

亞洲季風春夏轉換期的菲律賓海準雙週震盪與南海 5-6 月 熱帶氣旋活躍度關係探討

卓盈旻¹ 盧孟明^{1*} 吳靜軒²

¹國立臺灣大學大氣科學系 ²交通部中央氣象署

(中華民國 113 年 4 月 30 日收稿；中華民國 113 年 8 月 19 日定稿)

摘 要

南海與菲律賓海區域對流與環流活動的季節、季內、年際、年代際等多種時間尺度變化是亞澳季風區季節轉變時的重要現象。分析 1991-2023 年 3-6 月春夏轉換期外逸長波輻射資料，發現這段期間的季內尺度深對流活動以菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)的 10-30 天準雙週震盪(QBWO)最顯著。運用帶通濾波法挑選出震幅較大且週期明顯的 71 個菲律賓海 QBWO 個案進行合成分析，看到伴隨 QBWO 交替出現的對流發展和抑制相位，分別搭配橫跨南海與菲律賓海的 850hPa 低層大氣風場偏西南和東北方向的距平，前者加強南海上的正渦旋擾動有利熱帶氣旋(TC)生成，後者雖不利南海生成 TC 但有利西北太平洋 TC 向西移入南海。另外，分析發現 5-6 月南海 TC 和菲律賓海 QBWO 的活躍程度與特徵在 1996-2011 年和 2012-2022 年兩段時期差異極大，前期 5-6 月南海 TC 活躍，5 月 TC 多數在南海生成，但 6 月 TC 多數在西北太平洋生成，5-6 月菲律賓海 QBWO 相當活躍。後期 5 月南海完全沒有 TC 活動，菲律賓海 QBWO 也難以辨識，但 6 月南海 TC 和菲律賓海 QBWO 都轉為活躍，且 TC 多數在南海生成。造成這兩個時期差異的可能原因是 1996-2011 年期間印太季風區深對流活動提早進入夏季型態，孟加拉灣與菲律賓海之間的西風偏強；而 2012-2022 年印度洋海溫異常偏高使菲律賓海與東印度洋之間的海溫梯度加大致始東風距平增強，即西風異常偏弱。印度洋深對流活動對南海的影響在 2023 年的 5-6 月特別突出，這一年赤道印度洋和菲律賓海的對流均異常活躍，但南海這兩個月全無颱風活動。本文提出的春夏轉換期南海 5-6 月熱帶氣旋活動與菲律賓海的次月尺度深對流活動的關係，為研究亞澳季風區的區域氣候變異及改善區域展期預測提供了可結合區域氣候監測分析的思路。

關鍵字：準雙週震盪、亞澳季風、南海熱帶氣旋、台灣梅雨、菲律賓氣候

*通訊作者：盧孟明 (mongminglu@ntu.edu.tw)

一、前言

從西伯利亞往南涵蓋日、韓、中國、中南半島、台灣、菲律賓、印尼的東亞與東南亞區域的季節與季內尺度天氣及氣候變化，往往受到熱帶和副熱帶的雙重或交互影響，複雜的地形環境使長期預測更加困難。在春夏轉換期由於陸表和海表面溫度的持續性距平(persistent anomalies)逐漸減弱，欲改善季內與季節預報(subseasonal to seasonal prediction, S2S prediction)必須了解大氣對流和環流的變異特性。

大氣季內變異主要有次月尺度或週尺度的準雙週震盪(quasi bi-weekly oscillation, QBWO)和次季尺度或月尺度的季內震盪(intra-seasonal oscillation, ISO)，熱帶和中高緯度有各自不同但又時而相連的變異模態。熱帶 ISO 以麥儒震盪(Madden and Julian, MJO)(Madden and Julian 1971, 1972)為代表，因受到熱帶氣象研究學者高度重視，近半世紀累積了極為豐富的研究成果，相關進展可看 Zhang et al. (2020)撰寫的回顧論文與引用的參考文獻。QBWO 因時空尺度都小於 MJO，特性隨季節和區域不同，現象比較複雜(Kikuchi and Wang 2009)。早期研究主要集中在探討印度夏季

季風的降雨變化(Krishnamurti and Bhalme 1976, Murakami 1976, Krishnamurti and Ardanuy 1980, Chen and Chen 1993)，以及季風、颱風、極端天氣的關係(Chen and Chen 1995, Chen and Sui 2010, Hsu 2012, Li and Zhou 2013)，近期研究著重於副熱帶及中高緯度大氣季內變化與熱帶擾動的多重尺度相互關係(Zhu and Yang 2021, Zhu et al. 2023)。Stan and Krishnamurthy (2019)指出副熱帶及中高緯度大氣季內變化可歸納為三類：變化中心地理位置相當固定的定點持續性距平(persistent, geographically fixed anomalies)、行星尺度的行進波或駐波(propagating or standing waves)、能量在緯度圈方向傳遞的環球遙相關波列(circumglobal wave guide patterns)。北大西洋震盪(North Atlantic Oscillation, NAO)、太平洋北美遙相關(Pacific North American pattern, PNA)和行星尺度羅士比波(Rossby wave)都是常出現在中高緯區域的季內變化。運用 MSSA(multi-channel singular spectral analysis)方法分析 1979-2012 年 30°N 以北的逐日 500hPa 重力位高度場，他們發現中緯度行星波在週期為 120、45、28 天有三個峰值，特徵與環球型遙相關波列非常類似。中高緯度的季內變化和熱帶

擾動之間的關係複雜多變，是當前備受矚目的研究領域。

熱帶季內震盪在緊鄰南亞及東南亞陸地的孟加拉灣、南海、菲律賓海等緣海區域相當活躍，這些區域在春夏轉換期的氣候同時受到熱帶和中緯度季內擾動的交互影響(Wang et al. 2009, LinHo et al. 2008)。LinHo et al. (2008)認為華南春雨的開始是全球季風從北半球冬季轉為夏季的重要訊號。LinHo and Wang (2002)指出亞洲季風區季節轉變有慢變化和快變化，前者受太陽輻射量和廣大洋面與陸面的海陸差異對大氣運動的熱力與動力條件的影響所主導，後者則是受對流活動驅動的季節性變化，尤其是赤道附近印尼與澳洲北端的海洋陸地區域季內尺度對流活動在東亞季節轉變期間是極具影響力的關鍵系統。倘若MJO 乾相位與澳洲北端和印尼島區在三月的季節性對流減弱同時發生，易導致赤道附近海洋陸地區域此時對流活動的加速減弱，進而影響局地經向環流和西太平洋高空噴流的強度，鋒面活動在青藏高原以東的華南區域轉為活躍，拉開華南春雨序幕。Wen and Zhang (2007, 2008)分析雲頂亮度溫度資料，指出春夏轉換期南海附近對流活動以靠近蘇門答臘(Sumatra)和中南

半島 (Indochina) 區域最為活躍，並且QBWO 的變異度明顯大於 ISO 變異度。他們的研究結果顯示中南半島區域夏季深對流的開始發展時間和 QBWO 息息相關，由於伴隨 QBWO 的赤道羅士比波風場傳送豐沛水氣至中南半島導致主要對流從赤道附近往北移動。Wen et al. (2010)分析北半球春季(3-5月)熱帶印度洋(Indian Ocean, IO)QBWO 演變特徵，發現對流濕相位自西 IO 開始發展後緩慢向東移動至中 IO，之後對流迅速在東 IO 發展，而原本在東 IO 的對流乾相位及伴隨對稱於赤道的一對羅士比波反氣旋則北移往孟加拉灣(Bay of Bengal, BoB)和同時往南離開赤道移至東南 IO 區域。他們的研究結果發現在蘇門答臘和中南半島的 QBWO 之所以有準雙週特性是受印度洋和海洋大陸區域邊界層水氣的輻合和輻散過程影響，局地邊界層水氣變化比移動性熱帶波動對這個區域QBWO 來說影響更大。Pan et al. (2013)分析華南春雨的 10-20 天震盪特徵與機制，看到來自歐亞大陸西北方的高層西風帶擾動波列往東南移動過程，在青藏高原以東激發低層相對應的氣旋環流與輻合(反氣旋與輻散)，華南春雨呈現出 QBWO 特性。Matsumoto (1997)則指出因受中緯度西風

帶擾動影響，中南半島雨季開始時間早於孟加拉灣和南海的夏季季風肇始，因此中南半島的雨季開始是大尺度季風轉變的前兆。

Lu et al. (2023)根據 40 年(1981-2020)候雨量資料分析結果指出亞澳及西太平洋季風區(40°E-180°E, 15°S-40°N)春夏轉換期(3-6 月)的前兩個降雨主模態可代表亞洲夏季季風發展的氣候特徵及變異，第一主模態 (EOF1) 代表區域內的 ITCZ(Intertropical Convergence Zone)隨季節從南半球移至北半球印度和孟加拉附近的陸地及周圍海洋區域，第二主模態 (EOF2)則表現了從西太平洋暖池區往西北延伸到菲律賓海及南海區域，和印度洋上從赤道東印度洋往西北延伸到孟加拉灣西部、印度半島南端及阿拉伯海東部等區域的對流活動月尺度反相位變化特徵。另外，發現南海 5 月颱風的活躍度有十年左右的長週期變動特性，2001-2009 年颱風異常活躍，但 2010-2019 年卻是自 1961 年以來活躍度最低的十年，這十年的 5 月南海上完全沒有出現颱風。Cho et al. (2022)分析結果發現在 2011-2020 年這段期間赤道以北從西太平洋暖池區經南海到孟加拉灣為東風距平，這與印度洋和西太平洋之間

的海平面溫度梯度有關，由於印度洋上海溫增暖，造成西太平洋暖池區到東印度洋東風距平增強，增強南海和菲律賓海地區的反氣旋，使東印度洋暖濕西南氣流無法穿越中南半島到南海，對流雨帶因而侷限於赤道東印度洋上。

南海 5 月的熱帶氣旋(tropical cyclone, TC)活動對於區域季節轉變有重要意義，這裡的季節轉變是指位在海陸交錯地形複雜的南海與菲律賓海區域的熱帶對流雨帶於亞洲季風由冬季轉入夏季之際由南往北移動的現象。圖 1a 為南海所在的經度範圍(110°E-120°E)，圖 1b 是菲律賓海的所在的經度範圍(125°E-135°E)，南海區域在冬季(1-2 月)的降雨在比菲律賓海高出許多，位置偏南且持續到 4 月。圖 1b 顯示菲律賓海上冬季主要降雨位置在 10°N 附近，也是菲律賓島嶼的分佈區域，春季(3-4 月)的主要降雨區域出現在赤道附近，5 月初則在赤道以北出現新的降雨極值，5 月中下旬雨量稍減，而在 6 月上旬出現季節性大範圍隨時間往北移動的雨帶。圖 1a 顯示南海中部 5 月主要雨區出現在 15°N 以北區域，在 6 月中出現熱帶降雨「北跳」現象，主要雨帶從赤道附近北跳至 10°N 以北，主要降雨有一個月左右的時間(6 月中至 7

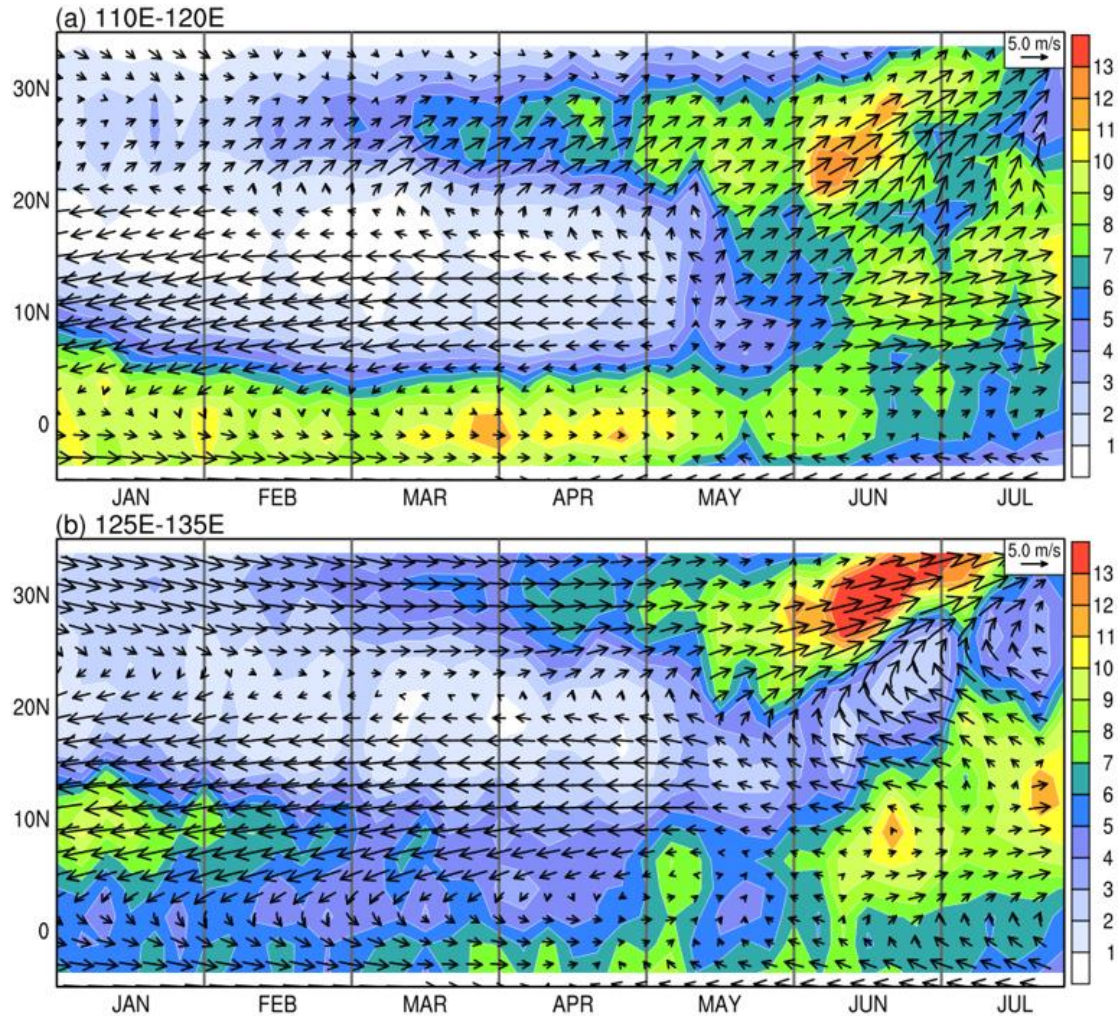


圖 1：1991-2020 年 1-6 月氣候平均的降雨(色階， mm day^{-1})和 850 hPa 風場(風標， m s^{-1})的時間-緯度剖面圖，為(a) $110^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}$ 和(b) $125^{\circ}\text{E}-135^{\circ}\text{E}$ 的經度平均。

