

## 東亞／西北太平洋氣候變遷

吳宜昭<sup>1</sup>、許晃雄<sup>2,3</sup>、Joo-Hong Kim<sup>2</sup>、劉鵬<sup>2</sup>、  
湯寶君<sup>2</sup>、黃威凱<sup>2,3</sup>、楊竣凱<sup>2,3</sup>、周佳<sup>3</sup>、隋中興<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國家災害防救科技中心

<sup>2</sup> 國立臺灣大學大氣科學系

<sup>3</sup> 中央研究院環境變遷中心

(中華民國一〇一年二月九日收稿；中華民國一〇一年五月四日定稿)

### 摘 要

臺灣位於亞洲季風區中，氣候及天氣主要受到東亞季風和西北太平洋季風的影響。本研究的目的是彙整東亞／西北太平洋季風區過去的年代／年代際變化及長期趨勢，以了解臺灣所在的背景區域氣候變遷的特性。

東亞季風變遷的重點如下：

- ◎近 50 年來(約 1950 年代之後)，東亞夏季季風呈現減弱趨勢。有些研究認為東亞夏季季風並未減弱，只是夏季的兩帶向南移了。有些研究認為亞洲季風的改變是伴隨著 1976/1977 年的氣候遷移而發生的，而且與聖嬰在這期間的變化有密切的關聯。
- ◎不論過去一百多年(1873~1995)來或是較近期的五十多年來(約 1950 年代之後)，東亞冬季季風均呈減弱趨勢。

在西北太平洋氣候變遷方面，本研究探討西北太平洋熱帶氣旋的生成、強度、路徑及伴隨降雨與登陸各方面之年代／年代際變化與長期趨勢。世界氣象組織(WMO)專責熱帶氣旋與全球氣候變遷的專家小組回顧過去文獻後(Knutson et al. 2010)，認為以現有觀測資料分析過去趨勢時，受限於觀測資料的品質與長度，無法確認目前觀測到的這些熱帶氣旋活動的長期變異超過自然氣候變異的幅度，亦即仍無法從過去的熱帶氣旋觀測具體辨識出顯著的人為影響。幾個重點如下：

- ◎過去六十年來(1951 年之後)，全年熱帶氣旋生成個數具有顯著年代際變異。自 1961 年之後，全年熱帶氣旋生成個數更隨年份增加而有顯著下降趨勢；但若僅考慮較近時期（1970 年代之後），則無顯著線性變化。
- ◎在強度的變化方面，2005 年的一些研究認為自 1970 年以後西北太平洋熱帶氣旋強度及強烈熱帶氣旋個數有增加趨勢，並認為其反應了全球暖化的影響；此看法遭到一些研究的質疑，原因包括資料的長期一致性堪慮，不足以就是否有顯著增加趨勢下結論，還有些研究認為該變化只是長週期多年代變異中的一部分，並非長期線性趨勢。針對以上爭議，目前的共識是現有的觀測不足以讓吾人判斷這些變化是否和人為全球暖化有關。
- ◎過去五、六十年（約 1950 年代之後）熱帶氣旋的路徑有兩次突然的遷移，均較太平洋年代振盪的兩次氣候遷移（約在 1976/1977 年及 1998 年左右）延遲約兩年；路徑變異是否有顯著的線性趨勢則還不清楚。
- ◎最近百年(1902~2005)登陸菲律賓及近六十年來(1945~2004)登陸東亞沿海各區域的熱帶氣旋個數無顯著線性趨勢。

東亞區域氣候變遷的重點如下：

- ◎東亞地區的陸地或海面上都有顯著的暖化趨勢。自 1948 年以來，東亞陸地上（如中國北方及東部）均呈現顯著的增溫；在海面上，副熱帶西太平洋全部呈現增暖趨勢。
- ◎東亞平均降雨的長期趨勢，具有區域性的差異，不過大多數地區的趨勢不顯著。

本章最後以日本、韓國、中國為例，進一步說明東亞過去降雨與溫度的平均狀態與極端事件等氣候變遷特徵。

關鍵字：東亞季風、西北太平洋季風、熱帶氣旋、氣候變遷

## 一、前言

全球氣候變遷是目前十分受關注的議題。隨著氣候變遷，全球環流的變化會影響區域的氣候，並影響局地的天氣系統以及降雨。臺灣位於東亞沿岸，氣候及天氣受到東亞季風和西北太平洋季風的影響。吾人欲了解全球暖化對臺灣的氣候及天氣的影響，必須要從了解亞洲季風的氣候變遷開始。

東亞季風為亞洲季風的子系統之一，涵蓋範圍包括北半球副熱帶約  $20^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$  之間的區域，即中國東部、韓國、日本、臺灣以及這些地區外圍的海域(Wang and LinHo 2002)，夏季盛行西南季風，主要環流結構包括亞洲大陸上的低壓環流及太平洋上的太平洋副熱帶高壓；冬季以東北季風為主，主要環流則由亞洲大陸上的西伯利亞高壓和海上的阿留申低壓組成(Chang 2004, Webster et al. 1998)。西北太平洋季風(Western North Pacific, WNP)是亞洲夏季季風

的另一子季風系統，主要環流結構為菲律賓海上的季風槽，夏季時該季風環流的強度或位置和當季的西太平洋熱帶氣旋活動有密切關係。

臺灣位於亞洲季風區，隨著季風的變化，影響臺灣的天氣系統也截然不同。季風區的氣候特徵是一年之中有明顯乾、濕季的區別，臺灣也不例外。臺灣的雨季以 5、6 月的梅雨季和其後的颱風季為主。梅雨是東亞地區特有的天氣，在春末、夏初季節交替的時候，冬季盛行的東北季風還未完全退去，而夏季盛行的西南季風開始入侵，兩種勢力交界處產生的梅雨鋒面容易滯留在華南至臺灣一帶，為全臺尤其是臺灣西南部帶來豐沛雨量。颱風自梅雨季開始就會零星出現，不過最活躍的時期是每年的 7、8、9 月，此時夏季盛行的西南風和太平洋副熱帶高壓南緣的東／東南風在西太平洋菲律賓海合流處形成西北太平洋季風槽，季風槽內有西南風挹注的豐富水氣和強渦度，常伴隨活躍的對流系統如颱風。到了秋季（10 月、11 月），亞洲大陸冷氣團開始一波一波南下，直到冬季，東北風完全取代西南風成為冬季的盛行風。和夏季比起來，此季的颱風生成雖然沒那麼頻繁，但一旦接近甚或登陸臺灣，颱風本體環流和背景東北季風的合流區形成的「共伴效應」，易在臺灣北部／東北部造成局部地區的豪大雨事件。

相較於豐沛多雨的梅雨季和颱風季，冬季時全臺平均降雨偏少，是臺灣（尤其是西南部）的乾季。冬季時臺灣盛行東北季風，由於中央山脈的地形屏障，西南部處於背風面，很少降雨；而北部和東北部為迎風面，較易降雨。然而和夏季西南風夾帶的暖、濕空氣相比起來，隨東北季風南下的空氣較偏乾、冷，即使在臺灣北部和東北部造成降雨，全臺灣冬季平均的降雨量還是較夏

季少許多。雖然冬季降雨對全年降雨的貢獻不高，但冬季的東北季風對氣溫的影響很明顯。臺灣冬季的溫度、風速與寒潮出現頻率均和東北季風有密切的關係。東北季風強時，氣溫明顯下降，且亦在局部地區造成強風事件，而隨著東北季風南下的寒潮更造成各地的極端低溫事件。

本文主旨在回顧及整理東亞／西北太平洋季風區過去的氣候變遷。以下敘述研究中使用的資料及部分研究方法後，先分夏、冬兩季說明東亞季風過去的氣候變遷。接下來，以常造成臺灣夏／秋季劇烈降雨的熱帶氣旋為例，說明西北太平洋季風的氣候變遷。最末，以中國、日本、韓國過去氣候的長期變化及趨勢，說明東亞的區域氣候變遷特性。

## 二、資料與分析方法

本研究以風場、高度場等變數來分析季風強度的長期趨勢時，使用的是 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) Reanalysis I 的資料，網格點大小為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，開始時間為 1948 年。陸地區域的降水趨勢分析使用 CRU (Climatic Research Unit) version 2.0 的月平均降水資料，網格點大小為  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，資料時間由 1901 至 2002 年。近地面氣溫及海溫趨勢分析，使用 1960~2009 年的 HadCRUT3 (Brohan et al. 2006) 資料。海平面氣壓趨勢分析則使用 1960~2008 年的 HadSLP2 資料 (Allan and Ansell 2006)。

分析西北太平洋熱帶氣旋使用的是美國聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 提供的熱帶氣旋最佳路徑 (best track) 資料，其每六小時記錄一次熱帶氣旋中心位置及最

大風速。描述颱風的強度時，以 JTWC 的定義，將熱帶氣旋依其強度分為熱帶低壓、熱帶風暴、颱風及超級颱風。本文中，為避免提到「颱風」一詞時產生到底是指所有的熱帶氣旋或者只是其中一部分的疑慮，在綜合描述共通的熱帶氣旋活動特性時，以「熱帶氣旋」通稱之。若係針對特定強度以上才特別以該類名稱稱呼。由於 1960 年之前的資料品質較不確定（完全無熱帶低壓的記錄），選取 1961 年至 2009 年資料來分析熱帶氣旋的長期變異。

### 三、東亞氣候變遷—季風

#### (一) 夏季季風

已有許多研究指出，在全球暖化背景下，季風環流也改變中。Guo et al. (2003) 發現 1951 年至 2000 年間東亞季風在減弱中。根據過去五十多年 (1958~2010) 來的觀測，不論是南亞地區高、低對流層垂直風切逐漸減小（圖 1）或東亞地區低對流層大氣盛行風在冬、夏季的對比逐漸減小（圖 2），都同樣反應出亞洲季風減弱的趨勢。IPCC 第四次評估報告 (IPCC 2007) 也指出，有些研究發現東亞 7、8 月對流層有變冷的趨勢，同時伴隨副熱帶高空噴流的南移和東亞季風的減弱，造成了中國北方乾旱及長江流域降雨增多、洪澇增加的趨勢 (Yu et al. 2004)。另外，有些研究指出亞洲季風的減弱和中國東部夏季雨帶的南移有很好的關係 (Zhai et al. 2004)。

不過，必須注意的是若將分析時間向前回溯，此季風減弱的趨勢可能不那麼顯著。IPCC 第四次評估報告就指出，以 Guo et al. (2003) 的定義將東亞季風的長期變化向前延伸至 1850 年代，季風減弱的趨勢就不顯著，這是因為 1850 年代至

1940 年代之間年代際尺度的變化較明顯。另外，即使是近幾十年季風減弱趨勢較顯著的時期，仍有些研究認為亞洲季風的改變是伴隨著 1976/1977 年的氣候遷移而發生的 (Wang 2001)，而且此改變與聖嬰在這期間的變化有密切的關聯 (Huang et al. 2003, Qian et al. 2003)。

