

經費來源：☒ 01 當年度公務預算 ☐ 02 委託補助計畫

機密(E)：☐ 是 ☒ 否

出國類別：☐ A 考察/訪問 ☒ B 學術會議/研討會

☐ C 進修/研究 ☐ D 工作會議

2026 第 23 屆亞洲大洋洲地區地球科學學會(AOGS)年會

出國報告書

單位名稱： 國家災害防救科技中心

出國人姓名職稱： 徐理寰 副研究員
林冠伶 助理研究員

出國地點： 日本福岡

出國日期： 民國 115 年 08 月 03 日至 115 年 08 月 08 日

報告日期： 民國 115 年 09 月 01 日

摘 要

2026 年第 23 屆亞洲大洋洲地區地球科學學會（AOGS）年會於 8 月 2 日至 8 月 7 日在日本福岡國際會議中心 Fukuoka International Congress Centre 舉辦，本次會議內容包含地球科學八大領域。由於近年來人工智慧（AI）技術快速發展，AOGS 因應研究趨勢，在氣象、水文、海洋、氣候與災害防救領域上都開始注重 AI 技術的應用與挑戰，並鼓勵學者交流分享應用 AI 的成效及難題，使 AI 相關議題成為會議中最受矚目的題目。

國家災害防救科技中心（NCDR）氣象組派二位研究人員出席並發表研究成果：徐理寰副研究員以海報形式發表論文，內容利用機器學習分析過去 2001 至 2022 年颱風季影響臺灣降雨的天氣型態，透過分群及分類演算法建立適用於臺灣複雜地形的天氣類型分類器。林冠伶助理研究員以口頭報告形式發表論文，內容以機器學習季節辨識技術診斷過去 1979 - 2024 年西北太平洋夏季季風演變，加上 2025 年個案分析探討大尺度環流與颱風活動對於臺灣西南部發生持續豪雨與罕見洪水事件的影響。會議中亦參與多場 AI 應用於氣象、氣候、防災相關的議程，並與各國研究學者進行學術交流。本次參加會議獲得效益包含：展現中心研究能量、掌握國際研究趨勢、促進跨域交流、強化災防實務應用等面向，可做為未來推動 AI 技術實際落地研究方向的指引，並強化科研成果在防救災技術上的實務應用價值。

目 次

1. 目的.....	1
2. 研討會紀要	3
3. 心得及建議.....	13
4. 出國效益.....	16
5. 附錄.....	18

1.目的

亞洲大洋洲地區地球科學學會（Asia Oceania Geosciences Society，簡稱 AOGS）專注亞洲與大洋洲地區的地球科學研究，希望能促進地球科學研究發展，應用在人類社群，並強化學術界、研究機構和大眾交流地球科學研究的成果。自 2003 年成立以來，持續與美國地球物理聯盟（AGU）、歐洲地球科學聯盟（EGU）及日本地球惑星科學連合（JpGU）等國際知名學會建立長期合作夥伴關係，共同推動全球地球科學的交流與發展，持續強化其在國際學術網絡中的影響力與地位。AOGS 每年舉辦的年度會議（Annual Meeting）規模盛大，與會者為來自世界各地著名學校、研究機構的知名學者與專業人士，是地球科學界的重要學術交流平台。舉辦宗旨希望能透過跨領域的討論與交流，推動地球科學前緣研究，並致力將研究成果應用落實於各區域環境面臨的災害挑戰。本年度 AOGS 第 23 屆年會於 2026 年 8 月 2 日至 8 月 7 日假日本福岡國際會議中心 Fukuoka International Congress Centre, Japan 舉辦，共為期 7 日。共包含 3640 位參與者，來自 49 個城市/區域。本次會議共成立了 372 個議題，舉辦了 314 場實體會議。

AOGS 會議議題方向包含 8 個學門領域：大氣科學（AS）、生物地球科學（BG）、水文科學（HS）、跨領域地球科學（IG）、海洋科學（OS）、行星科學（PS）、太陽與地球科學（ST）及固體地球科學（SE）。近年來，人工智慧（Artificial Intelligence，AI）技術迅速發展，其中機器學習與深度學習快速發展、演算法推陳出新，並已廣泛應用到各科學研究領域，AOGS 在此研究趨勢下，自幾年前已開始規劃多個 AI 應用於地球科學各領域的專題會議，鼓勵研究學者交流分享應用 AI 的成效及難題，使 AI 相關題目成為議程中最受矚目的會議。在氣象領域，AI 可應用於處理龐大複雜的觀測資料、建立不同變量之間

的映射關係、甚至是直接端到端的 AI 天氣預報模型，近年來都有不少突破研究成果，成為氣象領域的新興研究。

本次出席年會團隊共 2 人，包括徐理寰副研究員及林冠伶助理研究員（圖 1）。其中徐理寰副研究員投稿論文題目為：Exploring the Association Between Synoptic Weather Patterns and Local Rainfall in Taiwan During Typhoon Season: a Machine Learning Classification Approach。投稿於議程編號 AS61: The Physical Processes Over Complex Topography: the Interactions Among Meteorology, Boundary Layer Turbulence, Clouds, Tracer Transport, and Chemistry，該議程主要探討在複雜地形下，複雜地形與氣象環流、雲、降雨之間非線性、多尺度的物理過程及交互作用。投稿論文內容利用機器學習分析過去 2001 至 2022 年颱風季影響臺灣降雨的天氣型態，透過分群及分類演算法建立適用於臺灣複雜地形的天氣類型分類器。投稿形式為 Oral poster（口頭報告海報內容）。發表時間為 2026 年 8 月 5 日 2:30pm~7:00pm。

林冠伶助理研究員投稿論文題目為：Machine-learning-based Diagnostics of Sub-seasonal Progression of the Western North Pacific Monsoon and Extreme Rainfall。投稿於議程編號 IG29: Revolutionizing Regional Environmental Prediction: Integrating Artificial Intelligence in Meteorology, Hydrology, and Oceanography，該議程主要交流應用 AI 技術於區域大氣、海洋等跨領域極端物理事件及造成衝擊災害的預警或分析。投稿論文內容以機器學習季節辨識技術診斷過去 1979 - 2024 年西北太平洋夏季季風演變，加上 2025 年個案分析探討大尺度環流與颱風活動對於臺灣西南部發生持續豪雨與罕見洪水事件的影響。投稿形式為 Oral（口頭報告）。發表時間為 2026 年 8 月 4 日 5:00pm~7:00pm。

AOGS 2026 年會匯聚全球地球科學領域之頂尖學者。本次與會旨在透過學術發表與專家交流，深化本團隊之研發技術內涵，並推動相關技術於災害管理實務之應用。同時，藉由展示團隊在人工智慧應用、災害大數據處理與氣象監測分析等領域之豐碩成果，進一步提升本中心於基礎地球科學與 AI 災防應用上的國際能見度及影響力。



圖 1、本次參與 AOGS 2026 年會的團隊成員，左為徐理寰副研究員，右為林冠伶助理研究員。

2.研討會紀要

本次研討會的學術交流主要透過口頭報告（ORAL）以及海報展覽說明（ORAL POSTER）兩種方式進行。口頭報告部分，大會安排依據不同科學領域，採全程平行開放方式進行，與會者可透過大會官方 App 與總議程查詢場次，自由選擇並入場聆聽，並於每場報告後進行即時提問與交流。海報展覽則於可容納近千人的大型會場（Hall B 一樓）舉行，於每日下午時段規劃不同領域海報展覽，大會特別規劃作者駐點解說時段，以利作者於現場說明研究成果並與觀覽者討論，促進學術交流。

本次行程預計 8 月 3 日搭乘國航由臺北出發直飛日本福岡，8 月 4 至 8 月 6 日出席 AOGS 2026 年會，於 8 月 8 日返台，其中 8 月 7 日為私人行程。與會者此次參加 2026 年第 23 屆 AOGS 國際研討會之行程紀要如下表 1 所示。