月下旬)發生在從 10°N 到 30°N 緯度帶。850hPa 渦度和以 200hPa 及 850hPa 水平風速差值計算的垂直風切是影響熱帶氣旋生成的大尺度條件(Wang and Murakami 2020)，圖 2a 的風標是 850 hPa 的緯向風分量(U850)，顯示 5 月在南海上的 U850 由東風轉為西風，在 $15^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{N}$ 緯度區間的負渦度值強度明顯減弱，正渦度值在六月明顯增強。另一方面，看到南海的垂直風

切值在 5 月最小，正渦度和垂直風切的季節性轉變在南海比菲律賓海(圖 2b)提早了大約一個月；菲律賓海在 6 月 $20^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{N}$ 之間有非常強的負渦度向北移動，反映西太平洋副熱帶高壓反氣旋北抬，並且在其北方伴隨著正渦度和強降雨(圖 1b)，菲律賓海上的副熱帶高壓北抬是東亞季風區的春夏季節轉變過程中最重要的現象。而南海(圖 2a) 5 月前在 $5^{\circ}\text{N}-10^{\circ}\text{N}$ 緯度帶看到

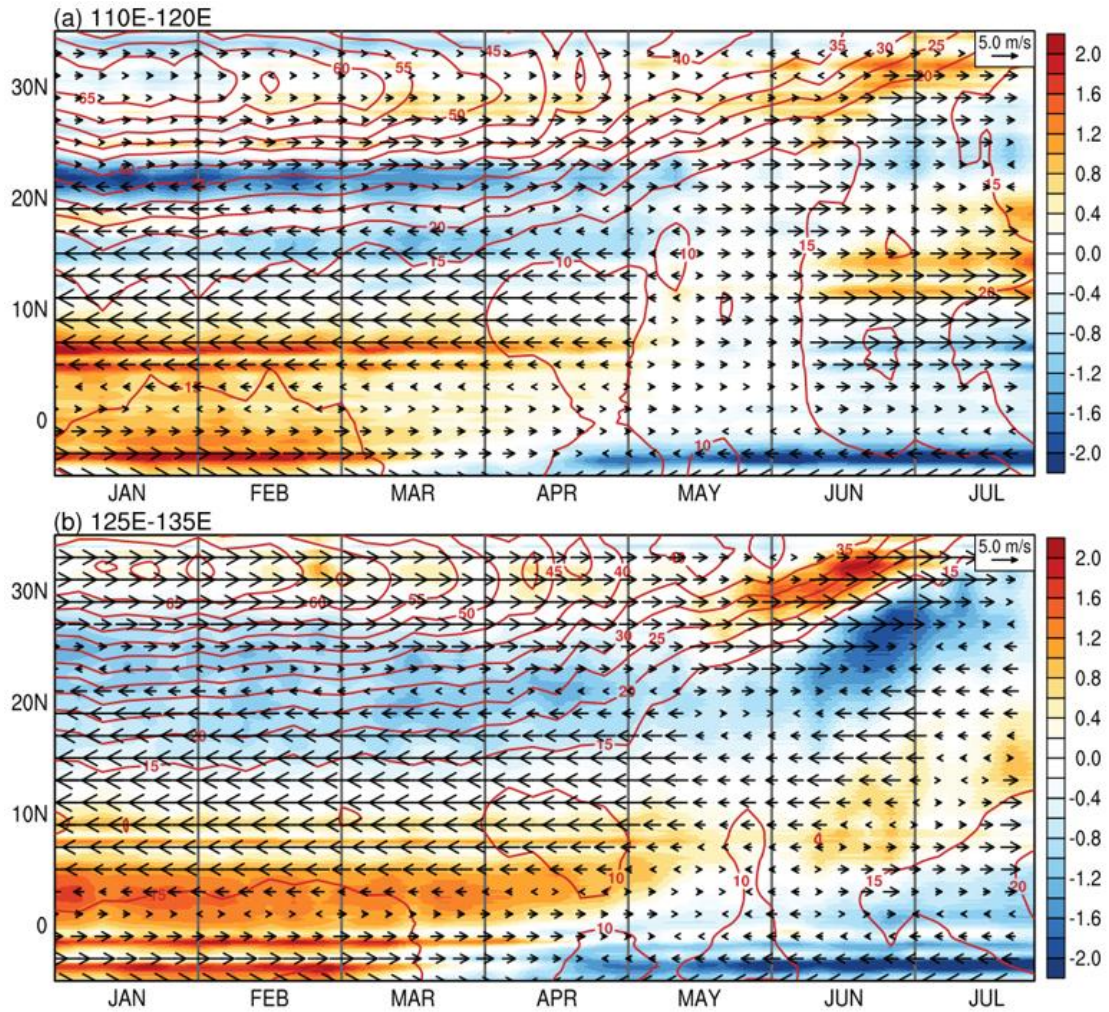


圖 2：1991-2020 年 1-6 月氣候平均的 850hPa 相對渦度(色階, 10^{-5} s^{-1})、200hPa 與 850hPa 之間水平緯向及經向風速差值的平方根的垂直風切(等值線, m s^{-1})和 850hPa 緯向風場(風標, m s^{-1})的時間-緯度剖面圖，為(a) $110^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}$ 和(b) $125^{\circ}\text{E}-135^{\circ}\text{E}$ 的經度平均。

伴隨大陸冷高壓東北季風及跨赤道流產生的正渦度區域隨著季風在三月後迅速減弱，並在 6 月中之後轉為穩定的負渦度，同時在 $10^{\circ}\text{N}-15^{\circ}\text{N}$ 緯度帶轉為穩定的正渦度。南海上的垂直風切及正渦度的強度直接影響到南海 5 月熱帶氣旋的生成條件和活躍程度，因此 5 月南海上的熱帶氣旋生成或移入個數可作為研究亞澳季風區季節

轉變期的區域指標(Cho et al. 2022, Lu et al. 2023)。

為瞭解季內尺度對流活動和 5-6 月南海熱帶氣旋活動的關係，本文運用帶通濾波方法將 33 年(1991-2023)外逸長波輻射(OLR)資料分出週期在 10-30 天的 QBWO 和 30-60 天的 ISO 訊號後，發現在南海與菲律賓海區域都是 QBWO 變異量明顯高

於 ISO，菲律賓海 QBWO 比南海更明顯。由於已經有許多相關研究探討 ISO 對於熱帶氣旋的影響，但 QBWO 和熱帶氣旋之間關係的研究則相對較少，尤其是春夏轉換期間相關文獻相當缺乏，因此本文以分析菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋之間的關係為目標。接下來將聚焦在 QBWO 的辨識與討論，擬回答的科學問題有：

- 春夏轉換期的 QBWO 在菲律賓海區域的時空特性如何？
- 菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋活動有何關係？
- 菲律賓海五、六月對流活躍程度與印太亞澳區域大尺度氣候變異有何關係？

論文內容安排如下，第二章為資料與方法，第三章說明 QBWO 個案挑選結果及個案合成分析顯示的 QBWO 在東亞與西太平洋季風區的時空特性，第四章討論菲律賓海 QBWO 的年際變化和海表面溫度及區域對流及環流的關係，第五章討論南海 5-6 月 TC 和 QBWO 的關係，最後一章為綜合討論和結論。

二、資料與方法

(一) 資料來源

降水資料使用美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics Space Administration, NASA) 支持的全球降水氣候計畫 (Global Precipitation Climatology Project, GPCP) 第 2.2 版的候雨量 (5 日平均) 資料 (Huffman et al. 2009)，水平解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，時間範圍為 1991 至 2023 年。對流活動以 NOAA 提供的每日外逸長波輻射 (Outgoing Longwave Radiation, OLR) 資料 (Schreck et al., 2018)，水平解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，使用的時間範圍為 1991 至 2023 年。大尺度環境變數以歐洲中期天氣預報中心 (European Center for Medium range Weather Forecast, ECMWF) 發布的第五版再分析 (ERA5) 資料 (Hersbach et al. 2020) 代表，水平解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，經日平均計算的 850hPa 和 200hPa 氣壓層水平風場、海平面氣壓和 500hPa 重力位高度場。根據水平風場計算得到的相對渦度以及速度位，速度位的正值 (負值) 代表風場輻合 (輻散)，垂直風切為 200hPa 和 850hPa 水平緯向及經向風速差值的平方根。每日氣候值 (daily climatology) 是將 1991-2020 年相同日期的資料做成平均值，每日距平值 (daily anomaly) 即當天減去該天日期氣候值所得到的差值。

熱帶氣旋(tropical cyclone, TC)資料為日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)西北太平洋區域專責氣象中心(Reginal Specialized Meteorological Center, RSMC)發布之最佳路徑(best track)，當熱帶擾動發展成風速 25 節(kt)的熱帶性低氣壓(tropical depression, TD)即獲得編號留下紀錄。以每個 TC 第一筆的記錄時間點為生成時間，生成位置在 120°E 以東定為「西太型」，120°E 以西為「南海型」。

(二) QBWO

利用 Lanczos 濾波法(Duchon 1979)將 1991 年至 2023 年 OLR 資料進行帶通濾波，分別以變化週期在 10-30 天與 30-60 天範圍的擾動代表 QBWO 與 ISO 兩種季

內震盪的訊號。QBWO 的合成分析是挑選菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域 QBWO 對流活動顯著的個案進行分析。挑選程序有四個步驟，如圖 3 所示：(1) 計算 1991-2023 年 3-6 月逐日菲律賓海區域平均 OLR 經 10-30 天帶通濾波後之 OLR 準雙週震盪距平值及其標準差(std)，(2) 尋找濾波後距平值低於-1.5std 的低值定為 Day0，此時對流活動為最強，(3) 以 Day0 為起點分別往前和往後搜尋 15 天，若發現至少一天距平值高於 1.5std，即標註為 QBWO 個案，(4) 整理 QBWO 個案，結果共挑選出 71 個個案。以 2004 年 3 月 1 日至 6 月 30 日為例，圖 4 顯示 QBWO 在原始距平值即清楚可見，經過週期 10-30 天帶通濾波後的距平值更易定出交替出現的

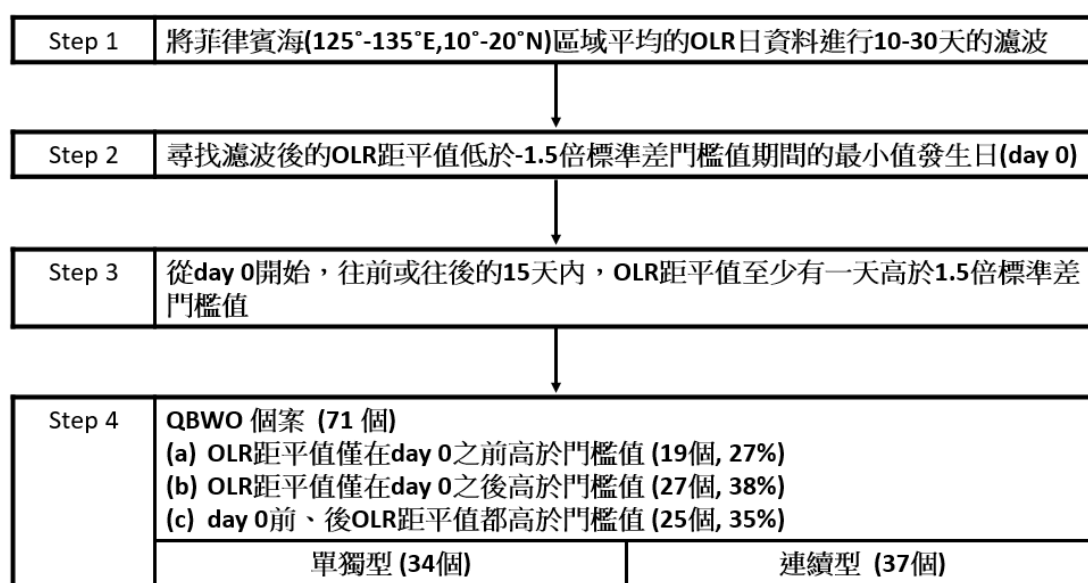


圖 3：菲律賓海(125°-135°E, 10°-20°N) QBWO 個案挑選步驟與要點。

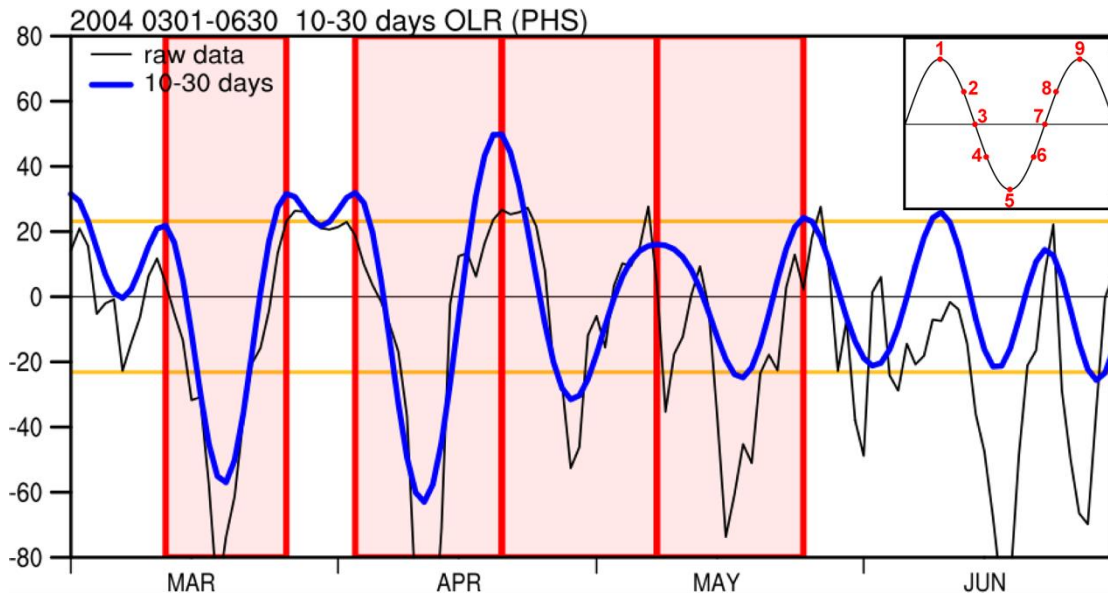


圖 4：2004 年 3-6 月菲律賓海(125°-135°E, 10°-20°N)平均 OLR 原始距平值(黑色曲線)與經過週期 10-30 天帶通濾波後的距平值(藍色曲線)，紅色方框為根據圖 3 挑選出的 QBWO 個案。右上角標示出 QBWO 的 9 個相位示意圖。原始距平值使用的基準為 30 年(1991-2020)氣候平均值。

