

水庫專屬的降雨「農民曆」：用機器學習掌握乾溼季節曆與旱災風險

吳宜昭、林冠伶、江宙君、徐理寰、朱容練、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

近年臺灣跨季乾旱事件頻傳，突顯水資源調配與旱災預警工具升級的重要性。受到季風與中央山脈屏障影響，臺灣各地降雨型態與水庫豐、枯水期並不相同。

為提供水資源決策者更直觀的氣候資訊，國家災害防救科技中心（以下簡稱災防科技中心）運用深度學習技術分析過去 44 年的降雨資料，從每「候」（5 天）的時間尺度分析季節變化，找出一年之中不同時期的降雨特徵，建立全年 73 候的降水演變。再針對全臺 23 座重要水庫所在位置，分別建立乾季與溼季的降雨分級燈號，呈現各地降雨高峰與枯水期的時序變化，發展「水庫乾溼季節曆」。

「水庫乾溼季節曆」就像水庫專屬的降雨「農民曆」，將複雜的降雨資料轉化為簡單易懂的燈號，讓決策者快速掌握不同水庫所在地的季節降雨特性，作為水資源調度、旱災預警及防災應變的重要參考。

一、前言

臺灣年雨量豐沛，但因地形陡峭，若降雨集中於短時間降下，往往快速流入海中，不易留存做後續水資源應用。因此若季節性降雨不均，就易出現乾旱。朱等(2018)指出過去臺灣過去每幾年就出現一次乾旱，臺灣乾旱事件的發生已是常態。尤其全球氣候變遷影響下，各種極端天氣與氣候事件頻發，根據未來氣候情境的推估(簡等，2022)，未來臺灣豐枯季降水差異將更為明顯，乾旱將持續常態性發生。提升對於旱災的預警能力，並開發合適的旱災預警工具，成為重要的課題。

根據黃(2022)的彙整，近 50 年來，臺灣經歷了 15 次旱災事件，這些事件，歷時從 3 個月到 12 個月不等。又如近期的旱災事件，起源於去(2025)年秋冬降雨偏少，至今(2026)年春季降雨仍不見樂觀，因此自 3 月起經濟部水利署啟動旱災應變作業，直到 6 月上旬因梅雨季顯著降雨才結束。這些事件顯示旱災常常是跨季節的持續性議題

臺灣季節降雨的時/空間特性複雜，增加了臺灣水資源管理的難度。因為位於亞洲季風區，臺灣有明顯的乾、溼季之分；另外，臺灣的北部與南部分別位於亞熱帶和熱帶，加上中央山脈地形的屏障，同樣的天氣系統對臺灣不同區域的影響相異，因此降雨的區域差異也很明顯。如臺灣降雨的長期氣候平均(圖 1)顯示，南部的雨季以 5 月至