表 1、行程紀要

日期	地點	行程
2026/8/03(一)	臺灣-日本福岡	出發
2026/8/04(二)	日本福岡	參加 AOGS2026 年會 林冠伶論文發表
2026/8/05(三)	日本福岡	參加 AOGS2026 年會 徐理寰論文發表
2026/8/06(四)	日本福岡	參加 AOGS2025 年會
2026/8/07(五)	日本福岡	私人行程
2026/8/08(六)	日本福岡-臺灣	返程

林冠伶助理研究員論文發表的議程時間為 8 月 4 日 5:00pm~7:00pm (圖 2、圖 3、圖 4)，領域分類為跨領域地球科學 (Interdisciplinary Geosciences, IG)，主題涵蓋氣候變遷衝擊、災害風險評估、遙測整合應用、或地球科學大數據等跨學科主題，此議程共有 8 篇論文投稿，作者來自臺灣及印度，主持人為臺灣中山大學李政賢教授與淡江大學蔡孝忠副教授。與會者對於林冠伶助理研究員研究之天氣判釋模組是否可以應用於系集預報感到興趣 (圖 3)，在會議中有進一步的討論。會後與議程編號 IG29 所有投稿作者及與會者合影 (圖 4)。相關論文內容詳見附件三與附件四。

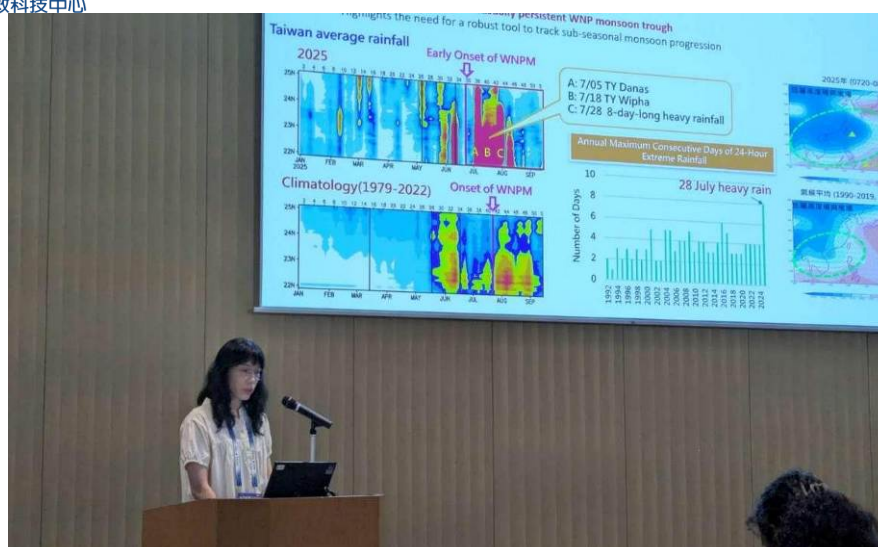


圖 2、林冠伶於 2026/8/4 發表研究成果。

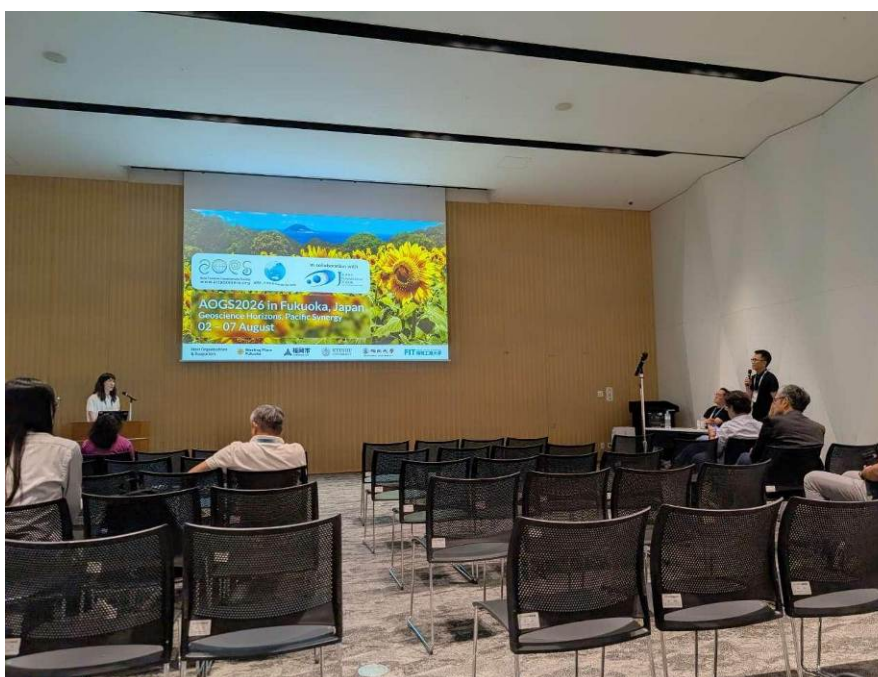


圖 3、林冠伶與主持人進行問題與討論。



圖 4、議程編號 IG29 所有投稿作者及與會者於會後合影。

徐理寰副研究員的海報論文發表時段為 8 月 5 日 2:30pm~7:00pm，該時段為大氣科學領域的海報展示，共有 506 篇海報參加，包含大尺度氣候、天氣動力、中尺度氣象、遙測氣象、AI 人工智慧於各氣象領域之應用等等。論文發表期間，有來自韓國、中國、美國、臺灣等國家的研究人員與徐理寰副研究員進行研究內容的了解與研討（圖 5、圖 6、圖 7）。相關論文詳見附件一與附件二。