對流最弱的 OLR 峰值和對流最強的 OLR 谷值。在步驟(3)設定 1.5std 門檻值表示本文鎖定在振幅較大的 QBWO，避免受到振幅較小擾動的干擾而污染分析結果的代表性。

描述 QBWO 特性需要有客觀方法判斷 QBWO 相位。如圖 4 右上角簡圖所示，本文將 OLR 距平的最低值(Day 0)定為相位 5(對流活動最活躍)，如前述步驟(3)所判斷的高於 1.5std 門檻的極大值，若在 Day0 之前發生則定為相位 1，若在 Day0 之後發生則定為相位 9。由 Day0 往前找到 OLR 距平降低過程最接近零值的那一天定為相位 3，而由 Day0 往後找到 OLR 距

平回升過程最接近零值的那一天定為相位 7。相位 2、4、6、8 分別是最大值與零值之間、零值與最低值之間、最低值與零值之間、零值與最大值之間的時間點。若相位 1 與前一個 QBWO 的相位 9 重疊，或相位 9 與後一個 QBWO 的相位 1 重疊，則判斷為「連續型」案例，否則為「單獨型」，分別有 34 個單獨型和 37 個連續型。菲律賓海區域 OLR 在 1991-2020 年期間的 1.5std 數值為 23.1 Wm^{-2} 。若以相位 1 至 9 的天數代表每次震盪的長度(duration)，QBWO 的平均長度為 16.9 天(std=2.7 天)。將相位 2-4 定為對流發展期，相位 4-6 為對流活躍期，相位 6-8 為對流消散期，相

位 8-9 和相位 1-2 為對流抑制期，則各期平均長度分別為 3.6、6.2、4.0、5.9 天，其中天數的標準差以消散期的 1.6 天最大，其他三期的標準差都大約 1 天。第三章的個案合成分析是 71 個 QBWO 個案的相位進行合成平均，藉以認識 QBWO 的傳播特徵以及風、雨的時空特性。

三、QBWO 個案及合成分析

(一) 菲律賓海 OLR 季內尺度變異量

菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域 1991-2020 年 3-6 月的每日平均 OLR 資料分年計算功率譜的 30 年平均值(圖 5)顯示變動週期在 10-30 天範圍的擾動是該

區深對流活動的主要變化。為瞭解菲律賓海和周圍區域季內尺度的深對流擾動的關係，圖 6a-c 顯示在東亞沿海及西北太平洋區域的 OLR 總變異量，以及經過 10-30 天和 30-60 天帶通濾波後的擾動變異量空間分佈。看到總變異量(圖 6a)在孟加拉灣、中南半島、南海、菲律賓海有清楚東西方向帶狀 OLR 高變異區，在 10°S 附近也有較大的 OLR 變異量但不在本文討論範圍內。圖 6b 顯示 10-30 天擾動的 OLR 變異量的區域極大值出現在菲律賓海上的 10°N-15°N 附近，而同一區域的 30-60 天擾動並沒有明顯的區域性極大值。為聚焦在 QBWO，接下來的分析步驟首先以菲律

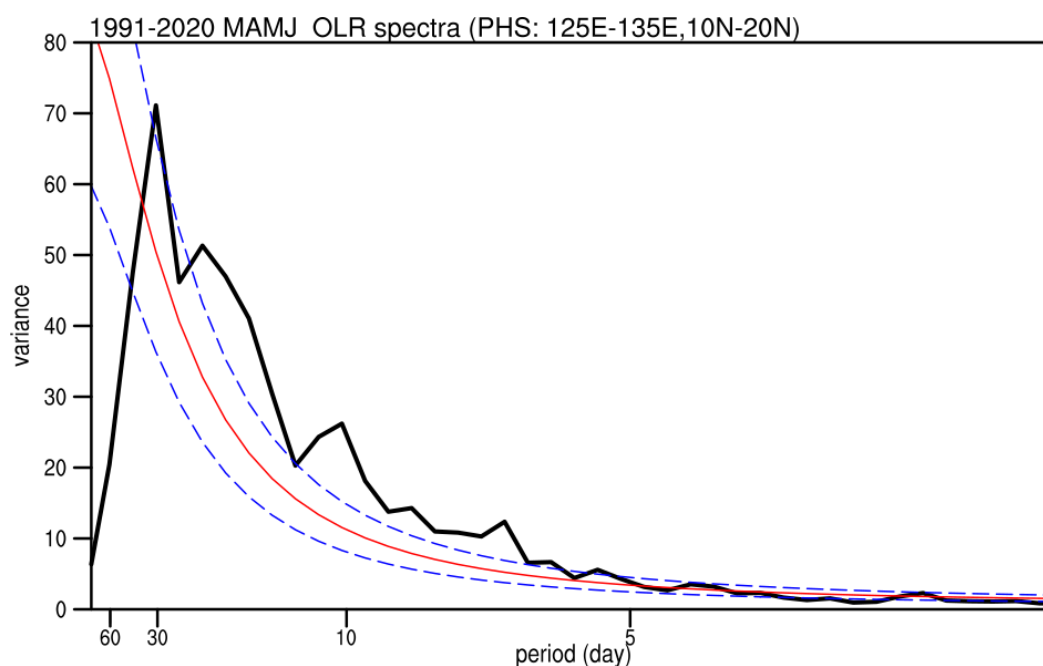


圖 5：菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域 1991-2020 年 3-6 月每日平均 OLR 資料分年計算功率譜的 30 年平均值(黑色曲線)，紅色曲線為紅噪音譜，上和下藍色虛線分別為 95%和 5%的可信度。

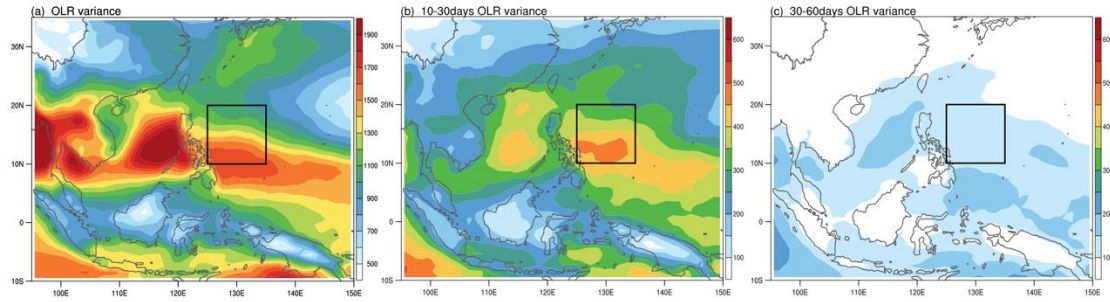


圖 6：1991-2020 年 3-6 月(a) OLR 變異量($W^2 m^{-4}$)，(b) 10-30 天的 OLR，和(c) 30-60 天 OLR 的空間分布，黑色方框為表示菲律賓海($125^{\circ}E-135^{\circ}E, 10^{\circ}N-20^{\circ}N$)的範圍。

賓海($125^{\circ}E-135^{\circ}E, 10^{\circ}N-20^{\circ}N$)為核心，針對挑選出的 71 個菲律賓海 QBWO 個案進行合成分析來了解 QBWO 的變化特徵，之後接續分析菲律賓海 QBWO 和南海 5-6 月熱帶氣旋的關係，以及 QBWO 的年際變化與印太亞澳區域海表面溫度的關係。

(二) QBWO 合成分析

圖 7 是按照相位 1-8 排列的菲律賓海 QBWO 個案合成平均圖，OLR 和 850 hPa 風場都是 10-30 天帶通濾波後的變量。根據定義，QBWO 對流活動最強也就是 OLR 距平值最低的時間(Day 0)為第 5 相位，和圖 7e 在菲律賓海上有最低的 OLR 負距平和伴隨的氣旋環流相當一致。往前觀察幾個相位(圖 7a 至 7d)的變化，可見在相位 1(圖 7a)時菲律賓海有反氣旋環流與對流受抑制的 OLR 正距平極大值，在其東方約 $170^{\circ}E$ 有微弱的 OLR 負距平訊號；相較於相位 1 反氣旋環流在相位 2(圖 7b)向西北

移動穿越菲律賓，對流抑制區發展成從南海經菲律賓往西北太平洋的西南-東北走向的 OLR 正距平，先前在東邊的 OLR 負距平和氣旋環流明顯往西在西太平洋暖池區($EQ-10^{\circ}N, 135^{\circ}E-155^{\circ}E$)加強，並在相位 3-4(圖 7c-d)持續向西北移動並加強。菲律賓海上 OLR 負距平在相位 5(圖 7e)達到最強，繼而在相位 6(圖 7f)在 $15^{\circ}N$ 附近略為往西，而在菲律賓東方略向北移動，以至對流旺盛區呈現從南海經菲律賓往西北太平洋的西南-東北走向的 OLR 負距平。負距平區在相位 7-8 持續減弱，同時在菲律賓海南部的正距平則持續增強。QBWO 距平合成圖顯示菲律賓海上對流活動的發展和抑制的交替出現，和在緯度 $5^{\circ}N-15^{\circ}N$ ，經度 $120^{\circ}E-135^{\circ}E$ 範圍的 850hPa 風場距平以東北風或西南風為主有連動關係，東北風有助於水氣在菲律賓海南端($EQ-10^{\circ}N, 125^{\circ}E-140^{\circ}E$)累積，而西南風則不利

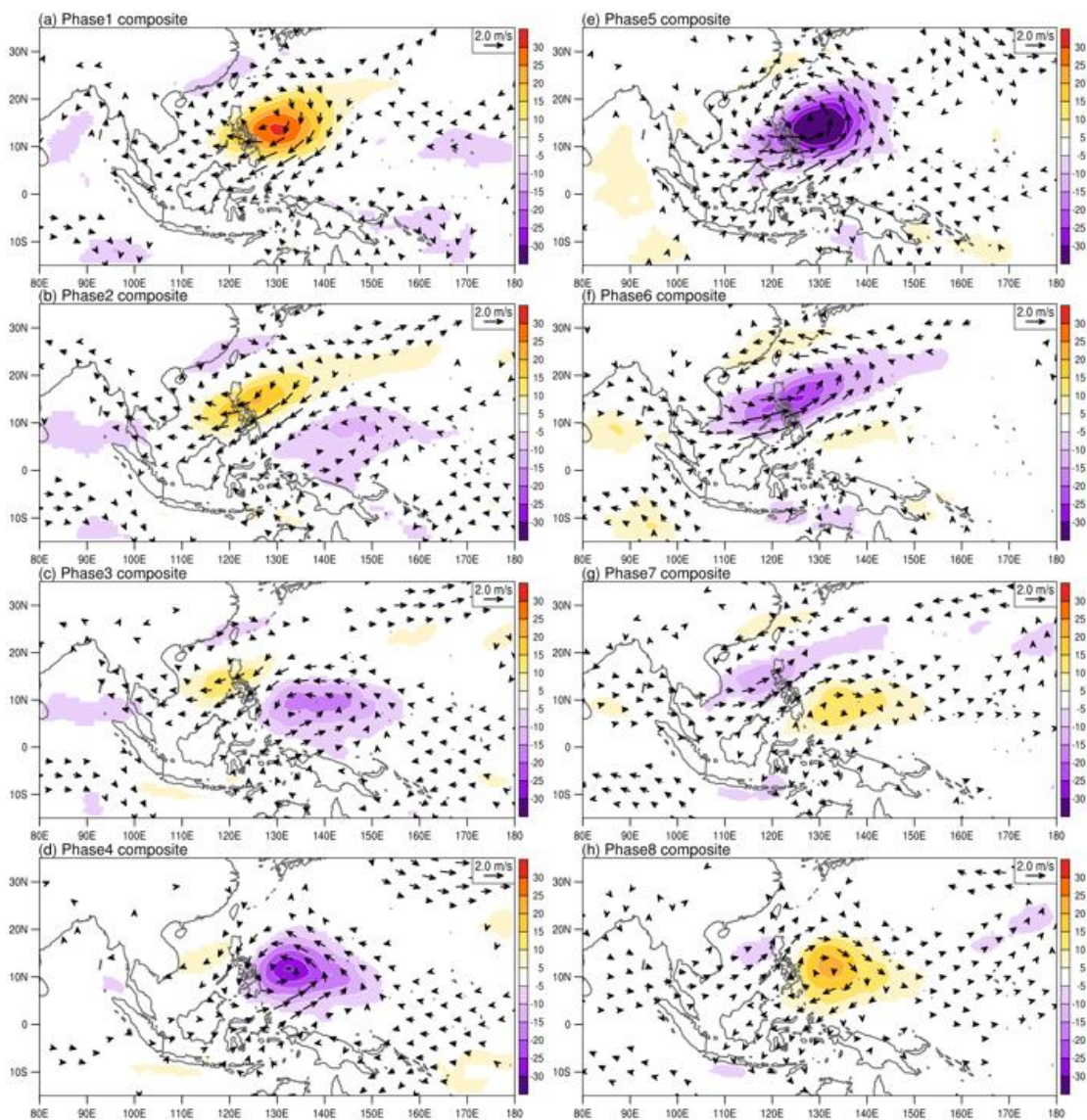


圖 7：菲律賓海 QBWO 個案的相位 1-8 合成圖，OLR(色階， $W m^{-2}$)和 850hPa 水平風場(風標， $m s^{-1}$)經過 10-30 天濾波，皆為通過 95%的信心水準。

