



2~4 週 颱風預報 之發展與挑戰

蔡孝忠／淡江大學水資源及環境工程學系 副教授

羅資婷／中央氣象局氣象預報中心 課長

陳孟詩／中央氣象局第三組 簡任技正

世界氣象組織近年推動展期 (extended-range) 或次季節時間尺度 (sub-seasonal) 的天氣預報相關研究計畫，主要希望延長劇烈天氣的提前預警時間，以降低天氣災害造成的影響。在颱風預報方面，中央氣象局於 2008 年自行開發熱帶氣旋展期預報偵測系統 (CWB TC Tracker)，提供未來 2 週颱風生成及路徑預報等參考資訊。近期，中央氣象局與淡江大學、雲灣資訊合作更新 CWB TC Tracker 系統，將預報時間延長至 4 週，並納入多種數值天氣預報模式之即時預報資訊。本文將介紹國際間 2~4 週颱風預報的發展情形，並簡介 CWB TC Tracker 開發過程，最後將簡短討論 4 週颱風預報技術現況及未來展望。

前言

根據中央氣象局的統計，過去 30 年 (1991~2020) 平均每年有 25.3 個颱風於西北太平洋生成，其中平均有 3.2 個颱風侵台。侵台颱風經常造成嚴重災情，但颱風所帶來的降雨亦為台灣重要的水資源來源。Tsai and Elsberry^[1] 指出，侵台颱風的個數約呈常態分布，但每年颱風侵台時間具有明顯差異，使得防災相關工作及水資源規劃面臨挑戰。Tsai and Elsberry^[1] 分析梅雨季結束 (每年 6 月 30 日) 後的第一個侵台颱風的間隔日數，該研究指出間隔日數最短為 0 天，最高則長達 3 個月。以 1993 年為例，該年度的梅雨季結束之後，一直到 9 月份才出現第一個影響台灣的颱風，該颱風並未登陸，僅通過台灣南方的巴士海峽，加上該年度僅有 2 個侵台颱風，因此政府實施農業限水，直到隔年春雨充沛才解除旱災危機^[2]。近年颱風生成數量減少且路徑發生改變，過去三年 (2020~2022) 更是創下連續 3 年無颱風登陸的紀錄，造成台灣中南部水庫之蓄水量屢創新低，對於民生及經濟的影響甚鉅。

世界氣象組織 S2S 計畫簡介

有鑑於高衝擊性天氣現象 (high-impact weather) 的影響，世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 期望將天氣預報之時間延長至 1~4 週，以彌補預報作業對於展期 (extended-range) 或次季節時間尺度 (sub-seasonal) 預報的不足，並達到無接縫預報 (seamless forecast) 的目標。自 2013 年 11 月起，WMO 啟動了為期 5 年的研究計畫—Subseasonal to Seasonal Prediction Project (S2S; 圖 1)，計畫目標是提升對於 S2S 尺度之高衝擊天氣現象的了解，以提升預報技術。此外，除了研究工作之外，S2S 計畫亦重視預報作業中心的合作及下游單位的應用，因此在計畫執行的過程中，亦提供相關預報之實驗性產品，以確保研究成果可落實到實際預報作業之應用端。目前 S2S 計畫已執行至第二期，今年 (2023 年) 將舉辦 10 年計畫成果回顧。同一期間，美國海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 亦推動 Subseasonal Experiment (SubX) 計畫，以評估美國國內各單位開發之全球預報模式在次季節時間尺度的