9月為主，其餘月份降雨量稀少。又如，東北部宜蘭一帶，秋冬季時因東北風和該地獨特袋狀地形的加乘作用，特別多雨。這些因素造成臺灣降雨的時/空間複雜度。

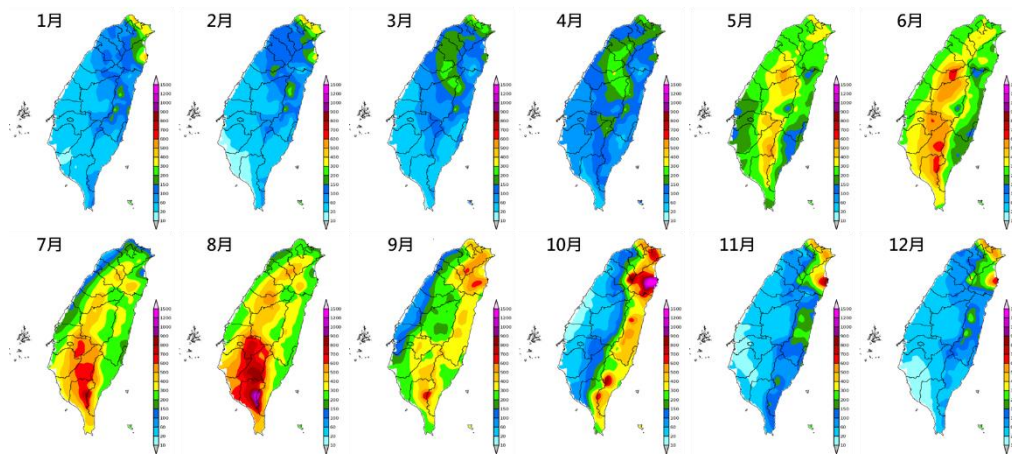


圖 1、臺灣長期氣候平均的每月降雨空間分布圖。

一般來說，當乾旱發生時，次季節到季節(雙週至二~三個月)預報可以提供未來降雨可能性資訊。但該尺度的預報正好位於天氣預報和氣候預報中間的空窗區(Vitart et al., 2012)，預報準確度有一定的限制。影響臺灣氣候的綜觀天氣系統與各種極端降雨事件之發生頻率與型態，和季節時序密切相關(吳等，2016;林等，2023)，像乾旱這種持續性的極端事件也不例外。基於水資源管理和旱災預警的需求，災防科技中心發展出新構想，預計比照古人製作農民曆的想法，建構臺灣降雨的基礎氣候指引，用以描述正常季節演進下全臺各地水庫位置從年初至年底降雨多寡隨時間的變化，本研究稱之為水庫乾溼

季節曆。後續內文將詳細說明此工具開發的科學依據、建置過程與未來展示應用。

二、 建立水庫乾溼季節曆相關智慧技術發展

欲建置水庫乾溼季節曆，本研究透過以下兩階段的技術研發來執行這個工作，第一階段為針對歷史年份的每一候(5 日)，判釋當時的季節時序；第二階段是針對欲探討的氣象變數(如環流、降雨…等)，將每年相同季節時序時間點的變數，重新合成，再依照判定時序排列整齊，就成為全年 73 個候的逐候變化。

以下先介紹為進行季節時序判釋所開發的技術，後續再介紹建置季節曆的細節。

(一) 季節時序判釋技術發展

發展季節判釋技術的方法，同時運用了特徵擷取與相似度比對兩大項技術，經由和長期氣候平均狀態相比，來得知當下的季節進展是否準時，其流程如圖 2 所示。

建立此技術時，首要步驟是以大量的長期數據來訓練機器學習的演算法。本研究使用的是過去 44 (1979-2022) 年的 CFSR(Climate Forecast System Reanalysis, Saha et al., 2010)再分析網格資料。不同於前人探討季節演進時通常僅依賴少數(一至二種)氣象變數訂

定指標的做法，本研究擴大納入亞洲季風區之三維大氣環流特徵，希望能更全面地反應三維大氣的季節演進。選擇的環流變數包括大氣 6 個代表層(200、500、700、850、925 及 1000 hPa)、2 種空間範圍、多達 17 項(輻散風、風場、重力位高度場、海平面氣壓，以及向外長波輻射)的關鍵氣象變數。

針對歷史觀測，以卷積神經網路自動編碼器(CNN-AutoEncoder)深度學習演算法，進行特徵擷取與訓練。訓練時以每 5 日平均資料作為訓練樣本，演算法包含編碼器(Encoder)與解碼器(Decoder)兩部分，可將 17 組環流資料擷取出具代表性的特徵潛在空間，並具備還原能力。再將訓練完成的特徵擷取模組，應用於 44 年的長期氣候平均值進行特徵擷取。同樣的，於決定歷史年份每一候的季節時序時，也將當下欲判釋的候平均環流以同樣的模組來擷取特徵。最終利用相似度比對技術，決定當下的候平均環流和長期氣候平均中的哪個候平均環流最接近，由此可判定當下季節時序。這些技術細節可參考吳等(2023; 2024)。

