

梅雨季天氣分類應用於防災

林冠伶、徐理寰、江宙君、朱容練、吳宜昭、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

本研究旨在發展智慧化次季節天氣類型判釋系統，針對影響臺灣水資源與年度汛期季節轉變關鍵的梅雨季進行深入探討。傳統上由專家進行主觀判別的方法難以處理長時期的歷史大數據。因此，本研究利用卷積神經網路自動編碼器(CNN-AutoEncoder)進行氣象資料特徵擷取，透過 K-means 分群方法，將梅雨季劃分為 8 種主要天氣類型。並進一步開發天氣類型自動分類器，整體準確率高達 0.93，展現出優異的判釋能力。此一智慧化系統已在國家災害防救科技中心(以下簡稱為災防科技中心)的天氣與氣候監測網進行測試，可提供未來水資源管理與水旱災應變更客觀的決策情資。

一、前言

近年來，隨著機器學習演算法有了各種新突破，氣象界也開始將機器學習應用在天氣類型的研究中。自 2022 年起，災防科技中心致力於發展智慧化次季節-天氣類型判釋系統。繼先前利用深度學習自動編碼器(AutoEncoder)成功建立秋季極端降雨的天氣類型判釋模組(Hsu et al., 2023)後，本研究進一步將此智慧化次季節技術延伸應用，針對影響臺灣水資源與年度汛期起始關鍵的梅雨季進行深入探討。梅雨季的降雨特徵深受東亞夏季風進程、鋒面系統及西南氣流等多重尺度天氣系統交織影響。傳統上，氣象專家需耗費大量時間進行主觀判別，且難以處理長時期的歷史大數據。本研究期望透過機器學習與深度學習技術，能更客觀並精準地捕捉大氣中的非線性特徵，自動判釋天氣類型並連結後續的災防工作。

二、特徵擷取深度學習模型

在方法部分，本研究希望能了解臺灣與周圍地區在梅雨季時的天氣類型特徵，因此使用東亞及臺灣周邊地區的環流與雨量資料進行分析，資料包含:ECMWF ERA5(Hersbach et al., 2023)東亞地區環流、GPM IMERG 第 7 版(Huffman et al., 2024)東亞地區雨量與 TCCIP 臺灣地區雨量(Lin et al., 2022)，共使用 19 個變數，資料時間為 2001-

2022 年，各環流變數採日平均值，雨量採日累積值。為有效將 2 維氣象資料進行特徵擷取，這裡使用卷積神經網路自動編碼器 (CNN-AutoEncoder) 為變數特徵擷取模組(圖 1)，針對各變數進行訓練，最終將變數資料轉換為潛在空間的特徵向量。編碼器包含編碼(Encoder)與解碼(Decoder)部分，可確認擷取到的變數特徵具有還原能力，確保變數特徵具有物理代表性。