於這個區域水氣的累積。

四、QBWO 年際變化與南海 5-6 月熱帶氣旋

3-6 月東亞季風春夏轉換期的 QBWO 隨季節和年份的變化顯示在圖 8，可看到 QBWO 在季節上有兩個好發時段，春季以四月下旬至五月初的發生頻率較高而在初

夏六月也是發生頻率甚高時段。在年際變化方面，看到在四月中至五月底時段 QBWO 在 1996-2011 年期間頻繁出現，但在 2012-2022 期間的出現頻率明顯下降，2023 年卻異常活躍。菲律賓海區域(125°E-135°E, 10°N-20°N)五月平均 OLR 和 QBWO 五月總日數在 1991-2023 年期間的相關係數為-0.53 (達 99%統計信心度)，表

示大環境對菲律賓海五月區域對流的加強或壓抑對 QBWO 的活躍程度有明顯影響。

南海上的熱帶氣旋可分為在南海生成的「南海型」(SCS-born)和從菲律賓海移入的「西太型」(WNP-born)兩類(Lu et al. 2021)，圖 8 將「南海型」在南海上的生成時間和「西太型」進入南海區域(110°E-120°E, 10°N-22.5°N)的第一個時間分別以

藍點和綠點標示在圖上，看到 1991-2023 年的 33 年期間僅有 7 年在南海上五月有熱帶氣旋生成或移入，並有 6 個發生在 1996-2011 年這 16 年間。1996-2011 年期間的 6 個五月熱帶氣旋有 5 個「南海型」，相同期間在六月有 12 個熱帶氣旋生成或移入南海，其中僅有 4 個「南海型」，顯示六月南海「西太型」熱帶氣旋的比例明顯

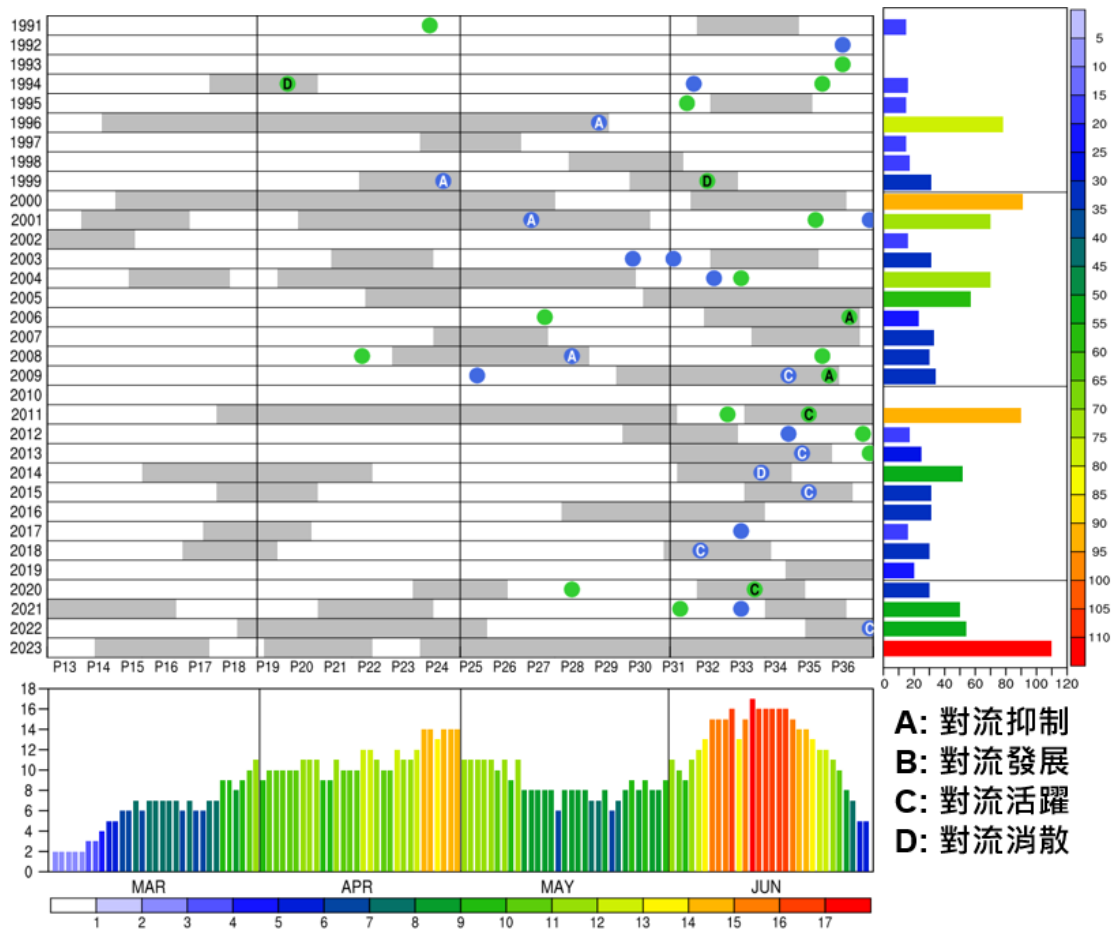


圖 8: 1991-2023 年菲律賓海 QBWO 個案和 SCS 熱帶氣旋發生時間的分布, 灰色陰影代表 QBWO 個案從相位 1 至相位 9 的發生期間, 圓點為熱帶氣旋進入 SCS 區域(110°E-120°E, 10°N-22.5°N)的時間, 藍色為「南海型」熱帶氣旋(生成於 120°E 以西), 綠色為「西太型」熱帶氣旋(生成於 120°E 以東), 生成位置以 RSMC 最佳路徑第一個紀錄時間點來代表。下圖為 3-6 月期間每日 33 年的 QBWO 發生日數, 右圖為每一年的 QBWO 發生日數。

高於五月。然而，類似特徵並沒有發生在接續 11 年(2012-2022)，這段期間五月南海上僅有一年有熱帶氣旋活動，但六月有 12 個熱帶氣旋生成或移入南海，其中「南海型」有 8 個，「西太型」有 4 個，並有 6 個熱帶氣旋在生成或移入的時間點有 QBWO 發生。影響熱帶氣旋生成的因素有很多，QBWO 是其中一個因素，下面將分析菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋的關係。若將菲律賓海 QBWO 分為對流抑制期(相位 8、9、1、2 至少兩個相連相位的發生期間)、對流發展期(相位 2 至 4 期間)、對流活躍期(相位 4 至 6 期間)、對流消散期(相位 6 至 8 期間)，並在圖 8 中分別以 A、B、C、D 符號標示，看到在第 31 候(5/31-6/04)以前的 8 個「南海型」熱帶氣旋有 4 個生成在 QBWO 活躍時的對流抑制期(A)，另 4 個發生在無 QBWO 狀態並有 2 個連續出現在 2003 年 5 月下旬和 6 月初。第 31 候(5/31~6/04)以前出現在南海上的 7 個「西太型」熱帶氣旋有 6 個發生在無 QBWO 狀態，1 個發生在四月上旬的對流消散期(D)。雖然使用的資料年份和熱帶氣旋個案數相當有限，仍可看出在第 31 候以前菲律賓海 QBWO 對於生成在南海的「南海型」熱帶氣旋有值得注意的影響，

而菲律賓海 QBWO 和不在南海生成的「西太型」熱帶氣旋並沒有明顯關連。在 2012-2022 年期間 5 月 QBWO 極端不活躍，第 31 候以前沒有任何「南海型」熱帶氣旋生成，但在 6 月有相當活躍的 QBWO 和伴隨生成的「南海型」熱帶氣旋。不同於 1996-2011 年(5 月 QBWO 活躍)，在第 31 候以前伴隨菲律賓海 QBWO 生成的「南海型」熱帶氣旋全數發生在 QBWO 的對流抑制期(圖 8，標記 A)，2012-2022 年(5 月 QBWO 不活躍)在第 31 候以後伴隨菲律賓海 QBWO 生成的「南海型」熱帶氣旋有五分之一(20%)發生在 QBWO 的對流消散期(圖 8，標記 D)，而五分之四(80%)發生在對流活躍期(圖 8，標記 C)。這些 2011 年前後的多年差異顯示有必要進一步了解東亞季風春夏轉換期背景氣候的次月尺度快變化(圖 1-2)對菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋關係的影響。

為判斷 2012-2022 年期間 5 月 QBWO 特別不活躍的統計意義，將 1991-2023 年四月中至五月底每年 QBWO 的發生日數使用蒙地卡羅模擬(Monte Carlo)方法任意抽取重新排列後統計連續 11 年的累計 QBWO 日數的機率分佈，模擬 1000 次的結果顯示 11 年累積 QBWO 總日數以 90-

99 天的發生機率最高，1996-2006 年(114 天)和 2001-2011 年(117 天)是兩個 QBWO 日數最多的時期，114 天以上的發生機率總共為 13.1%，2012-2022 年的 QBWO 日數最少，僅 17 天，17 天以下的發生機率為 5.5%。考量 1996-2006 年和 2001-2011 年有超過半數的年份重疊，因而以 1996-2011 期間作為菲律賓海 QBWO 的活躍期，2012-2022 年為不活躍期。南海上 3-6 月熱帶氣旋活動在 1996-2011 年和 2012-2022 年兩段時期的對比整理在表 1，清楚呈現了兩個時期南海熱帶氣旋活動的差異。在春夏轉換期南海熱帶氣旋活動頻率每年平均數量在 1996-2011 年和 2012-2022 年兩段時期沒有明顯差別(1.3/yr, 1.2/yr)，前期出現在 6 月 5 至 30 日的熱帶氣旋個數(11 個)和出現在 6 月 5 日以前總個數(9 個)差別不大，並且 6 月 5 日以前的南海熱帶氣

旋有 78%生成在南海，而 6 月 5 日以後的有 73%是從西太平洋移入，顯示南海熱帶氣旋從沈寂轉活躍的關鍵時間正是背景氣候在五至六月發生次月尺度階段性變化的時候。後期(2012-2022)出現在 6 月 5 至 30 日的南海熱帶氣旋個數是 6 月 5 日以前總個數的 5.5 倍，並且 6 月 5 日以前沒有熱帶氣旋生成在南海，而 6 月 5 日以後卻有 73%是在南海生成，和 1996-2011 年的南海熱帶氣旋特徵形成強烈對比。圖 8 顯示在後期 6 月 5 日以後的南海熱帶氣旋和菲律賓海 QBWO 有相當好的關係，表示菲律賓海活躍的對流活動為南海提供了有利於熱帶氣旋生成的條件。然而 2023 年卻出現特例，2023 年是 1991 年以來 3-6 月菲律賓海 QBWO 最活躍的一年，南海上竟完全沒有熱帶氣旋生成或移入。我們將在下一章繼續討論菲律賓海 QBWO 與對流

表 1：1996-2011 年與 2012-2022 年在 3-6 月期間第 31 候(5/31-6/04)之前與之後在南海區域(110°E-120°E, 10°N-22.5°N)發生的熱帶氣旋(TC)個數以及南海生成(SCS-born)與西太平洋生成(WNP-bore)各占的百分比。

年份	3-6 月 TC 總個數 (每年平均)	第 31 候前 (3/01 – 6/04) TC 總個數及 兩種生成類型各占比例		第 31 候後 (6/05 – 6/30) TC 總個數及 兩種生成類型各占比例	
		1996-2011	20 (1.3/yr)	9	SCS-born: 7 (78%) WNP-born: 2 (22%)
2012-2022	13 (1.2/yr)	2	SCS-born: 0 (0%) WNP-born: 2 (100%)	11	SCS-born: 8 (73%) WNP-born: 3 (27%)

活動的年際變化和印太亞澳區域海表面溫度(SST, Sea Surface Temperature)及環流的關係。

五、菲律賓海五、六月對流與大尺度風場及海表面溫度變異

前文提到菲律賓海區域(125°E-135°E, 10°N-20°N)五月平均 OLR 和 QBWO 五月總日數在 1991-2023 年期間的相關係數為 -0.53，表示可用菲律賓海五月 OLR 代表 QBWO 天數討論 QBWO 活躍程度和大尺度環境的關係。圖 9 中長條柱高表示每年五月 QBWO 的總日數，紅色線為五月 QBWO 的五年累積天數，藍色線則為菲律賓海的 OLR 距平值，清楚看到 QBWO 日

數在 2012 年之後明顯減少，OLR 持續維持在正距平直到 2023 年轉為負距平，QBWO 日數也在 2023 年達到 1991 年以來的最高值。

(一) 線性相關分析

為瞭解大環境對菲律賓海五、六月對流活動影響的年際變化和印太亞澳區域 SST 及環流的關係，首先檢視了五、六月菲律賓海(圖 6，黑框) OLR 分別與 2-6 月的各月平均 OLR 及 SST 的相關係數。圖 10 顯示菲律賓海 5 月 OLR 和 2-4 月在 125°E 以西的南海南部對流有顯著正相關，而與 160°E 以東的赤道太平洋區域的對流活動有顯著負相關的關係，然而顯著