應用此技術，本研究除了已判釋歷史年份的季節時序，也已於 2025 年起成功進行作業化，可提供當年即時的季節時序診斷。

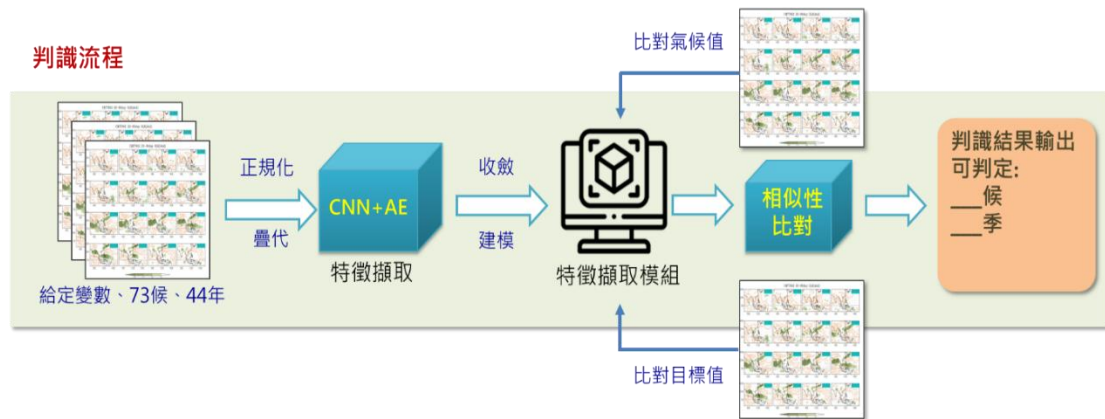


圖 2、以機器學習技術(特徵擷取與相似度比對)判釋季節進展流程示意圖。

(二) 根據季節時序合成季節曆

以往常見以長期氣候平均來描述季節時序來到特定時間(某月某日)時氣象(溫度、降雨…等)的狀態，然而，長期氣候平均常有其隨時間的變化過於平滑的缺點。長期氣候平均的產製係依據多年相同日期的觀測資料進行跨年平均而成。例如，如圖 2 左所示，將 44 年的 1/1~1/5 五天加總平均後就得到第一候的長期氣候平均。然而，受氣候年際變異(如聖嬰或北極振盪等低頻氣候因子)影響，每年各季節開始的時間可能會提前或延後。若直接將多年相同日期平均，重疊的效果會像一個低頻濾波器，將季節轉換時最關鍵的季節驟變(Abrupt Change, Kato, 1985; Leathers and Robinson, 1997; LinHo and Wang, 2002)特徵以及相關的颱風、豪雨等天氣尺度的高頻波動振幅平滑掉。

為了打破這個限制，在選取樣本做平均時本研究改以大氣實際的

季節時序為根據。首先，以前一步驟中開發的季節時序判釋技術，判釋完成過去 44 年的季節時序並建立每一個候的季節時序標籤。舉例來說，如圖 3 右所示，歷年被判釋為第一候的時間點不一定位於每年的 1/1~1/5，而是如 A、B、C…等位於每年不同時間點。本研究將 A、B、C…等時間點的氣象資料加總平均，合成為第 1 候的平均值，代表季節曆第一候的特徵。將相同步驟反覆應用於第 2 候至第 73 候，並按照第 1 至第 73 候的順序排列，就得到全年 73 候的季節曆。

這種以判釋的季節時序對齊合成後重新建構的季節曆，可以保留甚至強化季節轉換時大尺度環流變化特徵以及相關的颱風、豪雨等天氣尺度的高頻波動(吳等，2023)。根據此邏輯建置的水庫乾溼季節曆因此較能反應極端降雨的特徵，提供防汛與抗旱更精準的氣候指引。