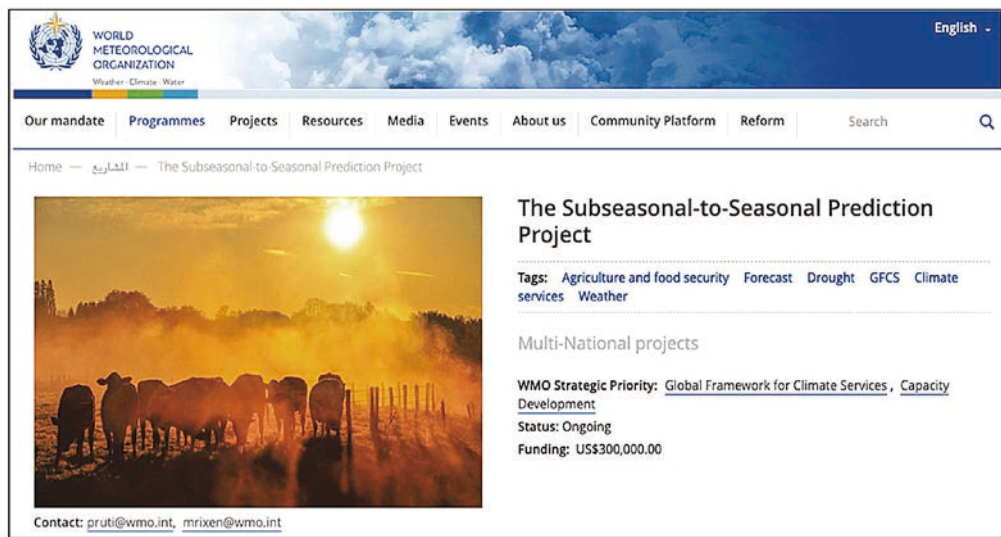


圖 1 世界氣象組織之 S2S 計畫網頁

預報能力。SubX 計畫之相關細節請見：<http://weather.ou.edu/~kpegon/subx/index.html>。

颱風預報與 S2S/SubX 計畫

颱風預報亦為 S2S/SubX 計畫之工作項目之一。當時各國預報單位的颱風預報作業產品，主要針對颱風生成後 3 ~ 5 天的路徑及強度發展提供預報資訊，部分預報單位亦提供 12 或 24 小時之颱風生成機率預報。當時中央氣象局除了提供颱風路徑預報之外，亦提供臺灣的風雨預報及各地之颱風侵襲機率 (strike probability) [3]。至於預報時間尺度較長的颱風預報，當時則是以一整季的颱風數量預報為主，例如：中央氣象局在颱風季之前會提供 6 ~ 11 月的颱風生成總數預估，且估計侵臺颱風的數量。不過，從季節預報所提供之颱風生成或侵襲數量的預報產品，並無法得知颱風可能生成的時間及位置，對於水資源規劃及防災工作的幫助有限。因此在 S2S/SubX 計畫之中，颱風預報的部分主要是希望能提供一週以上的颱風生成及路徑預報產品。1 週以上颱風預報相關工作的推動，主要是以美國及英國之預報作業中心及研究單位為主，研究範圍主要專注於大西洋及東太平洋。西北太平洋區域之預報作業及研究相關工作的推動，則是以中央氣象局及日本氣象廳為主；南太平洋區域則以澳洲氣象局為主。

一週前預報颱風？怎麼做？

短期 (1 ~ 5 天) 颱風預報所重視的項目主要為颱風路徑及強度預報。相較之下，一週以上的颱風預報所要面對的主要挑戰有：颱風生成時間、生成地點、伴隨路徑或活動區域 … 等。Majumdar and Finocchio [4] 指出，改善短期颱風預報將有助於減少防救災時期不必要的預警及疏散措施，而長時間的颱風預報則可提供更充足的時間進行災害管理之決策支援。

針對長時間的颱風預報，當時主要採用統計模式進行颱風數量的推估，或進一步提供強颱風數量比例 … 等季節預報資訊。然而，此類方法無法提供颱風生成或影響的確切時間，對於影響範圍的掌握也有待加強。近年，動力數值模式之解析度提高、預報能力也有所提升，已有許多研究指出數值模式可提供颱風生成、路徑或侵襲機率等預報資訊。

在動力數值模式的模擬研究方面，Shen *et al.* [5] 利用高解析度全球模式模擬在 2012 年造成美國東部嚴重災害、紐約淹水及地鐵停擺的颶風珊迪 (Sandy)。該研究指出，數值模式可在 Sandy 生成前 6 天模擬出近似的生成位置，且生成後的移動路徑也與實際觀測相近，相關研究成果若可實際應用，類似 Sandy 事件約防災準備工作將有機會大幅提前。Xiang *et al.* [6] 以 50 km 解析度之全球氣候模式模擬近年在大西洋及西北太平洋最具破壞性的個案—Hurricane Sandy 及 Typhoon

