主要由水平平流項主導，相較之下，垂直平流項與非絕熱加熱項的影響較小。

當不同大小及強度的TC遇上南北向之狹長地形，地形阻擋最為顯著，造成路徑偏折往北或向南可由渠道效應(channeling effect)與繞流(recirculating flow)兩者之間的競爭關係來解釋。在經向風收支分析中，除平流項主導之外，氣壓梯度力項在某些情況也起到一定作用。另外也模擬當較小的TC遇到東西向狹長之擬台灣地形，探討沿東岸與西岸的路徑上，偏折的差異性、強度和降雨分布的變化為何。

關鍵字：熱帶氣旋、波數一位渦收支趨勢、經向風收支

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會

39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

劉芳妤 (Liu F.-Y.) 黃清勇 (Huang C.-Y.)

國立中央大學
National Central University

Investigation of the Stagnation and Dissipation Mechanisms of Typhoon Krathon (2024) Using the MPAS Regional Model

摘 要

本研究旨在運用 MPAS (Model for Prediction Across Scales) 區域模式，深入探討2024年山陀兒颱風 (Typhoon Krathon) 之滯留與消散機制。山陀兒颱風移動極為緩慢，導致其路徑預報的不確定性大幅增加，特別是在與台灣地形交互作用之下，其行為更顯複雜。該颱風於登陸後迅速減弱並最終消散，其結構變化與典型西北太平洋颱風有所差異，顯示出台灣複雜地形與周遭環境場對颱風結構演變具有顯著影響。

為釐清相關動力機制，本研究將採用 MPAS 20 - 2 公里可變解析度模式進行高解析度模擬，聚焦於山陀兒颱風滯留期間的環流特徵、登陸過程及快速減弱的物理過程。此外，藉由調整物理參數設定、對初始場添加擾動以形成系集預報，產生多種可能路徑的模擬結果，並透過位渦收支診斷與不對稱環流分析等動力學方法進一步比較偏東與偏西路徑的差異。

關鍵字：MPAS、山陀兒(2024)、位渦收支、不對稱環流分析

2003 年 6 月 8 日夏威夷瓦胡島龍捲風狀渦旋事件的 數值研究

A Numerical Study of the Tornado-Like Vortex Event over Oahu, Hawaii, on 8 June 2003

陳致穎¹ (Chen, C-Y.) 陳宇能² (Chen Y-L.), 蕭鋒³
(Hsiao, Feng), 林傳堯¹ (Lin, C-Y.)

¹中央研究院環境變遷研究中心, ²美國夏威夷大學, ³美國霍華德大學

¹Research Center of Environmental Changes, Academia Sinica

²Hawaii University, USA, ³Howard University, USA

摘 要

在這項研究中，我們再次探討了2003年6月瓦胡島中部的一次強降雨事件，期間發生了一場罕見的弱龍捲風。我們使用數值模型分析了導致龍捲風形成的氣象條件。此前關於此事件的研究使用1.5公里網格的數值模型分析了半乾旱地區的對流觸發。與之不同的是，我們使用超高解析度模型來模擬龍捲風狀渦旋的形成和移動。40米的適當網格尺寸，結合大渦流模擬方法，成功地再現了弱渦旋事件。儘管在龍捲風的確切位置上存在細微差異，但該模擬促進了對渦旋初始形成和向下游移動的詳細分析，證明了該模型的有效性。我們的結果表明，龍捲風事件受到瓦胡島當地海陸風、熱力觸發的對流系統和地形之間相互作用的影響。由於海陸風和對流系統的下沉氣流，在地面附近形成了一個弱渦旋。隨後，通過上下層的耦合效應，進入的對流系統產生了吸力效應，增強了上層的下沉氣流。這個過程使得龍捲風渦旋從頂部連接到底部。我們的研究結果可能有助於改進數值天氣預報模型，並幫助預報員預測熱帶島嶼上類似的天氣事件。

關鍵字：自下而上耦合，弱島嶼龍捲風，超高解析度

Abstract

In this study, we revisit a heavy rainfall event over central Oahu in June 2003, during which a rare weak tornado occurred. We used a numerical model to analyze the meteorological conditions that led to the formation of the tornado. Previous studies on this event have analyzed convection initiation over the semiarid region using a numerical model with 1.5-km grids. By contrast, we used an ultra-high-resolution model to simulate the formation and movement of the tornado-like vortex. An appropriate grid size of 40 m, coupled with the large-eddy simulation method, successfully reproduced the weak vortex event. This simulation facilitated a detailed analysis of the vortex's initialization and downstream movement, demonstrating the model's effectiveness despite minor discrepancies in the tornado's exact location. Our results indicated that the tornado event was influenced by the interactions among Oahu's local land and sea breeze, thermally induced convective systems, and topography. A weak vortex formed near the ground due to downdrafts from the land-sea breeze and convective systems. Subsequently, through the coupling effect of the upper and lower layers, the incoming convective system exerted a suction effect that enhanced the upper-level downdrafts. This process allowed the tornado vortex to connect from the top to the

bottom. Our findings may help improve numerical weather prediction models and assist forecasters in predicting similar weather events over tropical islands.

Key words : bottom-up coupling, weak island tornadoes, ultra-high resolution

Effect of Low-level Jets on the Movement of the Mei-yu Front

Mu-Qun HUANG^{1*}, Pay-Liam LIN^{1#}, Chuan-Chi TU¹, Shuwei HSU¹, Yi-Leng CHEN^{2,1}

¹*National Central University, Taiwan*, ²*University of Hawaii at Manoa, United States*

During Taiwan's Mei-Yu season, abundant moisture transported by low-level southwesterly monsoons frequently causes heavy rainfall events. On June 2, 2017, a Mei-Yu frontal case, influenced by favorable synoptic conditions and northern terrain blocking effects, produced 645.5 mm of accumulated precipitation in northern Taiwan. With barrier jets observed along Taiwan's western coast, this study employed numerical simulations and four sensitivity experiments to investigate how barrier jet intensity affects Mei-Yu frontal movement and precipitation distribution. The researchers designed sensitivity experiments including complete terrain removal, southern mountain terrain modification (half-height and complete removal), and barrier jet enhancement, while preserving northern Taiwan's complex topographic influence. Results revealed that enhanced barrier jets significantly impeded the southward movement of the Mei-Yu front, concentrating rainfall and increasing precipitation accumulation. Conversely, weakened barrier jets allowed rapid southward frontal propagation, dispersing rainfall areas and notably reducing accumulated precipitation. This study clearly demonstrates that barrier jets play a crucial role in modulating Mei-Yu frontal movement and the development of heavy rainfall events in northern Taiwan, which has significant implications for improving extreme precipitation forecasting capabilities in northern Taiwan.

TWRF颱風數值預報系統提高解析度對颱風預報之效應

鄭浚騰 陳得松 徐驊 黃康寧 蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

摘 要

本研究的主要目的是評估中央氣象署颱風數值預報系統（TWRF）在提升解析度與升級模式版本後，對於颱風預報能力帶來的影響。隨著科技的進步，特別是超級電腦運算能力的顯著提升，高解析度的數值天氣預報模式已成為提高天氣預報準確性的重要手段之一。本研究的實驗設計中，我們對原有的作業模式進行了改進，將水平解析度從15公里／3公里提升至10公里／2公里，垂直層數由52層增至64層，層頂高度也隨之提升至10百帕，這樣的提升使得模擬出的氣象場能夠更加精細化。我們也比較了WRF模式版本3.8.1與4.4.2的效能，並搭配不同的擬合截斷長度尺度進行實驗。本研究針對2021至2024年間的11個颱風共172個案例進行實驗。結果顯示，提高模式解析度在颱風路徑、強度及雨量的預報上均表現較以往更佳，尤其是在設定擬合截斷長度尺度為300公里的組合下，實驗結果顯示出最優異的預報效果。這些結果充分證明瞭提升模式解析度與版本升級對於改善颱風預報效能的顯著影響，顯示出未來在實際作業中的應用潛力。

關鍵字：TWRF、颱風、高解析度

結合機器學習與傳統物理模式之混合架構在 TWRF颱風預報中的應用與成效探討

徐驊 劉正欽 陳得松 蕭玲鳳 林伯勳 彭順台 張保亮
馮欽賜 洪景山 郭鴻基

中央氣象署 科羅拉多大學科羅拉多泉分校 國立台灣大學

摘 要

機器學習天氣預報模型（Machine Learning-based Weather Prediction, MLWP）近年於颱風路徑預測方面展現出與傳統物理模式相當，甚至更佳的預報能力。然而，其空間解析度對於區域尺度應用仍存在限制，且缺乏颱風結構細節亦影響其在颱風強度及伴隨強風之豪雨預測的準確性。為克服上述侷限，本研究提出一混合預報架構，以全球 MLWP 模型 GraphCast所提供之大氣層場預報結果取代傳統全球物理模式之預報資料，作為 TWRF（Typhoon WRF）颱風數值預報系統之側邊界條件，進行傳統物理模式預報，以提供高解析度颱風預報資訊。本研究使用夏季西北太平洋颱風歷史個案進行測試，實驗結果顯示，該混合架構在颱風路徑預報上相較於傳統全球物理模式驅動之 TWRF 模式具有明顯改進，顯示其發展潛力與應用價值。

關鍵字：混合預報，機器學習

Performances of Regional Model for Prediction Across Scales (MPAS) in Simulations of Typhoon Gaemi (2024) impinging Taiwan

蘇俊嘉¹ (Su J.-H.) 黃清勇² (Huang C.-Y.)

¹National Central University

Abstract

This study utilizes the regional version of Model for Prediction Across Scales (MPAS) to investigate the track deflection of typhoon Gaemi in 2024. In previous experiments, the results reveal that when the domain is enlarged beyond a certain threshold, the simulation results such as typhoon track may resemble those produced using a global domain configuration. This finding suggests that an appropriately chosen limited-area domain can effectively reproduce key features of a tropical cyclone while reducing computational costs.

Based on the preliminary domain tests, this study applied a regional domain at 20-2 km resolution to simulate Typhoon Gaemi (2024) associated with a looping track offshore near northern Taiwan. Due to the topographic influence of the Central Mountain Range (CMR), Gaemi took a southward deflection caused by the effect of flow channeling near east of the central CMR, then followed with a rapid north turn to form a looping track. Compared with the global MPAS simulations at 60-15-1 resolution, this study aims to explore how well regional MPAS captures the track and intensity of Gaemi. Different physic schemes were tested for an optimal simulation of Gaemi's track looping and potential vorticity budget analyses then were conducted for illustrating the typhoon structure and motion at the looping stage in this study.

Key words : Regional Model for Prediction Across Scales (Regional MPAS), Potential Vorticity (PV), Dynamic Vortex Initialization (DVI)

評估 WRF 模式擴散方案對模式預報效能之影響

黃小玲 吳英璋 蕭玲鳳

中央氣象署 科技發展組

摘 要

隨著區域氣象模式解析度的提高，模式使用追隨地形座標（following terrain coordinate）的設計描述於複雜地形之氣象場變化及發展，但卻於低層大氣造成較大的誤差，此誤差成因之一源自物理場動量擴散項有過大的水平梯度使然，因此探討 WRF 模式（Weather Research and Forecasting model）不同擴散方案對模式預報效能的影響。本研究比較擴散方案 1（diff_opt1；僅計算水平方向之動量擴散項）及方案 2（diff_opt2；計算水平及垂直方向之動量擴散項）之差異，實驗結果顯示，兩擴散方案於低層大氣有較大的差異，尤其是複雜地形之近地面濕度場於山峰及山谷最為顯著。進而評估現行中央氣署區域決定性預報模式（CWA-WRFD）使用擴散方案 1（CTL）及方案 2（diff_opt2）預報夏季、梅雨及冬季個案，並比較兩實驗之預報效能，結果顯示，diff_opt2 實驗預報 2 米水氣混合比乾偏差較 CTL 來得改善，尤其以臺灣區域及夜間更為顯著，可達 7% 以上的改善。經評估得知擴散方案 2（diff_opt2）對於低層大氣預報有正向效益，故而將其納入 CWA-WRFD 作業模式更新項目，並於 113 年 12 月 12 日更新上線，以提供更佳的氣象預報資料於下游使用。

關鍵字：模式擴散方案，模式預報效能

同化台灣地區沿岸近地表雷達資料之效益評估

Evaluation of the Benefits of Data Assimilation for Near-Surface Coastal Radar Data in Taiwan

鍾高陞¹ (Chung K.-S.) 張沁全¹ (Chang C.-C.) 莊秉學² (Zhuang B.-X.) 藍晨豪^{1,3} (Lan C.-H.)
蔡直謙⁴ (Tsai C.-C.)

¹國立中央大學大氣科學學系 ²麥基爾大學大氣與海洋科學系
³美國國家大氣研究中心中尺度與微尺度氣象實驗室 ⁴國家災害防救科技中心

¹ Department of Atmospheric Sciences, National Central University

² Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, McGill University, Canada

³ The Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory, National Center of Atmospheric Research, Co.

⁴ National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘 要

現行作業化S波段雷達主要負責大範圍降水系統監測，各雷達間相距百公里以上，加上複雜的山脈地形阻擋，在近地表會產生觀測盲區，影響模式驗證與資料同化效益。本研究試討論在冬季宜蘭地區、夏季西北部地區，兩處近地表一公里下觀測盲區增加雷達觀測資料時，對於雙偏極化雷達資料同化之影響。由冬季個案結果顯示，同化宜蘭地區近地表雙偏極化雷達資料，分析場有更低的低層風場、回波與差異反射率誤差。在夏季個案驗證上顯示，同化西北部沿海低層雙偏雷達資料，分析場能在回波與差異反射率誤差不變的情況下，有更低的風場誤差表現。熱力場表現上，同化近地表雙偏極化雷達資料，在冬季個案有更接近於觀測的水氣量，使得環境更適合降水系統維持，因而在定量降水預報中，有更好的降水表現。然而，模式分析場對水象粒子之修正與短預報增量呈現相反趨勢，意即資料同化在分析場之調整，在預報上仍然會受到模式設定、微物理參數化方案所限制。綜上所述，同化底層雙偏極化雷達資料，有助於改善模式底層動力與微物理結構，並在冬季個案中有更好的熱力結構與降水預報。

關鍵字：雷達資料同化、觀測盲區、模式降水預報

初步評估同化菲律賓 PAGASA 阿帕里雷達資料對於 颱風預報之影響：杜蘇芮颱風(2023)

吳婷琦¹ (Wu T.-C.), 蔡雅婷¹ (Tsai Y.-T.), 方偉庭¹ (Fang W.-T.), Michael B. Simora², 陳得松¹ (Chen D.-S.), 蕭玲鳳¹ (Hsiao L.-F.), 陳新淦¹ (Chen S.-G.), 馮欽賜¹ (Fong C.-T.),

¹臺灣中央氣象署

²Philippines Atmospheric Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA)

摘 要

臺灣與菲律賓因所處地理位置接近，同樣面臨颱風等自然災害的頻繁侵襲，經常導致重大經濟、社會與性命的損失。透過國際合作共享氣象資料，即時掌握劇烈天氣演變的資訊，有助於提早預警並提升防災能力，降低自然災害對鄰近區域的威脅。透過臺灣與菲律賓 TECO-MECO VOTE (Volcano, Ocean, Typhoon, and Earthquake) 合作計畫，中央氣象署取得位於菲律賓呂宋島北方由 PAGASA 維連的阿帕里 (Aparri) 雷達站資料，為行經菲律賓海與呂宋海峽一帶的颱風提供寶貴的高時空解析度觀測資訊。經過這一帶的颱風經常伴隨強度增加，對臺菲雙方造成威脅，但此一區域因超出臺灣氣象雷達網的監測範圍，缺乏即時且高時空解析度的觀測資料。若是能夠將阿帕里的雷達資料納入本署的監測與預報系統，將能有助於颱風早期預警，進而提早進行防災準備。

為評估 PAGASA 阿帕里雷達資料對於颱風路徑與結構預報的影響，本研究利用中央氣象署以 Weather Research and Forecasting model (WRF) 為核心所發展的 Radar WRF (簡稱 RWRF) 資料同化與預報系統，調整模式覆蓋範圍與同化策略，將阿帕里雷達資料結合本署雷達資料進行多組 data-denial 同化實驗進行預報，並以 2023 年 7 月 24 至 27 日期間的杜蘇芮颱風為個案，旨在探討於本署 RWRF 系統中加入阿帕里雷達資料的同化對於杜蘇芮颱風預報的影響。本研究將呈現臺菲雙方在共享氣象資料與共同科研成果，透過國際合作，臺灣和菲律賓雙方期能增進對颱風結構變化的科學探討，提高颱風預報的準確性並加強預警能力。未來，我們預計在此架構下評估更多颱風個案，綜合探討引入 PAGASA 雷達資料對於颱風預報的影響。

關鍵字：颱風、國際合作、菲律賓、PAGASA、雷達資料同化

極短期劇烈天氣預報系統之發展: 於 RWRf 系統使用 IAU 之策略與影響評估

蔡雅婷¹、吳婷琦¹、Ying Zhang²、Juanzhen Sun²

¹中央氣象署科技發展組 ²NFS,National Center for Atmospheric Research

摘要

欲提高短延時、強降水天氣事件之預報能力，除了需要高解析度的數值預報系統外，擬訂適當的資料同化策略搭配高更新頻率的觀測資料，是提升即短期預報效能的重要關鍵。台灣地區具有高密度雷達網與地面觀測資料系統，不僅可提供降水系統之科學研究、監測與災害預警等，亦可提供即時觀測資料於數值模式應用，進以改進短期定量降雨預報。

自 2016 年以來，中央氣象署發展並維運一套以 WRF 與 WRFDA 為基礎的雷達資料同化對流尺度預報系統，名為 Radar WRF (簡稱 RWRf)。透過快速更新的連續循環策略同化全台地面觀測資料以及台灣雷達網高時空解析度的觀測，RWRf 為極短期劇烈天氣預報提供有效且即時的指引。

為進一步提升 RWRf 定量降水預報效能並改進存在的模式起轉問題，本研究著手探討在 RWRf 作業架構下應用漸進式增量分析更新(IAU, incremental analysis update)策略，透過逐漸更新步驟將同化觀測資料所得之分析增量慢慢加入，以減緩在資料同化過程中一次加入全部分析增量而產生的高頻波動或模式不平衡。本研究針對 RWRf 獨特的系統架構與流程設計一系列不同 IAU 使用策略，探討 IAU 對模式預報所造成的影響，以期可作為後續預報系統作業更新的參考。

關鍵字：雷達資料同化、漸進式增量分析更新、定量降雨預報

雙偏極化雷達資料同化結合 TCWA2雙矩量微物理參數方案之研究

Integration of Dual-Polarization Radar Data Assimilation with the TCWA2 Two-Moment Microphysics Scheme

江琇瑛¹ (Jiang S.-Y.) 蔡子衿¹ (Tsai T.-C.) 洪語澤¹ (Hong Y.-T.) 陳正平² (Chen J.-P.)

¹中央氣象署科技發展組 ²國立臺灣大學

¹Technology Development Division, Central Weather Administration

²National Taiwan University

摘 要

雙偏極化雷達觀測（ZDR與KDP）可提供粒徑大小及液態水含量等關鍵微物理資訊，有效彌補傳統回波觀測在推估這些參數上的不足，因此將ZDR與KDP觀測資料納入同化，有助提升微物理狀態初始場品質。只是，雙矩量微物理參數方案與雙偏極化變數間關聯密切，同化策略及模式微物理過程表現，均影響著ZDR與KDP觀測在資料同化中的效能。LETKF同化系統結合TCWA2雙矩量微物理參數方案將作為中央氣象署未來對流尺度預報作業系統之基礎，而本研究以此平台為基礎進行ZDR與KDP資料同化效能的探討，結合同化策略與TCWA2方案的調校，期透過兩者的協同作用，發揮ZDR與KDP觀測在資料同化中的潛力，提升微物理初始狀態的合理性與短時降水預報能力。

實驗結果顯示，結合分變數更新的同化策略，能使KDP與ZDR觀測各自發揮在微物理分析上的優勢，有效改進雨水含量與粒徑大小的分析場，提升初始時的微物理狀態。另一方面，本研究對TCWA2方案進行兩項調校：一是修正雨水粒徑譜形參數 α 的診斷公式，使其更符合歷年觀測統計，改善模式ZDR與KDP模擬的合理性；二是優化模式中碰撞合併過程的參數化設定，改善了降水低估問題。整體而言，結合雙偏極化觀測的分變數更新同化策略與微物理方案的優化，不僅提升微物理狀態初始時的品質，也增強了短時降水預報的表現。

關鍵字：雙偏極化雷達、雙矩量微物理參數方案、資料同化、對流尺度預報

對流尺度資料同化系統中地面觀測同化的變分偏差修正

林怡萱^{1,2} 沈彥志² 楊舒芝¹ 連國淵² 羅翊銓³

國立中央大學¹ 中央氣象署科技發展組² Weathernews Inc.³

摘 要

臺灣具有高密度地面氣象站，可即時提供地面氣壓、風向、風速以及溫、濕度觀測，為同化系統中提供關於低層中、小尺度環流資訊的重要來源，在如午後熱對流、梅雨鋒面等天氣系統的分析中皆有所助益。然而，近地表觀測值和模式模擬值仍存在顯著偏差，是地面資料同化的主要困難之一。為提升地面觀測資料於高解析度模式分析與預報效益，在同化期間對此資料進行偏差修正成為需仔細評估之技術。

本研究嘗試將原主要應用於衛星資料同化的變分偏差修正技術（Variational Bias Correction, VarBC）推廣至地面觀測同化，並應用於中央氣象署的對流尺度極短期劇烈天氣預報系統（CWA RWRF）。VarBC 透過觀測增量與多種預測變數（predictor）間的統計關係，在分析循環中達成自適性動態修正偏差。本研究選取兩個個案進行測試，分別為梅雨鋒面與午後熱對流個案。將地面觀測 10 米風與 2 米溫濕度觀測加上 VarBC 調整後，結果顯示觀測與背景場差異（OMB）平均有所降低，尤其在減少水氣與風速的整體性偏差上表現明顯。而在溫度偏差模型中，可由熱通量項掌握日夜變化相關偏差特徵，並由觀測與模式高度差異項處理此高度落差導致的溫度偏差。模式驗證結果顯示，VarBC 能降低水氣濕偏差及預報降雨高估的現象，對穩定後續預報亦有正面效益。整體而言，VarBC 展現提升地面觀測資料同化表現的潛力，有希望進一步提升對流尺度預報的準確性與穩定性。

關鍵字：變分偏差修正（VarBC）、偏差修正

The Role of Moist Absolutely Unstable Layer (MAUL) in Orographic Precipitation: A Case Study from TAHOPE IOP 2

Ming-Jen Yang^{1#}, Jyong-En Miao¹, Kristen Rasmussen², and Michael Bell²

¹*National Taiwan University, Taiwan*

²*Colorado State University, USA*

#: Corresponding author: mingjenyang@ntu.edu.tw

Abstract

Terrain plays a significant role in modulating the diurnal cycle of moist convection and rainfall. During the warm season, mountainous regions exhibit pronounced day-night variations in convective activity and precipitation due to orographic lifting. Beyond the mechanical aspects of orographic lifting, these motions can destabilize the atmosphere by lifting moist and conditionally unstable air to saturation (Kirshbaum et al. 2018). This process can result in the formation of moist absolutely unstable layers (MAULs; Bryan & Fritsch 2000), where the lapse rate of a saturated layer exceeds the moist adiabatic lapse rate. Bryan and Fritsch (2000) and Mechem et al. (2002) first highlighted MAULs within MCSs over the midlatitude United States and the tropical western Pacific, respectively. In both studies, MAULs extended horizontally for hundreds of kilometers along the axis of MCSs and vertically up to ~100 mb, primarily formed by mesoscale lifting induced by cold pools. Although there is increasing recognition of MAUL as a critical factor in extreme precipitation, no prior studies have examined its occurrence in Taiwan's heavy rainfall events. This knowledge gap is particularly surprising given Taiwan's humid subtropical environment, which is often conducive to deep convection. This study seeks to address this gap by investigating whether complex terrain can induce MAUL formation and subsequently enhance extreme orographic rainfall during the TAHOPE/PRECIP IOP 2. The main objective is to identify the physical processes through which terrain contributes to MAUL development. In addition, the relationship between MAUL and heavy rainfall will be explored.

Using high-resolution WRF simulations with the control (CNTL) run with full terrain and the sensitivity run without Taiwan terrain (NTER) in this study, we will show that Taiwan topography plays a critical role in enhancing moisture flux convergence

(MFC) and supporting the formation of deep in TAHOPE IOP 2, persistent MAULs that precede intense precipitation. The key physical processes are summarized in Figure 1 below.

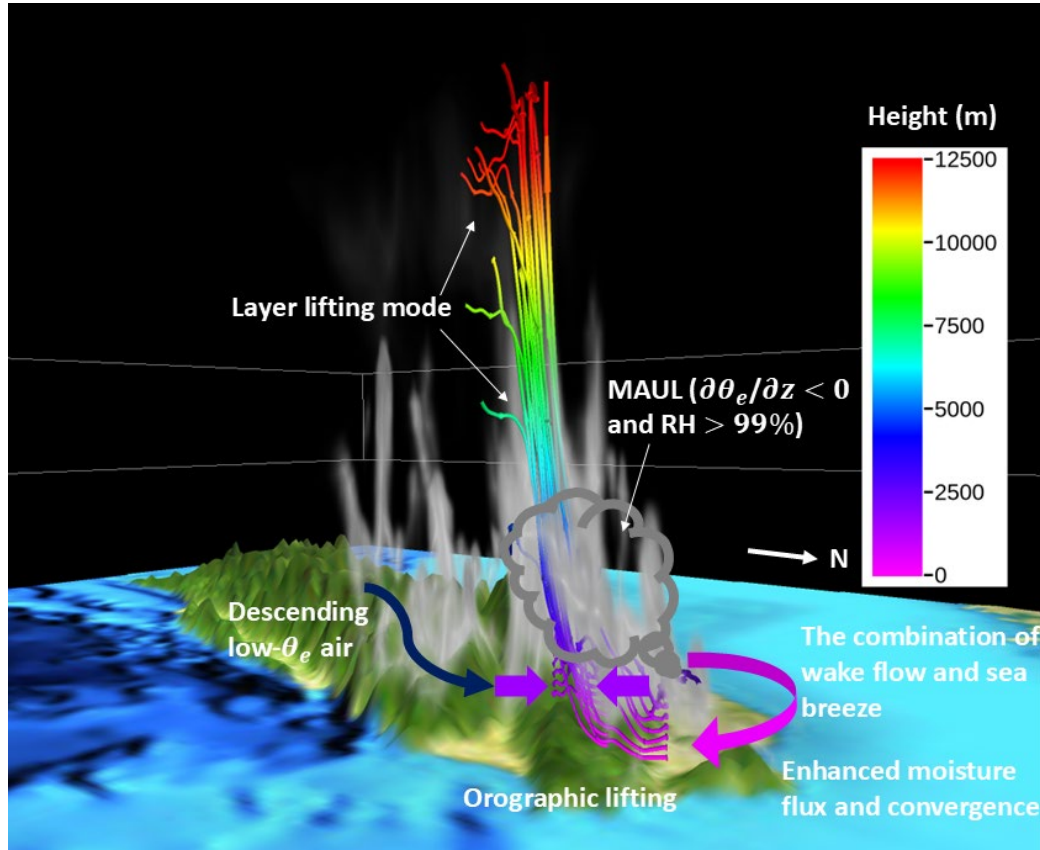


Figure 1. Conceptual 3D visualization of the physical processes leading to MAUL formation and extreme orographic rainfall in CNTL. Arrows illustrate the interaction of wake flow and sea breeze enhancing moisture flux convergence, with orographic lifting forcing layer lifting of inflow. The layer lifting mode supports the development of MAULs (defined by $d\theta_e/dz < 0$ and $RH > 99\%$) and intense convection. Descending low- θ_e air intrudes from the southeast, possibly maintaining the low-level convergence. Trajectories are colored by altitude to illustrate the vertical extent of updrafts.

When the southwesterly monsoon is blocked by Taiwan's topography, enhanced MFC develops in the wake region. The interaction among wake flow, sea breeze, and upslope flow transports abundant moisture from the ocean toward the mountain slope, a process shown to be critical for mountain flooding. The sustained upslope lifting in CNTL leads to the development of deep MAULs extending from near the surface up to ~5 km altitude. Trajectory analysis reveals that these MAULs are associated with coherent layer lifting, in contrast to the shallower MAULs in NTER, where ascent is

parcel-based and limited. These terrain-induced MAULs create a favorable thermodynamic environment for convection development. Moreover, our results suggest a consistent relationship between MAUL volume and subsequent hourly rainfall. When MAUL volume exceeds 2000 km³ (3000 km³), the following hour's peak rainfall often surpasses 40 mm (80 mm). While the timing of MAUL and rainfall peaks may differ, this threshold-like relationship highlights the diagnostic potential of MAUL volume as a precursor to extreme precipitation events. Thus, this suggests that terrain-enhanced moistening plays a critical role in preconditioning the environment for MAUL development and subsequent extreme rainfall. More details will be given at the presentation of the conference.

中央氣象署1公里高解析度模式預報表現之評估與分析

林伯勳 黃小玲 蔡子衿 游承融 蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

摘 要

臺灣地處複雜的地理環境，地形對天氣系統的發展與演變產生顯著影響。因此，對於中央氣象署數值天氣預報而言，提高解析度能夠有效地掌握在臺灣複雜地形下的模式動力與物理過程，以強化模式預報能力，一直是本署重要的研究議題之一。2023年12月已將1公里高解析度WRF模式上線作業，提供更細緻的數值天氣預報指引供天氣預報、防災及綠能等領域之應用。本研究將針對1公里解析度模式在臺灣地區的地面及降水預報表現進行評估與分析，並與3公里解析度模式之預報結果進行比較，以了解提高模式解析度對預報的優勢，以及可能產生的問題。

關鍵字：高解析度模式、WRF、模式預報評估

引入混合垂直座標對WRFD資料同化與預報影響之初步探討

陳盈臻 (Chen Y.-J.) 蔡金成 (Tsai C.-C.) 蕭玲鳳 (Hsiao L.-F.)

中央氣象署科技發展組

摘 要

數值天氣預報 (Numerical Weather Prediction, NWP) 是現代天氣預報的核心技術，透過數值模式模擬大氣狀態的演變，以預測未來的天氣變化。為提升預報準確性，NWP系統需具備高品質的初始場，而資料同化 (Data Assimilation, DA) 正是提供此初始場的關鍵方法。DA藉由結合各類觀測資料與模式的背景場及其誤差統計，生成最符合大氣實際狀態的分析場，進而作為後續預報的起始條件，有效修正並提升預報效能。

中央氣象署的區域決定性預報系統 (WRFD) 係以WRF (Weather Research and Forecasting) 模式所發展的先進中尺度NWP系統。垂直座標系統為NWP模式描述大氣三維結構的重要架構，其中WRF模式傳統採用地形追隨座標 (terrain-following sigma coordinate)，可在近地面層有效擬合地形，對模擬地表邊界層具一定優勢。然而，在地形複雜或陡峭的區域，此座標系會使座標面向高層延伸的過程中產生明顯的傾斜與變形，導致模式在計算水平壓力梯度力時產生誤差，進一步引發非物理性的垂直擾動與波動，影響整體模擬精度。

混合垂直座標 (Hybrid Vertical Coordinate, HVC) 的設計即為改善上述問題所提出。HVC結合了地形追隨座標在近地面的優點與等壓座標在高層的穩定性，使垂直座標可自地形貼合層平滑過渡至近似等壓面之結構，有效降低地形對模式高層的干擾，進而減少數值誤差與虛假波動。相關研究顯示，採用HVC可改善複雜地形區域及中高層大氣的模擬表現，提升風場與溫度的準確性。這樣更接近實際大氣狀態的模式背景場，為資料同化提供更穩定且具物理一致性的基礎，有助提升分析場的品質。

WRF模式自第3.9版起即支援HVC功能。本研究嘗試於WRFD系統中啟用HVC，WRF和WRFDA皆採用4.4.2版，並據此重建背景誤差協方差矩陣，初步測試在資料同化程序中引入HVC對分析場與後續預報結果的影響，為未來系統調整與模式改進提供參考依據。

關鍵字：混合垂直座標、資料同化、WRFD

隨機物理參數擾動（SPP）方法於YSU邊界層參數化方案之應用研究

蘇奕叡(Yi-Jui Su),^{1,2} 李志昕(Chih-Hsin Li),¹ Judith Berner,³ Craig Schwartz,³ Wei Wang³ and Song-You Hong³

¹中央氣象署科技發展組 ²資拓宏宇股份有限公司 ³美國國家大氣研究中心

¹ Technology Development Division, Central Weather Administration, *Taipei, Taiwan*

² International Integrated Systems, Inc, *New Taipei City, Taiwan*

³ National Science Foundation National Center for Atmospheric Research, *Boulder, Colorado*

摘 要

臺灣中央氣象署營運中的區域系集預報系統 WEPS（WRF Ensemble Prediction System），是建構於WRF模式之上的系統，透過多物理參數組合、初始場擾動與側邊界條件擾動產生 20 組系集成員。然而，多物理方案的使用可能導致預報結果聚集（clustering）及系統維護上的困難。因此，未來的目標為逐步以單一物理方案結合隨機物理參數擾動法（SPP）來取代多物理設定。SPP 是目前許多作業模式常用的擾動方法，透過對特定物理參數或變數加入隨機擾動，依據物理特性引入隨機變異，進而提升系集離散度。

本研究首先將 SPP 方法應用於 YSU 行星邊界層（PBL）參數化方案，對其內部數個參數進行擾動，包括用於 PBL 擴散的 K 理論公式參數、以及與混合與穩定度相關的常數。我們分析了對單一或多個 YSU 變數擾動後，對 WEPS 預報離散度所產生的影響。結果顯示，相較於未應用 SPP 的系集預報，加入 SPP 後能有效提升預報準確度與離散度，並改善誤差離散關係。此成果顯示，未來有望以單一邊界層方案結合 SPP，簡化目前複雜的多物理組態結構。

關鍵詞：系集預報；隨機物理參數擾動（SPP）；YSU 邊界層方案

Application of Stochastic Parameter Perturbation (SPP) Scheme in the YSU PBL Parameterization

Abstract

The Taiwan Central Weather Administration's operational WRF-model based regional ensemble, the WRF Ensemble Prediction System (WEPS), generates 20 ensemble members using multiple physics schemes, initial condition perturbations, and lateral boundary condition perturbations. However, the use of multiple physics schemes can lead to forecast clustering and maintenance challenges. Therefore, the future plan aims to gradually replace the multiple physics schemes with a single physical parameterization suite combined with Stochastically Perturbed Parametrizations (SPP), a commonly used perturbation method in operational models. SPP introduces random perturbations to specific physical parameters or variables, creating stochastic variability based on changes in physical characteristics, thereby increasing the ensemble spread.

We initially applied SPP to the Yonsei University (YSU) planetary boundary layer (PBL) scheme. Various physical parameters within the YSU scheme were perturbed, including those in the K-theory formula for PBL, as well as

constants related to PBL mixing and stability. The impact of perturbing individual and combinations of YSU PBL variables on the spread of WEPS forecasts was assessed. The results show that introducing SPP perturbations to the YSU scheme indeed improves both forecast accuracy and spread compared to corresponding ensemble forecasts without SPP, leading to an improved spread–error relationship. These findings are promising and suggest it may be possible to eventually simplify the complex structure of the multi-physics WEPS configurations with a single PBL scheme and SPP.

KEYWORDS: Ensembles; Stochastically Perturbed Parametrizations (SPP); YSU PBL Scheme

對流尺度系集定量降水預報之應用與分析研究

謝佳宏、蘇奕叡、李志昕、蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

摘要

短延時、強降水系統具有劇烈的降水過程以及系統快速演變的特性，同時又深受臺灣複雜地形的影響，因此其可預報度相當有限。囿於有限的可預報度，為了提升對短延時、強降水天氣系統的預報能力，整合當下衛星或雷達等各式觀測資料，以建構快速更新的即時定量降水預報，是提升災害預警能力的重要作為之一。中央氣象署為掌握並量化短延時、強降水預報的不確定性，建置了一套以 WRF 區域模式為基礎的對流尺度系集預報系統（CWA Convective-scale Ensemble Prediction System, CEPS）。此系統能有效提供未來天氣演變的機率性預報。CEPS 採用本署雷達資料同化系統（RWRF）架構，並運用本署發展之局地系集轉換卡爾曼濾波器（Local Ensemble Transform Kalman Filter, LETKF）所產出的系集分析場，作為初始場擾動來源；此外，結合 RWRF 與本署區域系集預報系統（WEPS）產製的擾動邊界條件，共同產生 16 組系集預報成員。

為評估 CEPS 在定量降水預報方面的表現，本研究針對 2025 年 5 月至 6 月期間的個案進行預報驗證，涵蓋午後對流及梅雨鋒面等不同型態的降水事件，並比較本署兩套系集預報系統，CEPS 與針對東亞地區發展之區域尺度系統 WEPS。結果顯示，CEPS 透過頻繁更新雷達資料，即時更新模式初始場，對於變化快速的午後對流個案的掌握度上優於 WEPS。

氣象署TGFS全球模式溫度偏差之探討

Investigation of temperature biases in CWA TGFS

鄧雯心 (Teng W.-H.) 林宗翰 (Lin C.-H.) 連國淵 (Lien G.-Y.)

