

西北太平洋熱帶氣旋活動於初夏季風轉換期的年代際變化

卓盈旻 盧孟明

臺灣大學大氣科學系

摘要

西北太平洋(WNP)是熱帶氣旋(TC)活動最活躍的海洋盆地，對社會和經濟有非常顯著的影響。本研究利用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)提供的最佳颱風路徑資料分析初夏(5月)的TC活動，發現1981-2020年TC活動有顯著的年代際變化。TC個數在80年代偏少，90年代逐漸增多，2000年之後明顯偏多，至2010年以後又開始偏少，2001-2010年(前期)是TC活躍期，2011-2020年(後期)為非活躍期，活躍期TC生成個數是非活躍期的2倍，尤其是南海和菲律賓海地區有相當明顯的差異。

探討TC發生頻率變異與季風環流系統的關係，結果顯示TC活躍期的西太平洋副熱帶高壓偏弱，北印度洋低層西風偏強，西風距平向東擴展至海洋大陸，南海、菲律賓海區域季風槽增強，該區對流活動增多。南亞15°N附近的對流也明顯增強，表示ITCZ位置偏北，顯示出亞洲季風環流明顯增強的型態。TC非活躍期季風環流較活躍期偏弱，ITCZ雨帶的對流輻合上升區位於赤道到10°N的印度洋和海洋大陸上，下沉區位於南海和菲律賓北部，加強了太平洋副高的強度。南亞高壓強度也同時減弱，垂直風切偏弱區域發生南海和菲律賓海南部，使南海TC活動明顯減少，TC活動區域侷限於副高西南側的熱帶西太平洋上。後期季風環流的減弱，可能與印度洋北部和南海地區海溫的增暖有關。受到海洋溫度增暖的影響，減少了海陸間的熱對比差異，因而減弱了季風環流的強度。

關鍵字：熱帶氣旋、年代際變化、季風轉換期

一、前言

西北太平洋(WNP)是全球熱帶氣旋(Tropical cyclone, TC)的主要生成區域之一，由於熱帶西太平洋海溫全年都是最暖的區域，為Walker環流的上升區，此處有強對流活動和降雨，直接提供熱帶氣旋活動的熱力和動力條件(Gray 1968, Elsberry 1995, Chan 2005)，因此每年大約有30個熱帶氣旋在這裡生成，佔全球生成數目的三分之一左右，是熱帶氣旋活動最頻繁的區域(Elsberry 2004)。

近年來，熱帶氣旋活動的年代際變化越來越受到關注，許多研究發現西北太平洋熱帶氣旋個數、路徑和強度都有年代際變化特徵(Yumoto and Matsuura 2001, Matsuura et al. 2003, Liu and Chan 2008, Tu et al. 2009, Liu and Chan 2013, He et al. 2015)，尤其是1990

年代後期熱帶氣旋活動發生的年代際變化。但這些研究大多著重在颱風活動的旺旺季節(6-10月)，並未將初夏季風轉換期間的5月包含在內。

Tu et al.(2011)分析了1970-2009年WNP區域熱帶氣旋活動的變化，發現2000年之後5月的個數變化最明顯，強颱風的發生頻率明顯增多，後面10年的強颱風個數是前30年的5倍。他們進一步分析與熱帶氣旋發展相關的海洋和大氣環境的變化，顯示大尺度環境傾向有利於強颱風的發生，包括海面溫度增溫、海平面高度升高、上層海洋熱容量增多、垂直風切減弱、對流層水汽增多，其中水汽增多是強颱風發生頻率增加的重要因素，但是他們並未解釋對流層水汽增多的原因。Xu and Wang (2014)的研究也顯示1979-2011年期間5月的熱帶氣旋活動在2000年之後有個數增加和強度迅速增強的情形。熱帶氣旋生成區域的生成潛在指數(Genesis Potential Index, GPI)在1999-2011年增加