Haiyan (2001 年後西北太平洋最強颱風)。該研究發現以上兩個極端個案生成之可預報度約為 11 天，模式亦可提供與實際觀測近似之路徑及登陸位置。

實際預報研究與評估

在實際預報作業的研究方面，以歐洲中期氣象預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 及美國國家環境預測中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 的發展較早，且具有明顯領先地位。Elsberry *et al.* [7] 利用當時還是實驗性產品的 ECMWF 32 天預報模式，協助 Tropical Cyclone Structure-2008 (TCS08)/THORPEX Pacific Asian Regional Campaign (T-PARC) 颱風觀測實驗計畫。Belanger *et al.* [8] 利用歐洲 ECMWF 的 32 天系集預報資料 (Ensemble Prediction System, ECEPS)，發現大西洋熱帶氣旋 (Tropical Cyclone, TC) 的主要生成區的可預報度達 15 天以上。Tsai *et al.* [9] 自動偵測美國 NCEP 16 天全球系集預報模式 (Global Ensemble Forecast System, GEFS) 內的颱風並進行預報評估。該研究指出強度較強的颱風個案，具有較長之預報領先時間 (leadtime)，部分個案的預報技術可達兩週。Tsai *et al.* [10] 及 Elsberry *et al.* [11] 分析 ECMWF 32 天系集預報，該研究指出模式可於 2~4 週前提供颱風生成及路徑預報資訊，僅有少

數生命期短或強度較弱之個案發生漏報的狀況，不過模式亦具有為數不少的誤報案例 (false alarm)，顯示模式有颱風過度活躍的情形，因此亦進一步分析誤報個案特徵。Lee *et al.* [12] 利用 S2S 資料庫提供的多個數值模式，分析熱帶氣旋生成預報技術。分析結果顯示，ECMWF 及 BoM (澳洲氣象局) 模式之歷史再預報 (reforecast 或 hindcast) 具有最佳的預報技術。Elsberry *et al.* [13] 及 Tsai *et al.* [14] 的研究指出，在 2019 年玲玲颱風 (Lingling) 生成的 6~7 天前，ECEPS 模式可提供與觀測相當近似之預報路徑及颱風生成時間預報。

國內相關單位的參與

為了評估預報作業模式的 2 週颱風預報技術，中央氣象局於 2008 年自行開發熱帶氣旋展期預報偵測系統 (簡稱 CWB TC Tracker) [9]，並與美國 NCEP EMC (Environmental Modelling Centers) 合作，即時接收美國 NCEP GEFS 全球系集模式的 16 天預報資料、自動偵測模式內的熱帶氣旋，將相關產品放置於公開網頁供各國預報單位參考，例如：美國 NCEP CPC (Climate Prediction Center)。NCEP CPC 於每週二發布未來兩週之全球熱帶區域災害展望預報 (Global Tropics Hazards and Benefits Outlook) (圖 2)，採用 CWB TC Tracker 做為熱帶氣旋預報主要參考指引之一。