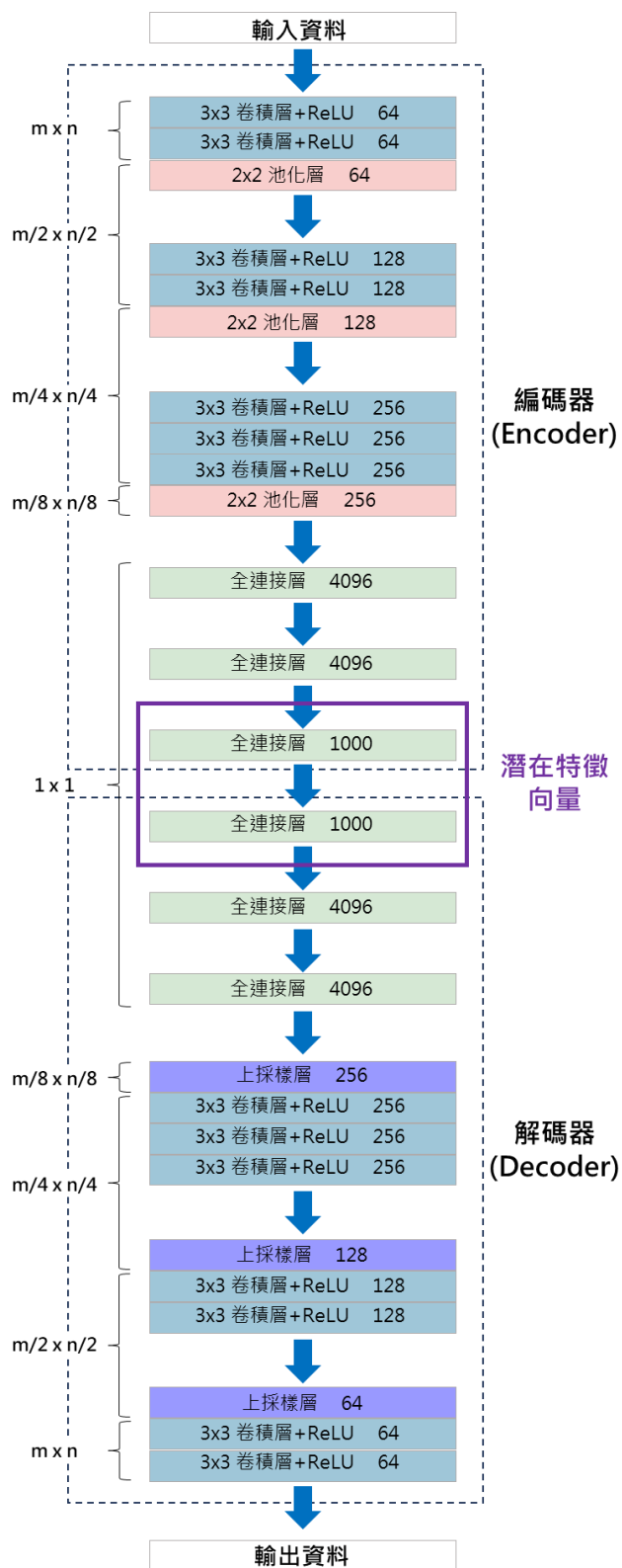


圖 1、卷積神經網路自動編碼器(CNN-AutoEncoder)架構

三、 梅雨季天氣類型分群分析

傳統上，梅雨季常定義為每年 5、6 月，這樣的方法雖然簡便，但每年的次季節可能隨著氣候條件等因素而有所變化，本研究以吳等(2026)所定義的次季節時間，做為後續次季節天氣分類的基礎，選取 2001-2022 年梅雨季共 652 天，作為後續梅雨季天氣類型的分析標的。本研究將各變數潛在空間特徵向量依序串接為每日的特徵向量後，使用 K-means 方法進行分群，並討論梅雨季天氣類型分群數量的合理性。本研究分別以客觀方法:CH 得分(Calinski Harabasz Score, Calinski & Harabasz, 1974)、肘部法(Elbow method, Kodinariya & Makwana, 2013)、輪廓係數法(Silhouette Score, Rousseeuw, 1987)與合成環流主觀分析的結果，經綜合評估後，將梅雨季的天氣類型歸納成 8 類，分別為:強鋒面(11%)、鋒面(13%)、西南風(13%)、南風(16%)、南海氣旋式環流(12%)、西南季風偏南(9%)、鋒面偏北(14%)、副高影響(12%)，各分類比例如圖 2，以下將配合各類的合成環流圖，進行梅雨季天氣類型分類介紹。

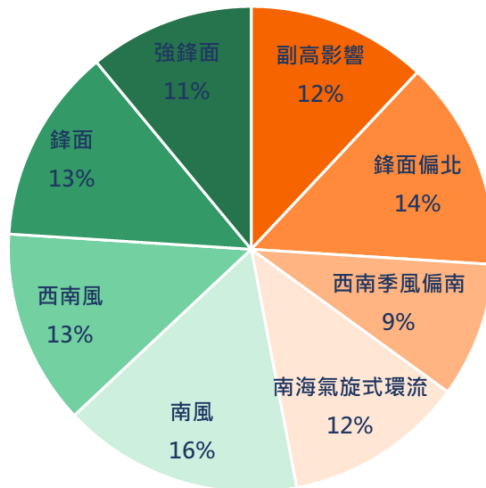


圖 2、梅雨季天氣類型 8 類型比例

強鋒面類型：

此類型係指東亞地區形成強烈梅雨鋒面，高水氣通量的雨帶自南海延伸至臺灣東北方海域，並直接通過臺灣上空(圖 3a)。鋒面上對流發展旺盛，配合由南海延伸至日本南部的強勁西南氣流，持續輸送豐沛水氣，導致臺灣出現大範圍且顯著的鋒面降雨(圖 3a、圖 4a)。此類天氣型態下，並無明顯颱風活動(圖 5a)。受鋒面直接影響，臺灣各地普遍有降雨，以南部山區雨勢最強，中部山區及南部平地亦為主要降雨區(圖 6a)。

鋒面類型：

此類型與強鋒面類型相似，東亞地區以梅雨鋒面為主要天氣系統，

大尺度降雨主要分布於南海北部、臺灣海峽至臺灣東北方海域(圖 3b、圖 4b)。惟鋒面結構較為鬆散，西南氣流及水氣輸送均較弱，因此整體降雨強度亦低於強鋒面類型。此期間臺灣主要受梅雨鋒面影響，並無明顯颱風活動(圖 5b)。受鋒面影響，全臺普遍有降雨，以中、南部山區降雨最為明顯，西半部平地亦有降雨，但整體雨勢較強鋒面類型為弱(圖 6b)。