了 33%，熱帶氣旋強度增加與最大潛在強度(Maximum Potential Intensity, MPI)增多和垂直風切減弱有關。這些大氣和海洋環境的改變都與初夏期間夏季風系統的變化息息相關，前人研究發現夏季風存在著明顯年代際變化(Kajikawa et al. 2012, Kajikawa and Wang 2012)，Kajikawa et al. (2012)發現阿拉伯海、孟加拉灣、南海和西太平洋在 1979-2008 年 5 月降雨有顯著增加趨勢，1994-2008 年孟加拉灣、中南半島和 120-140°E 附近西太平洋的季風開始日期比起 1979-1993 年提前約 10-15 天，顯示 5 月的大氣環流發生了顯著變化。

本研究的重點是分析初夏 5 月的冬夏季風轉換期間 WNP 與夏季風環流變化的關係，探討熱帶氣旋活動在 2000-2011 年明顯增多後，在最近幾年(2011-2020)來是否仍持續活躍，發生頻率有沒有不同？初夏季風環流的演變在近年來的變化為何，對於 WNP 熱帶氣旋活動有什麼影響？

二、資料和方法

研究中所使用的熱帶氣旋資料為日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)提供的最佳颱風路徑資料，每 6 小時一筆颱風位置經緯度、風速和強度相關資料。大尺度環流分析場使用 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)於 2016 年發佈的第五版再分析資料(ERA5)(Copernicus Climate Change Service 2017)，水平空間解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，使用的層場與變數有 200hPa 和 850hPa 水平風場、500hPa 重力位高度場、海平面氣壓(SLP)場。降水格點資料是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(version 2.2)雨量資料(Huffman et al. 2009)。海表面溫度資料採用美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所提供之第二版高解析度最佳化內差海溫(Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2)日資料，解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。

三、初夏期間西北太平洋熱帶氣旋活動的變化

圖 1 為 5 月 WNP 熱帶氣旋(TC)生成位置和移動路徑的氣候場，顯示 TC 活動範圍在 5°N - 20°N 之間，有 2 個主要生成位置，一個位於 10°N 以南的熱帶西太平洋上，另一個緯度較偏北的菲律賓附近。由於 5 月副高開始向東退出南海，因此路徑主要是從菲律賓海到南海北部的東南-西北走向，影響菲律賓和台灣之間的區域。

圖 2 為 1981-2020 年 5 月 TC 發生個數的年際變化，可以看到 2008 年有最多 TC 生成(4 個)，TC 活動的活躍期出現在 2000-2009 年，此段時間前、後的 TC 個數都是相對偏少的。2001-2010 年平均有 1.6 個 TC 生成，2011-2020 年僅有 0.7 個，其中有 6 年完全沒有 TC 生成(2013、2014、2016、2017、2018、2019)，前期(2001-2010)個數是後期(2011-2020)的 2 倍，顯示 5 月 TC 發生頻率有年代際變化。圖 3 為後期(2011-2020 年)和前期(2001-2010 年)TC 生成位置和移動路徑的差異，藍色正方形為前期 TC 生成位置，紅色三角形為後期。後期 TC 生成個數明顯偏少，平均緯度位置比較偏南，主要活動集中在 10°N 以南。由於前期有將近一半的 TC 在南海和菲律賓附近形成，因此圖中顯示出南海和菲律賓海附近的 TC 活動明顯減少，後期主要路徑在 125°E - 145°E 之間的西太平洋，然後沿菲律賓東側往北移動。由前、後期的 10 年差異顯示，後期南海和西太平洋地區的 TC 活動明顯減少，尤其是在南海完全沒有 TC 生成。

為了瞭解近 10 年來 5 月 TC 活動的減弱，下面進一步分析影響 TC 生成環境的變數。圖 4 為前、後期 10 年海平面溫度、垂直風切場和 850hPa 渦度場的差異(後期減去前期)。後期孟加拉灣、南海和菲律賓海暖池區海溫較前期偏暖，主要增暖區域為在 110°E - 140°E 的 5°N - 20°N 之間。該區域海溫增暖，提供了有利於 TC 生成熱力條件。接著再看到垂直風切場的部分，可以看到後期垂直風切減弱的地區在孟加拉灣、南海和菲律賓附近，主要變化區域較海溫增暖區偏南，大約