2007 年以後對東亞夏季季風最新的研究進展主要分為兩大類：一是對趨勢的研究，例如發現不只是東亞季風，幾乎全球季風區，都呈現減弱的趨勢 (Zhou et al. 2008)；二是發現 1970 年以後東亞夏季季風和聖嬰的關係進一步加強了，這是明顯的年代際變化特徵 (Wang et al. 2008)。此外，有些研究認為東亞夏季季風並沒有減弱，而是向南移了 (Li et al. 2010)，尤其在中國長江流域的夏季降水呈現明顯增強的趨勢，是因為東亞夏季季風降雨中心的位置變化而導致的結論，其實與東亞季風減弱的趨勢並不矛盾。

#### (二) 冬季季風

東亞冬季季風在低對流層大氣的主要環流結構包括亞洲大陸上的西伯利亞高壓及北太平洋上的阿留申低壓，表現在近地層則有東亞沿岸的盛行東北風；高空則有位於西伯利亞高壓東半部上空的東亞主槽。當東亞季風較強，西伯利亞高壓也較強，氣溫較低，東亞高空主槽也加深與變強 (Shi 1996, Gong and Wang 1999, Kang et al. 2006, Jhun and Lee 2004, Cui and Sun 1999, Li 1988, Qiu and Wang 1984)。

過去百年 (1906~2005) 來，隨著全球均溫的上升，東亞冬季季風也在改變中。不論是針對過去一百多年來 (1873~1995) (Gong and Wang 1999) 或是較近期的五、六十年的研究 (chen et al. 2000, Shi 1996, Kang et al 2006, Cui and Sun 1999)，均顯

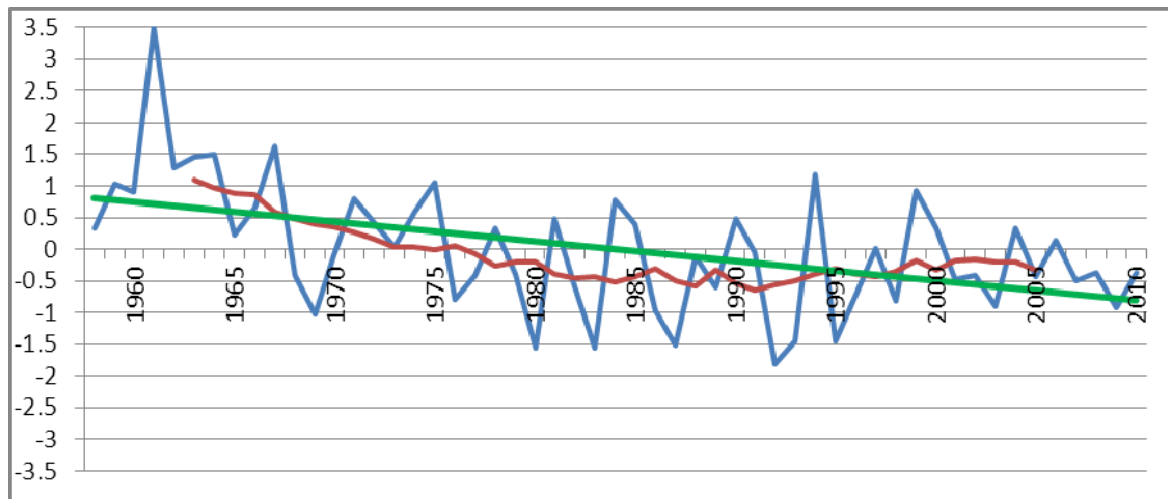


圖 1 1958 年至 2010 年 Webster and Yang (1992) 定義之夏季季風指數變化，呈現之時間序列為已經相對於標準差進行標準化後的指數數值。指數定義為 10°N~40°N、110°E~140°E 區域平均之 850hPa 緯向風減去 200hPa 緯向風。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算。藍線為各年之值，紅線為 11 年移動平均，綠線為長期線性趨勢。

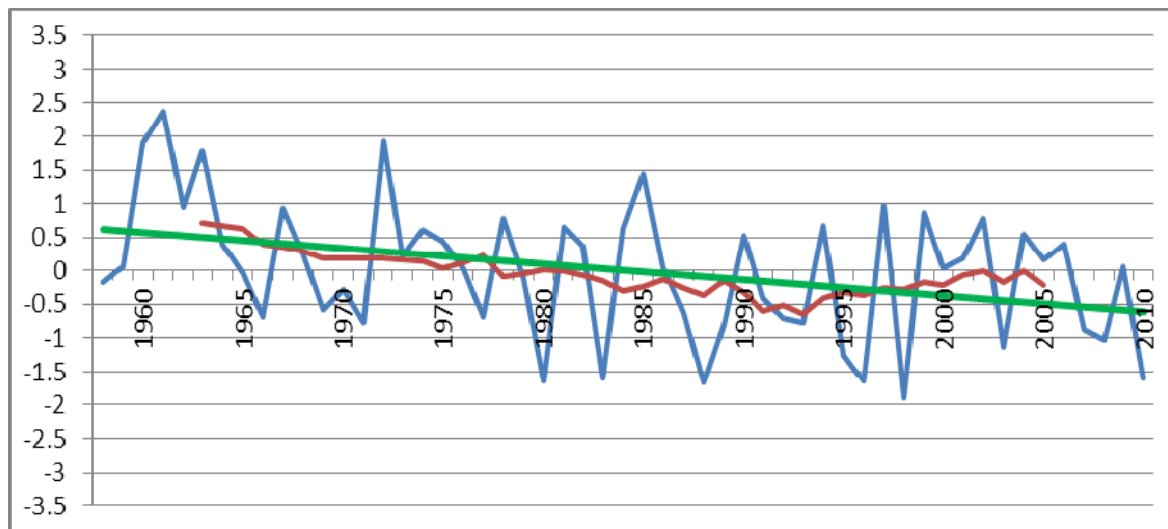


圖 2 1958 年至 2010 年 Li and Zeng (2002) 定義之夏季季風指數變化，呈現之時間序列為已經相對於標準差進行標準化後的指數數值。本圖以 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996) 資料計算，範圍為 10°N~40°N、110°E~140°E。藍線為各年之值，紅線為 11 年移動平均，綠線為長期線性趨勢。

示東亞冬季季風在減弱中。過去 50 多年來(1958 ~ 2009)東亞主槽地區 500hPa 高度場呈現顯著的上升趨勢(圖 3(a))，亦即東亞主槽變淺、強度持續下降，冬季季風逐漸減弱中。而西伯利亞高壓強度除顯現明顯的年代際變化，亦伴隨著長期下降趨勢(圖 3(b))。這些分析和已有研究的結論一致(Jhun and Lee 2004, Cui and Sun 1999, Li 1988, Qiu and Wang 1984)，即東亞冬季季風正減弱中。

已有研究指出西伯利亞高壓減弱時，東亞冬季的溫度會上升(Shi 1996, Gong and Wang 1999, Kang et al. 2006)。如圖 4(a)所示，1960 年至 2009 年間的冬季，亞洲大陸近地面氣溫幾乎全呈線性上升趨勢，尤其 40°N 以北升溫迅速，包括日本、韓國、臺灣等在內的東亞增溫也很明顯，達  $0.016^{\circ}\text{Cyr}^{-1}$  以上；海面上除了北太平洋中緯度及中太平洋約 10°N ~ 20°N 間海溫呈微弱下降趨勢，北太平洋其餘地區及北印度洋也都呈增暖趨勢。同一時期的海平面氣壓變化，如圖 4(b)所示，在 45°N 以北，海平面氣壓普遍呈下降趨勢。由於西伯利亞高壓的主要區域為 40°N ~ 70°N、70°E ~ 120°E，高緯度地區海平面氣壓普遍下降的趨勢和西伯利亞高壓減弱中的現象是一致的。

#### 四、西北太平洋氣候變遷－熱帶氣旋

熱帶氣旋(Tropical Cyclone, TC)的活動同時受到大氣熱力和動力條件規範。隨著全球暖化，海平面溫度上升可能增加低層大氣的水氣和濕靜能，這些熱力條件的改變有利於熱帶氣旋的生成和發展(Gray 1979)。但在全球暖化背景下，大氣環流改變時動力因素的改變(如季風系統中環流的變化及伴隨的垂直風切、駛流場等改變)也會影響熱帶氣旋的生成、發展及路徑，因此熱帶氣旋活動的長期變化受到許多因素控制。

西北太平洋季風的主體環流是季風槽，是孕育熱帶氣旋的溫床。相較於前述近五十多年來東亞夏季和冬季季風呈現減弱趨勢，以 Wang et al. (2001)定義來量度西北太平洋季風強度並分析其長期變異，發現近五十年來西北太平洋季風強度並無明顯趨勢，但有明顯年際變化(圖省略)。西北太平洋熱帶氣旋活動亦有明顯年際變化，和聖嬰(Chan 1985, 2000, Lander 1994, Chen et al. 1998, Wang and Chan 2002)、平流層準雙年振盪(Chan 1995)或更長週期的年代際變化(Chan and Shi 1996, Ho et al. 2004)等都有密切相關；而這幾個氣候因子之間又互相影響，如 1970 年代末期的太平洋年代振盪的相位轉變，不僅改變了太平洋的海氣環流(Nitta and Yamada 1989, Trenberth 1990, Graham 1994, Trenberth and Hurrell 1994)，也引起聖嬰－南方振盪的年代際變化(如 Wang 1995)。鑒於聖嬰對西北太平洋熱帶氣旋活動的影響顯著，Chan and Liu (2004)特別強調在推估未來熱帶氣旋強度的變化時，必須將聖嬰－南方振盪如何隨全球暖化變化的因素一同考慮進去。

以下分別就生成、強度、路徑及伴隨降雨與登陸各方面，討論西北太平洋熱帶氣旋的年代／年代際變化與長期趨勢。

##### (一) 生成

在全球暖化背景下，熱帶氣旋的氣候特性仍受到各種不同週期的氣候變異影響。從 1990 年代中期開始，週期比聖嬰時間尺度(2~7 年)長的年代／年代際氣候變異便逐漸成為西北太平洋海域熱帶氣旋氣候變異的重要議題(Lander 1994, Chan and Shi 1996)。由過去 49 年來(1961~2009)西北太平洋每年熱帶氣旋生成個數的變化(圖 5)，清楚可見西北太平洋全體熱帶氣旋生成個數