西南風類型：

此類型東亞地區無明顯梅雨鋒面發展，主要受自南海延伸至日本南方海域的強勁西南氣流影響，持續輸送豐沛水氣，並伴隨較大範圍降雨(圖 3c、圖 4c)。臺灣主要受西南氣流影響，各地均有降雨，以南部山區降雨最為顯著(圖 6c)。此期間海南島附近雖有少許颱風活動(圖 5c)，惟對臺灣並無直接影響。

南風類型：

此類型太平洋高壓略為增強，並西伸至東經 120°附近，南海西南氣流範圍縮減，臺灣附近低層風場則以南風為主。梅雨鋒面結構較不明顯或位置偏北，整體東亞地區降雨強度亦較前三種類型弱(圖 3d、

圖 4d)，此期間並無明顯颱風活動(圖 5d)。受南風環流影響，臺灣僅東北部及中南部山區有零星降雨，整體降雨強度明顯低於前三種類型(圖 6d)。

南海氣旋式環流類型：

此類型太平洋副熱帶高壓西伸至東經 125°附近，南海西南氣流約延伸至東經 120°、菲律賓西側，南海呈現明顯氣旋式環流。副高西南側的東南氣流與南海西南氣流於菲律賓附近輻合，造成菲律賓北部至南海北部一帶出現較大範圍降雨(圖 3e、圖 4e)。此種環流配置有利於菲律賓東側至南海一帶颱風發展，並向西移動(圖 5e)。一般而言，此類型對臺灣無直接降雨影響。若颱風生成時，受外圍環流及副高西南側東南氣流影響，屏東及恆春半島可能出現零星降雨(圖 6e)。

西南季風偏南類型：

此類型強烈西南季風及大範圍降雨帶主要位於臺灣南方海域，自南海向東延伸至西北太平洋(圖 3f、圖 4f)。西南季風北側因水平風切形成較強正渦度區，有利於熱帶擾動及颱風發展。分析結果顯示，颱風活動主要集中於南海北部、菲律賓東方海域至西北太平洋一帶(圖

5f)。由於主要環流及降雨系統位於臺灣南方，此類型對臺灣無直接降雨影響(圖 6f)。

鋒面偏北類型：

此類型梅雨鋒面位於北緯 25°以北，鋒面結構明顯，鋒面伴隨西南氣流由臺灣北方海域通過，並於華南、華東至日本一帶形成顯著鋒面降雨(圖 3g、圖 4g)。此期間並無明顯颱風活動(圖 5g)，由於鋒面位置偏北，臺灣未受鋒面直接影響，因此無明顯降雨(圖 6g)。

副高影響類型：

此類型太平洋副熱帶高壓勢力強盛，環流西伸並籠罩臺灣、南海及西北太平洋，高壓控制範圍內大氣穩定，無明顯降雨系統發展(圖 3h、圖 4h)。此期間亦無明顯颱風活動(圖 5h)，受副熱帶高壓影響，臺灣天氣穩定，無明顯降雨(圖 6h)。

