

科技部補助專題研究計畫報告

西北太平洋颱風活動特性年際至年代際時間尺度變化研究

報告類別：成果報告

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：MOST 108-2111-M-018-001-

執行期間：108年08月01日至109年10月31日

執行單位：國立彰化師範大學地理學系暨研究所

計畫主持人：涂建翊

計畫參與人員：其他-兼任助理：劉怡亭

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 110 年 01 月 30 日

中文摘要：本研究主要針對西北太平洋地區初秋期間(九~十月)，通過120-130° E的颱風頻率年際與年代際變化進行診斷分析。從結果來看，初秋時期生成於西北太平洋地區的颱風移動路徑於1998年開始，通過北緯20度以北的頻率有增加趨勢，顯示其路徑有明顯往北偏移的現象。從大尺度環流場來看，1998年之後，相對應之北太平洋處於負PDO相位，低層的輻合中心位於西太平洋海洋大陸附近，台灣東側海面則伴隨有氣旋式環流距平，使得颱風生成位置於1998年後往北偏移，此外，受到太平洋副高往西擴張影響，高壓南側駛流，讓颱風容易往北或往西北方向移動，提高颱風通過20° N以北、120-130° E的機率。除了年代際變化特徵外，1998年之後的颱風活動特性也同時具有明顯的年際變化訊號，此受ENSO影響較大。整體來說，El Niño期間，颱風通過20° N以北、120-130° E的機率較低，但La Niña期間則較為複雜。於La Niña期間，若西太平洋輻合中心位於130° E以西，則通過上述區域的機率偏高，不過，若輻合中心位於135° E以東，則相對偏少。從區域降雨的角度來看，以台灣為例，當通過20° N以北、120-130° E區域之颱風頻率較高(低)時，台灣初秋的降雨量相對較多(少)，兩者之間有高度的正相關。

中文關鍵詞：颱風路徑，年代際變化，年際變化，大尺度環流

英文摘要：This study examines interdecadal and interannual variability of meridional tropical cyclone (TC) activity during September–October (SO) in the northwestern North Pacific (NWP) around Taiwan after 1998. From interdecadal period 1 (1980–1997) to period 2 (1998–2017), the Pacific Decadal Oscillation (PDO) changes its phase from positive to negative, characterizing cold sea surface temperature (SST) anomalies in the tropical eastern Pacific and warm SST anomalies in the tropical western Pacific. An induced low-level convergent center around the Maritime Continent evokes a cyclonic anomaly on its northwestern side overlying Taiwan that facilitates TC formation in the region north of 20°N. These TCs later move northward/northwestward in association with a westward extension of the Western Pacific Subtropical High, leading to interdecadal increase of northward TC movements in the 120°–130°E region. For interannual variability, TC passage frequency in the NWP tends to decrease during El Niño events, but to increase or decrease in La Niña-related events. In La Niña-related conditions, the low-level anomalous convergent center situating to the west of 130°E (east of 135°E) tends to increase (decrease) TC passage frequency in the NWP around Taiwan. This region is influenced by an anomalous anticyclone (cyclone) on its eastern side that induces anomalous southeasterly (northeasterly) steering flows to facilitate (hinder) TC movement from the tropical western Pacific into this region. Interannual and interdecadal variability of TC

passage frequency in the NWP is highly and positively connected with TC passage frequency and TC counts affecting Taiwan. More (less) TC passage frequency in the NWP thus tends to relate to increased (decreased) TC rainfall in Taiwan.

英文關鍵詞： typhoon track, interdecadal variation, interannual variation, large-scale circulation

(一)文獻回顧

颱風是每年都會影響西北太平洋-南海海域的劇烈天氣現象，其中又以夏季和秋季最為活躍，對該海域週邊國家的夏、秋季降雨有很大貢獻(Kim et al. 2005; Wu et al. 2005; Ren et al. 2006; 2009; Chen et al. 2010; Tu and Chou 2013)。同時，每年因豪雨和強風帶來的災害，對沿岸國家之經濟產生影響，同時威脅人民生命財產安全，也因此，掌握颱風動態與減少颱風災害，一直以來都是該海域國家的重要課題。關於颱風氣候研究，多數從不同時間尺度（季內、年際、年代際、長期趨勢），探討颱風特性（生成位置、活動頻率、強度、移動路徑）的長期變化（Chia and Ropelewski 2002；Wang and Chan 2002；Camargo and Sobel 2005；Chen et al 2006；Camargo et al. 2007a and 2007b；Elsner 2008；Emanuel 2005；Webster et al. 2005、Klotzbach 2006；Emanuel et al. 2008；Knutson et al. 2010）。

由過去研究結果不難發現，不同時間尺度的颱風特性變化與大尺度環境場間，存在著明顯關連。以年際時間尺度來看，聖嬰現象對於西北太平洋海域的颱風路徑變化扮演重要角色。於聖嬰現象發展年期間，西北太平洋地區的颱風生成位置明顯偏往西太平洋東南側海域（ 150°E 以東），其中又以秋季期間最為明顯，連帶也使得颱風路徑較容易往北移動，影響日本和東亞其他國家。反聖嬰年則相反，颱風生成位置往西偏移（ 150°E 以西），颱風也比較容易往西或西北方向移動，通過菲律賓，進入南海地區，顯示聖嬰/反聖嬰現象所造成的暖水位置變動，對於颱風生成位置、活動頻率與移動路徑均有所影響（Chan 2000; Saunders et al. 2000; Wang and Chan 2002; Chia and Ropelewski 2002; Elsner and Liu 2003; Wu et al. 2004; Hong et al. 2011; Andrew et al. 2012; Wang and Wang 2013）。

從年代際時間尺度來看，多數研究把重點放在颱風活動頻率和移動路徑變化上。有關颱風活動頻率，Yumoto and Matsuura (2001)分析 1951-1999 年颱風季(JASO)的西北太平洋颱風活動頻率發現，具有明顯的年代際振盪訊號。高頻率年颱風生成位置較低頻率年為偏東，此與 150°E 以東的海溫偏高有關，此外大氣環流也有利於颱風的發展。Nakazawa and Rajendran (2007) 探討接近和登陸日本的颱風頻率與大尺度環流間的關係發現，當中心位於 20°N , 140°E 附近的環流呈現異常的反氣旋式環流距平時，影響日本的颱風偏少，反之，呈現氣旋式環流距平時，則相對偏多。Tu et al. (2009) 以臺灣為出發點發現，侵襲臺灣的颱風個數除了有明顯的年際變化訊號外，2000 年亦有一個明顯轉折點，影響臺灣地區的颱風個數明顯增加，由原本每年平均 3.3 次（1970-1999 年之平均）躍升為每年 5.7 次（2000-2006 年平均），高出將近一倍，颱風路徑往北偏移是主要原因，而造成路徑偏移的原因，則可能與赤道西太平洋地區的海水溫度異常增溫，導致大氣環境場變化（副高減弱東退、季風槽加深、正渦度距平產生）有關。Liu and Chan (2013)討論颱風活動頻率的長期變化並指出，1960–1974 年和 1989–1997 年期間，西北太平洋颱風較為活躍，而 1975–1988 年和 1998–2011 年間，則相對不活躍，其中 PDO 對於颱風於西太平洋東南海域生成頻率的年代際變化有很大影響。Hsu et al. (2014) 特別針對秋末冬初期間(10–12 月)，西北太平洋海域颱風活動頻率發現，於 1995-2011 年間有減少趨勢。Zhao and Wang (2015)嘗試探討秋末冬初（10 至 12 月）颱風活動頻率和 PDO 的關係，指出 PDO 暖相位時，有較多的颱風形成於西北太平洋海域，不過同時期 ENSO 與颱風活動頻率間的關係較為薄弱。於 PDO 冷相位時，颱風生成頻率雖較少，