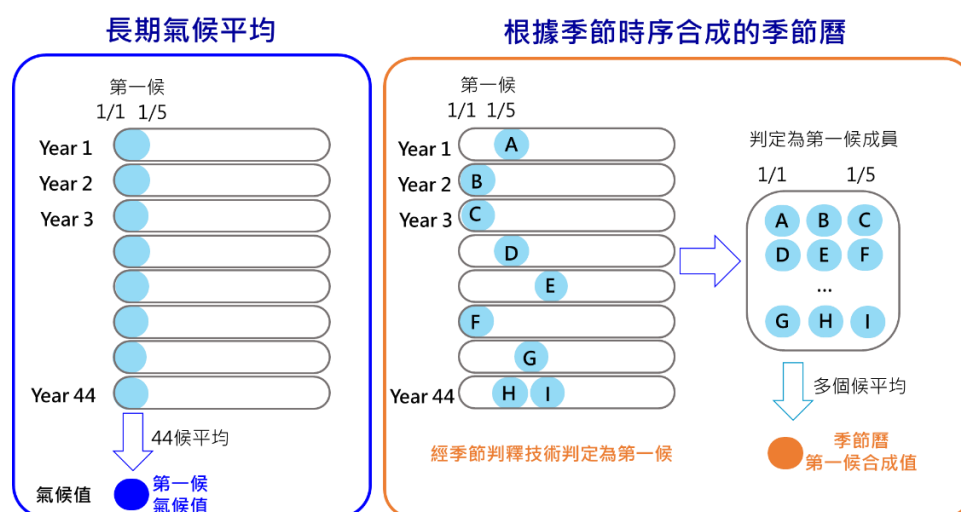


圖 3、長期氣候平均與季節曆產生方式比較示意圖。

三、 水庫乾溼季節曆的設計

吳等(2025)根據東亞季風區季風環流驟變將全年分為五個次季節。本研究採用相同的定義，但考慮應用於監測臺灣降雨氣候的需求，將之略作調整，重新建構全年六個次季節的架構：冬季、春季、梅雨季、夏季、颱風季與秋季(圖 4)，並在此架構之下，建構更細緻的降雨逐候變化。本研究依前節建立季節曆的方式，應用在全臺平均降雨，建立「全臺平均降雨季節曆」，來了解全臺平均降雨的 73 候乾溼變化的特徵，這樣的季節曆將比單純的長期氣候平均更能突顯降雨隨次季節演進時的變化。

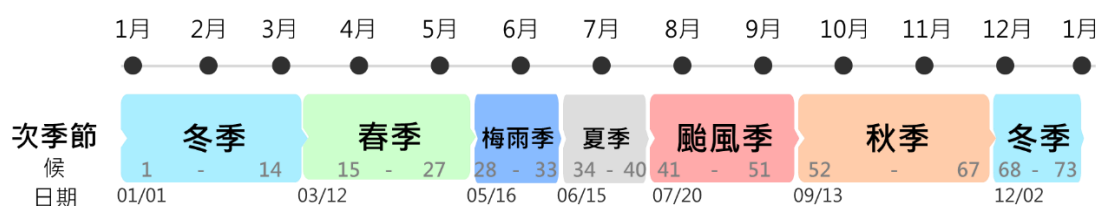
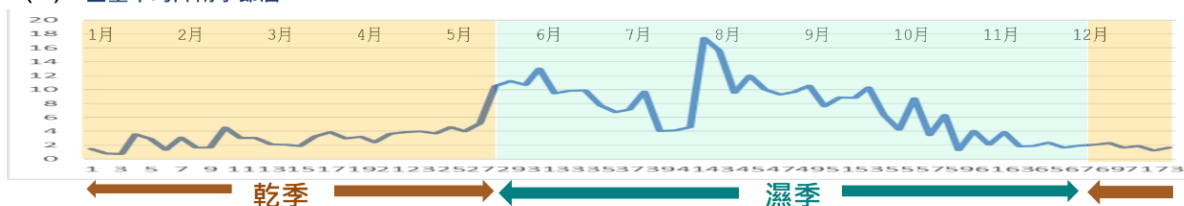