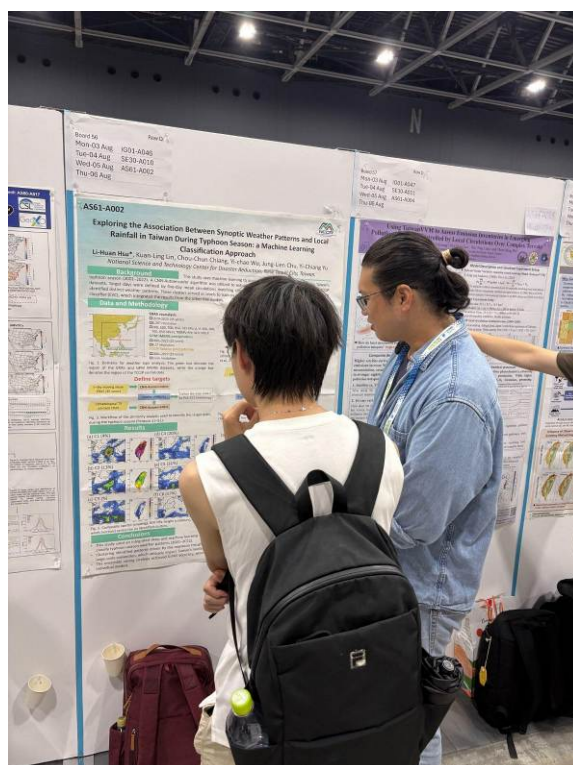


圖 5、與會者與徐理寰副研究員交流研究內容。

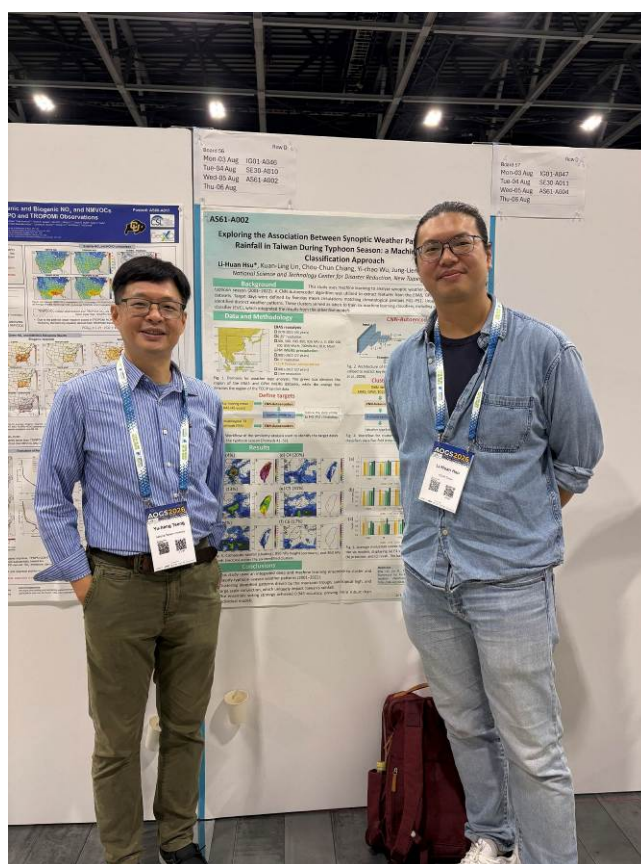


圖 6、臺大曾于恆教授與徐理寰副研究員交流合影。

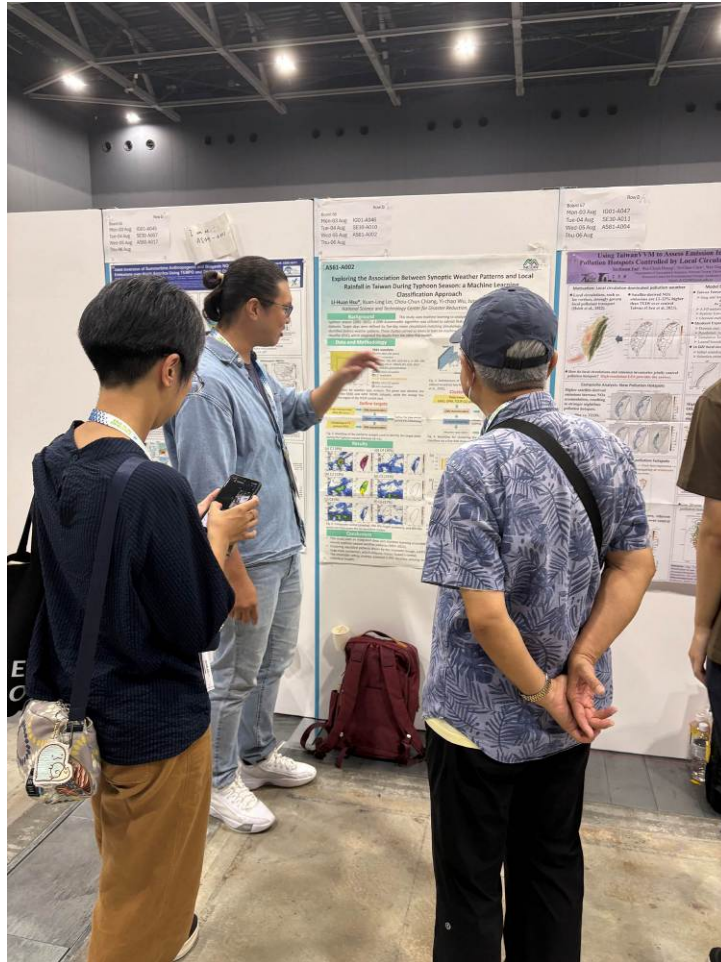


圖 7、徐理寰副研究員說明介紹研究論文內容。

本次會議期間除論文發表外，亦參加了許多氣象領域專題研討會議，參加日期與專題內容舉例如下：

8 月 4 日（二）：

由國立中央大學林遠見教授主持會議編號 IG36: Artificial Intelligence and Data Science for Integrated Disaster Risk Reduction, Climate Change Adaptation, and Hydro-environmental Systems，為一跨領域地科議程，內容聚焦於使用機器學習方法，整合氣象水文資訊應用於防減災、氣候變遷調適等水文水利相關系統。與中心應用 AI 於防災研究目標一致，舉例來說，中央大學鍾高陞教授團隊，嘗試利用 GAN 演算法推估極短期雷達回波及風場（圖 8），對於後續應用 AI

方法於優化落雨小幫手研究，可提供許多啟發。

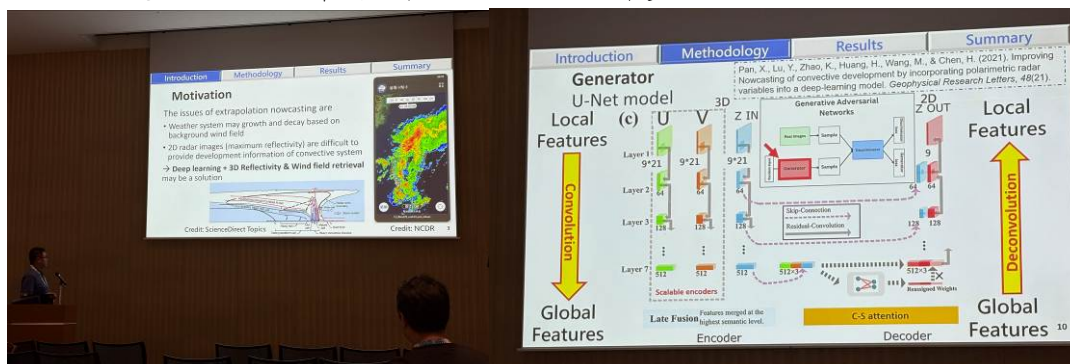


圖 8、IG36 國立中央大學鍾高陞教授團隊報告應用 GAN 演算法進行極短期雷達回波及風場推估研究。

由國立臺灣大學張智北教授主持會議編號 AS27:Application of AI to Weather and Climate Prediction and Research，內容聚焦於深度學習、神經運算子（Neural Operators）、對抗生成網路（GAN）與可解釋性 AI（XAI）在大氣科學中的應用。本專題集合中國、美國、臺灣、日本、比利時等各國學者，其中有兩篇針對可解釋 AI（XAI）的研究成果（圖 9），與氣象組 AI 小組目前技術推動的主軸相切合，對於後續深化相關研究極具參考價值。另外日本理化學研究所計算科學中心（RIKEN Center for Computational Science, R-CCS）的 Shigenori Otsuka 博士，也於本議程中報告他們使用衛星資料，以 ConvLSTM 演算法進行全球降雨即時預報推估的研究（圖 10），可作為中心未來開發衛星資料氣象防災產品的參考。來自印度的 Tanushree Roy 博士分享以 BiLSTM 結合 Attention 演算法的能見度預報模型 VisBiLSTM，應用在印度機場能見度的研究結果（圖 11），可提供中心未來優化機場能見度預警產品參考。