中央氣象署科技發展組

摘 要

中央氣象署作業全球模式TGFS於今年自1.1版更新至1.5版，在維持原有模式解析度及整體架構下，主要進行了資料同化系統的改進，包含改進同化方法、新增多項觀測資料與函式庫版本更新等，在綜觀校驗之5天內預報皆呈現相當正面的影響。然而，在更新的測試過程中，我們發現TGFS在熱帶海表面溫度及大氣高層(50hPa以上)的溫度相較於美國NCEP模式皆分別有偏暖的情形。在熱帶海表面溫度方面，主要的影響其分析的觀測來源為浮標、船舶及衛星資料(CrIS、IASI)等，測試結果顯示，部份衛星觀測資料的缺乏，可能是造成偏暖的原因之一。在TGFS 1.5版中，新增同化的AVHRR觀測資料已可改善約25%的溫度偏差，但仍無法完全解決問題。另外，在模式高層的暖偏差部分，TGFS模式高層在1.5版新增同化臭氧觀測資料後，改善了50hPa高度的暖偏差，但模式20hPa以上仍存在暖偏差。本研究將呈現TGFS在熱帶區域海表及模式高層的溫度偏差特性，並探討造成此現象的可能原因與潛在的解決方法。

關鍵字：全球預報系統、溫度偏差

中央氣象署TGFS全球預報系統發展現況與其在人工智慧氣象預報下的角色

林宗翰 鄧愛心 沙聖浩 黃子茂 趙子瑩 劉正欽 連國淵 蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

摘 要

中央氣象署新一代全球數值天氣預報系統Taiwan Global Forecast System (TGFS) 第1版於2023年9月正式上線作業，提供全球範圍之數值模式預報產品與臺灣區域高解析度巢狀網格之數值天氣預報產品，預報長度16天。此系統並於2024年5月進行模式邊界層與積雲參數化調整(1.1版)，提升降水預報的準確性。目前正進行TGFS 1.5版的上線工作，資料同化系統的基本版本由GSI 15.1版升級至16.3版，包含多項同化方法的調整，以及新增多項觀測資料的同化使用等，使提升全球分析場之準確性，改善全球數值模式預報能力。同時，亦因應使用者需求，增加數項預報產品的產出。

近年來人工智慧/機器學習(Artificial Intelligence /Machine Learning, AI/ML) 氣象預報蓬勃發展，尤其是機器學習天氣模型(Machine Learning Weather Prediction, MLWP)已在全球大尺度的綜觀尺度預報上顯現比傳統數值天氣預報模式更佳的預報能力。在此趨勢下，TGFS作為全球資料同化系統的角色更為突顯，自2024年颱風季起，氣象署以準作業方式即時運行多組MLWP模型的預報，其中即包含以TGFS分析場作為初始場的預報。未來規劃TGFS團隊將持續支援AI/ML氣象預報與MLWP相關的作業維運與應用，並將進行以TGFS系集資料同化初始場驅動全球系集MLWP模型預報的評估與發展。本報告將統整TGFS系統近期的作業發展，以及闡述其與AI/ML氣象預報與MLWP天氣預報模型發展的連結及未來規劃。

關鍵字：全球模式、AI/ML氣象預報、MLWP模型

氣象署「無線電掩星模擬實驗 (ROMEX)」總結

Summary of ROMEX at the Central Weather Administration

黃子茂¹ (Huang Z.-M.) 連國淵¹ (Lien G.-Y.) 林敬傑² (Lin C.-C.)

¹中央氣象署科技發展組 ²中央氣象署臺灣科學資料處理中心

摘 要

中央氣象署參與跨國多單位合作的「無線電掩星模擬實驗 (Radio Occultation Modeling Experiment, ROMEX)」，此實驗旨在評估數值天氣預報模式中同化的無線電掩星觀測資料，在數量增加為當前常態作業中使用量之數倍的情況下，對模式預報之影響，並藉由國際多單位的參與，獲得跨越不同作業數值天氣預報系統的結論。氣象署以其Taiwan Global Forecast System (TGFS) 全球預報系統參與此實驗，除得到大量掩星觀測資料同化在TGFS中的結果外，亦透過就此議題上與國際上其他單位頻繁的交流，獲得改進TGFS中掩星觀測資料同化的契機。

許多單位的ROMEX實驗結果指出，雖然掩星觀測資料長期以來在同化中被視為無偏差的錨定 (anchor) 資料，但在同化極大量掩星觀測資料的場合，仍突顯其存在著偏差的問題，會造成模式溫度場及高度場預報的偏差。此偏差可能來自於觀測資料本身，亦可能來自於同化系統的缺陷。歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 提出，微幅調整掩星資料同化觀測算符 (observation operator) 中折射率公式的 k_1 係數，有助於修正掩星資料同化的偏差。我們依據ECMWF提出的方法，在TGFS中進行調整 k_1 係數的實驗；另一方面，依照ROMEX實驗計畫之要求，進行同化不同掩星觀測數量的測試，包括無掩星觀測同化、同化每日8,000筆、20,000筆及35,000筆剖線的實驗。研究結果顯示，同化較少掩星觀測資料時，調整 k_1 係數對於模式預報準確度沒有顯著的影響；但同化大量的掩星觀測資料時，調整 k_1 係數對於模式預報有著顯著的正面貢獻，特別是對於中低層溫度場的預報。而隨著模式中同化的掩星觀測數量增加，確實能夠提升改進模式溫度、濕度及風速預報的表現，但資料數量增加到每日20,000筆剖線以上時，對預報表現的改進程度會趨緩。此結果與國際上其他單位的實驗結果一致。ROMEX實驗的主要內容已在今年3月告一段落，進入資料分析、跨單位結果彙整及論文發表的階段。

關鍵字：掩星觀測同化、ROMEX、全球預報系統

改進中央氣象署 TGFS 臺灣東部線狀對流線預報：調整邊界層參數化方案之擾動擴散

林昌鴻 蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

摘要

Taiwan Global Forecast System (TGFS) 高解析度巢狀網格（水平網格約 2.8 公里）旨在提升中央氣象署 TGFS 全球模式對對流尺度天氣系統的掌握能力。本研究針對 2024 年 12 月(時間請更正)臺灣東部線狀對流個案進行邊界層參數化方案改進測試，結果顯示在臺灣受東至東北風影響下，TGFS 巢狀網格常於東部迎風面沿海產生非真實的線狀對流線發展，與實際觀測到的東部外海線狀對流線不符，進而導致嚴重的降水預報誤差。本研究進一步分析 Froude number，發現 TGFS 巢狀網格高估了邊界層不穩定度，導致氣流地形阻塞效應偏低，東部沿海風速過大，促使對流線在迎風面地區發展。為此，我們透過調整邊界層參數化方案，降低垂直熱力與動力擾動擴散，成功減少邊界層不穩定度。此調整有效增強了地形阻塞效應，使得東部沿海低層風速降低，顯著改善了預報的降水位置與強度。此調整在全球模式與其他天氣系統模擬中亦顯示出正面影響，因此未來考慮將其整合本研究成果至上線作業模式，以期改善臺灣東部降水預報。

關鍵字: TGFS, 邊界層參數化, Froude number

評估 CWA TGFS 修改項目在 NCEP GFS V16 之預報表現

沙聖浩^{1,2} 陳郁涵^{1,2} 林昌鴻¹ 蕭玲鳳¹ 連國淵¹ 黃清勇³ 郭鴻基²

¹中央氣象署科技發展組 ²國立臺灣大學大氣科學系 ³國立中央大學大氣科學系

摘 要

中央氣象署之 TGFS 作業模式系統上線迄今已近兩年，其模式係基於 NCEP GFS V15 發展，並加上氣象署本地在模式物理上的優化與改進而來。為評估 TGFS 中氣象署所做的修改項目套用於 NCEP GFS 最新作業版本 V16 上的適用性，本研究建置 NCEP GFS V16 於氣象署高速運算電腦，並加入數個 TGFS 修改項目，進行 2024 年 1 月上半月之預報實驗，採用 ERA5 再分析資料進行驗證與比較。結果顯示，NCEP GFS V16 原版在綜觀預報表現整體略優於目前 TGFS 的作業版本（基於 NCEP GFS V15），惟於高層高度場及近地層風、溫度預報偏差較大，顯示其模式誤差特性與 TGFS 存在顯著差異。接著將 TGFS 中已更新之地表資料（V16_LSA）與積雲參數化方案（V16_CU）逐一加入 NCEP GFS V16 進行測試，結果顯示 V16_LSA 可改善近地層暖偏差，且溫度預報偏差於預報後期明顯減少；但 V16_CU 在熱帶洋面與高層產生更明顯暖偏差，均方根誤差亦隨之上升。綜合分析指出，考量 NCEP GFS V16 與 TGFS 間誤差特性的差異，過去針對 TGFS 模式物理所作之修改項目無法全數直接套用於 GFS V16，各項更新項目仍需進一步調整與測試。

關鍵字：CWA TGFS、NCEP GFS V16、對流參數化方案測試

NCEP GFS／氣象署 TGFS 垂直層數之敏感度測試研究

陳郁涵^{1,2} 沙聖浩^{1,2} 連國淵¹ 蕭玲鳳¹ 郭鴻基²

¹中央氣象署科技發展組 ²國立臺灣大學大氣科學系

摘 要

中央氣象署 TGFS 全球預報系統基於美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球預報系統(Global Forecast System, GFS)第 15 版(V15)發展而來。為評估 TGFS 未來發展方向，本研究在氣象署高速運算電腦上建置 NCEP GFS 第 16 版(V16)，為其目前作業版本，水平解析度 C768(約 13 公里)，垂直層數 127 層，模式頂高度 80 公里，並套用 TGFS 中已經由過去研究證實可改善近地表溫度預報的地表資料更新，包括使用地表分析衛星應用中心(Satellite Application Facility for Land Surface Analysis, LSASAF)植被覆蓋率，以及 2010 年 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)地表氣候資料之土壤種類與植被種類。在此版本之上，本研究探討模式垂直層數對預報表現的影響，進行三組實驗，垂直層數(模式頂高度)分別設定為 64 層(54 公里)、97 層(80 公里)、127 層(80 公里)，結果顯示提升模式垂直解析度有利於改善模式預報表現，但仍需綜合評估模式作業所需運算資源與模式預報表現，以規劃 TGFS 未來的研發策略。

關鍵字：TGFS 全球模式、數值天氣預報、垂直解析度

全球大氣模式TCo383物理參數化之OpenACC GPU平行化加速成果

李尚恩¹ 陳鎰龍² 劉邦彥¹ 吳佳瑩¹ 吳蔚琳¹ 陳建河¹ 李明營¹

¹中央氣象署海象氣候組 ²NVIDIA Corporation

摘 要

中央氣象署全球展期天氣系集預報系統（Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System, CWAGEPS）中，所採用的全球大氣模式TCo383與國立臺灣大學海洋研究所自主研發的台灣多尺度海洋社區模式(Taiwan Multi-scale Community Ocean Model, TIMCOM)正在進行GPU平行化移植。TCo383的GPU移植主要以OpenACC實作，輔以多項高效能NVIDIA GPU API強化效能表現。透過調整程式結構以提升對 GPU 的友善度，已可顯著發揮 GPU 平行運算之優勢。

目前，TCo383L72之動力核心已完成GPU移植並取得顯著加速成果。使用8張NVIDIA A100 GPU與使用144個FX1000 CPU計算節點（共計6912核心）積分所需時間相當。各項物理參數化模組亦持續移植中，目前已完成地形重力波拖曳參數法、臭氧過程、邊界層參數法、陸表模式 Noah land model，以及 GCE 3ICE 雲微物理參數法之 GPU 移植。相較於2個Intel Xeon Gold 6236 CPU（共32核心），8張NVIDIA A100 GPU使上述模組分別獲得62.1倍、632倍、52.4倍、13.6倍、98.9倍之加速效果。未來規劃將其餘參數法陸續移植，使積分的所有計算皆在GPU上進行，以發揮最佳效能。

關鍵字：GPU、OpenACC、高效能計算、CWAGEPS、物理參數化

中央氣象署 TGFS 作業系統之地表模式的評估測試

汪鳳如 沙聖浩 蕭玲鳳

中央氣象署 科技發展組

摘要

中央氣象署的全球預報系統 TGFS (Taiwan Global Forecast System) 於 2023 年 9 月上線作業，模式主要參考美國國家環境預測中心 (NCEP) 於 2019 年上線作業之 FV3GFS_V15 版本。NCEP 現行作業已於 2021 年更新至 FV3GFS_V16，本研究針對其發展中的下一代作業模式 FV3GFS_V17 預計更新之地表模式 Noahmp LSM(Land Surface Model)進行測試，對此地表模式的特性及表現進行了解及評估。

Noahmp LSM 的一大特點為其於涵蓋的數個地表相關物理過程中，有多樣計算方式的選項(option)，初步測試將選項均設定為 NCEP 預設值，以 2020 年 8 月 29 日 00Z 為初始場的 24 小時預報結果顯示，和目前作業模式使用的 Noah LSM 相比，Noahmp LSM 於白天的地表可感熱普遍增加，地表蒸發潛熱則普遍減小；連帶對低層大氣的影響為可預期的暖乾趨勢。若以 ERA5 的預報為校驗標準，模式 Noah LSM 原本的預報已有暖乾偏差，因此 Noahmp LSM 的預報偏差有增加趨勢。

進一步測試中，針對 Noahmp LSM 其中幾個較為敏感的物理過程進行選項測試，**opt_sfc** 主要控制地表層傳遞係數的計算，直接影響地表熱通量傳送效率，若將_opt_sfc 從選項 1(m-o)改為 2(noah)，可感熱通量顯著減小。**opt_crs** 則是控制植被阻抗的計算，若將 opt_crs 從選項 1(Ball-barry)改為 2(Jarvis)，植被阻抗減小，植被蒸散量因而增加，使得總蒸發散通量增大，但和 Noah LSM 相比，地表總蒸發散量仍是顯著偏小。進一步的診斷分析仍持續進行中。

關鍵字: Noahmp LSM，可感熱通量，蒸發散通量

Characteristics of East Asian monsoon cycle represented by the western Pacific-Indian Ocean regional low-level circulation types and the relationship with ENSO

Yin-Min Cho and Mong-Ming Lu
Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

Abstract

The East Asian monsoon cycle is identified by the western Pacific-Indian Ocean regional low-level circulation weather types (WTs) of daily 850hPa winds from 1979 to 2024 based on the ERA5 data. The intensity of the East Asian summer and winter monsoons are well represented by different kinds of WT evolution. Nine low-level circulation types were identified. We found that a strong (weak) winter monsoon tends to follow a strong (weak) summer monsoon. The in-phase relationship between the summer and winter monsoon is driven by the ENSO. A strong (weak) summer monsoon tends to occur during an La Niña (El Niño) developing year. The winter monsoon is strong (weak) during La Niña (El Niño) winters. However, a strong or weak summer monsoon has no clear relationship with its preceding winter monsoon. Anomaly anticyclone circulation (strong summer monsoon) over the SCS and PHS associated with the strong SST anomalies are observed during La Niña developing summers, which represents a summer monsoon condition. When the strong SST anomalies move eastward along with the La Niña, the SCS is covered by strong cyclone circulation (strong winter monsoon).

Key words: East Asian monsoon, low-level circulation weather types, ENSO

應用自組織映射圖分類法客觀辨識東亞地區之春夏季節演變

Identifying the East Asia Spring-to-Summer Transition Using Self-Organizing Map

黃聖丰¹ (Huang S.-F.) 盧孟明² (Lu M.-M.) 羅資婷¹ (Lo T.-T.)

¹中央氣象署海象氣候組 ²國立臺灣大學

¹Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

²National Taiwan University

摘 要

東亞季風區春季至夏季的季節演變，往往伴隨著低層風場和降雨的顯著變化，其中五六月的台灣梅雨季時期，也是每年颱風季來臨前重要的降雨來源。本研究使用自組織映射圖分類法(self-organizing map, SOM)對東亞地區1979至2023年四到七月逐日850 hPa水平風場資料進行群集分析，以客觀辨識東亞春夏轉換期間具有代表性的環流類型與對應的降水特徵。透過SOM所辨識出的環流類型，可以從逐日的類別去顯示季內尺度的演變過程，並從年際尺度的觀點去探討在聖嬰、反聖嬰等不同氣候背景下的差異。

初步分析結果顯示，從春季後期到夏季初期，分別由不同環流類型輪流主導。春季後期出現的環流類型，主要掌握到西北太平洋副熱帶高壓環流籠罩台灣、南海以東風為主的特徵；在季節轉換期，分群結果凸顯出孟加拉灣與南海西南風增強的訊號，並表現出台灣梅雨和長江梅雨的雨帶特徵；而到夏季初期的環流類型，則可以看到季風槽的建立與熱帶擾動的訊號。未來有機會應用至即時監測與短期預報資料，並將分析時段延伸至其他季節，檢視此方法對於短期氣候與季節演變的監測是否能提供進一步的資訊。

關鍵字：東亞季風、自組織映射圖、季節轉變

用200百帕位勢高度來探討南亞高壓的變化特徵

Characteristics of the South Asian High Variability Revealed by 200hPa Geopotential Height

陳柏嘉¹ (Po-Chia, Chen) 盧孟明² (Mong-Ming, Lu)

¹中央氣象署預報中心 ²國立臺灣大學大氣科學系

¹Weather Forecast Center, Central Weather Administration

²Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

摘要

南亞高壓 (SAH) 是亞洲夏季在上對流層最重要的反氣旋環流系統。本研究旨在分析南亞高壓的變異性及其與中緯度波動的關係。我們使用200 hPa的位勢高度 (Z200) 作為分析南亞高壓的變數，並以1979-2022在44年的氣候平均值覆蓋了 20-35°N, 40-110°E 區域範圍的12520 gpm等值線作為界定南亞高壓的參考值，發現該區域內，最大Z200易出現在伊朗高原 (45-65°E) 和青藏高原 (80-100°E) 兩個地方。透過對南亞高壓區域Z200的EOF分析，發現了其時空的變化特徵可用三個主模態描述。第一模態的空間特徵顯示出單極結構，中心位於伊朗高原的北部。第二模態的空間特徵呈現出東西方向反相位變化的二極結構，兩個變化中心分別在伊朗高原北部和青藏高原東北部。第三模態的空間特徵在東西方向呈現三極結構，反映了西風噴流中波導效性的波列特徵。上述結果顯示南亞高壓Z200的主要變化位置，是位於其北部邊界亞洲西風噴流區，並受到活躍擾動向南延伸的影響。這些模態在時間的變異性上顯示出兩個明顯的時間尺度：準雙週 (10-20天) 和準月度 (20-40天)。南亞高壓上的準雙週變化，主要受到與嵌入在西風噴流波導中的渦旋和波列的影響，與這些擾動的向南延伸。中緯度地區擾動主要出現在60-90°E之間和 90-120°E之間兩個地方，源自50°N並向南延伸，分別影響伊朗高原北部和青藏高原東北部兩個南亞高壓的變化中心。而南亞高壓上的準月度變化，則受到上游烏拉山脈附近的阻塞高壓或低壓槽 (40-70°N, 30-60°E) 影響，這個地區同時也是歐亞大陸上阻塞高壓好發的地方。最後，由 1989年夏季個案，證實了觀察每日高度場、風場距平等氣候變數，可清楚辨識南亞高壓的準雙週變化和西風噴流波導中的渦旋，以及60-90°E和90-120°E的中緯度擾動向南延伸的影響，顯示了解南亞高壓主模態有助於詮釋中高緯度波動和亞洲季風區天氣與氣候變化的關係。

關鍵字：亞洲夏季季風、南亞高壓、準雙週振盪

Abstract

The South Asian High (SAH) is the most important upper tropospheric summer system over Asia. This study aims to analyze the variability of the SAH and its relationship with the mid-latitude waves. The SAH in this study is represented by the geopotential height at 200 hPa (Z200). Its extent is defined by the 12520-gpm contour at 200 hPa, which covers the region of (20-35°N, 40-110°E) based on the 44 years of climatological mean. Within this region, the maximum Z200 tends to occur over the Iranian Plateau (45-65°E) and the Tibetan Plateau (80-100°E). The SAH variability is further investigated by EOF analysis of the Z200 over the SAH region. The spatial pattern of the first mode displays a monopole structure with its center to the north of the Iranian Plateau. The spatial pattern of the second mode exhibits a dipole structure in east-west direction. The dipole structure comprises the primary variation center over the northeast of the Tibetan Plateau, accompanied by a secondary variation center with a reverse sign to the north of the Iranian Plateau. The variation centers of SAH variability are all located near its northern boundary where the Asian westerly jet exists. The tripole spatial structure in east-west direction of the third mode reflects geographical enhancement of the eddies trapped within the jet stream waveguide. The temporal variability of the leading modes shows two distinct timescales: quasi-biweekly (10-20 days) and quasi-monthly (20-40 days). The quasi-biweekly perturbations over the SAH appear as the perturbations intruding from higher latitudes to the north of the Iranian Plateau and the northeast of the Tibetan Plateau. The quasi-monthly perturbations are strongly influenced by blocking or trough patterns between 30-60°E, situated to the northwest of the Iranian Plateau. The wave train passing through the north of the SAH, characterized by several eddies trapped within the jet stream waveguide, can be observed on both the 10-20-day and the 20-40-day timescales. Finally, we use the 1989 summer to illustrate that the variability of the SAH on the quasi-biweekly timescale is associated with eddies embedded in the jet stream waveguide, with some influenced by the southward penetration of mid-latitude waves originating from 50°N or further north in the longitude range of 60-90°E and 90-120°E.

Key words : Asian summer monsoon, South Asian High, Quasi-biweekly oscillations

六月期間準雙週振盪對海洋邊界層噴流及豪雨的調節

涂穎琪¹、隋中興²、盧孟野¹、林沛練¹

¹國立中央大學 ²國立臺灣大學

摘 要

在南海（SCS）上，準雙週振盪（quasi-biweekly oscillations; QBWOs）會於六月台灣梅雨季後期的西南季風環境中向北或西北移動，並調節海洋邊界層噴流（marine boundary layer jet; MBLJ）的位置與頻率。QBWOs 的前半生命週期（第 1~2 期；P1-P2）以南海上空對流受抑及反氣旋流增強為特徵，因此在北部（南部）南海可以觀測到更頻繁（較少）的 MBLJ。相對地，QBWOs 的後半生命週期（P3-P4）則呈現與前者相反的特性。

透過分析 QBWOs、MBLJs、鋒面活動以及豪雨之間的交互作用，可發現華南及台灣地區在 P2 與 P4 期間的降雨型態存在明顯差異。在 P2 期間，受抑（增強）的對流中心分別位於南海中部（華南），約在北緯 17 度、東經 115 度（北緯 27 度、東經 115 度）。當 QBWOs 增強中國東南沿海附近的 MBLJ 時，便為華南內陸地區的豪雨提供有利條件。因受 QBWO 調制的更強西南海洋邊界層噴流，從南海到華南內陸的水氣傳輸上升，加之梅雨鋒面帶的水氣輻合增強，促成華南內陸地區的豪雨。並且，增強的 MBLJ 所帶來的暖平流進一步加強鋒面生成（frontogenesis），與內陸地區的降雨峰值有強烈關聯。台灣則在此時期經歷更多鋒面性及地形性降雨。進入 P4 後，MBLJ 減弱導致水氣傳輸、水氣輻合和鋒面生成下降，使華南內陸變得較為乾燥。然而，QBWO 所誘發的潛熱釋放仍能促進南海北部與台灣南部的豪雨以及季風槽的發展。

關鍵字：海洋邊界層噴流、準雙週振盪、豪雨、梅雨鋒面

Biases in stratosphere–troposphere coupling in subseasonal forecast systems

Simon Lee

School of Earth and Environmental Sciences, University of St Andrews

Abstract

Differences between a model's climate and the climate of the real world – known as model biases – are a ubiquitous problem in climate modelling. Biases can arise due to fundamental errors, model resolution, parameterisations or circulation feedbacks owing to the former. For initialised models used in weather and climate prediction, the evolution of the atmospheric state from the initialised, real-world climate toward the model's mean state – the 'drift' – occurs rapidly during the subseasonal-to-seasonal (S2S) timescale (from 15 days to 2 months ahead).

As part of a recent community effort by the APARC Stratospheric Network for the Assessment of Predictability (SNAP), we analyse biases in the polar vortex and associated stratosphere-troposphere coupling in S2S forecast systems. Here I will focus on results for the Northern Hemisphere winter, and present a set of diagnostics which can be used in model evaluation and development.

結合區域模式與再分析資料探討全球暖化下極區夏季氣候變化與大氣回饋機制

Investigation of Arctic Summer Climate Change and Atmospheric Feedbacks under Global Warming Using Regional Modeling and Reanalysis Data

劉鈺均¹ (Liou Y.-J.) 鍾高陞¹ (Chung K.-S.) 梁禹喬² (Liang Y.-C.) 柯縉盈¹ (Ke C.-Y.)

¹國立中央大學大氣科學學系 ²國立臺灣大學大氣科學系

¹ Department of Atmospheric Sciences, National Central University

² Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

摘 要

在過去數十年間受全球暖化影響，世界各地正面臨不同程度的氣候變遷情形，其中極區因快速變暖和海冰的大量流失，對當地大氣環境產生了重大影響，進而導致該區域氣候特徵發生變化。本研究結合地面觀測與同化多種氣象觀測資料之全球ERA5再分析場，並搭配能提供更豐富、更高解析度之局地時空間分布資訊的區域化天氣研究與預報模式（WRF），以了解在全球暖化背景條件下，極地區域的大氣所產生的改變與其相關交互作用機制。從2013、2023之夏季環境變化差異可以發現，該區域在500百帕高度場上有十分顯著的增加，並連帶使得周遭氣壓梯度力與風速下滑，也導致極地區域在垂直運動上有明顯的減弱情形。其中上升運動的減弱，造成原先可從底層傳到高層的豐富水氣不再能夠被有效地傳輸。而溫度的顯著上升加上來自低層的水氣減少，直接導致了與高層冷雲的大幅減少，其結果便是有更多的短波輻射可抵達並加熱地表，進一步加劇地表溫度的上升情形。

關鍵字：極區大氣、全球暖化、天氣研究與預報模式(WRF)模擬、ERA5再分析場

The influences of ISO modulation on Tropical cyclone activity to the Philippines

Lai Tzu-Ling¹ Chen Jau-Ming¹

¹Department of Maritime Information and Technology, National Kaohsiung University of Science and Technology, Kaohsiung, Taiwan

Abstract

This study demonstrates that the 30-60-day intraseasonal oscillation (ISO) systematically affect tropical cyclones (TCs) originating from the western North Pacific (WNP) to affect the Philippines. During the convective ISO phases, TCs affecting the Philippines (TCs-PH) via a westward-northwestward (W-NW) path are mainly modulated by a zonally-extended anomalous cyclone across the Philippines. During June-October (JJASO), the WNP TCs follow anomalous easterly/southeasterly flows in the northern section of an anomalous cyclone toward the northern (southern) sector of the Philippines when the cyclonic center situates north (south) of 15°N. During the non-convective ISO phases, TC movement toward the Philippines is influenced by anomalous easterly/southeasterly flows in the southern section of an anomalous anticyclone over the northwestern WNP. Over the 120°-140°E zone, these anomalous flows expanding southward to regions south (north) of 15°N result in TC tracks toward the southern (northern) sector of the Philippines. For both the convective and non-convective phases, ISO modulations on TCs with a W-NW path into the southern sector of the Philippines exhibit similar processes between JJASO and November-December (ND). TCs-PH turning northward during JJASO mainly follow anomalous southeasterly flows in the northeastern part of an anomalous cyclone stretching northwestward from the Philippines toward Taiwan during the convective phases. During the non-convective phases, TCs-PH move from the Philippines toward an anomalous cyclone extending from Taiwan to southeastern China to result in a northward track. .

Key words : Tropical cyclone, The Philippines, Intraseasonal oscillation modulation

MJO Influence on Philippine Extreme Rainfall Frequency Associated with Spring to Summer South China Sea Climatological Intraseasonal Oscillation Mode and Westerly Monsoon Onset

Yun-Ting Jhu¹ and Mong-Ming Lu²

¹International Integrated Systems, Inc.

²National Taiwan University

Abstract

The East Asian monsoon system shows strong annual cycle with the wet season in summer and dry in winter. Apart from the annual cycle, the monsoon system exhibits distinct climatological intraseasonal oscillations (CISOs) (Wang and Xu 1997), also known as the fast annual cycle (LinHo and Wang 2002). This study focuses on investigating the relationship between CISOs, South China Sea (SCS) westerly summer monsoon onset, and the commencement of Philippine rainy season. The SCS-CISO mode during the spring to summer transition period (March-June) is determined as the intraseasonal (20-73 days) variations of the area (10°-20°N, 110°E-120°E) mean OLR data during the 44 years from 1979-2022. A statistically significant dry (wet) singularity over the SCS is identified with the positive (dry) peak in early May and negative (wet) valley in late May. When an individual-year SCS-CISO mode shows distinct shift from dry to wet during the time window from mid-April to early-June (pentads 22-31) and the wet phase coincides with the wet singularity, the year is identified as a year of normal SCS-CISO. It turns out that 72% of the 22 normal SCS-CISO years show concurrent wet SCS-CISO and westerly monsoon onset, and about one half of the concurrency was influenced by MJO through an intensified southwest-northeast oriented moisture transport path from Indian Ocean extended to northern SCS and extratropical western North Pacific. The extended moisture transport path is associated with a MJO-Rossby wave like anomalous cyclonic circulation. It can enhance the Taiwan-Okinawa Mei-yu front and the extreme rainfall over northern Philippines. However, the fact that only in one half of the normal SCS-CISO years showing MJO influence suggests the spring to summer fast annual cycle and CISO over the SCS cannot be fully explained by MJO.

Keywords: South China Sea summer monsoon, Climatological intraseasonal oscillations, Madden-Julian Oscillation, Extreme rainfall

中央氣象署全球展期天氣與短期氣候系集預報 系統發展現況

劉邦彥¹ 郭珮萱¹ 黃崇惟¹ 曾喜絃¹ 李尚恩¹ 吳蔚琳¹ 吳佳瑩¹ 李崇瑋¹ 邵允銓²
吳子榆¹ 陳薇鈞¹ 胡志文¹ 曾于恒² 陳建河² 李明營¹ 莊漢明³ 林沛練³

¹中央氣象署海象氣候組

²國立臺灣大學海洋中心 ³國立中央大學大氣科學學系

摘 要

中央氣象署第二代展期天氣系集預報系統（Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System version 2, CWAGEPS V2）自 112 年 9 月正式上線作業以來，期間曾進行小幅改版。系統中於全球模式嵌套區域波譜模式（Regional Spectral Model, RSM），建構區域動力降尺度機制，提供臺灣周邊地區 5 公里水平解析度之季內尺度預報。第三代系統（CWAGEPS V3）於大氣模式部分延續第二代架構，並進一步與臺灣大學海洋研究所自主研發的臺灣多尺度海洋社群模式（Taiwan Multi-scale Community Ocean Model, TIMCOM）進行耦合。該海氣耦合架構目前已臻成熟，預報系統亦於 113 年底通過作業性評估，並完成上線申請。

鑒於中央氣象署同步推動之第三代短期氣候預報系統（Central Weather Administration Climate Forecast System version 3, CWACFS V3）若採用全新架構將需投入龐大研發資源，為有效控管成本並加速系統開發，預計將延用 CWAGEPS 之海氣耦合架構為主軸，並新增海冰模式，以整合海—氣—冰交互作用機制，提升對季節預報之掌握能力。此外，為增進系統運算效率，現階段已著手將大氣與海洋模式進行 GPU 加速化，初步成果顯示具顯著效能提升，亦有助於擴增系集成員數量，強化預報不確定性之表徵。

同時，也正規劃次世代海氣耦合展期系集預報系統的整體發展方向，期望透過導入如 FV3 等國際及國內 社群支援之預報模式，以降低研發成本，並強化與國際氣象社群之接軌。

關鍵字：展期天氣系集預報系統、短期氣候預報系統、海氣耦合預報系統、GPU 加速

NOAH-MP LSM於CWA/GEPS系統之建置與模擬效能評估

吳佳瑩 (Wu J.-Y.) 劉邦彥 (Liu B.-Y.) 陳建河(Chen C.-H.) 李明營(Li M.-Y.)

中央氣象署海象氣候組

摘 要

中央氣象署目前運行之全球系集預報系統CWA/GEPS v2.1 (Global Ensemble Prediction System) 所採用的陸表模式為NOAH Land Surface Model (NOAH LSM)。該模式主要模擬地表能量收支過程，涵蓋四層土壤結構、地表逕流、植被季節變化、Jarvis型氣孔阻力參數化、凍土模擬，以及積雪與冰相變化等核心物理機制。

為進一步提升模擬的物理真實性與預報精度，並導入更完整的地表與土壤物理過程描述，本研究擬將現行NOAH LSM更新為NOAH-MP LSM (NOAH Multiple-Physics Land Surface Model)。NOAH-MP除保留既有機制外，更納入輻射傳輸、積雪演化、水文循環與動態植被等過程，並提供多重參數化選項，使模式能根據不同地理與大氣條件，靈活調整模擬內容。

目前已成功在 CWA/GEPS 系統中建置NOAH-MP LSM。然而，初步模擬結果顯示，與NOAH LSM相比，NOAH-MP LSM在近地面2公尺氣溫表現偏低，且潛熱通量在日間減少、夜間增加，而可感熱通量則在日間增加、夜間減少。

本研究將針對上述現象進行系統性分析，深入探討NOAH-MP LSM與NOAH LSM在物理過程處理上的差異，並評估其對模擬結果的影響。同時，亦將探討未來在預報系統中的調整方向，以提升整體模擬效能與預報準確性。

關鍵字：全球系集預報系統CWA/GEPS、NOAH-MP LSM

中央氣象署全球展期天氣系集預報系統隨機擾動項對OLR預報之調整測試

郭珮萱¹ 劉邦彥¹ 曾喜絃¹ 黃崇惟¹ 李崇瑋¹ 邵允銓² 吳蔚琳¹ 吳佳瑩¹
曾于恒² 陳建河² 李明營¹ 林沛練³

¹中央氣象署海象氣候組

²國立臺灣大學海洋中心 ³國立中央大學大氣科學系

摘 要

中央氣象署第三代展期天氣系集預報系統（Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System version 3, CWAGEPS V3）之大氣模式沿用第二代系統之動力核心架構，並進一步與國立臺灣大學海洋中心自主研發之臺灣多尺度海洋社群模式（Taiwan Multi-scale Community Ocean Model, TIMCOM）進行大氣-海洋耦合，提升系統對展期天氣變異的模擬能力。

在擾動技術方面，CWAGEPS V3 引入隨機擾動物理趨勢（Stochastically Perturbed Parameterization Tendencies, SPT）、隨機動能後向散射（Stochastic Kinetic Energy Backscatter, SKEB）與隨機濕度擾動（Stochastically Perturbed Humidity, SHUM）等方法，以增加集合系統之離散度，進而提升對不確定性的表徵能力。然而，實驗結果顯示，熱帶地區向外長波輻射（Outgoing Longwave Radiation, OLR）對 SHUM 具高度敏感性，當擾動強度設置過大時，易造成系統在預報初期（第 0–5 天）出現過早且過量之對流降水，進一步導致邊界層水氣提前耗竭，進而造成 OLR 偏高之系統性誤差。

為改善此問題，本研究針對 SHUM 擾動強度進行調整試驗，並配合積雲參數化方案中雨水轉化率（rain conversion parameter）之微調。結果顯示，此項優化措施可有效減緩熱帶印度洋地區於預報初期之過早對流活動，有助維持邊界層濕度場之合理演變，降低 OLR 系統性偏差。進一步分析亦顯示，調整後之系統能改善預報中後期（15 天以上）雲量偏少及 OLR 過高之問題，並增強季內震盪（Madden-Julian Oscillation, MJO）期間印度洋對流東移之模擬能力，整體提升系集系統對季內震盪之預報準確度。

關鍵字：展期天氣系集預報系統、海氣耦合

應用海洋資料同化於全球海氣耦合模式展期預報之初步評估

謝銘恩¹ 曾喜絃¹³ 李崇瑋¹³ 邵允銓¹² 曾于恒¹² 陳建河¹³

¹國立臺灣大學海洋中心 ²國立臺灣大學海洋研究所 ³中央氣象署海象氣候組

摘 要

中央氣象署針對全球展期天氣預報之最新作業系統 CWAGEPS V3 (Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System version 3) 為耦合氣象署 CWATCO 全球大氣模式與臺灣大學開發的台灣多尺度海洋社區模式 (Taiwan Multi-scale Community Ocean Model, TIMCOM)，以及動力降尺度至台灣鄰近區域之多尺度海氣耦合模式。全球大氣之初始場來自氣象署全球大氣模式 TGFS (Taiwan Global Forecast System) 以混成四維系集-變分 (4DEnVar) 資料同化產生之初始場，而海洋初始場則來自美國海軍海洋局之 HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) 模式。為增進數值預報能力，臺灣大學引進澳洲氣象局 (Bureau of Meteorology, BoM) 作業之海洋資料同化系統 EnKF-C，應用於 CWAGEPS V3 進行2024年1月同化衛星與現地觀測資料之全球展期預報實驗，並測試資料同化循環對於預報表現之效益。初步校驗結果顯示海洋資料同化對於熱帶氣溫與重力位高度之預報改進較為明顯，同時可降低表面海溫之預報誤差；此外，針對實驗期間之MJO (Madden Julian Oscillation) 季內振盪個案，初始場改進亦能延長其可預報度。

關鍵字：全球海氣耦合模式、海洋資料同化、展期預報

中央氣象署全球展期天氣預報系統 對MJO的預報能力與預報偏差原因

李崇瑋¹² 劉邦彥¹ 邵允銓²³ 郭珮萱¹ 黃崇惟¹ 曾喜絃¹² 吳蔚琳¹ 吳佳瑩¹ 李尚恩¹
謝銘恩² 曾于恒²³ 陳建河¹² 李明營¹

¹中央氣象署海象氣候組 ²國立臺灣大學海洋中心 ³國立臺灣大學海洋研究所

摘 要

熱帶地區的季內震盪由 Madden-Julian Oscillation (MJO) 主導，是提供展期天氣預報重要的可預報源之一。中央氣象署研發的第三代展期天氣系集預報系統 (Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System version 3, CWAGEPS V3) 旨在提升臺灣的展期天氣預報能力。為評估該系統對 MJO 的預報能力，本研究分析了 2001 年至 2020 年一月的決定性事後預報 (reforecast) 資料。CWAGEPS V3 對 MJO 事件平均有 17 天的預報能力，且最長可達 33 天，相較於第二代系統 (CWAGEPS V2)，個別事件最多提昇了 17 天的預報能力。CWAGEPS V3 能夠準確模擬 MJO 對流從印度洋向海洋大陸東移的過程。然而，對流至海洋大陸附近後減速並逐漸消散，此時模式低估了西太平洋地區的對流活動與緯向風距平，導致預報能力受限。

在對流抵達熱帶西太平洋前約 5 至 10 天，邊界層的水氣預報呈現乾偏差，而再分析資料顯示，邊界層的水氣累積實際上應有助於預先醞釀 MJO 的東移。本研究進一步將 MJO 事件分為預報表現良好 (預報能力達 20 至 33 天) 與不佳 (僅 10 至 13 天) 的兩組進行比較。兩組之間的關鍵差異在於背景氣候狀態：良好預報多發生在反聖嬰條件下，不佳預報則多見於聖嬰情況。反聖嬰現象增加了西太平洋的低頻水氣，使得邊界層乾偏差在良好預報組中有所緩解，反之則更加惡化。此外，反聖嬰的大尺度環境也有利於印度洋上的 MJO 對流向海洋大陸與西太平洋東傳。

水氣收支分析顯示，乾偏差主因為邊界層的輻合過弱。而初步的敏感性測試結果顯示，降低水平擴散係數能有效改善此乾偏差，使對流東傳的強度接近觀測。理解這些物理過程，有助於改善 CWAGEPS V3 的展期天氣預報表現，並為其在次季節至季節 (subseasonal to seasonal) 尺度的應用提供初步指引。

關鍵字：展期天氣系集預報系統、季內震盪

The Evaluation of CWA Seasonal Forecast Model

Helio Tseyi Lee^{1,2} Ching-Teng Lee^{1,2} Tzu-Ting Lo¹
Jyh-Wen Hwu¹ Jen-Her Chen¹ Jing-Shan Hong¹

1 Central Weather Administration, Republic of China, Taiwan

2 International Integrated Systems, Inc

Abstract

Short-term climate models, which generate forecasts months in advance, have become essential tools in climate prediction. These models provide critical information for sectors such as agriculture, water resource management, energy planning, and disaster preparedness. Seasonal forecasts—long-range projections of climate conditions—aim to anticipate general trends in temperature variability and precipitation patterns by simulating key drivers such as atmospheric circulation and sea surface temperature. A key challenge in seasonal forecasting lies in the accurate prediction of extreme climate events, which often have significant socio-economic consequences. By systematically examining model performance in representing historically warm, cold, wet, and dry events, the study provides insights into the relative strengths and limitations of each model, offering guidance for improving operational seasonal forecasts and enhancing preparedness for future extremes.

