

2020-2021 臺灣百年大旱原因分析

李明營*¹ 洪浩哲² 許晃雄² 王品翔¹

¹交通部中央氣象局

²中央研究院環境變遷中心

(中華民國 111 年 9 月 28 日收稿；中華民國 111 年 12 月 21 日定稿)

摘要

2020 年梅雨季提早結束，夏季沒有侵臺颱風，秋冬季雨量亦明顯偏少，2021 年春雨也是寥寥可數，就在水庫快要見底之際，望眼欲穿的梅雨終於在 5 月底到來，臺灣旱象才得以逐漸緩解。此次旱災除在經濟上有許多損失外，亦對民眾生活造成諸多不便，值得深入了解形成旱象的物理機制。

統計 2020 年 6 月至 2021 年 5 月的臺灣雨量，達到 1910 年有紀錄以來的最少，堪稱為百年大旱。本報告分析此段期間的大尺度環流，推測造成臺灣百年大旱的可能原因，並歸納主要發現如下：①2020 年 6 月至 9 月的少雨，主要是極端偏強的副熱帶高壓造成，當時的副高不僅在強度上達到最強，持續時間亦為 1949 年之後的最持久；副高偏強可能與熱帶各洋面同時出現海溫異常有關，包含反聖嬰在中東太平洋的偏冷、印度洋及大西洋的偏暖。②臺灣 2020 年秋冬季雨量偏少，可能與反聖嬰及菲律賓海偏暖有關。③2021 年臺灣春雨偏少，主因應該是菲律賓海溫偏暖，其次為逐漸減弱的反聖嬰，負相位的太平洋年代際震盪亦有少許的貢獻；當菲律賓海偏暖時，會在其西側產生氣旋式環流，為臺灣及東亞沿岸帶來水氣較少的東北風距平，進一步造成臺灣春雨較少；反聖嬰有利上述偶合系統的維持。④2021 年 3 月中旬至 5 月期間的熱帶季內振盪較為活躍，季內振盪可能使臺灣 4 月中下旬的西南水氣源減少，5 月季內振盪乾區逐漸接近臺灣，進而造成臺灣少雨。簡而言之，2020-2021 年的臺灣百年大旱不是單一因素造成的極端事件，而是許多因素同時出現的複合現象。

關鍵字：乾旱、氣候異常、副熱帶高壓、反聖嬰、複合現象、季內振盪。

* 通訊作者：李明營，E-mail: pluto@cwb.gov.tw

1、前言

約由 2020 年 6 月至 2021 年 5 月，臺灣經歷一場百多年來最乾旱的時期，若以臺灣本島 6 個百年氣象站(臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東)平均代表臺灣，發現 2020 年 6 月至 2021 年 5 月的雨量明顯少於其他年，其標準差達-2.66，更為有記錄以來的最低，創 1910 年以來雨量最少的一年(圖 1，共 111 年資料)。以下簡要描述這段時間的臺灣天氣。

2020 年的梅雨季，雨量主要集中於 5 月；6 月起，太平洋副熱帶高壓(簡稱副高)增強，將梅雨鋒面北推至中國長江及日本、韓國附近，使得當地遭遇洪水肆虐(Takaya

et al., 2020; Wang et al., 2020; Ding et al., 2021; Pan et al., 2021; Kim et al., 2022)；臺灣則提早迎接酷熱的夏季。偏強的副高幾乎延續整個 2020 年夏季至秋季初期，6 月至 10 月期間，臺灣除了歷經連續 5 個月的偏熱、少雨；分析中央氣象局颱風資料庫(Jian et al., 2022)更發現，2020 年是除 1964 年之外，另一個在 10 月前沒有颱風侵臺的一年；直到閃電颱風在 11 月 6 日掠過呂宋海峽，才有 2020 年唯一的侵臺颱風，但僅給屏東帶來的不多的雨量。回顧 2020 年 6 至 9 月期間，全臺灣雨量均顯著偏少，翡翠以南的水庫集水區雨量更是達到有記錄之來的最低。

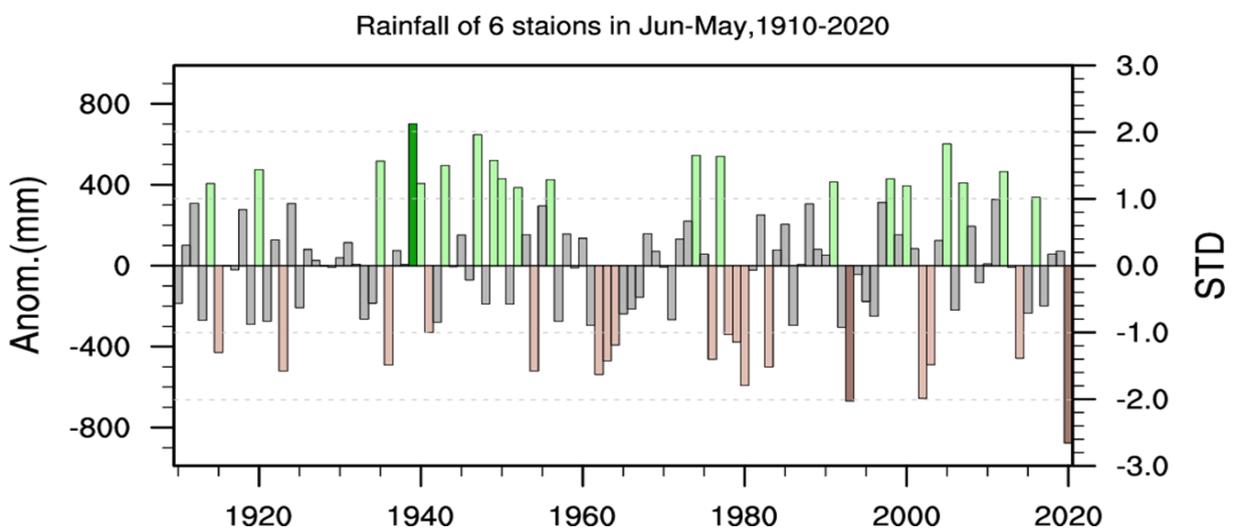


圖 1：臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東，6 個臺灣百年氣象站在 1910 至 2020 年的雨量時序圖，每個直條代表當年 6 月至隔年 5 月的平均雨量，左座標軸為距平值(平均為 1954.6 毫米)、右為標準差。直條圖的顏色對應標準差，在 ± 1 之間為灰色，超過 ± 1 、 ± 2 個標準差分別為淺綠/褐、深綠/褐色。由圖可知，2020 年雨量明顯少於其他年(距平=-876.5mm，標準差=-2.66)。

隨著季節的推進，2020 年 10 月之後東北季風逐漸取代副高，成為影響臺灣的主要天氣系統；在此同時，赤道中東太平洋海表面溫度(簡稱海溫)已呈現大範圍偏冷，一個中等強度的反聖嬰正逐漸發展。在反聖嬰等因素的影響之下，2020 年的秋冬季至 2021 年春季期間的東北風較強，雖為東北部及東部帶來豐沛雨量，但受益較多的水庫僅有基隆的新山水庫、供應大臺北地區的翡翠水庫；石門以南的水庫集水區雨量仍明顯偏少，造成水庫水位持續下降。

反聖嬰在 2021 年 4 月之後減弱至接近正常狀態，影響力已可忽略，但在 5 月 29 日之前的臺灣仍盼不到甘霖，雨量依然在低檔徘徊。在臺灣各水庫即將見底之際，第一波梅雨滯留鋒面終於在 5 月 30 日報到，臺灣附近的環流也轉濕，午後雷陣雨頻率及強度轉強，6 月的西南氣流及 3 波滯留鋒面，及 7 月的熱帶低壓、烟花颱風外圍環流等系統，均帶來豐沛雨量，滋潤臺灣大地，終結了這場百年大旱。2020-2021 臺灣百年大旱由於持續時間長，造成臺灣史上首次的二期稻作及隔(2021)年的一期稻作同時停灌，連同其他農作物，農業損失共計約達 16.5 億元(劉等，2021)；

為應變此次百年大旱，政府更是投入大量的物力及人力。若能了解造成此極端事件的物理機制，應能在下次旱災來臨之前提早預警，減少經濟損失及降低對民生及各產業的衝擊。本報告其他的內容如下，第 2 節為使用資料與分析方法，第 3 節探討造成臺灣百年大旱的原因，模式驗證動力機制在第 4 節，最後是第 5 節的結論與討論。

2、使用資料與分析方法

為分析 2020-2021 年百年大旱，本研究使用以下觀測及重分析資料：①中央氣象局局屬氣象站，② NCEP NCAR Reanalysis I (Kalnay et al., 1996)，③ Global Precipitation Climatology Project (GPCP, Adler et al, 2003)，④ NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) V5 (Huang et al., 2017)，⑤ NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) V2 (Reynolds et al., 2002)，⑥ Outgoing Longwave Radiation Daily Climate Data Record, OLR Daily CDR，⑦ CPC MORPHing technique (CMORPH, Joyce et al., 2004)。

上述第 1 項資料產出單位為中央氣象

局，第 2 至 5 項的環流資料都是來自 NOAA/OAR/ESRL PSL, Boulder, Colorado, USA(<https://psl.noaa.gov/data/gridded/>)，第 6 項資料來至 National Centers for Environmental Information (NCEI)，網址為 <https://www.ncei.noaa.gov/data/outgoing-longwave-radiation-daily/access/>，第 7 項的資料來源為 NOAA/NWS/CPC，可至 <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip> 下載。

百分化(percentile)是一種資料標準化，定義為 $p=100*(n-1)/(N-1)$ ， n 為資料由小到大的排名， N 為資料總數。以 50 年的雨量為例，雨量最少年時 $n=1$ ， $p=100*(1-1)/(50-1)=0$ ；在雨量最多年時 $n=50$ ， $p=100*(50-1)/(50-1)=100$ 。即百分化的範圍在 0~100，0 為歷史資料的最低，100 則為最高，愈往兩端(0 或 100)代表愈極端。

本研究亦利用 Lanczos filtering (Duchon, 1979)進行時間濾波，以 25 至 70 天波段濾波代表季內振盪(intra-seasonal oscillation, ISO)的訊號。

3、臺灣百年大旱原因分析

3.1 2020 年 6 至 9 月環流分析

每年 5 至 6 月的梅雨季，及 7 至 9 月的颱風季，是臺灣最主要的雨量來源。然而，2020 年臺灣梅雨季豐沛的雨量僅出現於 5 月，6 月雨量顯著偏少，接下來的 7 至 9 月因副高持續偏強，且期間沒有侵臺颱風，造成臺灣極端少雨。圖 2a 為 850 hPa 流函數在 2020 年 6 至 9 月的百分化，可以發現整個亞洲至西北太平洋的百分化均超過 90，代表該區域為顯著的反氣旋距平，其中，中南半島、華南至及臺灣的百分化更達 100，說明當地的副高達歷史記錄上的最強。另外，由 850 hPa 流函數在亞洲大陸及西北太平洋呈現大範圍的顯著正距平說明，2020 年 6 至 9 月臺灣出現高溫少雨不僅是局地現象，而是大尺度的極端事件。分析 2020 年 6 至 9 月降水場，中國長江降雨百分化接近 100，南海、臺灣及菲律賓則是低於百分化 5，鄰近的兩地出現南旱北澇的極端事件(圖 2b)。海溫在印度洋、熱帶大西洋的多數海域超過百分化 95，北印度洋甚至達到破紀錄的 100，熱帶中東太平洋呈現反聖嬰的冷海溫(圖 2c)，上述海溫配置均對副高有增強的效應(Hong et al., 2014, 2015)，第 4 節將會以動力模式驗證。至於西北太平洋海溫達歷史新高，則可能是副高偏強，雲量較少，有