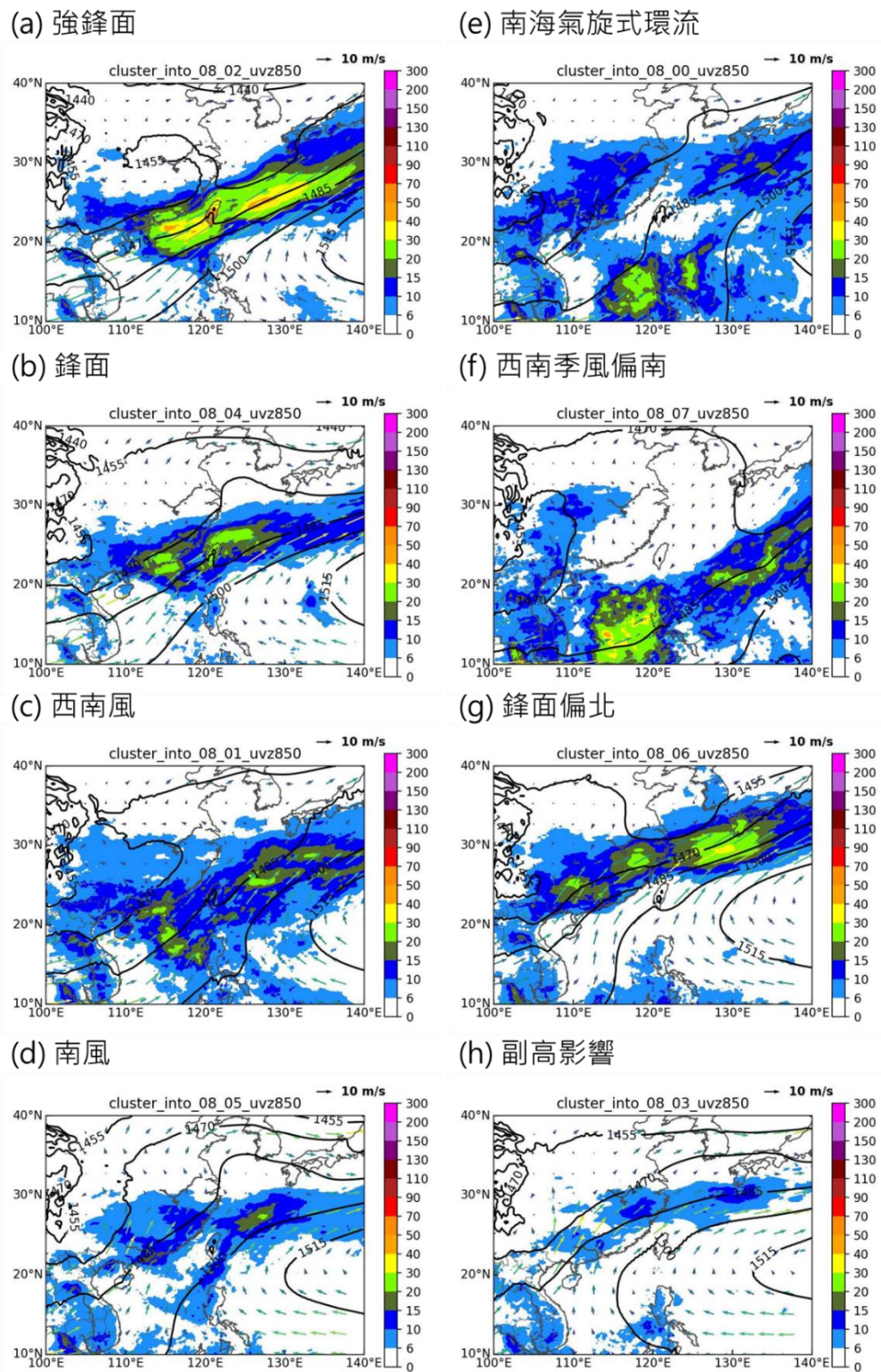
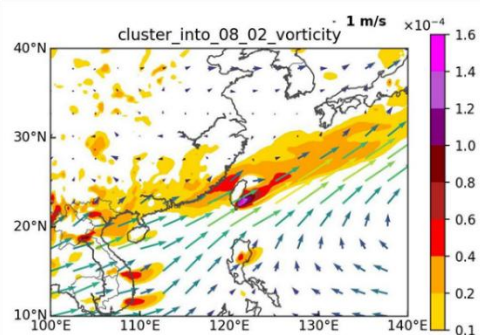