然 ENSO 與颱風活動頻率間的關係相對較好。上述文獻結果顯示了，不管是從夏季、秋季或者整個颱風季的颱風個數、生成位置與移動路徑來看，均具有明顯的年代季振盪特徵，而此變化與大尺度大氣環流和海洋條件有密切的關連性。

以颱風移動路徑來看，Ho et al.(2004)分析夏季 (June-September) 西北太平洋颱風移動路徑發現，1951-1979 與 1980-2001 兩年代間，颱風移動路徑明顯不同。後期通過東海和菲律賓海的颱風頻率降低，但是進入南海的頻率則略為增加，造成原因可能與副熱帶高壓往西延伸擴張有關。Wu et al. (2005) 則指出，1965-2003 年颱風季 (JJASO)，西北太平洋地區兩條主要颱風移動路徑，均有往西偏移的現象，副高西伸可能是主要原因，結果也將加劇颱風對於東亞地區的影響，對南海地區的影響則減少。Chen et al.(2009)也認為，太平洋副熱帶高壓的西伸或東退與東亞季風槽消長所造成的環流變化，會影響西太平洋地區颱風的生成與移動路徑變化。當西太平洋副熱帶高壓西伸，伴隨東風環流增強時，向西前進的颱風頻率將明顯增加，而當副高東退時則颱風北轉機率增加。Liu and Chan (2008) 透過 EOF 分析，將颱風路徑變化分成四個年代 (64-76、77-88、89-97、98-05)，並與大尺度環流變化相關連，同時也探討 PDO 對颱風路徑之影響。Hsu et al.(2017) 使用 Bayesian change-point 分析發現，西太平洋秋季 (SON) 颱風頻率，於 1998 年有一明顯的轉折點，前期颱風活動頻率偏高，近期則有減少趨勢。於颱風活躍期，颱風較容易往西移動，進入菲律賓和南海地區，或者提早北轉進入日本東部海域，相對的影響臺灣及中國大陸東南沿海地區的頻率相對降低。

上面的文獻回顧清楚呈現，不同季節均具有不同時間尺度的變化特徵，而相對應的大尺度大氣環流與海洋溫度變化，對於颱風的形成、活動頻率和移動路徑，均有相當大的影響。其中，大尺度大氣環流往往扮演驅使颱風移動的重要角色，因此對於颱風移動路徑變化有相當大的影響 (Chan and Gray 1982; Camargo et al. 2007a,2007b; Tu et al. 2009; Tu and Chen 2019)。以西北太平洋為例，太平洋副熱帶高壓是影響西太平洋海域颱風移動的重要關鍵因子 (Chu et al., 2012; Harr and Elsberry 1991; Ho et al., 2004; Wu et al., 2005; Tu et al., 2009; Zhao and Wu 2014; Tu and Chen 2019; Wang & Chen 2018)。熱帶海水表面溫度的變化，則可能影響副熱帶高壓的強弱，同時控制颱風移動路徑。Tu and Chen (2019)分析侵臺颱風個數的年際變化也發現，夏季和初秋西太平洋副高脊南北移動，會影響颱風移動路徑，連帶也影響侵臺颱風個數的多寡，而造成副高脊南北變動的原因，可能與海溫關聯，夏季符合 PJ pattern 環流反應的海溫分布特徵，秋季則以 Matsuno-Gill-type 環流反應的海溫分布為主，顯示海溫分布與大氣環流間具有明顯的關聯性，也影響了颱風的生成位置與移動路徑。本年度計畫以初秋，西北太平洋近東亞區域的颱風年際與年代際變化為主要研究問題，完整研究成果已公開發表於 International Journal of Climatology (<https://doi.org/10.1002/joc.6295>) 歡迎大家參閱。

(二)研究資料

本計畫採用 Joint Typhoon Warning Center (JTWC) 最佳化六小時颱風路徑資料，針對西北太平洋地區的颱風特性進行分析。為探討大氣環境條件對颱風特性之影響，使用 Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55; Kobayashi et al., 2015) 再分析資料進行分析，該資料水平空間解析度為 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 經緯網格，資料時間為 1979-2018 年，所選取變數包括：低層和高層風場、低層與中層重力位高度場和濕度場、低層渦度場等。海洋資料部分，使用 NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST; Reynolds et al. 2002)，資料水平空間解析度為 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 經緯網格，資料起始時間從 1982 年起。西太平洋區域降雨分析部分，使用全球降雨氣候計畫 (Global Precipitation Climatology Project, GPCP; Adler et al., 2003) 所提供 2.3 版月降雨資料，水平空間解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯網格，資料起始時間從 1979 年起。

(三) 研究結果與討論

為了說明臺灣及東亞區域附近的颱風活動頻率，於南北方向上的變化特徵，本研究利用 JTWC 所提供六小時的最佳化路徑資料，以經度 120° - 130° E 為指標區域，計算 1980-2017 年期間，夏季（六至八月）和秋季（九、十月），通過該經度範圍的颱風頻率，看不同緯度通過頻率隨時間的變化特徵。夏季 (JJA) (圖 1a) 颱風活動範圍主要介於 15° - 30° N 之間， 15° N 以南和 30° N 以北，颱風通過頻率相對少，從長期變化來看，南北方向的颱風活動頻率變化以年際變化為主，年代際變化相對不明顯。秋季 (SO) (圖 1b)，颱風活動頻率除了同樣具有年際變化訊號外，更具有明顯的年代際變化，1998 年以前，秋季颱風主要活躍於 20° N 以南，但 1998 至 2008 年之間卻明顯的往北移動至 20° N 以北，2008 年之後轉為同時活躍於 20° N 南北兩側的區域，不過從 20° N 南邊通過的頻率仍稍微高於 20° N 的北邊。整體來說，1998 年之後，颱風通過 20° N 以北區域的颱風頻率明顯高於 20° N 以南區域。進一步分析 1998 年之後的颱風活動頻率發現，颱風移動路徑有往北偏移的特徵，也同時伴隨年際變化訊號，2000 年、2001 年和 2008 年，通過 20° N 以北區域的颱風頻率偏多，不過 2002 年、2006 年、2011 年和 2015 年則相對偏少，顯示秋季具有明顯的多重時間尺度變化特徵。

接下來，將針對鄰近臺灣和東亞區域的北太平洋西北側，颱風活動頻率於經向移動的年際與年代際變化，做進一步分析。結果，對於我們理解造成不同時間尺度，颱風往北和往南移動的原因有所幫助。