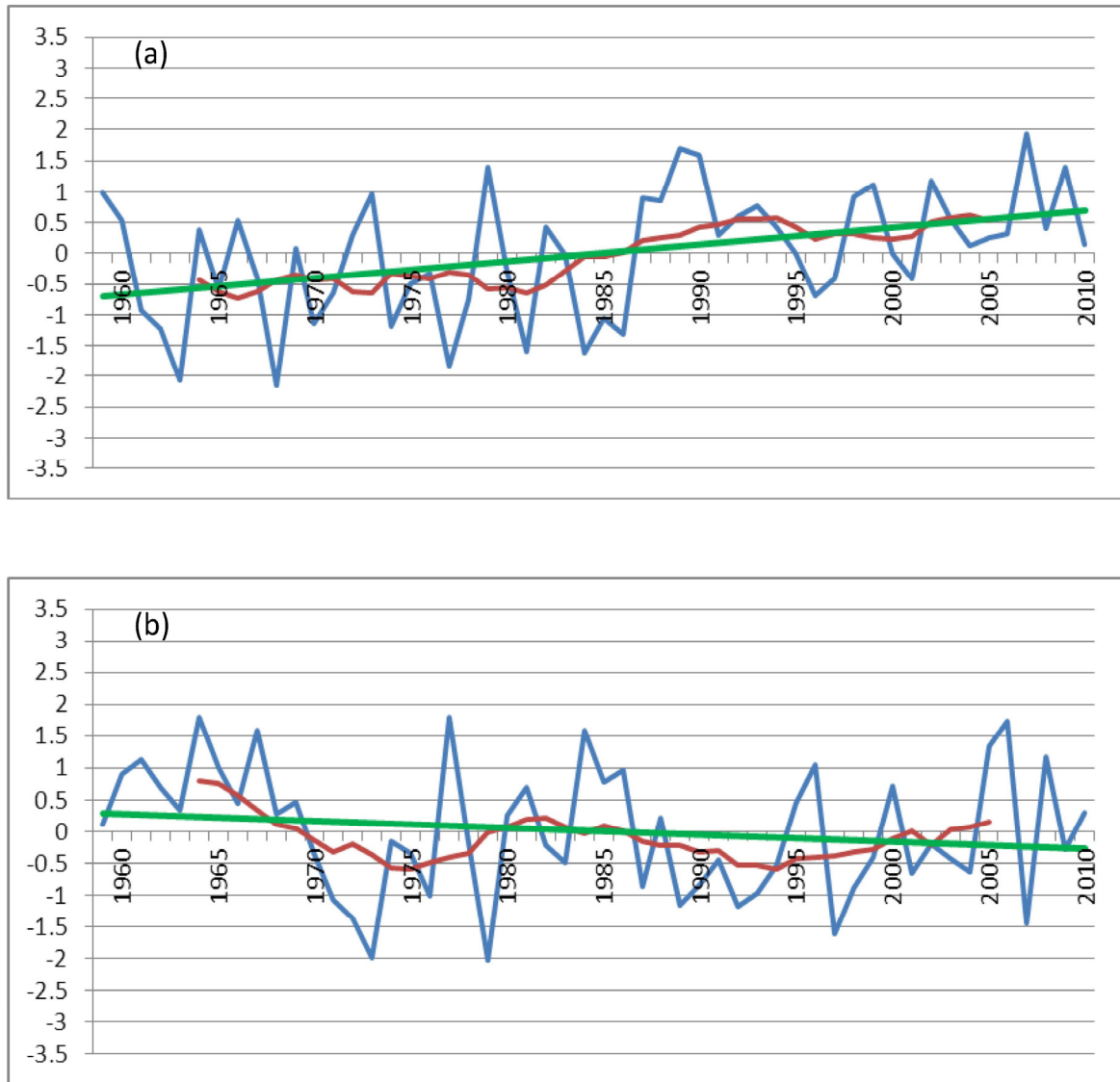


圖3 (a) 1958~2009年(30°N~45°N、125°E~145°E)區域內, 500hPa高度場之距平變化, 代表東亞主槽強度的變化。呈現之時間序列為已經相對於標準差進行標準化後的數值。藍線為各年之值, 綠色直線為趨勢線, 紅色曲線為藍色曲線做11年滑動平均之結果。(b)同上, 但為(40°N~60°N、70°E~120°E)區域內, 海平面氣壓之距平變化, 代表西伯利亞高壓強度的變化。資料來源為 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996)。

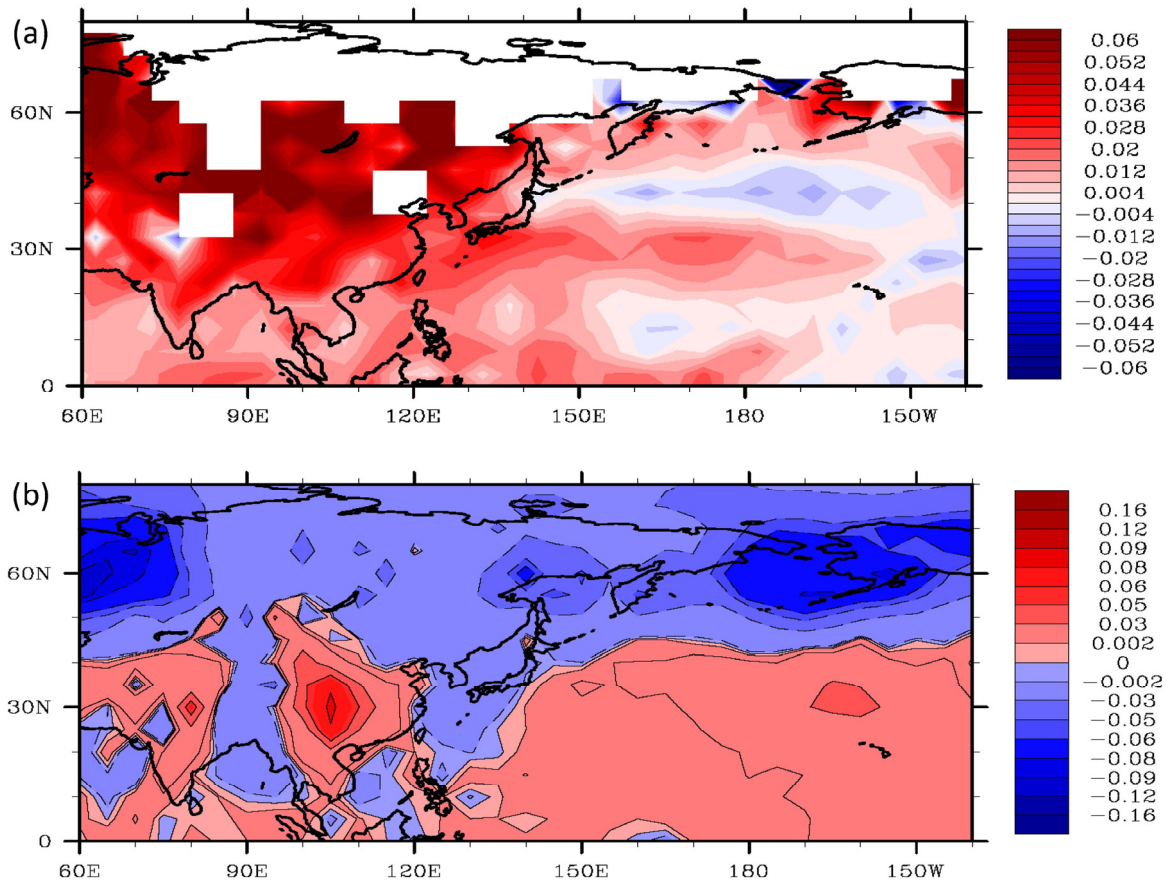


圖4 東亞地區冬季(12月至次年2月)氣候的長期線性趨勢。(a) 1960~2009年近地面氣溫/海溫趨勢( $^{\circ}\text{Cyr}^{-1}$ )，使用資料為 HadCRUT3 (Brohan et al. 2006)。(b) 1960~2008年海平面氣壓趨勢( $\text{hPa yr}^{-1}$ )，等值線間距同色階間距，使用資料為 HadSLP2 (Allan and Ansell 2006)。

的變化呈現週期約30年的年代際振盪(圖5(a))，依強度分類後，強度最弱的熱帶低壓(圖5(b))較其他類別呈現明顯的年代際變異。

Yumoto and Matsuura (2001)發現在1951年至1999年間，強度至少達熱帶風暴的熱帶氣旋年生成頻率具有一低頻的振盪。這段分析期間包含了將近兩個完整的近二十年的週期。比較這年代際振盪中生成頻率高與頻率低時期海溫的分佈，發現強度至少達熱帶風暴的熱帶氣旋年生成頻率與 $150^{\circ}\text{E}$ 以東的海平面溫度有顯著的相關。緊接此研究之後，Matsuura et al. (2003)後續繼續比較

大氣-海洋耦合模式(AOGCM)模擬與觀測結果，並對西北太平洋強度至少達熱帶風暴的熱帶氣旋生成頻率之年代/年代際尺度變異提出一個可能的影響機制。在此機制中，赤道中太平洋及東太平洋的海平面溫度扮演了重要的角色，亦即赤道中、東太平洋偏高海平面溫度引發赤道西太平洋與中太平洋的西風距平，導致季風槽向東延伸，擴大了有利熱帶氣旋生成的區域，因而產生較多熱帶氣旋。