Key Words : Seasonal Forecast

人工智慧降尺度技術在氣候服務中的應用發展策略

李清勝^a，陳昀靖^a，王志嘉^a，林昀靜^a，王則堯^a，朱芸霆^a，劉祉筠^a，洪景山^a，張惠玲^a，羅資婷^a，曾琬鈴^b，潘琦^a

^a 交通部中央氣象署、^b 國立台灣大學

摘要

中央氣象署目前正積極發展各項氣候服務，致力於將氣候預報轉化為氣候資訊，為使用者與決策者提供關鍵的預測參考資料。這核心目標在於幫助政府、產業、社區及個人有效面對氣候變遷帶來的極端事件相關風險。為實現此目標，中央氣象署需要發展具有高解析度且在地化的氣候預報資訊，以滿足各界需求。

本研究提出了一個整合性框架，利用全球天氣/氣候或資料趨動天氣模式（如 NWP 或 DWP）的預報產品，結合 AI 降尺度方法（例如：CorrDiff），以生成高解析度的氣候預報產品。CorrDiff 方法解決了現有降尺度技術的基本限制，並能夠生成更細緻化的高解析度降尺度模擬結果。本研究主要分析影響降尺度模擬正確性的關鍵氣象變數，並發展出一個可操作且具有高度應用價值的 AI 降尺度模擬器，為跨領域單位提供高解析度預報的參考資料。

為了進一步改進並優化 CorrDiff 模型，本研究設計了三項實驗，以準確性和效率為主要目標，對氣象變數對模型影響的敏感度進行評估：（1）單一變數實驗（降水或氣溫），使用 25 年資料以每增加 5 年的訓練資料，來觀察樣本數多寡是否明顯影響降尺度模擬誤差的飽和現象；（2）多變數實驗，結合多種地表變數，檢測多變數輸入對降尺度模型模擬正確性的提升作用；（3）將所有可用變數(三維氣象變數)作為輸入，測試是否通過最大化輸入氣象資料可明顯提升模型的降尺度正確性。這些敏感度測試實驗不僅可進一步強化 CorrDiff 模型，也有助於發展更為穩健的降尺度模擬器，進而支援氣候預報作業與跨域應用產品。

關鍵字: AI 降尺度模型、氣候預報、跨域應用

應用 MLWP 於台灣區域第三週降雨預報之可行性評估

陳昀靖^{1,2} 羅資婷¹ 李清滕^{1,2}

海象氣候組¹ 資拓宏宇國際股份有限公司氣象科技事業處²

摘要

自 Pangu-Weather 發表以來，各類資料驅動 (Data-Driven) 天氣預報模型即引起氣象界高度關注，並逐漸應用於天氣預報相關領域。然而，多數模型在第 10 天以後的預報能力仍明顯衰退，使得機器學習天氣預報模型 (Machine Learning Weather Prediction, MLWP) 於展期預報 (extended-range forecasting) 上的應用有限。此外，現有 MLWP 模型多著重於日尺度預報能力之驗證，針對週尺度 (weekly scale) 之預報表現評估相對較少。因此，本研究旨在進一步評估 MLWP 模型於展期預報中週尺度預報之可行性與應用潛力。

本研究所採用之 MLWP 模型為 FourCastNetv2。由於其解析度尚不足以解析台灣複雜地形對降雨的影響，因此本研究進一步建構降尺度架構。具體方法為：利用卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 分別擷取 FourCastNetv2 預報大尺度環流與降水特徵，並結合注意力機制 (Attention Mechanism)，以選取對台灣第三週降雨預報影響較大的特徵作為降尺度模型之預報因子。結果顯示，FourCastNetv2 模型在第三週預報中，能有效捕捉與台灣降雨相關之大尺度環流訊號，且經由注意力機制強化後，能進一步提取出對降雨預測具有關鍵貢獻的特徵，整體有助於提升台灣地區週尺度降雨預報之準確度與技術表現。

關鍵字：第三週降雨預報、MLWP、注意力機制

類比後處理技術於中展期高解析降雨預報之進展

Advances in Analog Post-Processing for High-Resolution Medium- to Extended-Range Precipitation Forecasts

莊美誼¹ (Joyce Juang) 蔣育真¹ (Y.-C. Chiang) 張惠玲¹ (H.-L. Chang) 羅存文¹ (T.-W. Lo)
林涵芳² (H.-F. Lin) 馮智勇² (C.-Y. Feng) 洪景山¹ (J.-S. Hong)

¹中央氣象署 ²多采科技有限公司

¹Central Weather Administration

²Manysplended Infotech Ltd, Taiwan

摘 要

在台灣，降雨預報對於農業、水資源管理以及災害風險管理等領域至關重要。然而，數值天氣預報(Numerical Weather Prediction, NWP)常因存在偏差、空間解析度有限，或系集離散度不足(under-dispersion)等問題，無法完全滿足使用者需求。為克服這些限制，後處理技術已成為提升預報準確性與可信度的重要手段。目前已有多種方法被發展用於模式的校正或降尺度處理，包括統計方法與近年快速發展的人工智慧(AI)技術。

其中，中央氣象署（CWA）積極研究並發展「類比後處理（Analog Post-Processing, AP）」技術，應用於中期至展期降雨預報。AP的設計理念是：過去的天氣事件，在相似的氣象條件下，會再次重演。該技術可有效移除模式預報的空間偏差，同時提升空間解析度，將較粗解析度的模式網格轉換為高解析度的預報結果。並且，AP 的一大優勢在於其高度的彈性：不需進行模型訓練，即可產出決定型、系集與機率型的預報。因此，AP 特別適用於不同時間尺度及多種降水事件的客製化預報，能有效滿足多元化的使用需求。

關鍵字：偏差修正、類比後處理、中展期降雨預報

高解析度無縫隙降雨預報產品之研發及預報表現評估

戴源里¹ 張惠玲¹ 蔣育真¹ 莊美誼¹ 馮智勇² 林涵芳²

¹中央氣象署海象氣候組 ²多采科技有限公司

摘 要

降雨預報對於農業在灌溉作業及旱澇防護上皆有莫大的應用價值，然不同的作物因生長期及生長環境差異，其高度用水時期以及關注的降雨預報時間可能略不相同，因此，無縫隙降雨預報產品之研發能滿足農業各領域的需求，具有廣泛的應用潛力。

本研究參考農業單位的作業期程，以旬為單位，原始預報採用歐洲中期天氣預報中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）系集預報，透過統計類比後處理技術（Analog Post-processing, AP）進行偏差修正，研發台灣高解析度未來一個月旬累積雨量系集預報產品，並以相關校驗方法評估其系集離散度、預報可信度、預報區辨能力等表現。校驗評估結果顯示，經AP修正後的系集預報能反映真實觀測的變異特性，在預報可信度、區辨能力等結果也優於原始預報，對於極端降雨事件也具有良好的預報表現，此預報產品可有效應用於灌溉管理或防災等實務需求。

關鍵字：展期降雨預報、統計後處理技術、系集預報

結合尺度分解與多變量貝氏方法之溫度機率預報校正

蔣育真¹ 張惠玲¹ 莊美誼¹ 劉冠倫² 馮智勇²

¹央氣象署海象氣候組 ²多采科技有限公司

摘 要

天氣系統的可預報度與其空間尺度高度相關；隨著預報時間拉長，具有可預報度的空間尺度範圍隨之縮減，只剩較大尺度的波動具有可預報度。為此，本研究利用球面調和分解對2米溫度單一決定性預報進行尺度分解，以不同空間尺度資訊作為多變量貝氏模型之預報因子，進行偏差修正，以得到可信的機率預報。本研究針對不同預報因子進行貝氏預報模型建置，以第1、8、15、22天 00UTC整點溫度進行模型預報表現評估。評估指標包括距平相關係數(ACC)、校正得分(CS)與連續型預報技術得分(CRPSS)，以全面檢視不同預報時間之預報品質。

結果顯示，相較於原始預報，採用結合尺度分解與多變量貝氏方法的機率預報可顯著提升預報技術與可信度，尤以第1與第8天的短、中期預報改善最明顯。多變量貝氏預報雖可提升預報品質，但當預報因子較多的情況下，也容易出現過度擬合的問題，因此如何在現有的資源下選擇適當的預報因子是很重要的課題。此外，第15天後瞬時溫度預報之訊息度明顯下降，顯示其可預報度不足，未來將改以日平均或週平均溫度進行預報校正，以提升預報產品的可用性。

關鍵字：多變量貝氏預報、球面調和分析、機率預報

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會 單一成員推廣至系集成員之序率機器學習技術評估

劉冠倫¹ (Liu K.-L.) 陳昱璿¹ (Chen Y.-T.) 馮智勇¹ (Feng C.-Y.) 陳佳莉¹ (Chen C.-L.) 林涵芳¹ (Lin H.-F.)
張惠玲² (Chang H.-L.)
多采科技有限公司¹、中央氣象署²

摘 要

本研究目標為以現有的分析場為主體，發展產製系集成員的方法。在研究中使用序率機器學習 (Stochastic Machine-Learning, 簡稱SMaL) 架構，來得到系集分析場。SMaL架構之特徵在於不會直接對原始資料進行擾動，而是會根據大空間尺度特徵來擾動小空間尺度特徵，可以保留原始資料的大尺度特徵。SMaL架構在實作上會先使用小波分析來提取不同空間尺度特徵，再對小尺度特徵進行EOF拆解，讓後續使用時間卷積網絡(TCN)進行機器學習時可以對應到的空間分布不是單一格點，減少可用於訓練的空間位置單一性。最後在訓練完成後，可以使用大尺度特徵取樣來擾動多個小尺度特徵，進而得到擾動後的系集成員。

本研究首先使用ERA5的兩米溫度分析場進行系集分析場的產製，ERA5兩米溫度分析場透過SMaL架構可以得到系集分析場，取樣得到的系集其離散度較為集中，但調整取樣方式後，可以得到不錯的系集離散度，表示擾動出的系集有不錯表現。而接著嘗試使用NCEP GEFS V12兩米溫度預報場透過SMaL架構得到的系集預報場，但在實作上需要進行調整，因為SMaL原先是使用在分析場上，所以在進行TCN機器學習時，需要調整訓練資料的排序，其實驗結果顯示調整取樣方式後，預報第08/15/29日之系集離散度較為均勻，但仍略有低估之情況。

關鍵字：經驗正交函數、時間卷積網絡(TCN)

128層CWAGEPS耦合模式之穩定性改進與SSW模擬敏感度分析：地形重力波參數化之探討

吳子榆¹ 劉邦彥¹ 陳建河² 李明營¹ 莊漢明³ 林沛練³

¹中央氣象署海象氣候組

²國立臺灣大學海洋中心 ³國立中央大學

摘要

為提升平流層模擬與次季節預報能力，各大作業中心近年紛紛提高耦合模式的垂直解析度(如ECMWF IFS 137層、NCEP UFS 127層)。中央氣象署亦著手將CWAGEPS海氣耦合模式提升至128層，期望透過關鍵天氣現象的模擬，如平流層爆發性增溫事件(SSW)，瞭解模式對平流層動力過程及次季節預報的模擬能力，以評估高解析海氣耦合模式的效益。

將模式提升大氣垂直解析度至128層後，我們發現CWAGEPS在高層風場出現不穩定現象，因此首先針對數值方法穩定性改進測試。具體調整包含將高層散度場與中點風場的水平擴散階數，由原本的四階降為二階，並調整高層風速濾波條件。結果顯示此調整，可有效抑制風場雜訊，並提升模式模擬穩定性。

其次，在物理參數化部分，進行地形重力波拖曳之敏感度實驗，透過調整山脈阻擋係數(cmbk)，評估其在SSW事件模擬能力的影響。以2024年1月與3月兩次SSW事件為例，結果顯示當cmbk由0.6調整至1.2時，在中高層風場與溫度場之均方根誤差顯著下降，與ERA5再分析資料之相關性亦明顯提升，模擬表現優於原始設定與cmbk為1.8之組別。

整體而言，結果證實透過數值方法與物理參數的優化，可有效提升高解析度耦合模式的穩定性與模擬準確度，為次季節尺度關鍵天氣現象如SSW之預報能力提升奠定基礎。未來將進一步測試其他重力波參數(如cgwd)及對流重力波參數化方法優化測試，以提升模式整體預報能力。

關鍵字：水平擴散、地形重力波、SSW、128 層

臺灣近期高溫事件初探

An Investigation into Recent High Temperature Events in Taiwan

李亭萱¹ (Lee T.-H.) 羅資婷¹ (Lo T.-T.) 駱世豪² (Lo S.-H.) 童裕翔³ (Tung Y.-S.)

¹中央氣象署氣候預報科 ²中央研究院環境變遷中心 ³國家災害防治中心

¹Climate Forecast Section, Central Weather Administration

²Research Center for Environment Changes, Academia Sinica

³National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘要

本研究基於測站資料與高溫事件偵測方法 (Lo et al., 2021)，並應用於TaiSA高解析度資料，探討1991至2023年間臺灣各地區高溫事件的發生情況及其時間變化趨勢。研究發現，臺灣四分區(北、中、南、東)的高溫事件在不同程度上呈現逐年增加的趨勢，且事件發生的時間範圍逐漸擴大，具體表現為事件發生的時間提前，結束時間延後。南部地區的高溫事件則呈現震盪式分布，可能與大氣環境場配置或其他氣候變數的變化有關。另外，進一步利用TaiSA高解析度網格數據進行的事件偵測顯示，北部及中部的高溫事件集中於6至8月，南部的高溫事件則跨越較長的時間範圍，東部則以盛夏季節的高溫事件為主。

依據過去研究指出，極端高溫事件通常與西南風環境、颱風或外圍環流影響、以及太平洋副熱帶高壓的強勢控制等大尺度氣候場有關。透過高溫事件的分類與分析發現，臺灣不同區域的高溫事件類型有著相異的表現，中部的高溫事件主要與高壓及鋒面有關；南部則顯示較容易受到鋒面影響，西南風影響所造成的極端高溫事件；北部及東部的高溫事件較常發生於盛夏，部分事件顯示可能與熱帶系統(如颱風或熱低壓)有關，但仍需更細緻的資料作區域內環境場的分析。透過針對高溫事件的探討，希望更理解臺灣不同地區高溫事件的發生模式，並對未來極端氣候事件的預測與應對提供參考。

關鍵字：高溫事件

Abstract

This study, based on station data and the heatwave event detection method (Lo et al., 2021), is applied to high-resolution TaiSA grid data to investigate the occurrence and temporal trends of heatwave events in Taiwan from 1991 to 2023. The study found that heatwave events in the four regions of Taiwan (North, Central, South, East) show a gradual increasing trend, with the event durations also expanding, characterized by an earlier onset and later end. In the southern region, heatwave events exhibit a fluctuating distribution, which may be related to changes in atmospheric conditions or other climatic factors. Additionally, event detection using the high-resolution TaiSA grid data revealed that heatwave events in the northern and central regions primarily occur from June to August, while those in the southern region span a broader timeframe, with the eastern region experiencing heatwaves primarily during the peak summer months.

Past studies indicate that extreme heat events are typically associated with large-scale atmospheric patterns such as southwest monsoonal flow, typhoons or peripheral circulation, and the dominant influence of the Pacific subtropical high. Through classification and analysis of the heatwave events, this study found that the heatwave types across Taiwan differ significantly. In the central region, heatwaves are mainly linked to high-pressure systems and fronts; in the southern region, heatwave events are more likely to be influenced by fronts and southwest winds, which lead to more extreme temperatures. In the northern and eastern regions, heatwave events

are more common during mid-summer, with some events potentially associated with tropical systems (such as typhoons or tropical depressions). However, the precise environmental conditions within these regions require further detailed data analysis for clarification. By investigating heatwave events, this study aims to deepen the understanding of the occurrence patterns of heatwaves across Taiwan and provide insights for future predictions and responses to extreme climate events.

Key words : Heatwave, High temperature events

發展臺灣高解析格點雨量機率預報指引

林昀靜¹³、羅資婷¹、李清滕¹³、陳苡甄²、馮智勇²

¹ 中央氣象署海象氣候組

² 多采科技有限公司

³ 資拓宏宇國際股份有限公司氣象科技事業處

摘要

本研究以貝氏模型平均法(Bayesian Model Average, BMA)為基礎發展適用於臺灣地區的客觀綜合後處理(Objective Comprehensive Post-Process, OCP)方法，包含偏差校正、統計降尺度、整合預報，建置綜合多模式、多系集預報資訊之雨量季節預報模型，提供月季雨量機率預報指引。另外，由於跨領域單位對預報空間解析度的需求增加，在統計後處理的架構上發展高解析度格點機率預報產品，未來可根據此預報產品加值或客製化成極端降水或乾旱指標的預報，以做為農業、林業、水資源領域的決策輔助參考。

關鍵字：客觀綜合後處理、高解析格點預報、月季預報

中央氣象署第三代全球展期天氣系集預報系統

之決定性預報的評估

曾喜絃¹ 邵允銓² 謝銘恩² 李崇瑋¹ 劉邦彥¹ 郭珮萱¹ 黃崇惟¹ 吳佳瑩¹ 李尚恩¹ 曾于恒² 陳建河²
李明營¹

¹中央氣象署海象氣候組

²國立臺灣大學

摘 要

中央氣象署第三代全球展期天氣系集預報系統（Central Weather Administration Global Ensemble Prediction System version 3, CWAGEPS V3）採用臺灣大學海洋中心自主研發的台灣多尺度海洋社區模式（Taiwan Multi-scale Community Ocean Model, TIMCOM）進行全球與區域的耦合。CWAGEPS V3 包含四個不同的模式，使用美國能源部阿爾貢國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL)支持發展的開源模式耦合函式庫(Model Coupling Toolkit, MCT)進行系統耦合，實現了全球（23 公里解析度）和區域（5 公里解析度）海氣耦合的平行運算(區域耦合模式由全球耦合模式所驅動)。

在模式決定性的預報評估顯示，CWAGEPS V3 中的全球大氣預報在今年春夏兩季之 200 hPa 高度以下的重力位高度、溫度和風向等指標上的表現皆優於中央氣象署的大氣預報系統(CWA Taiwan Global Forecast System, CWATGFS)且與美國國家環境預報中心全球系集預報系統(National Centers for Environmental Prediction Global Ensemble Forecast System , NCEP GEFS)的決定性預報結果不相上下，甚至在北半球中各個層場的預報表現皆優於 NCEP GEFS。而在海洋模式預報中的海表面溫度與中央氣象署的第二代氣候預報系統(CWA Climate Forecast System version 2, CWACFSv2)中所使用的模組化海洋模式(Modular Ocean Model, MOM5)相比，在多個區域的海表面溫度預報相比，表現都有改善。且未來為了應對資源的緊縮並提升系統的運算效率，此系統之全球範圍的部分已著手進行 GPU 加速化，初步成果顯示具有持續發展之潛力。這些改善與評估結果顯示，CWAGEPS V3 在海氣耦合模式的模擬上，未來將具備更高的運算效率及優秀的預報表現。

關鍵字：全球展期天氣預報系統、海氣耦合、決定性預報

CWAGEPS事後預報初始場更換效益

黃崇惟 劉邦彥 李明營 陳建河

中央氣象署海象氣候組

摘 要

以較先進的ERA5初始場取代CDAS應用於CWAGEPSv3的事後預報效益。根據score card顯示，使用ERA5資料轉成初始場做預報，結果8天內預報ACC大致上都比使用CDAS的作業版本好，而RMSE於高層較差，顯示ERA5初始場的品質是可用的，因此將事後預報初始場切換成ERA5可能有幫助預報表現。而一至四週平均，使用不同初始場產製的事後預報當作氣候值去做相減，前兩週從水平圖顯示差異不大，但距平大小略有高有低，第三及第四週雖然已經與分析場距平差異相當大，但是週平均不論減去ERA5或CDAS的事後預報，兩者間的距平差異不大。

關鍵字：展期系集,事後預報

2024 臺灣分區降雨校驗

Zone Rainfall Calibration in 2024

江祖恩¹ (Chiang T.-E.) 謝旻儒² (Hsieh M.-R.) 李易錫³ (Lee Y.-H.) 周仲島⁴ (Jou J.-D.)

林得恩^{1*} (Lin D.-E.)

¹ 國立臺灣大學

¹ National Taiwan University

摘要

目前天氣預報對於臺灣地區局部降雨的預測仍有改良空間。由於臺灣地形複雜，在模式預報網格解析度的極限內無法完整模擬所有地形細節，導致模式對局部強降雨的掌握有限。因此局部降雨依然有賴於人工經驗判斷，針對模式預報無法預估的降雨進行事先預警。

本團隊由於業務需求自 2024 年起，針對臺灣地區進行每日分區降雨預報。並針對 5 月至 11 月的汛期降雨預報做分區系統性校驗，採用偏倚得分、準確率、誤報率、預兆得分等定量指標進行分析，並輔以 T 檢定、Wilcoxon 符號排序檢定與機率密度函數等統計分析，進行多面向評估預報穩定性與分布差異評估。結果顯示：在豪雨等級以下的降雨預報偏差較多，颱風影響期間的極值預報大致能有效預估。T 檢定、Wilcoxon 符號排序檢定的結果顯示：團隊在颱風期間的預報與實際雨量呈現顯著吻合，但極端降雨個案雨量預報誤差達數百毫米。顯示現行模式對地形與局部降雨系統掌握仍有限，部分天氣環境下主觀預報也具進步空間：特別是對午後對流與遠距降水等複雜機制的掌握。未來仍須強化多元資料佐證與滾動修正機制，以提升局部災害性天氣發生時的即時反應與掌握力。

關鍵字：降雨預報、降雨分區預報校驗、T 檢定、列聯表、統計檢定

Abstract

Weather forecasting for localized rainfall in Taiwan remains an area with room for improvement. Due to Taiwan's complex terrain, the limited grid resolution of numerical weather prediction models constrains their ability to fully simulate fine-scale topographic features, resulting in underestimation of localized heavy rainfall. As a result, human forecaster experience continues to play a critical role in identifying rainfall events not captured by models and issuing timely early warnings.

Since 2024, our team has been producing daily regional rainfall forecasts across Taiwan to meet operational needs. We conducted a systematic verification of these forecasts during the May to November wet season, using quantitative indicators such as Bias Score, Probability of Detection (POD), False Alarm Rate (FAR), and Threat Score (TS). In addition, we employed Student's t-test, Wilcoxon signed-rank test, and probability density function (PDF) analyses to evaluate forecast stability and distributional differences from multiple perspectives. The results show that forecasts for rainfall events below the heavy rain threshold tend to exhibit larger deviations. However, forecasts during typhoon periods generally demonstrated effective performance in estimating extreme rainfall. Both the t-test and Wilcoxon test indicated a statistically significant match between forecasted and observed rainfall during typhoon impacts, although some extreme rainfall events showed deviations exceeding several hundred millimeters. This reflects limitations in current models' capability to capture terrain-driven and localized convective systems, and highlights room for improvement in subjective forecasting—especially for complex phenomena such as afternoon convection and remote precipitation systems.

Moving forward, enhancing the integration of multi-source observational data and implementing real-time rolling correction mechanisms will be essential for improving responsiveness and situational awareness during localized hazardous weather events.

Keywords: rainfall forecast, regional forecast verification, t-test, contingency table, statistical validation

以颱風事件探討不同預報降雨產品在流域尺度上的表現評估

李文生¹ 許淑婷²

¹多采科技有限公司 董事長 ²多采工程有限公司 工程師

摘 要

中央氣象署(以下稱氣象署)長期供應多種氣象資料予水利單位，水利署為提升防汛作業效率，將多種格式與解析度不一的預報降雨資料，統一處理為相同時間與空間解析度，以統一格式提供下游水利單位使用。其中，數值天氣預報模式(Weather Research and Forecasting, WRF)之系集成員WRFM04、氣象署官方定量降水預報(Central Weather Administration Quantitative Precipitation Forecast, CWAQPF)、水利署客觀調整降雨(Objective modified QPF by Water Resources Agency, mWRA)為較常應用之產品，mWRA係水利署因應防汛需求自行開發，參考各預報產品過去預報資料與事後觀測的比較，找尋差異關係進行預報資料調整。

考量河川洪水預報多以流域集水區平均雨量為模式輸入來源，為掌握不同預報降雨於不同區域之表現，本研究以25條中央管河川流域為分析對象，針對WRFM04、CWAQPF與mWRA等3種預報資料之6小時累積雨量預報表現，分別採效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)作為評估指標，分析113年凱米颱風、山陀兒颱風、康芮颱風及天兔颱風為等4場事件之預報成效。

研究結果顯示，以CE評估比較，凱米颱風及康芮颱風各產品於北部、南部流域之CE大多超過0.5，顯示預報降雨與觀測趨勢吻合良好，山陀兒颱風及天兔颱風各產品於南部流域之CE部分大於0，於北部、東部流域之CE則多數小於0；以RMSE評估比較，凱米颱風北部及南部流域以WRFM04之RMSE較小，東部流域以mWRA之RMSE較小，山陀兒颱風及康芮颱風不同區域之RMSE有相似之表現，天兔颱風整體以mWRA之RMSE較小。綜合各項分析結果，凱米颱風及康芮颱風各項預報產品皆能良好掌握觀測降雨趨勢，山陀兒颱風因颱風預報路徑不斷變化，較難掌握，故預報降雨成效不佳，天兔颱風為局部零星降雨，相較其他3場事件效率係數較多負值，均方根誤差較小。

本研究成果可作為預報產品選用參考，未來建議持續納入不同事件，進行區域適用性評估，以強化預報資料於實務應用之可靠性。

關鍵字：預報降雨、WRFM04、CWAQPF、mWRA

林園防災降雨雷達估計降雨比較分析

林敬恩¹ 吳秉澤² 李文生³

¹多采工程顧問有限公司 工程師 ²國立臺灣大學土木工程學系研究所 博士候選人

³多采工程顧問有限公司 執行長

摘 要

水利署與氣象署合作建置林園防災降雨雷達，以2分鐘、250公尺的高時空解析度觀測南部地區之降雨情形，提供臺灣南部地區防汛應用需求。惟雷達觀測受地形遮蔽、地面建物、波束偏折、雨致衰減等影響，其降雨估計結果與地面雨量站之觀測數值仍存在差異。

為充分瞭解並應用林園雷達之降雨估計，本研究使用113年2場颱風事件和114年1場熱帶性低氣壓事件資料，以經濟部水利署南區水資源分署轄管水庫堰壩集水區範圍的地面雨量站觀測降雨為基準，計算雷達估計降雨與其之間的效率係數(CE)、相關係數(CC)，以及均方根誤差(RMSE)、平均絕對誤差(MAE)、尖峰降雨及累積降雨等指標，並繪製指標數值分布圖，以瞭解林園雷達估計降雨於水庫集水區的表現狀況。

依據結果，可發現不同測站於各次降雨事件之估計表現呈現一致性，部分測站無論在趨勢吻合度(CE、CC)或誤差控制(RMSE、MAE)皆有良好的成果，表示雷達於該區域之雨量估計較可信；相對地，亦有部分測站於多事件中反覆呈現估計品質偏弱之情形，應持續觀測與評估雷達於該區域之可用性與誤差來源。

關鍵字：林園防災降雨雷達、定量降水估計、觀測降雨、相關係數、效率係數

對流胞辨識與追蹤系統（SCIT）之精進、特性分析與應用探討

Enhancements, Characterizations, and Preliminary Applications on Storm Cell Identification and Tracking (SCIT) System

余世暘¹ (Yu S.-Y.)

¹中央氣象署科技發展組

¹Technology Development Division, Central Weather Administration

摘 要

對流胞辨識與追蹤系統（Storm Cell Identification and Tracking, SCIT；Johnson et al. 1998）為美國國家劇烈風暴實驗室（National Severe Storm Laboratory, NSSL）所開發之對流胞預警監測系統，亦為本署新一代劇烈天氣監測系統（QPESUMS）及對流監測平台（System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN）的核心模組之一。

SCIT系統利用多個回波門檻值分析單雷達回波的三維結構，以辨識對流胞區域並擷取其物理特徵，再透過時空相關性配對各時次的對流胞，完成追蹤程序。然而，SCIT系統在對流胞空間資訊上僅輸出質心點位置，未保留辨識過程中框選的所有格點資料，導致後端使用者需依據一維質心位置與體積資訊自行推估對流胞範圍，不利於作業應用與研究分析，亦難以評估系統參數的在地化調整成效。

本研究重建SCIT系統在對流胞辨識所涉及的三維格點結構，不僅有利於視覺化呈現，亦可據其優化對流胞辨識程序。透過解析系統參數與對流胞三維空間分布的關係，更可深入理解系統特性，有助於在地化調整系統參數，使自動化辨識結果更趨近於人工識別。

本研究首先以理想化個案探討SCIT系統特性，再透過實際午後對流個案比較精進前後的對流胞辨識與追蹤成果。重建後的三維格點資料不僅可支援三維視覺化展示，提升其於防災作業之應用潛力，亦已初步應用於對流胞雷達參數的時空特性分析，展現其於學術研究領域的應用價值，將有助於下游使用者依任務需求進行多元應用。

關鍵字：對流胞辨識與追蹤系統、QPESUMS、對流胞三維格點重建

多源即時警示於劇烈對流防災應用

Multi-Source Real-Time Alerts for Severe Convection Disaster Mitigation

鍾吉俊¹ 李易錫¹ 高泊天² 謝旻儒¹ 周仲島^{1,2}

¹國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 ²國立臺灣大學大氣科學系

¹Center for Weather Climate and Disaster Research, National Taiwan University

²Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

摘要

因應近年氣候變遷下短延時強降雨與劇烈對流的威脅，臺大天氣團隊整合中央氣象署大雷雨即時訊息、QPEplus雷達定量降雨預報(QPN)等多源資料，自2024年起開發並運行鐵路沿線客製化天氣警示方案。2024年於鐵路沿線發布警示後，針對沿線時雨量大於40毫米的SR為0.42，實際發生災害（如淹水、樹倒、土石流等）的比例約為3%。雖然可用於校驗的地面觀測資料偏少，對於強風事件的POD可達0.90，但FAR亦達0.85。

今(2025)年本方案已擴展應用於地勢陡峻、降雨反應敏感之新生崩塌區，提供監測與通報。針對今年5月起高風險區參考測站達警戒值的事件中，POD為0.34。針對多數事件出現「發布延遲」或「空間落點偏差」等情形，推測原因可能包括：預警閾值低於大雷雨即時訊息發布標準。另以5月20日東部雷雨事件為例，發現QPN資料對複雜地形有偏移及漏報現象，顯示需對區域性演算法進行修正。

綜合驗證顯示，多源資料整合系統對劇烈對流防災有潛力，但仍需持續改進降雨估算與警示可信度，未來將透過多案例校驗、守視人員回饋及演算法修正，提升對短延時強降雨與其他劇烈天氣的應對能力。

關鍵字：大雷雨即時訊息、QPEplus、劇烈對流、即時警示、雷達定量降雨預報

Abstract

In response to the increasing threats of short-duration heavy rainfall and severe convection under climate change, the TAIDA Weather Group has integrated multi-source data, including the Central Weather Administration's Instant Torrential Rain Alerts and QPEplus radar quantitative precipitation nowcasts (QPN), to develop and operate a customized weather alert system along railway lines since 2024. After alerts were issued along railway lines in 2024, the success ratio (SR) for hourly rainfall exceeding 40 mm was 0.42, while the actual proportion of disasters occurring (such as flooding, trees falling, and landslides) was about 3%. Although ground observation data available for validation were limited, the probability of detection (POD) for strong wind events reached 0.90, but the false alarm ratio (FAR) was also as high as 0.85.

In this year (2025), this system has been further extended to newly formed landslide zones characterized by steep terrain and sensitive rainfall response, providing monitoring and notification services. Among events since May this year, where reference stations in high-risk areas exceeded alert thresholds, the POD was 0.34. For many cases with "alert delays" or "spatial displacement," the potential causes are presumed to include the lower alert thresholds compared to the issuance criteria for Instant Torrential Rain Alerts. A case study of the eastern Taiwan thunderstorm on 20 May revealed positional bias and underestimation in QPN data over complex terrain, highlighting the need to adjust regional algorithms.

Comprehensive validation shows that the multi-source data integration system has considerable potential for disaster mitigation related to severe convection. However, continuous improvements in rainfall estimation and alert credibility remain necessary. Future efforts will focus on multi-case validation, user feedback integration, and algorithm refinements to enhance the capability to respond to short-duration heavy rainfall and other severe weather events.

Keywords: Instant Torrential Rain Alerts, QPEplus, severe convection, real-time alerts, radar quantitative precipitation nowcasting

丹娜絲颱風臺北市應變實錄

Taipei City Response to Typhoon Danas (2025 July Case Study)

修榮光¹ (Hsiu Radiant R.-G.) 吳宗霖¹ (Wu Z.-L.) 楊凱翔¹ (Yang K.-X.) 呂大光¹ (Lu D.-G.)
蔣孟良² (Jiang M.-L.) 洪文彬² (Hong W.-B.) 周仲島¹ (Jou Ben J.-D.)