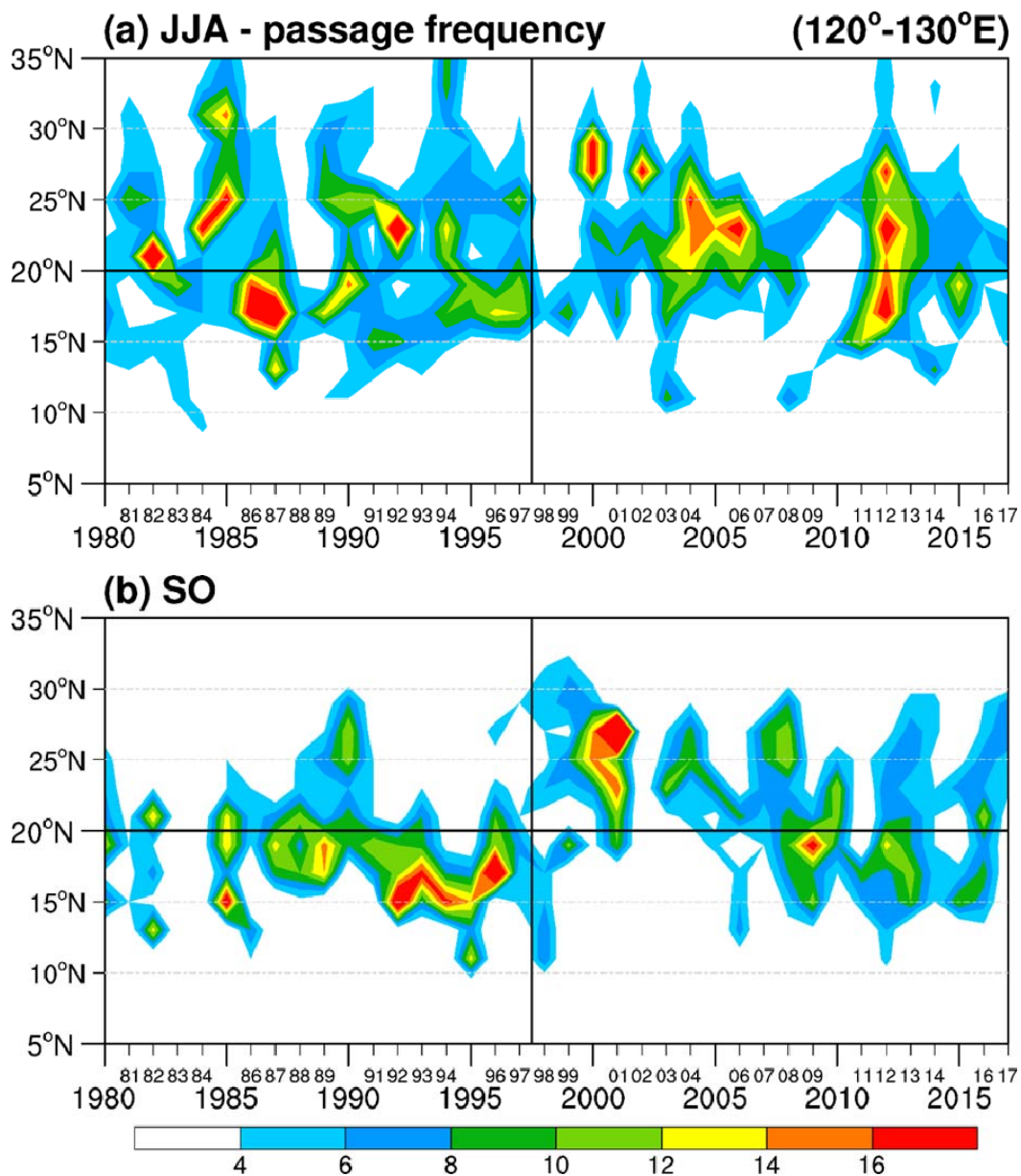


圖 1 北太平洋西北側 (120°-130°E) 颱風通過頻率經向分布時間序列圖。(a) 夏季 (六至八月), (b) 秋季 (九至十月)。統計時間為 1980 至 2017 年。

從圖 1b 可以發現，通過 120°-130°E 經度範圍的颱風，於秋季具有明顯的年代際振盪訊號。於 1998 年之前，颱風主要通過 20°N 以南區域，之後則明顯往北偏移，通過 20°N 以北的颱風頻率明顯增加。圖 2 分別繪出 1980-1997 年（第一年代，ID1）和 1998-2017 年（第二年代，ID2）兩時期於秋季期間的颱風移動路徑。從圖中清楚看出，ID1 時期（圖 2a），較多颱風於 135°E 以東北轉，進入日北東部外海，或從南邊往西移動進入南海地區，相對進入 120°-130°E, 20°-35°N 的北太平洋西北海域颱風頻率相對少。ID2 時期（圖 2b），颱風移動路徑明顯往西偏移，這也導致有較多的颱風得以進入北太平洋西北海域，進而影響臺灣及東亞地區的降雨。

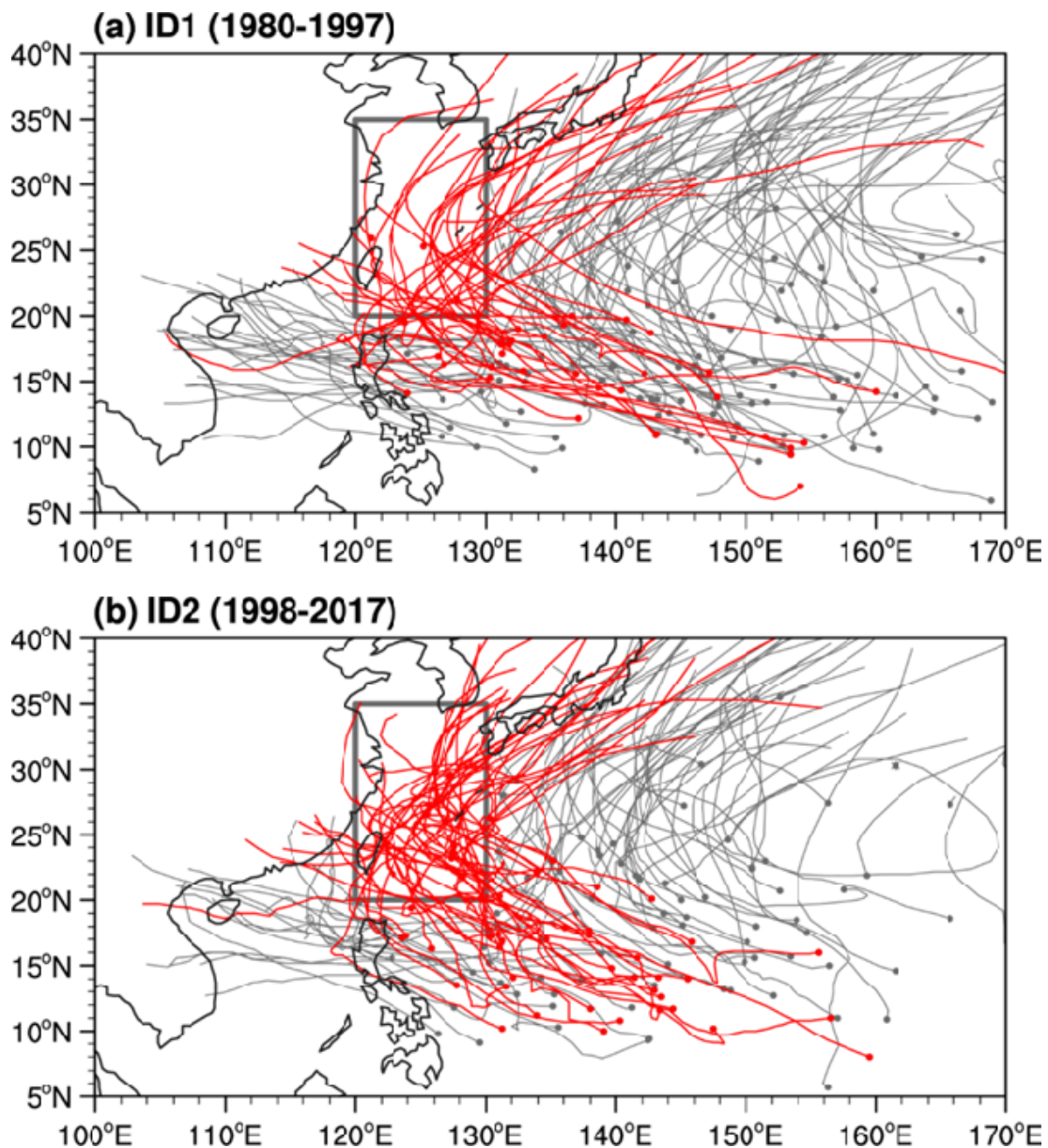


圖 2 秋季颱風移動路徑圖。(a) 第一年代(ID1; 1980-1997)、(b)第二年代 (ID2; 1998-2017)。灰色方框代表北太平洋西北側區域，選取經緯度範圍分別為 120°-130°E、20°-35°N。紅線為通過該方框之颱風路徑，灰色為沒有通過該方框之颱風路徑，打點處為各颱風之生成位置。