在 5°N 附近。從低層渦度場來看，孟加拉灣、南海和菲律賓海以 10°N 為界線，北邊 10°N-20°N 主要為負渦度的區域，南邊則是正渦度。綜整來看，TC 生成的動力條件環境侷限在菲律賓東南側的熱帶太平洋上，使得後期 WNP 的 TC 活動變得不活躍，南海地區 TC 活動顯著減弱。

四、亞洲-太平洋地區季風環流和雨帶的變化

圖 5 為後期和前期的環流場差異，上圖為外溢長波輻射(色階)、200hPa 流函數場(等值線)和風場，下圖為海平面溫度(色階)、850hPa 流函數場(等值線)和風場。後期(2011-2020 年)阿拉伯海、孟加拉灣、南海和西太平洋地區的對流明顯減弱，而赤道印度洋和海洋大陸對流增強，顯示 ITCZ 雨帶位於赤道附近，較前期位置偏南。高層位於中南半島上的南亞高壓環流較前期偏弱，在菲律賓海附近形成下沉區。90°E 以西的西亞大陸高空沿 20°N 有西風增強，35°N 的西風減弱，顯示西風噴流位置較前期偏南。低層 10°N -20°N 之間的南亞和西太平洋整個區域為反氣旋距平環流所籠罩，沿 10°N 為東風距平增強，顯示整個季風系統明顯減弱，西太平洋副高明顯偏強，南海、菲律賓海季風槽減弱。10°N -20°N 反氣旋距平環流地區的海溫增暖，尤其是南海和菲律賓海地區。整體而言，後期 ITCZ 雨帶的對流輻合區位於赤道印度洋、海洋大陸附近，在南海和菲律賓北部附近形成經向環流下沉區，增強了副高的強度，加上印度洋季風減弱，南海北部和熱帶西太平洋附近低層東風距平增強，加上高層南亞高壓減弱，使垂直風切減弱的區域發生在南海和菲律賓南部附近。

圖 6 顯示 5 月降雨和 850hPa 風場減去 4 月的差異，說明季風降雨和環流在 4 月到 5 月之間的轉變，由上到下分別為 1981-2000 年、2001-2010 年(前期)、2011-2020 年(後期)三個不同時期的變化。比較前期和 1981-2000 年的差異，圖中顯示前期阿拉伯海降雨較 1981-2000 年偏多，且主要降雨位置北移至 10°N，孟加拉灣和南海降雨也都有偏多的情形，且 10°N 的西

風偏強，而赤道附近的海洋大陸降雨明顯減少。顯示出因前期季風環流偏強，ITCZ 雨帶較 1981-2000 年的位置偏北，代表著季風環流提早發生的現象，這與前人的發現是一致((Kajikawa et al. 2012)。比較後期和 1981-2000 年的差異，圖中顯示雖然阿拉伯海和孟加拉灣降雨較 1981-2000 年偏多，但雨帶位置並沒有太大差異，而南海和台灣附近的降雨區域較 1981-2000 年偏北，南海地區的降雨偏弱。