¹國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 ²臺北市政府消防局整備應變科

¹ Center for Weather and Climate Disaster Research, National Taiwan University

² Preparedness and Response Division, Fire Department, Taipei City Government

摘 要

丹娜絲颱風於 2025 年 7 月 5 日在東沙島附近海域生成。初期發展受北方約 700 公里之高層冷心低壓抑制，強度增強緩慢；待冷心低壓遠離後，颱風迅速發展，並在季風槽邊緣西南風導引下，以少見路徑向東北加速移向臺灣南部沿海。登陸後，主中心受地形干擾快速減弱，副中心於新竹附近重組。7 日清晨至上午臺北市風雨不明顯，惟下午外圍環流重新組織並掃過陽明山區，局部時雨量達 45 mm，全市僅零星災損。

臺大氣象團隊於7月3日起注意熱帶擾動發展開始提醒有發展可能性，並提出於7月4日11時進行對市府防災人員進行天氣分析討論會，提醒丹娜絲颱風若生成之可能性、應變日程及對臺北市影響，並提醒周末可能需要進行應變，由災害防救辦公室提醒市府各局處需注意事項。當日形成熱帶性低氣壓後隨即發送氣象署侵襲機率與預測位置圖卡。

5日8時30分海上警報後，市府決定於6日8時整進行整備會議，團隊協助進行應變日程推估與可能的風雨情況、歷史颱風災害的比對，提供市府防災單位對此次颱風的了解。5日下午團隊依據氣象署颱風陸上警報的颱風移動速度位置，與災害防救辦公室討論，擬定於臺北市被劃入陸上警戒區後再提升為二級開設，並討論是否需要進行一級開設的必要性。

臺北市於6日11時被劃入陸上警戒區，臺北市災害應變中心隨即於14時提升為二級開設、19時升為一級，提升開設層級時隨即進行工作會議更新最新颱風資訊與整備情況。

6日16時與氣象署進行縣市視訊會議，會議中市府已獲得氣象署7日上午的風雨預報資訊，團隊協助市府防災人員的諮詢，解釋颱風可能在7日北上後的減弱的情形。另於6日19時進行停班課決策會議，視最新氣象署風雨預報19時更新報，進行跨縣市討論，由於預報風力資料未達停班課標準，北北基桃共同研判，決議7日照常上班上課，僅桃園沿海預報風力達停班課區域停班課。

7日9時第三次工作會議中提到颱風較預期減弱更快，暴風圈持續縮小，預計中午前可望解除陸上颱風警報，會議後雖維持一級開設，但因災情案件不多，進行進駐人員單位調整，只留下最必要單位進駐。隨即於11時30分解除陸上颱風警報時，開設層級降為三級常態開設。

事後檢視，雖丹娜絲颱風生成至增強時間迅速，且遇到周末，但7月3日起開始提醒，有超前警示奏效，讓各局處有充裕時間整備。市府依氣象署資料，以及與氣象團隊討論後，依據科學預報採分級開設及跨縣市協同決策，成功避免過度動員，又確保基本戒備；亦因前置整備充分，使實際災情極為有限，顯示科學化防災與即時溝通之效益。

關鍵字：丹娜絲颱風、災害應變、分級開設、科學決策、臺北市

Abstract

Typhoon Danas formed near Dongsha Island on 5 Jul 2025. Early growth was inhibited by an upper-level cold-core low ~700 km to the north; once it retreated, the system intensified rapidly and steered by monsoon southwesterlies, took an unusual northeastward track toward southern Taiwan. Terrain disruption after landfall weakened the primary core while a secondary center reorganized near Hsinchu. Taipei experienced little through the morning of 7 Jul, but afternoon outer rainbands produced localized hourly rainfall ~45 mm over Yangmingshan; citywide impacts were minor.

The NTU team flagged development on 3 Jul and briefed Taipei City responders 4 Jul; customized guidance followed the 5 Jul Sea Warning. When Taipei entered the Land Warning 6 Jul, the EOC escalated to Level-2 (14 LST) and Level-1 (19 LST); CWA consultation and intercity coordination informed a decision to keep work/school normal 7 Jul (coastal Taoyuan excepted). Rapid weakening on 7 Jul allowed staffing drawdown; the Land Warning lifted 11:30 LST and activation reverted to routine.

This case underscores how early alerting, tiered activation, and science-based, cross-jurisdictional coordination can reduce urban typhoon risk.

Key words : Typhoon Danas; disaster response; Tiered Activation; Science-Based Decision Making; Taipei City

以微基因演算法推估系集陣風於機場測站之校驗評估 Evaluation of the calibrated wind gust estimation at airport stations using micro-genetic algorithm

蔡金成^{1,2} (C.-C. Tsai) 楊尊華³ (T.-H. Yang) 游承融¹ (C.-R. You) 陳新淦¹ (S.-G. Chen)
臺北航空氣象中心⁴ (Taipei Aeronautical Meteorological Center)

¹中央氣象署科技發展組 ²國立臺灣大學 ³國立陽明交通大學 ⁴交通部民用航空局飛航服務總臺

¹Technology Development Division, Central Weather Administration

²National Taiwan University

³National Yang Ming Chiao Tung University

⁴Air Navigation and Weather Services under the Civil Aeronautics Administration of the MOTC

摘 要

為提供強風預警、減少強風災害及增進飛航安全，本研究使用中央氣象署區域系集預報系統(WRF Ensemble Prediction System, WEPS)之地面風速預報及民航局測站之觀測陣風，結合微基因演算法(Micro-genetic Algorithm, MGA)提供民航局所屬測站之陣風預報產品並進行校驗評估。根據Yang and Tsai (2019)之研究，以數值模式之10米風速與測站點之10分鐘最大陣風，透過微基因演算法滾動式更新模式10米風速與測站陣風之相關，並將此相關套用至模式10米風速之有效預報時間獲得陣風預報產品。將以中央氣象署發布之一場強風特報（陣風達8級以上）及丹納絲颱風（2025）個案進行校驗評估。

關鍵字：系集預報、陣風

Abstract

In order to provide strong gust warnings, mitigate strong wind disasters and improve flight safety, this study uses the surface wind speed forecast of the WRF Ensemble Prediction System (WEPS) of the Central Weather Administration (CWA) and the observed gusts at the Civil Aviation Administration's stations, combined with the Micro-genetic Algorithm (MGA) to provide gust forecast products. According to the research of Yang and Tsai (2019), the correlation between the 10-meter wind speed of the numerical model and the 10-minute maximum gust of the station is successively updated by the MGA in a rolling manner, and this correlation is applied to the valid surface wind speed forecast data to obtain the gust forecast product. The verification and assessment will be conducted based on a strong wind special report (Beaufort scale reaching level 8 or above) issued by the CWA and the case of Typhoon Danas (2025).

Keywords : Ensemble prediction, gust

利用近岸風場觀測資料提升洋面風場預報能力

Enhancing Offshore Wind Field Forecasts Using Coastal Wind Observations

張沁全¹ (Chang, C.-C.) 廖宇慶¹ (Liou, Y.-C.) 鍾高陞¹ (Chung, K.-S.) 柯昱明² (Ko, Y.-M.)
張偉裕¹ (Chang, W.-Y.) 楊伯謙¹ (Yang, P.-C.) 鄧詠霖¹ (Teng, Y.-L.) 柯鍵盈¹ (Ke, C.-Y.)
彭晰勛¹ (Peng, C.-H.) 何致良¹ (Ho, C.-L.)

¹國立中央大學 ²工業技術研究院
¹National Central University
²Industrial Technology Research Institute

摘 要

近年來，隨著綠能科技發展與全球減碳目標提升，臺灣再生能源發展受到高度重視，其中離岸風能發電之建立，大幅提升臺灣再生能源的裝置容量。然而，離岸風場之興建、維護，以及風能使用效率，皆會受到洋面風浪之影響，洋面風力預報尤為重要。考量到洋面風場觀測資料稀少，本研究嘗試進行近海雷達資料同化實驗，以提升模式近海風場預報表現，並採用近岸風場觀測資料，驗證模式於近海風場表現。第一階段研究成果顯示，同化近岸雷達風場資料有助於改善分析場近地表與近海洋面風場，且改善效益可在預報前期維持。然而，雷達資料覆蓋率，以及觀測點位置會限制預報改善量。第二階段背景場模式表現顯示，使用YSU邊界層參數化方案進行風場會有較強的風速發生，而使用ACM2邊界層參數化模擬會有較弱的風速發生，整體風場表現以MYNN2參數化方案表現最佳。考量到近岸雷達資料覆蓋區域較低，後期預計建立同化雷達網聯觀測資料之系統，並評估同化大範圍雷達觀測資料對於臺灣海峽風場預報之效益。

關鍵字：離岸風電、海氣象、風場預報、雷達資料同化

結合季節時序與天氣類型的客觀診斷應用於臺灣旱災預警

Integrating Objective Seasonal Progression and Weather Type Diagnosis for Drought Early Warning in Taiwan

吳宜昭 (Wu Y.-c.) 林冠伶 (Lin K.-L.) 江宙君 (Chiang C.-C.) 徐理寰 (Hsu L.-H.)
朱容練 (Chu J.-L.) 于宜強 (Yu Y.-C.)

國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘 要

乾旱的發生往往與次季節至季節尺度的降雨及大氣環流異常密切相關。發展次季節氣候監測的技術，對於提升旱災預警能力有其重要性。

本研究參考東亞季風區季節研究的相關文獻，建構一年六個次季節的架構，即為「季節曆」。本研究並運用 44 年高解析 CFSR 再分析資料，搭配深度學習演算法，發展出一套可客觀診斷季節時序進展的技術。此方法透過特徵擷取與相似度比對，判定當前大氣環流狀態所對應的季節階段，進而判定季節進展快慢。以過去 44 年臺灣梅雨季（南海季風）肇始日期為例，比對本技術與文獻定義，結果顯示差距位於合理範圍內，驗證此技術的合理性與適用性。

此外，本研究亦於季節曆架構下，結合東亞多變數環流場與台灣降雨型態，在機器學習演算法輔助之下發展天氣類型分類與辨識技術。此技術搭配季節時序診斷技術，有助我們綜合次季節與綜觀尺度環流特徵來診斷降雨的異常。本研究並以梅雨季為例，示範上述技術於提供旱災預警情資的應用。

目前季節診斷功能已完成自動化，天氣類型辨識自動化亦正進行中，這些產品都已經對外展示於旱災預警平台，提供即時監測服務。

關鍵字：季節時序、機器學習、天氣類型、旱災預警

Abstract

Droughts are often associated with precipitation and atmospheric circulation anomalies at the subseasonal-to-seasonal (S2S) timescale. Developing S2S climate monitoring techniques is therefore essential for enhancing drought early warning capabilities.

In this study, we established a "seasonal calendar" framework consisting of six sub-seasons annually, based on literature related to the East Asian monsoon studies. Using 44 years of high-resolution CFSR reanalysis data, we developed an objective method for diagnosing sub-seasonal progression through a deep learning approach. This method combines feature extraction and similarity comparison to determine which seasonal phase the current atmospheric circulation state best corresponds to and to assess whether the season is progressing earlier, later, or on time. A comparison between our diagnosed onset dates of the Taiwan Meiyu season (i.e., South China Sea monsoon) over the past 44 years and those defined in the literature shows good agreement, demonstrating the method's applicability.

Furthermore, under the seasonal calendar framework, we developed a machine learning-based weather type identification technique that incorporates not only multivariable East Asian circulation fields but also Taiwan's precipitation patterns. Integrating this technique with the seasonal progression diagnostics enables the interpretation of precipitation anomalies from both subseasonal and synoptic-scale perspectives. Using the Meiyu season as an example, we demonstrate the application of these techniques in supporting drought early warning information.

The seasonal progression monitoring procedure has been operationalized, and the weather type identification system is currently being integrated. Both products have been incorporated into the drought early warning platform to provide real-time monitoring services.

Key words: seasonal progression, machine learning, weather type, drought early warning

為七股氣象雷達站科普防災策展

陳家琦¹ 陳珮雯¹ 曾以真¹ 謝章生¹

¹中央氣象署臺灣南區氣象中心

摘 要

為推廣雷達科普及氣象防災知識，於新七股氣象雷達站1樓及3樓空間建置常設展，展現該站是臺灣首部採用脈衝壓縮技術之雙偏極化都卜勒氣象雷達，僅需要傳統雷達數十分之一的峰值功率，即能達到原有的雷達偵測靈敏度，期望能降低當地居民對於雷達電磁波的疑慮，並提供防災救災單位、學術單位、學校師生與教學團體等預約參訪學習以及辦理環境教育等活動，以達多元氣象防災與科普推廣目標。

展區包含「氣象防災前哨站」、「氣象雷達觀測網」、「歷史沿革與生態意象」、「雷達電磁波的迷思」及「氣象雷達新視界」等5個分區，動線內容涵蓋都卜勒氣象雷達在監測降雨的防災功能，透過氣象雷達觀測網說明各雷達站的分布位置與特性，凸顯七股站守視範圍，是臺灣西南部地區最重要的災防觀測設施。接著呈現七股氣象雷達站建立的歷史背景、發展過程，以及該地區的生態特色，展現氣象雷達站與當地濕地生態環境與黑面琵鷺的互融關係。後續透過科學數據介紹電磁波的分類、對人類健康的影響，強調七股雷達低功率特性，並呈現定期檢測報告皆低於標準值，以澄清雷達電磁波的常見迷思。最後透過互動螢幕展示雷達運作與觀測原理、劇烈天氣事件產品。期望透過本展示，讓參觀者可以了解氣象雷達網、雷達電磁波、觀測原理與防災應用等，以及七股氣象雷達站的特色與監測臺灣西部災害性劇烈天氣的重要性。

關鍵字：氣象雷達、七股、展覽

「樂學氣象」—臺灣南區氣象中心1樓展示場建置

陳珮雯¹ 鍾志廷¹ 郭渝靖¹ 曾以真¹ 黃文亭¹ 謝章生¹

¹中央氣象署臺灣南區氣象中心

摘 要

臺灣南區氣象中心(下簡稱南區中心)展示場設立迄今已逾20年，長期以來為南部地區中小學重要的戶外教學據點，也是全國唯一完全以「氣象科學」為主題的科學展示場域，肩負南部地區氣象科普教育的重要功能。然而，原展示內容偏向靜態展示，如教科書內容堆疊，部份資料亦已過時，無法有效激發參觀者學習興趣與主動探索精神。

當前科學教育趨勢強調情境導入、跨域整合及主動參與式學習，許多國內外科教館也積極導入沉浸式體驗、多媒體互動與操作型教具，強化學習者的參與感與理解度。相較之下，南區中心展示場的展示內容與手法已顯得過時，無法充分傳達氣象科學與生活息息相關的重要性，難以吸引觀眾成為口袋名單及提高回流率。因此，本案即基於改善現況、提升場域效能與擴大氣象科普推廣為出發，提出更新之構想。

本案創意構想以「樂學氣象」為主題主軸，展場設計之破題則引入氣象學中的「蓋婭假說」概念，從地球的地圈、水圈、大氣圈、冰圈與生物圈等5大圈相互作用出發，強調環境與生命共生、共存、共榮的重要性，呼應當代永續發展的教育核心精神。展示內容承接原場域「氣象觀測」的核心，結合沉浸式投影秀、真實觀測儀器、多媒體互動展板、遊戲及模型等元素，形塑為一座「氣象大觀園」，向大眾介紹全球觀測系統(Global Observing System, GOS)及氣象學家的工作原理，讓參觀者如同步入一座科技與知識交織的探索場域。

此外，本案另規劃「氣象生活誌」展區，結合臺灣地理與文化，從古代神話、農諺智慧、到現代音樂與產業應用，深入說明氣象如何影響人們生活各個面向，並透過AR互動、雷達感應、AI互動創作等科技手法，增強觀展互動性與趣味性。為落實文化平權，全場規劃中英雙語內容，並含考慮文化平權及身障參觀者權益。所有展示文本、互動腳本皆由提案團隊自行規劃與撰寫，並積極呼應「108課綱」素養導向學習理念、氣候變遷教育與全民防災教育等政策方向，期望透過展示創新，讓氣象知識真正走入生活、走入人心，提升民眾風險意識與環境素養，發揮科學教育場域的最大效益。

關鍵字：氣象展示、氣象科普、氣象環境教育

為臺灣氣象古籍翻譯與出版：以《遞信志-氣象篇》為例

陳家琦¹ 黃文亭¹ 謝章生¹ 陳穎穎² 張靜宜³ 陳天棚³

¹中央氣象署臺灣南區氣象中心 ²自由工作者 ³國立臺南大學文化與自然資源系

摘 要

《遞信志-氣象篇》紀錄臺灣近代氣象制度的建立與發展。「遞信」指日治時期郵政、電信及交通管理，「志」則為專書或編年史。1926年遞信部出版此書，內容除記錄1895年至1924年日治時期臺灣氣象的制度建立，還包括當時國際社會對臺灣氣象觀測的期待，以及設立測候所的歷程與官制、雨量與地震觀測、氣象電報、天氣預報、暴風警報信號標、暴風雨標、臺灣民曆編纂等技術與制度演變外，更回溯到1885年清朝政府開始進行氣象觀測的時期，是了解早期臺灣氣象事業發展狀況的重要史料。

原件古籍係以日文撰寫，業經翻譯、考證、潤稿及審稿等工作，譯文包含大量的譯註，此為保留原始用語而衍生的副產物，除提供附加解釋外，亦補充不足的資訊與知識，提供讀者更進一步理解內容與回顧歷史。全書採中譯與原書合併刊行，既便於閱讀，又保留文獻原貌，提供讀者理解早期臺灣氣象的發展脈絡，預計本(114)年10月出版及辦理新書發表會，以達推廣應用效益。

關鍵字：氣象學、歷史、文獻、臺灣

2019-2023年岡山地區低能見度肇因 (以空氣品質指標及氣象因子研析)

吳妮恩¹ 徐婉菱²、林筌順²、林琬蓁²
空軍航空技術學院技訓中心戰氣組¹ 空軍氣象聯隊²

摘 要

台灣受西伯利亞冷氣團影響，盛行東北季風，當冷高壓東移時，風場會轉變為偏東風，造成空氣污染物的累積，進一步導致低能見度的加劇。最近的研究顯示，低能見度不僅因水氣凝結形成霧氣，還與空氣污染相關。本研究利用2019至2023年間空軍岡山基地及左營基地的地面觀測數據，並結合高雄地區的AQI監測數據，分析岡山基地的低能見度現象。研究設定六種主要的氣象模式，研究顯示在能見度低於3200公尺時，AQI值超過100的機率高達63%，進一步驗證了空氣污染對能見度的影響，空氣污染指標（AQI）自2016年起納入多項污染物，包含PM2.5、PM10、臭氧及其他毒性物質，為評估人體健康風險的重要指標。尤其在冬季東北季風影響下，高屏地區因地形與風場特性，污染物易累積形成霾害，進一步惡化空氣品質與能見度；低能見度和高污染事件的發生概率與多種氣象條件相關，氣象觀測人員必須掌握這些變化，以保障飛行安全。本研究進行深入的統計分析，並根據氣候變遷和城市化影響調整校驗標準，以提升觀測數據的準確性和可靠性。

中文關鍵字：岡山地區低能見度肇因、空氣品質指標及氣象因子

臺灣乳牛熱緊迫脆弱性之量化評估及其在 氣象防災預警系統之應用

柯美如^{1,2}、陳玗彤¹、陳怡璇¹、蕭振文¹、施意敏³、涂柏安¹

¹農業部畜產試驗所北區分所、²國家災害防救科技中心、³農業部畜產試驗所

摘要

氣候變遷導致極端氣象事件頻率與強度增加，全球乳牛牧場面臨日益嚴重之熱緊迫（Heat stress）風險，影響乳牛健康、產乳性能及牧場經濟效益。臺灣地處亞熱帶，乳牛牧場更頻繁面臨高溫高濕之嚴重熱緊迫問題，本研究旨在利用氣象防災與跨域應用之方法，結合歷史氣象數據分析進行乳牛牧場熱緊迫經濟風險之量化評估與調適策略探討。

研究期間蒐集2014年至2024年共十年間，臺灣北、中、南、東共八座乳牛牧場之場級日平均乳量資料，並同步取得各牧場所在地區之逐日歷史氣象資料，包括日最高溫濕度指數（Temperature-Humidity Index, THI_{max} ）與牛隻每日暴露於超過熱緊迫臨界值（ $THI \geq 70$ ）之時間比例（Exposure proportion, D）。透過結合氣象條件、乳牛乳量損失觀測值與熱緊迫指標，本研究建立臺灣本土化之乳牛熱緊迫風險評估模式，並以最小平方方法（OLS）估算出乳牛熱緊迫之脆弱度係數（vulnerability coefficient, $k = 0.0200$ ）。

本研究進一步應用蒙地卡羅隨機模擬方法，以歷史氣象數據為基礎，模擬未來可能出現之熱浪與高溫事件情境，並結合短期氣象預報資訊，進行乳牛乳量損失風險之模擬與量化分析。模擬結果顯示，臺灣乳牛牧場在熱緊迫條件下平均每日乳量損失約2.07公斤（kg/cow/day），且在95%信賴區間之極端情境下，單日乳量損失可能達到6公斤以上，換算經濟損失約為新臺幣0.55至167.33元／頭／日。研究發現，透過氣象預報系統提供即時之熱緊迫預警與調適建議，可提前調整牧場餵飼管理及牛舍降溫設施，有效降低乳牛熱緊迫期間之經濟損失，並顯著提升乳牛健康與產乳性能之穩定性。

本研究首創本土化的乳牛熱緊迫經濟風險量化框架，以歷史氣象分析與氣象預報為基礎之跨域應用於乳牛牧場熱緊迫風險評估。本研究結果可作為我國乳牛產業未來應對氣候變遷之政策制定及牧場熱緊迫經營調適策略的參考依據，未來可藉由與短期氣象預報系統對接，能實現對牧場的即時熱緊迫預警，採取預防性管理措施。進一步促進我國氣象防災跨域應用於農業領域之發展，亦可為我國氣候調適政策、災害補助及農業保險等風險分攤機制之設計，提供關鍵的實證依據。

關鍵字：乳牛熱緊迫、跨域氣象防災、蒙地卡羅模擬

建立茶樹及多年生果樹之遙測作物乾旱預警模式

許雅媛¹ (Hsu, Y.-Y.) 鍾曉緯¹ (Chung, H.-W.) 洪名² (Hong, M.) 張育承³ (Chang, Y.-C.)
周鑑本³ (Chou, C.-B.) 劉正千¹ (Liu, C.-C.)

¹鉅星數位科技股份有限公司 ²國立成功大學全球觀測與資料分析中心 ³中央氣象署科技發展組

摘 要

茶樹及多年生果樹遭遇乾旱時，不僅可能影響當年度作物的收成，若面臨長時間乾旱又未能及時採取應對措施，更可能導致茶樹、果樹嚴重受損甚至死亡。近年來隨著乾旱和極端氣候日益頻繁，為能降低極端氣候事件造成的農業損失並提高作物產量，建立植生乾旱預警模式以針對缺水作物提供人工澆灌預警更顯重要。衛星遙測可提供大範圍觀測資料，被廣泛應用於監測農地水資源狀況及作物生長情況。透過整合大地衛星八號(Landsat-8)反演的溫度植生土壤乾燥指標(Temperature-Vegetation-soil Moisture Dryness Index, TVMDI)及氣象觀測、預報資料及作物生長資訊產製的潛在作物蒸發散量(crop evapotranspiration, ET_c)與有效累積雨量預報(Effective accumulated rainfall forecast)等資訊，可評估作物當前的缺、需水及未來降水情況，建立植生乾旱預警模式資料。大地衛星八號是包含可見光、近紅外及熱紅外等波段的地球觀測衛星，所反演的溫度植生土壤乾燥指標可用於評估植生乾燥情形，潛在作物蒸發散量可用於評估作物各生育時期的需水量，而結合7日雨量觀測資料與高解析格點(1km)14日展期降雨預報，所建立的有效累積雨量預報，則可用於評估未來降雨情況。本研究針對茶樹及多年生果樹(如芒果、香蕉、柑橘和番荔枝等)建立植生乾旱預警模式資料，可在作物已有乾燥情況或未來可能遭遇缺水等情形時，提供農民進行補注灌溉的建議，從而減少水資源浪費、提高生產效率，並減少遭遇乾旱和極端氣候事件造成的農業損失。

關鍵字：大地衛星八號(Landsat-8)、植生乾旱預警模式(Vegetation Drought Early Warning Model)、溫度植生土壤乾燥指標(Temperature-Vegetation-soil Moisture Dryness Index, TVMDI)、有效累積雨量預報(Effective accumulated rainfall forecast)、潛在作物蒸發散量(crop evapotranspiration, ET_c)

全國重要水庫與攔河堰長期入流量機率預報

Long-Term Probabilistic Forecasting of Inflows to Major Reservoirs and River Weirs in Taiwan

龔明人¹ (Kung M.-J.) 楊道昌¹ (Yang T.-C.) 李清騰² (Li C.-T.) 洪景山² (Hong J.-S.)
蕭士斌³ (Hsiao S.-C.) 郭純伶³ (Kuo C.-L.) 游保杉¹ (Yu P.-S.)

¹國立成功大學水利及海洋工程學系 ²交通部中央氣象署海象氣候組 ³經濟部水利署水源經營組

¹ Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

² Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

³ Water Resources Management Division, Water Resources Agency

摘 要

為因應未來可能發生之極端乾旱事件，提供主管機關於抗旱決策過程中所需之科學且客觀的長期雨量與入流量預報資訊，進而推估水庫蓄水量未來之變化趨勢，對於提升抗旱作為之效率與準確性，實具重要意義。基於水利署與氣象署簽訂之合作備忘錄（MOU）所建立的資料共享與合作基礎，氣象署運用歐洲中期天氣預報中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）第五代季節預報系統（SEAS5）之季節預報資料，發展全國主要水庫及攔河堰集水區之長期雨量預報降尺度產品，並進一步提供水利署未來1至6個月之水庫與攔河堰入流量預報資訊。該長期雨量預報降尺度產品為每個月作業化產製，採用ECMWF SEAS5之50個系集（ensemble）預報資料，預報內容為未來1至6個月各月的總雨量。為配合水庫及攔河堰集水區水文模式模擬所需之日時間尺度，預報雨量資料經由k鄰近法（k-nearest neighbors algorithm）進行時間尺度轉換，將月尺度降轉為日尺度，隨後輸入修正型HBV水文模式（modified HBV hydrological model）進行入流量模擬。

預報結果以機率方式呈現，內容為未來1至6個月每一旬之六個流量區間對應的預報機率（%）。計算方法係將50組系集雨量預報資料輸入水文模式，產生相對應之50組系集流量預報，再統計各旬內不同流量區間發生次數，並以該次數除以系集總數50，換算為對應流量區間之發生機率（%）。每旬六個流量區間的分界值則依據歷史觀測流量資料進行流量延時曲線（flow duration curve）分析後，取其對應之五個超越機率流量（exceedance discharges），分別為Q10、Q30、Q50、Q70與Q90，作為區間分界依據。此外，特別標示每旬中具有最高預報機率值之流量區間，該區間代表50組系集預報中最多次數落入的範圍。上述未來1至6個月逐旬之流量機率預報，能有效支援水庫管理單位於面對旱象時，進行更為科學化與前瞻性的水資源調配與應變策略規劃。

關鍵字：ECMWF SEAS5、HBV水文模式、長期雨量預報、流量區間機率預報

左營地區冬季低能見度期間與 天氣系統關聯性探討(以 2019-2023 年研析)

吳妮恩¹、徐婉菱²、林筵順²、林琬蓁²
空軍航空技術學院技訓中心戰氣組¹、空軍氣象聯隊²

摘 要

冬末至春初是台灣西半部最易出現低能見度的季節，尤其在東北季風、高壓迴流等天氣系統影響甚鉅，低能見度將致使飛行視線不佳，危害飛航安全，有關低能見度或濃霧的成因探究，在過去運用氣象要素統計方法及數值模擬分析發表許多相關研究，除歸納出臺灣各地區成霧時的平均氣溫，進一步發現因霧造成低能見時的綜觀環境特徵及天氣要素，影響能見度之天氣系統大概可區分為東北季風、高壓出海、高壓迴流、鋒面接近、鋒面通過、鋒前暖區及大陸冷高壓等七類。

冬季期間臺灣地區各地均有低能見度的天氣情況，故本研究將針對此期間運用岡山及左營基地近 5 年地面觀測資料進行探究肇因，因岡山機場禁航標準為 3200 公尺(不含)以下，故針對 2019 至 2023 年岡山地區能見度 3200 公尺以下之資料分析並以該時段所受天氣系統影響進行探究，藉由數據分析了解進而提供預報分析提供飛安預警重要參考。

中文關鍵字：低能見度肇因、天氣系統、氣象因素

微波雷達海域安全與海洋污染之應用

林立青¹ 鄭皓元¹ 尤心瑜² 錢樺³

¹中央大學地球科學前瞻應用研究中心 ²中央氣象署海氣遙測組 ³中央大學水文與海洋科學研究所

摘要

台灣擁有豐富的海岸遊憩資源，然而，日益嚴峻的海洋環境安全風險與海漂廢棄物的激增，已構成重大挑戰。這些問題嚴重影響公共安全，破壞海洋生態完整性，並阻礙海岸觀光產業的永續發展。本研究旨在探討岸基微波海洋雷達於強化海洋風險偵測與特徵辨識方面的應用潛力。本研究運用微波雷達即時且連續觀測的特性，針對雷達回波訊號進行影像處理與數值化形態學分析，建立一套智慧辨識與追蹤機制，以準確掌握海洋漂流廢棄物的分布與動態。該機制可即時標示漂流物件的位置與輪廓邊界，提供詳細的時空資訊，協助污染事件的監測與追蹤，強化緊急應變與清除效率。此外，針對另一項威脅——離岸流，本研究亦證實海象雷達具備精準偵測與預警的能力。透過分析雷達回波特徵，可有效辨識離岸流的發生模式與潛在分布區域，進而提供預警資訊，有效降低海域溺水事件的風險。為初步驗證上述辨識與偵測方法，本研究以2024年強烈颱風凱米期間的雷達觀測資料，進行漂流廢棄物的標記與軌跡追蹤。藉由分析雷達回波的時間變化，推算漂流物的移動速度與預測未來位置，爭取更多處置時間以提升應變效率。綜上所述，本研究運用微波雷達技術，為台灣面臨的海漂廢棄物管理與離岸流風險辨識提供一套具實效性的科技解方。考量這兩大風險對台灣海域活動的潛在威脅，以及對即時、精準資訊的高度需求。未來將持續累積事件資料與其海氣象條件，進一步優化監測與預警系統，最終為海岸遊憩安全與永續發展提供科學數據之決策支援。

關鍵字：微波雷達、海洋漂流廢棄物、離岸流

放射性物質海洋擴散模式應用

Application of the Oceanic Dispersion Model for Radioactive Substances by the Central Weather Administration

朱熾儒¹ (Chu Y.-J.) 曾慧婷¹ (Zeng H.-T.) 鄧仁星¹ (Teng J.-H.)

¹中央氣象署海象氣候組

¹Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

臺灣周邊緊鄰中國大陸多座沿海核電廠，且每年不定期排放含氚廢水，為了因應日本福島事件後對放射性物質海洋擴散的預警需求，中央氣象署開發了「放射性物質海洋擴散預報系統」。本研究應用該系統，結合2021 – 2025年歷史海流資料，並基於與臺灣本島與離島的直線距離、歷年排放量規模及海流特性等原則，挑選福建福清、浙江秦山與廣東大亞灣三座代表性核電廠，模擬其在「2020年中國核能年鑑」中呈現之年排放量限值下的含氚廢水連續擴散情形。模擬結果顯示，由於臺灣海峽西側海流主要受大陸沿岸流影響，金門與馬祖最易受到含氚廢水擴散影響；臺灣本島周邊海域則在季節交替時，當海流流速減慢，會造成含氚廢水滯留或向本島擴散。研究結果顯示，氣象署可依據不同地理位置與季節條件之擴散特徵，提出設站建議或其他相應的對策。

關鍵字：放射性物質海洋擴散預報系統、中國核電廠、含氚廢水

Abstract

Several coastal nuclear power plants are located along the southeastern coast of China near Taiwan, and release tritiated water intermittently each year. In response to the need for forecast and early warning of radioactive material dispersion in the ocean following the Fukushima incident in Japan, the Central Weather Administration (CWA) developed the "Oceanic Dispersion Forecast System for Radioactive Substances." This study applies the system in conjunction with historical ocean current data from 2021 to 2025. Based on three criteria—including the direct distance to Taiwan (including offshore islands), annual discharge volume, and regional ocean current characteristics—three representative nuclear power plants were selected: Fuqing in Fujian, Qinshan in Zhejiang, and Daya bay in Guangdong. Simulations were performed under continuous tritium discharge scenarios, using the annual discharge limits published in the 2020 China Nuclear Energy Industry Annual Report. Results indicate that ocean currents on the western side of the Taiwan Strait are primarily influenced by the China Coastal Current, making the offshore islands of Kinmen and Matsu more susceptible to tritium dispersion. Around Taiwan's main island, however, the impacts become more pronounced during seasonal transitions, when current velocities decrease, leading to tritiated water accumulation or northeastward transport toward the island. The findings suggest that the CWA can provide site selection recommendations and responsive strategies based on the distinct dispersion characteristics under varying geographic locations and seasonal current conditions.

Key words : Oceanic Dispersion Forecast System for Radioactive Substances 、China nuclear power plant(s) 、tritiated water

臺灣周遭海域之海表溫與海表高度之季節性變化幅度與長期變化趨勢

Seasonal variations and long-term trends of sea surface temperature and height around Taiwan

黃妍禎¹ (Huang Y.-C.) 張明輝¹ (Chang M.-H.) 鄭宇昕² (Cheng Y.-H.)
黃士哲³ (Huang S.-C.) 詹智丞³ (Jan J.-C.) 陳進益³ (Chen J.-Y.)

¹國立臺灣大學海洋研究所 ²國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系 ³中央氣象署海象氣候組

¹Institute of Oceanography, National Taiwan University

²Department of Marine Environmental Information, National Taiwan Ocean University

³Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

臺灣位處西北太平洋黑潮流系通過區域，長期受熱帶與副熱帶水團交會、季風調節與黑潮變異影響，對氣候變遷具高度敏感性。本研究整合氣象署潮位站、近岸浮標與多項衛星觀測資料，包括AVHRR Pathfinder、NOAA OISST、MODIS-Terra與Aqua等海表溫資料，以及CMEMS再處理海水位產品，並以偶函數趨近法(Even Function Approximation)濾除年循環訊號干擾，提升長期變化趨勢的估算準確度。

將臺灣沿岸依據富貴角、雲彰隆起、貓鼻頭、三仙台、沖繩海槽分為五個區域，並針對距岸12海里內的海象參數進行區域平均與統計分析。初步結果顯示，近20年(2004 - 2024)海表溫普遍上升，其中升溫最顯著為東北近岸約 $+0.33^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，最緩和為東南近岸的黑潮流域約 $+0.2^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 。海水位方面，東部與西部近岸海域分別以約 $+0.04$ 與 $+0.03$ 公尺/十年的速率上升，反映海平面持續上升趨勢，但存在區域性差異。

就季節性變化而言，海表溫在西北近岸的夏冬溫差可達約 10°C ，東南近岸差幅較小，約 5°C ；海水位年內變化則以西北、西南與東北近岸較顯著，差幅約 0.14 公尺，東南沿岸則相對平緩，約 0.09 公尺。整體而言，西北與東北近岸表現出更強烈的季節循環特性，而東南區域則顯現相對穩定的熱帶水團環境。

推測上述區域性差異與黑潮之路徑與結構變化密切相關。東南近岸升溫相對和緩，可能與黑潮主幹貼近沿岸，有助於維持水團穩定性；而東北近岸升溫趨勢較為劇烈，可能與黑潮在東海南部陸棚邊界附近產生偏軸、入侵與湧升現象相關，導致較強的熱收支不平衡。海水位的空間差異亦可能與黑潮變動造成的區域性熱膨脹有關。

整體分析指出，臺灣近岸海域的海象變遷呈現明顯區域性差異，未來將持續釐清其背後機制與物理驅動因子，作為氣候衝擊評估與海洋風險管理之依據。

關鍵字：黑潮、長期趨勢、季節變化

2025年丹娜絲颱風引發臺灣西南地區海水倒灌事件之數值模擬研究

Numerical Simulation Study of Coastal Inundation Induced by Typhoon DANAS along Taiwan's Southwest Region in 2025

吳祚任¹ (Wu, T.-R.) 楊天璋² (Yang, T.-W.) 葉宸豪¹ (Yeh, C. -H.) 張哲瀚¹ (Chang, C.-H.)