進一步將兩年代 120°-130°E 經度範圍的降雨量和颱風通過頻率平均可以看出 (圖 3)，颱風頻率明顯往北偏移，於 1998 年以前 (即 ID1)，颱風主要通過 20°N 以南區域，最大值約落於 19°N，但 1998 年以後，颱風活動頻率明顯往北，並以 20°N 以北區域為主，最大值則落在 25°N。另外，從圖中也可以看出，兩年代的颱風頻率多寡分界線大約落在 22°N 附近，前期 22°N 以南較多，後期則翻轉為 22°N 以北較多 (圖 3a)。對應降雨的經向分布變化可以看出 (圖 3b)，後期降雨量於 11°-35°N 均高於前期，特別是 20°-32°N 之間，增加特別明顯，此結果可與圖 3a 相呼應，降雨量變動特徵與颱風活動頻率變化十分接近，這也可以說明，颱風活動頻率變化對於西太平洋及東亞區域降雨的影響相當大。

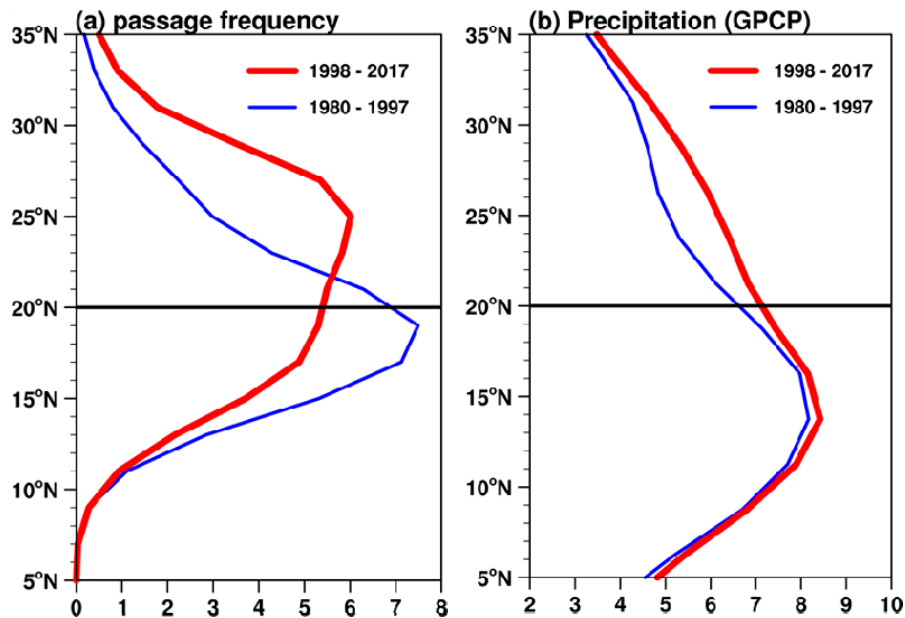


圖 3 第一年代 (1980-1997 年) 與第二年代 (1998-2017 年) 秋季 120°-130°E 經度範圍之 (a) 颱風通過頻率、(b) GPCP 降雨量經向分布圖。颱風頻率單位為 (次/年)、降雨量單位為 (mm/day)

接著，分析颱風通過頻率與駛流場 (圖 4) 及生成位置 (圖 5) 的年代特徵差異。圖 4 分析颱風通過頻率與 850-300hPa 駛流場，了解駛流對颱風移動路徑的影響。颱風活動頻率部分，將空間範圍劃分成 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 經緯網格大小，再計算每個網格點的颱風通過頻率，再將所得到的結果利用九點空間平均，做平滑處理。第一年代 (圖 4a) 的秋季，颱風主要以西行為主，多數颱風都於 20°N 以南移動，通過菲律賓北部、巴士海峽進入南海地區，另一條移動路徑則是於 130°E 以東往北偏轉，進入北太平洋。從頻率分布來看，進入東亞地區 (包含臺灣、中國、日本、韓國) 的颱風機率相對低，對該地區的影響也相對小。第二年代 (圖 4b) 的颱風活動頻率則有很大的不同，颱風於 $125^\circ\text{-}135^\circ\text{E}$ 附近明顯往西北方向移動，主要活動中心位於台灣東北方海域，即台灣至日本中間的東海海域，對東亞地區影響增大，特別是臺灣地區。從駛流場的空間分布可以看出，西太平洋副熱帶高壓環流有明顯的不同，於第一年代期間，副高脊主要位於 135°E , 25°N 附近，不過到了第二年代，緯度變化不大，但是經度明顯往西延伸至 130°E 附近，這樣的改變，間接導致第一年代於 $130^\circ\text{-}140^\circ\text{E}$ 附近北轉的颱風，往西偏移至 $120^\circ\text{-}130^\circ\text{E}$ 附近北轉，增加西太平洋西北海域的颱風活動頻率增加。從兩年代的差值來看 (圖 4c)，通過 $120^\circ\text{-}130^\circ\text{E}$ 、 $20^\circ\text{-}35^\circ\text{N}$ 範圍的颱風頻率於第二年代明顯增加，但於 130°E 以東區域北轉及 20°N 以南區域西行的颱風頻率相對減少，此與所伴隨 135°E 以東的反氣旋式環流及 135°E 以西的氣旋式環流距平中間，所驅動的異常東風與東南風駛流，讓颱風更有機會往西北方向移動有密切關聯。

颱風生成位置是否有所變化？圖 5 特別針對颱風生成位置做進一步分析，整體來說，第一年代的颱風生成個數高於第二年代，此與 Liu and Chan (2013) 所得到的結果一致。第一年代颱風主要生成於 $130^\circ\text{-}150^\circ\text{E}$ 、 $10^\circ\text{-}20^\circ\text{N}$ 範圍內，主要生成中心有兩個，一個位於 $130^\circ\text{-}135^\circ\text{E}$ 、 $15^\circ\text{-}20^\circ\text{N}$ ，另一個則位於 $145^\circ\text{-}150^\circ\text{E}$ 、 $10^\circ\text{-}15^\circ\text{N}$ 。第二年代颱風主要生成於 $125^\circ\text{-}145^\circ\text{E}$ 、 $10^\circ\text{-}25^\circ\text{N}$ 範圍內，主要生成中心則位於 $125^\circ\text{-}135^\circ\text{E}$ 、 $12^\circ\text{-}22^\circ\text{N}$ 區間，明顯往西偏移 5 個經度，也往北偏移 2-5 個緯度，颱風生成個數於 135°E 以東明顯減少。比較兩年代可以清楚看出，第一年代生成於 21°N 以南，但

第二年代則往北擴張至 25°N 以南，將兩年代颱風生成空間分布相減則發現，20°N 以北，126°-140°E 經度範圍增加特別明顯，20°N 以南，130°E 以東則呈現相反的結果，減少特別顯著。統整上述結果，並比對駛流場的特徵不難發現，往北移動的颱風頻率增加原因可能來自於兩個因素，其一為颱風生成位置的偏北，讓颱風更有機會往北移動，其二為副高環流西伸，導致高壓南緣所導引的東風與東南風駛流增強，讓颱風更有機會往西北方向朝臺灣及東亞地區移動。