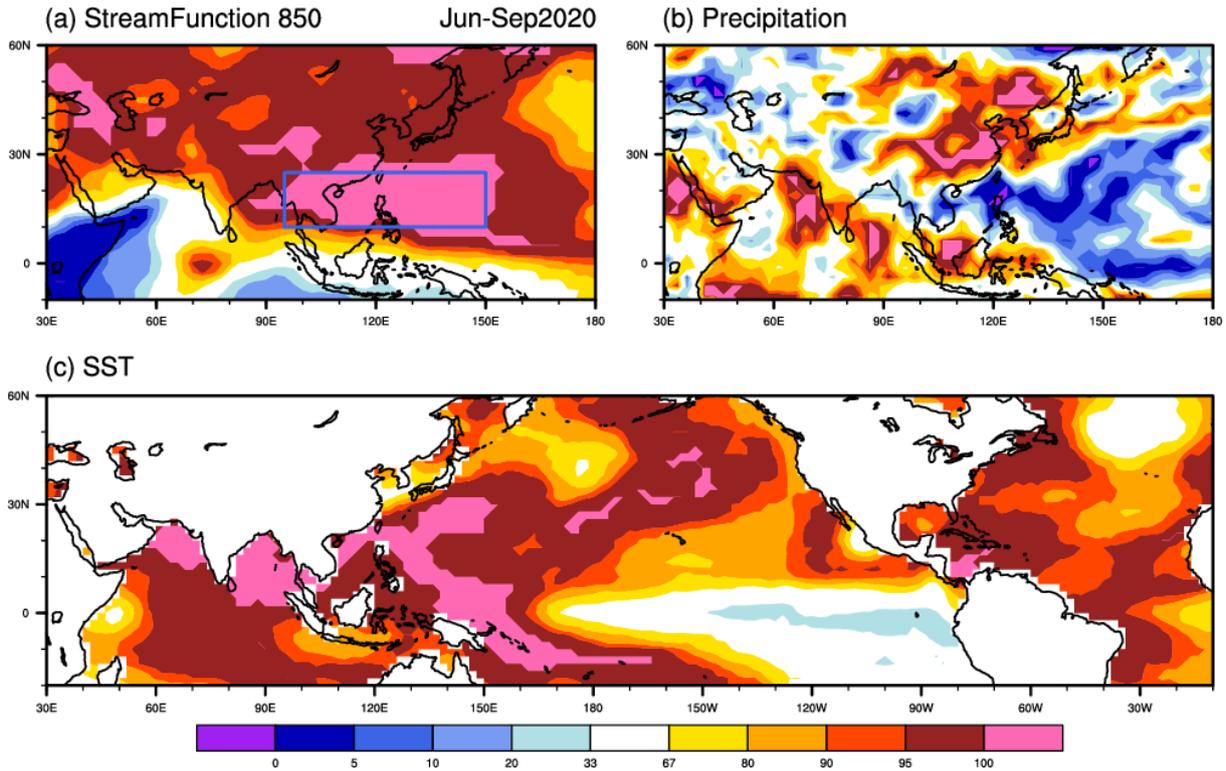


圖 2：2020 年 6 月至 9 月的(a)850hPa 流函數、(b)降水、(c)海溫，數值為百分化，圖中藍色框區的百分化接近 100，所以選為副高(反氣旋)指標的範圍。

較多短波輻射加熱海洋，為大氣影響海洋的結果。

由於西太平洋至中南半島的 850hPa 流函數在 2020 年 6 月至 9 月之百分化達到 100，選取 10°~25°N, 95°~150°E 區域平均進行更深入的分析。由於反氣旋常常與高氣壓是一體的兩面，此指標雖代表反氣旋強度，但稱為副高指標亦屬合理。並計算指標在每年 5 至 10 月期間大於等於 0.5 個標準差的最大連續天數，2020 年由 5 月 27 日持續至 9 月 25 日，長達 122 天，為 1949 至 2020 年平均天數 27.3 天的 4.5 倍，標準差更是達到 5，為史上最長持續天數

的一年(圖 3)。綜合以上分析，2020 年 6 月至 9 月因副高持續偏強，導致臺灣少雨，而中南半島，經華南至臺灣區域的副高，不僅是歷史記錄上的最強，也是最為持久的。颱風方面，2020 年 6 至 9 月西北太平洋有 12 個颱風生成，少於氣候平均 15.8 個，更創下 1958 年有紀錄以來首次沒有颱風生成的 7 月份(王品翔，2021)；颱風的強度及持續時間均偏弱，累積氣旋能量(accumulated cyclone energy, ACE)是 159，只有平均值 360 的 44%，僅次於 2010 年的 130、達到 1982 年之後的第 2 少。

另一方面，圖 3 說明 2020 年偏強的

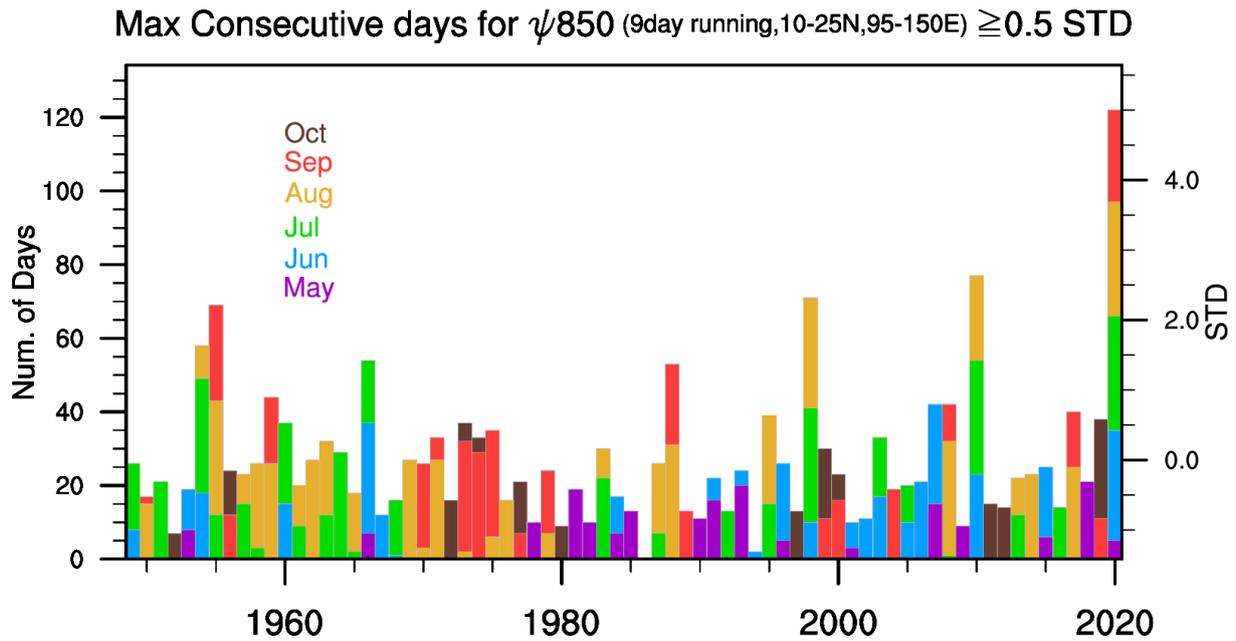


圖 3：副高指標(10°~25°N, 95°~150°E 區域平均的 850 hPa 流函數，亦可稱為反氣旋指標)大於等於 0.5 個標準差的最大連續天數，顏色代表月份，左座標軸為天數，右為標準差，橫軸為年份 1949 至 2020 年。

副高持續至 9 月下旬，10 月的副高強度已減緩，季節上也逐漸進入深秋，副高應已不再是影響臺灣的最主要系統；3.2 節將探討何種系統接續副高，成為造成 2020 年臺灣秋冬季雨量偏少的主因。

3.2 2020 年秋冬季環流回顧

回顧 2020-2021 反聖嬰發展過程，赤道中東太平洋海溫約於 2020 年 5 月轉冷，並逐漸向西擴展，冷海溫在 2020 年 11 月左右達到最強，Niño3.4 指標約為 -1.5°C ，一個強度不弱的反聖嬰已達成熟。隨後，冷海溫逐漸趨緩，約 2021 年 5 至 8 月之間 Niño3.4 指標約在 ± 0.5 之間，已恢復至

接近正常狀態(圖 4a, 或可參考中央氣象局, 2021)。在 2020-2021 年反聖嬰發展期間，赤道中東太平洋大致為對流偏弱的東風距平；西太平洋則是對流偏強搭配西風距平為主，符合反聖嬰形態環流(Wang et al., 2017)。

若以赤道中東太平洋的冷海溫距平代表反聖嬰強度，2020 年 10 月至隔年 3 月為 2020-2021 年反聖嬰強度較顯著。分析此段期間的大尺度環流，200hPa 速度位在熱帶印度洋至太平洋為緯向波數一的大尺度結構，赤道東太平洋為其輻合中心，輻散中心則位於菲律賓海(圖 4b)。海溫呈現近赤道中東太平洋偏冷、西太平洋偏暖的