¹國立中央大學水文與海洋科學研究所 ²中央氣象署海象氣候組

¹ Graduate Institute of Hydrological and Oceanic Sciences, National Central University

² Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

2025年7月，中度颱風丹娜絲以罕見路徑登陸臺灣西南部，在臺南七股等沿岸地區引發嚴重海水倒灌，凸顯了當地暴露於暴潮災害下的脆弱性，以及暴潮預報準確度提升可為當地帶來顯著的貢獻。

潮位觀測資料顯示此次事件呈現與以往暴潮事件不同的特徵，特別是東石潮位站在颱風登陸時出現明顯的「先降後昇」現象，顯示颱風登陸臺灣西南部前後對該站點產生顯著的風剪力效應。作業中之預報模式受限於地形與數值模擬解析度，未能準確捕捉東石站的異常潮位變化特徵，為改善此一情況，本研究利用COMCOT-SURGE多重網格風暴潮預報系統，結合TPXO全球天文潮模式，深入探討此次異常暴潮事件的成因機制。研究中首先呈現本次颱風事件期間模式作業預報之校驗結果，並為提升模式預報準確度探討兩個關鍵精進方向：提升地形解析度以更準確描述沿岸複雜地形對風場與暴潮的影響，以及利用觀測資料與TWRF大氣模式資料最佳化理想風場參數設定，檢視現有模式重現暴潮水位觀測值的能力，探討模式未來應優先著重之改進方向。

關鍵字：COMCOT-SURGE、TWRF、理想風場、丹娜絲颱風、海水倒灌

Abstract

Typhoon Danas hit southern Taiwan in July 2025, causing severe flooding in coastal areas, including Qigu, Tainan. As a result, local areas were exposed to storm surge disasters and demonstrated the significant contribution that improved storm surge forecasting accuracy could make.

Tide gauge observation revealed that this event characteristics distinct from previous events, especially the "drop-then-rise" phenomenon observed at Dongshi during the landfall of the typhoon. This phenomenon indicated significant wind shear effects on the station during the typhoon's landfall in southwestern Taiwan. The operational forecasting models, limited by topographic and numerical grid resolution, were unable to accurately capture the unusual tide level variations at Dongshi. To address this issue, this study employs the COMCOT-SURGE model coupling with TPXO, to investigate the causal mechanisms behind this anomalous storm surge event. The study first presents the verification results of operational model forecasts during the typhoon and identifies two critical improvement areas: enhancing topographic resolution to better model coastal effects, and optimizing wind field settings based on observed data and TWRF model. This research effectively assesses existing models and establishes priority directions for future model improvements.

Key words : COMCOT-SURGE, TWRF, Idealized Wind Model, Typhoon Danas, Inundation

大氣模式輸入場解析度對風暴潮模擬準確度之影響

The effect of input resolution for atmospheric models on storm surge simulation

吳祚任¹ (Wu T.-R.) 葉宸豪¹ (Yeh C.-H.) 張哲瀚¹ (Chang C.-H.) 林君蔚¹ (Lin C.-W.)

¹國立中央大學
¹National Central University

摘 要

颱風引發之風暴潮長期以來對台灣沿海地區構成重大威脅，因此發展準確且即時之風暴潮預報系統極為重要。目前中央氣象署採用TWRF大氣模式產出的氣象場進行風暴潮預報，其水平解析度為15公里。然而，台灣地形極為複雜，尤其中央山脈對颱風結構與強度有顯著影響，而此類效應在現有解析度下難以充分展現。

本研究旨在透過整合氣象署區域決定性天氣預報系統（WRF_D）之高解析度氣象資料，將輸入格點解析度提升至3公里，以增加風暴潮預報的準確性。研究之關鍵在於計算成本與預報精度間之平衡。

本研究以康芮颱風為例，分別以原始與高解析度氣象場進行風暴潮模擬，比較其對颱風結構與沿岸水位預測的影響。同時評估高解析模擬所需的運算資源，並量化預報改善幅度。研究成果可為台灣地區之地形複雜區域提供風暴潮預報系統優化之科學依據。

關鍵字：COMCOT風暴潮預報、TWRF大氣模式、模式解析度、WRF_D

Abstract

Typhoon-induced storm surges have long posed a serious threat to coastal regions in Taiwan, highlighting the need for accurate and timely forecasts to support disaster mitigation and early warning systems. Currently, the Central Weather Administration (CWA) operationally produces storm surge forecasts using meteorological fields from the TWRF atmospheric model with a horizontal resolution of 15 kilometers. However, Taiwan's highly complex terrain—especially the presence of the Central Mountain Range—significantly influences typhoon structure and intensity, and such effects are not adequately resolved at the existing model resolution.

This study aims to improve the accuracy of storm surge forecasts by integrating high-resolution meteorological data from the CWA's Regional Deterministic Weather Forecasting System (WRF_D), increasing the input grid resolution to 3 kilometers. A key focus of this research is to strike a balance between computational cost and forecast accuracy.

Using Typhoon Kong-Rey as a case study, we compare storm surge simulations forced by both the original and high-resolution atmospheric fields, evaluating differences in predicted typhoon structure and coastal water levels. Additionally, we assess the computational expense of high-resolution simulations and quantify the forecast improvements. The results provide a scientific basis for optimizing storm surge forecasting systems in regions characterized by complex topography, such as Taiwan.

Key words : COMCOT-Storm Surge Forecasts, TWRF Atmospheric Model, Model Resolution, WRF_D

Recenter風場應用於波浪系集預報模式之研究

張恆文¹、顏厥正¹、施景峯²、林芳如²、朱啟豪²

¹社團法人台灣地球觀測學會 ²中央氣象署海象氣候組

摘 要

系集預報的目的在於使得預報系統可充分涵蓋預報的不確定性及提供機率性的預報指引。目前氣象署的波浪系集預報系統，比較台灣四周的浮標資料，其準確度都比決定性預報佳，即時其使用的是WEPS2.0的風場，與決定性預報使用NCEP、及預報中心10公里、2.5公里風場不同。然而基於改善決定性預報的出發點，本研究嘗試以決定性預報的風場視為系集風場的平均場(recenter)，而將系集風場的分歧加入此新的平均場，藉以產生新的系集風場，再探討此系集風場對於波浪場的影響，是否可有效改善預報。

初步結果顯示，新的Recenter風場可以提高波浪預報數值及系集分歧，但在不同海域顯現不同的特性趨勢，東北部測站及蘭嶼測站RMSE亦普遍增加，使得系集分歧普遍小於RMSE的現象並未顯著改善；東部花蓮和台東二測站，除了5月新版顯示較優的預報結果；西部測站除了台中外，包括七美和金門測站，在12月至隔年3月(小琉球還有4、5月)，SPRD明顯大於RMSE，均表示過度離散，預報中心風場在台灣海峽有預報偏高的趨勢，是否是造成波浪預報離散過大的主因，仍待進一步探討。馬祖、澎湖、台中測站新版大致均優於舊版，但較優方式不一樣，馬祖為RMSE變小，澎湖與台中為RMSE與SPRD接近。而颱風期間新版似乎較優於舊版。

關鍵字：波浪系集預報、Recenter風場

以 SCHISM-WWM 建置裂流預測模式之評析

An Evaluation of the Operational Rip Current Forecasting Model Developed with SCHISM-WWM

¹王敘民(Wang S.-M.) ²林芳如(Lin F.-R.) ²潘琦(Pan C.) ³蔡政翰(Tsai C.-H.) ¹董東璟(Doong D.-J.)

¹國立成功大學 水利及海洋工程學系 ²交通部中央氣象署 海象氣候組 ³國立臺灣海洋大學 海洋環境資訊系

¹ Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

² Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

³ Department of Marine Environmental Informatics, National Taiwan Ocean University

摘 要

裂流(Rip Current)是潛藏於海岸邊的隱形殺手。根據美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)統計,裂流是導致海域溺水事故的主要原因之一。由於裂流難以以肉眼辨識,且具有強勁流速並垂直向外海流動的特性,當人們察覺裂流的存在時,往往已深陷其中,導致無法脫困而發生意外。因此,為有效預防此類災害,發展裂流預測模式具有高度必要性。透過即時且準確的預警系統,能夠在災害發生前向民眾發布海岸裂流警訊,以降低人員傷亡與財產損失風險。當外海波浪進入近岸淺水區時,地形不均所造成的輻射應力將導致水位產生變化,水體為平衡其外力,並與沿岸流相互作用,進而形成指向外海的裂流。為準確模擬此類現象,本研究採用三維水動力模式SCHISM(Semi-implicit Cross-scale Hydrosience Integrated System Model)耦合第三代風浪模式WWM(Wind Wave Model),以描述波浪與水流間之交互作用。模式透過水動力模擬計算流速與水位,進而導入風浪模擬以計算輻射應力,並將其回饋至水動力場,建立可再現裂流形成過程的數值模擬環境。本研究以宜蘭縣外澳海域作為示範場域,針對2022年9月進行模擬實驗。其數值結果與龜山島浮標站及烏石漁港潮位站實測資料比對,在波高、週期、波向、水位與流速等參數之NRMSE皆維持在0.1左右,顯示模式具有良好的水動力再現能力。同時,並參考中央氣象署所設立之裂流光學影像監測站觀測資料,運用混淆矩陣進行模式驗證分析,結果顯示,SCHISM-WWM模式在裂流發生時空間再現的準確率可達70%。綜合評估,本研究所建置之裂流數值模式已具備相當模擬與預測能力,未來可作為裂流預警系統建立之核心基礎。

關鍵字：裂流、SCHISM-WWM、波流耦合、災害預測

海洋模式同化衛星水位高對臺灣東部黑潮流場模擬之影響

Impact of Satellite Sea Level Data Assimilation on Modeling Kuroshio Currents East of Taiwan

陳世明¹ (Chen S.-M.)

¹財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

¹Taiwan Ocean Research Institute, National Institutes of Applied Research

摘 要

本研究使用海洋模式ROMS內建的4-dimensional variational (4D-Var) 資料同化演算法，在每天的00:00 UTC同化Copernicus Marine Service的網格化衛星水位高產品，進行2018年7月至2019年4月臺灣週遭海域的模擬，分析資料同化對黑潮流場模擬的影響。資料同化演算法會反覆微調模式的初始與邊界條件，進行線性化方程組的模擬來測試最佳的初始與邊界條件，再以此條件進行完整的非線性方程組模擬，使模擬水位貼近輸入的觀測水位高，同時流速、溫度、鹽度也符合海洋流體動力。模擬資料與2018、2019年佈放於台灣東部外海的五個錨碇ADCP流速進行比較，近岸三站的日平均100公尺深北向流速，在2018年9月與11月間，未同化的模擬出現北向流減弱，最後甚至向南流的現象，但錨碇觀測的流速一直是向北流。經過同化模擬後，消除了這個差異，模擬結果趨近於觀測流速，表示資料同化技術改善原本的模擬結果。而離岸較遠的站點，在11月中旬至12月中旬的比較也顯示資料同化改善了模擬結果。研究也將展示衛星水位高資料同化對模擬臺灣東部黑潮流量與主軸位置的影響。

關鍵字：海洋模式，資料同化

Abstract

This study presents a case of ocean circulation simulation incorporating satellite sea level data through data assimilation. The built-in four-dimensional variational (4D-Var) data assimilation scheme of ROMS was employed, assimilating gridded satellite sea level products from the Copernicus Marine Service at 00:00 UTC daily. The modeling period spans from July 2018 to April 2019 and covers the regional seas surrounding Taiwan. The assimilation process iteratively adjusted the model's initial and boundary conditions by simulating a linearized dynamical model to obtain optimal initial and boundary conditions. These optimized conditions were then used to initialize and constrain the full nonlinear model, producing analysis fields. The sea level in the analysis closely matched the assimilated satellite sea level, while the associated current, temperature, and salinity fields remained dynamically consistent. The analysis fields were compared with current measurements from five moorings deployed east of Taiwan during 2018–2019. From September to November 2018, the unassimilated model showed large discrepancies on the 100-m currents measured by the three onshore moorings, whereas the assimilated results were more consistent with observations, indicating improved accuracy due to data assimilation. Similarly, better agreement was observed at the offshore moorings from mid-November to December. This study will also present the impact of data assimilation on modeling the Kuroshio transport and its central position.

Key words : ocean circulation model, data assimilation

臺灣海域三維海流系集同化系統建置

Development of a Three-Dimensional Ocean Current Ensemble Data Assimilation System for the Taiwan Region.

王啓竑¹ 尤皓正² 張應龍³ 于嘉順¹ 朱啟豪³

¹西灣海環科技股份有限公司 ²美國維吉尼亞威廉與瑪麗學院海洋科學研究所 ³中央氣象署海象氣候組

摘 要

中央氣象局署三維海流作業化預報模式CWA-OCM(Central Weather Administration Ocean Current Model)使用RTOFS及HYCOM全球預報模式初始場及邊界場，以類資料同化方式每日修正模式。目前尚未納入資料同化功能，則對於模式結果修正有限，因此開發臺灣海域三維海流系集同化系統(以下簡稱CWA-OCM-DA)是有所必要。CWA-OCM-DA選用平行化資料同化系統PDAF(Parallel Data Assimilation Framework)做為資料同化演算模組，而採用地球系統模式框架(以下簡稱ESMF耦合器)作為模組交換資料框架，其為少數擁有非結構式網格模式，且能在不更改原始程式碼並以動態函式庫之方式引入。CWA-OCM-DA非採用傳統方式，直接對模式本身進行大幅修改，而是利用ESMF架構(Earth System Modeling Framework)作為主要控制系集計算工具，將原有SCHISM模式程式碼修改至符合ESMF規範，則ESMF為主架構能與其他程式耦合，其ESMF、SCHISM、PDAF皆以函式庫(library)的方式進行對應功能呼叫。未來在三者於版本更新時，CWA-OCM-DA無須更改，可分別直接以各自最新版本進行編譯及計算三者的模式發展各自獨立，各模式發展者專注發展並不相互影響，也不受限版本更新影響，皆以函式庫(library)的方式進行對應功能呼叫，可直接以最新版本進行編譯與計算。本文研究臺灣海域三維海流系集同化系統，以2015年蘇迪勒颱風為案例進行案例測試，使用公開之衛星資料及Argo剖面資料進行資料同化，修正計算結果，得到模式預報之分析場，提供予預報作為初始場進行預報。模式範圍為臺灣周邊海域進行計算產出預報結果，與未同化、衛星資料分析預報第一天之海表面溫度，發現同化後之海表面溫度與衛星資料均方根誤差(RMSE)較小，表示資料同化有效修正模式，提高預報精確度。

關鍵字：非結構式海流模式、海流系集、資料同化

Abstract

The Central Weather Administration Ocean Current Model (CWA-OCM) is a three-dimensional operational forecasting system for ocean currents that uses initial and boundary conditions from global models such as RTOFS and HYCOM. Although the model output is currently adjusted daily using a pseudo data assimilation approach, the absence of a true data assimilation system limits the accuracy of forecast corrections. To address this gap, the development of a dedicated data assimilation system—referred to as the CWA-OCM-DA—is essential.

CWA-OCM-DA integrates the Parallel Data Assimilation Framework (PDAF) as its data assimilation module and adopts the Earth System Modeling Framework (ESMF) as the data exchange interface. ESMF is one of the few frameworks capable of supporting unstructured grid models and allows integration without modifying the original source code, relying instead on dynamic libraries.

Unlike traditional approaches that require extensive modifications to the model code, CWA-OCM-DA utilizes ESMF to control ensemble computations. The SCHISM model code is adapted to comply with ESMF specifications,

enabling seamless coupling with other components. All modules—ESMF, SCHISM, and PDAF—are treated as independent libraries, allowing each to be updated and compiled separately without interfering with one another. This modular design ensures long-term maintainability and compatibility across future versions.

This study applies the CWA-OCM-DA system to simulate Typhoon Soudelor (2015) as a case study. Publicly available satellite data and Argo profile observations are assimilated to correct model outputs and generate analysis fields that serve as improved initial conditions for forecasts. The model domain covers the waters surrounding Taiwan. Results show that the assimilated sea surface temperature (SST) forecasts exhibit reduced root mean square error (RMSE) when compared with satellite observations on the first forecast day, demonstrating the effectiveness of the data assimilation system in improving forecast accuracy.

Key words : Unstructured Ocean Current Model, Ocean Current Ensemble, Data Assimilation

環臺200公尺解析度潮汐模式準確度探討

林勝豐¹ 黃士哲² 陳進益² 陳彥秋³ 戴世杰¹

¹國立高雄科技大學海岸水與環境中心 ²中央氣象署海象氣候組 ³內政部地政司

摘 要

為提升內政部2018年公告之潮汐模式(MOL18v1，解析度為4.5公里，天文潮位平均誤差均方根為8.3公分)之準確度，於2024年至2025年間陸續建置共16個環臺200公尺解析度近岸潮汐模式(TM200.v1)，其中也包含了東沙島與太平島。以潮位站所分析之天文潮位進行驗證，環臺200公尺解析度潮汐模式之潮位平均誤差均方根為5.4公分。於部分港灣地區再進行模式解析度加密為50公尺後，將模擬所得結果以資料同化方式回饋至環臺200公尺解析度近岸潮汐模式(TM200.v2)，其潮位平均誤差均方根精進為4.5公分，其中最大的潮位誤差均方根出現在金門水頭8.8公分(約為其平均潮差之2%)。在未使用模式加密與資料同化功能前，水頭潮位誤差均方根為9.3公分，顯示於此區域模式加密與資料同化的功能成效並不理想。相對於臺中港使用模式加密與資料同化功能後，潮位誤差均方根從11公分精進至6.6公分，其模式加密與資料同化的功能成效相對顯著。探討功能成效差異之原因，得知除了潮汐模式驅動邊界條件的25個分潮(M2、S2、N2、K2、2N2、Mu2、Nu2、L2、T2、K1、O1、P1、Q1、J1、NO1、OO1、M4、MS4、MN4、Mm、Mf、MSf、MSm、Ssa、Sa)外，水頭天文潮位分潮振幅大於2公分尚有9個分潮未包含於25個分潮內；臺中港天文潮位分潮振幅大於2公分者則只有3個分潮。因此未來若欲再精進環臺200公尺解析度近岸潮汐模式之準確度，增加驅動邊界條件的分潮數是值得研究的方向之一。

關鍵字：潮汐模式、資料同化、天文潮分潮

GNSS連續水位浮標應用於亞重力波觀測之研究

Application of GNSS Continuous Water Level Buoys on Infra-gravity Wave Observation

林演斌¹ (Lin Y.-P.) 陳盈智¹ (Chen Y.-C.) 林清睿¹ (Lin C.-R.) 陳孟詩² (Chen M.-S.)
潘琦² (Pan C.)

¹國立成功大學近海水文中心 ²中央氣象署海象氣候組

¹Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

²Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘要

亞重力波 (infra-gravity waves) 為週期約 20 秒以上之低頻長波，主要由短波波群之非線性交互作用產生，廣泛存在於近岸淺水區。雖其振幅通常小於風浪，但是引起海岸侵蝕或港灣共振現象的因素之一，亦對近岸生態環境具有潛在影響，也會危害近岸遊憩活動安全。觀測亞重力波需要長時間連續數據，現場執行較觀測一般風湧浪困難，亟待適用的設備。全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 浮標具備觀測高精度水位能力，過去已成功應用於量測波浪與潮位，本研究利用自行開發GNSS連續水位浮標觀測之近岸水位資料，嘗試擷取其中低頻能量變化特徵，探討其應用於量測亞重力波之成效與可行性，以延伸GNSS浮標應用範疇至亞重力波頻段。本研究分析2024至2025年期間氣象署臺南水位浮標資料，採用經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition, EMD) 濾除潮汐成分，保留風湧浪至亞重力波區間之能量。分析結果顯示，在平常時刻，亞重力波波高普遍低於0.5公尺，然而在極端天氣事件如2024年凱米與山陀兒颱風，以及2025年丹娜絲颱風期間，亞重力波波高可達1公尺以上。GNSS連續水位浮標不僅適用於一般風湧浪與潮位觀測，本研究證實其更具備觀測亞重力波能力，未來能提供海岸侵蝕、近岸生態環境以及近岸遊憩活動安全等應用更完整的資訊。

關鍵字：亞重力波、全球衛星導航系統、水位浮標、經驗模態分解法

Abstract

Infra-gravity waves are low-frequency, long-period waves (typically >20 s) generated through nonlinear interactions among short-wave groups and commonly observed in nearshore shallow waters. Although their amplitudes are generally smaller than those of wind waves, infra-gravity waves can contribute to coastal erosion, harbor resonance, and pose risks to nearshore ecosystems and recreational safety. Monitoring these waves requires long-term, continuous data, making field observations more challenging than those of wind and swell waves and requiring appropriate instrumentation.

Global Navigation Satellite System (GNSS) buoys, known for high-precision water level measurements, have been successfully used for wave and tide monitoring. This study utilizes a self-developed GNSS continuous water level buoy to collect nearshore data and analyze low-frequency energy variations, assessing its feasibility for infra-gravity wave observation.

Data from the Tainan GNSS buoy station (2024–2025), operated by the Central Weather Administration, were analyzed using Empirical Mode Decomposition (EMD) to filter tidal components and isolate wave energy. Results show infra-gravity wave heights were typically <0.5 m under normal conditions but exceeded 1 m during Typhoons Gaemi, Krathon (2024), and Danas (2025). The findings confirm the buoy's capability to monitor infra-gravity waves, offering valuable data for coastal erosion, ecosystem assessments, and coastal safety applications.

Key words: Infra-gravity wave, Global navigational satellite system (GNSS), Water-level buoy, Empirical mode decomposition (EMD)

規避風浪之船舶航路規劃技術優化

范揚洛¹ 邱惠綢¹ 王良生¹ 潘琦² 黃士哲² 陳進益²

¹國立成功大學近海水中心 ²中央氣象署海象氣候組

摘 要

本研究所發展之智慧船舶航路規劃系統，初期主要整合海氣象預報與水深等多元資料，應用於臺灣鄰近海域，提升該海域船舶航行之安全。然而，實務上國際商船航線多屬長距離、跨區域航行，既有系統在規劃大範圍航路時，受限於波浪預報資料的預報範圍，難以因應國際航線的應用需求。根據國際海事組織IMO航行規劃指南 (IMO, 1999)，船舶航線規劃應以安全航行為首要目標，並兼顧航行時間及經濟可行性。相關研究亦證實，導入氣象與風浪預報資料進行輔助規劃，不僅有助於降低燃油消耗、縮短航程，也能顯著提升船舶航行安全。

針對上述限制，本研究提出擴展應用範圍與多尺度資料整合之技術優化。藉由整合中央氣象署高低解析度波浪預報資料，進行時空解析度重建，將波浪預報涵蓋範圍自發展初期的臺灣鄰近海域，擴展至東海、南海、黃海及西北太平洋等廣大航行區域，提升長航程規劃過程中預報資訊的連續性與準確性。本研究進一步擴大大既有多元風險指標（如船級作業風險、交錯波浪、逆流激浪區等）於新預報資料範圍下的應用，使新涵蓋之海域亦可產出對應的風險指標，進而作為航路建議之依據。此外，針對國際航線常見的臨時禁航與軍事演習等限制，系統亦整合自動化擷取之國際航行警告 (NAVAREA) 及演習資訊，並運用地理資訊系統 (GIS) 技術進行空間資料解析，即時反映於航路展示介面。同時，系統增設 KML 格式匯出及自動郵件發送功能，使航路規劃結果可由一般電腦直接讀取與應用，提升用戶操作便利性與資訊可視化。

本研究突破既有系統於地理與時效覆蓋上的限制，建構更適用於國際航運海域的智慧航路規劃服務，提升系統應用彈性、精度與決策支援能力。研究成果有助於提升我國船舶於長距離、跨區域航行時之安全管理與營運效率，並進一步強化氣象署預報資料於航運實務上的應用價值。

關鍵字：智慧航路規劃、多尺度資料整合、風險指標、國際航線、KML匯出

利用GNSS-IR和GNSS浮標監測海水面變化

Monitoring Sea Surface Changes using GNSS-IR and GNSS Buoys

郭重言¹ (Kuo C.-Y.) 李啓民^{1,2} (Lee C.-M.) 藍文號³ (Lan W.-H.) 林立青⁴ (Lin L.-C.) 董東環¹ (Doong D.-J.) 鄭皓元⁵ (Cheng H.-Y.)

¹國立成功大學 ²九州大學 ³國立高雄科技大學 ⁴中央大學地球科學前瞻應用研究中心 ⁵流浪者科技有限公司

¹National Chen Kung University ²Kyushu University, Japan ³National Kaohsiung University of Science and Technology ⁴Advanced Research Center for Earth Sciences ⁵Drifter Technology CO., LTD

摘 要

近年來，全球氣候變遷導致海水面持續上升，對人類社會與自然環境構成嚴峻威脅，因而持續監測沿岸海水面變化已成為關鍵工作。目前沿岸海面監測多仰賴潮位站，但潮位站維護不易，且易受地表變動影響而產生觀測誤差。本研究採用全球導航衛星系統干涉反射技術（Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry, GNSS-IR），解析沿岸GNSS站訊噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR）資料，並結合定位解以推估絕對海水面變化。此外，我們亦蒐集GNSS浮標與傾斜之原始觀測資料，分別採用精密單點定位（Precise Point Positioning, PPP）與相對定位技術，以求得海水面變化。最後，將上述成果與共站潮位觀測及衛星測高資料進行比較驗證。

關鍵字：海水面變化、GNSS-IR、GNSS浮標

Abstract

In recent years, sea level rise induced by global climate change has posed an increasing threat to both human societies and natural ecosystems, making continuous monitoring of coastal sea-surface variations essential. Conventional coastal observations rely primarily on tide gauges, whose maintenance is difficult and whose measurements are prone to bias from local vertical movement. In this study, we apply Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) to coastal GNSS stations by analyzing signal-to-noise ratio (SNR) time series and integrating these observations with precise positioning solutions to estimate absolute sea surface changes. In parallel, we collect raw observations from GNSS buoys and tilt sensors and process them using Precise Point Positioning (PPP) and relative kinematic positioning techniques to derive independent sea surface heights. The resultant GNSS-based sea level time series are then rigorously compared against co-located tide-gauge records and satellite altimetry data to assess accuracy and reliability.

Key words : Sea surface change, GNSS-IR、GNSS Buoy

高頻雷達看南灣：渦旋上升流與內潮混合作用

Surface Current Observations in Nanwan Bay with HF Radar: Roles of Eddy-Induced Upwelling and Internal Tide Mixing

陳少華¹ (Chen, S.-H.) 陳世明¹ (Chen, S.-M.)

¹財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

¹Taiwan Ocean Research Institute, National Institutes of Applied Research

摘要

南灣位於台灣最南端，擁有豐富的珊瑚礁生態系，且海域中多種動力過程交互作用。本研究利用台灣海洋科技研究中心自 2014 年於南灣架設之高頻雷達（HFR）觀測系統所取得的表層海流資料，探討次中尺度渦旋對局部水溫場的影響，特別聚焦於渦旋引發的上升流機制。分析期間為 2023 年 7 月 1 日至 23 日，並結合溫度串與高解析度 Himawari-8 衛星海表面溫度（SST）資料。結果顯示，根據高頻雷達表層海流計算之 Okubo-Weiss 參數所判識的渦旋事件，與觀測到的水溫驟降高度一致，顯示渦旋誘發的上升流對南灣水溫變化具關鍵影響。然而，並非所有降溫事件皆與渦旋直接相關，溫度串分析發現，水體浮力頻率（ N^2 ）多維持高值，顯示分層結構明顯，內潮在此條件下亦可能促進垂向混合，對熱場造成影響。整體而言，渦旋與內潮之交互作用對南灣水域熱力結構具有關鍵性，對未來珊瑚礁熱逆境評估與保育管理具重要參考價值。

關鍵字：南灣、高頻雷達、珊瑚礁熱逆境

以波潮耦合模式作業化系統進行颱風案例的校驗分析

Validation and Analysis of Typhoon Cases Using an Operational Wave-Tide Coupling Modeling System.

王啓竑¹ 于嘉順¹ 陳琬婷² 林芳如²

¹西灣海環科技股份有限公司 ²中央氣象署海象氣候組

摘 要

由於波浪與海流各有其控制方程式及對作用力的描述，傳統數值模式常各自獨立運作，但是波與流間有相互影響的作用力，為了更清楚解析海流的時空變化，需將潮汐、海流及波浪等交互作用耦合執行。因此，使用波潮流整合數值模式改進傳統波流獨立的作業預報系統。本計畫使用的波潮流整合數值模式使用WWMIII第三代波浪模式與SCHISM水動力模式做動態耦合，且須使用同一非結構式網格及相同時間步長計算，以達成動態同步的耦合。數值模式中波浪與海流耦合的計算流程是先透過計算波浪，將波浪引起的表面應力(輻射應力)傳遞至水動力模式，水動力模式將之納入計算新的流場與水位，再將三維流場中的表面流場及水位傳遞至波浪模式，進行下一時間序的計算。目前署內已建置臺灣海域波潮耦合模式作業化系統，系統內容涵蓋天文潮、暴潮、波浪及波潮耦合模式產品，氣象驅動力採用氣象署的WRF氣象預報資料進行每日兩次的作業化預報，預報時間為兩日預報場，並產出96小時波浪及暴潮預報場相關產品。模式產出的模式結果，與實測值進行比對及校驗，採用中央氣象局臺灣海象災防環境平台及資料開放平臺之水位紀錄及波浪浮標資料進行驗證。本文探討2024年凱米颱風與山陀兒颱風案例，以均方根誤差及皮爾森相關數的量化指標，進行波浪與水位的校驗分析，透過校驗分析結果呈現系統預報效能及穩定性。

關鍵字：中央氣象署、波潮流整合模式、波流耦合、異常巨浪

Abstract

Due to the distinct governing equations and force representations for waves and ocean currents, traditional numerical models often operate independently. However, interactions between waves and currents involve mutual forcing, which necessitates a coupled modeling approach to better resolve the spatiotemporal variations of ocean currents. To address this, we have integrated tides, currents, and waves into a coupled modeling system to improve upon conventional, decoupled forecasting methods.

The coupled wave-tide-current numerical model employed in this project dynamically integrates the third-generation wave model WWMIII with the hydrodynamic model SCHISM. This dynamic coupling is achieved by using a common unstructured grid and identical time steps to ensure synchronized calculations. In the coupled framework, wave fields are computed first to derive surface forcing (radiation stress), which is passed to the hydrodynamic model. The hydrodynamic model incorporates this stress to update the current and water level fields. The surface currents and water levels are then relayed back to the wave model to compute the next time step, forming a continuous two-way feedback loop.

An operational wave-tide coupled modeling system has been established for Taiwan's coastal waters. This system includes predictions of astronomical tides, storm surges, waves, and their coupled interactions. Meteorological forcing is provided by the Central Weather Administration's WRF forecast, and the system generates twice-daily

forecasts with a 96-hour lead time. The forecast outputs are validated against observational data, including tidal gauge records and wave buoy data from the Central Weather Administration's Taiwan Ocean Observation Data Service and Open Data platforms.

This study focuses on two typhoon cases in 2024—Typhoon Kaimi and Typhoon Soudel. We evaluate model performance through validation analyses of wave height and water level using quantitative metrics such as root-mean-square error (RMSE) and Pearson correlation coefficient. The results demonstrate the forecasting system's accuracy and stability.

Key words : Wave-Tide Coupling Model, Wave-Current Coupling, Extreme Wave

智慧載具海氣象觀測系統開發之研究

Development of a Marine Meteorological Observation System using Smart Unmanned Vehicles

陳盈智¹(Chen Y.-C.) 林演斌¹(Lin Y.-P.) 董東環¹(Doong J.-D.) 盧鴻源²(Lu H.-Y.)
李旭成³(Lee H.-C.) 許家誠⁴(Syu J.-C.)

¹國立成功大學 ²財團法人船舶暨海洋產業研發中心 ³梭易科海洋應用方案股份有限公司

⁴中央氣象署海象氣候組

¹National Cheng kung University ²Ship And Ocean Industries R&D Center

³SOIC Marine Solutions Co., Ltd.

⁴Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

隨著海洋觀測技術快速發展，智慧無人載具結合自動駕駛與自動化海氣象資料蒐集技術，能在極端或危險海況條件下進行海氣象觀測任務，可有效增加海洋監測能力，並更豐富的海上資料能提升海氣象預報能力並進一步減少災害損失。本研究旨在開發一套智慧載具海氣象觀測系統，並透過測試驗證其穩定性與準確性，本研究選用智慧船智馭號作為測試平台。本研究開發之資料擷取與分析系統於實驗室測試顯示系統運作穩定，並安裝於測試平台上，並完成三趟港內航行資料接收率達100%，驗證儀器與控制系統正常。本研究進一步進行外海航行測試，船上觀測結果與鄰近浮標資料進行比對驗證，結果顯示多數風、波、水溫和海流等參數變化趨勢相當一致。其中波高、風速與表層水溫等與浮標觀測的相關性達9成以上，波浪週期和表層流速比對之均方根誤差約為0.6秒、0.11 m/s，需進一步探討改善。初步驗證證明系統能穩定蒐集海氣象資料且具可行性，但仍需累積更多觀測資料進行驗證以確保觀測系統之可靠性。

關鍵字：智慧載具、海氣象觀測、RAOs

Abstract

With the advancement of ocean observation technologies, smart unmanned vehicles equipped with autonomous navigation and automated marine meteorological data collection capabilities can perform observation tasks under extreme or hazardous sea conditions. These systems significantly enhance ocean monitoring capacity and provide richer datasets that can improve weather and wave forecasting and reduce disaster-related losses. This study aims to develop a marine meteorological observation system mounted on a smart vehicle and verify its stability and accuracy through systematic testing, using the THETIS Smart Vessel as the testing platform. The data acquisition and analysis system developed in this study demonstrated stable performance during laboratory testing and was subsequently installed on the vessel. Three harbor trial voyages were completed, achieving a 100% data reception rate and confirming the proper operation of the instruments and control systems. Offshore trials were then conducted, and observational data collected onboard were compared with those from nearby buoys. The results showed consistent trends across most parameters, including wind, waves, water temperature, and ocean currents. Correlations for wave height, wind speed, and surface water temperature exceeded 90%. However, root mean square errors for wave period and surface current speed were approximately 0.6 seconds and 0.11 m/s, respectively, indicating areas for further improvement. Preliminary verification confirms that the system is capable of stable and feasible marine meteorological data collection, though additional data and validations are necessary to ensure the long-term reliability of the observation system.

Key words : Smart Unmanned Vehicles, Marine Meteorological Observation, RAOs

運用自製偵查滑翔機載具量測水下聲景技術開發

楊穎堅¹ 鍾育仁² 徐慶瑜² 邱永盛³

¹國立臺灣大學 ²海軍軍官學校 ³國立中山大學

摘要

水下滑翔機是一項革新性的海洋觀測技術，具備高效能、低能耗、長續航、低成本及低碳排放等優勢，逐漸成為海洋資料蒐集的主要工具。隨著全球邁向2050年淨零碳排放目標，水下滑翔機預期將逐步取代高碳排放的傳統船測方式，在未來的海洋觀測中扮演關鍵角色。

相較於傳統調查方式，水下無人載具不僅具備更低的操作成本，亦能進行長時間自主觀測。然而，其運行仍容易受到複雜海洋環境的干擾，在操作與資料穩定性上仍面臨諸多挑戰。水下滑翔機作為其中具代表性的機型，結合機動性與節能特性，正逐步擴展其應用領域。我國亦正積極推動無人機國家隊建置，其中水下無人載具為不可或缺的重要組成，研發工作正快速展開，期望強化國產自主能力。

隨著全球對氣候變遷、環境保護與生態研究的重視提升，水下滑翔機在海洋監測中的角色日益重要。透過搭載水下聽音器，滑翔機能精確監測海洋哺乳動物與魚群活動、艦船噪音污染以及風浪變化，為學術研究與政府決策提供關鍵數據。部分專家更建議，應將海洋聲景（Soundscape）納入海洋監測的基本參數之一。此外，隨著滑翔機深潛能力的提升，能進一步深入深海區域，蒐集多維度的環境資訊，為長期生態監測與海洋變遷研究提供更穩定可靠的支撐。

本文旨在介紹我國自製之水下偵查滑翔機（Indigenous Detection Glider, IDG），其搭載國產水下聽音器模組，進行海洋聲景資料的蒐集與相關技術的開發，其關鍵開發技術包括：耐高壓水密結構設計、低功耗水下聲音偵測模組、系統介面整合、降振減噪機構設計、以及深海緘默滑翔測試等。詳細的設備性能、開發歷程與測試成果，將於研討會中進一步說明。

關鍵字：水下滑翔機、水下聽音器、海洋聲景

以 Landsat-8 衛星海表面溫度觀測臺灣北部發電廠 溫排水變化

歐陽頡 黃世任

國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

摘 要

溫排水不僅會改變出水口附近的海洋物理性質，也可能對生態造成影響。為了解發電廠溫排水的分布情況，本研究使用 Landsat-8 衛星觀測臺灣北部發電廠溫排水的變化，利用分裂視窗法(Split-window algorithm)使用兩個熱紅外波段資料，以及發電廠水溫與富貴角與龍洞浮標測得的海溫作為實測資料推算出海表面溫度並與 Landsat-8 Level 2 表面溫度進行比較。結果顯示以分裂視窗法進行迴歸獲得的海表面溫度演算法推算出的海表面溫度與 Landsat-8 Level 2 表面溫度的結果相近；而與實測資料的相關係數達到 0.9 以上，誤差小於 Landsat-8 Level 2 表面溫度將近 1°C，顯示分裂視窗法在推算海表面溫度可以得到不錯的效果。本研究選擇距離核一廠、核二廠與協和發電廠出水口超過 10 公里的外海作為背景溫度的參考，並使用基隆潮位站的潮汐資料分析 37 幅影像中三間發電廠溫排水的擴散分布，結果表明漲潮時溫排水自出水口排放後會逐漸向岸邊靠近，使得超過 4°C 的區域多集中於沿岸，退潮時溫排水則會被帶往外海，與低溫的海水混合後溫度降低，升溫超過 2°C 的區域往外海擴散。本研究同時根據環境部的放流水標準計算 37 幅影像中溫排水升溫超過 4°C 的最遠距離，結果發現核二廠於 2015 年有 4 幅、2018 年和 2019 年各 1 幅、2021 年有 2 幅及 2022 年有 1 幅，共計 9 幅影像資時間的升溫超過 4°C 的溫排水超過出水口 500 m，最遠距離達 1243 m，協和發電廠則於 2016 年 7 月 29 日與 2018 年 5 月 16 日升溫超過 4°C 的溫排水超過出水口 500 m，最遠距離達 576 m。本研究也對相同潮汐狀態下不同發電量與升溫面積進行比較，發現核二廠於 2016 年 7 月 29 日與 2019 年 4 月 17 日這兩天二號機處於停機，相較於 2015 年 7 月 27 日與 2019 年 11 月 11 日滿載時升溫超過 4°C 的面積分別減少 338400 m² 和 659700 m²，最遠距離減少 563 m 和 670 m；協和發電廠於 2021 年 9 月 13 日一號機和二號機處於除役，與 2016 年 6 月 27 日四部機組滿載時相比升溫超過 2°C 的面積減少 36900 m²，最遠距離減少 298 m，而 2017 年 9 月 18 日與 2019 年 10 月 10 日相差約 13000000 KWH，發現升溫超過 4°C 的面積減少 19800 m²，最遠距離減少 268 m，顯示發電量的變化也會影響溫排水擴散面積的大小。

關鍵詞：Landsat-8、分裂視窗法、海表面溫度、溫排水

潮位站水位資料之基準偏移偵測與改正分析

An Analysis of Datum Shift Detection and Correction in Tide Gauge Data

藍文浩¹ (Lan W.-H.) 郭重言² (Kuo C.-Y.) 廖乃慧³ (Liao N.-H.) 簡振宇² (Chien C.-Y.)