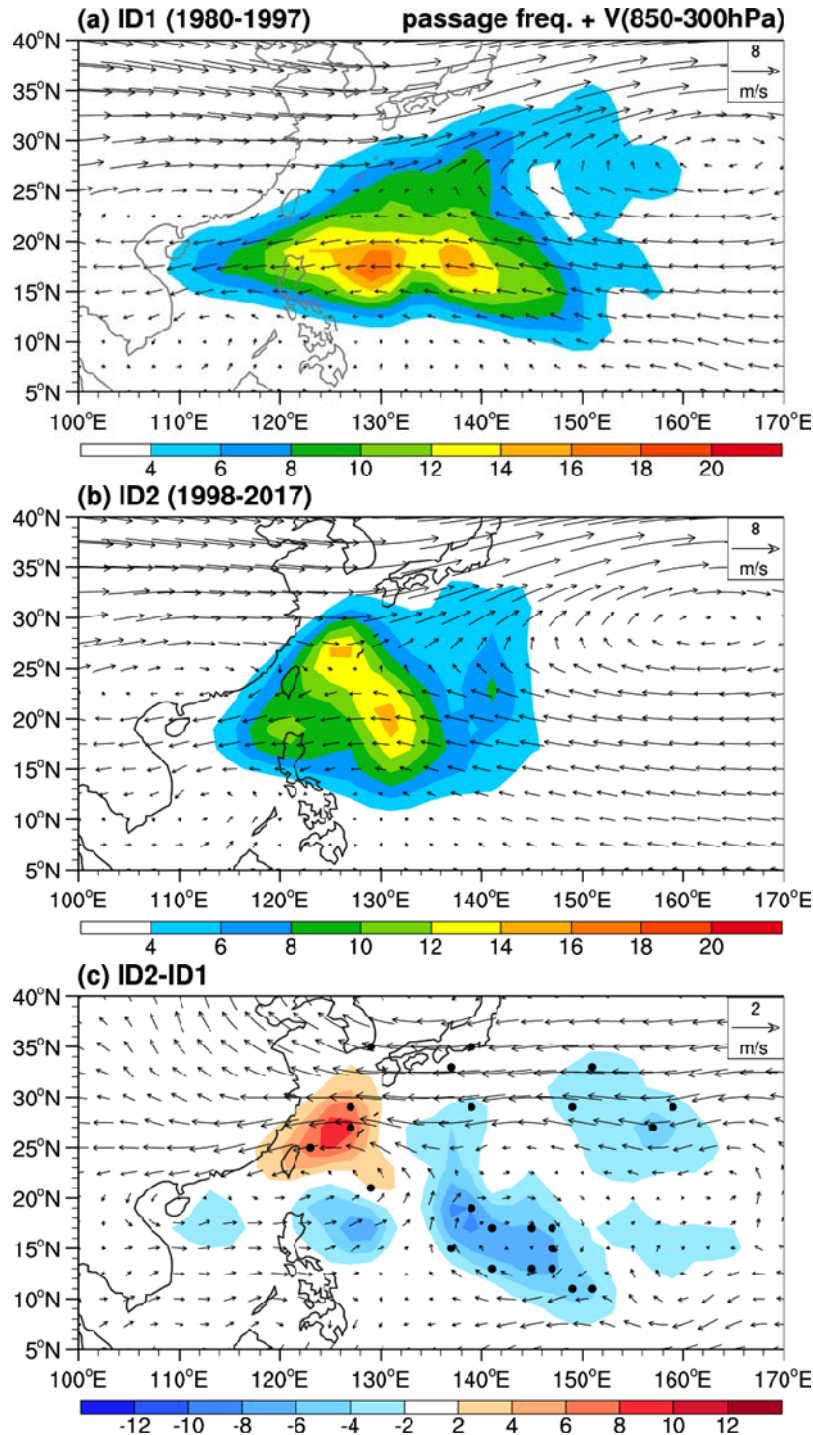


圖 4 秋季 (SO) 颱風通過頻率和 850hPa 至 300hPa 駛流場空間分布圖。(a)第一年代(ID1, 1980-1997)、(b)第二年代(ID2, 1998-2017)、(c)兩年代差值 (ID2-ID1)。(c)圖打點處為利用 Mann-Whitney 無母數檢定且通過 99%可信度之區域。

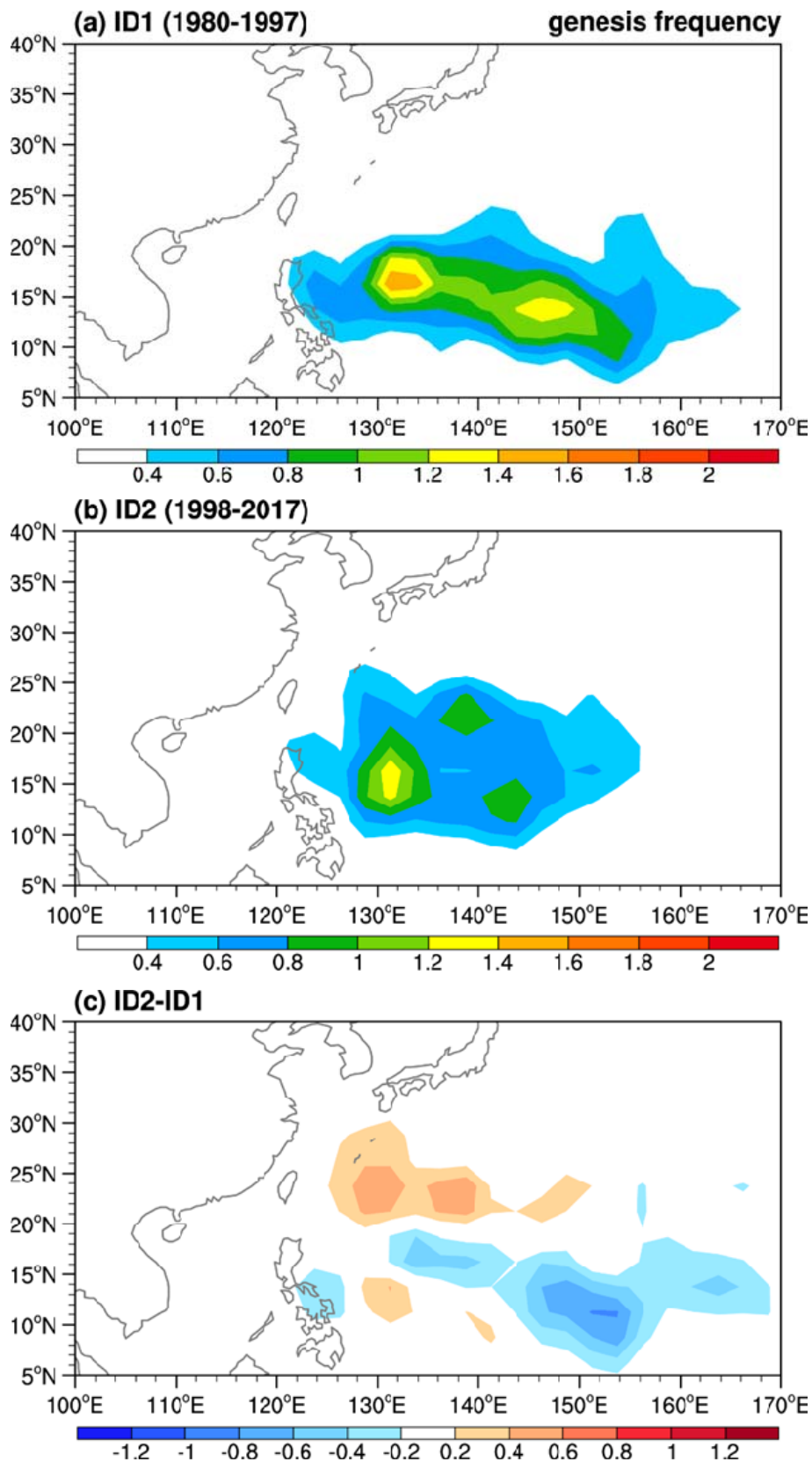


圖 5 秋季 (SO) 颱風生成位置空間分布圖。(a)第一年代(ID1, 1980-1997)、(b)第二年代(ID2, 1998-2017)、(c)兩年代差值 (ID2-ID1)。單位為每十年之個數。