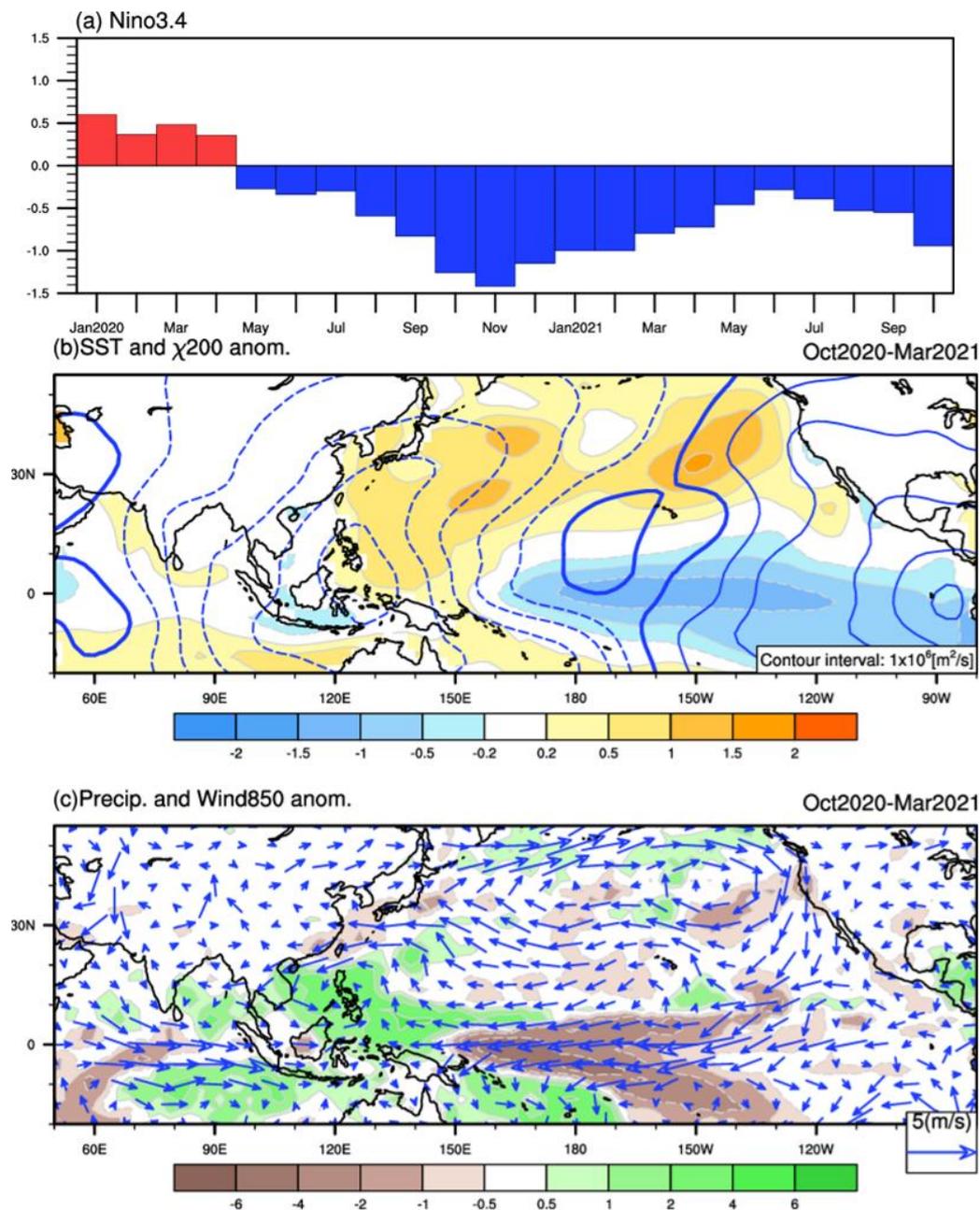


圖 4：(a)2020 年 1 月至 2021 年 10 月的 Niño3.4，以及 2020 年 10 月至 2021 年 3 月平均的距平環流，(b)海溫(顏色)、200hPa 速度位(藍色等值線，間隔為 $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ ，實、虛線分別代表正、負距平，零值線加粗)、(c)降水及 850hPa 風場。

反聖嬰形態；相對來說，熱帶印度洋海溫接近正常(圖 4b)。近赤道太平洋 850hPa 為貿易風顯著偏強的東風距平，近赤道印度洋則是西風距平，兩股東西風距平在海洋

大陸輻合，並在南海至菲律賓海之間形成氣旋式環流的多雨區；臺灣位於氣旋北側，風場為東北東風距平，即西南風帶來的水氣較少，因此華南、臺灣至日本南方有一

帶狀少雨區，可能是因為鋒面降水偏少(圖 4c)。

過去許多研究指出(Wang et al., 2002; Chen et al., 2008; Chen et al., 2016; Lin et al., 2015; Hung and Shih, 2019; Qian et al., 2021)，熱帶海溫除了透過大氣橋來影響東亞，更重要的是局地的海氣交互作用。2020 秋冬至 2021 春季期間，西北太平洋的氣旋距平剛好位於高海溫區的西北側(圖 4c)，符合羅士培波(Rossby wave)的海氣偶合配置；而氣旋東側的東南風距平，表示菲律賓海東北風較弱，海表面熱通量較小，有助於強化及維持暖海溫距平，暖海溫會進一步加強對流，另外反聖嬰在中東太平洋的冷海溫，會與西太平洋的暖海溫形成顯著的緯向海溫梯度，進而增強熱帶中西太平洋的貿易風，並強化西太平洋的氣旋及強對流距平，形成正回饋機制(圖 4c)，有利西北太平洋降水及氣旋、及其北方帶狀少雨區的維持，也是臺灣 2020 年秋冬季雨量偏少的主因之一。除此之外，中緯度北太平洋為一反氣旋環流距平壟罩，也間接強化了臺灣鄰近區域的東風與東北風距平；然而，在第 4 節的動力模擬分析顯示，此一反氣旋環流距平的成因可能與反聖嬰有關。

3.3 2021 年臺灣春雨偏少原因分析

2021 年 2 至 4 月在菲律賓海偏濕、中太平洋及東亞沿岸雨量較少，仍為反聖嬰型態環流(圖 5a)；但此時赤道中東太平洋的冷海溫已減弱許多，百分化多在 20-33 之間，西太平洋的暖海溫仍顯著偏暖，部份海域的海溫百分化甚至達到 100，亦即熱帶太平洋仍具有明顯的緯向海溫梯度；另外，中緯度北太平洋海溫亦較暖(圖 5b)。即海溫同時具有反聖嬰、菲律賓海偏暖、負相位太平洋年代際震盪(Pacific Decadal Oscillation, PDO, Mantua et al., 1997)特徵，這些海溫均可能造成臺灣春雨偏少(Hung et al., 2004; Chen et al., 2008)。為了解何種因素影響 2021 年臺灣春雨的程度較大，將進行以下的分析。

選取臺北、基隆、新竹、臺中、日月潭、阿里山、嘉義、臺南、高雄、恆春、宜蘭、花蓮、大武、成功及臺東，共 15 個氣象站平均代表全臺。氣象站的選取考慮到空間的分佈，如大臺北地區原有臺北、基隆、淡水、竹子湖及鞍部，共 5 個局屬氣象站，若全部挑取會過份強調北臺灣的比重，因此只挑選其中的臺北及基隆。除臺灣春雨指標外，亦同時比較可能影響春雨的海溫指標，即上述的 PDO、Niño3.4

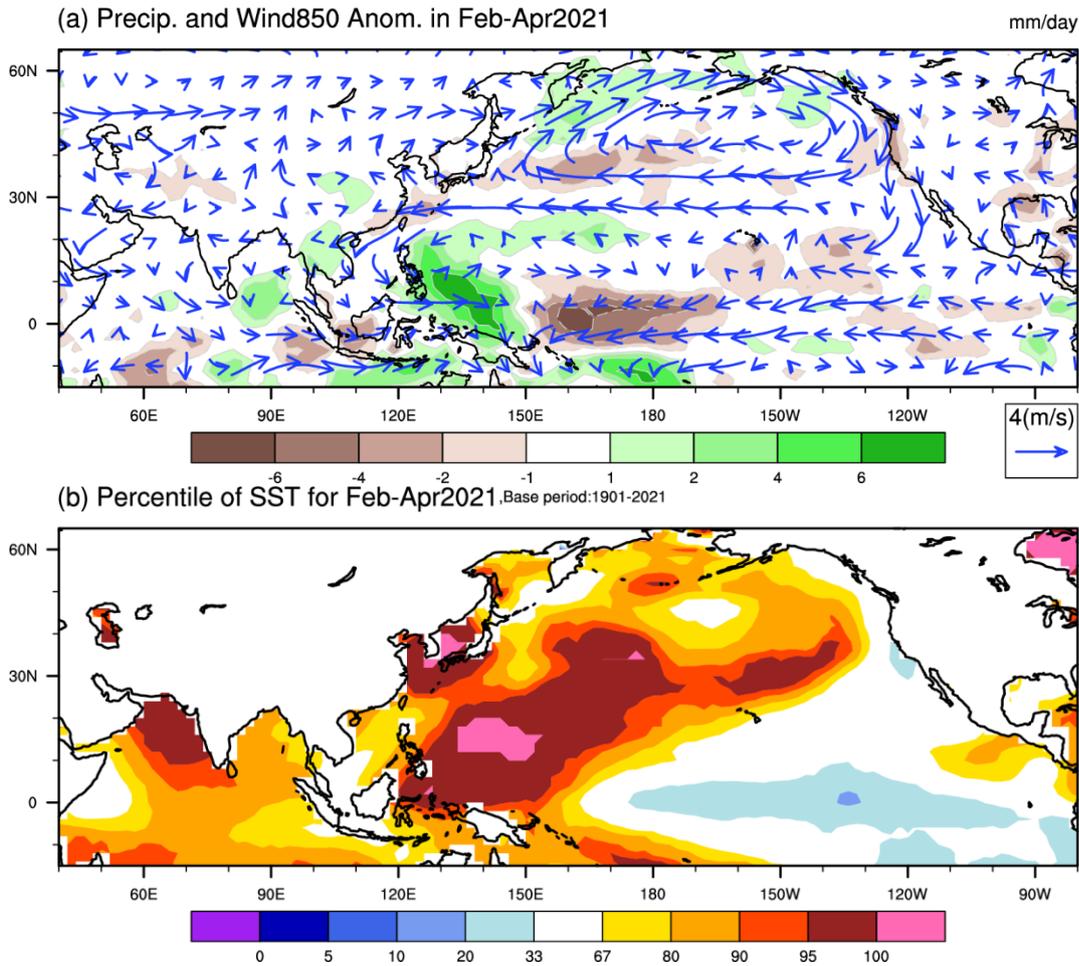


圖 5：2021 年 2 至 4 月的環流圖，(a)降水及、850hPa 風場距平、(b)海溫百分化，基期為 1901 至 2021 年。

以及菲賓律海溫指標(0~20°N,125°~155°E 區域平均的海溫, SST_{PH})，3 個海溫指標與臺灣春雨指標在 1982 至 2021 年的相關係數分別為 0.37、0.40、-0.48，均達統計上的顯著水準，並以 SST_{PH}的相關性為最顯著，Niño3.4 次之，PDO 最低。由於 SST_{PH}與其他指標為負相關，為方便比較將 SST_{PH} 乘上負號。在 1982 至 2021 年期間，僅有 1999 及 2021 年的 3 個海溫指標同時低於一個標準差以上，而且這兩年的臺灣

春雨指標亦小於負 1 個標準差(圖 6)。

為比較 2021 年及其他臺灣春雨偏少年的環流，定義臺灣春雨指標負距平超過 1 個標準差為少雨年，年份為 1999、2002、2011、2018 年，利用合成分析來探討臺灣春雨偏少的大尺度環流。2021 年及其他臺灣春雨偏少年有以下相似的環流：①華南、臺灣及日本南方洋面的雨量偏少(比較圖 5、7a)，說明雨量偏少不只是臺灣局部事件，而是包含整個東亞沿岸的大尺度現象