Webster et al. (2005)分析1970年至2004年期間熱帶氣旋生成頻率的線性變化，發現無論考慮



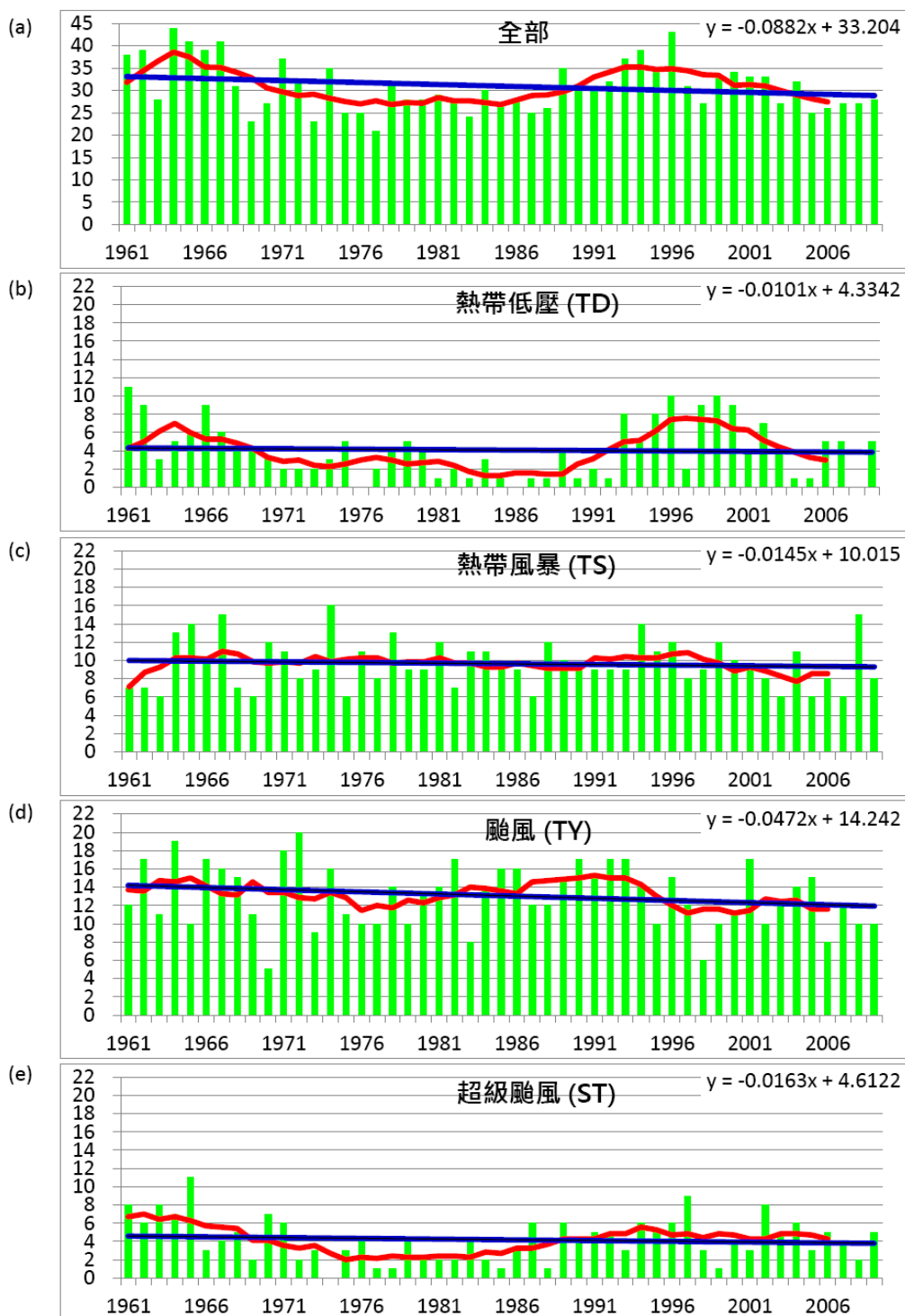


圖 5 1961 年至 2009 年西北太平洋熱帶氣旋生成個數的逐年變化。(a)全部的熱帶氣旋個數，(b)至(e)分別為根據 JTWC (Joint Typhoon Warning Center)的定義以強度分類得之熱帶低壓、熱帶風暴、颱風及超級颱風的個數。藍線為 49 年的線性趨勢，紅線為 7 年滑動平均值。圖(a)及圖(d)中的線性趨勢通過了 90%的信心度檢定。

全球總合或單獨考慮西北太平洋海域，強度至少達颱風的熱帶氣旋生成頻率並無統計上顯著的改變。本研究將強度較弱的熱帶風暴或甚至熱帶低壓也考慮進去，重新分析 1970 年至 2009 年間西北太平洋的熱帶氣旋生成頻率，發現熱帶氣旋總數仍無統計上顯著的線性變化；若將分析的時期向前延伸，全部熱帶氣旋及強度為颱風等級的熱帶氣旋個數有統計上顯著的下降趨勢。如圖 5 所示，自 1961 年起，過去 49 年中西北太平洋全部熱帶氣旋的生成頻率以每年 0.089 個的速率減少中（圖 5(a)），依強度分類後，可看出其中強度達颱風等級的熱帶氣旋其下降速率( $-0.047\text{yr}^{-1}$ )較其他類別顯著（圖 5(d)）。

總結來說，在具有觀測資料的過去五、六十年中，西北太平洋的全年熱帶氣旋生成個數具有顯著年代際變異，過去五十年來也隨年份增加呈現顯著的下降變化，但若考慮觀測資料品質相對較佳的時期（1970 年代之後），則無顯著線性變化。受限於觀測的長度和品質，這些線性變化和人為全球暖化是否有關，目前尚無確切的定論（Kuntson et al. 2010）。這在下一節有進一步討論。

## (二) 強度

關於熱帶氣旋強度的年代／年代際變異，Chan 數篇論文(Chan and Liu 2004, Chan 2006, Chan 2008)強調西北太平洋的熱帶氣旋強度有統計上顯著的年際變化及年代際變化。Chan (2008) 分析影響強烈颱風（強度達等級四或等級五）出現頻率(occurrence)的年代／年代際變異的大尺度條件，認為偏好生成位置的改變可能是一主要因素。在強烈颱風個數較氣候值高的年份中，西北太平洋的東南部份（ $5^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $150^{\circ}\text{E}$  以東）的海面溫度呈現正距平，且當地的大氣動力與熱

力條件有利熱帶氣旋生成。熱帶氣旋先在當地生成，向西移行漫長路程中行經暖海洋面，再增強至強度等級四或等級五的颱風。這個造成強颱風年代／年代際變異的機制，在某個程度上類似於造成熱帶氣旋強度年際尺度變化的機制(Chan and Liu 2004, Camargo and Sobel 2005, Chan 2007)。另外，Chan (2008)提出熱帶氣旋強度的多年代(multidecadal)變異可歸因於聖嬰的多年代變異及太平洋年代振盪(Pacific Decadal Oscillation, PDO) (Mantua et al. 1997)的影響。Matsuura et al. (2003)與 Kim et al. (2010)則指出年代尺度的熱帶中太平洋增溫，才是影響熱帶西北太平洋低對流層的主要外力。

在熱帶氣旋強度的長期趨勢方面，有些研究主張有增強趨勢，如 Webster et al. (2005)分析 1970 年至 2004 年強度至少達熱帶風暴的熱帶氣旋個數變化，強調從 1970 年起，在西北太平洋地區強度至少達等級四與等級五的熱帶氣旋個數及其比例明顯地增加；Emanuel (2005)認為隨著熱帶海溫的上升，西北太平洋整體熱帶氣旋的強風速(peak wind speed)及其潛在破壞力(destructiveness)於 1970 年代中期之後顯著上升；另外，藉由分析一組由衛星觀測重新導出、強度長期一致性相對較佳的熱帶氣旋觀測(Kossin et al. 2007)，Elsner et al. (2008)指出過去近三十年來(1981~2006)西北太平洋最強（前 2.5%）熱帶氣旋的強度有顯著的上升趨勢。但也有不少研究就以上結論持反對意見，有些研究著眼於熱帶氣旋資料長期一致性堪慮，認為無法就是否有顯著增加趨勢的現象下結論，特別是質疑 JTWC 最佳路徑(JTWC best track)中的熱帶氣旋風速資料有不確定性，所據以導出的強度上升趨勢統計顯著性不足（如 Wu et al. 2006, Kamahori et al. 2006, Kossin et al. 2007,

Song et al. 2010)。另外，有些研究認為觀測到的線性趨勢只是長週期多年代變異中的一部分，這部分研究以前面已提及的 Chan 數篇論文為主 (Chan and Liu 2004, Chan 2006, Chan 2008)。這些研究分析數種可代表熱帶氣旋強度（如強度至少達颱風等級或等級四與五的熱帶氣旋個數，或者其他指標如 Typhoon Destruction Potential (Gray et al. 1992) 或 Power Dissipation Index (Emanuel 2005)) 變數的長期變化，研究結果強調西北太平洋的熱帶氣旋強度有統計上顯著的年際變化及年代際變化，但並無顯著的與溫室氣體增加及全球暖化有關的線性上升趨勢。其中較具代表性的 Chan (2006) 反駁 Webster et al. (2005) 的結論，指出若將分析時間向前延伸至 1960 年代，即可看出 1970 年代起等級四與等級五的熱帶氣旋個數明顯增加的現象（圖 6），事實上只是多年代振盪中

的一部分。

對於這些過去觀測中顯示的熱帶氣旋長期變異和全球暖化間關聯之爭論，世界氣象組織 (World Meteorological Society, WMO) 下世界天氣研究計劃 (World Weather Research Programmes, WWRP) 中專責熱帶氣旋與全球氣候變遷的專家小組，回顧過去文獻後達成共識發表專文 (Knutson et al. 2010)，內容也得到世界氣象組織第七次國際熱帶氣旋研討會 (Seventh International Workshop on Tropical Cyclones) 與會者的支持 (WMO 2011)。該文論述目標雖以全球整體熱帶氣旋活動的變異為主，但觀點亦適用於討論個別海域的熱帶氣旋活動變異。主要結論為由於現有觀測長度和品質的限制，分析長期趨勢有其困難度，無法確認目前觀測到的這些熱帶氣旋活動的長期變異究竟是否超過自然氣候系統所能造成變

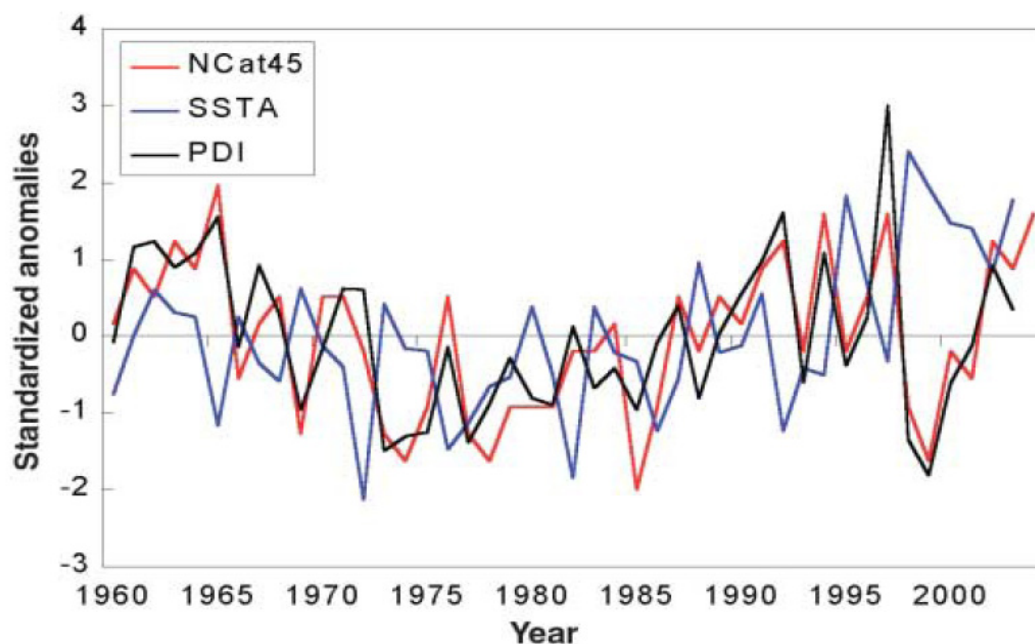


圖 6 每年潛在破壞力指標(Potential Destruction Index, PDI)、西北太平洋強度至少達 Saffir-Simpson scale 等級四與等級五的熱帶氣旋年個數(NCat45)及每年 5 月至 11 月平均(5°N~30°N、120°E~180°E)的海溫距平(SSTA)長期變化。所有變數均已經相對各自的標準差經過標準化處理。(摘自 Chan 2006)