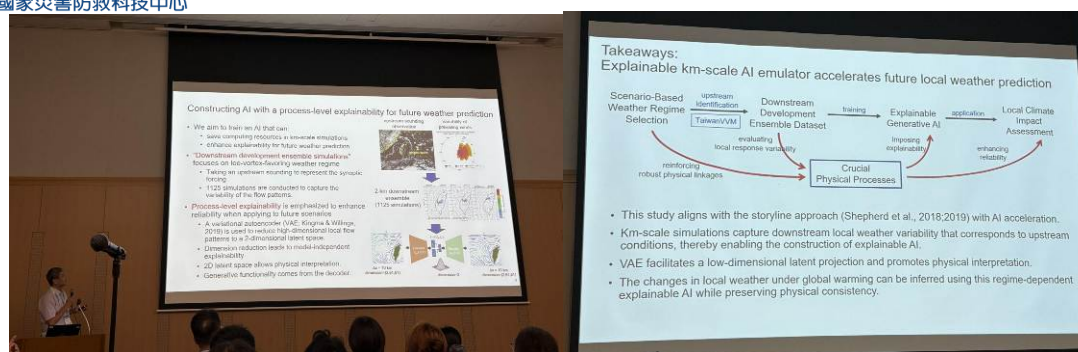


圖 9、AS27 由國立臺灣大學 Min-Ken Hsieh 報告之可解釋 AI 相關研究成果。

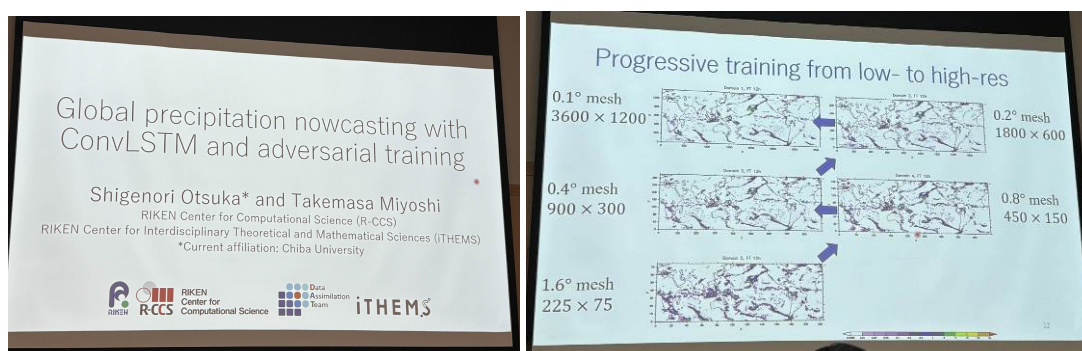


圖 10、AS27 由日本理研 Shigenori Otsuka 博士報告應用衛星資料及 ConvLSTM 演算法推估全球降雨即時預報的研究。

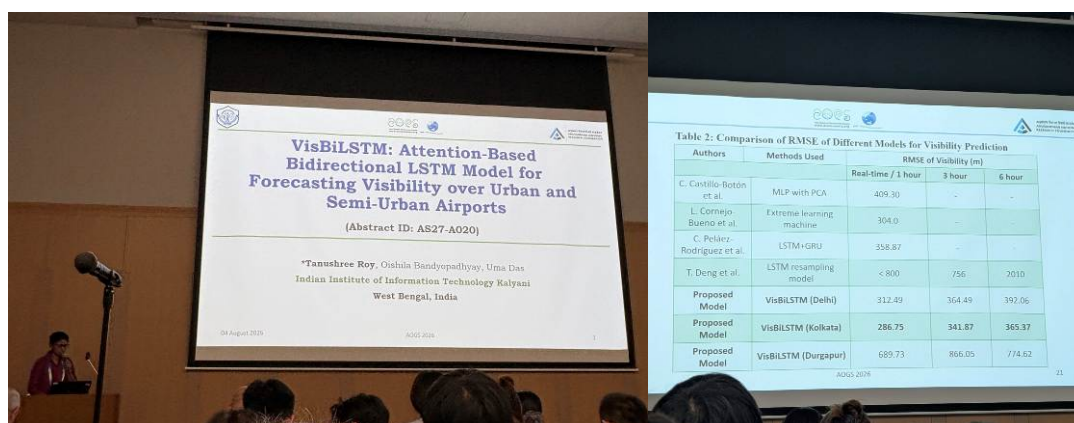


圖 11、AS27 來自印度的 Tanushree Roy 博士報告應用 BiLSTM 結合 Attention 演算法建立印度機場能見度預報模型的研究。

8 月 5 日 (三):

下午時段為氣象海報展覽，舉辦地點為 Hall B 一樓。本次共有 506 篇海報參展，匯集全球 26 國研究單位產官學研單位與會，其中以日、韓、臺、中等東亞地區為核心。其中日本名古屋大學加藤慶(Kei

Kato) 博士生去年年初來台，至 NCDR 氣象組學習之三維風場反演技術 WISSDOM，亦於應用於海報成果中 (圖 12)。



圖 12、名古屋大學加藤慶 (Kei Kato) 博士生應用 NCDR 氣象組 WISSDOM 成果於海報中發表。

除此以外，也參觀各國氣象、海洋相關研究成果海報與交流研究經驗，例如有來自日本 Center for Environment Science in Saitama, Kazo 團隊的研究論文海報 (圖 13)，內容為判釋及分類與日本熱浪事件相關的東亞環流類型。其研究方法與本次徐理寰副研究員報告的研究，皆為聯結極端事件與大尺度大氣環流類型的研究，可做為未來精進研究的參考。

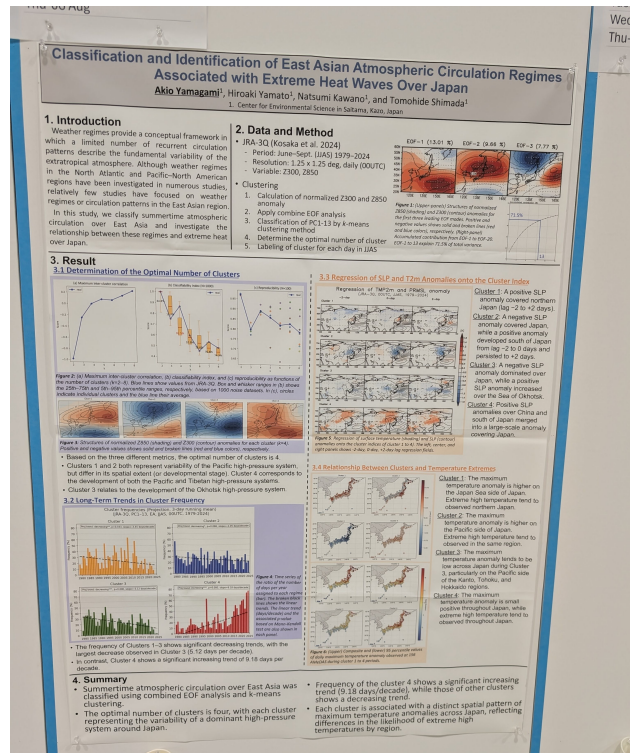


圖 13、來自日本 Center for Environment Science in Saitama, Kazo, Japan 研究論文海報，內容為判釋及分類與日本熱浪事件相關的東亞環流類型。

8 月 6 日（四）：

由國立中央大學林沛練教授主持會議編號 AS23: Extreme Weather Resiliency: Prediction and Response Strategies，本場次內容聚焦於梅雨鋒面動力、午後對流觸發及地形降雨過程，並深入探討 TAHPEX 系集預報驗證與雙偏極化雷達微物理資料同化。相關研究方法與觀測同化經驗，對精進後續極端天氣預警及防救災應變極具參考價值（圖 14）。

會議編號:AS04: Asian Monsoon Precipitation, Extremes and Climate Change，本場次內容討論在東亞季風區的降雨、極端事件，以及在氣候變遷下的環流或降水高溫的衝擊，本次會議內有兩篇討論到近年的極端熱浪事件研究（圖 15），目前最新研究上雖已提出一些影響熱浪事件的遙相關機制，但在事件定義以及辨識方法上，仍然存在許多研究空間。