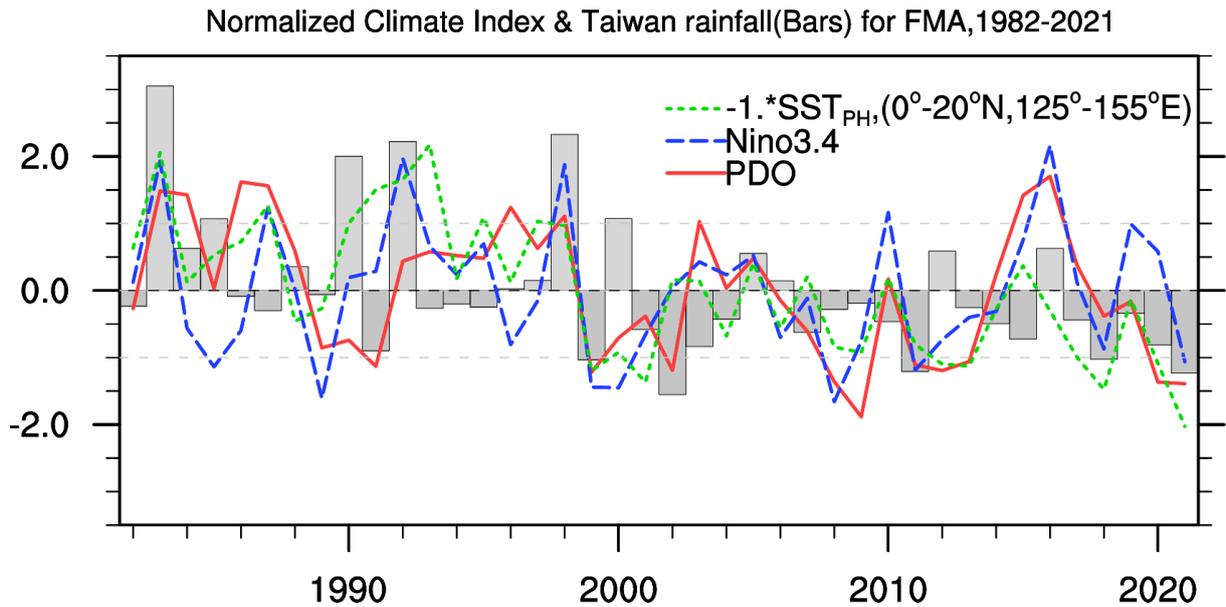


圖 6：經標準化處理的臺灣春雨指標(長條)、Niño3.4、PDO、菲律賓海溫指標(SST_{PH} ，數值乘上 -1)，時間為 1982 至 2021 年的 2 至 4 月。

；②菲律賓海的 850hPa 為氣旋式環流距平、雨量偏多且海溫偏暖；③中緯度北太平洋的海溫偏暖，850hPa 為反氣旋環流距平，類似負相位 PDO 型態；④熱帶中東太平洋海溫偏冷、中太平洋降水偏少且貿易風偏強的反聖嬰特徵。上述臺灣春雨偏少的合成環流與 2021 年現況接近，說明 2021 年臺灣春雨偏少不是單一事件，過去亦有類似個案，且可能與反聖嬰、菲律賓海偏暖、負相位 PDO 有關。

反聖嬰雖是影響臺灣春雨重要的因子，但兩者並非絕對相關，選取 1980 年代之後，第 1 個反聖嬰發展年的隔年春季，但排除臺灣春雨偏少的年份，即為反聖嬰但臺灣春雨接近正常或是偏多的個案，計

有 1984、1989、1996、2006、2008 共 5 年。在這些個案合成環流圖中(圖 7b)，近熱帶中東太平洋呈現海溫偏冷的反聖嬰特徵，但並沒有 2021 年或其他臺灣春雨偏少年的菲律賓海偏暖、負相位 PDO 海溫形態，東亞沿岸的大氣環流亦無明顯的一致性，說明僅有反聖嬰、菲律賓海偏暖、負相位 PDO 同時存在時，東亞才有較高機會出現春雨偏少的特徵。然而，後兩者的海溫距平可能都是反聖嬰造成的。如北太平洋約 30°N 附近的東風距平代表西風偏弱(圖 5a, 7a)，會減少海面至大氣的可感熱通量與潛熱通量，亦會降低海水上下混合作用，進一步讓海溫上升，推測是 2021 年及其他春雨偏少出現負相位 PDO 海溫的原因之一。

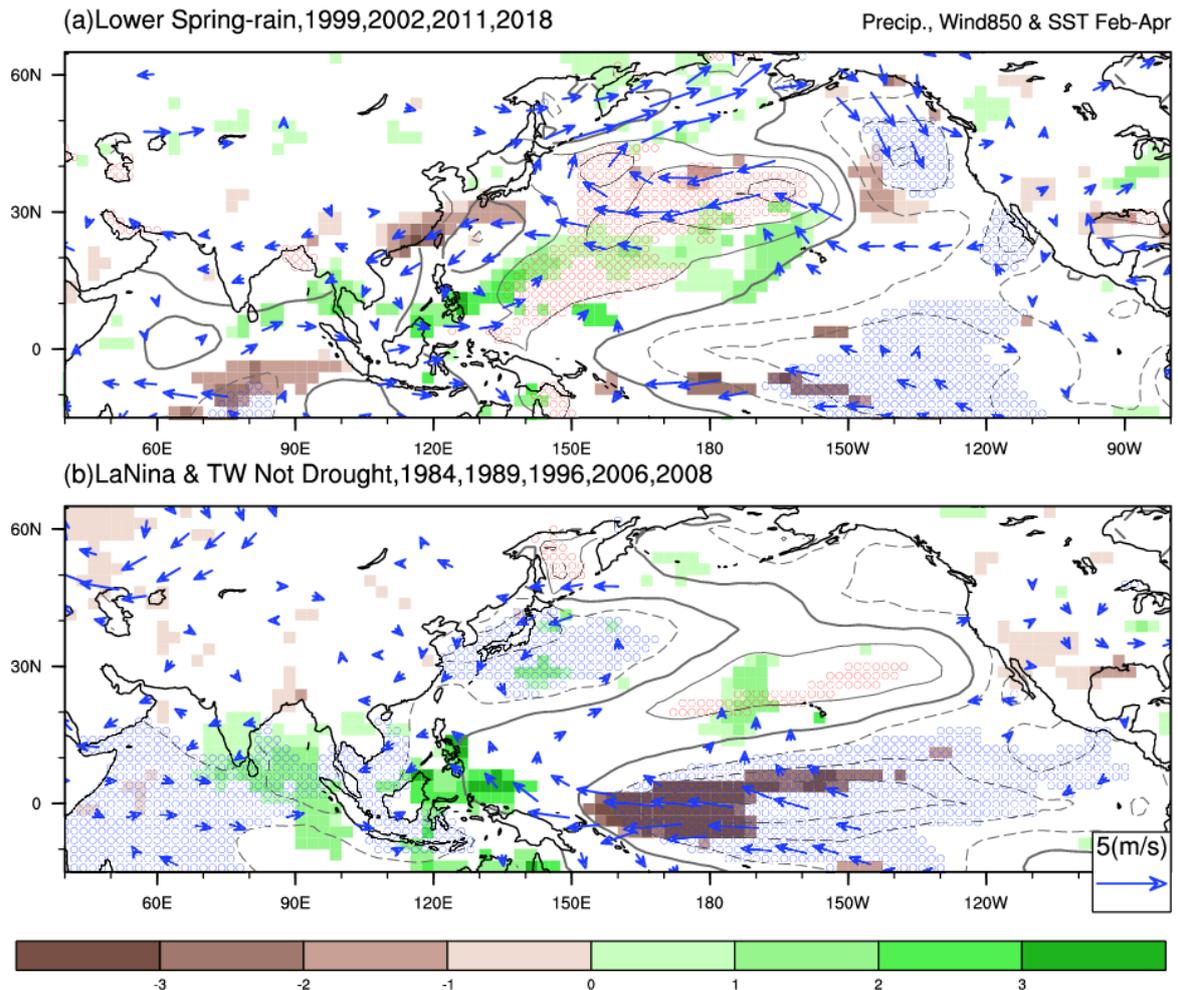


圖 7：2-4 月春季的合成環流圖，(a)臺灣春雨偏少年(1999, 2002, 2011, 2018)，以及(b)反聖嬰個案但排除臺灣少雨年(1984, 1989, 1996, 2006, 2008)，變數有降水(顏色)、海溫(等值線，間隔為 0.3°C，紅、藍空心圓代表正、負距平達顯著水準)、850hPa 風場距平，僅顯示統計水準在 90%以上的訊號。

菲律賓海偏暖也是常見的反聖嬰特徵(Ma et al., 2022)，為透過遙相關引發的海氣耦合系統(Wang and Zhang 2002)。

為進一步了解這 3 個海溫異常現象對春雨的影響比重，進行 3 個海溫指標與降水場的多變數線性迴歸分析(multiple linear regression analysis)，並依迴歸系數重建 2021 年的降水場。整體而言，2021 年

春季實際雨量與反聖嬰(即 Niño3.4)的反演場最為相似(圖 8b)，如菲律賓海偏濕，臺灣附近、赤道中太平洋、中西印度洋的少雨，均類似於 2021 年現況。然而，就菲律賓海多雨、臺灣少雨此一降水偶極、以及臺灣測站雨量距平分佈而言，以菲律賓海偏暖(即 SST_{PH})的反演場與 2021 年現況最為接近，雨量的距平強度也較強(圖 8d)

Reconstrue Precip. from Multi-reg. in FMA,2021

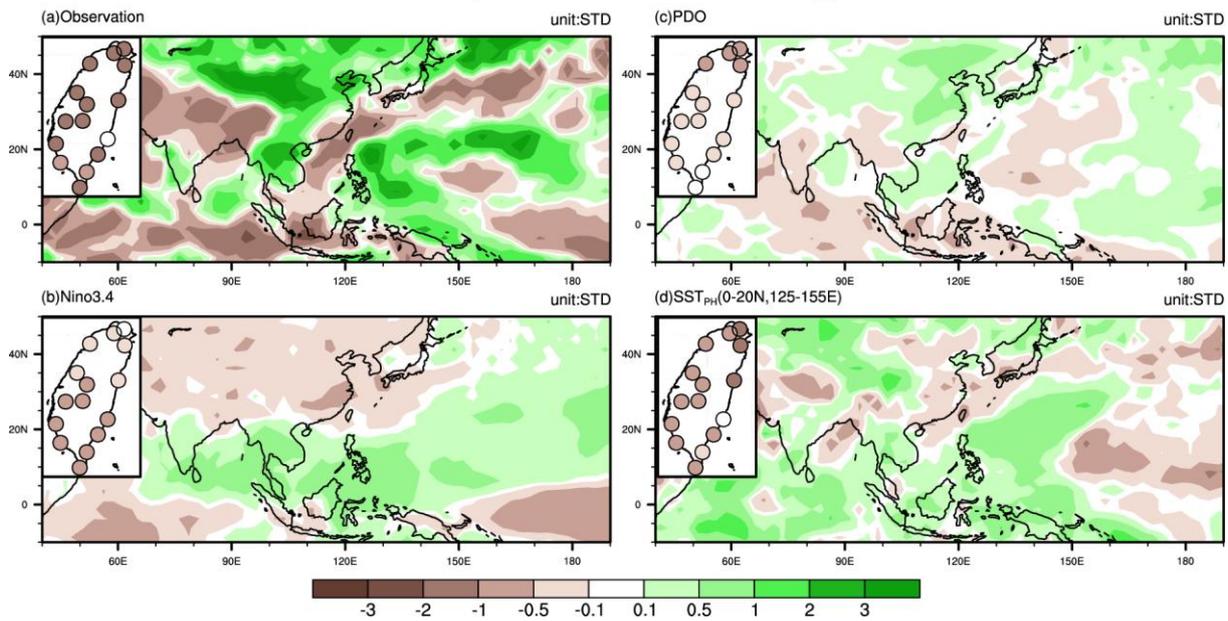


圖 8：2021 年 2 至 4 月降水標準化距平，(a)實際降水距平，及由多變數線性迴歸分析重建的降水場，分別為(b)Niño3.4、(c)PDO、(d)菲律海溫指標(SST_{PH})；每張圖的左上角為臺灣氣象站的雨量。