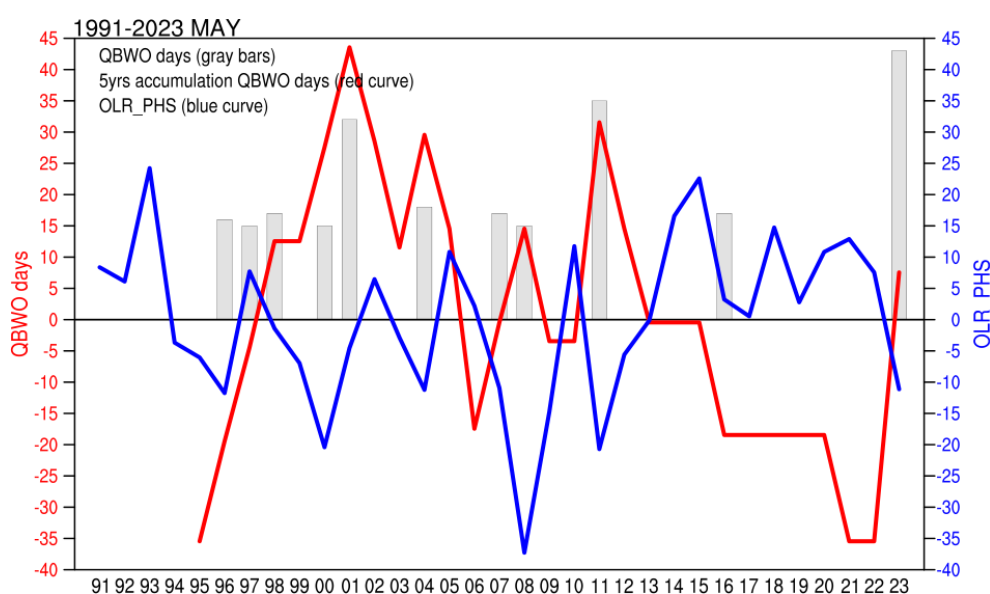


圖 9：1991-2023 年 5 月菲律賓海 QBWO 總日數和菲律賓海區域平均 OLR 變化，灰色長條圖為每年 QBWO 總日數，紅色曲線為包含該年在內的前 5 年累計 QBWO 總日數，藍色曲線為菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域平均的 OLR，曲線為相對於 1991-2020 年平均的距平值。

相關區域在 4 月(圖 10c)明顯低於 2 和 3 月，顯著正相關區域在 5 月明顯回升但分佈特徵和 4 月以前有所不同，在赤道以南的東印度洋轉為負相關，5°N 以北的菲律賓海和以南西太平洋及印尼和新幾內亞島嶼區域出現顯著正相關，而與 160°E 以東的赤道太平洋區域的相關性大大減弱，且顯著相關性在 6 月全面消失。另一方面，圖 10 顯示菲律賓海 5 月 OLR 和 SST 的相關係數在赤道中東太平洋(160°E 以東)2-4 月海溫成正相關，即 SST 偏高時菲律賓海 OLR 偏高 (對流偏弱)，這個關係在五、六

月較前三個月明顯減弱且看到正相關區域變化以東退為主在南北方向的變化不大。東印度洋 SST 和菲律賓海五月 OLR 的關係從 2-5 月都是正相關，但相關係數顯著的區域隨月份逐漸北移，5 月與從孟加拉灣經南海北部到台灣東方西太平洋海面的 SST 都是顯著正相關，與菲律賓海上的 SST 相關係數並不顯著，表示菲律賓海 5 月對流活動活躍程度年際變化受到大尺度環流與 SST 的影響大於局地 SST 的影響。

根據菲律賓海 5 月 OLR 計算與 2-6 月各月 850hPa 渦度值相關係數及 850hPa 風

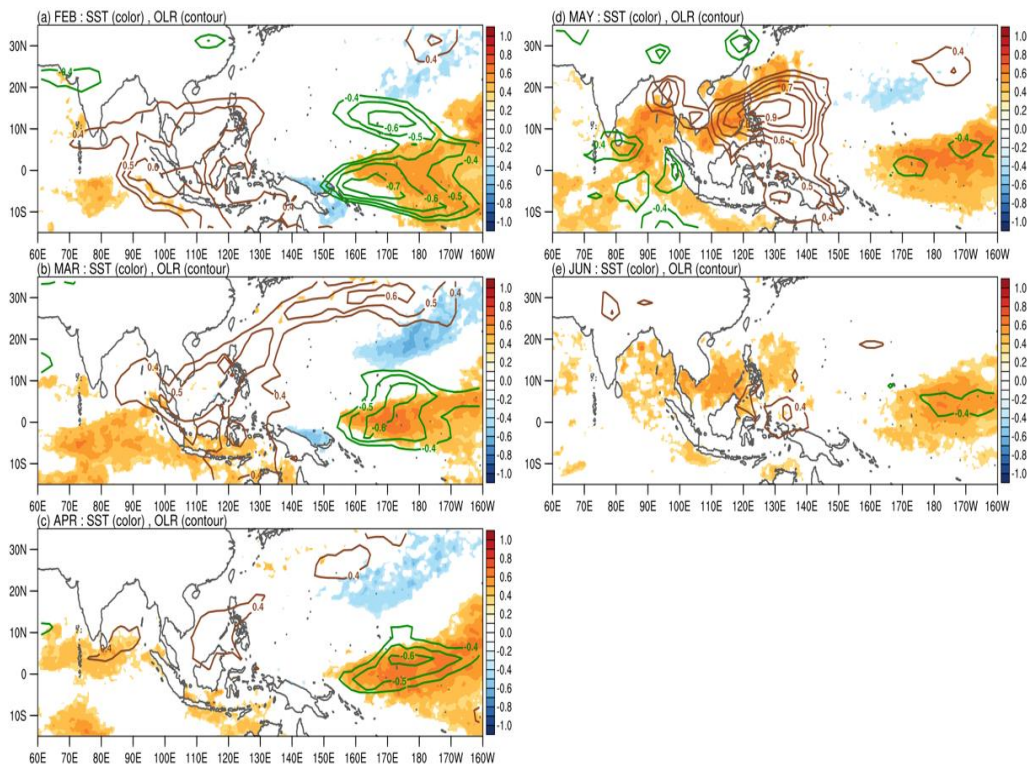


圖 10：1991-2023 年 5 月菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域平均 OLR 分別與(a)2 月，(b)3 月，(c)4 月，(d)5 月和(e)6 月海溫(色階)和 OLR(等值線)的相關係數，咖啡色為正值，綠色線為負值，僅顯示通過 95%的顯著性檢定。

風場回歸係數(圖 11)，圖 10 中 2-4 月在 160°E 以東赤道太平洋區域的 OLR 負相關區域伴隨有偏強西風，與西風北緣的渦度場有顯著正相關，搭配圖 10 的 SST 和 OLR 場的相關係數來看，可知這些是 El Niño 冬季特徵的延續。另一方面，在 2-4 月與東印度洋 SST 正相關區域(圖 10)則伴隨有偏強東風和在東風北緣的微弱渦度負相關。與 5 月 OLR 同時相關的渦度場和回歸風場清楚顯示菲律賓海和南海的 OLR 正相關區(圖 10)伴隨有偏強東北風和反氣旋環流，從孟加拉灣北端經南海沿海區域到台

灣東方西太平洋海面的 SST 正相關區伴隨有偏強西南風，若孟加拉灣北端反氣旋環流距平加強，將不利 5 月季風肇始渦旋在此發展。值得注意的是 5 月菲律賓海 OLR 和 6 月風場及渦度場相關性不顯著，僅有 160°E 以東赤道太平洋區域仍然有一些訊號。

由於菲律賓海 5 月 OLR 和 6 月季風區風場相關性微弱，因此改以菲律賓海 6 月 OLR 為參考值計算與其他月份 SST、OLR、風場、渦度場的相關係數以了解菲律賓海對流在 5 月和 6 月的變化特性。

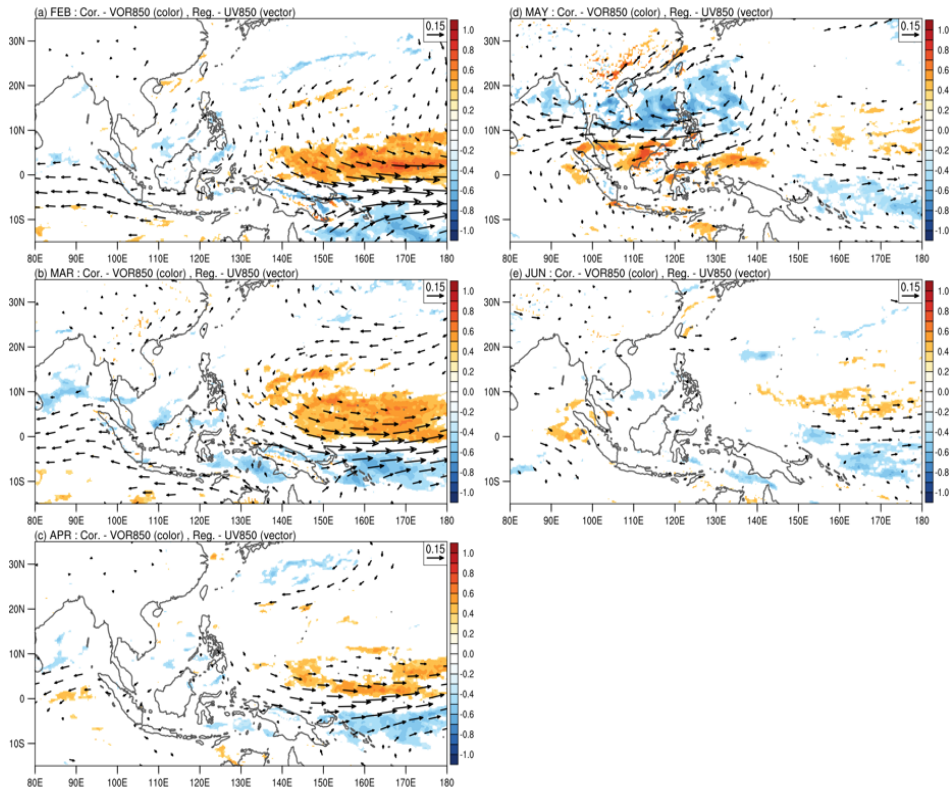


圖 11：1991-2023 年 5 月菲律賓海(125°E-135°E, 10°N-20°N)區域平均 OLR 分別與(a)2 月，(b)3 月，(c)4 月，(d)5 月和(e)6 月相對渦度(色階)的相關係數和低層 850hPa 水平風場(風標)的回歸係數，為通過 95%的顯著性檢定。

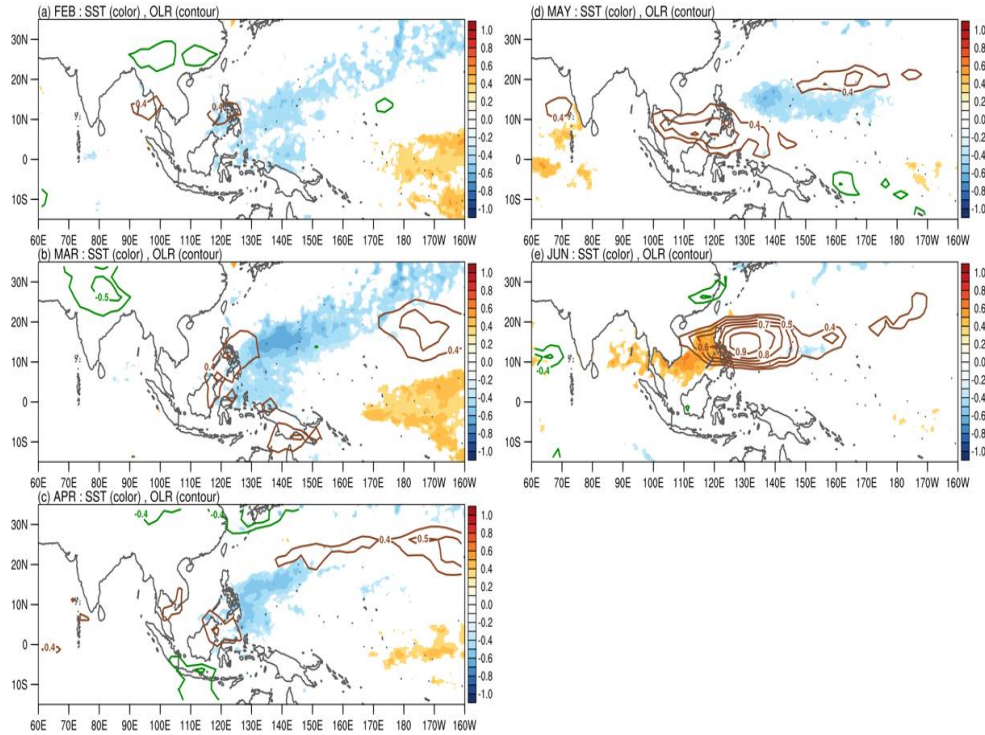


圖 12：同圖 10，但為 1991-2023 年 6 月菲律賓海區域平均 OLR。

圖 12 顯示菲律賓海 6 月 OLR 和 SST 有顯著相關的區域確實不同於 5 月，尤其特別的是看到與北太平洋 2 和 3 月從菲律賓海往東北延伸至東北太平洋的 SST 帶狀大範圍負相關，與赤道中東太平洋(170°E 以東)SST 則有正相關但區域較小，至 4 和 5 月明顯減弱，6 月則看到與南海及孟加拉灣 SST 沿 10°N 軸線有顯著正相關的關係，表示對流偏弱時海溫偏高。圖 13e 可見海溫正相關的區域回歸風場為反氣旋及負渦度的特徵，比較圖 11d 與圖 13e 看到回歸風場與渦度非常類似，唯菲律賓海 5 月 OLR 同時回歸的風場(圖 11d)在印度洋及南海南部的顯著相關區域比菲律賓海 6 月

OLR 同時回歸的結果(圖 13e)範圍較大，但圖 13e 在菲律賓及日本之間的西北太平洋區域顯著相關的範圍比 5 月(圖 11d)稍大。由這些結果可知菲律賓海的 5 月和 6 月對流活動的活躍程度沒有明顯的關聯，5 月對流是否活躍和春季東太平洋及印度洋海溫有關，6 月對流活躍程度則和 130°E 以東的西北太平洋海溫有較顯著的持續負相關，亦即海溫偏高時對流偏強，另一方面看到菲律賓海對流偏弱(OLR 偏正)與反氣旋環流偏強時，南海上海溫偏高負渦度加強，反映出菲律賓海對流和南海的同向變化的關係，也影響著區域熱帶氣旋的活躍程度。