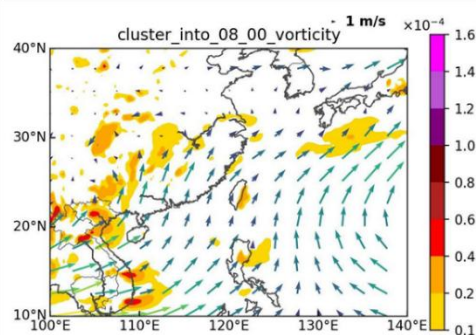
圖 3、梅雨季 8 類天氣類型的東亞日雨量(色階)、850hPa 高度

(等值線)、850hPa 風場(向量)合成圖。

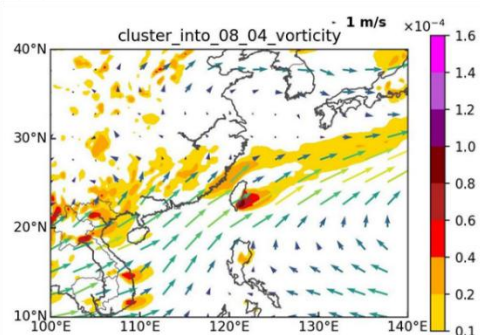
(a) 強鋒面



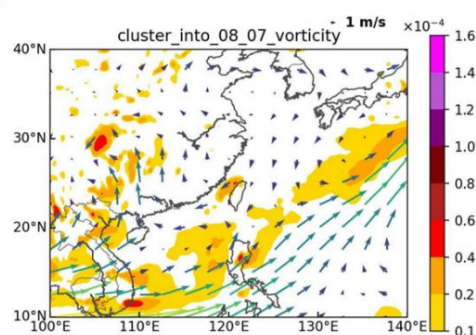
(e) 南海氣旋式環流



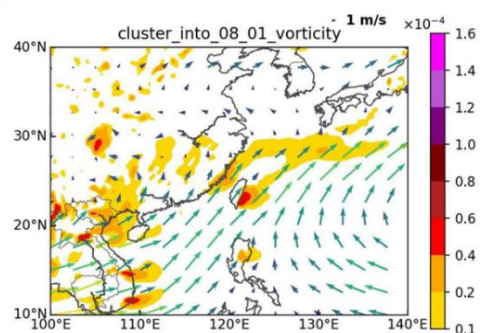
(b) 鋒面



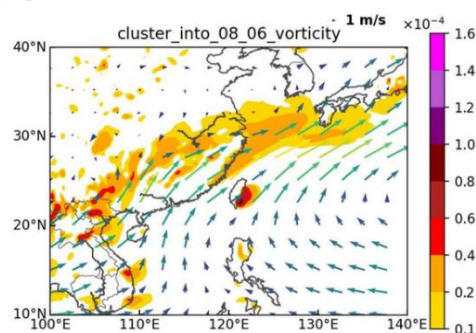
(f) 西南季風偏南



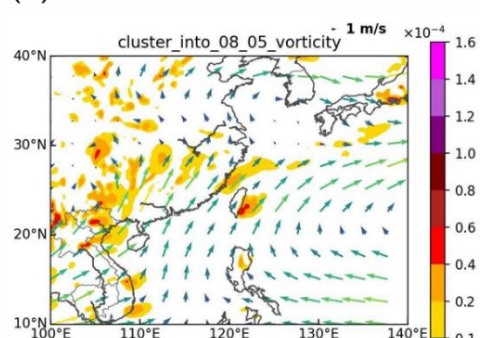
(c) 西南風



(g) 鋒面偏北



(d) 南風



(h) 副高影響

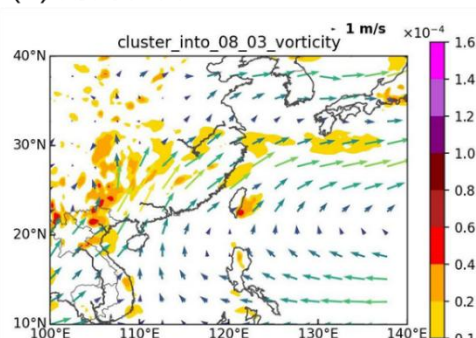
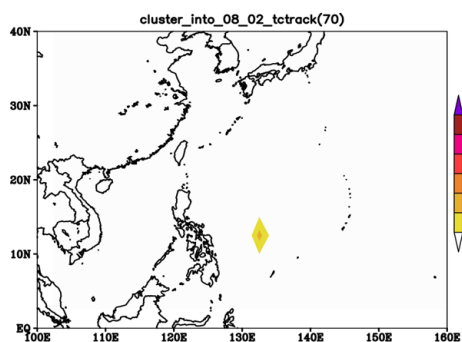