；雖反聖嬰亦能反演出此降雨偶極結構，但距平幅度相對較小且形態與 2021 年差異較大。負相位 PDO 所反演在西北太平洋的降水場與現況較不相似，但臺灣局地雨量仍有偏少訊號(圖 8c)。因此，造成 2021 年臺灣春雨偏少的影響因素，可能以菲律賓海偏暖的貢獻最大，反聖嬰其次，再其次為負相位 PDO；與前述 3 個海溫指數對臺灣春雨的相關係數(Cor = -0.48, 0.40, 0.37)之高低有一致性。

3.4 2021 年 4 至 5 月臺灣少雨原因推測

在 2020-2021 反聖嬰強度較顯著期間，由於換日線附近為海溫偏冷、對流受

抑制的大尺度環流場，季內振盪的強對流大多僅能東傳至西太平洋。當反聖嬰減弱、逐漸回到正常狀態的 2021 年 3 月中旬至 5 月下旬，接連出現兩波明顯的季內振盪向東傳遞，其緯向風場與對流均可繞行全球(中央氣象局, 2021)，接下來的分析將進一步說明，季內振盪將如何接替逐漸減弱的反聖嬰，延續臺灣附近的少雨環境，並影響 4 至 5 月的臺灣天氣。

為更加了解 2021 年 4 至 5 月的季內振盪特性，圖 9 為熱帶印度洋至西北太平洋(15°S~35°N, 40°~180°E)的對流距平，比較旬平均與 25 至 70 天波段濾波，兩者在此 6 旬的空間相關係數在 0.74 至 0.80 之

間，再次說明 4 至 5 月期間季內振盪訊號明顯。4 月中旬季內振盪的乾區位於赤道印度洋，4 月下旬移至海洋大陸及西北太平洋約 10°N 以南海域(圖 9b-c 的 D)；5 月上旬至下旬乾區朝西北方向傳播，逐漸接近臺灣(圖 9d-e)，與臺灣在 5 月 29 日之前雨量偏少有時間上的一致，說明臺灣 5 月雨量偏少，可能與季內振盪的乾區移入有關。進一步分析 25 至 70 天波段濾波的 850 百帕風場及海平面氣壓場，4 月中下旬臺

灣位於季內振盪氣旋的西北側，風場為不利降雨的東北風距平(圖 9 b,c)，說明臺灣少雨可能亦與季內振盪有關；5 月上中旬影響臺灣的系統改為季內振盪的反氣旋，為臺灣帶來高溫穩定的天氣，亦將鋒面雨帶向北推至中國長江及日本南方(圖 9 d,e)；5 月下旬在孟加拉灣及相同經度之南半球有氣旋的南北偶極，此一氣旋偶極類似季內振盪的 Rossby wave (圖 9f)，南北氣旋之間為西風距平，這股西風延伸至西

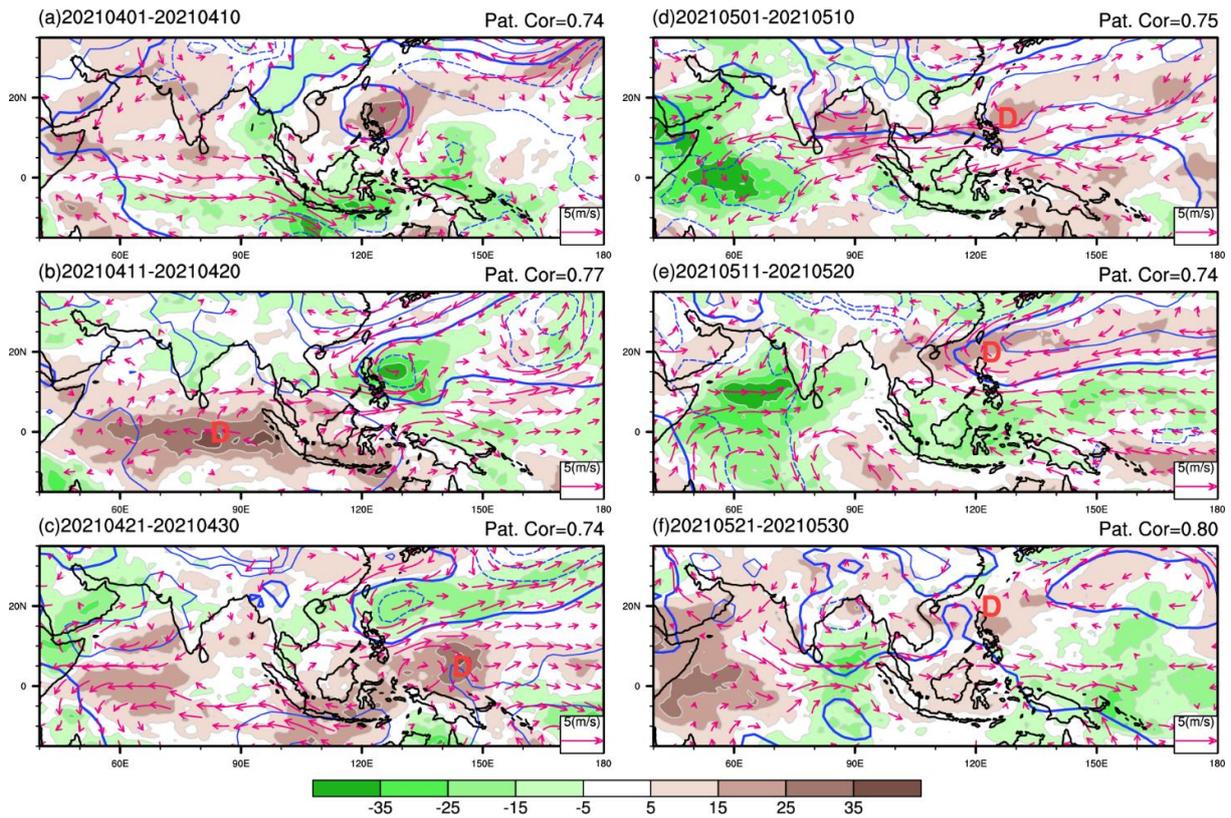


圖 9：25 至 70 天波段濾波的對流(顏色)、海平面氣壓場(等值線，間隔為 1hPa，實、虛線分別代表正、負距平，零值線加粗)及 850hPa 風場(箭頭)，時間為 2021 年 4 月至 5 月的旬平均，每張小圖的右上值的數值代表有、無波段濾波的對流場之空間相關係數。b-e 的 D 代表乾區，詳細內容請看 3.4 節。

太平洋且在 160°E 附近與東風距平產生輻合，並有較強對流產生。

25 至 70 天波段瀉波訊號在 2021 年 4 月至 5 月存在著季節性的差異，巧合地延續了臺灣的乾旱。例如，4 月中下旬於菲律賓海的氣旋向西北方向傳遞之訊號很弱，豐沛的水氣僅抵達臺灣鄰近洋面，臺灣反而受偏乾的東北風距平影響，僅東半部有局部陣雨(圖 9b,c)；5 月的反氣旋就有較明顯朝西北移行之特性(圖 9c,d,e)，進而加強副高，延遲梅雨鋒面南下影響臺灣的時間。許多文獻說明季內振盪在冬夏半年有不同的傳播特徵(Weng and Hsu, 2017; Hung et al., 2016)，而 5 月剛好就是季節特徵的轉變期(Kikuchi et al., 2012)，可能是 2021 年 4 月的氣旋無法抵達臺灣，但 5 月的反氣旋能影響臺灣的原因。

4、動力機制的模擬分析

前述分析發現 2020-2021 年異常海溫，可能是造成 2020 年夏秋季期間超強且持續的副高，以及 2020-2021 年冬春季菲律賓海氣旋距平與臺灣少雨的原因。本研究利用簡化的全球大氣模式 Simplified Parameterizations, primitivE-Equation DYnamics (SPEEDY, Kucharski et al., 2013)

進行模擬，研判異常海溫是否可能是引發觀測到的異常環流與降雨的原因。

SPEEDY 耦合了一個海洋混合層模式，可以進行海溫調步模擬(pacemaker)，意即選定調步區(如熱帶東太平洋)以觀測海溫驅動模式進行數值實驗，其他海盆則允許海洋大氣交互作用，可以同時模擬調步區內的海溫變化對全球大氣與調步區外的海溫的影響。由於採用海洋混合層模式，SPEEDY 無法模擬海洋環流，因此可能低估或高估調步區以外區域海溫的反應。模式水平解析度為 T30 的高斯網格，垂直則由 30 至 925hPa 共 8 層，模擬時間由 1980 年至 2021 年，實驗的距平值為 2020 年 6 月至 10 月平均減去 1981 至 2020 年同樣月份的長期平均，每一個模擬都進行 30 組實驗，取系集平均分析，並以 permutation 方法(Peings et al. 2021)研判模擬值是否具 5%統計顯著性，亦即由 30 組實驗中隨機抽樣 10 組，計算其平均值並與系集平均比較，此步驟重覆 1000 次，若兩者有相同距平值且次數達 950(即 95%)以上，代表系集平均具統計顯著性。

過去的研究指出(Hong et al., 2014, 2015)，熱帶洋面的中東太平洋、印度洋及大西洋均可能影響西北太平洋的副高強

度，而 2020 年 6 至 9 月的海溫在上述 3 個洋面均有顯著的距平；因此，本研究進行了中東太平洋 (Central-Eastern Pacific, CEP)、熱帶印度洋 (Indian Ocean, IO)、熱帶大西洋 (Atlantic, AL) 及 3 個洋面均考慮的 CEP+IO+AL，總共 4 個海溫調步模擬，各海溫調步區位置標示於圖 10 個別實驗的藍框區。

以流函數而言，考慮所有海溫調步區的模擬 (CEP+IO+AL)，最能模擬出長時間

持續的強副高，其次是印度洋實驗 (IO)，中東太平洋 (CEP)、熱帶大西洋 (AL) 也都能模擬出偏強的副高；但是模擬的距平振幅都小於觀測值，且模式也未能模擬出副高強度在 7 月達到最大值的現象 (圖 10f)，可能原因之一為模式本身模擬的副高強度與變異幅度原本就小於觀測值；另一原因也許是 SPEEDY 模式解析度低、無法模擬出颱風，因此無法重現 2020 年 6 至 9 月西北太平洋颱風活動明顯偏弱的現象。比較各