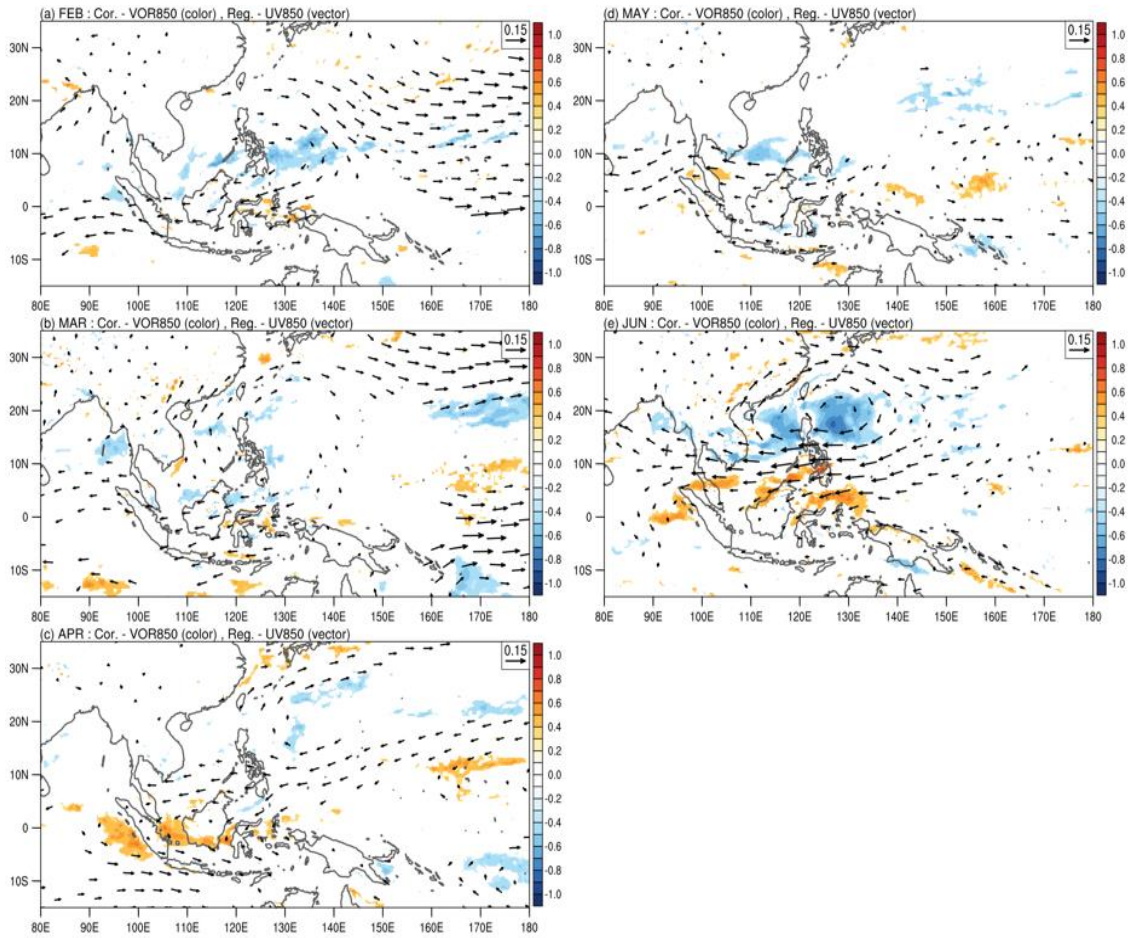


圖 13：同圖 11，但為 1991-2023 年 6 月菲律賓海區域平均 OLR。

(二) 1996-2011 年及 2012-2022 年兩段時期的南海氣候變異

本節根據前面觀察到的南海熱帶氣旋和菲律賓海 QBWO 關係，討論在 1996-2011 年和 2012-2022 年四、五、六月的東亞夏季季風建立期的亞澳季風區氣候特徵的對比，以及菲律賓海 QBWO 異常活躍但南海卻在 5-6 月完全沒有熱帶氣旋的唯一特例：2023 年。

圖 14 顯示 1996-2011 年與 2012-2022 年的海平面氣壓與 850hPa 風場的距平差

異，氣候值為 1991-2020 年的 30 年平均。圖 14a-c 顯示 1996-2011 年 4、5 月在南亞和東亞以及西北太平洋沿海區域有明顯的低壓距平環流，並在 6 月則轉為高壓距平，而在西太平洋 10°N-20°N 及 130°E-180°區域則連續三個月都是低壓距平。西太平洋 6 月低壓距平和南海上的高壓距平符號相反(圖 14c)，這個現象和圖 15c 特徵相符。圖 15a-c 顯示 1996-2011 年的 OLR 和高層輻散場距平更清楚地呈現出 5 月孟加拉灣、南海、菲律賓海、西太平洋等季風區

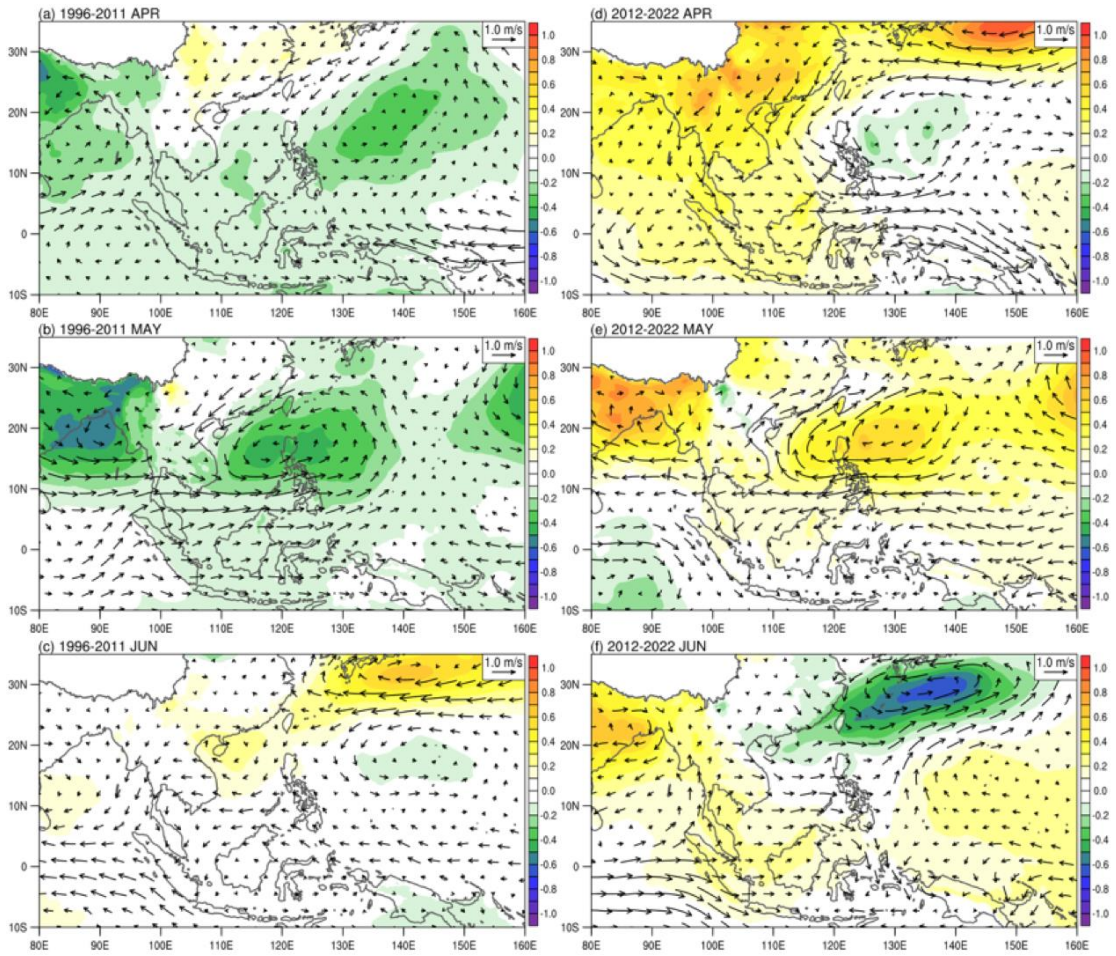


圖 14：(a)-(c) 1996-2011 年與(d)-(f) 2012-2022 年兩段時期的海平面氣壓(色階, hPa)和 850hPa 風場(風標, $m s^{-1}$)在(a)、(d)四月, (b)、(e)五月, (c)、(f)六月相對於 1991-2020 年平均的距平值。

有偏強對流活動, 在 4 月即已出現類似的偏強對流, 而 6 月則在中南半島和南海上都有偏強的輻合風及 OLR 正距平, 顯示下沉氣流偏強, 但在菲律賓海上及南海北部則有對流偏強的 OLR 負距平和輻散風。2012-2022 年的海平面氣壓與 850hPa 風場距平和 1996-2011 年形成強烈對比。圖 14d 顯示 4 月在菲律賓海有低壓和氣旋環流距平, 而在華南、中南半島、印度等陸地區域及南海、孟加拉灣、東印度洋等海上區

域都是高壓距平, 圖 14e-f 顯示至 5、6 月在南海與菲律賓海的海平面氣壓和環流距平有明顯變化, 5 月南海與菲律賓海上是高壓反氣旋距平, 6 月則為低壓氣旋距平, 然而在中南半島、印度、孟加拉灣等地 4-6 三個月均為氣壓偏強反氣旋, 5-6 月的距平比 4 月更明顯。圖 15d-f 顯示 2012-2022 年 5、6 月在赤道附近及南半球的印尼海洋島嶼區對流持續偏強, 南海與菲律賓海 5 月因受到南北方輻散風場匯集的影響處於

下沉氣流區域，對流偏弱，6 月北方高層輻散中心向東偏移，南海上速度位轉負正距平表示高層輻合減弱，菲律賓海則仍受北方偏強的輻散風影響，OLR 正距平相當微弱。

對照圖 8 檢視菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋與圖 14 和圖 15 的月尺度的環流和對流距平變化，可以看到 1996-2011 年 5、6 月菲律賓海 QBWO 活躍期與西太平洋 4-6 月對流活躍一致。而南海熱帶氣

旋在 5 月以南海生成為主，但 6 月以移入為主(表 1)，和圖 15c 顯示的 6 月南海南部下沉氣流偏強不利熱帶氣旋生成特徵一致，圖 14c 顯示在南海 10°N 附近東風偏強，應有利於在西北太平洋生成的熱帶氣旋移入南海。2012-2022 年 5 月菲律賓海 QBWO 極不活躍南海也沒有熱帶氣旋活動，和圖 14e 與圖 15e 看到的月尺度的環流及對流距平相當一致，這段時期的印尼海洋島嶼區對流持續偏強，以及從華南向

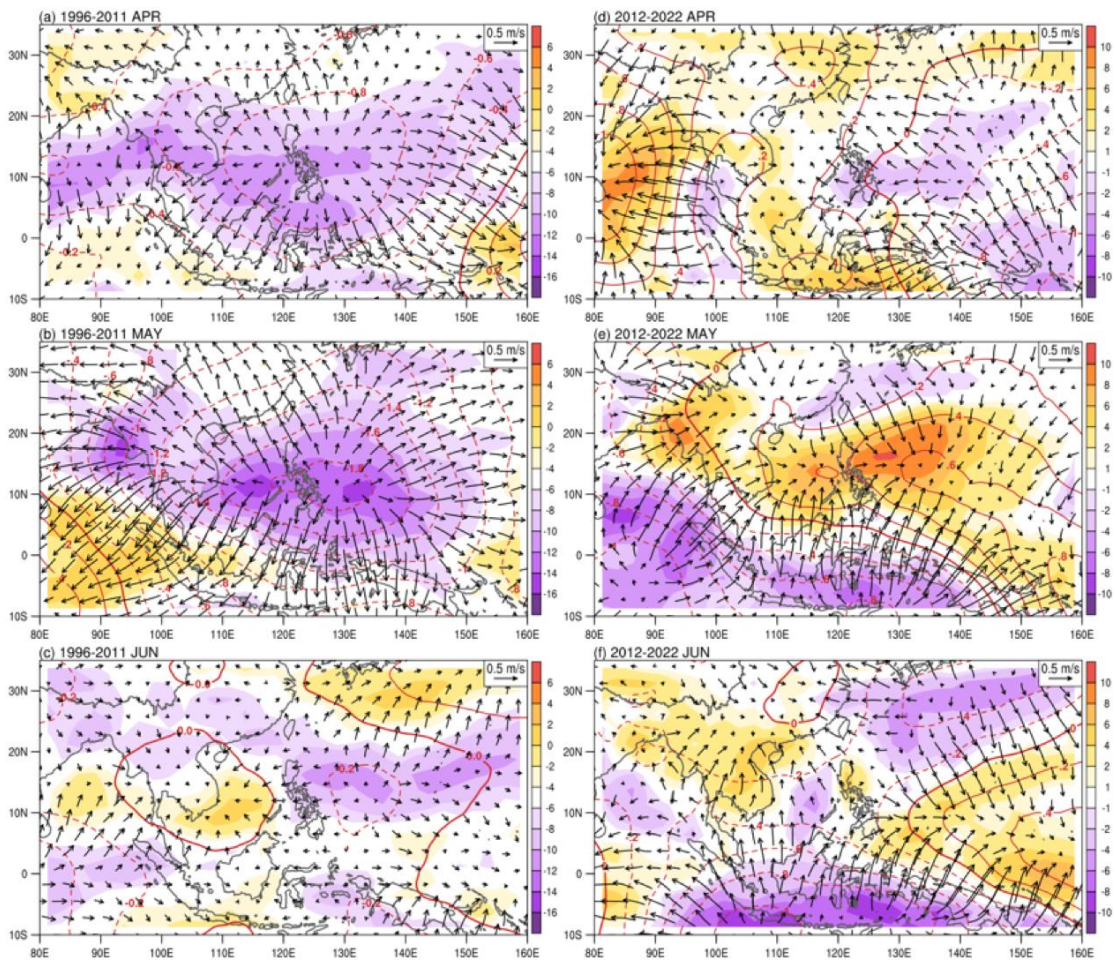


圖 15：(a)-(c) 1996-2011 年與(d)-(f) 2012-2022 年兩段時期的 OLR(色階， $W m^{-2}$)、200hPa 速度位(等值線， $m^2 s^{-1} 10^6$)和 200hPa 輻散風(風標， $m s^{-1}$)，在(a)、(d)四月，(b)、(e)五月，(c)、(f)六月相對於 1991-2020 年平均的距平值，等值線間距皆為 $0.2 m^2 s^{-1} 10^6$ 。