¹國立高雄科技大學 ²國立成功大學 ³中央氣象署海象氣候組

¹National Kaohsiung University of Science and Technology

²National Cheng Kung University

³Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

隨著全球暖化日益加劇，海平面上升已成為全球關注的重大氣候變遷議題。為有效因應海洋環境變遷與極端氣候所帶來的風險，準確掌握海水位變化資訊對於環境監測與災害預警具關鍵性影響。潮位站所提供的長期觀測紀錄，為分析潮汐與海水位變化的重要依據，然其紀錄可能受限於基準偏移（斷點）等因素，導致資料產生系統性誤差，進而影響應用準確性。本研究以中央氣象署設置潮位站之歷史水位資料為基礎，發展一套系統化的基準偏移（斷點）偵測與修正技術處理流程。研究中將應用調和分析法、最佳分段法、Jumps Upon Spectrum and Trend (JUST) 等多種偵測技術，針對不同模擬偏移情境進行測試與比較，建立可行且穩健的基準偏移（斷點）偵測流程，最後結合調和分析與步階函數對模擬資料進行基準偏移（斷點）修正，並對修正後之成果進行量化評估。

關鍵字：潮位站紀錄、基準偏移偵測、基準偏移改正、調和分析法、最佳分段法、JUST

Abstract

As global warming intensifies, sea level rise has become a critical issue in climate change. To effectively address risks posed by marine environmental changes and extreme climate events, accurately understanding sea level variations is essential for environmental monitoring and early warning systems. Long-term tide gauge records provide essential data for analyzing ocean tides and sea level variations; however, these records may be affected by factors such as datum shifts, resulting in systematic errors that subsequently affect their practical applications. This study develops a systematic procedure for detecting and correcting datum shifts, based on historical tide gauge records managed by the Central Weather Administration of Taiwan. Multiple detection techniques, including harmonic analysis, optimal partitioning, and Jumps Upon Spectrum and Trend (JUST), are applied to test and compare various simulated datum shift scenarios, aiming to establish a feasible and robust detection procedure. Finally, we employ harmonic analysis combined with step functions to correct the simulated datum shifts, and quantitatively evaluate the effectiveness of these corrections.

Key words : Tide gauge records, Datum shift detection, Datum shift correction, Harmonic analysis, Optimal partitioning method, JUST

以一階峰寬度進行高頻雷達徑向流速之品質控制

錢樺¹ (Chien H.) 陳冠永¹ (Chen K.-Y.) 鄭安¹ (Cheng A.) 張煥盟¹ (Chan M.-C.)
尤心瑜² (Yu H.-Y.)

¹國立中央大學 ²中央氣象署

摘要

本研究針對高頻地基雷達所觀測之徑向流速進行品質控制，聚焦於一階峰之頻譜寬度作為訊號品質指標。一階峰位置對應海面徑向速度，而其頻譜寬度反映資料是否穩定，並影響徑向流速判讀的正確性。本研究首先建立一套自動化峰寬計算方法，量化頻譜中一階峰之頻寬，並以頻寬閾值作為依據，評估其與資料品質之間的關聯性。進一步比較不同觀測點與時段之峰寬分布特性，結合徑向速度與訊雜比（SNR）進行綜合評估。結果顯示，過寬峰形常與訊雜比偏低、目標散射不穩定或海況複雜性相關，為品質劣化之潛在指標。此外，本研究亦探討當頻譜出現多峰分岔時之選擇準則，避免誤判峰值位置造成速度估計偏差。本研究建立以一階峰寬為核心之品管流程，提升資料可信度，並可擴充應用於異常偵測與自動化資料篩選架構中。

關鍵字：高頻雷達、一階峰、品質控制

運用海嘯浮標預警系統之海床壓力計資料解析南海內孤立波特性

游千霽¹ (Yiu, C.-P.) 楊穎堅^{1,*} (Yang, Y.-J.) 潘琦² (Pan, C.)

¹國立臺灣大學 ²中央氣象署海象氣候組

¹National Taiwan University

²Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

摘 要

本研究利用中央氣象署佈放於南海北部的海嘯浮標預警系統所觀測之高解析度海床壓力計所觀測的資料，解析內孤立波訊號，並探討其特性與變化。該海床壓力計設置於呂宋海峽中部以西約110公里處，當地水深約2800公尺。

資料分析方法分為兩部分：第一部分使用連續小波轉換（Continuous Wavelet Transform, CWT）與希爾伯特-黃轉換（Hilbert-Huang transform, HHT）分析海床壓力計資料，以擷取內孤立波訊號，並將此訊號進行統計已得知其季節性變化。第二部分應用Dubreil-Jacotin-Long（DJL）理論模擬內孤立波的性質。根據歷史水文資料計算密度剖面與可用位能(available potential energy, APE)，計算內孤立波振幅、非線性波速及海床壓力。計算所得之海床壓力變化非常接近觀測數據。此外，計算所得之非線性波速也接近利用向日葵8號衛星影像估算所得之波速。

詳細的分析方法與結果將於研討會中報告。

關鍵字：南海、內孤立波、海嘯浮標預警系統、海床壓力計、向日葵8號衛星影像

利用海洋模式結合衛星反演發展海表葉綠素含量預報作業

劉宜真¹ 劉千義¹ 張育承² 周鑑本²

¹中央研究院環境變遷研究中心 ²中央氣象署科技發展組

摘 要

臺灣四面環海並且位於西北太平洋邊緣海域，然而沿岸區域或海洋船隻對於海表葉綠素濃度的不間斷觀測具有挑戰性，包括觀測資料的空間與時間解析度不足。本研究結合衛星觀測資料與海洋數值模式，整合觀測資料與海洋生地化模式資訊，應用人工智慧技術開發高時空解析度的葉綠素濃度估算模型與可見光輻射傳遞模式，建立即時監測及預測海表葉綠素濃度的模型。

基於向日葵衛星的可見光反射率資料及海洋生地化模式的葉綠素濃度資料，建立葉綠素濃度估算模型，並進行時空匹配與雲遮蔽濾除。葉綠素濃度分佈呈現正偏度，主要集中在0.03至0.1 mg/m³之間，且受季節和海底深度影響，採用深度神經網路來進行建模。考慮到模型在低濃度區域的高估問題，針對低於0.35 mg/m³的低濃度資料建立低濃度葉綠素估算模型，將最佳葉綠素濃度估算模型與低濃度葉綠素估算模型結合，以分別處理低濃度與高濃度區域，從而減少誤差並提高低濃度區域的葉綠素推估準確度，相關係數達0.731。

可見光輻射傳遞模式的開發考慮到反射率隨季節變化，建立月時間尺度的模型，並針對三個可見光頻道分別建立獨立的輻射傳遞模式。為提高模型的準確性，濾除受日映效應干擾區域，並對低日映角度的數據進行修正。結果顯示藍光和綠光頻道的模型表現較佳，相關系數均高於0.85，而紅光頻道表現較差，主要由於該頻道反射率較低且受海洋高吸收影響。輻射傳遞模式提供更完整的海洋監測能力，尤其是在雲遮蔽或日映影響下數據缺失與受污染的情況。

本研究透過衛星觀測、模式資料與人工智慧的深度整合，建構出具有即時性與高解析能力的葉綠素濃度估算模型，未來將結合海洋數值預報模式，對建立具有預測能力的葉綠素濃度預報系統奠定了基礎。

關鍵字：海表葉綠素濃度、深度神經網路、日本向日葵衛星

季風驅動之海洋變遷：臺灣西南部眼眶魚棲息地條件

Monsoon-Driven Oceanographic Variability: Habitat Conditions of Moonfish in Southwestern Taiwan

蕾亞拉¹ (Ray A.), 杉迪邦^{2,3} (Mondal S.), David Mendes⁴, Kennedy Edeye Osuka⁵,
艾碧塔² (Ghosh A.), 李明安^{2,3,6} (Lee M.-A.), 盧光輝² (Lu Q.-H.) Lu,
吳俊宏² (Wu J.-H.), 廖美慧⁸ (Liao M.-H.), 周鑑本⁸ (Chou C.-B.)

¹瑞典農業科學大學水產資源系 ²國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系

³國立臺灣海洋大學海洋中心 ⁴北里奧格蘭德聯邦大學大氣與氣候科學系

⁵利物浦大學地球、海洋與生態科學系 ⁶國立臺灣海洋大學海洋資源與環境變遷博士學位學程

⁷農業部水產試驗所沿海漁業生物研究中心 ⁸中央氣象署科技發展組

¹Department of Aquatic Resources, Swedish University of Agricultural Sciences

²Department of Environmental Biology and Fishery Science, National Taiwan Ocean University

³Center of Excellence for the Oceans, National Taiwan Ocean University

⁴Department of Atmospheric and Climatic Sciences, Federal University of Rio Grande do Norte

⁵Department of Earth, Oceans and Ecological Science, University of Liverpool

⁶Doctoral Degree Program in Ocean Resource and Environmental Changes, National Taiwan Ocean University

⁷Coastal and Offshore Resources Research Centre, Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture

⁸Technology Development Division, Central Weather Administration

摘 要

沿海魚類對季風性海洋環境變化的敏感性，對於永續漁業影響深遠，尤其是在生物多樣性豐富且漁撈壓力大的地區，例如臺灣西南部。眼眶魚（*Mene maculata*）是一種具有生態與經濟重要性的魚種，日益受到季節性海洋動態之影響。本研究利用2014年至2020年間臺灣圍網漁船的漁獲資料，應用泛加法模型（GAM）探討季風對其棲地分布的影響。研究結果顯示，西南季風（SWM）期間眼眶魚分布與葉綠素濃度顯著相關，而在東北季風（NEM）期間則與海表面高度有顯著關聯。雖然棲地面積隨季節變動，但主要漁場穩定分布於北緯21.5°至25°與東經119°至120°之間。NEM期間棲地範圍有所擴張，而在SWM期間則於臺灣淺灘出現西向延伸。此研究結果對眼眶魚季節性棲地動態提供了關鍵見解，有助於資源管理與因應氣候變遷之調適策略的制定。

關鍵字：眼眶魚、泛加法模型、棲地分布、季節變異性、臺灣西南部、太平洋

Abstract

The susceptibility of coastal fish to monsoonal oceanographic alterations significantly affects sustainable fishing, especially in biodiverse and intensively exploited areas such as southwest Taiwan. Moonfish (*Mene maculata*), a species of ecological and commercial importance, is increasingly influenced by seasonal oceanic dynamics. This research examines the monsoonal influence on their habitat distribution using generalized additive models from Taiwanese purse seiner catch data between 2014 and 2020. The findings indicate a significant link between chlorophyll levels and moonfish distribution during the southwest monsoon (SWM), and sea surface height during the northeast monsoon (NEM). Despite seasonal fluctuations in habitat size, the primary fishing area remained consistent within 21.5°–25°N and 119°–120°E. Expanded habitats were noted during NEM, but a westward extension occurred in SWM along the Taiwan Bank. These findings provide critical insights into the seasonal habitat dynamics of moonfish, facilitating resource management and adaptation techniques in response to changing climate conditions.

Key words : *Mene maculata*, generalised additive modeling, habitat distribution, seasonal variability, Southwest Taiwan, Pacific Ocean.

以CWA台東外洋及AF綠島測站數據 研析颱風路徑6對台灣東部之影響性

吳妮恩¹ 王宏璋²、王瑋瞳²
空軍航空技術學院技訓中心戰氣組¹ 空軍氣象聯隊²

摘 要

為提昇海象及颱風之預測能力，中央氣象署、觀光局及經濟部水利署近年於臺灣四周海域新增佈署數個資料浮標，不僅協助預報員更完整掌握颱風環流現況以及未來動向預測，因浮標站位置的水深較深，也提升浮標觀測資料的代表性，大大增加颱風動向預測之準確率。考量可提前24小時掌握這些颱風環流特性並根據近十年通過臺灣附近的颱風路徑統計而設置臺東外洋資料浮標站，浮標觀測系統項目包括兩組風速風向計、一組波浪儀、一組氣壓計及一組全球衛星定位系統、一組氣溫計及兩組水溫計。此外考量東部外洋為黑潮主要影響區域，所以2012年起亦新增一組剖面流速儀。

本次研究針對CWA海象預報中心臺東外洋一座深海浮標資料與A F 綠島觀測資料對於颱風路徑 6 個案風場資料進行分析，藉由風向及風速等氣象要素檢視，做颱風行經路徑對臺灣東部可能造成的致災性影響來做判斷和預警性的防範，以因應颱風路徑與降雨變化的風險，可提前加強颱風來臨前之預警作業，其有效預防風災可能帶來的風險和威脅，爭取緊急應變決策的時效，因應颱風路徑與降雨變化的風險，可提前加強颱風來臨前之預警作業。

中文關鍵字：台東外洋浮標、綠島測站、颱風路徑

提升氣象署水位觀測資料可信度與國際接軌—借鑒 NOAA潮位站管理經驗

Improving the credibility of water level observation data within CWA and aligning it with international standards - drawing on NOAA's experience in tide station management

廖乃慧¹ (Liao N.-H.) 藍文浩² (Lan W.-H.)

¹中央氣象署海象氣候組 ²國立高雄科技大學

¹ Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

² National Kaohsiung University of Science and Technology

摘 要

2022年IHO潮汐、水位資訊技術工作小組修訂M-3決議，強調國際海水位變化監測對氣候變遷理解的重要性，並進一步新增潮位站管理的嚴謹要求。為提升署內潮位資料品質以期接軌國際，該文整合2010年內政部潮位站設置標準先期研究及NOAA近年潮位站規範與交付標準、CO-OPS水位品質視覺化開源套件研究等文獻，提出精進潮位站管理策略、優化品質準確度與效能的參考方針如下。一、初步調整觀測策略以提升資料品質，包含明確標註儀器維護期間的非自然訊號、儲存每6分鐘水位的標準差。二、設施與基準點管理制度化並落實執行，強化管理人員專業知識與嚴謹態度，並以便於查驗的方式詳實留存可供追溯的metadata紀錄。三、推動與建立水位觀測儀器檢校機制，精進水位資料校正、品質、率定能力。

關鍵字：潮位，品質，觀測

Abstract

The IHO Working Group on Tides, Water Level and Currents (TWCWG) revised Resolution M-3 in 2022, emphasizing the importance of international sea level change monitoring for understanding climate change, and further adding stringent requirements for tide station management, particularly concerning the newly proposed resolutions on metadata for tide and tidal stream/current records. To improve the quality of water level data within CWA and align with international standards, this document integrates findings from the 2010 preliminary study on tide station establishment standards by the Ministry of the Interior, recent NOAA tide station specifications and deliverables, and the CO-OPS open-source software research on water level quality control visualization. It proposes the following reference guidelines for enhancing tide station management strategies and optimizing quality control accuracy and efficiency:

1. Adjust initial observation strategies to enhance data quality, including explicitly marking non-natural signals during instrument maintenance periods and storing the standard deviation of 6-minute water levels.
2. Systematize and implement facility and benchmark management, strengthening the professional knowledge and rigorous attitude of management personnel, to meticulously retain traceable metadata records in an auditable manner.
3. Promote and set up instrument calibration mechanisms for water level observation, improving capabilities in water level data correction, quality control, and calibration.

Key words : tide station, sea water level, data quality control, observation

The Deep Space Radiation Probe: Development and Results from a First Lunar Science Payload for Space Environment Studies and Capacity Building

張起維¹ (Chang L.C.) 周宜萱¹ (Chou Y.-H.) 龍潔¹ (Lung C.) 洪梓惟¹ (Hung T.-Z.)
李實斌¹ (Lee S.-P.) 田宇修¹ (Tien Y.-H.) 陳藝¹ (Chen I.) 邱奕中¹ (Chiu Y.-C.)
劉正彥¹ (Liu J.-Y.) 蕭棟元² (Hsiao T.-Y.)

¹國立中央大學 ²國立清華大學

¹National Central University

²National Tsing Hua University

摘 要

低地球軌道（LEO，高度約2000公里以上）之外的區域被歸類為「深太空」，包括中地球軌道（MEO）、同步軌道（GEO），以及地月空間和月球空間。深太空環境對有人和無人太空探索產生了很多挑戰，包括更強的游離輻射通量、更極端的溫度變化，以及有限的數據回傳大小。隨著政府與商業月球任務中共乘酬載飛行機會的增加，未來十年在此環境中設計與實現酬載及其他太空電子系統的能力變得愈加重要。

國立中央大學（NCU）利用商業登月任務供應商日益增長的共乘機會，快速研發完成了台灣首個用於登月小艇的科學酬載，並於2025年1月15日搭乘 ispace 公司之 Hakuto-R Mission 2 的 Resilience 號登月小艇發射升空，並於發射後檢查完成後即開始運作進行科學觀測。該深太空輻射探測儀（Deep Space Radiation Probe, DSRP）在兩次半高離心率的月球擺動軌道、低能量轉換軌道及月球軌道期間，進行了為期五個月的輻射劑量、劑量率與單粒子翻轉率（SEU）的量測。DSRP 酬載由學生團隊開發，並由 ispace 登月小艇團隊的資深工程師提供諮詢與協助。

我們將報告DSRP計畫的目標、操作構想、設計、實現與結果。DSRP所提供的輻射數據涵蓋了高太陽活動期間，其劑量率明顯高於太陽活動低潮期間的任務，任務期間亦包含數次太陽粒子事件、地磁風暴及穿越范艾倫輻射帶。這些數據將有助於未來深太空罕句航電系統以及載人任務的發展，同時也建立了國立中央大學於深太空載具與酬載開發方面的能力。該酬載亦根據從 Hakuto-R M2 飛行中獲得的經驗教訓，進行精進與改良，以應用於未來的太空任務。

關鍵字：游離輻射、太空環境、輻射帶、宇宙射線、太陽粒子事件、單粒子事件

Abstract

Regions outside of Low Earth Orbit (LEO, altitudes above approximately 2000 km) are classified as “deep space”, including Medium Earth Orbit (MEO), geostationary orbit (GEO), as well as cislunar and lunar space. The deep space environment poses many challenges for human and robotic exploration, including stronger ionizing radiation fluxes, more extreme temperature variations, as well as limited data downlink volume. With the growth of the rideshare and hosted payload model aboard government and commercial lunar missions, developing the capacity to design and implement payloads and other space avionics for this environment is of increased importance this decade. Utilizing one of the growing number of rideshare opportunities offered by commercial lunar mission providers, National Central University (NCU) has completed the rapid development of Taiwan’s first scientific payload for lunar lander use, which was launched aboard the Hakuto-R Mission 2 (M2) *Resilience* lander from ispace,

inc. on January 15, 2025, immediately commencing operations following post launch checkout. This Deep Space Radiation Probe (DSRP) provided 5 months of measurements of radiation dose, dose rate, and single event upset (SEU) rate during two and a half lunar swing by orbits, the low energy lunar transfer transit, and in lunar orbit. DSRP was developed by a student team, in consultation with experienced engineers from the ispace lunar lander team. We report on the objectives, concept of operation, design, implementation, and results of the DSRP project. The radiation data provided by DSRP covers a period of high solar activity, with dose rates considerably higher than on missions during lower solar activity, including several solar particle events, geomagnetic storms, and transit through the Van Allen radiation belts. The data will be beneficial for the development of future deep space spacecraft avionics, as well as crewed missions, and has also served to build the capacity for deep space spacecraft and payload development at NCU. The payload itself is also being modified for future missions based on lessons learned from the Hakuto-R M2 flight.

Key words : Ionizing radiation, space environment, radiation belts, galactic cosmic rays, solar energetic particles, single event effects.

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會 39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

太空天氣對衛星操作的影響 Effects of Space Weather on Satellite Operations

黃成勇¹ (Huang C.-Y.), 李奕德¹ (Lee I.-Te.), 陳朝焱 (Chen C.-Y.), 葉文豪 (Yen W.-H.)

¹國家太空中心

¹Taiwan Space Agency

2

摘 要

在2023年至2025出之間為最近太陽活動的極大期，高能量粒子增加除了會導致衛星發生單粒子翻轉（Single-event upset，SEU）事件的機率增加外，太陽輻射的增加亦會加熱地球大氣的中性大氣分子，導致衛星高度上的中性大氣密度增加，增加的中性大氣密度，甚至會比太陽寧靜期大十倍左右。空氣阻力的增加會降低衛星的高度並縮短衛星在太空中的停留時間。在此篇報告中，將展示太空天氣如何影響我們衛星的操作，以及我們如何調整衛星高度，以發揮衛星的最大效益，獲得最多的大氣和電離層觀測資料。

福衛七號衛星配載了前後兩個GNSS天線用以追蹤GNSS訊號，以獲得近即時，精確度達5毫米以下的精密軌道。拜於此精密的軌道，我們可以從衛星的軌道變化，推導出衛星軌道上的中性大氣密度。這些資訊將有助於未來的太空天氣預報和衛星任務規劃。

關鍵字：福衛七號，衛星，太空天氣，空氣阻力

Abstract

The period from 2023 to 2025 marks the recent solar activity maximum. In addition to the increase in high-energy particles that will cause SEU events on satellites, the increased solar radiation will also heat the Earth's medium atmosphere, causing the density of the neutral atmosphere at the altitude of the satellite to increase by one order. Increased air resistance will reduce the satellite's altitude and shorten the time it stays in space. Here, we will demonstrate how space weather affects satellite operations and how we maneuver satellites, in order to maximize the satellite's effectiveness to get more observation for atmosphere and ionosphere.

The FORMOSAT-7 satellite uses two antennas to track GNSS signals to achieve precise orbit determination with an accuracy of less than 5 mm. Thanks to this accuracy, we can deduce the neutral atmospheric density on the satellite orbit from the orbital changes. This information will aid in future space weather forecasts and satellite program planning.

Key words : FORMOSAT-7, Space weather, Air drag

交通部中央氣象署 114 年第三十九屆天氣分析與預報研討會

– 中英雙語摘要格式說明 –

摘要內之字體大小說明如下 (請參閱所附範例)

中文字體請採用新細明體，英文字體採用 **“Times New Roman”**字體。用字大小以中文視窗WORD為例：

中文	English
(一) 題目 : 16 點加黑	1. title : 14 points, <u>bold</u>
(二) 作者及單位 : 10 點加黑	2. Author(s) and affiliation(s) : 10 points, <u>bold</u>
(三) 段名 : 14 點加黑	3. paragraph heading : 12 points <u>bold</u>
(四) 內容 : 10 點	4. other : 10 points
(五) 紙式:A4(1頁50列,2欄/列,22字/欄)	5. size :A4(60 rows × 2 col./page)
(六) 範圍:A4紙張左,右及上方各空2公分	6.scope:2cm left from edge on right, left, and top

利用福爾摩沙衛星七號軌道衰減評估太空天氣影響

李奕德¹ 黃成勇¹

¹國家太空中心衛星操控組

摘 要

2022年美國SpaceX公司的星鏈(Starlink)任務再一次發射過程中，因為遇上了一場相對較弱的磁暴事件，導致正在部屬的49顆衛星中損失多達的38顆。在此事件之後，太空天氣變化對於高層大氣的中性密度升高，以及此一現象對於人造衛星運作和操控的影響再度受到關注。然而，由於當時大多數人造衛星所運行的軌道高度都比星鏈衛星高上許多，因此國際上並沒有再有類似報告。而在2024年5月，一場異常強烈且長延時的磁暴事件，引發了許多衛星在短時間內出現軌道衰減的現象，這也為評估空氣阻力對於衛星軌道的影響提供了寶貴的機會。為了避免使用單一衛星分析時，軌道衰減的變化可能會受到其他外力的影響。因此選定使用福爾摩沙衛星七號的六顆衛星進行分析，以呈現總體的軌道高度變化及與太空環境變化的關係。分析2024年全年由台灣資料分析中心(TACC)所提供的福七軌道資料，結果顯示在太陽活動相對較低和地磁擾動較為平靜條件下，福七軌道的日衰減率約為每天40至60公尺，且各衛星之間有著交錯波動的變化。但當有顯著的地磁擾動發生時，軌道在一日內能夠額外衰減下降100至150公尺，且6顆衛星的反應相當一致。另外，透過熱氣層與電離層耦合數值模型所模擬的熱氣層中性大氣密度顯示，在磁暴發生期間的中性大氣密度會較寧靜時期增加120到290%。最後，本研究嘗試利用福七任務的精確軌道變化來初步推算沿軌道的中性大氣密度，反演結果與數值模擬的趨勢基本一致，但反演後的中性大氣密度甚至相較於模式有更顯著的增強現象，尤其是在2024年5月的磁暴事件期間。這項研究展示了衛星星系用來研究太空天氣事件對於衛星操控影響的實用性，也初步展示了衛星精確軌道用於反演大氣密度變化中的可能性。

關鍵字：福衛七號、軌道衰減、太空天氣、大氣遲滯

Keyword：FORMOSAT-7, orbital decay, space weather, air drag

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會 39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

臺灣太陽無線電波觀測概況與事件分析

楊雅惠^{1,2} 黃教禮¹ 洪庭萱¹ 蕭惠文³

¹國立中央大學太空科學與工程學系

²國立中央大學太空科學與科技研究中心 ³中央氣象署數值資訊組

摘 要

無線電波觀測是監測太空天氣事件的主要方式之一，也是診斷太陽活動的重要工具之一，尤其能夠針對太陽閃焰(Solar Flare)、日冕物質拋射(Coronal Mass ejection, CME)等太陽風暴、以及太陽活躍區小尺度能量釋放所產生的無線電波訊號進行觀測與分析。在涵蓋全波段電磁波的太陽輻射當中，由於地球大氣層與電離層對無線電波具有吸收或反射的效應，使得地面觀測可偵測的太陽無線電訊號頻率範圍約落在10 MHz至300 GHz之間。在此範圍內，可以觀測到不同種類的太陽無線電波爆(Solar Radio Bursts, SRBs)訊號，其持續時間從數秒到數小時不等，分別可對應於不同類型的太陽風暴或其他暫態事件。透過分析太陽無線電波爆訊號的特徵，將有助於深入了解太陽爆發事件的性質及其潛在影響。

本報告將簡介目前臺灣e-Callisto (Compound Astronomical Low frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory)太陽無線電波中央大學觀測站的建置與運作情形，該站於2022年1月建置，自2023年7月起正式展開每日12小時的常規觀測。此外，本報告也將進一步探討該站所觀測到的太陽無線電爆訊號特性，並呈現對應的太陽爆發事件初步分析結果。

關鍵字：地面太陽無線電波觀測、太陽無線電波爆、太陽風暴

結合神經網路與全天影像之低緯度即時電漿泡偵測

A Real-Time Plasma Bubble Detection Method Combining Neural Networks and All-Sky Imaging at low-latitude region

蕭棟元¹ (Hsiao T.-Y.)

¹國立清華大學

¹National Tsing Hua University

摘要

赤道電漿泡 (EPBs) 是一種大規模的電離層不規則體，對以衛星為基礎的通訊、導航與監測系統構成重大威脅。此種由赤道 F 區於日落後產生的不穩定性所引發的電漿密度空乏現象，會導致穿電離層訊號發生閃爍與衰減。為滿足對此類擾動的即時監測需求，本研究提出一種基於深度學習的方法，利用全天氣輝影像對 EPBs 進行自動化且近乎即時的偵測。我們開發了一套卷積神經網路 (CNN)，並使用由地面全天影像儀 (ASI) 所收集的 630.0 nm 氣輝資料生成的偏差影像對其進行訓練。此網路的設計旨在區分電漿泡結構與背景輻射，從而實現無須人工標記或後期處理的像素級辨識。我們建立了一個包含已標記 EPB 事件的資料集用於訓練與驗證，其中涵蓋了多種夜間條件及地球物理環境，以確保模型的泛化能力。與以往依賴人工特徵、閾值法或離線處理流程的研究不同，我們的方法能直接在處理後的 ASI 資料流上進行高速推論。在低緯度 ASI 觀測站的評估顯示，該模型在偵測 EPBs 方面達到了高精確率與高召回率，且平均推論時間足以滿足即時應用的需求。此系統不僅提供二元偵測結果，更能對 EPB 區域進行空間定位，為未來整合至太空天氣即時預報與警報系統提供了即時增側的工具。

關鍵字：電離層電漿泡，太空天氣

Abstract

Equatorial plasma bubbles (EPBs) are large-scale ionospheric irregularities that pose significant threats to satellite-based communication, navigation, and surveillance systems. These depletions in plasma density, triggered by post-sunset instabilities in the equatorial F-region, lead to trans-ionospheric signal scintillation and degradation. To address the need for real-time monitoring of such disturbances, this study proposes a deep learning-based method for the automatic and near-instantaneous detection of EPBs using all-sky airglow imagery. We develop a convolutional neural network (CNN) trained on deviation images generated from 630.0nm airglow data collected by a ground-based all-sky imager (ASI). The network is designed to distinguish plasma bubble structures from background emissions, enabling pixel-level identification without manual labeling or post-processing. A dataset of labeled EPB events was constructed for training and validation, incorporating various nighttime conditions and geophysical environments to ensure generalizability. Unlike previous studies that relied on handcrafted features, thresholding, or offline pipelines, our method enables high-speed inference directly on processed ASI data streams. Evaluation at a low-latitude ASI observatory shows that the model achieves high precision and recall in detecting EPBs, with average inference time suitable for real-time applications. The system provides not only binary detection but also spatial localization of EPB regions, offering a valuable tool for integration into future space weather nowcasting and alert systems. This work represents an important advancement toward operational, automated EPB monitoring using

optical remote sensing and deep learning techniques. It also lays the foundation for expanding into multi-instrument integration for improved situational awareness of ionospheric conditions affecting GNSS and communication reliability.

Keywords: plasma bubble, equatorial ionosphere, all-sky imager, convolutional neural network, airglow, real-time detection, GNSS scintillation, space weather

交通部中央氣象署 114 年第三十九屆天氣分析與預報研討會 – 中英雙語摘要格式說明 –

摘要內之字體大小說明如下 (請參閱所附範例)

中文字體請採用新細明體，英文字體採用 **“Times New Roman”**字體。用字大小以中文視窗WORD為例：

- | 中文 | English |
|-----------------------------|--|
| (一) 題目 : 16 點加黑 | 1. title : 14 points, <u>bold</u> |
| (二) 作者及單位 : 10 點加黑 | 2. Author(s) and affiliation(s) : 10 points, <u>bold</u> |
| (三) 段名 : 14 點加黑 | 3. paragraph heading : 12 points <u>bold</u> |
| (四) 內容 : 10 點 | 4. other : 10 points |
| (五) 紙式:A4(1頁50列,2欄/列,22字/欄) | 5. size :A4(60 rows × 2 col./page) |
| (六) 範圍:A4紙張左,右及上方各空2公分 | 6.scope:2cm left from edge on right, left, and top |

影像學方法在日冕物質拋射速度分析上的應用

柯景元¹ 游鎮宇¹ 謝章眉¹ 李柏翰² 蕭惠文² 蔡禹明¹

¹臺北天文氣象站 ²太空天氣作業辦公室

摘要

日冕物質拋射（Coronal Mass Ejection, CME）是太陽活動中最劇烈的現象之一，當太陽表面的磁場結構突然重組時，會釋放大量高速運動的電漿，拋射至太空中。若這些物質正好朝向地球，可能在約1至3天內抵達近地太空環境，並擾動地球磁場，引發地球磁暴等太空天氣現象。

為提升預報準確性，中央氣象署利用美國太空天氣預報中心（Space Weather Prediction Center, SWPC）開發的日冕物質拋射分析工具（CME Analysis Tool, CAT），透過對日冕儀影像的影像學分析，能有效推算CME的速度、方向及抵達時間，為近地太空環境提供更即時的預警資訊。

本研究的目標是針對如去年母親節及今年復活節等由日冕物質拋射（CME）引發、對地球造成較大影響的磁暴事件進行分析。目前也正開發解析度更高的GOES-19/CCOR-1 儀器，作為未來日冕物質拋射分析的重要工具之一。

關鍵字：太空天氣、日冕物質拋射、磁暴

2024 年母親節磁暴期間觀測之大規模電離層電漿匱乏

吳宗祐¹, 劉正彥^{1,2,3}, 林其彥^{1,2}, 趙吉光^{1,2,3}, 高子勛⁴, 李柏翰⁵

¹中央大學太空科學與科技研究中心

²中央大學太空科學與工程學系

³中央大學太空及遙測研究中心

⁴Ann and H.J. Smead Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado Boulder, CO, USA

⁵中央氣象署

本研究利用福爾摩沙衛星五號 (FORMOSAT-5, F5) 搭載的先進電離層探測儀 (Advanced Ionospheric Probe, AIP) 與福爾摩沙衛星七號 (FORMOSAT-7/COSMIC-2, F7C2) 搭載的離子速度儀 (Ion Velocity Meter, IVM) 所測量的離子密度與速度，以及全球電離層規範 (Global Ionospheric Specification, GIS) 同化的電子密度，研究 2024 年 5 月 10 日母親節磁暴期間的電離層電漿結構。F5/AIP 和 F7C2/IVM 觀測到大西洋地區磁赤道周圍出現大規模離子洞，最低離子密度分別為 $1.7 \times 10^4 \text{ #/cm}^3$ 與 $1.6 \times 10^3 \text{ #/cm}^3$ 。在空洞區域，F5/AIP 和 F7C2/IVM 分別在 720 公里高度和 550 公里高度觀測到向上與向下的離子速度，同時全球電離層規範 (global ionospheric specification, GIS) 顯示電子密度廓線在 440 km 與 760 km 出現峰值，此雙峰結構表明向上和向下的離子速度至關重要。

關鍵字: 電離層電漿洞、母親節磁暴

利用 GNSS 斜向全電子含量觀測修正 BURSTT 計畫 之電波天文測位

Using GNSS Slant TEC Measurement In Radio Astrometry Correction for BURSTT

林凱揚¹ (Lin K.-Y.); 林方捷² (Lin F.-J.); Daniel Bakers¹

¹中央研究院天文及天文物理研究所 ²台灣大學物理研究所

¹Academia Sinica, Institute of Astronomy and Astrophysics

²National Taiwan University, Institute of Physics

摘 要

BURSTT 是一項在台灣進行的電波天文實驗，旨在偵測來自遙遠星系未知來源的毫秒級電波爆（快速電波爆，FRBs）。除了偵測 FRBs 之外，BURSTT 的另一目標是辨識每一道 FRB 的母星系。這項工作透過比較電波爆在數百到數千公里範圍內不同觀測站的抵達時間來達成。傳統上，大氣層效應的校正是藉由參照鄰近已知目標來進行。然而，由於 FRB 的出現方向與時間都難以預測，因此要進行精確的天文定位校正並不容易。另一方面，全球導航衛星系統（GNSS）衛星已持續對電離層延遲進行測繪。本研究探討了一項新構想：利用指向個別衛星的斜向全電子含量（slant TEC）測量，來修正電波觀測的誤差。我們將呈現初步結果與這項方法的限制。

關鍵字：電波天文學，電離層，全電子含量，快速電波爆

Abstract

BURSTT is a radio experiment in Taiwan looking to detect millisecond bursts in radio frequency (Fast Radio Bursts, FRBs) that originates from unknown sources located in distant galaxies. In addition to detecting the FRBs, BURSTT also aims to identify the host galaxy of each FRB. This is achieved by comparing the arrival time of the burst to a series of stations that are 100s to 1000s kilometers apart. Conventionally, the effect of atmosphere is calibrated by referencing the observation to a nearby known target. However, since FRB is unpredictable in direction and time, adequate astrometry calibration is non-trivial. On the other hand, the GNSS satellites already maps the ionospheric delays all the time. In this study, we explore the concept of employing the slant TEC measurements toward individual satellites in the correction of radio observations. Initial results and limitations will be presented.