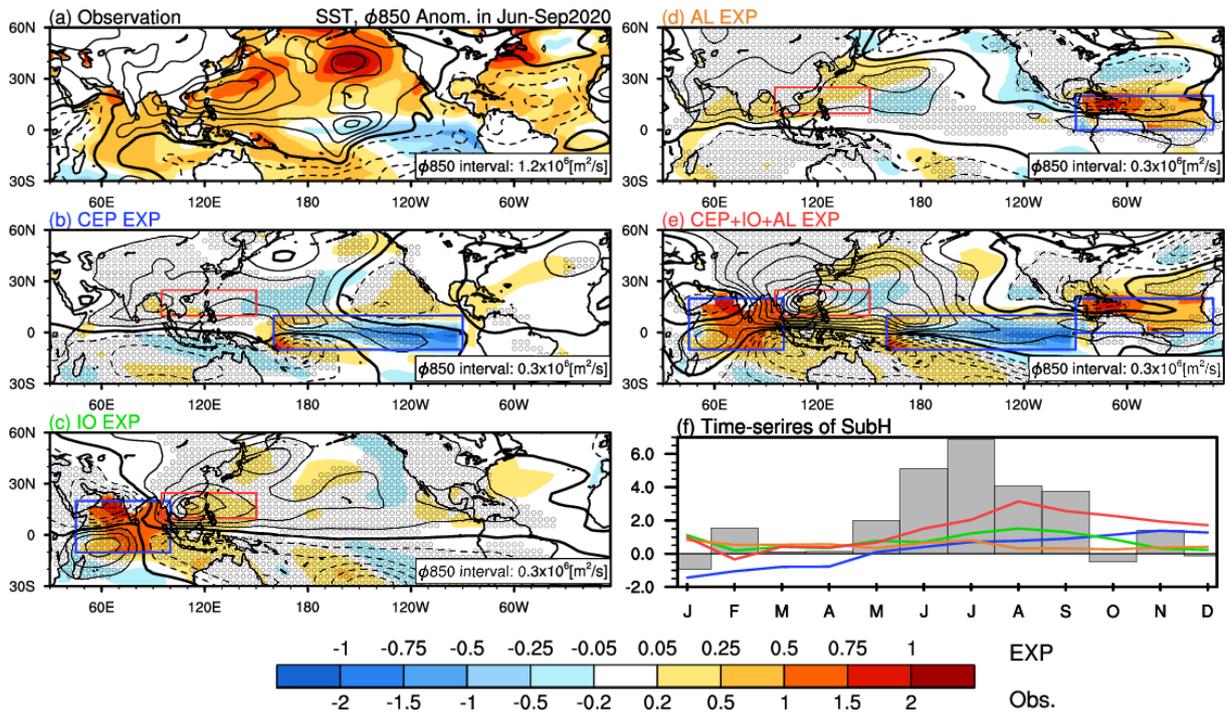


圖 10：2020 年 6 至 9 月的 850 百帕流函數 (等值線) 及海溫 (顏色) 距平，(a) 為實際觀測場；(b) 至 (e) 為 SPEEDY 各海溫調步區的模擬結果，藍框代表海溫調步區範圍，紅框為副高指標的範圍，灰色空心圓標示 850 百帕流函數的統計水準達 95% 以上；(f) 圖為副高 (10°~25°N, 95°~150°E 平均的流函數) 距平的月平均時序圖，灰色長條為實際觀測，其他顏色線為各海溫調步實驗，顏色所代表的實驗與 b~e 的小標題相同。圖最下方的顏色條之上、下排數字，分別代表觀測、實驗的海溫距平；等值線的間隔在 a 為 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ ，b-e 是 $0.3 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$ ，等值線的實、虛線分別代表正、負距平，零值線加粗。

調步實驗的逐月時序圖發現，反聖嬰(CEP)的冷海溫是造成晚夏(8-9 月)副高偏強之主因，印度洋(IO)暖海溫的影響則是 6-7 月的強副高；熱帶大西洋(AL)暖海溫則使高壓距平往西與往北延伸至亞洲內陸。在雨量方面(圖 11)，還是以考慮所有海溫調步區的模擬(CEP+IO+AL)與觀測最為接近，例如中南半島、南海、臺灣至菲律賓海的少雨，及長江、韓國及日本的多雨均有掌握到；其中，中南半島、南海、至菲律賓

海的少雨，以及海洋大陸的多雨，在各個海域的調步實驗均有真實反應出來，但臺灣附近的少雨僅在印度洋(IO)及熱帶大西洋(AL)的實驗有模擬到，反聖嬰(CEP)的調步實驗則與實際觀測有差異。

春季雨量多寡影響臺灣水資源與春耕作業，是重要的水資源。2021 年春季雨量偏低，延續了 2020 年 6 月以來的少雨現象，導致長達一年的乾旱。前述長期統計

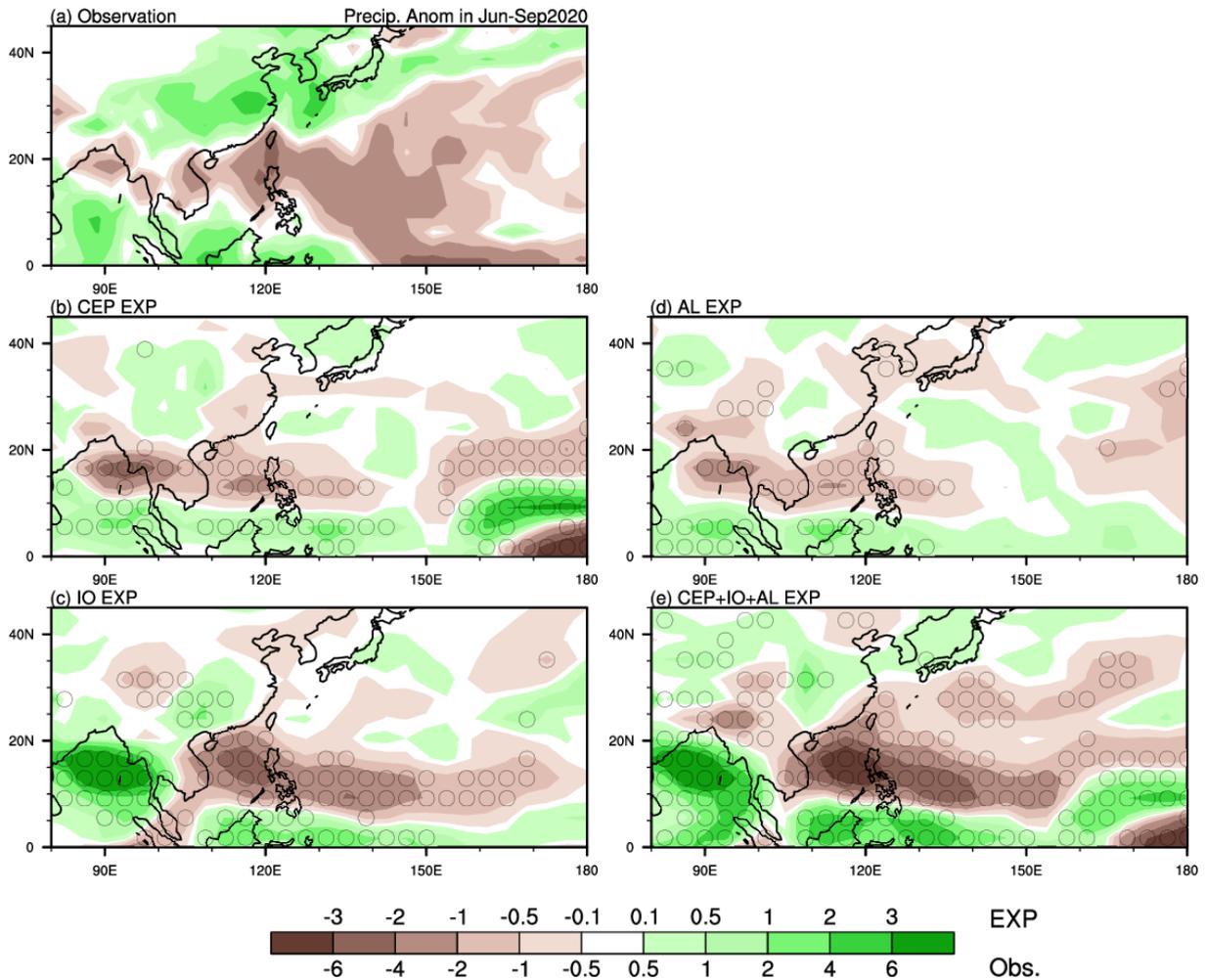


圖 11：同圖 10，但為 2020 年 6 至 9 月的降水距平。

分析發現反聖嬰、負相位 PDO 以及菲律賓海正海溫距平，與臺灣春季雨量偏少有顯著的統計關係。我們以 SPEEDY 模擬不同海域海溫距平對西北太平洋與臺灣鄰近區域雨量的影響。圖 12 為 CEP、WP 與 CEP+WP 實驗的 850hPa 流函數距平。中東太平洋的負海溫距平(CEP)模擬出類似 Gill 型態的環流反應，亦即熱帶西太平洋反氣旋距平與東太平洋氣旋距平，也在熱帶西北太平洋模擬出正海溫距平(圖 12b)，後者可以理解為貿易風減弱，海洋釋出較少的潛熱與可感熱，導致海溫正距平。除此之外，中東太平洋的負海溫距平也在低緯度東太平洋引發氣旋環流距平，同時在中緯度北太平洋引發出反氣旋距平，以及類似負 PDO 海溫距平(如，日本東方至換日線附近的暖海溫，及其周遭的冷海溫)。中緯度北太平洋的反氣旋環流距平，象徵偏弱的北太平洋中緯度西風，以及偏強的副熱帶東北太平洋的東北盛行風；前者降低海表面潛熱與可感熱通量，後者則增強，因此導致中緯度北太平洋海溫增暖，副熱帶東北太平洋降溫。由此可見，反聖嬰在熱帶中東太平洋的負海溫距平可以透過大氣橋(即北傳的大氣波列擾動)機制，引發負相位的 PDO 結構，此點與 3.3 節由觀測

場的推論一致，也因此，本研究沒有進行負相位 PDO 的海溫實驗。

CEP 實驗在中東太平洋與實際觀測相似；然而，西太平洋與東亞卻與觀測差異頗大。西太平洋暖海溫(WP)實驗就能彌補 CEP 實際不足之處，約 60°E 至 130°E(南亞至菲律賓海)對稱於赤道的氣旋偶極，菲律賓海的強降水區(圖 12 c,g)，WP 實驗均與觀測相近；但 WP 實驗在臺灣附近是東南風距平、降水接近正常，以及在白令海則是與實況相反的氣旋環流距平，說明單純考量 WP 還是不夠。如果同時考慮 CEP+WP 海溫距平，就能在熱帶與中緯度太平洋模擬出與觀測類似的環流與雨量距平，包含臺灣附近的少雨及偏東風距平(圖 12d, h)。以上模擬與統計分析結果類似，菲律賓偏暖及反聖嬰兩者缺一不可，前者會引發冬春季的菲律賓海氣旋距平；但要同時考慮後者，才可真實重現臺灣鄰近的偏東風距平與少雨。而負相位 PDO 亦對臺灣春季雨量偏少有影響，但屬於間接作用。