從前人的研究可以發現，太平洋海域具有明顯的年代際振盪訊號，我們稱為太平洋年代際振盪 (Pacific Decadal Oscillation, 簡稱 PDO)，該振盪較近期的轉換時間，主要落在 1998 年至 2000 年附近，並由正相位轉為負相位 (Liu and Chan, 2013; Yang et al., 2017)，此與前面分析所得到的

颱風特性轉變時間點十分一致，兩者關係如何？值得進一步討論。

圖 6 特別分析海表面溫度 (SST) 和低層 (850-hPa) 大氣環流場的年代差異。海表面溫度部分 (圖 6a)，熱帶東太平洋地區為負值區，表示後期海表面溫度相對較低，西太平洋、北太平洋和印度洋海域則為正值區，表示後期海表面溫度於上述區域處於增溫狀態，溫度值相對偏高，其中太平洋北側，位於 30°-40°N 附近，有最強的增溫訊號，增溫幅度明顯比熱帶太平洋西側及印度洋增溫幅度大，此特徵為典型的負 PDO 訊號，結果也與先前研究所得知的 PDO 相位轉換發生於 1998-2000 年是一致的 (Liu and Chan, 2013; Yang et al., 2017)。在這樣的海表面溫度特徵下，大氣環流會產生怎樣相對應的反應？由於速度位可以代表空氣的輻散 (合)，因此藉由分析低層速度位，有助於我們掌握低層大氣的輻散與輻合中心位置，圖 6b 為低層速度位場差值空間分布，圖中呈現明顯的東西對稱結構，東太平洋以輻散為主，西太平洋則為輻合，中心位置則接近赤道地區，此特徵所反映為典型太平洋沃克環流 (Walker Circulation) 增強訊號 (Hsu et al. 2014)，海洋大陸地區的加熱作用，可能是造成該環流的重要原因。

從低層環流場特徵來看 (圖 6c)，西太平洋對流中心的東北側，以反氣旋式環流距平為主，西北側則以氣旋式環流距平為主，範圍從臺灣一路延伸至孟加拉灣，氣旋式切便往東延伸，並進入 130°-145°E, 20°-25°N 範圍，並提供該海域有利的條件，讓氣旋得以於該區域發展。另外，135°E 以東和 10°-20°N 範圍間，主要由反氣旋式環流所控制，此特徵不利該區域對流的發展，當然也不利颱風的生成，此可由圖 5 得到驗證。而西太平洋 135°E 東西兩側分別由反氣旋式環流和氣旋式環流所覆蓋，使得交界處以東風及東南風為主，有利於生成的颱風往北移動，結果也與圖 4 相符合。

颱風的生成除了熱力因素外，動力因素也同等重要，包含相對渦度、垂直速度和垂直風切等 (Fu et al., 2012; Hennon et al., 2013)。圖 7 特別針對 850-hPa 渦度、500-hPa 垂直速度和 200-hPa 與 850-hPa 的垂直風切做進一步分析。結果顯示，颱風生成活躍區 (120°-140°E、20°-30°N) 的相對渦度增加 (圖 7a)，上升運動增強 (圖 7b)，垂直風切則相對減弱 (圖 7c)，所有動力條件均有利於颱風的生成，這些訊號均與氣旋式環流由臺灣往東延伸有密切關係。相反的，颱風生成個數偏少區 (135°-170°E, 10°-20°N) 的動力條件均不利於颱風生成，包含相對渦度減小、上升運動減弱以及垂直風切增強等，此特徵與反氣旋式環流覆蓋該區域有所關連。

整體來說，PDO 於 1998 年左右由正相位轉為負相位，讓東太平洋海表面溫度下降，西太平洋海表面溫度上升，此海溫分布特徵，使西太平洋海洋大陸區附近的對流增強，造成西北側的氣旋式環流距平增強，並由臺灣附近往東延，提供有利颱風發展的條件，再透過西太平洋 135°E 東西兩側的氣旋與反氣旋式環流距平產生的東風與東南風駛流，帶動生成的颱風往北移動，進入東亞近海區域，影響臺灣、日本、韓國等國家。