Key words : radio astronomy, ionosphere, total electron content, fast radio burst

NavPod 電離層觀測網建置與嘉義夏季觀測資料分析

陳玟君¹、陳奕廷¹、施重宇¹、林映岑¹

¹國立中央大學

摘 要

GNSS 訊號穿透大氣層時，容易受到電離層擾動影響，導致接收訊號強度急遽變化，亦即電離層閃爍現象，導致訊號延遲、定位精度下降、甚至訊號脫鎖等問題。因此，我們採用自行開發的 NavPod GNSS 接收機，其低成本及便攜等特色有益於觀測網的快速建立與維護。於 2025 年夏季，我們於嘉義架設的觀測網包含五台 NavPod 接收機，接收機分布於直徑六公里內，為電離層監測提供高空間解析的觀測資料。透過分析 NavPod 間收到的訊號差異，並根據訊號延遲及傳播的理論模型，反演電離層擾動漂移方向與速度。

透過資料同化分析 2024 日全食造成之全電子含量下降所需的最少地面站數量

陳奕廷¹、林映岑¹

¹國立中央大學太空科學與工程學系

摘要

在 2024 年 4 月 8 日，美國本土發生了日全食，月球本影區的軌跡穿越了整個北美洲大陸的東半部，整個事件持續了大約兩個小時。日全食對電離層產生的影響是很劇烈的，因為月球對太陽的遮蔽，導致了電離層輻射和光離化反應的驟減，導致電子濃度產生顯著的下降。

得益於美國本土密集的 GNSS 地面接收站分布，日全食所造成的電離層擾動只須通過簡單的濾波器就可以明顯的呈現。但並不是所有的區域都能有同等密集的地面站分布，因此本論文將以資料同化的方式，以 CODEGIM 作為背景，使用不同數量 NOAA CORS 基站提供的 GPS-TEC 資料來對 2024 日全食所造成之全電子含量下降的現象進行還原，並從中找出能夠完整呈現日全食事件所需要的最小地面站數量。

台灣宇宙電波爆廣角監測實驗 衛星導航觀測、全電子含量 與毫秒電波爆長基線定位分析測試案例研究

金升光¹ (King S.-K.) 林凱揚¹ (Lin K.-Y.)

¹中央研究院天文及天文物理研究所

摘要

快速電波爆 (Fast Radio Bursts; FRB) 是來自宇宙深處的高能量電波爆發，持續時間通常僅有幾個毫秒。自2007年首次發現以來，僅有少數的FRB被觀測到重覆爆發現象；不但難以確認一般FRB的起源，也很難進一步研究它們本身的天文物理特性。透過「台灣宇宙電波爆廣角監測實驗」(Bustling Universe Radio Survey Telescope in Taiwan; BURSTT) 建置小型的電波天線陣列，同時監測較大面積的天區，以主站與次站相距100公里甚至上千公里的長基線，可對未知的毫秒電波源進行精準的定位及後續研究。然而，在BURSTT計畫所監測的UHF超高頻波段信號，容易受到電離層及電漿層電子含量的影響，在基線兩端可能產生不同的額外延遲，導致定位的誤差。如何藉由全球衛星導航系統GNSS的觀測數據，加上其他觀測和理論推估所得出的全電子含量，來修正並評估可能的系統偏差和誤差大小，是一個關鍵的問題。本文著重於比較來自氣象署的臺灣區域電離層全電子含量二維投影、台灣科學資料處理中心 (Taiwan Analysis Center for COSMIC; TACC) 福衛七號及地面站資料同化之全球電子密度三維分布 (TROPIS/GIS)、美國噴射推進實驗室研究級的全球電子含量圖JPLD等不同產品，與BURSTT設置的GNSS接收機數據，在某特定時間，例如，(UTC) 2024年10月23日的測報推估。並進一步探討BURSTT計畫如何精進毫秒電波源定位分析及校準。

關鍵字：快速電波爆、全電子含量、電離層、衛星導航、台灣宇宙電波爆廣角監測實驗

Beyond Stationarity: Can ML Decipher Future North Atlantic Behaviour in a Warming Climate?

Iaona Colfescu

School of Earth and Environmental Sciences, University of St Andrews

Abstract

As the climate system evolves, the assumption of stationarity in dominant modes of variability like the North Atlantic Oscillation (NAO) is increasingly questioned. This study leverages machine learning (ML) predictions and interpretable ML to assess whether historical relationships between NAO drivers (e.g., SSTs) remain predictive under future forcing (SSP3.7.0). We train ML models in a 'perfect model' framework using large ensembles of initial conditions (for example, large ensembles of UK-ESM) to explicitly account for internal variability. By evaluating the performance of the model among the members of the ensemble, we quantify how internal variability influences the predictability of the NAO and whether its role changes under future forcing. Strong generalisability across ensembles would suggest robust physical mechanisms insensitive to internal noise, while degradation may signal nonstationarities (e.g., emerging teleconnections from Arctic amplification or jet stream shifts). By integrating interpretable AI (gradient-based maps) with a large-ensemble diagnostics, this work bridges data-driven and dynamical perspectives, offering a novel pathway to detect climate change impacts on atmospheric variability. Our approach highlights how ML can identify emergent patterns masked by internal variability, providing information for climate modelling and predictability studies.

Seasonal Transition – Spring, Autumn, and Seasonal Prediction

John Chien-Han Tseng
Central Weather Administration

Abstract

Isentropic potential vorticity (IPV) has obvious seasonal changes on the isentropic surface of 340K, with fast propagation rate in winter and slow propagation in summer. The wave propagation slows down in summer, which can be indicated by the length of the PVU=2 contour line retained in the 60-120E region. Correspondingly, the local wave activity (LWA) integrated over the entire troposphere also has obvious signals at 60-120E, indicating that the westerly wind is weakening and the wave transmission is slowing down. During the seasonal transition, such as spring, it can be found that the process of slowing down the fluctuation starts from the pv streamer in the Pacific. That is, Rossby wave breaking begins in the eastern Pacific, causing westerly circulation, and eastward wave propagation begin to be blocked (traffic jammed), and finally become blocked or stationary at 60-120E. The entire change process can be well controlled by IPV at 340K. After the IPV variables are calculated by ISOMAP, the principal components can be trained through neural networks to make seasonal forecasts for 1-3 months.

季節轉換 – 春秋和季節預報

曾建翰

中央氣象署

摘要

等熵位渦 (IPV) 在 340K 的等熵面上有明顯的季節變化，冬季傳播速率快，夏季傳播慢。夏季波動變慢，可由 60-120E 區域滯留的 $PVU=2$ 等值線長度標示出來。相對呼應的是整層對流層積分的 local wave activity，也在 60-120E 有明顯訊號，標示西風減弱，波動傳遞變慢的訊號。在季節轉換時，如春天，可發現波動變慢的過程是由太平洋上的 pv streamer 開始。也就是東太平洋開始有 Rossby wave breaking，造成西風環流，西風波動開始交通阻塞，最後變成 60-120E 的位置，波動成滯留阻塞。整個變動過程可被 IPV 340K 很好掌握。而 IPV 變數經過 ISOMAP 的計算，主成分可經由神經網路訓練，進行 1-3 個月的季節預報。

機器學習應用於臺灣梅雨季天氣類型分析研究

Weather type clustering and classification for Taiwan's Meiyu season using machine learning methods

徐理寰 (Hsu L.-H.) 林冠伶 (Lin K.-L.) 江宙君 (Chiang C.-C.) 吳宜昭 (Wu Y.-c.)
朱容練 (Chu J.-L.) 于宜強 (Yu Y.-C.)

國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘 要

本研究利用機器學習技術進行臺灣梅雨季天氣類型的聚類與分類研究。資料使用包含1979至2023年東亞地區ERA5大氣環流再分析資料、2001年至2022年GPM IMERG降水觀測與TCCIP台灣1公里高解析度降雨資料。本研究首先利用卷積神經網路自編碼器深度學習演算法(CNN-Autoencoder)建立了萃取資料潛在特徵的模組，進而再對這些潛在特徵進行無監督聚類與監督式分類研究。聚類分析結果可辨識出八種與台灣降雨變化相關的綜觀尺度天氣型態：強鋒面(IF)、中等鋒面(MF)、西南氣流(SW)、南風(S)、南海氣旋環流(CC-SCS)、偏南西南氣流(SS-SW)、東海鋒面(F-ECS)以及副熱帶高壓主導型(SH)。在監督式分類研究方面，使用CNN-Autoencoder萃取出之潛在特徵與聚類得到的天氣類型標籤，共建構出五種基本機器學習分類器，以及一個集成投票分類器(EVC)。該EVC透過投票機制整合五個獨立訓練之分類器的預測結果，來獲得最終的天氣類型分類判斷。校驗結果顯示，採用軟投票機制的EVC表現最佳，在所有天氣類型中平均準確率與F1分數皆可超過0.9。藉由結合高解析度的在地降雨資料與綜觀尺度大氣環流，本研究架構可精確辨識與台灣降水相關的天氣類型，展現出量化天氣類型歷史年際變異性與評估長期模式天氣類型預報效能上的高度潛力。

關鍵字：臺灣梅雨、機器學習聚類分析、天氣類型分類

Abstract

This study investigates Taiwan's Meiyu season using machine learning techniques, focusing on weather type clustering and classification. We analyze the ERA5 circulation data from 1979 to 2023, and GPM IMERG precipitation and TCCIP Taiwan rainfall from 2001 to 2022. A CNN-Autoencoder is employed to extract latent features, followed by unsupervised clustering and supervised classification. The results identify eight synoptic-scale weather patterns linked to varying rainfall over Taiwan: intense fronts (IF), moderate fronts (MF), southwesterly (SW), southerly (S), cyclonic circulation over the South China Sea (CC-SCS), southward-shifted southwesterly (SS-SW), fronts over the East China Sea (F-ECS), and subtropical high dominant (SH). Five machine learning classifiers and one ensemble voting classifier (EVC) are developed using the extracted features and weather type labels. The EVC integrates predictions from the five classifiers via a voting mechanism to determine the final classification. The soft voting EVC achieves the highest average accuracy and F1 score, both exceeding 0.9 across all types. By integrating high-resolution local rainfall with synoptic-scale circulation, the framework enables precise classification of Taiwan's precipitation-related weather types. This study shows strong potential for analyzing historical interannual variability and evaluating long-term model performance across synoptic regimes.

Key words: Meiyu season, Machine learning clustering, Weather type classification

中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會 39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

GenCast 系集天氣預報模型之初步測試 – 以 2024 凱米颱風路徑預報為例

凌文海 (Ling W.-H.) 劉正欽 (Liu C.-C.) 陳郁涵 (Chen Y.-H.)
連國淵 (Lien G.-Y.) 楊榮瑜 (Yang R.-Y.) 陳新淦 (Chen S.-G.)

中央氣象署科技發展組
Technology Development Division, Central Weather Administration

摘 要

近年來，人工智慧與機器學習技術 (AI/ML) 逐漸應用於全球尺度的天氣預報，許多由科技業 (Google, Nvidia 等) 主導發展的 AI 天氣預報模型釋出，包含中央氣象署在內的各國氣象預報機構也逐步導入應用。最初這些 AI 天氣預報模型多為決定性預報模型，2024 年底，Google DeepMind 發布了基於圖神經網絡架構與擴散演算法的系集天氣預報模型 GenCast，其用於全球系集天氣預報，在多個變數與預報時長上表現優於歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 的傳統數值天氣預報 (NWP) 模式之系集預報。本研究於中央氣象署高速運算電腦環境部署 GenCast 模型，以 2024 年凱米颱風的路徑預報進行初步分析。結果顯示，GenCast 模型與 EC IFS 及 NCEP GEFS 傳統 NWP 預報結果相比，對凱米颱風路徑的系集平均預報誤差相對較小，而在預報時長 84 小時後系集離散度較大，顯示良好的颱風路徑系集預報能力。而隨著近期 ECMWF 於 2025 年 7 月公開發布運算效率較高且更適合作業使用之 AIFS ENS 系集 AI 天氣預報模型，其具備與 GenCast 相近的應用面向，未來經評估後可能將以 AIFS ENS 的應用作為主要發展方向。

關鍵字： GenCast, Google DeepMind, 系集AI天氣預報模型

交通部中央氣象署 114 年第三十九屆天氣分析與預報研討會

— 中英雙語摘要格式說明 —

摘要內之字體大小說明如下 (請參閱所附範例)

中文字體請採用新細明體，英文字體採用 **“Times New Roman”**字體。用字大小以中文視窗WORD為例：

中文	English
(一) 題目 : 16 點加黑	1. title : 14 points, <u>bold</u>
(二) 作者及單位 : 10 點加黑	2. Author(s) and affiliation(s) : 10 points, <u>bold</u>
(三) 段名 : 14 點加黑	3. paragraph heading : 12 points <u>bold</u>
(四) 內容 : 10 點	4. other : 10 points
(五) 紙式:A4(1頁50列,2欄/列,22字/欄)	5. size :A4(60 rows × 2 col./page)
(六) 範圍:A4紙張左,右及上方各空2公分	6.scope:2cm left from edge on right, left, and top

以氣象署全球模式系集分析場初始化「AIFS ENS」全球系集機器學習天氣預報模型之預報表現評估

趙子瑩¹ 王志嘉² 蘇胤瑞² 凌文海¹ 劉正欽¹ 連國淵¹
中央氣象署科技發展組¹ 中央氣象署海象氣候組²

摘 要

在傳統數值天氣預報中，系集預報已成為不可或缺的一部分，它能提供比單一決定性預報更完整的資訊，透過呈現預報不確定性，可定量估計天氣事件的機率，並藉以提供更有意義的預報指引。而人工智慧/機器學習(Artificial Intelligence/Machine Learning, AI/ML)於天氣預報模型的發展上，過去2年國際間多方發展之決定性機器學習天氣預報(Machine Learning Weather Prediction, MLWP)模型已取得重大成果，然而，在系集預報模型的發展上才方興未艾。AIFS ENS 是歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 於今年7月剛發布之新一代全球系集 MLWP 模型，作為其決定性 MLWP 預報系統 AIFS (Artificial Intelligence Forecasting System) 的系集版本。AIFS ENS 模型為了將 AIFS 模式引入預報上的不確定性，加入了隨機性 (stochastic) 資訊於預報過程中，並同時引入以公正 CRPS 得分 (almost fair CRPS, afCRPS) 作為其訓練標的，此方法能訓練出具備準確反映預報不確定性能力的隨機性模型。本研究將中央氣象署現有 TGFS 全球數值天氣預報系統中透過系集資料同化方法產生之系集成員分析場與 AIFS ENS 模型介接，作為其系集初始場進行系集預報，評估其預報表現。同時，為評估初始場資料對 AIFS ENS 系集預報表現的影響，將與使用 ECMWF 系集成員分析場初始化 AIFS ENS 系集預報的實驗做整體性的評估比較。

關鍵字：系集預報、人工智慧天氣預報模型

基於深度學習應用於大臺北地區夏季強降水預報之研究

楊榮瑜¹ 凌文海¹ 劉正欽¹ 陳新淦¹

¹中央氣象署科技發展組

摘要

大臺北地區於夏季時常發生強降水事件，可能導致城市淹水、山區土石流等災害，故精確的降水預報已是迫在眉睫的需求。本研究嘗試使用深度學習模型—U-NET++，預測未來二到六小時降水是否超過雨量分級門檻值。此外，強降水資料集有十分嚴重的不平衡問題，本研究也測試多種加權損失函數與多種不平衡學習之策略，以減緩不平衡問題。

初步成果顯示，U-Net++模型表現媲美中央氣象署的對流尺度資料同化系統（3D VAR Radar Data Assimilation system, RWRP）。在以每小時10毫米作為降水門檻值的情況下，預報綜合評估指標CSI（Critical Success Index）與FSS（Fraction Skill Score）均優於RWRP模型2%；而在更嚴格的每小時20毫米門檻值條件下，CSI與FSS亦優於RWRP模型1%。本研究已展現一定的發展潛力，期待未來能為大臺北地區提供更可靠即時的預報成果。

關鍵字：深度學習、不平衡學習、降水預報

WGAN-GP在雷達回波即時預報上的應用

WGAN-GP application on radar reflectivity nowcasting

賴霆翊¹ (Lai T.-Y.) 鍾高陞¹ (Chung K.-S.)

¹國立中央大學大氣科學學系

¹ Department of Atmospheric Sciences, National Central University

摘 要

即時預報(nowcasting)是指0~6小時內的天氣預報，具有高度時間與空間解析度的特性，因此在防災領域應用廣泛。傳統上常使用雷達回波外延技術進行預報，但外延法僅預報對流系統的移動速度，難以掌握對流系統消長趨勢，因此通常30分鐘以上的預報成效開始逐漸明顯下降。本研究利用WGAN-GP深度學習模型並以雷達回波進行訓練，模型使用過去數張雷達影像推估未來對流系統的移動與變化趨勢並生成預報影像。其校驗結果顯示WGAN-GP深度學習模型在多種降雨型態皆較外延法有能力掌握天氣系統消長的趨勢。

關鍵字：即時預報、深度學習、WGAN-GP

基於時空圖卷積網路重建風場氣象場域：針對臺灣風場 評估與規劃的圖深度學習策略

Spatiotemporal Graph Convolutional Reconstruction of Wind Meteorological Fields: A Graph-Deep-Learning Strategy for Wind-Farm Assessment and Planning in Taiwan

鄭至亞^{1,a} (Chih-Ya Cheng) 丁俊瑋^{1,a} (Jun-Wei Ding) 謝依芸^{1,2,*} (I-Yun Lisa Hsieh)

¹ 國立臺灣大學土木工程學系

² 國立臺灣大學化學工程學系

¹ Department of Civil Engineering, National Taiwan University

² Department of Chemical Engineering, National Taiwan University

* ivhsieh@ntu.edu.tw

^a 這些作者為共同第一作者

摘要

隨著臺灣積極推動能源轉型，風場的精準開發日益受到重視，對高解析度氣象資訊的需求亦隨之提升。然而，地面氣象觀測站普遍稀疏且分布不均，導致風場區域內關鍵氣象變數常出現資料缺口，進而限制了風力場址評估的準確性。本研究針對風場開發之實務需求，探討如何在地面測站有限的條件下，有效重建發電廠位置上的關鍵氣象要素。傳統內插方法提供最佳無偏估計，但其僅仰賴地理距離，且建構於靜態統計架構之上，難以捕捉氣象場的空間異質性與時間變動特性。為突破此一限制，本研究提出一套以時空圖卷積網路（Spatio-Temporal Graph Convolutional Network, ST-GCN）為核心的氣象重建架構，我們引入 100m 解析度數位地表模型（Digital Surface Model, DSM）所提取的地形補丁作為節點靜態屬性，並結合空間圖結構學習與深度時序建模，能有效補足地形異質性訊息，同時捕捉傳統方法難以解析的高頻局地變化與多尺度動態特徵，進一步提升重建精度並克服時間面向的侷限。考量氣象時間序列常具非平穩特性，對時序建模構成挑戰，我們引入變分模態分解法（Variational Mode Decomposition），使模型得以專注學習跨時間尺度的重要訊號特徵。此外，為優化整體架構效能與穩健性，亦整合多目標強化金胡狼優化演算法（Multi-objective Enhanced Golden Jackal Optimization），以搜尋最適超參數與網路結構配置。同時，為了進行風力發電預測，雙向循環神經網路（Bidirectional recurrent neural networks）被用於學習風力資料與發電輪廓的時間相依性，提升對風力變化與發電行為之間關聯性的理解與預測準確度。結果顯示，在多測站逐時交叉驗證下，本研究模型相較於反距離加權法（Inverse distance weighting），能有效降低評估誤差。在風速預測上，方均根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）由 0.5869 m/s 降至 0.3441 m/s，提升約 41.31.47%。決定係數（ R^2 ）由 0.674 提升至 0.893，提升約 32.29.87%。顯示 ST-GCN 架構能有效刻畫氣象場的多尺度時空動態特徵。在臺中電廠風力發電站發電潛力評估方面上，容量因子在 R^2 上由 0.36 提升至 0.57，提升約 58.3%。透過高精度的氣象重建與參數優化策略，本研究所提出的氣象重建方法，不僅可應用於風場開發與風力預測，亦具備擴展性，可應用於其他地區或類似缺乏觀測資料的環境中，為再生能源導入與區域能源治理提供更為精準的數據支持。

關鍵字：氣象資料重建、時空圖卷積神經網路、時序分解演算法、風電場站點推估、超參數優化策略

風力場址規劃：基於深度學習的跨尺度風場超解析模型

Wind Farm Siting: Deep Learning-Based Cross-Scale Super-Resolution Modeling

丁俊瑋¹ (Jun-Wei Ding), 謝依芸^{1,2,*} (I-Yun Lisa Hsieh)

¹國立臺灣大學土木工程學系 ²國立臺灣大學化學工程學系

¹ Department of Civil Engineering, National Taiwan University

² Department of Chemical Engineering, National Taiwan University

* iyhsieh@ntu.edu.tw

摘要

隨著再生能源，特別是風力發電，成為全球能源策略的核心，風力預測模型的準確性對電網穩定性與經濟效率產生關鍵影響。本研究提出一套創新深度學習框架，旨在提升風場資料的空間解析度與預測準確性，進而增強風力發電預測模型的效能。該框架融合高解析度的數值天氣預報（Numerical Weather Prediction, NWP）與低解析度的重分析資料（Reanalysis），重建符合風場規劃與調度需求的高解析度風力場。透過快速傅立葉轉換（Fast Fourier Transform, FFT）與徑向平均功率譜密度（Radially Averaged Power Spectral Density, RAPSD）分析，模型能掌握風場在不同空間尺度下的變異特性，涵蓋自大氣環流至區域性微氣象現象。為有效區分大尺度背景與小尺度結構，我們於空間域中導入均勻濾波器（Uniform Filter），協助模型保留天氣型態整體脈絡之餘，精準捕捉局部細節特徵。核心架構採用生成對抗網路（Generative Adversarial Network, GAN），以學習與重建風場小尺度特徵的統計分布，確保輸出資料具備物理一致性與統計合理性。此外，模型結合隨機性與確定性訓練策略，不僅強化風場細節的多樣性表現，亦維持大尺度結構的連續性與邏輯一致性，實現兼具穩定性與靈活性的風力場重建能力。驗證結果顯示，本模型在風速預測上的均方根誤差（Root Mean Square Error, RMSE）為 1.82 m/s，較基準模型 ERA5 改善了 0.16 m/s。在實際風場應用中，風力發電預測的標準化平均絕對誤差（Normalized Mean Absolute Error, NMAE）為 0.17，預測精度提升 23%，顯著增強了風力專案的可靠性與經濟可行性。本研究不僅推進風場資料建模的技術能力，更提供一套可落地應用的風力預測框架。所提出的深度學習方法展現高度潛力，有望轉變風能的管理與部署模式，為再生能源技術樹立更高的精準標準。

關鍵字: 風場超解析度重建、風場降尺度、多尺度特徵整合、氣象網格化資料、深度學習、風力場址規劃與評估

應用深度學習於颱風強度與中心氣壓估測之研究： 模型發展歷程、模型泛化驗證、在地化調整及自動化作業

廖宣諭¹、蔡宗育¹、陳柏孚²、林憫惠³、周鑑本³、劉豫臻³、蔡政達¹、趙俊傑¹

資拓宏宇國際股份有限公司¹、國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心²

中央氣象署科技發展組³

摘要

颱風強度與位置的準確估測為災害預警與應變的重要基礎。過去全球氣象單位廣泛採用德氏法 (Dvorak Technique, DT; Dvorak 1975, 1984) 與其進階版本 ADT (Advanced Dvorak Technique, Olander and Velden 2007) 進行颱風強度估測，雖具實務效能，惟 ADT 在面對風暴結構不典型 (如雲層遮蔽、眼牆模糊) 時仍易誤判中心位置，導致強度推估偏差；此外，對於極強颱風存在強度飽和現象，難以反映真實增強情形。近年來，隨著深度學習技術的進展，卷積神經網路 (CNN) 已廣泛應用於影像特徵提取，並展現出自動化與高準確性之潛力。

本研究提出一套基於深度學習的颱風強度估測架構，整合多頻道紅外線衛星雲圖影像，以分類模型區分颱風等級 (熱帶性低壓至強烈颱風)，並針對不同強度分別建立回歸模型估算最大風速與中心氣壓。相較於傳統 ADTv9，本研究模型在強烈颱風最大風速估算上有較佳的結果 (RMSE 由 $6.8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 降至 $4.98\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)，優於既有方法；中心氣壓推估誤差 (RMSE 為 10.49hPa)，與 ADTv9 (RMSE 為 10 - 14hPa) 相比，雖然未低於最低值，但仍屬較低誤差。

本研究同時引入「編碼-解碼 (encoder-decoder) 架構」與「注意力機制」提升特徵學習能力，成功提升颱風中心自動定位之準確性，並整合 NNI 工具進行超參數優化，使強度估測誤差進一步降低。為提升模型泛化能力與自動化程度，本研究亦持續加入新年度資料進行模型再訓練，並針對國內防救災應用需求進行在地化調整。

本研究成果證實深度學習方法可有效輔助乃至取代傳統颱風強度估測技術，提供更具客觀性與精確度的判斷依據，對於強化防災預警系統具有重要貢獻。

關鍵字：深度學習，卷積神經網路，氣象衛星遙測，中心定位，強度判定，在地化

衛星遙測雨量深度學習模式：

結合混和專家模型之季節模型整合應用

Deep Learning Model for Satellite Rainfall Estimation: Seasonal Model Integration with Mixture of Experts

蔡宗育¹、彭彥璿²、蔡政達¹、陳雲蘭³、劉豫臻³、方偉庭³
資拓宏宇國際股份有限公司¹、國立政治大學資訊科學系²、
中央氣象署科技發展組³

摘要

利用地球同步衛星資料進行降雨估算，對於短期的極端降水與長期的氣候監測至關重要。本計畫開發的 AIQPE 深度學習模型，專注於提升降雨推估的時空解析度與準確性。2024 年，透過調整輸入變數、優化訓練超參數以及替換損失函數等實驗設計，本計畫成功建立了適用於夏季的降雨估算模型，並在此基礎上進一步建構了冬季推估模型，確立了多季節降雨估算的核心架構。

然而，在實際應用中，各季節模型需根據時序及天氣型態自動切換，以形成全年一致且穩定的作業流程。為解決人工切換模型的操作負擔與潛在錯誤風險，本計畫於 2025 年引入了混和專家模型（Mixture of Experts, MoE）架構。該方法透過門控神經網路自動判斷每個時間點應使用的季節模型，使系統能根據輸入特徵自適應選擇最適合的專家模型，提升整體作業效率與彈性。

初步實驗結果顯示，採用 MoE 架構的模型在不同季節皆能維持穩定且具有一致性的降雨估算表現。相較於單一季節模型或靜態切換策略，MoE 模型展現出更高的泛化能力與操作便利性。本研究的技術架構與評估結果將於本次研討會中報告，期望為衛星降雨估算模型的全年應用提供更完善的解決方案與實務依據。

關鍵字：深度學習，氣象衛星遙測，降雨推估，混和專家模型

Abstract

Geostationary satellite-based precipitation estimation plays a vital role in both short-term extreme rainfall monitoring and long-term climate monitoring. This project developed the AIQPE (AI-based Quantitative Precipitation Estimation) deep learning model to enhance the spatial and temporal resolution and accuracy of rainfall prediction. In 2024, by adjusting input variables, optimizing training hyperparameters, and experimenting with alternative loss functions, we successfully established a summer-specific precipitation estimation model. Building upon this foundation, a corresponding winter model was developed, completing the core framework for multi-seasonal rainfall estimation.

In practical applications, the seasonal models need to switch automatically based on seasonal shifts and weather conditions to support a consistent and reliable year-round operational workflow. To address the limitations of manual

model switching and reduce the risk of operational errors, the project introduced the Mixture of Experts (MoE) architecture in 2025. By employing a gating neural network, the system can automatically determine the appropriate seasonal model for each time point, enabling adaptive model selection based on input features and significantly improving operational efficiency and flexibility.

Preliminary validation results indicate that the MoE-based system maintains consistent and reliable estimation performance across different seasons. Compared to static switching or single-season models, the MoE approach demonstrates superior generalization capability and ease of use. The technical framework and evaluation results of this study will be presented at this conference, aiming to provide a more robust and practical solution for year-round satellite-based precipitation estimation.

Keywords: Deep learning, satellite remote sensing, precipitation estimation, mixture of experts

Enhanced Prediction of Rainfall Kinetic Energy Using GPM DPR Data and Deep Learning Models

Jayalakshmi Janapati¹, Balaji Kumar Seela¹, Pay-Liam Lin^{1,*}

¹Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan.

Abstract

Rainfall kinetic energy (KE) is a critical factor in soil erosion, hydrological modeling, and climate impact assessments. Traditional empirical models often fail to capture the spatiotemporal variability of KE due to their reliance on limited observational data. In this study, we leverage Global Precipitation Measurement (GPM) Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) data to develop a deep learning-based framework for KE prediction. advanced deep-learning networks are employed to extract spatial and temporal features from precipitation profiles. The model is trained and validated using historical JWD simulated GPM parameters data, showing superior accuracy compared to conventional KE estimation methods. Results highlight key atmospheric variables influencing KE distribution and demonstrate the deep learning model's potential for improving rainfall impact assessments. This approach provides a robust tool for hydrological forecasting, erosion modeling, and disaster risk management.

Keywords: GPM DPR, rainfall kinetic energy, deep learning.

利用神經網路模型提升獵風者衛星於高風速條件下之反演能力

GNSS-R Wind Speed Retrieval under High Wind Conditions:

A Neural Network Approach with TRITON

黃贊翰(Zan-Han Huang)¹、蔡世樵(Shih-Chiao Tsai)¹、陳致穎(Chih-Ying Chen)²

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系 ²中央研究院環境變遷研究中心

¹Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University

²Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica

摘 要

臺灣於 2023 年 10 月發射首枚自主氣象衛星「獵風者」(TRITON)，搭載國內研發之全球導航衛星系統反射訊號接收儀(Global Navigation Satellite System-Reflectometry, GNSS-R)，可提供海面風速、平均平方坡度(Mean Square Slope, MSS)與示性波高(Significant Wave Height, SWH)等資料，為全球氣象觀測與預報提供重要支援。GNSS-R 技術具備高即時性且對惡劣天氣具有抗干擾優勢，但在高風速條件下，其風速反演準確度明顯下降。主因為該技術係透過分析反射訊號於不同延遲與都卜勒頻率上的功率分布，建立延遲-都卜勒圖(Delay-Doppler Map, DDM)，並取其反射點附近區域的平均值(DDMA)作為主要反演依據，再建立 DDMA 與海面風速間的地球物理模型函數(Geophysical Model Function, GMF)。然而，當風速過高時，DDMA 對風速的敏感度下降，導致反演不確定性提升。

本研究使用 TRITON 衛星於 2023 年 11 月至 2024 年 9 月期間的 Level 1b 資料，設計五種特徵組合，涵蓋物理、幾何、時空、儀器特性與外部輸入(如 ERA5 與 WRF 提供的 MSS)，並以 ERA5 的 10 公尺風速作為訓練目標，分別訓練前向神經網路(FNN)與長短期記憶模型(LSTM)，再以 CCMP 的 10 公尺風速作為驗證依據，以減少自我參照偏差。

結果顯示，當輸入特徵同時包含 ERA5 的 MSS 與 SWH 時，預測表現最佳，RMSE 僅 1.23 m/s，明顯優於僅使用單一物理、幾何或儀器參數之組合；整體而言，FNN 表現優於 LSTM，而 MSS 為所有輸入中最具決定性的重要特徵。

本研究亦評估 MSS 轉換方法在無即時外部資料條件下的可行性：模型於訓練階段以 ERA5 風速轉換為 MSS，測試階段則改以 WRF 模擬風速轉換 MSS，並搭配 TRITON 所有可用參數進行預測，最終 RMSE 為 1.89 m/s，在高風速條件下與 CCMP 呈現近 1:1 一致性，表現優於 TRITON 原始 GMF 方法(RMSE = 2.820 m/s)與 WRF 模擬結果(RMSE = 1.984 m/s)。

若未納入 MSS 作為輸入，即便結合多項幾何與時空特徵，模型預測結果仍受限於約 8–10 m/s 的上限，顯示 MSS 為提升高風速反演能力的關鍵變數。整體而言，MSS 轉換方法提供了一種實用且準確的替代方案，可望提升 TRITON 衛星於缺乏即時資料情境下的風速反演可靠性與應用潛力。

關鍵字：獵風者衛星, GNSS-R, 海面平均坡度(MSS), ERA5, WRF, 前向神經網路(FNN), 長短期記憶模型(LSTM), CCMP

Can machine learning integrate physical processes to accurately reconstruct satellite-derived sea surface temperature under cloud and cloud-free areas?

Yu-Chien Cheng¹, Chung-Hao Wang^{1,*}, and Chih-Chieh Young^{1,2}

¹*Department of Marine Environmental Informatics, National Taiwan Ocean University, Keelung City 202301, Taiwan*

²*Center of Excellence for Ocean Engineering, National Taiwan Ocean University, Taiwan*

* Email: howardwang@ntou.edu.tw

ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) plays a crucial role in weather patterns, climate systems, and marine ecosystems, as it reflects the energy exchange between the ocean and the atmosphere that regulates the climate. Hence, obtaining continuous, high-quality SST data with broad spatial coverage and long temporal duration is a fundamental requirement for various applications in atmospheric and oceanic sciences, marine resource management, and disaster prevention. With the rapid advancement of remote sensing technology, meteorological satellites have been launched over the past decades to monitor weather activities over the ocean. However, satellite remote sensing with infrared sensors can be affected by interference from atmospheric conditions, particularly cloud cover. Therefore, we proposed a physically-informed machine learning approach to reconstruct daily SSTs in both cloud-covered and cloud-free regions. Following this core concept, we developed the Temporal-Spatial Radial Basis Function Neural Network (TS-RBFNN) and suggested an appropriate model evaluation procedure to address the lack of data in cloudy areas. Overall, the TS-RBFNN showed significantly improved performance in full SST reconstruction; it achieved up to a 60% improvement compared to traditional statistical methods (Data Interpolation Empirical Orthogonal Function).

Keywords: Sea surface temperature, Reconstruction, Satellite observation, Physical process, Machine learning, TS-RBFNN.