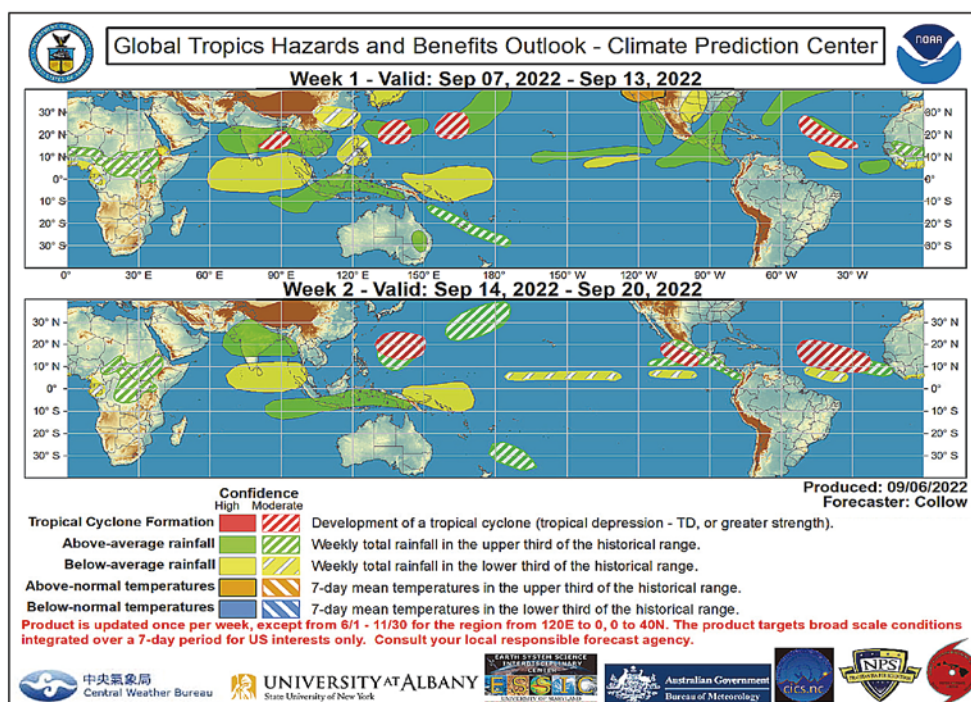


圖 2 美國 NCEP CPC 於 2022 年 9 月 6 日發布之未來兩週全球熱帶區域災害展望預報。左下角可見中央氣象局之官方標誌。

近期中央氣象局與淡江大學、雲灣資訊合作，於 2020 年將 CWB TC Tracker 更新為 2.0 版（圖 3）。除了軟硬體架構的改進升級之外，本次改版的主要工作是将原本的 2 週預報延長至 4 週，並納入多種預報模式。除了 NCEP GEFS 即時預報之外，在經濟部水利署的協助之下，CWB TC Tracker 2.0 加入了具有 51 個系集成員的 ECMWF 46 天系集預報模式。除了上述兩種預報模式，新系統亦納入 NCEP Climate Forecast System (CFSv2) 及氣象局海氣耦合模式 (CWBIT1)，並保留未來擴充模式的彈性。近三年亦透過台灣-菲律賓之國合計畫 (VOTE TWG)，以 CWB TC Tracker 2.0 協助菲律賓氣象局 (PAGASA) 進行颱風監測預報，並發展適合菲律賓區域的相關預報產品 [15]。PAGASA 近期於聯合國世界氣象組織舉辦的 ITWC-10 國際研討會 (WMO International Workshop on Tropical Cyclones) 簡報中亦提到相關合作成果。

未來發展與挑戰

相關研究結果顯示，數值預報模式確實對於長時間的颱風預報具有一定的掌握能力。以 ECMWF 46 天系集預報模式為例（圖 4），第 1 週之 Area Under Curve (AUC) 為 0.91，第 2~4 週則分別為 0.85、0.81、0.80，顯示模式對於颱風侵襲機率具有良好的判別能力。然而，研究結果亦顯示數值模式具有颱風過於活躍、產生較多熱帶氣旋的情形。

未來除了持續改進數值模式之外，例如：強化資料同化技術 (data assimilation)、增加系集成員數量、提升時間及空間解析度、改進模式動力核心 (dynamical core) ... 等，在實際預報應用時，可配合多年的歷史再預報資料，評估數值模式之預報技術，並針對模式誤報及漏報個案進行詳細分析，以進一步提升 2~4 週颱風預報之可應用性。此外，颱風預報技術在不同的季節、大尺度環境之下也有所差異。氣象局近期已針對不同大尺度環境