圖 7 為 1979-2020 年 5 月降雨經向平均的緯度變化，由上而下分別為阿拉伯海(55°E-75°E)、孟加拉灣(80°E-100°E)、南海(110°E-120°E)、西太平洋(130°E-150°E)4 個區域，橫軸為年份，經過 3 年滑動平均，縱軸為緯度。5 月中下旬，孟加拉灣地區是最早出現夏季風降雨，然後南海地區降雨才開始發生，到 6 月上旬則是印度夏季風開始，西太平洋 ITCZ 主要深對流區則是位於赤道上。阿拉伯海 5 月份雨帶位於赤道到 10°N，隨時間逐漸北移，圖中顯示 1999 年以前雨帶偏弱，在 2001-2010 年期間，赤道附近降雨明顯偏少，北邊降雨則偏多，代表雨帶北移至 10°N 附近，而 2011-2020 年雨帶南移到赤道附近，降雨有偏多的情形。5 月的孟加拉灣雨帶大約位於 10°N-20°N 附近，1999 年之前 10°N 以南的降雨偏多，而北邊偏少，2001-2010 年期間，10°N-20°N 之間的降雨偏多，而 2011 年以後，雨量變化不明顯。顯示 1999 年之前，孟加拉灣雨帶位置偏南，2001-2010 年期間季風降雨則偏強。5 月南海的雨帶也是位於 10°N-20°N 附近，在 1993 年之前的降雨傾向偏少，1995-2010 年降雨則有明顯偏多的現象，20°N 以北降雨則偏少，在 2011 年之後，降雨情形出現相反的變化，10°N-20°N 降雨明顯偏少，而北邊則是偏多的情形，降雨呈現出反相位的變化。西太平洋 5 月份雨帶持續於赤道附近，雨帶不會北移，在 2000 之前，降雨明顯偏乾，2001-2011 年明顯偏濕，然後在 2013 年之後又偏乾，顯示出西太平洋降雨變化和 TC 活動相當有關係。

五、結論

本研究分析初夏 5 月季風轉換期間 WNP 地區 TC

活動與季風環流的年代際變化，分析結果顯示 2001-2010 年(前期)5 月是 TC 活躍期，2011-2020 年(後期)為 TC 非活躍期，活躍期 TC 生成個數是非活躍期的 2 倍，在南海和菲律賓海 TC 活動有非常明顯的差異。由於後期季風環流較前期偏弱，ITCZ 兩帶的對流輻合區位於赤道到 10°N 的印度洋和海洋大陸上，南海和菲律賓北部為經向環流下沉區，增強太平洋副熱帶高壓，南海到菲律賓海季風槽減弱。南亞高壓強度也減弱，垂直風切偏弱區域發生南海和菲律賓海南部，因此有利於 TC 生成發展區域較前期偏南，同時受到太平洋副高偏強的影響，南海的 TC 活動明顯減少，活動區域位於副高西南側的熱帶西太平洋。

初夏 5 月的季風環流有明顯的年代際變化，由季風兩帶北移的分析結果來看，顯示前期在阿拉伯海和孟加拉灣地區 5 月雨帶偏強，北移時間有提前發生的現象，南海和西太平洋地區降雨明顯偏多，其中南海從 1994 年開始就開始偏多，表示前期亞太季風環流系統明顯偏強。雖然後期阿拉伯海降雨偏多，但降雨位置較前期偏南，孟加拉灣沒有明顯變化，南海和西太平洋地區雨帶的降雨明顯偏少，表示相較於前期的季風環流相對偏弱。後期季風環流的減弱，可能與印度洋北部和南海地區海溫的增暖有關。由於受到海洋溫度增暖的影響，減少了海陸間的熱對比差異，因而減弱了季風環流的強度。

參考文獻

Chan, J. C. L., 2005: Interannual and interdecadal variations of tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Meteor. Atmos. Phys.*, 89 (1), 143-152.

Elsberry, R. L., 1995: Global perspectives on tropical cyclone. WMO/TD-NO. 693, WMO, Geneva, 106-197.

Elsberry, R. L., 2004: Monsoon-related tropical cyclones in East Asia. C. P. Chang(ed), *East Asian Monsoon (World Scientific Series of East Asia, Vol 2)*, Singapore, 463-498.

Gray, W. M., 1968: Global view of the origin of tropical

disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 10, 669-700.

He, H., J. Yang, D. Gong, R. Mao, Y. Wang, M. Gao, 2015: Decadal changes in tropical cyclone activity over the western North Pacific in the late 1990s. *Climate Dyn.* 45, 3317-3329.

Kajikawa, Y. and B. Wang, 2012: Interdecadal Change of the South China Sea Summer Monsoon Onset. *J. Climate*, 25,3207-3218.