異的幅度(“Trend detection is further impeded by substantial limitations in the availability and quality of global historical records of tropical cyclones. Therefore, it remains uncertain whether past changes in tropical cyclone activity have exceeded the variability expected from natural causes”),文內也指出目前還無法從過去的熱帶氣旋記錄中具體辨識出人為的氣候變遷的訊號(“Despite some suggestive observational studies, we cannot at this time conclusively identify anthropogenic signals in past tropical cyclone data”)。

### (三) 路徑

關於全球暖化背景下西北太平洋熱帶氣旋路徑如何改變，現有的觀測分析多著重於年代際尺度的變化，熱帶氣旋路徑的長期變化是否有顯著的線性趨勢則還不清楚。Ho et al. (2004) (使用 1951 年至 2001 年期間資料) 與 Wu et al. (2005) (使用 1965 年至 2003 年期間資料) 首先發現於 1970 年代晚期／1980 年代初期發生的顯著改變，即夏季熱帶氣旋的平均盛行路徑向西偏移，同時期伴隨著 1970 年代末期北太平洋高壓向西南突然延伸(Gong and Ho 2002)。這些研究認為季節平均的副熱帶高壓向西南延伸、影響了大尺度的導引氣流，進而改變季節平均的熱帶氣旋路徑。至於太平洋副熱帶高壓位置的突然變動，可能由熱帶印度洋及西太平洋海表面溫度與對流活動的改變驅動(Zhou et al. 2009)。此外，Liu and Chan (2008)分析 1960 年至 2005 年西北太平洋上，強度至少達熱帶風暴以上的熱帶氣旋出現頻率。經過十年低頻濾波處理後，再利用經驗正交函數分析(Empirical Orthogonal Function, EOF)檢視每年熱帶氣旋路徑的年代際變化，分析得出的三個主要模(mode)中，每一個模都清楚顯現於各

個年代出現的、獨有的熱帶氣旋出現頻率的型態，其中不僅包括了 Ho et al. (2004)與 Wu et al. (2005)發現的年代際變異，也包括 1990 年代末期於南海與臺灣一帶的突變。Tu et al. (2009)對於後者有詳細的研究。自 2000 年起熱帶氣旋(強度至少達熱帶風暴以上)路徑有一突然的改變，因而接近臺灣附近的熱帶氣旋也急劇增加(圖 7)。從觀測發現，2000 年起熱帶氣旋路徑有由南海向北偏移的現象，同時伴隨著略為偏弱的太平洋副熱帶高壓與較為增強的季風槽。熱帶西、中太平洋海平面溫度的增暖似乎為這些改變的主因，但這和全球暖化是否有關聯需要更深入的探討。

從前述觀測分析的回顧得知，過去五、六十年來，兩次熱帶氣旋路徑的突然遷移(shift)，都與熱帶海表面溫度及太平洋副熱帶高壓的突然改變有關，且這些改變又幾乎與太平洋年代振盪的氣候遷移(regime shift)同時發生，只是會延遲約 2 年：太平洋年代振盪的兩次氣候遷移一次發生在 1976 年至 1977 年(Nitta and Yamada 1989)，另一次在 1998 年左右(McPhaden and Zhang 2004)。氣候遷移發生的機制有眾多說法，其中之一認為源於北太平洋中緯度與熱帶印度洋—太平洋的耦合動力過程，可能對於調整西北太平洋季風—副熱帶高壓系統，進而影響熱帶氣旋的路徑，扮演了重要角色。

### (四) 伴隨降雨或登陸

在沿海地區，熱帶氣旋生成與路徑的變化原本就與熱帶氣旋的登陸及造成的降水有關聯。許多研究注意到東亞、東南亞地區登陸與降水的長期改變。

關於熱帶氣旋對中國的衝擊，Ren et al. (2006)分析 1957 年至 2004 年影響中國大陸的熱帶氣旋

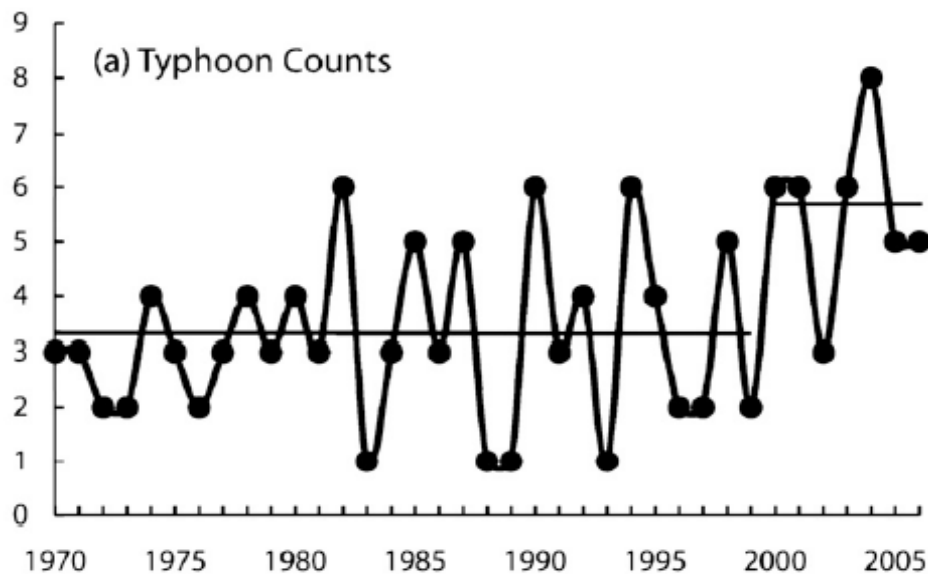


圖 7 1970 年至 2006 年颱風季 (6 月至 10 月) 通過臺灣附近(21°N~26°N、119°E~125°E)颱風個數的時間序列。颱風資料由中央氣象局提供。(摘自 Tu et al. 2009)

(包括了所有強度的熱帶氣旋)。除了年際與年代際的變異，該研究也分析了熱帶氣旋活動相關特性的長期趨勢，發現熱帶氣旋與颱風的個數、熱帶氣旋的降水量、每年因熱帶氣旋造成的豪雨事件的頻率、熱帶氣旋帶來降水佔年總降雨量的比率等，都呈現減少的趨勢。此研究顯示熱帶氣旋對中國的衝擊具有顯著的線性下降趨勢。然而，這篇研究只使用中國氣象局(China Meteorological Administration, CMA)的最佳路徑資料。Wang et al. (2008)由不同資料來源—美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)及中國氣象局—估算熱帶氣旋對中國的衝擊，發現兩者並不一致，由中國氣象局資料導出的結果呈現比較強的減少趨勢。鑒於不同資料來源呈現不一致的趨勢，詮釋這些線性趨勢時必須特別謹慎。

除了中國，韓國也經歷了熱帶氣旋活動在年代際尺度上的改變。Kim et al. (2006)發現，於 1970 年代末期起，因熱帶氣旋(強度至少達熱帶低壓)

登陸在南韓造成的大雨( $\geq 100\text{mm day}^{-1}$ )有一跳躍性的年代際突變。1970 年代末期夏季的環流突變特徵，除了太平洋副熱帶高壓向西南延伸，還包括東亞高對流層噴流向南的偏移。因此，轉彎向韓國行進的熱帶氣旋會較早遇到中緯度的西風，因而熱帶氣旋與高對流層槽線間的交互作用也增強。這些改變伴隨著韓國附近的環流變化如增強的高(低)對流層輻散(輻合)、上升運動與鋒面活動等，也使得熱帶氣旋所引致的大雨增強。不過，登陸韓國的熱帶氣旋個數似乎有不同的年代際變異，過去 60 年(1951~2004)期間包括兩個高頻時期(1951~1965 年與 1986~2004 年)及一個低頻時期(1966~1985 年)(Choi et al., 2010)。

在登陸的變化上，最近 Kubota and Chan (2009)分析從 1902 年至 2005 年登陸菲律賓的熱帶氣旋(強度至少達熱帶風暴)個數，發現其年代際變異由週期 10 年至週期 32 年的年代際振盪主宰，而長期的趨勢則不顯著。Chan and Xu (2009)

進一步將東亞地區細分成三塊區域：南（中國南部、越南、菲律賓）、中（中國東部）與北（韓國、日本），分析從 1945 年至 2004 年期間強度至少達熱帶風暴之熱帶氣旋登陸個數的變異。所有時間序列的變異都與聖嬰及太平洋年代振盪的變化有很高相關，但沒有任何線性趨勢。

## 五、東亞區域氣候變遷

隨全球暖化，東亞地區無論是陸地或海面上都有顯著的暖化趨勢。如圖 8 所示，自 1948 年以來，除了少數區域如北太平洋高緯度約  $35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$  的海域，其餘陸地或海面上均呈現顯著的增溫。

溫度上升影響了水循環，進一步改變了降雨。除了熱力因素外，環流的變化也影響降雨，所以降雨的趨勢呈現明顯的區域變化，不若溫度或水氣變化較具空間上的均勻性。如 IPCC 第四次評估報告中所述之全球降雨趨勢，中高緯度區域陸地上的降雨是增加的，而副熱帶及熱帶地區由於大氣環流等動力因子的影響，降雨反而是減少的，顯示不同區域對全球暖化有不同的反應 (Zhang et al. 2007)。

東亞地區平均降雨的長期趨勢，如前述全球的降雨變化一般，具有區域性的差異，不過大多數地區的趨勢並不顯著（圖省略）。雖然平均降雨趨勢不顯著，仍有許多研究指出各地區極端降雨發生頻率正增加中，這比起平均降雨的長期變化更值得吾人注意。

以下各節就以日本、韓國、中國為例，分別就降雨與溫度的平均狀態及極端事件，說明東亞過去的氣候變遷特徵。

### (一) 中國

#### 1. 溫度

##### (1) 平均溫度

全中國年均溫變化趨勢與全球趨勢相似。過去 50 年(1951~2001)，年均溫上升  $1.1^{\circ}\text{C}$ 。在趨勢的空間分布上，以中國北方暖化最為明顯，中國西南部則呈現冷卻趨勢。長江中下游的夏季氣溫亦呈現下降趨勢(Ren et al. 2004)。若將分析時間延長，在 1905~2001 年的 97 年間全國年均溫上升  $0.79^{\circ}\text{C}$ ，其中包含兩個暖期：1930 年代至 1940 年代與 1980 年代至 1990 年代。這 97 年間春季與冬季的增溫最為明顯，夏季則呈現不顯著的冷卻趨勢(Ding et al. 2007)。

##### (2) 極端溫度

自 1950 年以來，中國平均的日最低溫低於  $0^{\circ}\text{C}$  的天數，逐漸減少，但是日最高溫高於  $35^{\circ}\text{C}$  的天數無明顯增加趨勢(Ren et al. 2004)。在溫度變化趨勢的空間分佈方面，近 45 年來(1960~2006)，中國南部、北部與西北部熱浪發生頻率有逐漸升高趨勢，尤其以南部沿海一帶最明顯，中部則有減少趨勢（圖 9）(Piao et al. 2010)。