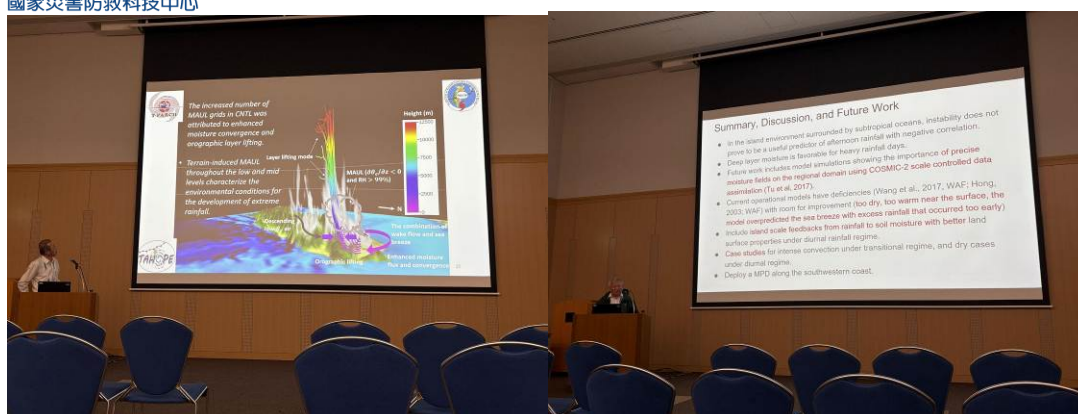


圖 14、會議編號 AS23（左）國立臺灣大學楊明仁教授（右）美國夏威夷大學陳宇能教授分享研究成果。

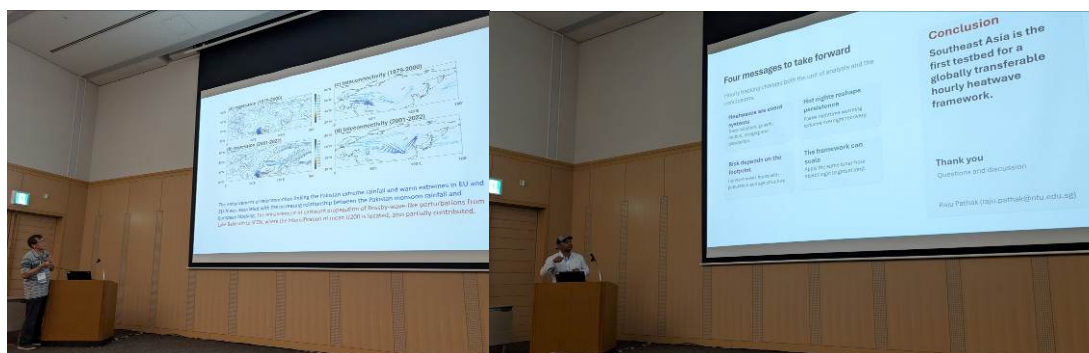


圖 15、會議編號 AS04（左）臺北市立大學洪志誠教授（右）新加坡南洋理工大學 Raju Pathak 博士分享研究成果。

3.心得及建議

本次參加研討會，聽到了許多來自不同國家專家學者的最新研究，並進行深入交流，不但了解許多不同機器學習演算法在氣象、海洋、防災上的最新應用技術，也提供了許多未來進行研究的可能面向。

目前已有許多端到端的資料驅動（Data-Driven）全球天氣模式開源釋出，加上各大作業中心，例如 ECMWF、NCEP 也陸續建立自己的 AI 天氣預報模型及作業化產品，例如 Google 的 GraphCast、ECMWF 的 AIFS、NCEP 的 AIGFS，這些產品在近幾年都表現出優秀的預報能力。使用者不管是在本地端自行運算 AI 天氣模型，或是透過公開資料下載預報結果，都比以往方便了許多，並能迅速獲得大量預報數

據資料。在輕鬆獲得大數據之際，也產生了新的問題，亦即，這些資料的可信度如何？怎麼使用這樣巨量數據呢？因此，目前學研界熱門研究議題之一，就是 AI 模型的校驗表現，以及 AI 大數據的最佳化。近兩年來，AI 全球天氣模型已經大量應用到各國作業單位作業流程中，成為預報系集成員，從累積的預報作業數據校驗結果可知，AI 全球天氣模型在綜觀尺度及颱風等事件的預報掌握度十分亮眼，尤其在颱風路徑預報精確度上，甚至已超越傳統數值模式。但是 AI 全球天氣模型依然存在預報度問題，在事件較早期的預報還是存在預報發散的結果。對於使用者來說，多個預報整合最佳化結果依然是一項重要需求，也關係著產品能否實際落地應用。深度學習在處理這樣的問題上呈現巨大潛力，透過大量歷史數據的學習，能發現隱藏於大數據之間的關係，學習資料組合間的權重，提升預測精確度。

另一方面，機器學習也提供了端到端變數間的映射或反演能力，在氣象上的重要應用，例如反演降雨、地面溫度、地面風場等。氣象雷達及衛星、測站等密集觀測資料，以及模式再分析資料，都提供了許多可供 AI 演算法探掘的數據。本次會議中有許多討論雷達參數或衛星資料反演降雨的議題。但由於各種資料來源解析度不同，為了符合不同區域使用者的應用需求，則需要發展降尺度技術，本次會議有許多發展雨量、地面溫度或是地面風場降尺度技術的研究，除了防災需求外，在能源規劃上也扮演重要角色。降尺度研究可使用諸多先進演算法，例如 Transformer 模型、擴散模型（Diffusion）、GNN 模型等，其模型架構也百家爭鳴，目前是學研究十分熱門的研究議題。本團隊在此議題上亦有引進 NVIDIA 開發的 CorrDiff 及 StormCast 模型，目前已有初步研究成果，未來可持續參考最新國際研究，多方引進先進模型演算法，進行研究及落地應用測試。

雖然資料驅動全球天氣模式表現優異，但在空間尺度上，多數模

式解析度為 0.25 度，不敷局部小範圍使用；在時間尺度上，其具有高預報能力的時間依然在天氣預報尺度內（即 3 至 7 天）。綜合來說，在高解析度、極短期預報、或是更長時間尺度的氣候預報，依然有很大的需求及開發空間，因此 AI 區域模型的開發，或是 AI 極短期定量降雨預報也是本次會議熱門研究議題之一。極短期定量降雨預報，對於短延時強降雨、洪水預警都是重要的預警技術。目前許多研究利用雙偏極化雷達、衛星等遙測資料，以 AI 演算法應用於進行極短期定量降雨推估，間接應用於水文模式，或是直接推估洪水高度，進一步提升洪災預警能力。在 AI 演算法使用上，從早期 LSTM、BiLSTM、GAN，到近期結合 Attention 機制的模型，都有豐富的進展。本中心具備豐富雷達、衛星遙測資料，以及結合多種異質資料的落雨小幫手技術，最近也已開始利用 AI 演算法研發極短期定量降雨、雷達回波推估技術，並持續與學界交流最新技術，改善模型預警能力。

AI 技術也開始應用在次季節至季節（Subseasonal to Seasonal；S2S）時間尺度的預警上，目前學研界在這時間尺度上的預報準確度仍不及 3 至 7 天的天氣預報，除了大氣環流狀態外，海溫、土壤溫度、大氣輻射以及各種尺度的熱帶波動都是影響大氣狀態的重要角色，這樣長時間尺度的大氣狀態推估，能提供為水資源、旱災等防災需求的重要參考資料。本次會議上也有針對這些議題的 AI 技術應用或研究，例如評估 AI 全球天氣模型在 Rossby wave 或是 Kelvin wave 等熱帶波動反應上能否正確呈現其結構、S2S 尺度颱風活動的預估、長期海溫推估或是次季節預報等研究，這些皆是未來可持續關注的研究重點。另外值得一提的研究重點，是近年來全球發生嚴重的熱浪災害，除了氣候變遷的暖化背景外，還有幾個遙相關（teleconnection）因子，包含絲路遙相關（Silk Road Pattern，SRP）與太平洋-日本型遙相關（Pacific-Japan Pattern，PJ Pattern），這些遙相關為驅動歐亞大陸與東

亞地區夏季極端高溫、熱浪異常的關鍵大氣波列機制。而海洋的影響，例如聖嬰-南方振盪（ENSO）與熱帶及副熱帶海溫距平異常、海洋熱浪、北大西洋海溫三極結構等，也有研究指出能透過海氣交互作用成為影響熱浪的成因。目前研究可知熱浪成因機制複雜，尚無定論，甚至在熱浪現象的辨識上都還有很大研究空間。AI 研究應用於此類極端事件的辨識、預測，也可能成為未來前沿研究重點之一。

深度學習在大氣科學應用上具有許多優勢，例如處理大規模數據、辨識氣象事件，以及極端天氣或氣候預測等。許多研究成果持續展現深度學習方法用於解決複雜系統難題的價值。本次研討會，除了讓我們展示了中心研發成果，還得知了許多前沿研究，並與不同國家專家學者有許多學術交流機會。為因應氣候變遷與極端天氣及全球自然災害等挑戰，AI 技術發展及跨領域合作是重要關鍵，未來須持續關注，並透過多方技術交流，引進大氣、水文或跨領域最新研究方法，落實於臺灣災害預警。

4.出國效益

本次參與 AOGS 第 23 屆年會，對本團隊與中心而言具備多方面實質效益，不僅深化了學術量能，更為未來的技術落地研究提供參考方向。本次出國效益包含：

(1). 展現中心研發能量，提升在學研社群的影響力

團隊於本次年會中發表最新研究成果，成功向國際學研界展現本中心在基礎地球科學研究領域的成效，也突顯出在全球人工智慧(AI)應用趨勢中具備的研發競爭力，進一步提升了中心在災防研究領域及學研社群的能見度。