Kajikawa, Y., T. Yasunari, S. Yoshida, and H. Fujinami, 2012: Advanced Asian summer monsoon onset in recent decades. *Geophys. Res. Lett.*, 39: L03803.

Liu, K. S., and J. C. L. Chan, 2008: Interdecadal variability of western North Pacific tropical cyclone tracks. *J. Climate*, 21, 4464-4476.

Liu, K. S., and J. C. L. Chan, 2013: Inactive Period of Western North Pacific Tropical Cyclone Activity in 1998-2011. *J. Climate*, 26, 2614-2630.

Matsuura, T., Yumoto, M., and Iizuka, S., 2003: A mechanism of interdecadal variability of tropical cyclone activity over the western. North Pacific. *Climate Dyn.*, 21, 105-117.

Tu, J.-Y., C. Chou, and P.-S. Chu, 2009: The abrupt shift of typhoon activity in the vicinity of Taiwan and its association with western North Pacific-East Asian climate change. *J. Climate*, 22, 3617-3628.

Tu, J.-Y., C. Chou, P. Huang, R. Huang, 2011: An abrupt increase of intense typhoons over the western North Pacific in early summer. *Environ. Res. Lett.*, 6, 034013.

Xu S., and B. Wang, 2014: Enhanced western North Pacific tropical cyclone activity in May in recent years. *Climate Dyn.*, 42, 2555-2563.

Yumoto, M., and T. Matsuura, 2001: Interdecadal variability of tropical cyclone activity in the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 23-35

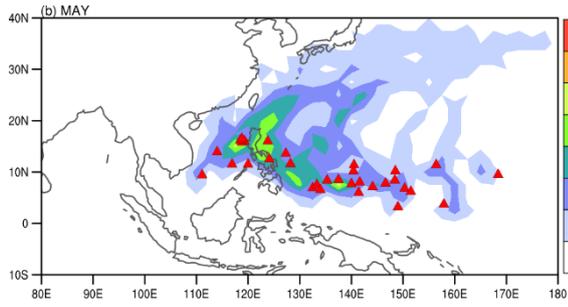


圖 1：1991-2020 年統計西北太平洋熱帶氣旋於 5 月的生成位置和路徑，紅色三角形代表生成位置。

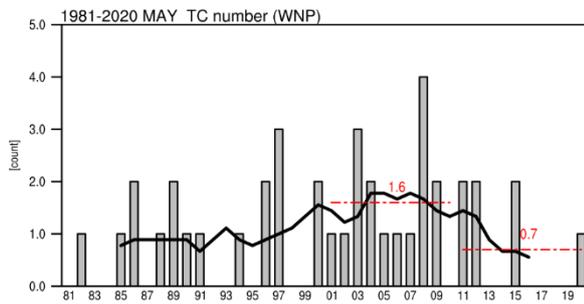


圖 2：1981-2020 年 5 月西北太平洋熱帶氣旋的生成個數，黑色曲線為 10 年的滑動平均。

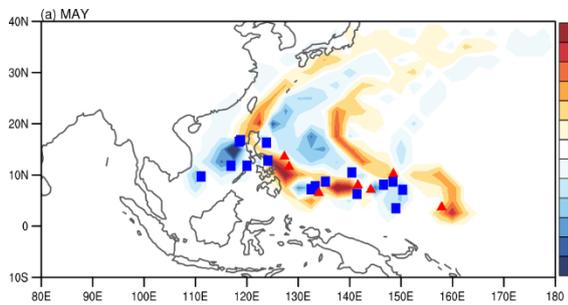


圖 3：TC 活躍期(2001-2010 年)和非活躍期(2011-2020 年)生成位置和移動路徑變化，為非活躍期減去活躍期的差異，藍色正方形為 TC 活躍期的生成位置，紅色三角形為非活躍期。