運用深度學習框架提升臺灣西部機場能見度預報之研究 Enhancing Visibility Forecasting for Western Taiwan Airports Using Deep Learning Frameworks

莊秀敏¹、蔡宗憲²、宋偉國³

¹ 中原大學 ² 國立臺南藝術大學元宇宙學院

³ 空軍航空技術學院軍事氣象系

¹ Chuang Hsiu-Min, ² Tsai Chung-Hsien, ³ Soong Wei-Kuo

¹ Department of Information and Computer Engineering, Chung Yuan Christian
University

² College of Metaverse, Tainan National University of the Arts

³ Department of Military Meteorology, Airforce Institute of Technology

摘要

本研究針對台南、嘉義、台中等三座臺灣西部機場，蒐集2016年12月至2024年6月共387,672筆氣象資料，分析溫度、濕度、風速、風向、大氣壓力及雲量等因子與能見度的關聯。研究發現台灣西部機場能見度的季節性與日變化規律，冬季（1-2月、12月）能見度最低，早晨（0:00-6:00）尤甚。本研究進一步建構基於LSTM的深度學習模型框架，以提升能見度預報準確性。結果顯示，LSTM模型在MSE、MAE、RMSE等指標表現良好，特別在低能見度事件（如輻射霧、平流霧）中，顯著優於傳統WRF數值模式及客觀預報法。LSTM有效捕捉氣象變量的時空特徵，克服傳統方法在複雜霧事件預測中的系統性偏差，並支援多站點能見度即時預測與歷史趨勢分析，協助機場運作決策。透過本研究，可以發現資料驅動的深度學習方法不僅是對現有預報工具的強力輔助，未來發展可為在地化飛航氣象預報系統提供厚實基礎與技術藍圖。

利用長短期記憶模型提升嘉義地區能見度預測之準確性 Enhancing Visibility Estimation Accuracy in the Chiayi Region Using a Long Short-Term Memory Model

翁語晨¹(Yu-Chen Weng) 蔡世樵¹(Shih-Chiao Tsai) 陳致穎²(Chih-Ying Chen)

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系 ²中央研究院環境變遷研究中心

¹ Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University

² Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica

摘要

嘉義位於臺灣西部嘉南平原，冬季常受輻射冷卻影響，清晨易出現低能見度現象，其發生頻率與持續時間均較其他地區顯著，對飛航安全造成潛在威脅。本研究聚焦於嘉義地區低能見度事件之分析與預報模型建構，目標在提升能見度預測準確性，強化區域航空安全之防護能力。研究內容涵蓋探討氣象與空汙因子對能見度的影響，並比較傳統能見度經驗公式與AI模型在不同預測時距下之表現。觀測資料取自2013至2023年中央氣象署與環境部嘉義測站之逐時氣溫、相對溼度、風速、降雨量、PM2.5與PM10等參數。經相關性分析顯示，氣溫、相對溼度、PM2.5與PM10與能見度相關性較高，故納入作為AI模型之主要輸入特徵參數。

本研究針對2021年1月31日與2月8日兩起能見度驟降事件進行個案分析，兩事件清晨期間皆呈現少雲、風速微弱與濕度高等條件，輔以懸浮微粒堆積，符合典型輻射霧生成機制。進一步評估FSL與SW99等傳統能見度經驗公式的預測表現，顯示其雖能於特定條件下略為提升預測準確度，但整體誤差仍偏高；而基於前述特徵參數建立之多元線性回歸模型，其能見度預測表現為RMSE約5.2公里， R^2 約0.49，具初步應用潛力。接續導入長短期記憶

(LSTM)模型進行深度學習訓練，其中訓練集(90%)與驗證集(10%)資料時間為2013至2020年，測試集則為2021至2023年。結果顯示，LSTM模型能見度預測表現明顯優於經驗公式與回歸模型；當時間步長設定為96小時，在1小時預測時距中表現最佳，RMSE為0.69公里， R^2 為1.0；而當預測時距達12小時，模型仍有RMSE約8.5公里、 R^2 約0.5的表現，展現其在高變異性能見度時序預測上的良好擬合與泛化效果。綜合而言，LSTM模型在特定特徵參數訓練下，對嘉義地區能見度預測之準確性提升具有顯著成效，未來可望藉由進一步優化模型架構，作為區域氣象預報與飛航風險評估之重要工具。

關鍵字：霧、FSL、SW99、多元線性回歸、LSTM

運用全天空影像進行極短時雲預測

鄭詠尹 陳建蒲 王建勛 鄧仁星

中央氣象署海象氣候組

摘要

隨著政府推動提高綠能占比之能源政策，如何穩定地將太陽能發電整合進電網已成為當務之急。尤其在極短時段（小時內）的預測中，如何準確預測短時間內的雲遮現象，並爭取調度時間，以避免太陽輻射量驟降導致輸出功率劇烈波動進而影響電網穩定性，是一項關鍵挑戰。相較於氣象衛星，全天空照相儀能更即時地反映當前的天空狀況，故本研究以全天空照相儀影像為基礎，探索深度學習在連續預測任務中的應用潛力。透過輸入逐分鐘拍攝的連續七張全天空照相影像，以 **Transformer + U-Net** 架構模型預測未來影像，並將預測結果傳回給模型作為下一輪預測的輸入，迭代生成未來的全天空照相影像序列。訓練結果顯示，當雲量較少且邊界清晰時，模型預測的全天空照相影像的雲雖然會缺乏細節，但能有效的預測雲的移動方向，並重現魚眼鏡頭的縮放效果；但於雲層密布或太陽受遮蔽之情境下，模型預測的雲體模糊化會使得遞迴連續預測時難以判別重疊部分的雲邊界特徵，且模型無法預測到整張圖的亮度變化，顯示其於高複雜場景仍存預測盲區。整體而言，本研究為未來利用全天空照相儀進行極短時太陽能預測提供了技術驗證與模型開發之基礎。

深度學習應用於全天空照相儀資料反演地表輻射量

陳建蒲^{1*}，鄭詠尹¹，王建勛¹，鄧仁星²

¹中央氣象署 海象氣候組

*

摘要

在國際能源機構(IEA)「太陽能發電系統計畫-最先進的光伏和太陽能預報」報告中指出，對於太陽能發電量的預報，主要利用包括測量的天氣和光伏(Photovoltaic)系統數據、雲的衛星和全天空圖像觀測，以及構成現代天氣預報基礎的數值天氣預報(NWP)模式等資料。而這些資料的有用性取決於所考慮的預測範圍：非常短期預測(提前0至6小時)在利用全天空圖像觀測時表現最佳，而數值天氣預報模式對預測範圍超過大約6小時變得至關重要。該報告中，對於電力調度及電網安全的發電量預測可分為日內(0至1小時與1至12小時)及日前(2至7天內)預測，其中日內預測是將可變可再生資源整合到電網中的重要組成部分。本研究計畫主要目的即在參考國外文獻的方法，利用深度學習方法建立我國全天空照相儀的全天空圖像資料應用於太陽能發電量日內預報的能力，其首要步驟即是透過深度學習的方法建立全天空照相儀影像資料反演地表輻射量的方法。當全天空照相儀影像預測未來的雲位置技術完善時，即可應用全天空照相儀資料反演地表輻射量方法得出未來極短時間預測的地表輻射量。

關鍵字: 深度學習、全天空影像、地表輻射量

自我監督式深度學習方法應用於溫度檢核機制評估

陳佳莉(Chen C.-L.)¹ 鄭軒安(Cheng K.-A.)¹ 馮智勇(Feng C.-Y.)¹ 劉坤波(Liu K.-P.)²
張博雄(Chang P.-S.)² 蔡立夫(Tsai L.-F.)²

¹多采科技有限公司 ²中央氣象署

摘 要

現行1小時溫度檢核流程中，已設計包含有利用包含空間估計、時序溫差變化量以及相對濕度輔助等檢核機制，但分析顯示此流程仍存在較多誤提列個案的問題。因此，本團隊先前對457個測站各別建立逐時溫度序列的自我監督式(AutoEncoder, AE)檢核模型，並已例行運作中，能有效救回現行檢核流程中95%疑似誤判為異常的個案。然而，亦有部分降雨快速降溫，或是焚風導致快速升溫之正常個案仍被提列異常而誤判。故本團隊分別針對1小時與10分鐘兩種資料，嘗試將溫度序列加入相對濕度資訊，並捨棄測站分別建模的策略，先用2023年全部測站資料建立預訓練模型，並依照2024年測試結果，將高山測站進行遷移學習，目前此通用模式對各測站資料擬合表現良好。

相較之下，現行1分鐘溫度觀測尚無上線作業中的檢核機制，因此本團隊去年使用2022年資料建立194個測站的AE溫度檢核模型，並使用2023年資料測試。隨後於署內機器試運行並檢測2024年1~6月之1分鐘溫度資料，但因輸入資料來源包含已關站溫度記錄，目前正在人工分析與排除關站資料，但仍有大量被提列資料，顯示1分鐘溫度觀測紀錄品質仍有待確認。

關鍵字：溫度檢核、自我監督式

人工智慧技術於機場能見度預報作業之應用

Application of Artificial Intelligence Technology in Airport Visibility Forecasting Operations

郭力瑋(Kuo L.-W.)

民用航空局飛航服務總臺

National Air Navigation and Weather Services, Civil Aviation Administration

摘要

桃園國際機場每年 1 至 3 月易受濃霧影響，導致長時間低能見度天氣。此現象嚴重影響航空管制、簽派作業及機場營運效率，對航管人員、簽派員及機場公司構成極大挑戰。本研究旨在結合人工智慧(AI)模型與桃園機場觀測資料，發展一套客製化 AI 能見度預報模型。此系統預期能提升預報的準確性與精緻度，進而優化航空氣象服務品質，並確保臺北飛航情報區的飛航安全。

本研究採用長短期記憶神經網路(LSTM)機器學習模型，利用 1979 年至 2022 年間 1 至 3 月桃園機場的觀測資料進行訓練。目前已成功建置 6 小時能見度預報模型，其平均預報誤差約為 1500 公尺。透過 2023 年 1 至 3 月的個案分析顯示，模型的誤差一部分源於 LSTM 模型難以精確區分雨及霧對能見度的影響。

比較 2023 年 1 至 3 月桃園機場 LSTM 模型的預報結果與實際觀測資料，並分別以 1600 公尺和 5000 公尺作為低能見度標準。結果顯示，在此兩種標準下，預兆得分分別為 0.29 和 0.3。值得注意的是，能見度低於 1600 公尺的天氣主要集中在 2 月份，該月份的預兆得分分別為 0.27 和 0.4。這進一步證明 LSTM 模型對於濃霧事件（即能見度低於 1600 公尺）造成的能見度變化具有較佳的掌握度。

關鍵字：長短期記憶神經網路、能見度預報、預兆得分

Abstract

Taiwan Taoyuan International Airport (RCTP) frequently experiences prolonged periods of low visibility due to dense fog from January to March each year. This phenomenon significantly impacts air traffic control, dispatch operations, and overall airport efficiency, posing considerable challenges for air traffic controllers, dispatchers, and airport authorities. This study aims to develop a customized AI-driven visibility forecasting model for RCTP by integrating artificial intelligence (AI) models with historical observational data from the airport. This system is expected to enhance the accuracy and precision of visibility forecasts, thereby optimizing aviation meteorological services and ensuring flight safety within the Taipei Flight Information Region.

This research employs a Long Short-Term Memory neural network (LSTM) machine learning model, trained on RCTP observational data collected during the January-March periods from 1979 to 2022. It has successfully established a 6-hour visibility forecasting model, which exhibits an average forecast error of approximately 1500 meters. A case study analysis of the January-March 2023 data indicates that a portion of the model's error stems from the LSTM model's difficulty in precisely distinguishing the effects of rain versus haze on visibility.

Comparing the LSTM model's forecasts with actual observations at RCTP from January to March 2023, using 1600 meters and 5000 meters as low visibility thresholds, the threat scores were found to be 0.29 and 0.3, respectively. Notably, the occurrences of visibility below 1600 meters were predominantly concentrated in February, with threat scores for that month reaching 0.27 and 0.4. This further demonstrates the LSTM model's superior ability to capture visibility changes caused by dense fog events (i.e., visibility below 1600 meters).

Key words : Long Short-Term Memory Neural Network, Visibility Forecasting, Threat

Score

AI天氣模式對2025年丹娜絲颱風路徑分析與研究

曾奕銓¹ 侯昭平¹

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本研究利用Nvidia開發的FourCastNet v2 (FCNV2) AI深度學習天氣模式，針對極端天氣系統之生成與其移動路徑預報能力實施探討。2025年7月5日02時於南海生成之丹娜絲(Danas)颱風，其移動路徑展現出罕見的Z字形特徵，並於7月6日晚間23時左右登陸臺灣嘉義，7月7日06時許於桃園新竹一帶出海，最終於7月8日20時減弱為熱帶低壓。FCNV2選用NECP GFS為初始資料，探討不同初始時間對颱風移動路徑之影響。初步研究結果顯示，模式提前18小時(7月4日08時)預報的移動路徑相當接近實際情況，於7月7日02時颱風中心預報位於臺中外海，實際中心位於臺中，而7月7日08時中心的位置，預報與實際均位於新北市外海。提前42小時(7月3日08時)的颱風路徑預報，則是朝東北方向移動通過臺灣海峽。前66小時(7月2日08時)的預報則與實際有相當大的差距，颱風朝大陸福建一帶移動。透過前18小時預報的綜觀分析場，發現影響丹娜絲颱風移動路徑的關鍵因子為西太平洋副熱帶高壓(West Pacific Subtropical High, WPSH)強弱變化。在850hPa位於日本南方洋面的WPSH，隨時間推移減弱後由大陸東北方高壓脊取代，700至300hPa位於菲律賓東方的WPSH有增強並西伸，黃海的WPSH位置則向北調整，而在850至700hPa南海的西南風未有減弱的情況下，促使颱風7月5日02時起，自南海地區漸次朝向北北東方向移動並登陸臺灣嘉義，後出海移動至東海一帶，7月7日14時WSPH增強將颱風導向至大陸浙江。FCNV2模式對於120年來首次在臺灣嘉義登陸的丹娜絲颱風，成功預測Z字形移動軌跡，說明AI深度學習天氣模式在極端天氣事件的早期預警能力(颱風路徑預報)有一定的可靠度與運用潛力。

關鍵字：FCNV2、丹娜絲颱風、移動路徑、WPSH

氣象署人工智慧衛星估計降水模型成效驗證： 訓練資料品質控管之影響

蔡泳翰^{1,2}, 黃詣軒¹, 劉豫榛¹, 蔡宗育², 陳雲蘭¹

¹中央氣象署科技發展組

²資拓宏宇國際股份有限公司

摘 要

為充分利用同步氣象衛星多頻道觀測資訊以反演地面降水，中央氣象署與資拓公司合作開發了一套強化注意力機制的衛星遙測雨量深度學習模型(代稱 AIQPE)，透過三維卷積層運用多個時段的多個紅外線頻道作為輸入並引入注意力機制反演出估計降水。本報告探討訓練資料品質控管對模型估計表現的影響，採用經測站校正後的地面雷達估計降雨產品(代稱 QPESUMS)作為評估真值，校驗採用完整訓練資料集之模型與採用品質控管後資料訓練出的模型之表現差異，並採用兩個全球衛星降水計畫(Global Precipitation Measurement Mission; GPM)降雨產品(JAXA GSMaP 和 NASA IMERG)作為參考。

關鍵字：降水估計、人工智慧技術、同步衛星遙測雨量

引進AI時間降尺度模組之應用與評估

林涵芳¹ (Lin H.-F.) 馮智勇¹ (Feng C.-Y.) 陳昱璿¹ (Chen Y.-T.) 陳奕翰¹ (Chen Y.-H.)
張惠玲² (Chang H.-L.)

¹多采科技有限公司 ²中央氣象署海象氣候組

摘要

面對現有機器學習天氣預報模型(MLWP)時間解析度不足的問題，例如Google GraphCast與NVIDIA FourCastNet多以逐6小時為推論時距，導致高頻現象無法準確呈現，NVIDIA於2024年推出InterpModAFNO模型，作為解決逐時內插需求的AI時間降尺度模組。本研究引進該模組，並聚焦於12小時間距與AI氣象模式(如AIFS)資料情境下之應用可行性，進行系統性測試與誤差分析，評估其高頻時序重建能力。

本研究擷取模組核心推論架構，使其可接受任意兩時刻作為上下邊界進行逐時內插，透過ERA5測試可成功完成逐時2米溫度推估，並與原始ERA5逐時資料進行誤差比較，初步確認模型推估結果具合理性。進一步探討輸入時間間距擴大至12小時之應用時發現，內插結果於偶數時段(每2小時)仍具穩定品質，而奇數時段較易出現不合理值，顯示模型逐時補全的能力將因時間間距擴大而受限。為深入分析此現象，設計三種實驗方案進行比較：方法一係將12小時間距資料先內插為逐小時，僅取逐2小時時序(T2、T4)，再以T6作為上下邊界進行第二次逐時內插；方法二直接將12小時間距資料內插為逐2時時序，再以T6作為上下邊界進行第二次逐時內插；方法三採傳統線性內插方式產製逐時資料。

在長期誤差評估方面，本研究採用2023年CRA5壓縮格式資料(72個變數)，並搭配ERA5的Total Column Water Vapor(TCWV)，組成InterpModAFNO所需之73個輸入變數進行長期誤差評估。根據normalized RMSE(nRMSE)結果顯示，方法一與方法二在多數變數下均優於方法三，其中又以方法一整體表現最佳，誤差最低，顯示AI內插在多變數與高頻時序預報中具明顯優勢。

此外，亦針對AIFS模式之輸出資料進行內插測試，可順利完成逐時2米溫度推估。整體而言，InterpModAFNO模型於全球尺度、跨變數場與連續時間步長下，皆展現穩定且優於傳統方法之內插品質，具備高度實用性與後續推廣潛力。

關鍵字：時間降尺度、人工智慧、InterpModAFNO

整合臺灣高頻雷達與氣象署觀測資料之比對驗證

錢樺¹ (Chien H.) 陳冠永¹ (Chen K.-Y.) 鄭安¹ (Cheng A.) 張煥盟¹ (Chan M.-C.)
尤心瑜² (Yu H.-Y.) 賴堅戊³ (Lai J.-W.) 李政達⁴ (Lee C.-D.) 李俊穎⁴ (Lee C.-Y.) 林受勳⁴
(Lin S.-S.)

¹國立中央大學 ²中央氣象署 ³國家海洋研究院 ⁴交通部運輸研究所

摘 要

本研究針對臺灣岸基高頻雷達海流觀測資料進行驗證與品質評估。由於臺灣四面環海，精確且可靠的海洋監測對於航安、防災與環境管理至關重要。為評估高頻雷達系統之觀測表現，我們將雷達推算的海流與波浪資料，與中央氣象署提供的浮標實測資料以及歐盟哥白尼海洋環境監測服務（CMEMS）之數值模式資料進行比對。為提升資料可靠性，我們進行空間與時間上的品質控管，藉由排除異常值並平滑時間序列資料。品質控管後，大多數雷達站與浮標資料呈現高度相關性，特別是在顯著波高與流速南北（V）分量、流速東西（U）分量方面，顯示雷達觀測具良好準確性與實用性。然而，仍有部分站點顯示與模型或浮標資料存在差異，顯示需進一步校準與現地系統檢查。本研究最終建立一套標準化且可重製的驗證框架，涵蓋資料前處理、品質門檻設定與統計評估指標。後續將擴展至季節性與極端天氣條件，並開發自動化介面，以支援長期監測與多機關資料整合。

關鍵字：高頻雷達、海流觀測、資料比對、觀測品質評估

應用資料擴增技術於異常浪機率預警系統之研究

A Study on the Application of Data Augmentation Techniques to the Freak Wave Warning System

陳盈智¹ (Chen Y.-C.) 陳威成² (Chen W.-C.) 林芳如³ (Lin F.-J.) 潘琦³ (Pan C.)
蔡政翰⁴ (Tsai C.-H.) 董東璟¹² (Doong D.-J.)

¹國立成功大學近海水文中心 ²國立成功大學水利與海洋工程學系 ³中央氣象署海象氣候組
⁴國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

¹Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

²Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

³Marine Meteorology and Climate Division, Central Weather Administration

⁴Department of Marine, Environmental and Informatics, National Taiwan Ocean University

摘 要

異常浪機率預警系統係以AI方法建立，然而如可應用於訓練與驗證的實際案例數量稀少，則難以進行。為解決此問題，本研究嘗試應用資料擴增方法，當資料案例仍不充足時，仍能完成系統建置。本研究採用三種資料擴增技術進行比較與應用，包含噪聲注入、SMOTE和Mixup等方法。噪聲注入法是透過加入高斯隨機噪聲，模擬真實環境變化，有助於模型提升泛化能力。SMOTE方法透過分析少數類別樣本，利用K近鄰演算法在特徵空間內合成新樣本，達成樣本平衡並強化模型訓練成效。Mixup方法則是將兩個樣本依比例混合，對資料與標籤進行線性插值，產生新的虛擬樣本，有效擴展訓練資料的分布範圍。初步測試結果顯示，三種方法各具優勢，皆能在資料量不足與不平衡情況下，有效提升模型效能與泛化能力。本研究期望透過比較不同擴增方法的成效，尋找最適合瘋狗浪預測模型訓練之技術，作為未來資料建模與實務應用之參考依據。

關鍵字：資料擴增、噪聲注入、SMOTE、Mixup

Abstract

The freak wave warning system is developed using AI methods; however, the freak wave cases available for training and validation poses a challenge to system development. To address this issue, this study explores the application of data augmentation techniques to enable system construction even when case data remain insufficient. Three commonly used data augmentation methods were selected for comparison and implementation: Noise Injection, SMOTE, and Mixup. Noise Injection involves adding Gaussian random noise to simulate variations in real environments, thereby enhancing the model's generalization ability. SMOTE analyzes minority class samples and synthesizes new samples in the feature space using the K-Nearest Neighbors algorithm to achieve class balance and improve model training effectiveness. Mixup generates virtual samples by linearly interpolating between two existing samples and their corresponding labels, effectively expanding the distribution of the training dataset. Preliminary test results show that all three methods offer distinct advantages and can significantly improve model performance and generalization under conditions of limited and imbalanced data. This study aims to identify the most suitable technique for training rogue wave prediction models, providing a methodological foundation for future data modeling and practical applications.

Key words : Data Augmentation 、 Noise Injection 、 SMOTE 、 Mixup

台灣光達觀測網的發展與氣膠、雲監測應用

王悅晨¹ 王聖翔¹ 游智淵²

¹國立中央大學大氣科學系

²環境部大氣司

摘 要

環境部所建置的台灣光達觀測網係以氣膠光達-微脈衝光達(Micro Pulse Lidar, MPL)為主要觀測儀器，進行24小時不間斷大氣垂直氣膠剖面分布連續監測。自2002年於中壢中央大學建置第一座微脈衝光達觀測站以來，陸續於台中西屯、雲林斗六及高雄左營共建置四處固定站並升級設備，中南部各站亦提供自架設迄今的觀測資料。微脈衝光達使用532奈米雷射，以2500赫茲的脈衝，針對氣膠、污染物及雲層進行即時監測。其主要提供參數包括「相對背向散射」(Normalized Relative Backscatter, NRB)與「消偏振比」(Depolarization Ratio)，分別用以反映氣膠相對濃度，及判斷粒子形狀對稱性。透過光達取得的氣膠垂直剖面資料，並結合多次無人機觀測進行交叉驗證，可有效估算大氣邊界層高度，進一步探討地面空氣品質的成因之一，即大氣垂直擴散能力。此外，除了反演邊界層結構外，有研究指出消偏振比亦可用於辨識毛雨發生情況。由於雲層位置在光達回波中呈現明顯的NRB增強，而消偏振比則可進一步區分雲種，如積雲底部因水氣含量高，所呈現的消偏振比數值較低；卷雲則因由冰晶構成，其消偏振比數值相對較高。未來將微脈衝光達應用於雲層觀測上，可望藉由上述特性更深入分析雲底高度及雲類分布情形。

關鍵字：地面遙測, 光達, 氣膠, 雲

全天空照相儀用於測站觀測總雲量之可行性評估

王建勛¹ (Wang C.-H.) 楊時賢² (Yang S.-S.)

¹中央氣象署 ²長榮大學環境資訊研究中心

¹ Central Weather Administration

² Environmental Research and Information Center, Chang Jung Christian University

摘 要

近年來世界氣象組織(WMO)支持和鼓勵測站儀器觀測的自動化，將其視為提升觀測效率、觀測密度和資料品質的重要手段。對於總雲量觀測，中央氣象署自113年起逐步實施自動化觀測作業，至114年底全面停止雲量人工觀測，完全改用衛星來估計總雲量。而本署從110年起執行建構無縫隙氣象服務價值鏈－橋接農、漁、光電領域計畫，逐步建置全天空照相儀，至112年總共於22站署屬有人測站架設全天空照相儀，累積有一定量的觀測量。而該計畫用於分析日射量時所發展的厚薄雲分析技術，亦可以對總雲量進行估計。

人工觀測總雲量自111年起每日只觀測5個時間點(08、09、11、14、17 LST)。初步的分析結果顯示，在近3年的12個人工觀測測站中，使用全天空照相儀厚薄雲分析技術所反演的總雲量，若採計照相儀仰角20°以上範圍及全部的觀測時間進行雲量的評估，其相關性(R)界在0.73~0.83之間；若採計照相儀仰角20°以上範圍並排除17 LST，其相關性上升，界於0.77~0.91之間，且部分測站相關性上升較多。這顯示全天空照相儀厚薄雲分析技術所反演的總雲量用於測站觀測具有一定的可行性，但對於傍晚時照相儀顏色的偏差仍須進一步的修正。

關鍵字：全天空照相儀、全天空影像儀、總雲量

蒲福風級表的數位定量化_AI應用的概念模型

林博雄¹ 陳昭儒²

¹ 臺灣大學大氣科學系

² 台中教育大學資訊工程系

摘要

蒲福風級表（英語：Beaufort scale 或 Beaufort wind force scale，又名蒲福風級、蒲氏風級）是大氣科學風速量測觀察地定性參考表。該概念是英國（Francis Beaufort）於 1805 年根據風對地面物體或海面的影響程度而定出的風力等級。按風速強弱，將風力劃為「0」至「12」，共 13 個等級，目前世界氣象組織所建議的分級。1950 年代隨著人類的測風儀器持續發展進步，使量度到自然界的風實際上可以大大地超出了 12 級，於是就把風級擴展到 17 級，總共 18 個等級。然而這一參考表在科普教育立場實有修正之必要。目前中央氣象颱風警報單依舊採用七級風平均暴風半徑和十級風平均暴風半徑等名詞。

本研究第二作者曾利用 LLaMA 大語言模型應用，以及使用 AutoML 技術分析教育大數據。陳同學使用 NVIDIA TESLA T4，但隨著技術日益進步，為了追求更好的效能與提升效率，第二作者升級使用 NVIDIA TESLA T4 GPU，做為速光線追蹤和 AI 驅動的圖形處理。

樹木受風搖晃的影像分析來自於金山向風面山坡上。第一作者架設 GoPro 攝影機記錄茄冬樹木的晃動，樹木一旁有高頻 3D 超音波風速風向計 (LI-550 Trisonica ultra-sonic Anemometer) 做為環境風場的真實資料。第二作者由透過實驗樹木的輪廓框定，再經由光演算法以及樹木一旁的高頻三維音波風速計的 1Hz 實際觀測資料。目前先測試連續紀錄六天時間 (2023 年 10-12 月)，然後透過 AI 訓練光流點狀移動和環境風速的關聯性。經 AI 影像訓練分析之初步結果發現，對於預估風速 (Y) 與實際量測風速 (X) 具有線性關係，其式子可為 $Y=0.921X+0.13$ 。

2025 年我們沿用上述實驗方法，實驗地點改在臺灣大學大氣科學系觀測坪，觀測目標物由茄冬樹更換為機場常見的紅白相間的風向袋 (windsock)。本文即將顯露研究成果，做為蒲福風級表的數位定量化 AI 資料應用的科普概念樣本。

分散式光纖溫度感測技術在大氣觀測的應用

李逸帆^{1,2}、中井太郎²、林博雄³、林欽仁¹、賴彥任⁴、馬國鳳¹

¹中央研究院地球科學所 ²國立臺灣大學森林環境暨資源學系 ³國立臺灣大學大氣科學系
⁴國立臺灣大學實驗林管理處

摘 要

大氣觀測有助於我們理解各類天氣變化的機制。目前，氣溫與風速等觀測多以單點量測為主，然而在地形複雜、空間變異度高的區域，例如山區或都市環境中，單點觀測往往無法反映整體天氣狀況。分散式光纖溫度感測技術（Distributed Temperature Sensing, DTS）可提供長距離（>2000 m）、高空間解析度（>0.25 m）的連續溫度資料。本研究使用DTS技術於大氣觀測，探討不同包覆方式下光纖對氣溫變化的反應特性，並進一步評估以主動加熱不鏽鋼包覆光纖推估風速剖面的可行性。結果顯示，在氣溫方面不鏽鋼包覆光纖易受太陽輻射影響，而PVC包覆光纖則較不受干擾。在風速觀測方面，DTS系統估算的一分鐘平均風速與WXT風速儀觀測結果之間的相關係數高達0.99，顯示兩者高度一致。最後，本研究亦應用該技術於森林環境中，成功捕捉傳統氣象儀器難以偵測的微氣象變化過程，展現其在應用微氣象觀測與複雜環境監測上的潛力。

關鍵字：分散式光纖溫度感測技術、氣溫觀測、風速剖面估計、微氣象觀測

Fog Suppresses Microclimate Spatiotemporal Variability by Weakening Land–Atmosphere Interactions

Yi-Shin Jang 張譯心¹, Min-Hui Lo 羅敏輝¹, Yen-Jen Lai 賴彥任²

¹ Department of Atmospheric Sciences at National Taiwan University

² Experimental Forest, National Taiwan University; School of Forestry & Resources Conservation,
National Taiwan University

Abstract

Land type is the critical driver of the surface energy budget and determine the partition of heat fluxes, thereby defining the core characteristics of land-atmosphere interactions. The spatial heterogeneity of land use creates microclimate spatial variation and enhance local circulation. Cloud and fog dynamic strongly modulate the downward radiation that drives land–atmosphere interactions. These variations play a crucial role in shaping the spatial heterogeneity of hydro-climatological cycles. However, limitation in the temporal continuity and spatial resolution of satellite and radiosonde observations hinder our ability to capture the diurnal evolution of near-surface atmospheric vertical structures. To address this challenge, we investigate the influence of fog events on the spatiotemporal variation of microclimate across different land types using paired in-situ meteorological observation and 40m tethered balloon. During fog events that simultaneously affect both a forest site and an adjacent open field, the near-surface air temperature difference between two land types decreases significantly from $4.58 \pm 2.49^\circ\text{C}$ to $1.51 \pm 1.09^\circ\text{C}$ at noon, and from $-3.57 \pm 2.03^\circ\text{C}$ to $-1.20 \pm 3.46^\circ\text{C}$ at 7:00 AM, respectively. Vertical temperature profiles further reveal that fog stabilized the near-surface atmosphere, reducing the vertical temperature gradient at noon from $-0.56 \pm 0.12^\circ\text{C/m}$ under non-foggy conditions to $-0.24 \pm 0.03^\circ\text{C/m}$ under foggy events. Additionally, cloud and fog temporarily weaken land–atmosphere interactions by reducing incoming shortwave radiation, thereby suppressing surface heat flux and forming a stable and vertically uniform atmospheric structure. This process also diminishes the spatial heterogeneity of near-surface microclimate. These findings highlight the pivotal role of fog in modulating the spatiotemporal variability of microclimate and underscore its broader implications for understanding land–atmosphere coupling under shifting land use and climate. As fog frequency declines under future climate scenarios, regions that were once frequently fog-covered may become more vulnerable to microclimatic impacts driven by land-use change.

Keyword: Montane cloud forest, Land-atmosphere interactions, Microclimate

39th Conference on Weather Analysis and Forecasting

Advancing Sounding Capabilities within the Atmospheric Boundary Layer Using Multirotor Unmanned Aerial Vehicle

**Lin Kun-Wei^{1,2}, Wang Sheng-Hsiang², Chi Luh-Hsiang¹, Ke Li-Jin², Chiu Szu-Han¹,
Lee Yu-Chi¹**

¹Observation Division, Central Weather Administration

²Department of Atmospheric Sciences, National Central University

Abstract

Taiwan's complex terrain, dominated by the Central Mountain Range that runs north to south and divides the island into eastern and western regions, results in significant regional meteorological variability. Over the years, Central Weather Administration (CWA) has built a comprehensive surface weather observation network. Recently, efforts have increased to improve observation capability within the atmospheric boundary layer by developing vertical profile techniques, such as Multirotor unmanned aerial vehicle (UAV) Observation System and Mini-sonde Observation System, aiming to enhance the completeness of three-dimensional meteorological data.

This study primarily introduces the UAV weather observation system (Mini-sonde observation system will be presented in another article). The system is equipped with the compact sensor capable of measuring essential meteorological parameters such as temperature, humidity, air pressure, wind direction, and wind speed, as well as a PM_{2.5} concentration sensor. It allows atmospheric and environmental monitoring from the surface up to approximately 3 km altitude.

The UAV Observation System is characterized by their flexible deployment and mission-oriented operation, allowing customization based on specific observational objectives. Notably, during Intensive Observational Periods (IOPs), the UAV system can conduct hourly vertical profiling to provide high-temporal-resolution data, significantly contributing to the understanding of regional weather phenomena and improving short-term weather forecasting capabilities.

Key words : Multirotor unmanned aerial vehicle (UAV), Atmospheric boundary layer

產官學研協力創新-由微型探空系統建構臺灣自主高密度大氣垂直觀測網

Public-Private-Academic Collaboration for Innovation – Developing a Mini Radiosonde System for High-Density Atmospheric Profiling in Taiwan

徐仲毅¹ (Hsu C.-Y.) 齊祿祥¹ (Ci L.-S.) 李育棋¹ (Li Y.-C.) 張清城¹ (Chang C.-C.) 林博雄² (Lin P.-H.) 周耿民² (Jhou. G.-M.) 蘇世顯³ (Su S.-H.) 蘇嵐威⁴ (Su L.-W.) 陳禹安⁵ (Chen Y.-A.)

¹中央氣象署 ²臺灣大學 ³文化大學 ⁴雲灣資訊 ⁵飛絡力電子

¹Central Weather Administration

²National Taiwan University

³Chinese Culture University

⁴Cloud Bay Info. Co.

⁵Feiloli Electronics Co.

摘要

傳統高空大氣觀測所使用的無線電探空儀 (Radiosonde) 因其設備與耗材成本高昂，導致觀測站點、施放頻率有限 (通常為每日 2 次)。此限制對於地勢複雜、天氣系統變化迅速的臺灣而言，形成了時空解析度上的觀測缺口，難以有效掌握某些劇烈天氣事件 (如午後對流) 發展的關鍵熱力與動力結構。為突破此困境，交通部中央氣象署主導了一項前瞻性的「迷你大氣剖面自動觀測系統」開發計畫，旨在建立一套由國人自製、低成本、高密度、全自動的大氣垂直觀測網。

本計畫為一項典型的產官學研深度協作範例，其技術核心源自學術界 (台灣大學) 多年研發的低成本「微型探空儀」 (Storm-Tracker, ST)，並由產業界 (飛絡力電子) 進行工業級的硬體優化與「全自動施放機台」的開發。在資料品質的關鍵挑戰上，則由另一學術團隊 (文化大學) 導入創新的人工智慧品管 (AI QC) 技術。此 AI QC 模組透過大量且嚴謹的共放觀測 (co-launch) 實驗，以國際標準的 Vaisala RS-41 探空儀為基準，訓練機器學習模型，使其能精準辨識並校正微型探空儀因商用品片限制、太陽輻射效應等因素產生的系統性誤差，確保儀器觀測資料的科學可用性，並使本系統得以向作業化邁進。

整個系統的開發與整合，由軟體開發商 (雲灣資訊) 負責打造穩健的作業軟體，並透過密集工作會議，與氣象署、學術團隊、硬體商反覆進行需求釐清、技術與流程驗證。目前，系統已克服通訊頻率干擾、機構設計、軟硬體 API 介接等多重挑戰，並規劃於 2024 年底進行整合測試。

本計畫之成功，不僅將使台灣有望部署全球最密集的探空觀測網之一 (初期目標為 5 站以上)，可提升局部地區天氣預報及空氣品質監測的能力，更重要的是，它象徵著台灣在氣象觀測領域從儀器、軟體到品管技術的全面自主化。此一成功模式，為國內氣象產業的建立奠定了堅實基礎，並具備走向國際的潛力，展現了臺灣在氣象科技領域的創新實力。

關鍵字：微型探空儀、AI QC、產官學研合作、台灣氣象科技自主化

運用高解析模擬與觀測探討台北盆地午後對流降水的冷池作用

陳柏言^{1,2}, 吳健銘¹, 陳維婷¹

1. 國立台灣大學大氣科學系
2. 交通部中央氣象署 彭佳嶼氣象站

過去研究指出台北盆地的午後對流在降水強度與熱區位置上，對背景風向的變化具有敏感性。本研究使用以 500 公尺水平空間解析度涵蓋整個台灣本島真實地形的半理想化 TaiwanVVM 大渦模擬（large eddy simulation，LES），來探討造成此敏感性的物理過程。結果顯示，由午後對流降水產生的冷池與周圍海風及地形之間的交互作用是主要驅動機制。為探討冷池如何觸發對流，我們將其交互作用分為四種類型：冷池邊緣直接觸發、冷池與海風鋒面碰撞後觸發、冷池與冷池碰撞觸發，以及冷池與地形碰撞觸發。在台灣夏季盛行的西南風背景條件模擬中，我們發現除了淡水河谷與基隆河谷的海風深入盆地，大漢溪谷內由冷池交互作用向台北盆地內推進的邊界層外流也更為顯著，並與強降水熱區發生的位置一致。基於上述模擬分析結果，我們參考 TaiwanVVM 模擬的結果規劃了 2024 年夏季台北對流與冷池（TAipei COvection and Cold pOol，TACOCO）密集觀測實驗，並提供觀測資料的冷池訊號分析的策略。透過在冷池好發區域加密增設地面氣象站（WXT），並搭配氣象署雷達網的對流訊號，來加強辨識地面的冷池訊號。此外，在三個強化觀測日（IOP）中，我們在日間以每小時一顆高頻率施放 Storm Trackers（ST）微型探空，提供邊界層內風場與穩定度時空變化。透過這些觀測資料分析，我們希望將冷池的傳播速度與 LES 模擬結果比較，建立觀測與辨識冷池的明確策略。此外，未來預計透過無人機可懸停且高時間頻率量測的優勢，更精準量測冷池在邊界層內的垂直結構，今年(2025)夏季也進行了以無人機掛載 ST 進行溫度與濕度觀測的測試，與探空氣球施放的 ST 以及風力塔上的溫度感測器進行校驗比對，作為未來無人機觀測策略的重要基礎。