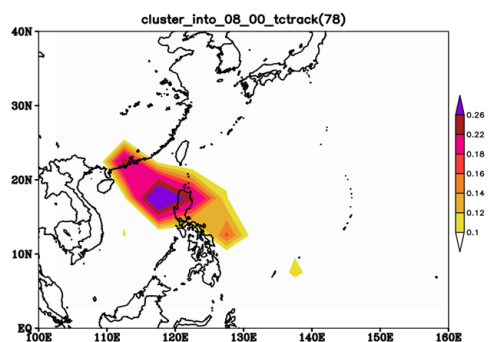
圖 4、梅雨季 8 類天氣類型的 850hPa 相對渦度(色階)、850hPa

風場(向量)合成圖

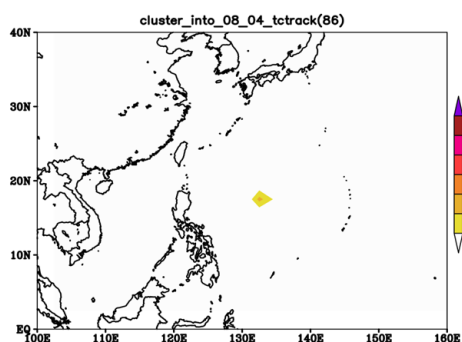
(a) 強鋒面



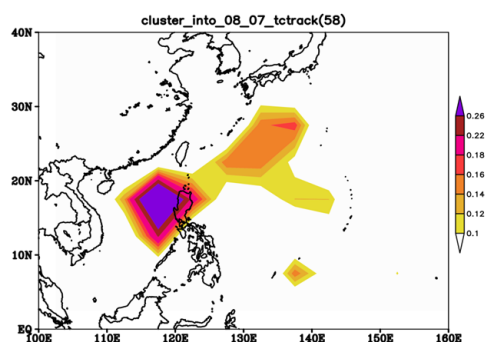
(e) 南海氣旋式環流



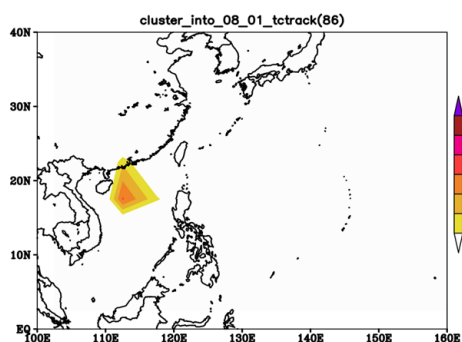
(b) 鋒面



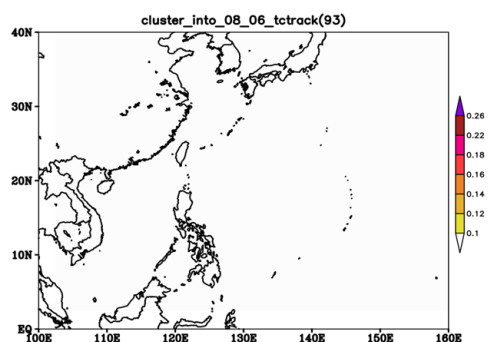
(f) 西南季風偏南



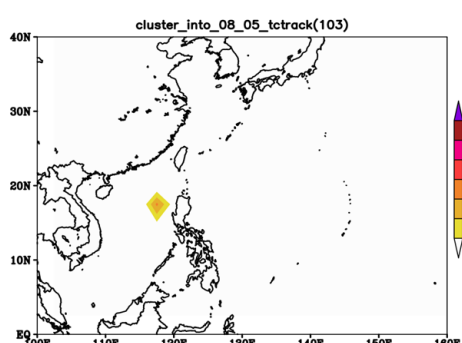
(c) 西南風



(g) 鋒面偏北



(d) 南風



(h) 副高影響

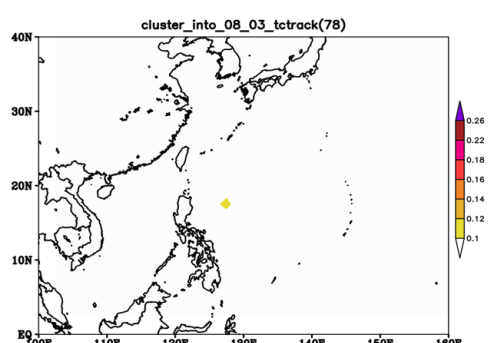


圖 5、梅雨季 8 類天氣類型的颱風路徑密度

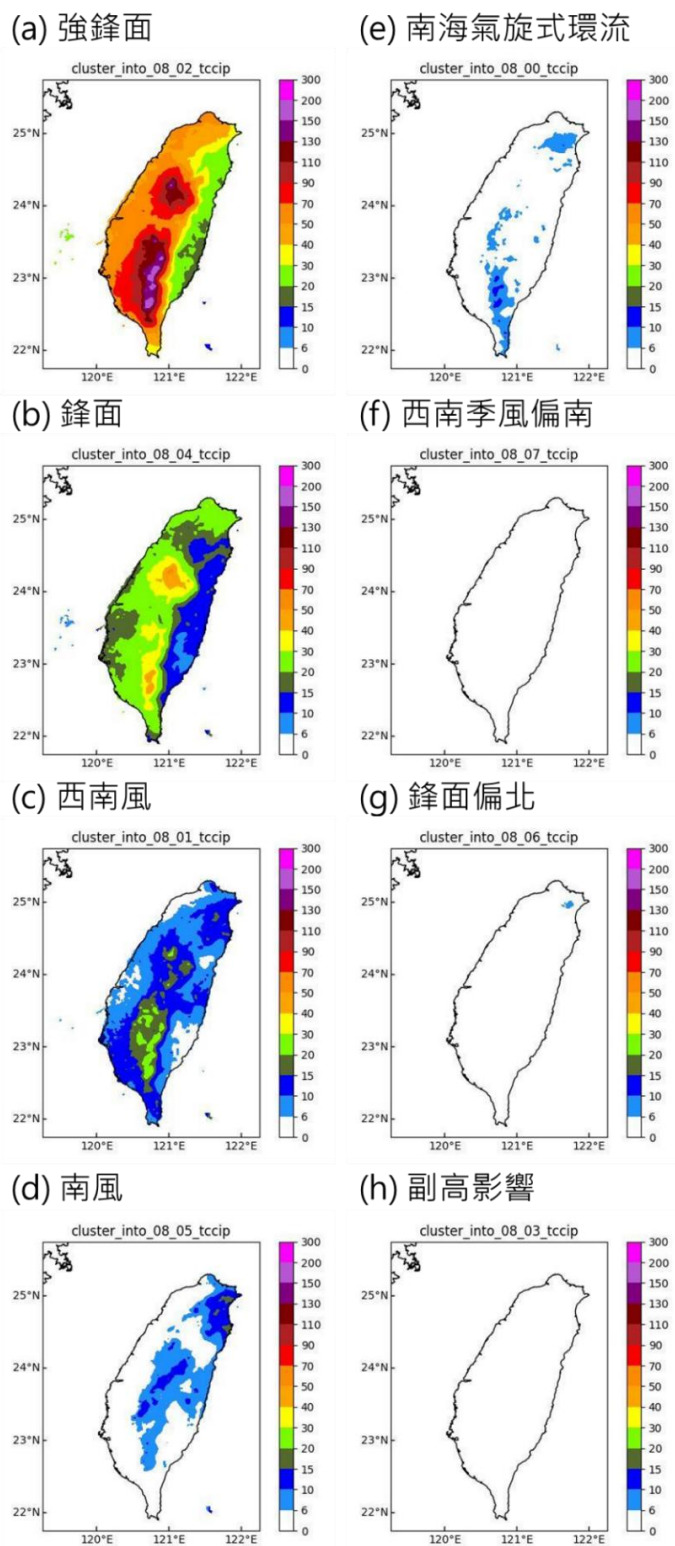


圖 6、梅雨季 8 類天氣類型的臺灣高解析度雨量合成圖

四、 梅雨季天氣類型分類器建置與校驗結果

在了解梅雨季各分類的特徵以後，本研究希望建置一個天氣類型分類器，每當得到新的日環流資料，經特徵擷取後，輸入天氣類型分類器，即得到一個可信賴的天氣類型標定，以利後續防災應用。