#### 2. 降雨

##### (1) 平均降雨

近五、六十年來（1950 年代之後），中國年平均降雨無明顯趨勢(Ding et al. 2007, Piao et al. 2010)（圖 10(a)），但是中國北方平原與黃河流域呈現明顯減少趨勢，其中以山東最為明顯（圖 10(b)）。長江流域與中國西部多數區域則有不顯著的降雨增加趨勢，其中長江流域年降雨量的增加趨勢主要是因為夏季降雨的顯著上升（圖 10(b)）(Ding et al. 2007)。若比較季節降雨的趨

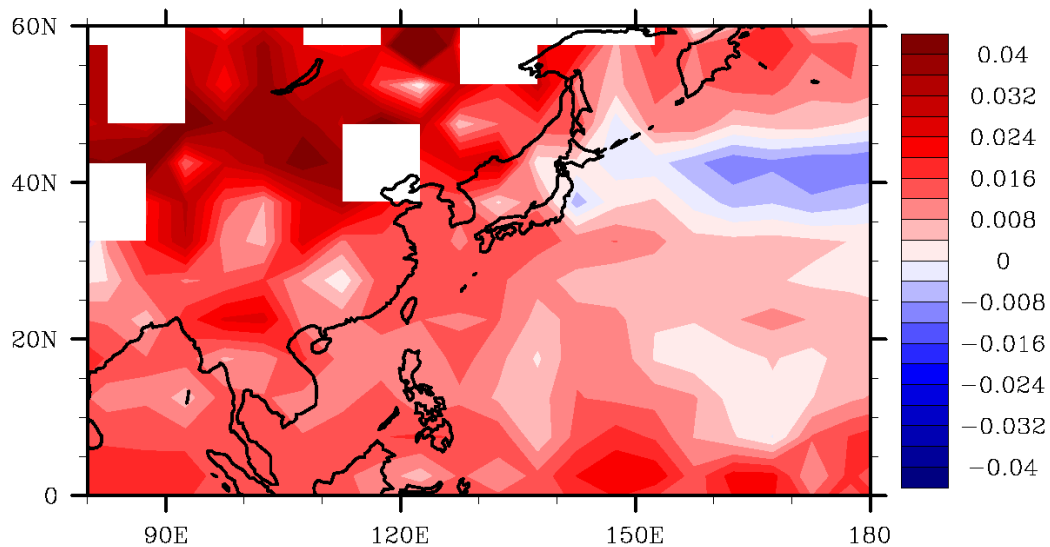


圖 8 1948 年至 2009 年東亞年平均近地面氣溫／海溫的長期線性趨勢( $^{\circ}\text{Cyr}^{-1}$ )，使用資料為 HadCRUT3 (Brohan et al. 2006)。

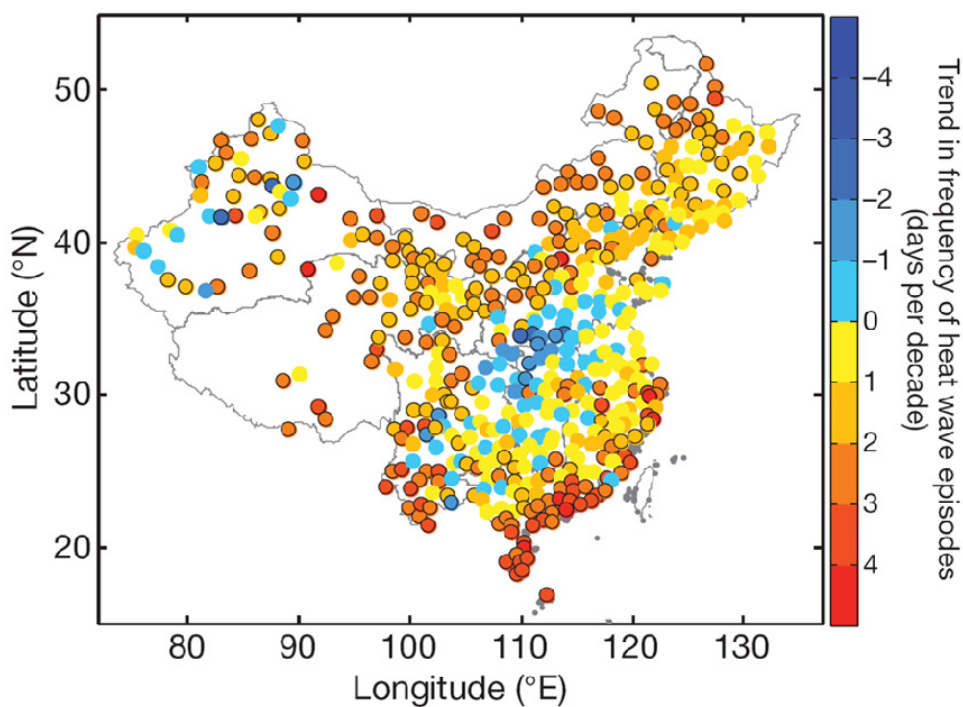


圖 9 1960 年至 2006 年中國熱浪發生頻率趨勢( $\text{day}(10\text{yrs})^{-1}$ )的空間分佈。(摘自 Piao et al. 2010)

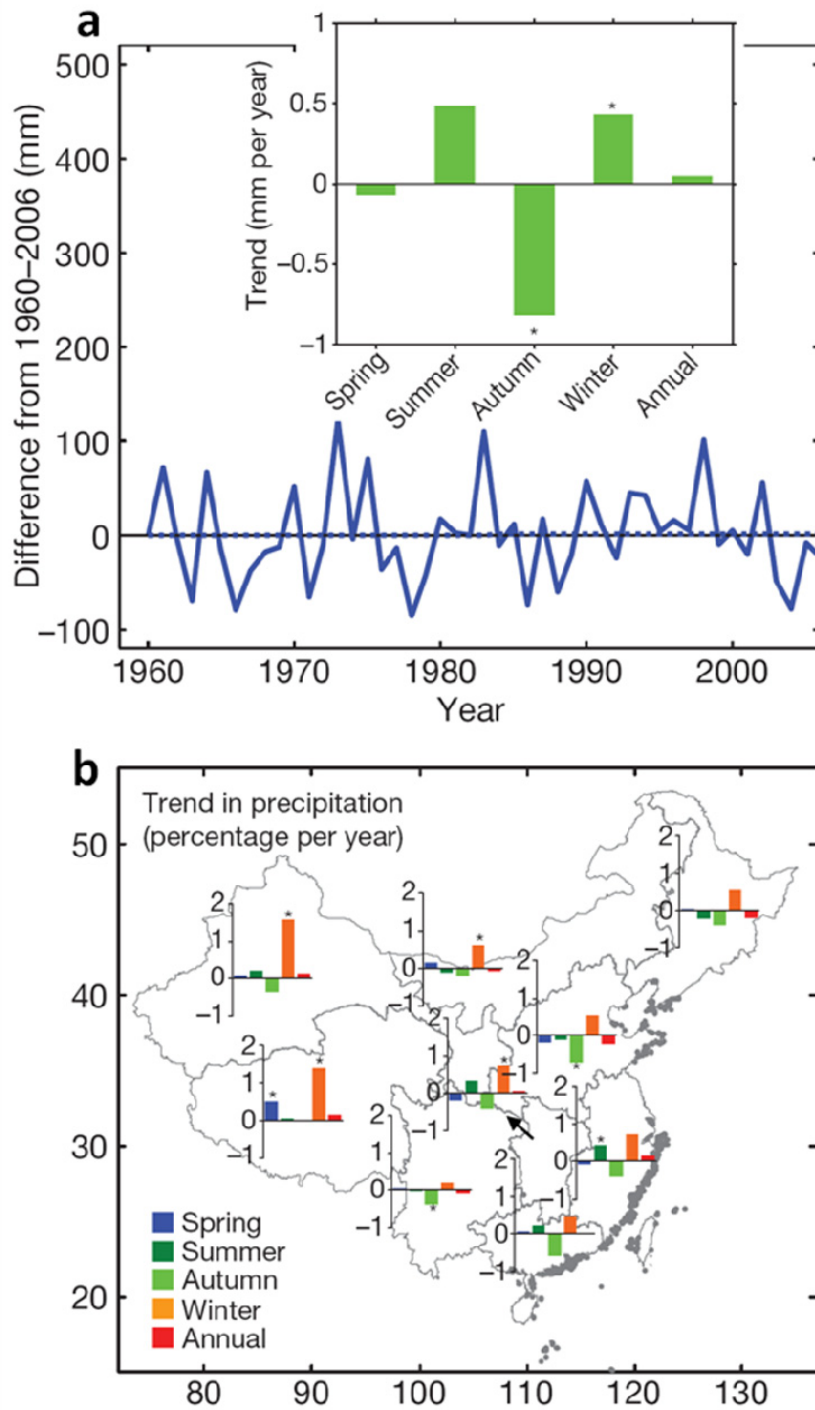


圖 10 1960 年至 2006 年中國大陸降雨的長期變化與趨勢。(a)大圖為全國平均之年平均降雨(已減去 1960~2006 年氣候平均值)的長期變化(mm),小圖為四季與全年平均雨量的趨勢值(mm(yr)<sup>-1</sup>);(b)各地四季與全年平均降雨趨勢佔年平均雨量比例(%(yr)<sup>-1</sup>)的空間分佈。(摘自 Piao et al. 2010)



勢，全中國年平均降雨於過去近五十年間(1960~2006)夏季與冬季降雨有增加趨勢，秋季則呈減少趨勢。

在降雨強度的變化上，1960年至2006年期間，全年降雨日數在中國各地皆呈現顯著減少趨勢(Piao et al. 2010) (圖 11)，由前述全中國年平均降雨量無顯著趨勢的現象可知，降雨強度趨向較強的情形。針對夏季，Endo et al. (2005)分析1961年至2000年全中國的平均降雨量、降雨日數及降雨強度，指出全國的夏季平均降雨強度大部分都呈增加的趨勢。

特別值得注意的是，在全球暖化背景下，降雨的長期變化中還帶有年代際變化的訊號，例如中國東部的降水在過去六十年來有兩次明顯的相位轉變，造成中國東部「南澇北旱」或「南旱北澇」的變化，這和東亞的「三極結構」(tripole

pattern)」(Lau 1992, Tian and Yasunari 1992, Nitta and Hu 1996, Weng et al. 1999, Hsu and Liu 2003, Hsu and Lin 2007)有關。

## (2) 極端降雨

Ren et al. (2004)研究過去50年來的極端降雨發生頻率變化，指出以全國尺度而言，無明顯趨勢。Gong and Wang (2000)以1976/1977這個氣候變異點，將分析的時間分成1954~1976年及1977~1998年兩段時期，發現中國東部的降雨在這兩個時期分別是下降及上升趨勢。在1977~1998年這段時期，發生劇烈極端降雨事件的測站數是顯著上升的，可知極端降雨事件在近幾十年為增加趨勢。Qian et al. (2007)利用全中國夏季降雨資料，將1961~2005年期間不同的降雨強度事件分級成小雨事件(light rain events)、中雨事件(moderate rain events)及極端降雨事件(extreme