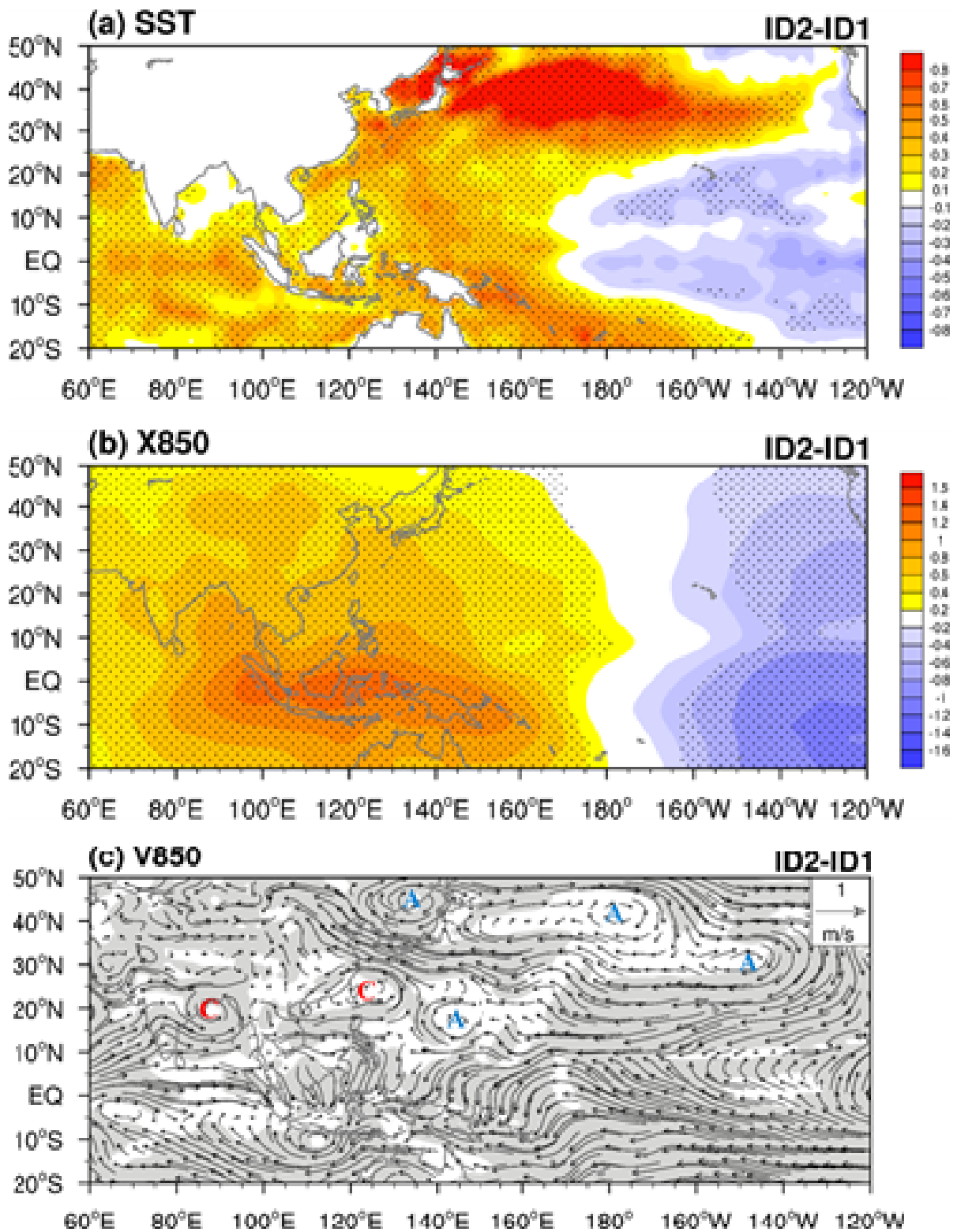


圖 6 第一年代與第二年代秋季海表面溫度與大氣環流差值空間分布 (a)海表面溫度, (b) 850-hPa 速度位(X850), 和 (c) 850-hPa 流線場。(a)圖等值線間隔為 0.2°C in, (b)為 $0.25 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.打點處(a、b圖)及陰影處(c圖)為通過 Student-t test 99%可信度之區域。“C”和“A”分別代表氣旋和反氣旋中心。

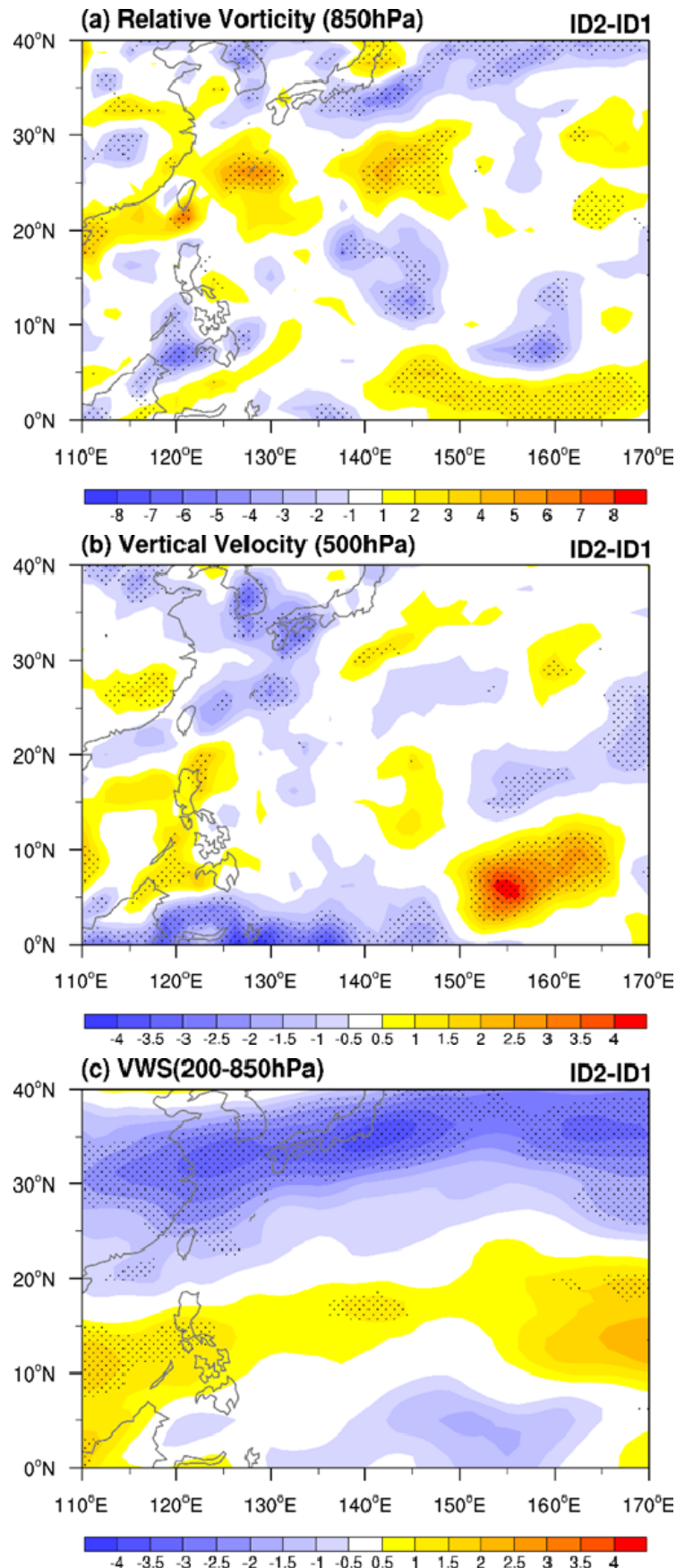


圖 7 第一年代與第二年代秋季差值空間分布 (a) 850-hPa 相對渦度、(b) 500-hPa 垂直速度 和 (c) 850-hPa 和 200-hPa 垂直風切。等值線間隔分別為 (a)圖 $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，(b) $0.5 \times 10^{-2} \text{ Pa s}^{-1}$ ，(c) 為 0.5 m s^{-1} .打點處為通過 Mann-Whitney 無母數檢定超過 99%可信度之區域。

參考文獻：

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P.-P., Janowiak, J., Nelkin, E. (2003) The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979– present). *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1147-1167. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2)
- Andrew J. D., Qi L., Jones D., Ramsay H., Fawcett R., & Kuleshov Y. (2012). Tropical Cyclone Climatology of the South Pacific Ocean and Its Relationship to El Niño–Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 25, 6108-6122
- Camargo S. J., & Sobel A. H. (2005). Western North Pacific Tropical Cyclone Intensity and ENSO. *Journal of Climate*, 18, 2996-3006
- Camargo S. J., Robertson A.W., Gaffney S.J., Smyth P., & Ghil M. (2007a). Cluster analysis of typhoon tracks. Part I: general properties. *Journal of Climate*, 20, 3635-3653.
- Camargo S. J., Robertson A.W., Gaffney S.J., Smyth P., & Ghil M. (2007b). Cluster Analysis of Typhoon Tracks. Part II: Large-Scale Circulation and ENSO. *Journal of Climate*, 20, 3654–3676.
- Chan J.C. & Gray W.M. (1982). Tropical Cyclone Movement and Surrounding Flow Relationships. *Monthly Weather Review*, 110 (10), 1354–1374.
- Chan J. C. (2000). Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Nino and La Nina events. *Journal of Climate*, 13, 2960-2972.
- Chen T.-C., Wang S.-Y., & Yen M.-C. (2006). Interannual Variation of the Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, 19 ,5709-5720.
- Chen T.-C., Wang S.-Y., Yen M.-C., & Clark A. J. (2009). Impact of the Intraseasonal Variability of the Western North Pacific Large-Scale Circulation on Tropical Cyclone Tracks. *Weather Forecasting*, 24, 646–666.
- Chen J.-M., Li T., & Shih C.-F. (2010). Tropical cyclone- and monsoon-induced rainfall variability in Taiwan. *Journal of Climate*, 23(15), 4107–4120.
- Chia H.-H. & Ropelewski C. F. (2002). The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the northwest Pacific. *Journal of Climate*, 15 , 2934-2944.
- Chu P.-S., Kim J.-H., & Chen Y.-R. (2012). Have steering flows in the western North Pacific and the South China Sea changed over the last 50 years? *Geophysical Research Letters*, 39(10), L10704. <http://doi.org/10.1029/2012GL051709>
- Elsner J. B., & Liu K. B. (2003). Examining the ENSO-typhoon hypothesis. *Climate Research*, 25(1),