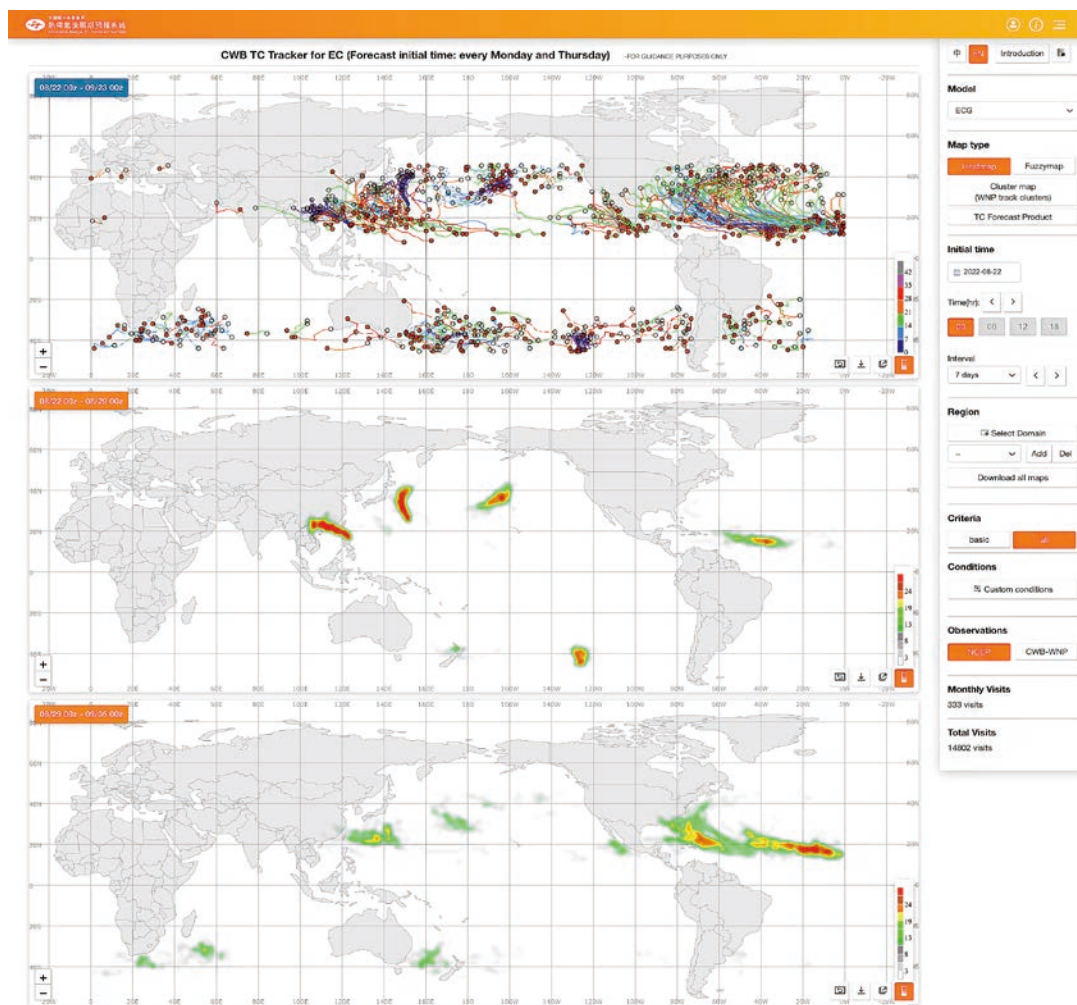


圖 3 CWB TC Tracker 2.0 之網頁預報產品範例。進階使用者可透過帳號登入，取得更多模式預報資訊及進階功能。網址：<https://tctracker.cwb.gov.tw/>。

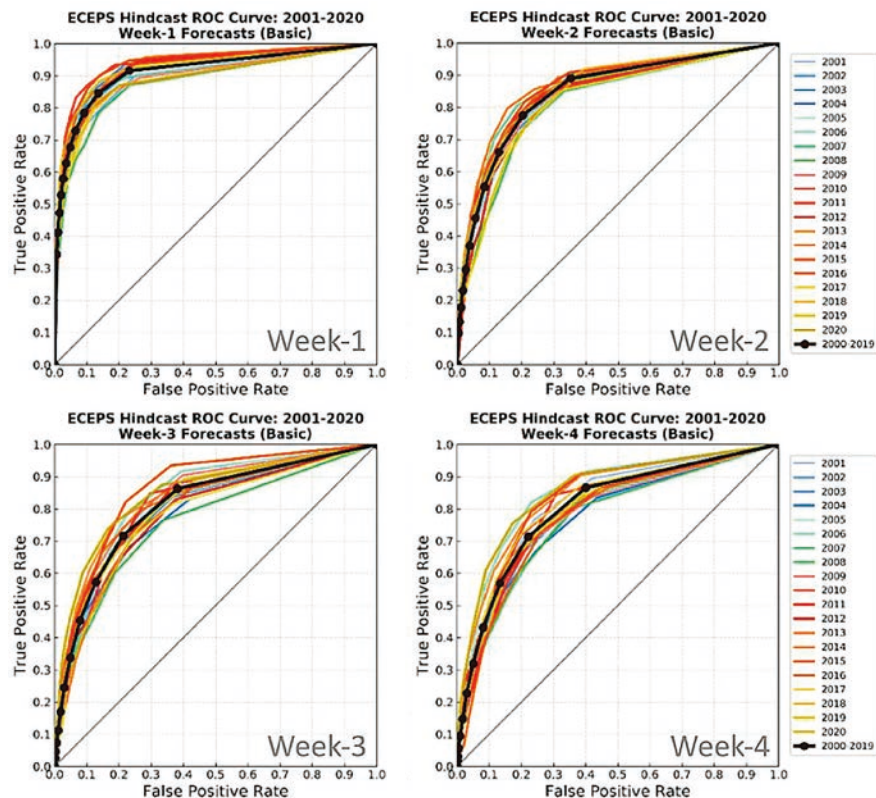


圖 4 ECMWF 歷史再預報之 1~4 週颱風侵襲機率預報技術評估

條件（例如：聖嬰 / 反聖嬰年、Madden Julian Oscillation 相位、西北太平洋季風強弱 … 等），進行預報技術評估，未來在提供 2~4 週颱風預報產品時，預計將藉由大尺度環境指標與颱風預報技術的關聯性分析結果，提供預報可靠度相關資訊，做為預報決策支援之參考依據。