圖 4、根據東亞季風研究文獻定義並針對描述臺灣氣候需求所訂定的全年六個次季節架構。

全臺平均降雨季節曆(圖 5 上)顯示，每年 5 月中旬至 11 月全臺平均降雨比較明顯，這一段時期涵蓋了梅雨季、夏季、颱風季與秋季四個次季節，本研究將之定義為溼季。溼季中有兩波降雨高峰，分別出現於梅雨季與颱風季。12 月至 5 月中旬是冬季與春季，降雨較為稀少，本研究將之定義為乾季。

(上) 全臺平均降雨季節曆



(下) 季節時序

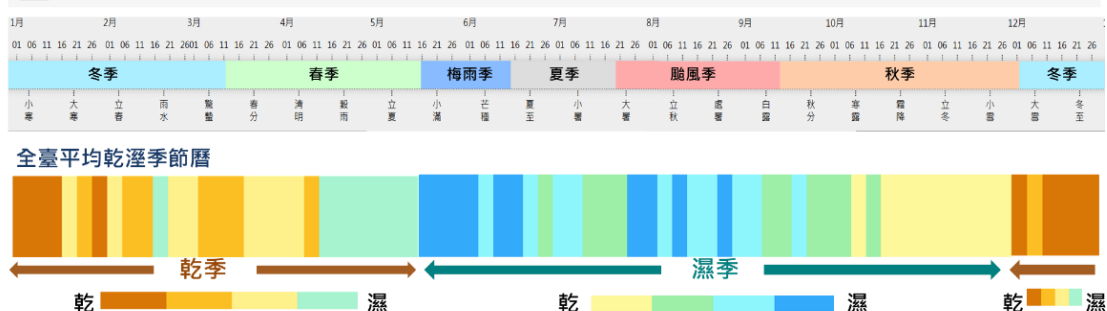


圖 5、(上圖)全臺平均逐候降雨量變化。(下圖)依乾、溼季分級，以 4 級燈號呈現 73 候降雨多寡的乾溼季節曆。

全臺平均降雨季節曆呈現正常季節時序演進下，從年初至年末全臺平均降雨的量值變化。然而就水資源操作應用需求而言，以實際降雨量值來呈現逐候變化太過複雜，必須加以簡化，本研究簡化的方式是改以等級燈號呈現。本研究將所有候的降雨重新排序後，將百分位 0%、25%、50%、75% 的降雨量值定為四個等級的門檻，再重新將各候的降雨量以燈號方式呈現。此外，又因為溼季較乾季降雨量高出甚多，若將溼季和乾季合併一起區分等級，乾季內的細微逐候變化恐怕難以呈現，因此刻意將溼季和乾季區分開，乾季和溼季各自具備一套等級燈號，本研究將新的呈現方式稱之為「全臺平均乾溼季節曆」(圖

5 下)。就乾季而言，自冬季初期(12 月初)開始至 1 月中旬是乾季中最乾的階段，接著 1 月中旬至 4 月中旬出現乾溼的交替變化，而春季後半段(4 月中旬之後)至梅雨季來臨(5 月中旬)前，是乾季中最溼的階段，可持續一個多月。溼季同樣涵蓋了持續時間相異的各種乾溼變化階段，如同前述，溼季中最溼的兩個階段分別為梅雨季和颱風季前期的兩波降雨高峰，期間的夏季相對比較乾。颱風季之後進入秋季，降雨日益減少，尤其秋季後期(10 月中旬之後)是溼季最乾的階段。

若在建置全臺平均降雨季節曆(圖 5 上)時保留緯度的變化，可以區分北中南各區域降雨的差異。如圖 6 上所示，儘管有乾溼季之分，在乾季(冬季、春季)，北部地區受鋒面通過或華南雲雨帶等天氣系統影響，仍能獲得一定程度的降雨挹注；同時期的中南部地區卻持續處於少雨的狀態。直到梅雨季到來(5 月中旬、第 28 候)、溼季開始，多雨範圍才自北部向南延伸，此溼季多雨現象並在颱風季達到高峰。隨著颱風季結束、秋季到來，中南部降雨日漸減少、準備面臨乾季的到來，同時期北部則仍常因颱風、共伴、東北風等而在迎風面形成降雨。因此臺灣北部乾溼季降雨對比不若南部的那麼明顯。