(2). 掌握國際研究趨勢，啟發 AI 落地應用

透過參與會議各領域議程與相關專業討論，深入了解目前在氣象

研究及防災應用上的最新進展。在極端颱風、極端降水、先進氣象遙測資料以及 AI 應用等關鍵議題上，汲取了 AI 實際應用經驗與前瞻技術資訊，可做為未來的研究方向指引，以及為後續推動 AI 技術的實際落地帶來啟發。

(3). 促進跨域交流，增加國內外合作機會

會議期間與來自全球的頂尖研究人員進行面對面互動，建立實質的學術網絡。此行有效增進了與國內外氣象、水文及災防研究單位的互動與連結，為未來跨國或跨領域合作研究奠定了良好基礎。

(4). 強化實務應用，落實災防貢獻

藉由本次會議獲得的國際最新技術資訊與研究成果，應用於提升中心在極端天氣監測、大數據資料分析、高精度災害預警及衝擊調適等重要議題上的研究成效，強化科研成果的實務應用價值，將防救災技術轉化為對社會的實際貢獻。

附錄

附件一：徐理寰副研究員發表論文摘要

Exploring the Association Between Synoptic Weather Patterns and Local Rainfall in Taiwan During Typhoon Season: a Machine Learning Classification Approach

Li-Huan Hsu, Kuan-Ling Lin, Chou-Chun Chiang, Yi-chao Wu, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu

National Science and Technology Center for Disaster Reduction, New Taipei City, Taiwan.

Abstract

This study analyzes synoptic weather patterns affecting Taiwan's rainfall during the typhoon season (2001–2022) using machine learning approaches. We focus on key weather systems including tropical cyclones, the monsoon trough, the subtropical high, and southwesterlies, whose relative positions influence local rainfall distributions across Taiwan. A CNN-Autoencoder deep learning algorithm was employed to extract features from ERA5 circulation data, GPM IMERG rainfall measurements, and Taiwan's TCCIP rainfall datasets. Subsequently, unsupervised clustering was applied to identify distinct weather patterns. Using these clusters as labels, classifiers were developed using five distinct machine learning algorithms. Finally, an ensemble voting classifier was implemented to integrate the results from the individual models. Preliminary results show that the ensemble voting strategy improved classification accuracy to 0.945, outperforming individual models. This suggests that the proposed method can benefit the identification of weather types associated with distinct rainfall patterns in Taiwan.

Keywords: Machine learning, clustering, classification, weather type

AS61-A002



Exploring the Association Between Synoptic Weather Patterns and Local Rainfall in Taiwan During Typhoon Season: a Machine Learning Classification Approach

Li-Huan Hsu*, Kuan-Ling Lin, Chou-Chun Chiang, Yi-chao Wu, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu
National Science and Technology Center for Disaster Reduction, New Taipei City, Taiwan.

Background

This study uses machine learning to analyze synoptic weather patterns during Taiwan's typhoon season (2001–2022). A CNN-Autoencoder algorithm was utilized to extract features from the ERA5, GPM IMERG, and TCCIP datasets. Target days were defined by five-day mean circulations matching climatological pentads P41–P51. Unsupervised clustering identified distinct weather patterns. These clusters served as labels to train six machine learning classifiers, including an ensemble voting classifier (EVC), which integrated the results from the other five models.

Data and Methodology

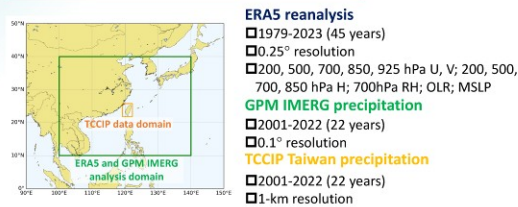


Fig. 1. Domains for weather type analysis. The green box denotes the region of the ERA5 and GPM-IMERG datasets, while the orange box denotes the region of the TCCIP rainfall data.

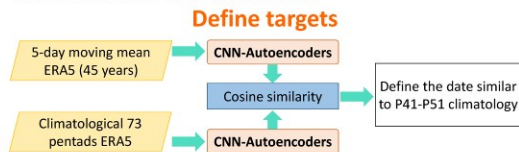


Fig. 3. Workflow of the similarity analysis used to identify the target dates during the typhoon season (Pentads 41–51).

Results

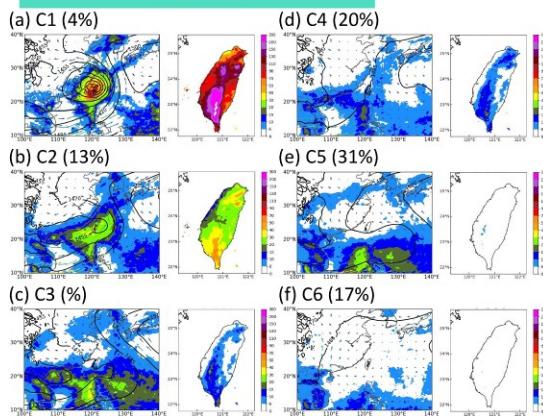


Fig. 5. Composite rainfall (shading), 850 hPa height (contours), and 850 hPa winds (vectors) across the six identified clusters.

Conclusions

- This study used an integrated deep and machine learning ensemble to cluster and classify typhoon-season weather patterns (2001–2022).
- Clustering identified patterns driven by the monsoon trough, subtropical high, and large-scale convection, which uniquely impact Taiwan's rainfall.
- The ensemble voting strategy achieved 0.945 accuracy, proving more robust than individual models.

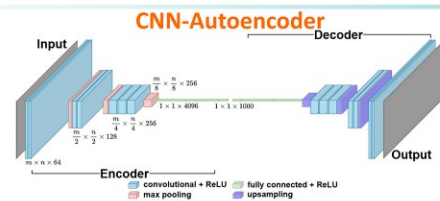


Fig. 2. Architecture of the CNN-Autoencoder. The encoder component is utilized to extract key features from the input variables (adapted from Hsu et al., 2026).

Clustering and Classification

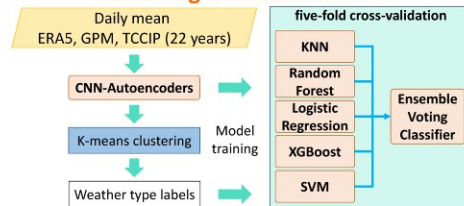


Fig. 4. Workflow for clustering the data and developing weather type classifiers via a five-fold cross-validation approach.

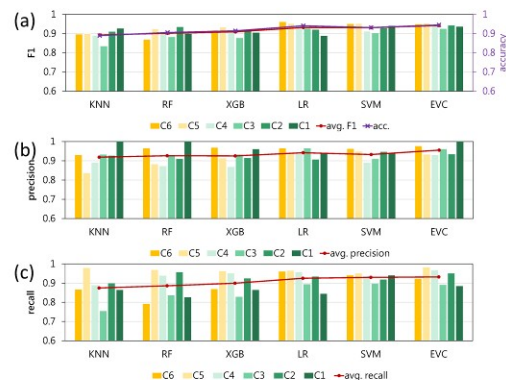


Fig. 6. Average evaluation scores from the five-fold cross-validation across the six models, displaying (a) F1 scores, average F1 scores, and accuracy; (b) precision; and (c) recall. The bar colors represent the different clusters.

Reference

Hsu, L.H., Lin, K.L., Chiang, C.C. et al. A deep learning-ensemble framework for Pre-Meiyu season definition and synoptic-local weather classification. *Geosci. Lett.* **13**, 41 (2026). <https://doi.org/10.1186/s40562-026-00492-z>

*Correspondence:
Li-Huan Hsu (lhhsu@ncdr.nat.gov.tw)

附件三：林冠伶助理研究員發表論文摘要

Machine-learning-based diagnostics of sub-seasonal progression of the western North Pacific monsoon and extreme rainfall

Yi-chao Wu, Kuan-Ling Lin, Chou-Chun Chiang, Li-Huan Hsu, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu

National Science and Technology Center for Disaster Reduction, New Taipei City, Taiwan.