參考文獻

1. Tsai, H.-C., and R.L. Elsberry, (2013), Opportunities and challenges for extended-range predictions of tropical cyclone impacts on hydrological predictions. *J. Hydrology*, 506, 42-54.
2. Hsu, H.-H., Chen, C.-T., Lu, M.-M., Chen, Y.-M., Chou, C., Wu, Y.-C., (2011), Taiwan Climate Change Science Report. Taiwan National Science Council, 362 pp. (in Chinese).
3. 蔡孝忠、呂國臣、許乃寧、賈愛玟、DeMaria, M. (2011)，蒙地卡羅法在颱風侵襲機率估計的應用。大氣科學期刊, 39-3, 269-288。
4. Majumdar, S.J., and P.M. Finocchio, (2010), On the ability of global ensemble prediction systems to predict tropical cyclone track probabilities. *Wea. Forecasting*, 25, 659-680.
5. Shen, B.-W., M. DeMaria, J.-L. F. Li, and S. Cheung, (2013), Genesis of Hurricane Sandy (2012) simulated with a global mesoscale model, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 4944-4950, doi: 10.1002/grl.50934.
6. Xiang, B., S.-J. Lin, M. Zhao, S. Zhang, G. Vecchi, T. Li, X. Jiang, Lucas Harris, J.-H. Chen, (2015), Beyond weather time scale prediction for Hurricane Sandy and Super Typhoon Haiyan in a global climate model, *Monthly Weather Review*, 143, 524-535.
7. Elsberry, R.L., M.S. Jordan, and F. Vitart, (2010), Predictability of tropical cyclone events on intraseasonal timescales with the ECMWF monthly forecast model. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 46, 135-153.
8. Belanger, J.I., J.A. Curry, and P.J. Webster, (2010), Predictability of North Atlantic tropical cyclones on intraseasonal time scales, *Mon. Wea. Rev.*, 138, 4393-4401.
9. Tsai, H.-C., K.-C. Lu, R. L. Elsberry, M.-M. Lu, and C.-H. Sui, (2011), Tropical cyclone-like vortices detection in the NCEP 16-day ensemble system over the western North Pacific in 2008: Application and Forecast Evaluation. *Wea. Forecasting*, 26, 77-93.
10. Tsai, H.-C., R.L. Elsberry, M.S. Jordan, and F. Vitart, (2013), Objective verifications and false alarm analyses of western North Pacific tropical cyclone event forecasts by the ECMWF 32-day ensemble. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 49, 409-420.
11. Elsberry, R.L., and H.-C. Tsai, and M.S. Jordan, (2014), Extended-range forecasts of Atlantic tropical cyclone events during 2012 using the ECMWF 32-day ensemble predictions. *Wea. Forecasting*, 29, 271-288.
12. Lee, C., S.J. Camargo, F. Vitart, A.H. Sobel, and M.K. Tippett, (2018), Subseasonal Tropical Cyclone Genesis Prediction and MJO in the S2S Dataset. *Wea. Forecasting*, 33, 967-988.
13. Elsberry, R.L., Tsai, H.-C., Chin, W.-C., and Marchok, T.P. (2020), Advanced Global Model Ensemble Forecasts of Tropical Cyclone Formation, and Intensity Predictions along Medium-Range Tracks. *Atmosphere*, 11, 1002.
14. Tsai, H.-C., Elsberry, R.L., Chin, W.-C., Marchok, T.P. (2020), Opportunity for Early Warnings of Typhoon Lekima from Two Global Ensemble Model Forecasts of Formation with 7-Day Intensities along Medium-Range Tracks, *Atmosphere*, 11, 1162.
15. Villafuerte, Marcelino, Tzu-Ting Lo, H.-C. Tsai, Esperanza O. Cayan, (2021), Assessing the potential predictability of tropical cyclone activity in the Philippines on weekly timescales. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, 32(5), 1-14. 