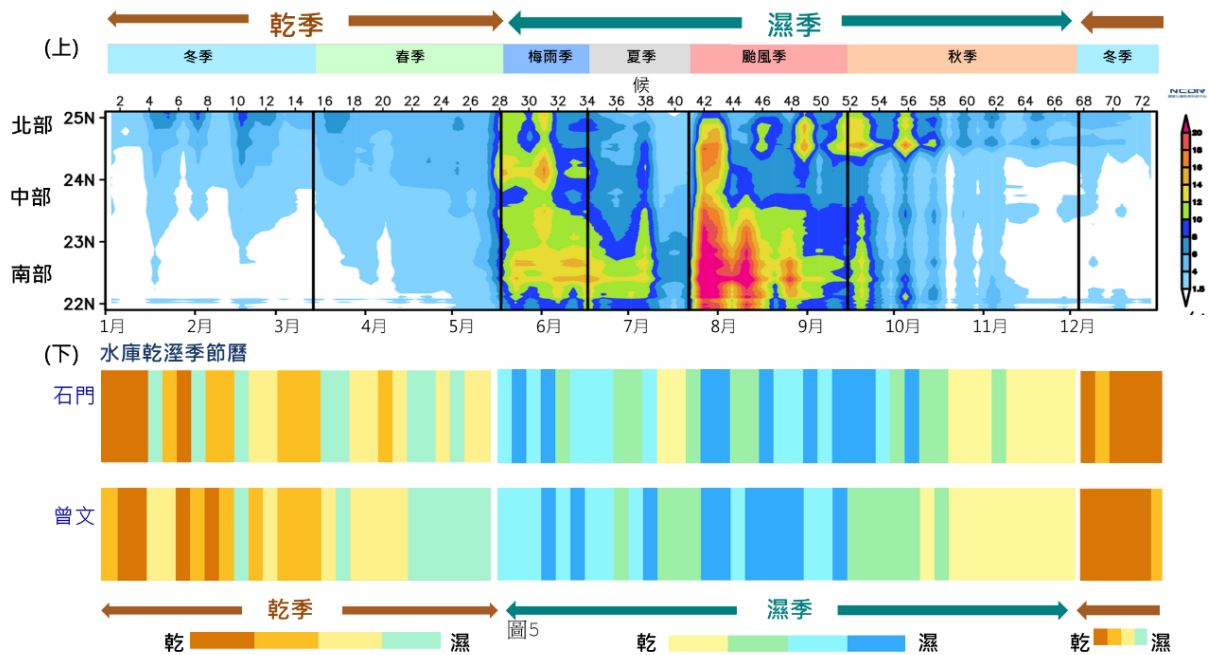


圖 6、(上圖)臺灣降雨緯度—時序剖面及 6 個次季節時間軸；(下圖)石門水庫與曾文水庫降雨的乾溼季節曆。

鑒於臺灣降雨的區域差異如此明顯，為了符合各水庫水資源管理的需求，本研究針對全臺 23 個重要水庫區域，分別建置各自的乾溼季節曆。以石門和曾文水庫為例(圖 6 下)，同樣是溼季，溼季內隨季節演進降雨多寡的變化仍有差異；對石門水庫而言，颱風季初期(8 月初)與颱風季結束前後(9 月中下旬)是兩個降雨多且持續的時期；然而對曾文水庫而言，颱風季前 2/3 階段(7 月下旬至 8 月)都是該地降雨強且持續的時期。臺灣南、北部乾季降雨的差異也很明顯。對北部的石門水庫而言，冬季中期(1 月中旬)起就可能因冬季的天氣系統通過而間歇地為北部帶來降雨，然而這些冬季中高緯的天氣系統通常難