本研究使用多種機器學習模型進行測試，包含:隨機森林(RF)、極端梯度提升(XGB)、K-近鄰演算法(KNN)、邏輯迴歸(LR)、支持向量機(SVM)，以及一種結合上述 5 種機器學習方法進行投票的集成投票分類器(EVC)。集成投票分類器是以整合的概念，將多個獨立訓練的基本分類器模型，透過投票機制來決定最終結果，又可分為硬投票與軟投票兩種。硬投票是指每個基本分類器模型的所占比重皆相同，以多數決方式得到最後答案；軟投票則是首先分析歷史資料中各基礎模型對天氣類型的預測表現，計算出各模型的最佳貢獻權重，在實際預測時，系統會將各模型產出的類別機率結合該權重進行加權平均，進而決定最終的天氣類型。

另一方面，本研究也使用 5 次交叉驗證法進行結果的驗證，驗證分數包含:準確率(accuracy)、精確率(precision)、召回率(recall)與 F1 得分(F1 score)進行討論。整體而言，梅雨季的單一機器學習模型其準確率與 F1 分數(圖 7)可達 0.9，使用集成投票分類器分數則達 0.93。針

對各天氣類型進行分析，強鋒面、南風、西南季風偏南、鋒面偏北、副高影響在各種分類器中的精確率(圖 8)與召回率(圖 9)分數皆高，顯示模型沒有嚴重偏差，並且有不錯的預報能力；鋒面、西南風、南海氣旋式環流則是在各分類器上表現較有落差。

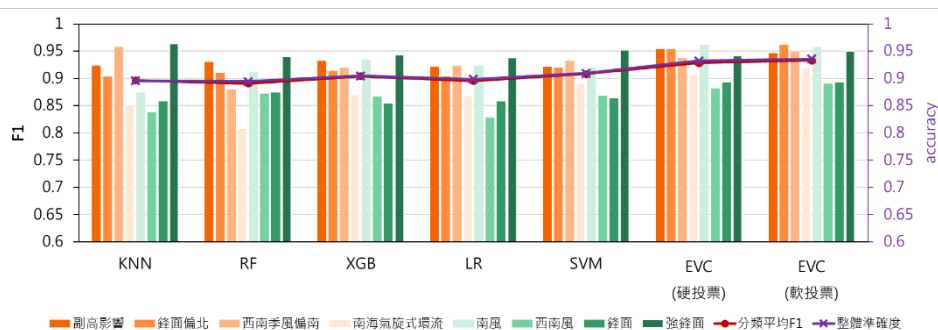


圖 7、梅雨季天氣分類器準確率(accuracy)與 F1 得分(F1 score)

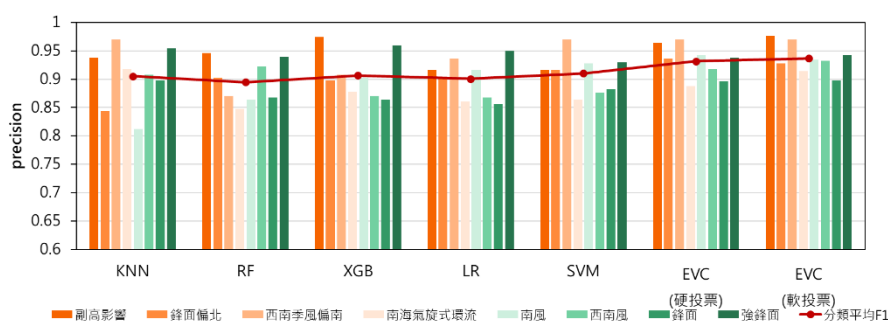


圖 8、梅雨季天氣分類器精確率(precision)