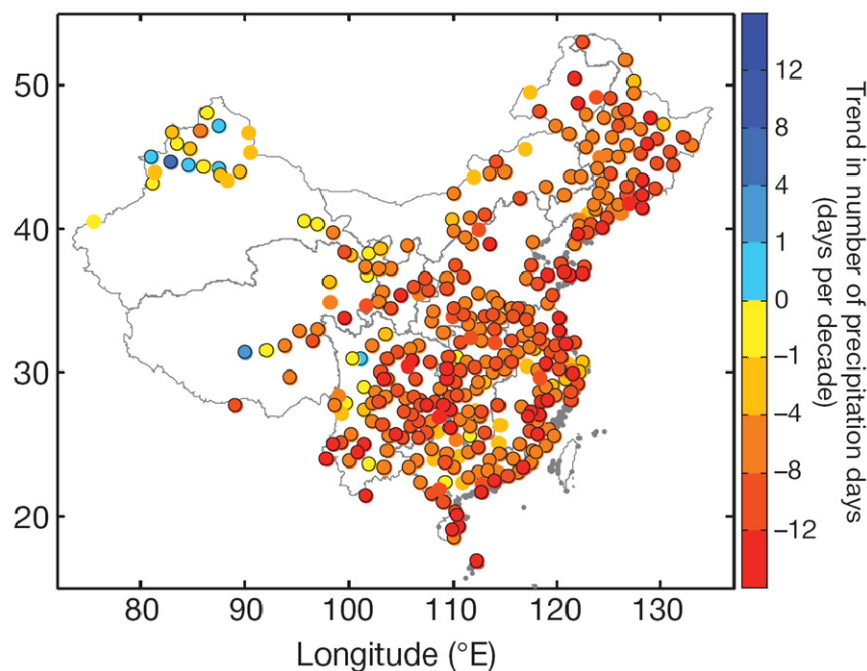


圖 11 1960 年至 2006 年中國降雨日數趨勢( $\text{day}(10\text{yrs})^{-1}$ )的空間分佈。(摘自 Piao et al. 2010)

rain events)分別做趨勢變化的統計。結果顯示全國整體來說小雨事件呈下降趨勢，中雨事件呈現區域性的結果，這與水氣傳送量及東亞夏季季風有關，而極端降雨事件也是顯著上升的情形。

在區域的變化上，對於中國東部長江流域，Endo et al. (2005)針對1961~2000年這段時間，將夏季降雨強度分為十級，最強級別降雨量（大於90%的夏季累積雨量）之上升趨勢高達40%，其餘中國南部沿岸、中國東北、新疆地區也顯示顯著上升的趨勢。Zhang, Zhang, and Jiang (2007)同樣對長江流域分析，以1日、3日、5日、7日最大降雨量為單位，可得在部分區域的極端強降水有顯著增加的情形。Ren et al. (2004)同樣發現過去五十年來(1951~2000)長江流域的劇烈降雨發生頻率顯著地上升。針對中國珠江流域的夏季降雨，Zhang et al. (2009)認為夏季總降雨量無顯著趨勢，但降雨日數有顯著減少趨勢，而強度有顯著增加趨勢。其並認為降水變異與強度增加，主因來自降雨日數和弱降雨的減少。

另外，針對乾旱發生頻率的長期變化，Gong et al. (2005)分析中國夏半年乾旱期（定義為連續無降雨的日數）於1956年至2000年的長期變化，少於10日的短乾旱期發生頻率在中國北部、東北、西南區有顯著增加。10日以上的長乾旱期發生頻率在北部、東北部有顯著增加趨勢，其他區域則無明顯趨勢。

## (二) 日本

### 1. 溫度

以下有關日本之氣溫長期趨勢，均摘自日本之國家氣候變遷報告(JMA 2010)。

#### (1) 平均溫度

在1898年至2009年間，年均溫以 $1.13^{\circ}\text{C}(100\text{yrs})^{-1}$ 的速率上升(JMA 2010)。

#### (2) 極端溫度

在1901年至2009年間，極端高月均溫的發生頻率有明顯上升趨勢，極端低月均溫的發生頻率則明顯下降。

在1931年至2009年間，日最高溫高於 $30^{\circ}\text{C}$ 的天數無明顯趨勢，高於 $35^{\circ}\text{C}$ 的天數則在1980年代之後明顯增加(圖12)；日最低溫低於 $0^{\circ}\text{C}$ 的天數明顯下降，但是日最低溫高於 $25^{\circ}\text{C}$ 的天數則明顯增加。此一對比（冷夜減少，暖夜增加）顯示明顯的暖化趨勢。值得注意的是，相較於日最高溫高於 $35^{\circ}\text{C}$ 天數在1980年代突然增加，此一暖化趨勢呈現長期一致性的變化(圖12)。

## 2. 降雨

### (1) 平均降雨

在近期(1898~2009年)，日本的年平均降雨無明顯趨勢(圖13)，其中20世紀初到1920年代之間與1950年代，降雨相對較多。相對而言，最近數十年降雨的年際變化較明顯且較大(JMA 2010)。另外，20世紀初以來(1901~2002年)，夏季之降雨量於20世紀初期及中期較多，但無顯著的長期趨勢，與年平均降雨的變化類似。

### (2) 極端降雨

Fujibe et al. (2005)以1898年至2003年數十個不同時間解析度的日本測站資料，將降水強度分為十個等級進行分析。結果顯示較強的降水事件呈現增加趨勢，每百年約增加20%至30%，較弱降水事件則減少，這樣的情況在四季皆相似。其中最強的降水增加情形又以夏季、秋季比其他兩季更為明顯；20世紀後半的增幅則比20世紀

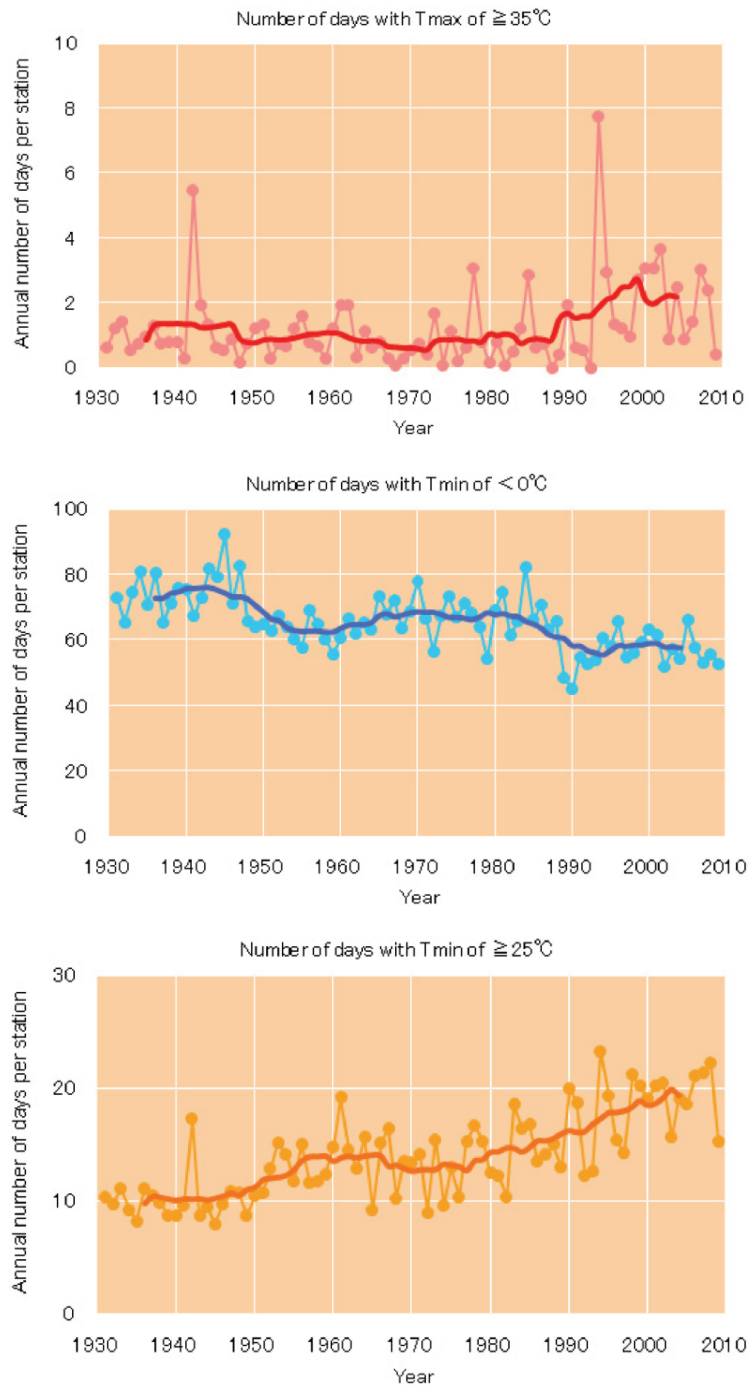


圖 12 日本(上)日最高溫高於  $35^{\circ}\text{C}$  的天數,(中)日最低溫低於  $0^{\circ}\text{C}$  的天數,(下)日最低溫高於  $25^{\circ}\text{C}$  的天數。(摘自 JMA 2010)

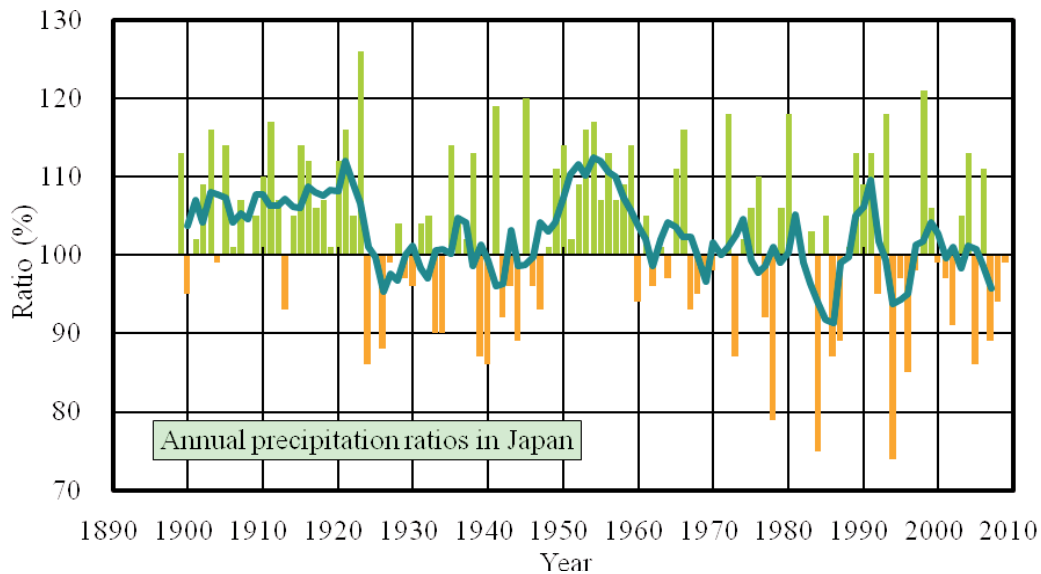


圖 13 1898 年至 2009 年日本年平均降雨比的逐年變化。柱狀為年平均降雨和 1971~2000 年期間 51 個測站的氣候平均值之比例。粗線為 5 年滑動平均。(摘自 JMA 2010)