以影響到臺灣南部，因此對南部的曾文水庫而言，幾乎整個冬季持續處於乾的狀態，要直到春季後半段(4月中旬起)才比較有機會因鋒面或華南雲雨帶等春季天氣系統帶來乾季的降雨。

四、 結語

臺灣每隔幾年，就可能面臨乾旱威脅。近年跨季乾旱事件更凸顯水資源調度與旱災預警的重要性。面對日益複雜的乾旱風險，災防科技中心持續發展新的預警工具，希望透過科技更早掌握降雨變化，為水資源管理與旱災應變爭取更多準備時間。

近期建置的「水庫乾溼季節曆」，就是其中一項新的旱災預警工具。它的設計概念，是提供一個簡單直觀的氣候指引，讓使用者了解在正常的季節變化下，水庫所在區域的降雨量通常如何隨時間改變。可以把它想像成一本具有 73 個「降雨節氣」的水庫專屬農民曆，從中掌握一年之中何時通常較乾、何時較溼。臺灣南北狹長、地形變化大，降雨具有明顯的區域差異。因此，不能只用全臺平均降雨來代表各地水庫的乾溼變化。災防科技中心針對全臺 23 座重要水庫，量身建立各自的乾溼季節曆，透過將降雨量轉化為四個等級的色彩編碼，直觀呈現各水庫降雨的乾溼變化。

水庫乾溼季節曆建置完成後，將展示在災防科技中心的天氣與氣

候監測網上的專頁中，並預計結合觀測與預報，於時間軸上展示，除了可隨時監測現況，並可展望近期水庫的乾溼變化。災防科技中心期待藉由此產品，將複雜的大氣環流型態隨次季節的變化轉化為直覺、易操作的區域性乾溼變化燈號，為水資源管理與旱災預警提供更精準的決策依據。

參考文獻

朱容練、吳宜昭、陳淡容、黃柏誠、于宜強，2018：臺灣極端氣候事件之低溫、高溫與乾旱研究。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 106-T01。

吳宜昭、朱容練、徐理寰、江宙君、黃柏誠、黃紹欽、于宜強，2023：次季節氣候監測技術開發之規劃與先期研究。國家災害防救科技中心業務報告，NCDR 111-T22。

吳宜昭、林冠伶、江宙君、徐理寰、朱容練、于宜強，2024：次季節氣候預報架構規劃與季節曆建置之初步研究。國家災害防救科技中心業務報告，NCDR 112-T18。

吳宜昭、林冠伶、江宙君、徐理寰、朱容練、于宜強，2025：東亞次季節區分與其在極端氣候診斷運用。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 113-A16，2025。

吳宜昭、龔楚嫻、王安翔、于宜強，2016：臺灣地區短延時強降雨事

件氣候特性分析。NCDR 災害防救電子報，第 132 期，2016/07

發行。

林冠伶、吳宜昭、朱容練、于宜強，2023：次季節氣候監測與產品服

務，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 212 期。

黃紹欽，李宗融，黃柏誠，吳宜昭，王安翔，于宜強，2022：枯旱大地

2021 臺灣極端氣候與天氣事件回顧與分析。國家災害防救科技

中心。

簡毓瑤、劉曉薇、張珈瑋、王俊寓、鄭兆尊、陳永明，2022：IPCC AR6

最新氣候情境分析與災害應用評析報告。國家災害防救科技中

心。

Kato, K., 1985: On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China Continent in late May of 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 737–750.

Leathers, D. J., D. A. Robinson, 1997: Abrupt changes in the seasonal cycle of North American snow cover. *J. Clim.*, **10**, 2569–2585.

LinHo, B. Wang, 2002: The time–space structure of Asian summer monsoon—A fast annual cycle view. *J. Clim.*, **15**, 2001–2019.

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., et al., 2010: The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1015–1057.

Vitart, F., A. W. Robertson, and D. L. T. Anderson, 2012: Subseasonal to Seasonal Prediction Project: Bridging the Gap between Weather and Climate. WMO bulletin, 61, 23–28.