- Elsner J. B., Kossin J. P. & Jagger T. H. (2008). The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455, 92-95
- Emanuel K. (2005). Increase destructiveness of tropical cyclones over the past 30years. *Nature*, 436, 686-688.
- Emanuel K., Sundararajan R., & Williams J. (2008). Hurricanes and global warming: Results from downscaling IPCC AR4 simulations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 347-367.
- Harr P. A. & Elsberry R. L. (1991). Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies. *Monthly Weather Review*, 119, 1448–1468.
- Ho C. H., Baik J. J., Kim J. H., Gong D. Y., & Sui C. H. (2004). Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *Journal of Climate*, 17, 1767–1776.
- Hong C.-C., Li Y.-H., Li T., & Lee M.-Y. (2011). Impacts of central Pacific and eastern Pacific El Niños on tropical cyclone tracks over the western North Pacific, *Geophysical Research Letters*, 38, L16712, doi:10.1029/2011GL048821.
- Hsu P.-C., Chu P.-S., Murakami H., & Zhao X. (2014). An Abrupt Decrease in the Late-Season Typhoon Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, 27, 4296–4312.
- Hsu P.-C., Lee T.-H., Tsou C.-H., Chu P.-S., Qian Y., Bi M. (2017). Role of scale interactions in the abrupt change of tropical cyclone in autumn over the Western North Pacific. *Climate Dynamics*, 49 (9-10), 3175-3192.
- Kim J.-H., Ho C.-H., & Sui C.-H. (2005). Circulation features associated with the record-breaking typhoon landfall on Japan in 2004. *Geophysical Research Letters*, 32, L1472, doi:10.1029/2005GL022494.
- Klotzbach P. J. (2006), Trends in global tropical cyclone activity over the last twenty years (1986-2005). *Geophysical Research Letters*, 33, L010805, oi:10.1029/2006GL025881.
- Knutson T.R., McBride J.L., Chan J. C. L., Emanuel K., Holland G., Landsea C., Held I., Kossin J.P., Srivastava A.K., & Sugi M. (2010). Tropical cyclones and climate change. *Nature Geoscience*, 3(3), 157-163.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H. and Takahashi, K. (2015) The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 93(1), 5-48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>

- Liu K.S., & Chan J.C.L. (2003). Climatological characteristics and seasonal forecasting of tropical cyclones making landfall along the South China coast. *Monthly Weather Review* . 131:1650–1662. <https://doi.org/10.1175//2554.1>
- Liu K. S. & Chan J. C. L. (2008). Interdecadal Variability of Western North Pacific Tropical Cyclone Tracks. *Journal of Climate*, 21, 4464–4476.
- Liu K. S. & Chan J. C. L. (2013). Inactive Period of Western North Pacific Tropical Cyclone Activity in 1998–2011. *Journal of Climate*, 26:2614–2630.
- Nakazawa, T., & Rajendran K. (2007). Relationship between tropospheric circulation over the western North Pacific and tropical cyclone approach/landfall on Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 85, 101–114.
- Ren F., Wu G., Dong W., Wang X., Wang Y., Ai W., & Li W. (2006). Changes in tropical cyclone precipitation over China. *Geophysical Research Letters*, 33, L20702,.
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C. and Wang, W. (2002) An improved in situ and satellite SST analysis for climate, *Journal of Climate*, 15(13), 1609-1625. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AIISAS>2.0.CO;2)
- Saunders M. A., Chandler R. E., Merchant C. J., & Roberts F. P. (2000). Atlantic hurricanes and NW Pacific typhoons: ENSO spatial impacts on occurrence and landfall. *Geophysical Research Letters*, 27, 1147–1150.
- Tu J.-Y., Chou C., & Chu P.-S. (2009). The abrupt shift of typhoon activity in the vicinity of Taiwan and its association with western North Pacific-East Asian climate change, *Journal of Climate*, 22, 3617-3628.
- Tu J.-Y. & Chou C. (2013). Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: typhoon vs. non-typhoon events. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014023>
- Tu J.-Y., & Chen J.-M. (2019). Large-scale Indices for Assessing Typhoon Activity around Taiwan. *International Journal of Climatology*. 39(2), 921-933. 10.1002/joc.5852.
- Wang B., & Chan J. C. L. (2002). How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, 15, 1643–1658.
- Wang C., & Wang X. (2013). Classifying El Niño Modoki I and II by Different Impacts on Rainfall in Southern China and Typhoon Tracks. *Journal of Climate*, 26, 1322–1338.
- Wang L., & Chen G.-H. (2018). Impact of the spring SST gradient between the tropical Indian Ocean and western Pacific on landfalling tropical cyclone frequency in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 35(6), 682–688.

- Webster P. J. et al. (2005), Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.
- Wu M. C., Chang W. L., & Leung W. M. (2004). Impacts of El Niño–Southern Oscillation events on tropical cyclone landfalling activity in the western North Pacific. *Journal of Climate*, 17, 1419–1428.
- Wu, L., Wang B. & Geng S. (2005). Growing typhoon influence on east Asia, *Geophysical Research Letters*, 32 ,
- Yumoto M. & Matsuura T. (2001). Interdecadal Variability of Tropical Cyclone Activity in the Western North Pacific. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79(1),23-35.
- Zhao H. K., & Wang C. Z. (2015). Interdecadal modulation on the relationship between ENSO and typhoon activity during the late season in the western North Pacific. *Climate Dynamics*, 29, 1–14.

108年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：涂建翊		計畫編號：108-2111-M-018-001-				
計畫名稱：西北太平洋颱風活動特性年際至年代際時間尺度變化研究						
成果項目		量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文	0	篇	涂建翊、陳昭銘、武亮、紀佳臻，2019：Interdecadal and interannual variability of meridional tropical cyclone activity during September-October in the northwestern North Pacific。Climate Hotspots In Action (CHIA) Forum。(September 5-6@Taipei·中研院；主辦單位：環變中心)	
		研討會論文	1			
		專書	0			本
		專書論文	0			章
		技術報告	0			篇
		其他	0			篇
國外	學術性論文	期刊論文	1	篇	Tu, Jien-Yi, Jau-Ming Chen*, Liang Wu, Chia-Zhen Chi (2020). Inter-decadal and inter-annual variability of meridional tropical cyclone activity during September - October in the northwestern North Pacific after 1998. International Journal of Climatology, 40(3), 1686-1702 . https://doi.org/10.1002/joc.6295	
		研討會論文	1		涂建翊、陳昭銘、武亮、紀佳臻，2019：初秋西北太平洋颱風頻率年際與年代際變化研究。2019海峽兩岸颱風與暴雨學術研討會。(August 25-27@中國大理；主辦單位：中國科學院大氣物理所季風系統研究中心)	
		專書	0		本	
		專書論文	0		章	
		技術報告	0		篇	
		其他	0		篇	
參與計畫人	本國籍	大專生	0	人次	紀佳臻(中國文化大學地學研究所博士生)	
		碩士生	0			
		博士生	1			

力		博士級研究人員	0		
		專任人員	1		劉怡葶 (臨時工)
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					