Abstract

During July to early August 2025, Taiwan experienced a prolong period of heavy rainfall associated with multiple typhoons and a long-lasting heavy rainfall event occurring at the end of July, which led to an unusual flood event over southwestern Taiwan. These events coincided with the uncommon persistent monsoon trough over the western North Pacific (WNP), highlighting the need for a robust diagnostic tool to characterize monsoon evolution.

In this study, we apply a machine-learning-based seasonal identification technique to diagnose the progression of the WNP summer monsoon. The proposed method employs a deep learning framework combining feature extraction and similarity comparison to objectively identify sub-seasonal progression. Applying this technique to the period 1979–2024 demonstrates that the diagnosed monsoon onset and withdrawal timings are consistent with those reported in previous studies, confirming the capability of the method to capture both the timing and progression of the WNP monsoon. When applied to 2025, the one-dimensional seasonal sequence reveals an anomalously prolonged circulation state corresponding to climatological pentads 42–43 during July to early August 2025.

We further adopted the composite analyses based on all pentads that were identified as pentads 42–43 in the last 44 years to investigate the climatological characteristics of those pentads. Multi-scale diagnostics further show that these pentads are characterized by a pronounced monsoon trough extending across Taiwan and adjacent seas, enhanced low-pressure activity, and increased tropical cyclone occurrence. These large-scale circulation features collectively create a favorable environment for extreme rainfall occurrence in Taiwan.

Machine-learning-based diagnostics of sub-seasonal progression of the western North Pacific monsoon and extreme rainfall

Yi-chao Wu, [Kuan-Ling Lin](#), Chou-Chun Chiang, Li-Huan Hsu, Jung-Lien Chu, Yi-Chiang Yu

National Science and Technology Center for Disaster Reduction(NCDR), Taiwan

4 August 2026

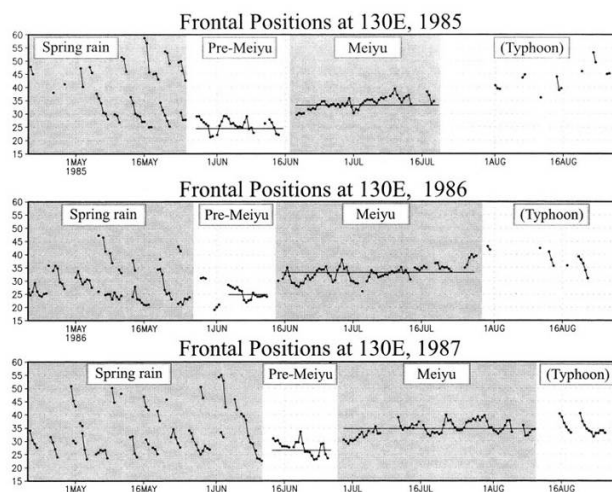


FIG. 1. The trajectories of cold fronts intersecting longitude 130°E. The subseasonal modulation of fronts appears distinctive. In spring the cold fronts move east and migrate from north to south. The brief pre-mei-yu period marks the stationary front around 25°N, then it jumps to 35°N in the mei-yu position. Note that the changes are abrupt and phase-locked with the calendar. After the end of Jul, East Asia is mainly in the typhoon period.

- **Sub-seasonal Variations:**
 - Regional weather systems (location, frequency, movement) shift dynamically as the monsoon evolves.
- **Year-to-Year Differences:**
 - The timing and duration of sub-seasonal transitions vary significantly from year to year.

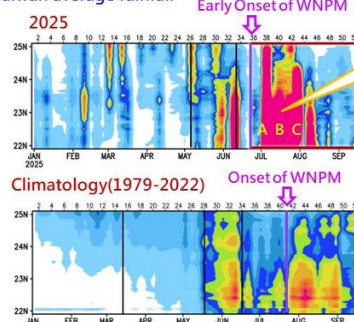
Lin & Wang (2002)

2

July 2025: Prolonged Heavy Rain & Typhoons

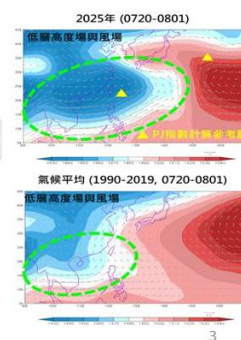
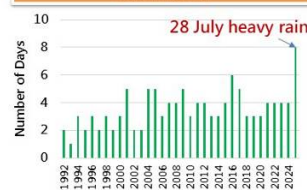
- **July–August 2025 Extreme Event:**
 - Prolonged heavy rainfall with 2 typhoons (Danas & Wipha)
 - 8-day extreme rainfall event causing severe flooding in SW Taiwan
- **Motivation:**
 - Events coincided with an **unusually persistent WNP monsoon trough**
 - Highlights the need for a robust tool to track sub-seasonal monsoon progression

Taiwan average rainfall



A: 7/05 TY Danas
B: 7/18 TY Wipha
C: 7/28 8-day-long heavy rainfall

Annual Maximum Consecutive Days of 24-Hour Extreme Rainfall



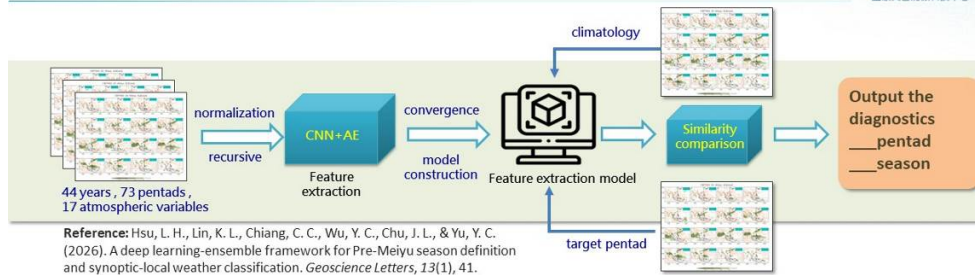
3

Motivation

- **Key question:** "Can we find a simple diagnostic tool to describe these persistent weather features from a sub-seasonal monsoon perspective?"
- Our concept of developing a **Machine-Learning-based Seasonal Progression Identifier (MLSPI)** to:
 - objectively identify the sub-seasonal progression (Hsu et al. 2026)
 - diagnose its multiscale variability

4

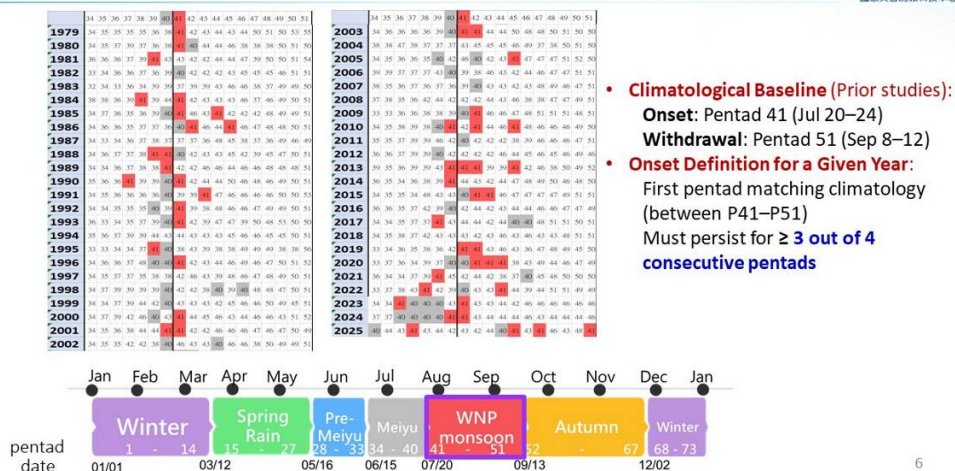
MLSPI Framework and Workflow



- **Input Data:**
 - 17 variables (200–925 hPa winds, geopotential height, RH, and OLR) across 44 years (1979–2022)
- **AI Architecture:**
 - Feature Extraction: CNN-Autoencoder extracts latent features from 3D atmospheric fields.
 - Similarity Comparison: Iteratively matches target pentads with climatology to determine seasonal stages.
- **Output:**
 - Objective pentad-resolution seasonal diagnostics