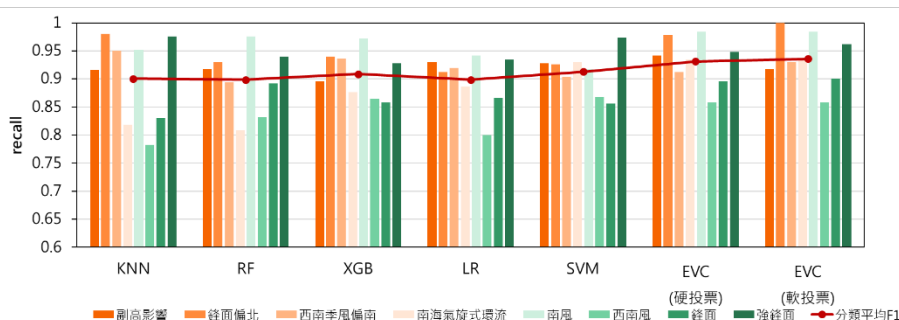


圖 9、梅雨季天氣分類器召回率(recall)

五、 梅雨季天氣類型應用於水旱災情資

針對防災應用部分，梅雨季的 8 種天氣類型中，針對雨量(圖 6)，可分為多雨、少雨、無雨三大類型，多雨類型包含:強鋒面、鋒面、西南風；少雨類型包含:南風；無雨類型包含:南海氣旋式環流、西南季風偏南、鋒面偏北、副高影響。本研究使用集成投票分類器做為自動化天氣分類工具，針對每日天氣類型進行判別，並將各分類在該次季節內的累積日數與歷史相比，動態進行累計統計，可了解目前降雨類型是偏向多雨還是少雨的比例較多，以及降雨熱區會集中在哪些地區等。如梅雨季時，如果現況長時間皆是少雨或無雨的天氣類型偏多，則須注意後續於水資源管理，提前進行抗旱整備工作。目前天氣類型監測曆已在災防科技中心天氣與氣候監測網進行測試中。
(https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_calendar)

六、 結語

本研究成功結合深度學習特徵擷取技術(CNN-AutoEncoder)與 K-means 分群演算法，為臺灣梅雨季建立了客觀且具物理代表性的 8 種天氣類型架構，克服了過往人工主觀判別歷史大數據的侷限性。有別於傳統人工利用地面天氣圖判釋天氣類型的方式，本研究所建置的 AI 天氣判釋模組，可在掃描氣象變數後自動完成天氣類型的判釋工

作。判釋結果在 5 次交叉驗證中達到了高達 0.93 的優異準確率，且各項評估指標（Precision、Recall、F1-score）均表現均衡，顯示此智慧化系統在實際操作中具備極高的穩定度與預報價值。目前，天氣類型監測層已正式導入災防科技中心的天氣與氣候監測網進行測試運行。透過每日即時自動判釋環流場特徵，系統能迅速標定天氣類型，並動態統計多雨、少雨及無雨類型的累積日數。此工具不僅能協助防災決策者在次季節尺度上精準掌握降雨熱區的分佈，更在面臨氣候變遷帶來的極端天氣挑戰時，能為臺灣提供更具科學基底、更具韌性的水旱災情資早期預警與跨領域決策支援。

參考文獻

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J. N. (2023). ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.bd0915c6> [Accessed on 31 Jan 2025]
- Hsu, L.-H., Wu, Y.-c., Chiang, C.-C., Chu, J.-L., Yu, Y.-C., Wang, A.-H., Jou, B. J.-D. (2023). Analysis of the Interdecadal and Interannual Variability of Autumn Extreme Rainfall in Taiwan Using a Deep-Learning-Based Weather Typing Approach. *Asia-Pac J Atmos Sci*, 59, 185–205. <https://doi.org/10.1007/s13143-022-00303-3>

- Huffman, G. J., Stocker, E. F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Tan, J. (2024), updated irregularly. GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V07. NSF National Center for Atmospheric Research. <https://doi.org/10.5065/7DE2-M746> [Accessed on 30 Mar 2025]
- Calinski, T., & Harabasz, J. (1974). A Dendrite Method for Cluster Analysis. *Comm. Stat.* , 3, 1–27. <https://doi.org/10.1080/03610927408827101>
- Kodinariya, T., & Makwana, P. (2013). Review on Determining Number of Cluster in K-Means Clustering. *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud.* 1(6), 90–95.
- Lin, L. Y., Lin, C. T., Chen, Y. M., Cheng, C. T., Li, H. C., Chen, W. B. (2022). The Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform: A Decade of Climate Research. *Water*, 14(3), 358. <https://dx.doi.org/10.3390/w14030358>
- Rousseeuw, P. J. (1987) Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. *Comput. Appl. Math.* 20, 53–65.
- 吳宜昭、林冠伶、江宙君、徐理寰、黃紹欽、陳淡容、朱容練、于宜強(2026)。智慧化季節與天氣診斷技術於旱災預警情資服務之應用。國家災害防救科技中心業務報告(NCDR 114-A31)。國家災害防救科技中心。