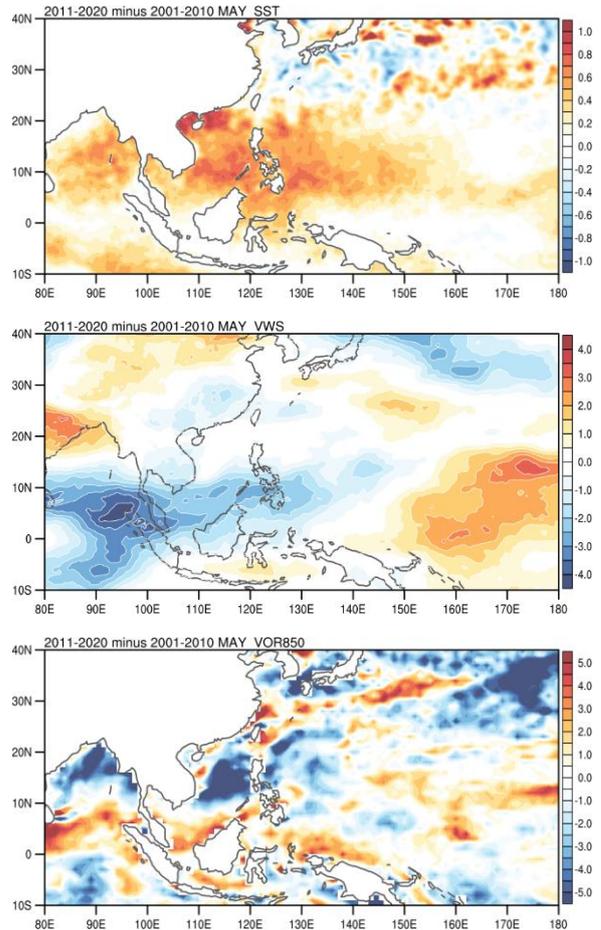


圖 4：TC 活躍期(2001-2010 年)和非活躍期(2011-2020 年)環境條件的差異，為非活躍期減去活躍期的結果，圖由上而下分別為海平面溫度、垂直風切場(200hPa-850hPa)和 850hPa 渦度場。

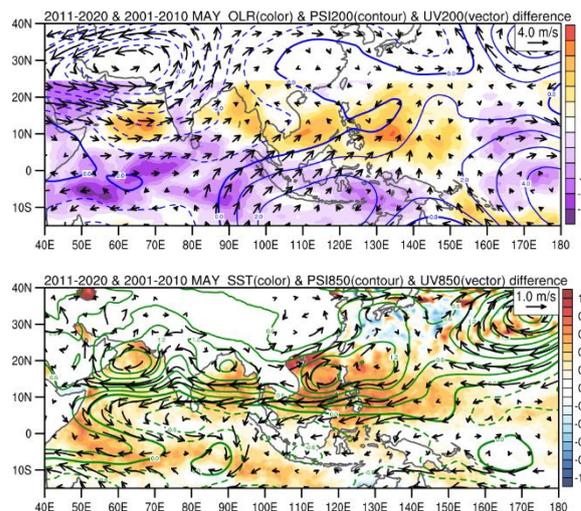


圖 5：TC 活躍期(2001-2010 年)和非活躍期(2011-2020 年)大尺度環流場差異，為非活躍期減去活躍期的結果，上圖色階為外溢長波輻射(OLR)，等值線為 200hPa 流函數場，風標為 200hPa 水平風場，下圖色階為海平面溫度，等值線為 850hPa 流函數場，風標為 850hPa 水平