5、結論及討論

本報告分析 2020-2021 年臺灣百年乾旱事件，發現大致可以分為 4 個時期，分別為：①2020 年 6 月至 9 月的少雨，主要

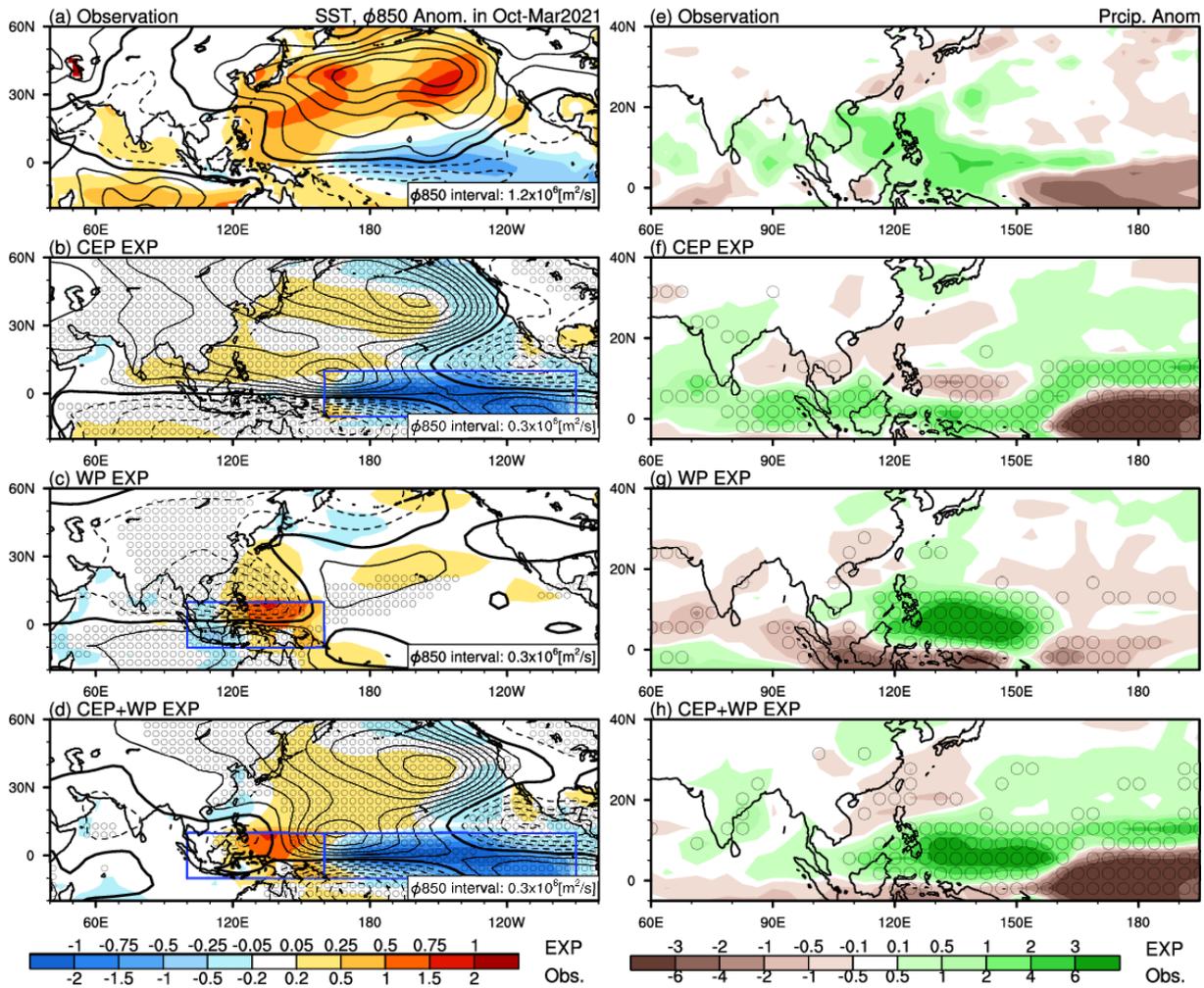


圖 12：同圖 10，但為 2021 年 10 月至 2021 年 3 月的 850 百帕流函數(等值線)及海溫(顏色)距平 (a-d, 左側)，以及降水距平(e-h, 右側)。

是極端偏強的副熱帶高壓造成，當時的副高不僅在強度上達到最強，持續時間亦為歷史紀錄中的最持久。②臺灣 2020 年秋冬季雨量偏少，可能與反聖嬰及菲律賓海偏暖有關。③2021 年春雨偏少，主因應該是菲律賓海溫偏暖，其次為逐漸減弱的反聖嬰，負相位的太平洋年代際震盪亦有少許的貢獻；惟反聖嬰是引發上述海溫異常的關鍵。④2021 年 3 月中旬至 5 月期間的熱帶季內振盪較為活躍，其中，季內振盪可

能使臺灣 4 月中下旬的西南水氣源減少，5 月季內振盪乾區逐漸接近臺灣，進而造成臺灣少雨。本報告的分析結果顯示，2020-2021 年的臺灣百年大旱不是單一因素造成的極端事件，而是許多因素同時出現的複合現象。

以氣候模擬驗證異常海溫的影響，針對 2020-2021 年的西北太平洋/東亞地區異常環流與降雨，我們得到以下結論① 6-7 月強勁副高、臺灣/菲律賓海少雨以及中

國/日本多雨，可能導因於印度洋高海溫；② 8-9 月持續的強副高與少雨，主要受到反聖嬰現象中東太平洋低海溫的影響；③ 秋季至冬春季的持續少雨與臺灣附近偏強東北風的氣旋環流距平，主要導因於菲律賓海高海溫影響，後者則可能是由中東太平洋低海溫引發；④ 負 PDO 可強化臺灣春季少雨，但本身在中緯北太平洋的高海溫，也可能部分由熱帶反聖嬰負海溫距平引發。由此推斷，持續 5 個多月的破紀錄強副高，是由印度洋高海溫與反聖嬰低海溫的接力影響所導致。至於印度洋高海溫是否可以間接強化反聖嬰低海溫，另外，印度洋在 20 世紀後半的暖化速率明顯高於其他洋面(Dhame et al., 2020)，是否增強副高且使臺灣乾旱更加頻率，都仍需進一步研究。

臺灣春季少雨年均集中於 1999 年之後(圖 6)，以氣候突變(Regime Shifts Index, RSI, Rodionov 2004)分析臺灣春雨指標，若設定偵測長度為 15 年，並以 P-value 低於 0.05 為統計檢驗的標準，會偵測到 2001 年為臺灣春雨的突變年，即由 2000 年之前的春雨較多，在 2001 年之後轉為少雨，菲律賓海溫指標及 PDO 的突變年均發生於 1999 年(Kao et al., 2019)，與臺灣春雨的年份相

近。若以線性趨勢分析臺灣春雨，1982 至 2021 年的趨勢為 -3.88mm/year (P-value=0.003)，亦有春雨逐年下降現象。最近的研究亦指出，臺灣附近的春季鋒面頻率有變少現象(Wang et al., 2021)。氣候變遷研究發現，在暖化情境下，東亞冬春季鋒面好發區北移，影響臺灣的鋒面活躍度降低，臺灣北部春季雨量減少，春季乾旱加劇(Chen et al., 2022；許等，2018)。本研究判斷 2020-2021 年冬春季乾旱基本上是由菲律賓海高海溫與反聖嬰低海溫造成，目前無法研判全球暖化的影響程度。但無可諱言，前述研究的發現指出，暖化趨勢會進一步增強反聖嬰對春季乾旱的影響。

至於颱風季期間，副高強度異常高且持續時間破紀錄，似乎與全球暖化研究發現西北太平洋副高增強與颱風數量明顯減少的推估趨勢類似(Huang et al., 2016; Tsou et al., 2016; Hsu et al., 2021; Hong et al., 2021)。2020 年西北太平洋颱風偏弱，數量雖然偏少但不明顯，而且前述暖化研究多偏重在較遠的未來以及極端暖化情境，與目前的氣候狀態仍然有差距。考慮這些因素，而且 2020 年颱風季仍有不少颱風經過臺灣鄰近海面但未侵臺，此一無侵臺颱風

現象仍然可能純屬機率問題，目前仍無法論斷是否受到暖化的影響。

2020 至 2022 為連續 3 年的反聖嬰，比較 2020-2021 及 2021-2022 反聖嬰的環流，在熱帶區域差異不大，惟前者是中太平洋型反聖嬰，後者為東太平洋類型。相對來說，中緯度在兩個個案間，有截然不同的環流形態。例如，2020 秋冬季至 2021 年春季的期間，由亞洲東部至北美洲的中緯度為超大範圍的反氣旋(圖 4c)，說明中緯度的槽脊活動較弱；然而，2021-2022 年反聖嬰的中緯度卻有較活躍的槽脊系統移動(圖略)。臺灣雨量方面，2020 秋冬季至 2021 年春季的西半部雨量明顯偏少，但隔年反聖嬰的全臺雨量均偏多。本研究沒有探討為何臺灣雨量在兩個反聖嬰個案有不同反應，其機制是來自中高緯度的影響？或者，與不同形態的反聖嬰有關(Ding et al., 2017)? 值得後續的研究再深入討論。

參考文獻

中央氣象局，2021，氣候監測報告，2021 年 5 月，第 147 期。
<https://www.cwb.gov.tw/Data/climate/Watch/mrcs/mrcs202105.pdf>

王品翔，2011，2020 年西北太平洋地區七月無颱風事件成因探討，中央氣象局自行研究專題。

許晃雄等人，2018：台灣乾旱研究：變遷、水資源衝擊、風險認知與溝通計畫，中央研究永續科學研究討畫。

劉玫婷、李欣輯、徐永衡、陳永明，2021：2021 年乾旱事件農作物損失調查紀實，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 194 期。

Adler, R.F., G.J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, and P. Arkin, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, 4,1147-1167.

Chen, C.-A., H.-H. Hsu, H.-C. Liang, P.-G. Chiu and C.-Y. Tu, 2022: Future change in extreme precipitation in East Asian spring and Mei-yu seasons in two high-resolution AGCMs, *Weather and Climate Extremes*, 35,100408,

- <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100408>.
- Chen, J.-M., T. Li and C.-F. Shin, 2008: Asymmetry of the El Niño-Spring Rainfall Relationship in Taiwan, *J. M. S. Japan.*, <https://doi.org/10.2151/jmsj.86.297>
- Chen, J.-M., P. H. Tan, C. F. Shih and H. S. Chen, 2016: Largescale Processes Associated with Interdecadal and Interannual variability of Early-spring Rainfall in Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 27, 87-98.
- Chen, J.-M., P.-H. Tan, L. Wu, H.-S. Chen, J.-S. Liu, and C.-F. Shih, 2018: Interannual Variability of Summer Tropical Cyclone Rainfall in the Western North Pacific Depicted by CFSR and Associated Large-Scale Processes and ISO Modulations, *Journal of Climate*, 31(5), 1771-1787. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0805.1>
- Chen, J.-M., C.-H. Wu, P.-H. Chung and C.-H. Sui, 2018: Influence of Intraseasonal–Interannual Oscillations on Tropical Cyclone Genesis in the Western North Pacific, *Journal of Climate*, 31(12), 4949-4961. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0601.1>
- Dhame, S., A. Taschetto, A. Santoso and K. Meissner, 2020: Indian Ocean warming modulates global atmospheric circulation trends. *Climate Dynamics*. 55. [10.1007/s00382-020-05369-1](https://doi.org/10.1007/s00382-020-05369-1).
- Ding, S., W. Chen, J. Feng and H. Graf, 2017: Combined Impacts of PDO and Two Types of La Niña on Climate Anomalies in Europe, *Journal of Climate*, 30(9), 3253-3278.
- Ding, Y. H., Y. Y. Liu, and Z.-Z. Hu, 2021: The record-breaking meiyu in 2020 and associated atmospheric circulation and tropical SST anomalies. *Adv. Atmos. Sci.*, doi:10.1007/s00376-021-0361-2
- Duchon, Claude E., 1979: Lanczos Filtering in One and Two Dimensions, *J. Applied Meteorology*, 18(8), 1016–1022.