5

Sub-seasonal sequence of WNPM identified by MLSPI



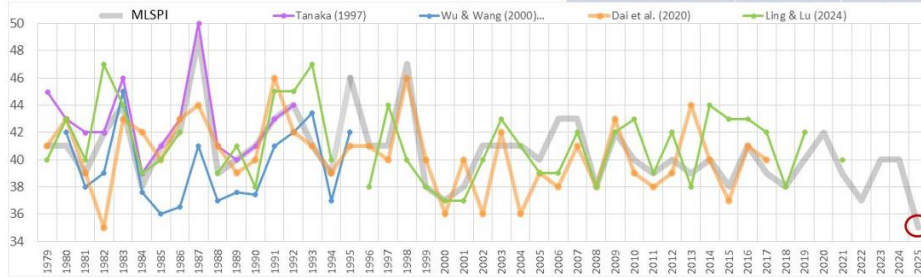
6

1979-2025 WNPM onset dates comparison: from MLSPI vs. literatures

- **MLSPI Validation vs. Literature:**
 - The long-term variability of the onset dates defined by MLSPI is comparable to those of other literatures.
 - 47-Year Mean Onset: Pentad 40.6 (Late July)
- **2025 Case Study:**
 - Extremely early onset: Pentad 35(22 Jun)

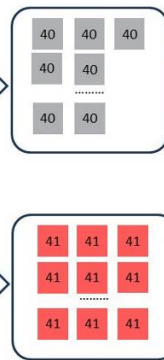
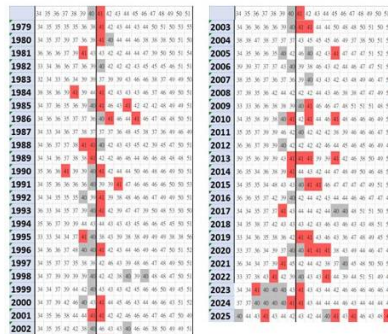
Statistics of the onset dates of WNPM

	1979-2025	1979-1995
MLSPI	40.6 ± 2.6	41.8 ± 2.8
Tanaka 1997	-	42.9 ± 2.8
Wu & Wang 2000	-	39.5 ± 2.8
Dai 2020	40.3 ± 2.6	41.1 ± 2.5
Ling & Lu 2024	41.1 ± 2.6	42.0 ± 3.0



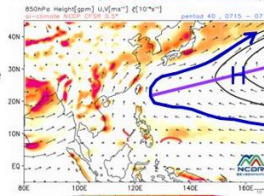
Pentad 40 → Pentad 41

Pentads Identified by MLSPI

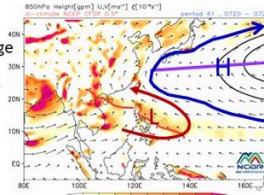


Composite pattern

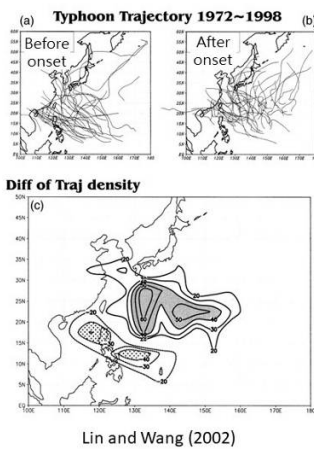
Pentad 40 (before WNPM onset)



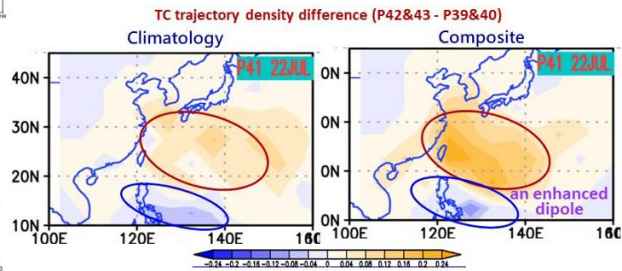
Pentad 41 (WNPM onset)



TC activity : Climatology vs. Composite



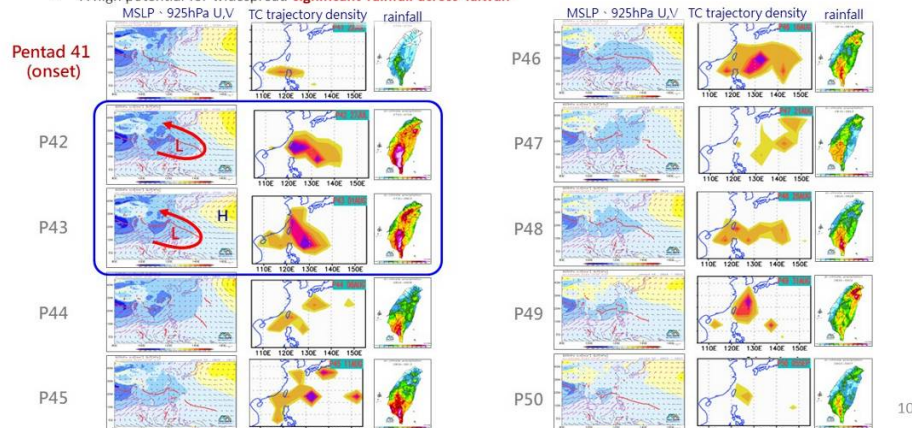
- **Method:** TC trajectory density difference (P42&43 minus P39&40)
- **Climatological Feature:** Typhoon activity **shifts northwards** after monsoon onset, forming a NE-SW dipole pattern.
- **MLSPI Composite Advantage:** MLSPI composite analysis significantly **enhances this dipole pattern**.



*TC trajectory density was calculated from JTWC best tracks

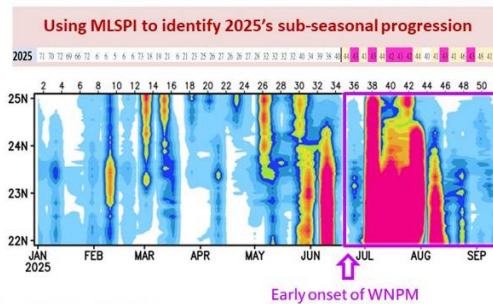
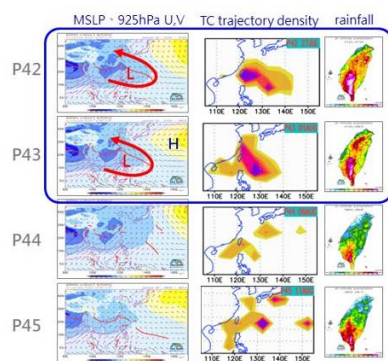
Composite Analysis of WNPM Features

- Composite analysis for pentads 41–51 (Jul 20–Sep 12) highlights distinct features during pentads 42–43 (Jul 25–Aug 3)
 - A pronounced monsoon trough pattern, with its axis extending over Taiwan and adjacent waters
 - Active tropical depressions and typhoons within the monsoon trough
 - A high potential for widespread significant rainfall across Taiwan



10

2025 Case Study: High Frequency of P42–P43



- 2025 Key Features**
 - Early Onset: Pentad 35 (June 22)
 - High Recurrence: Unusually frequent P42–P43 patterns
- Impact on Taiwan**
 - Continuous favorable environment for extreme rainfall in July–August

11

Concluding Remarks

- Tool Development (MLSPI)**
Developed a deep-learning tool (MLSPI) to objectively track WNP monsoon progression at pentad resolution.
- Historical Validation**
Diagnosed onset dates (1979–2025) align consistently with previous studies, proving tool reliability.
- High-Risk Pattern Identification**
Pentads 42–43 feature a strong monsoon trough over Taiwan, active tropical cyclones, and high extreme rain potential.
- 2025 Case Diagnosis**
Successfully explains the 2025 extreme rainfall through an early onset (P35) and high recurrence of P42–P43 patterns.

12