東北往日本南方延伸的梅雨鋒面帶對流活動也偏強，是造成南海與菲律賓海五月對流受到抑制的可能原因。圖 15f 顯示 2012-2022 年 6 月菲律賓海上在 10°N 以南對流偏弱，10°N 以北對流偏強，菲律賓海與西北太平洋上的 OLR 距平呈現從西南往東北延伸的樣貌，與 QBWO 的空間特徵(圖 7)以及菲律賓海 QBWO 相當活躍(圖 8)現象一致。2012-2022 年 6 月南海熱帶氣旋從西太平洋移入的個數少於南海生成個數的二分之一，這和圖 14f 顯示的南海上西風偏強現象一致。

根據以上分析推測 5 月份的菲律賓海 QBWO 和南海熱帶氣旋活躍度在 1996-

2011 與 2012-2022 兩段時期的明顯差異可能與熱帶對流系統在春夏轉換期北移時間有關。圖 15b 與圖 15e 顯示的赤道附近和赤道外 10°N-20°N 對流距平在前後兩時期的南北差異由圖 16 可清楚看到，圖中灰色長條為負代表 200hPa 輻散風場方向為從北往南，而紅色折線為負表示孟加拉灣靠近亞洲大陸區域的對流較活躍，藍色折線為負則表示赤道東印度洋的對流較活躍。1996-2011 年期間灰色長條以負值居多，藍(紅)折線以正(負)值居多，表示這段時期對流在赤道緯度帶以外的北半球熱帶區域比較活躍，熱帶對流隨季節轉變在五月北移的現象比 2012-2022 年明顯。

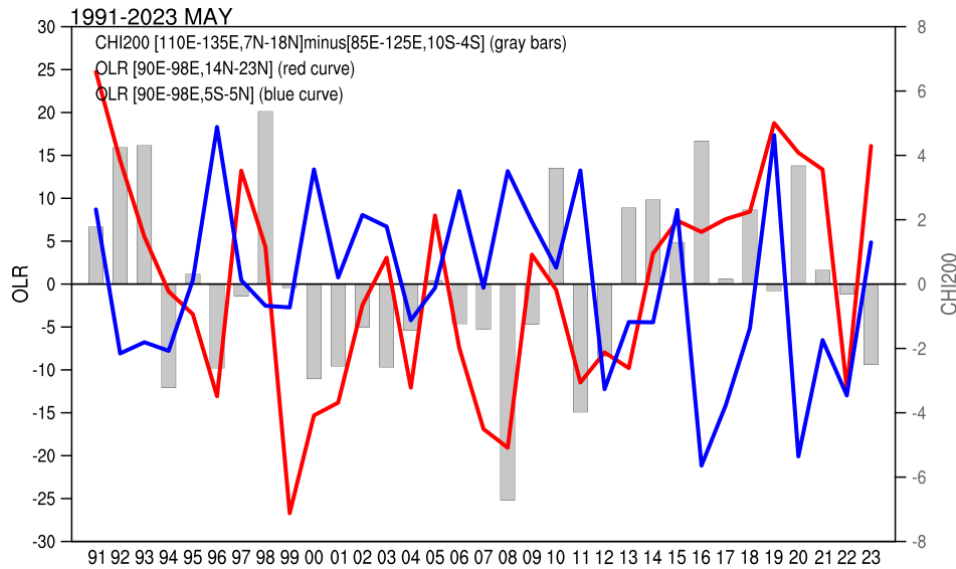


圖 16：1991-2023 年 5 月 200hPa 速度位和區域平均 OLR 的距平變化，灰色長條為北邊(110°E-135°E, 7°N-18°N)和南邊(85°E-125°E, 10°N-20°N)兩個區域 200hPa 速度位的差值，紅色曲線為東印度洋北邊(90°E-98°E, 14°N-23°N)OLR 的區域平均，藍色曲線為東印度洋南邊(90°E-98°E, 5°S-5°N)OLR 的區域平均，皆為相對於 1991-2020 年平均的距平值。

(三) 2023 年特例

如前所述，雖然 2023 是 1991 年以來 3-6 月菲律賓海 QBWO 最活躍的一年，但在南海上卻沒有熱帶氣旋生成，也沒有熱帶氣旋移入，因此需了解此特殊現象的大尺度環境場。

圖 17 顯示 2023 年 4 月在亞澳季風區海平面氣壓呈現大範圍負距平，負距平區

域隨月份在五、六月逐漸縮小，但在南海與菲律賓海上在 6 月仍然維持著氣旋環流，菲律賓海上也仍有海平面氣壓負距平。對照圖 18 的高低層輻散風場及雨量和 OLR 來看，可見這一年以菲律賓、印尼、澳洲東部為界的東西兩側有伴隨異常活躍的西太平洋深對流活動的東西向環流距平。圖 17a 在中南半島及中國東南山區附近有低壓距平，但在圖 18a,d 並沒有看到

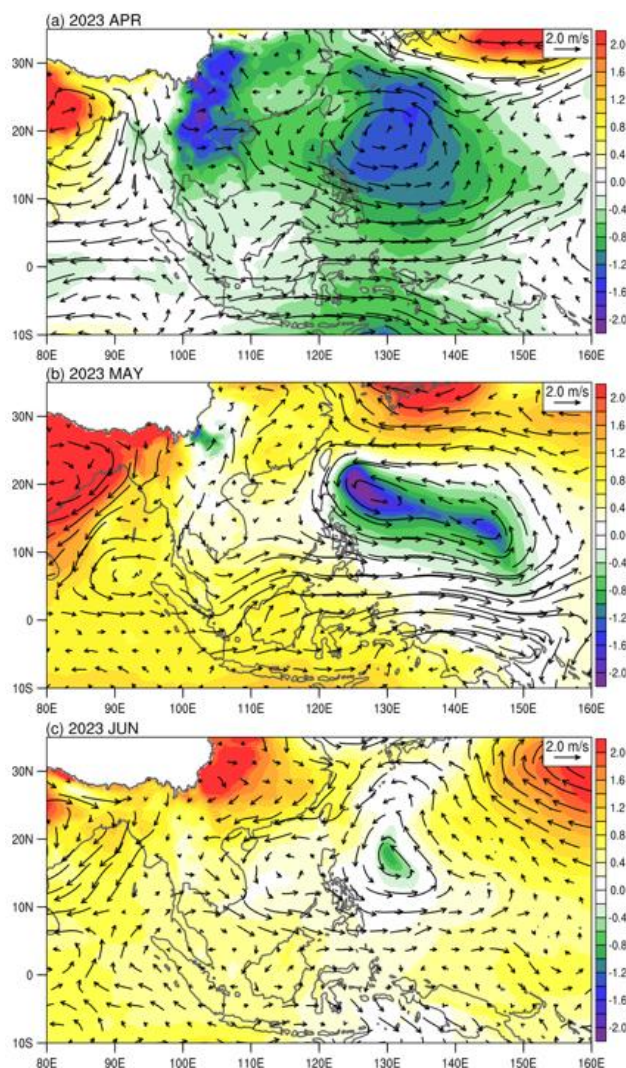


圖 17：2023 年(a)四月，(b)五月，(c)六月的海平面氣壓(色階，hPa)和 850hPa 風場(風標， $m s^{-1}$)距平，氣候場為 1991-2020 年平均值。

類似規模的對流活動，推測低壓距平可能是受到近地表氣溫偏高和中緯度大陸高壓偏弱的影響。圖 18b,e 看到菲律賓海與西太平洋在 5 月有非常清楚的低層輻合與高層輻散，以及異常多雨和大範圍的 OLR 負距平等現象，這些距平和 5 月菲律賓海低層低壓和活躍的 QBWO 對流活動一致。同時，也看到在中南半島和華南的東南亞陸地區域以及赤道以南的南海南部與印尼

婆羅洲的亞澳陸橋區域有大範圍偏乾距平，此 2023 年五月特徵是否受到 ENSO 從連續三年 La Niña 轉變為 El Niño 的 SST 和伴隨的環流及對流的影響並不是本文的研究主題，將擬另撰文討論。6 月(圖 18c,f) 西太平洋異常活躍的對流活動，雖然距平值比五月小，菲律賓海東方洋面(130°E-140°E)仍有清楚的降雨正距平和 OLR 負距平，與 QBWO 對流活躍訊號一致，但靠

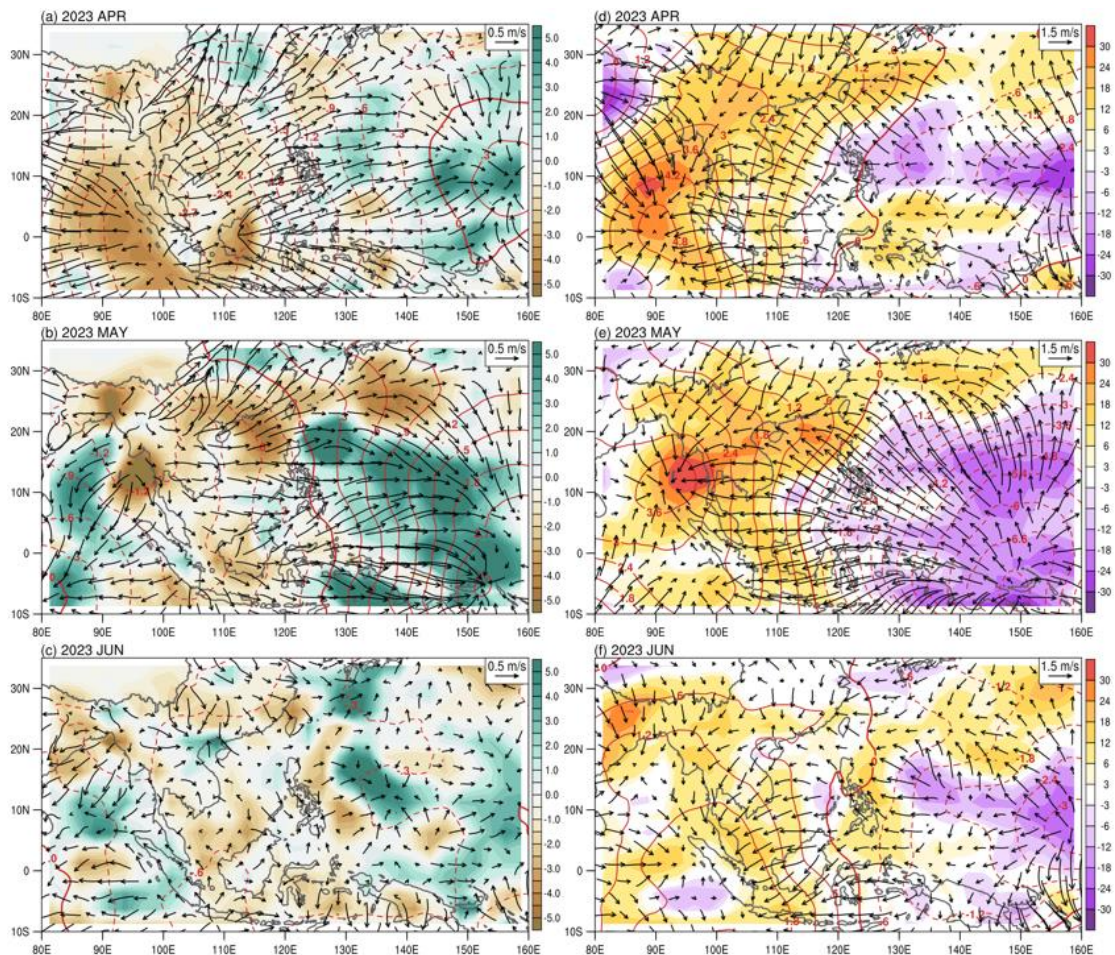


圖 18：2023 年(a)、(d)四月，(b)、(e) 五月，(c)、(f)六月的(a)-(c)雨量(色階， mm day^{-1})，850hPa 速度位(等值線， $\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^6$)和 850hPa 輻散風(風標， m s^{-1})，等值線間距為 $0.3 \text{ m}^2 \text{s}^{-1} 10^6$ ，(d)-(f) OLR (色階， W m^{-2})，200hPa 速度位(等值線， $\text{m}^2 \text{s}^{-1} 10^6$)和 200hPa 輻散風(風標， m s^{-1})距平，等值線間距為 $0.6 \text{ m}^2 \text{s}^{-1} 10^6$ ，氣候場為 1991-2020 年平均值。

近菲律賓陸地的洋面及陸地區域和南海都為下沉區，顯示對流活動受到西太平洋對流活動的壓抑而偏弱。南海上的低層氣旋式環流距平(圖 17b)僅伴隨非常微弱的低壓距平，同時西風距平也阻擋了西太型熱帶氣旋的移入，這可能是 2023 年雖有旺盛的菲律賓海 QBWO 但南海上卻沒有熱帶氣旋活動的原因。