風場。

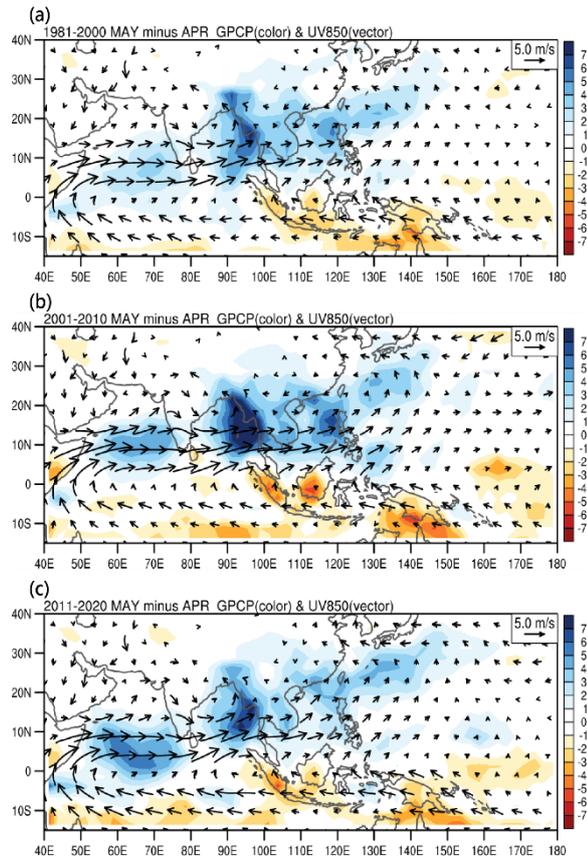


圖 6：5 月雨量、環流場和 4 月的差異，為 5 月減去 4 月的變化結果，色階為降雨場，風標為 850hPa 水平風場，由上到下分別為 1981-2000 年、2001-2010 年和 2011-2020 年三個時期平均的變化。

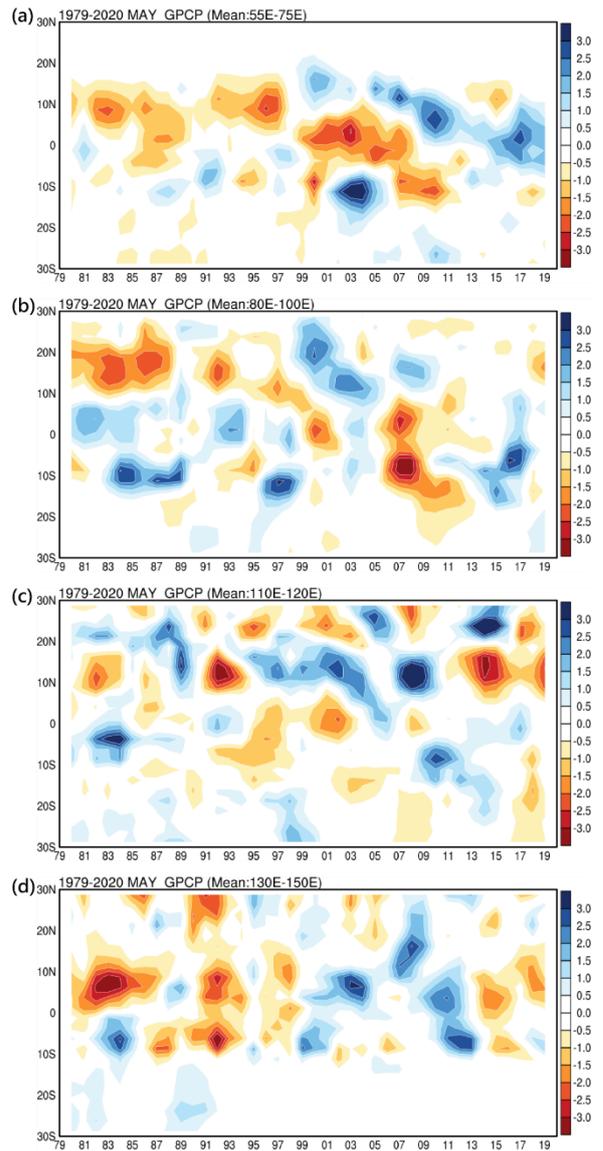


圖 7：1979-2020 年 5 月雨量經向平均後的緯度變化，由上而下分別為阿拉伯海(55°E-75°E)、孟加拉灣(80°E-100°E)、南海(110°E-120°E)、西太平洋(130°E-150°E)4 個區域的經向平均，橫軸為年份，資料經過 3 年滑動平均，縱軸為緯度。