- Hong, C.-C., T.-C. Chang, and H.-H. Hsu, 2014: Enhanced Relationship between the Tropical Atlantic SST and the Summertime Western North Pacific Subtropical High after the Late 1970s. *J. Geophys. Res.*, 119, 7, 3715-3722. doi: 10.1002/2013JD021394.
- Hong, C.-C., M.-Y. Lee, H.-H. Hsu, N.-H. Lin and B.-J. Tsuang, 2015: Tropical SST Forcing on the Anomalous WNP Subtropical High during July–August 2010 and the Record-high SST in the Tropical Atlantic. *Climate Dynamics*, 45, 633-650, doi: 10.1007/s00382-014-2275-5
- Hong, C.-C., C.-H. Tsou, P.-C. Hsu, K.-C. Chen, H.-C. Liang, H.-H., Hsu, C.-Y. Tu., and A. Kitoh, 2021: Future Changes in Tropical Cyclone Intensity and Frequency over the Western North Pacific Based on 20-km HiRAM and MRI Models, *Journal of Climate*, 34(6), 2235-2251. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0417.1>
- Hsu, P.-C., K.-C. Chen, C.-H. Tsou, C.-C. Hong, H.-C. Liang, H.-H. Hsu, Y. Tu, and A. Kitoh, 2021: Future Changes in the Frequency and Destructiveness of Landfalling Tropical Cyclones Over East Asia Projected by High Resolution AGCMs. *Earth's Future*, 9, 3, <https://doi.org/10.1029/2020EF001888>
- Huang, W.-R., Chang, Y.-H., Hsu, H.-H., Cheng, C.-T. and Tu, C.-Y. 2016: Dynamical downscaling simulation and future projection of summer rainfall in Taiwan: Contributions from different types of rain events. *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 13973–13988
- Huang, B., Peter W. Thorne, Viva F. Banzon, Tim Boyer, Gennady Chepurin, Jay H. Lawrimore, Matthew J. Menne, Thomas M. Smith, Russell S. Vose, and Huai-Min Zhang, 2017: NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. NOAA National Centers for

- Environmental Information. doi:10.7289/V5T72FNM.
- Hung, C.-W., H.-H. Hsu, and M.-M. Lu, 2004: Decadal Oscillation of Spring Rain in Northern Taiwan. *Geophys. Res. Letters.*, 31, L22206m.
- Hung, C.-W., H.-J. Lin, P.-K. Kao, M.-F. Shih, and W.-Y. Fong, 2016: Boreal summer intra-seasonal oscillation impact on western north pacific typhoons and rainfall in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 27(6), 893-906. [https://doi.org/10.3319/TAO.2016.05.30.01\(A\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2016.05.30.01(A))
- Hung, C.-W., and M.-F. Shih, 2019: Analysis of Severe Droughts in Taiwan and its Related Atmospheric and Oceanic Environments. *Atmosphere*, 10, no. 3: 159. <https://doi.org/10.3390/atmos10030159>
- Hung, C.-W., M.-F. Shih, and T.-Y. Lin, 2020: The Climatological Analysis of Typhoon Tracks, Steering Flow, and the Pacific Subtropical High in the Vicinity of Taiwan and the Western North Pacific. *Atmosphere*, 11, no. 5: 543. <https://doi.org/10.3390/atmos11050543>
- Jian, G.-J., J.-H. Teng, S.-T. Wang, M.-D. Cheng, C.-P. Cheng, J.-H. Chen, and Y.-R. Chu, 2022: An Overview of the Tropical Cyclone Database at the Central Weather Bureau of Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 33, 26. <https://doi.org/10.1007/s44195-022-00023-1>
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydromet.*, 5, 487-503.
- Kalnay, E. and coauthor, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470.
- Kao, P.-K., C.-W. Hung and C.-C. Hong, 2018: Increasing influence of central

- Pacific El Niño on the inter-decadal variation of spring rainfall in northern Taiwan and southern China since 1980. *Atmospheric Science Letters*, 19(12). <https://doi.org/10.1002/asl.864>
- Kikuchi, K., B. Wang and Y. Kajikawa, 2012: Bimodal representation of the tropical intraseasonal oscillation. *Clim. Dyn.*, 38, 1989-2000, doi:10.1007/s00382-011-1159-1
- Kim, S., J.-H. Park and J.-S. Kug, 2022: Tropical origins of the record-breaking 2020 summer rainfall extremes in East Asia. *Sci Rep.* 12, 5366. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09297-4>
- Kucharski, F., Molteni, F., King, M. P., Farneti, R., Kang, I., and Feudale, L., 2013: On the Need of Intermediate Complexity General Circulation Models: A “SPEEDY” Example, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1), 25-30. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00238.1>
- Lai, T.-L., J.-M. Chen, C.-H. Sui, P.-H. Tan, L. Wu and M.-Y. Tsai, 2021: Interannual variability of summer tropical cyclone activity in the northwestern North Pacific modulated by El Niño-Southern Oscillation and Intraseasonal Oscillation. *International Journal of Climatology*. 41: 6283–6299.
- Lin, C.-C., Y.-J. Liou and S.-J. Huang, 2015: Impacts of Two-Type ENSO on Rainfall over Taiwan, *Advances in Meteorology*, <https://doi.org/10.1155/2015/658347>.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78, 1069–1079.
- Ma H., R. Wang, X. Li, A. Lai, H. Yang and X. Li, 2022: Why was South China extremely wet during January–February 2022 despite La Niña?. *Front. Earth Sci.* 10:982225. doi:10.3389/feart.2022.982225

- Pan, X., T. Li, Y. Sun, and Z. W. Zhu, 2021: Cause of extreme heavy and persistent rainfall over Yangtze River in summer 2020. *Adv. Atmos. Sci.*, doi:10.1007/s00376-021-0433-3
- Peings, Y., Labe, Z. M., and Magnusdottir, G., 2021: Are 100 Ensemble Members Enough to Capture the Remote Atmospheric Response to +2°C Arctic Sea Ice Loss? *Journal of Climate*, 34(10), 3751-3769. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0613.1>
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- Rodionov, Sergei N., 2004: A sequential algorithm for testing climate regime shifts, *Geophys. Res. Letters.*, <https://doi.org/10.1029/2004GL019448>
- Qian, J.-H., M.-M. Lu and C.-H. Sui, 2021: Evolution of South China Sea and East Asian Monsoon from Spring to Summer by the Progression of Daily Weather Types. *International Journal of Climatology*. 42. 10.1002/joc.7436.
- Takaya, Y., I. Ishikawa, C. Kobayashi, H. Endo and T. Ose, 2020: Enhanced Meiyu-Baiu rainfall in early summer 2020: Aftermath of the 2019 super IOD event. *Geophys. Res. Lett.* 47, e2020GL090671. <https://doi.org/10.1029/2020GL090671>.
- Tsou, C. H., P. Y. Huang, C. Y. Tu, C. T. Chen, T. P. Tzeng, and C. T. Cheng, 2016: Present simulation and future typhoon activity projection over western North Pacific and Taiwan/East Coast of China in 20-km HiRAM climate model. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 27, 687-703, doi: 10.3319/TAO.2016.06.13.04
- Wang, B. and Q. Zhang, 2002: Pacific-East Asian teleconnection. part II: How the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Nino development. *J. Climate*, 15, 3252-3265.

- Wang, C., C. Deser, J.-Y. Yu, P. DiNezio, A. Clement, 2017: El Niño and Southern Oscillation: A Review. In: Glynn, P., Manzello, D., Enochs, I. (eds) Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific. Coral Reefs of the World, vol 8. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_4
- Wang, C.-C., H.-H. Hsu and Y.-T. Chen, 2021: Observed and projected frontal activities in East Asia. *Journal of Climate*, 34(8), 3067-3085. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0959.1>
- Wang, J., 2020: Relationships Between Jianghuai Meiyu Anomaly and the Collaborative Evolution of Wave Trains in the Upper and Lower Troposphere in Mid-July of 2020. *Front. Earth Sci.* 8:597930. doi:10.3389/feart.2020.597930
- Weng, C.-H., and H.-H. Hsu, 2017: Intraseasonal oscillation enhancing C5 typhoon occurrence over the tropical western North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7, 3339–3345, doi:10.1002/2017GL072743.

Causes of the Record-breaking Drought in Taiwan in 2020-2021

Ming-Ying Lee¹, Hao-Jhe Hong², Huang-Hsiung Hsu², Ping-Shiang Wang¹

¹Central Weather Bureau

²Research Center for Environment Changes, Academia Sinica

(manuscript received 28 September 2022 ; in final form 21 December 2022)

Abstract

During 2020, an earlier-ended Mei-Yu season combined with a typhoon-absent summer, followed by notably low rainfall from following autumn to spring in 2021, Taiwan's accumulated rainfall from June 2020 to May 2021 broke the lowest record since 1910, we report the unique characteristics and physical mechanism of this extreme event.

The possible causes of the drought event are presented as follows. ①The duration and strength of subtropical high over the Western North Pacific from Jun to September were the longest and strongest since 1949. The abnormal subtropical high maybe caused by the compounding effects from cool sea surface temperature (SST) over the central to eastern equatorial Pacific associated with La Niña, and warm SST in the northern Indian Ocean and the tropical Atlantic. ②The warmest SST appeared in the Philippine Sea through October 2020 to Marth 2021, concurrent with La Niña, generated the dry condition near Taiwan. ③ The less spring rainfall in Taiwan in 2021 could be directly attributed to the warmest SST in the Philippine Sea and indirectly to the weakening La Niña , whereas negative phase of the Pacific Decadal Oscillation seemed to have little effect. An anomalous cyclone usually appeared in the western side of the warm Philippine Sea and brought dry northeasterly anomaly to the East Asian coast, resulting in less spring rainfall in Taiwan, and the La Niña would favor and maintain this atmosphere-ocean coupled system. ④ In April-May 2021, active tropical intra-seasonal oscillation caused weaker moist southeasterly in middle to late April, and also resulted

in dry condition before the end of May.

In conclusion, the most serious drought event in 2020-2021 since 1910 was caused by the compounding effect from various influencing factors that occurred concurrently and sequentially. How much of these abnormal conditions were caused by the warming trend in recent decades, which is not investigated in this study, warrants further studies.

Key words: drought, climate extreme event, subtropical high, La Niña, intra-seasonal oscillation, compounding effects. doi: 10.53106/025400022023015101002