六、結論

本研究指出在 4-6 月亞洲季風春夏轉換期間 QBWO 是菲律賓海上最主要的季內尺度擾動。根據 33 年資料挑選出 71 個震盪最顯著的個案進行 OLR 和風場的合成分析，發現菲律賓海 QBWO 與南海上的風場及對流有明顯的關係。在菲律賓海 QBWO 對流抑制相位時南海上的正渦度較強，利於熱帶氣旋生成，而在律賓海 QBWO 對流活躍相位時有利於在西北太平洋生成的熱帶氣旋移入菲律賓海及南海。由於菲律賓海 5 月 QBWO 日數呈現明顯的多年尺度低頻變化，因而本文也針對 QBWO 活躍程度和以 OLR 距平作為代表的菲律賓海 5 月平均對流活動的關係進行分析，結果顯示二者的年際變化顯著相關，當菲律賓海五月對流較活躍(OLR 負

距平)時 QBWO 也活躍，QBWO 日數偏多；菲律賓海五月平均對流受到抑制時則 QBWO 日數偏少。菲律賓海 5 月平均對流活躍程度和 4-6 月大尺度月平均氣候環境場的線性相關係數顯示菲律賓海五、六兩個月的對流活躍程度各有主導因子，與大尺度環境的關係也各異其趣。5 月對流受到前一個冬季延續到春季的東太平洋及印度洋海溫變異的影響明顯，6 月對流則與春季從東北太平洋往西南太平洋延伸的海溫高度相關，海溫偏高時對流和低壓環流偏強，有利於熱帶氣旋移入南海或在南海生成。

雖然 1996-2011 和 2021-2022 兩個時期 4 月至 6 月的海平面氣壓與大氣低層風場的月距平場與南海 5-6 月熱帶氣旋及菲律賓海 QBWO 變化一致，但目前並不清楚造成這兩個時期差異的原因，推測與熱帶對流北抬時間也就是夏季季風開始時間的早晚有關。前、後期的 5 月 OLR 距平在東印度洋和印尼爪哇區域以及孟加拉灣東北部與南海、菲律賓海兩個區域有符號相反的分佈，表示在 1996-2011 年期間熱帶對流北抬時間較早，夏季季風開始時間偏早(Lu et al. 2023)，而 2012-2022 年期間熱帶對流在赤道附近停留時間較長，夏季季

風開始時間晚於前期。Cho et al. (2022)提出後期熱帶對流系統停留在赤道附近的時間較長可能是受到印度洋和太平洋海平面溫度梯度的增強的影響(Srivastava et al. 2024)。

2023 年冬季(一、二月)是連續三年 La Nina 事件的末尾，春季在西太平洋仍有旺盛的對流活動，但靠近菲律賓陸地的邊緣洋面及南海上卻處於西太平洋和赤道東印度洋對流區以外的下沉區域，是否因受 2023 年五、六月已進入 El Niño 發展期的影響以致於南海上完全沒有熱帶氣旋活動，或還有其他熱帶太平洋海溫以外的影響，仍待後續研究。無論如何，本研究發現 1991 年以來 2023 年除外僅有 1991 年 5 和 6 月南海上沒有熱帶氣旋，但 1991 年 3-6 月菲律賓 QBWO 相當弱，和 2023 年十分不同，顯示春夏轉換期的南海與周圍區域的氣候有可能正在發生新的變化需要加強注意。

本文僅提出了分析發現的重要現象和觀察，未來還需針對菲律賓海 QBWO 和南海 5-6 月熱帶氣旋生成機制繼續研究。在亞澳季風的季節轉變方面，須進一步了解影響春夏轉換期菲律賓海深對流活動的季內、季節、年代際尺度氣候變異主要因

子，南海熱帶氣旋活動方面將分析熱帶氣旋生成大尺度環境的潛勢指數(Wang and Murakami 2020)與菲律賓海 QBWO 和 ENSO 及印度洋海溫變化(e.g. Chen et al. 2021)的關係。南海 5-6 月熱帶氣旋熱帶氣旋活動和菲律賓海次月尺度深對流活動的關係是研究亞澳季風區的區域氣候變異的新思路，研究結果將有助於預報模式與產品分析改善展期預測。

致謝

本研究在中央氣象局計畫『112 年度「氣象局 GEPSv2.0 系統的南海及周圍區域春雨展期預報分析」委外案』(案號：1122026B 號)及科技部計畫『亞澳與西太平洋季風區季節與次季節氣候變異分析與預報研究』(MOST 111-2111-M-002-007-，NSTC 112-2111-M-002-010-，MOST 111-2811-M-002-076，NSCT 112-2811-M-002-069)，NSTC 113-2111-M-002-008-資助下完成，特此感謝。

參考文獻

Chen, T. C. and J. M. Chen, 1993: The 10-20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time-

- variation of monsoon rainfall. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2465-2482, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1993\)121<2465:TDMOTI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1993)121<2465:TDMOTI>2.0.CO;2).
- Chen, T. C., and J. M. Chen, 1995: An observational study of the South China Sea monsoon during the 1979 summer: Onset and life cycle. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2295-2318, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<2295:AOSOTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<2295:AOSOTS>2.0.CO;2).
- Chen, G. H., and C. H. Sui, 2010: Characteristics and origin of quasi-biweekly oscillation over the western North Pacific during boreal summer. *Geophys. Res. Lett.*, 115, D14113, <https://doi.org/10.1029/2009JD013389>.
- Chen, Z., Z. Li, Y. Du, Z. Wen, R. Wu, and S. Xie, 2021: Trans-basin influence of southwest tropical Indian Ocean warming during early boreal summer. *J. Climate*, 34, 9679-9691, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0925.1>.
- Cho, Y. M., M. M. Lu, C. H. Sui., A. L. S. Solis, M. S. Chen, 2022: Decadal changes of the early summer Asian monsoon and the South China Sea tropical cyclones during 2001-2020. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 33, 5, <https://doi.org/10.1007/s44195-022-00005-3>.
- Duchon, C. E., 1979: Lanczos filtering in one and two dimensions. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 18, 1016-1022, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<1016:LFIOAT>2.0.CO;2).
- Hersbach, H., and Coauthors, 2020: The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 146, 1999-2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- Hsu, H. H., 2012: Intraseasonal variability of the atmosphere-ocean-climate system: East Asian monsoon. *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*, Praxis Publishing, 73-110.

- Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu, 2009: Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L17808, <https://doi.org/10.1029/2009GL040000>.
- Kikuchi, K., and B. Wang, 2009: Global perspective of the quasi-biweekly oscillation. *J. Climate*, 22, 1340-1359, <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2368.1>.
- Krishnamurti, T. N., and H. N. Bhalme, 1976: Oscillations of a monsoon system. Part I. Observational aspects. *J. Atmos. Sci.*, 33, 1937-1954, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1976\)033<1937:OOAMSP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1976)033<1937:OOAMSP>2.0.CO;2).
- Krishnamurti, T. N., and P. Ardanuy, 1980: The 10 to 20-day westward propagating mode and "breaks in the monsoons." *Tellus*, 32, 15-26, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v32i1.10476>.
- Li, R. C. Y., and W. Zhou, 2013: Modulation of western North Pacific tropical cyclone activity by the ISO. Part I: Genesis and intensity. *J. Climate*, 26, 2904-2918, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00210.1>.
- LinHo, L. H., X. Huang, and N. C. Lau, 2008: Winter-to-spring transition in East Asia: A planetary-scale perspective of the south China spring rain onset. *J. Climate*, 21, 3081-3096, <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1611.1>.
- LinHo, and B. Wang, 2002: The time-space structure of the Asian-Pacific monsoon: A fast annual cycle view. *J. Climate*, 15, 2001-2019, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2001:TTSSOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2001:TTSSOT>2.0.CO;2).
- Lu M.-M., Y. M. Cho, C. H. Sui, 2023: Decadal-scale changes in the seasonal transition patterns of the Asian summer monsoon and the South China Sea tropical cyclone frequency during May. *MAUSAM*, 74-2, 273-286,

- <https://doi.org/10.54302/mausam.v74i2.6000>.
- Lu, M. M., C. H. Sui, C. H. Wu, A. L. S. Solis, and M. D. Cheng, 2021: Tropical cyclone climatology and variability in Taiwan and Philippine Region during 1979-2018. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 32, 725-740, <https://doi.org/10.3319/TAO.2020.1.30.01>.
- Madden, R. A., and P. R. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2).
- Madden, R. A., and P. R. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1972\)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2).
- Matsumoto, J., 1997: Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 14, 231-245, <https://doi.org/10.1007/s00376-997-0022-0>.
- Murakami, M., 1976: Analysis of summer monsoon fluctuations over India. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54, 15-32, <https://doi.org/10.2151/jmsj1965.54.1.15>.
- Pan, W., J. Mao, and G. Wu, 2013: Characteristics and mechanism of the 10-20-day oscillation of spring rainfall over southern China. *J. Climate*, 26, 5072-5087, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00618.1>.
- Schreck, C. J., H. T. Lee, and K. Knapp, 2018: HIRS Outgoing Longwave Radiation-Daily Climate Data Record: Application toward Identifying Tropical Subseasonal Variability. *Remote Sens.*, 10, 1325, <https://doi.org/10.3390/rs10091325>.

- Srivastava, S., A. Chakraborty, R. Murtugudde, 2024: Decadal preference of seasonal ENSO transition through a southern hemisphere climate mode. *Environmental Research Letters*, 19(6), 064040, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad4bf7>.
- Stan, C., V. Krishnamurthy, 2019: Intra-seasonal and seasonal variability of the Northern Hemisphere extra-tropics. *Clim. Dy.*, 53, 4821-4839, <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04827-9>.
- Wang, B., F. Huang, Z. Wu, J. Yang, X. Fu, and K. Kikuchi, 2009: Multi-scale climate variability of the South China Sea monsoon: A review. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47(1-3), 15-37, <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.09.004>.
- Wang, B., and H. Murakami, 2020: Dynamic genesis potential index for diagnosing present-day and future global tropical cyclone genesis. *Environ. Re. Lett.*, 15, 114008, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbb01>.
- Wen, M., T. Li, R. H. Zhang, and Y. J. Qi, 2010: Structure and origin of the quasi-biweekly oscillation over the tropical Indian Ocean in boreal spring. *J. Atmos. Sci.*, 67, 1965–1982, <https://doi.org/10.1175/2009JAS3105.1>.
- Wen, M., and R. H. Zhang, 2007: Role of the quasi-biweekly oscillation in the onset of convection over the Indochina Peninsula. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 133, 433-444, <https://doi.org/10.1002/qj.38>.
- Wen, M., and R. Zhang, 2008: Quasi-biweekly oscillation of the convection around Sumatra and low-level tropical circulation in boreal spring. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 189-205, <https://doi.org/10.1175/2007MWR1991.1>.
- Zhang, C., Á. F. Adames, B. Khouider, B. Wang, and D. Yang, 2020: Four

- theories of the Madden-Julian oscillation. *Rev. Geophys.*, 58, e2019RG000685, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0589.1>.
- Zhu, T., J. Yang, J., B. Wang, and Q. Bao, 2023: Boreal summer extratropical intraseasonal waves over the Eurasian continent and real-time monitoring metrics. *J. Climate*, 36, 3971-3991, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0788.1>.
- Zhu, T., and J. Yang, J., 2021: Two types of mid-high-latitude low-frequency intraseasonal oscillations near the Ural Mountains during boreal summer. *J. Climate*, 34, 4279-4296, <https://doi.org/10.1029/2019RG000685>.

The Philippine Sea Atmospheric Quasi Bi-Weekly Oscillations during the Asian Monsoon Spring to Summer Transition Season and May-June South China Sea Tropical Cyclone Activity

Yin-Min Cho¹, Mong-Ming Lu^{1*}, Ching-Hsuan Wu²

¹Department of Atmospheric science, National Taiwan University, Taiwan R.O.C.

²Central Weather Administration, Taiwan R.O.C.

(manuscript received 30 April 2024; in final form 19 August 2024)

Abstract

The multiple-scale atmospheric convective activities over the regions of South China Sea and Philippine Sea are important to understanding the regional climate characteristic during the boreal spring-to-summer transition period of the broad Asian-Australian monsoon system. In this study, we analyzed the Outgoing Longwave Radiation (OLR) data during March-June from 1991-2023 and found that the strongest sub-seasonal variability is with the periods of 10-30 day (QBWO) over the Philippine Sea (125°E-135°E, 10°N-20°N). After applying the band-pass filter to OLR data, we selected 71 strong QBWO cases and performed composite analysis to reveal the circulation and precipitation patterns associated with the QBWO. The results show clear alternation of the enhanced and suppressed phases of the deep convection over the Philippine Sea and the associated anomalous southwesterly and northeasterly winds across the South China Sea (SCS) and the Philippine Sea. The southwesterly anomalies form a favorable condition for the tropical cyclone (TC) genesis to occur over the SCS, while the northeasterly anomalies create a favorable condition for the western North Pacific TCs to propagate westward into the SCS. In addition, we identified two contrast periods of 1996-2011 and 2012-2022 based on the QBWO days. During the former period, the TC activity over the SCS during May and June was quite active and so was the Philippine Sea QBWO. The majority of the TCs were born over the SCS during May, while the majority of the TCs were born over the western Pacific during June. In contrast to 1996-2011, the entire period of 2012-2022 did not see any TC activity during May over the SCS. The TC activity resumed in June, but the majority are the SCS-born TCs. The contrast is attributed to the strong phase reversal of the low-level zonal wind from the Bay of Bengal to the Philippine Sea. During the period of 1996-2011, the seasonal transition over Indian Ocean-western Pacific region is earlier than normal which induced strong westerly anomalies across the SCS during May, whereas during the period of 2012-2022 the low-level

zonal wind anomalies over the SCS turned to strong easterly anomalies associated with abnormally warm sea surface temperature (SST) over the Indian Ocean. The strong influence of Indian Ocean SST on the SCS climate during May is demonstrated using the 2023 case, which is a year with extremely warm eastern Indian Ocean SST near the equator, most active QBWO over the Philippine Sea but no TC activity over the SCS. In conclusion, we found that the tropical cyclone activity over the SCS and the QBWO activity over the Philippine Sea are useful indicators showing the characteristics of spring to summer seasonal transition over the Asian-Australian monsoon region.

Key word: QBWO, Quasi-biweekly Oscillation, Asian-Australian Monsoon, South China Sea Tropical Cyclone, Taiwan Mei-yu, Philippine Climate.

doi: 10.53106/025400022024125202001