前半更多。Fujibe et al. (2006)則使用 1901 年至 2004 年 51 個測站資料，分析日本降水強度與頻率的長期變化。其同樣以降水強度與頻率分為 10 級，以及日雨量大於 100mm、年際最大值、排序前 100 個案等劇烈降水指標來分析。在分析的 104 年間，劇烈降水指標變化的情形如下：前 10%降水每 10 年增加 2.3%，百大降水個案每 10 年增加 2.6%。這些改變在西日本與秋天最明顯，其他地區與季節亦有較弱但相似的訊號。但次強(例如大於 50mm 的日雨量或前 1000 大的個案)的降水並無明顯趨勢。

當降水事件集中，則無降水的乾旱時間也可能增加。Fujibe et al. (2006)分析日本的乾旱天氣變化，發現 1901 年至 2004 年間呈增加趨勢，降水少於 1mm 的事件在各季節與地區皆增加，平均每 10 年約增加 0.4%至 0.7%。31 日降水量排序中最低的 1%個案，每 10 年增加 10%。

根據更新的日本氣候變遷報告(JMA 2010)，日本最新的極端降雨事件趨勢重點如下：

- ◎自 1901 年至 2009 年間，極端少月均降雨的發生頻率有明顯上升趨勢，極端多月均降雨的發生頻率則無明顯趨勢。
- ◎在 1901 年至 2009 年間，日雨量高於 100mm 天數有顯著增加趨勢，但是高於 200mm 天數則無顯著趨勢。
- ◎利用 1,000 個自動雨量站評估 1976 年至 2009 年間時雨量變化，時雨量高於 50mm 的發生頻率的增加具統計顯著性(圖 14)，高於 80mm 的發生頻率雖有增加，但不具統計顯著性。日雨量高於 200mm 與 400mm 的發生頻率也有增加趨勢，但是同樣不具統計顯著性。

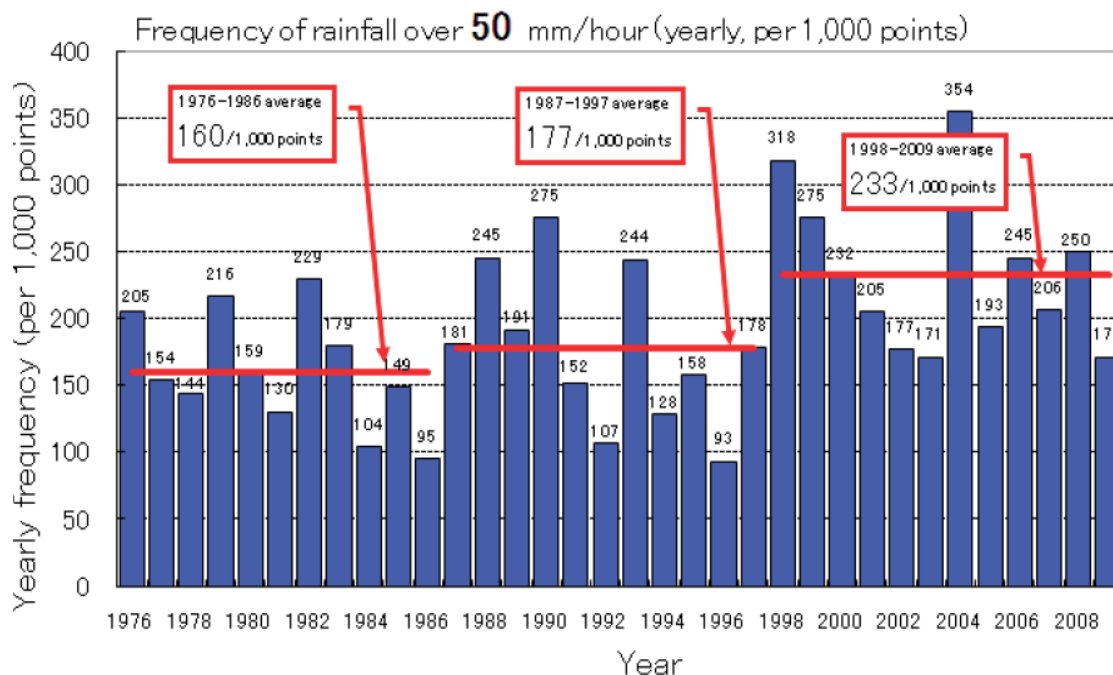


圖 14 1976 年至 2009 年日本 1000 個自動雨量站時雨量高於 50mm 的發生頻率。(摘自 JMA 2010)

### (三) 韓國

以下有關韓國之氣溫長期趨勢，均摘自韓國之國家氣候變遷報告(Yoon 2010)。

#### 1. 溫度

##### (1) 平均溫度

在過去 100 年中韓國氣溫上升 1.87°C，呈現明顯上升趨勢(圖 15)，夏季溫度趨勢不明顯，冬季則相當明顯。1980 年代後，溫度上升特別明顯。

##### (2) 極端溫度

韓國極端低溫與結霜發生頻率降低，低於 -5.5°C 的天數明顯減少，極端高溫發生頻率則上升，暖夜發生頻率也增加(Yoon 2010)。

#### 2. 降雨

##### (1) 平均降雨

在過去數十年中，年降雨量在韓國各地普遍增加。1996 年至 2005 年間，年降雨增加特別明顯，約增加 10% (Yoon 2010)。

在夏季降水方面，Jung et al. (2010)分析 1973 年至 2005 年韓國百餘個雨量測站資料，顯示夏季降水全面性地顯著增加，而春季與冬季降水則有部分地區減少，此代表夏季降水佔全年總量的比例增加，整體由原本約 50%提高至 60%左右。如以有近百年資料的 6 個測站來看，1970 年代以前的全年雨量變化趨勢有略微增加，但在 1970 年代以後的增加趨勢相對明顯許多。韓國全區的夏季降水量，在 20 世紀呈現增加顯著的增加趨勢，趨勢為每 10 年約增加 0.15mm(day)<sup>-1</sup>，且通過 95% 統計顯著性。

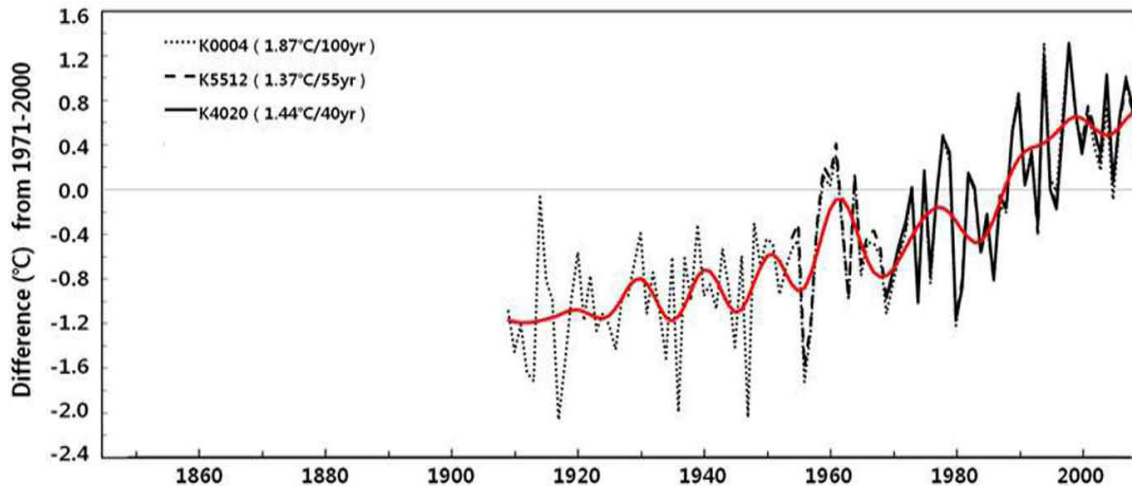


圖 15 韓國年均溫（已減去 1971~2000 年氣候平均值）的逐年變化。虛線、折線與實線分別為 4 個、12 個與 20 個測站平均值。（摘自 Yoon 2010）

若將焦點集中至小區域，以韓國首府首爾為例(圖 16)，兩百餘年來 6 月至 9 月的降水量，如同全國平均夏季降雨變化一樣，20 世紀末為雨量最多的時期，而 19 世紀末至 20 世紀初為雨量最少的時期。因此 20 世紀的雨量呈現明顯增加趨勢。

除了夏季總降水量的變化，夏季內各月降水量的分布也有改變。韓國於 8 月的降水量在 20 世紀後半呈現增加，而 7 月則並無類似 8 月一般的明顯增加，甚至在部分區域有減少的情形(Ha et al. 2006, 2009, Lee et al. 2010)。Wang et al. (2007) 分析首爾雨量的資料，結果顯示該地的雨季開始時間有明顯延後趨勢，18 世紀末約為第 37 候（6 月 30 日至 7 月 4 日），至 20 世紀末已變為第 44 候（8 月 4 日至 8 月 8 日）雨季才開始。

## (2) 極端降雨

Ho et al. (2003) 分析近 50 年的日降水資料，結果顯示近年來，大雨事件的發生更頻繁。另外於夏季降水有雙峰值，其相距時間也縮短，由原

本 7 月初及 9 月初，轉變為 7 月初及 8 月中至 8 月底。Wang et al. (2006) 則針對首爾測站擁有兩百多年的記錄分析，其中日雨量超過 75mm 之日數、最大日雨量、排序於 99% 以上之極端降水日數、極端降水事件之降水量皆有顯著趨勢。而若以強降水排序，總量達全部降水的 67% 之日數做為強度指數，其有明顯下降趨勢，亦代表降水強度增加。Jung et al. (2010) 研究 1973 年之後 183 個測站的雨量資料，3 日內的平均降水量，95% 強度以上的極端降水等亦大多呈現增加的趨勢。且如前所述，降水增加於原本已多降水的夏季，如何妥善管理水資源也成為新的挑戰。

另根據最新的韓國氣候變遷報告(Yoon 2010)，最新的極端降雨事件趨勢重點如下：

◎降雨日數減少，降雨量增加，顯示降雨強度增加。

◎年極端降雨量呈現顯著上升趨勢（圖 17）。

◎在 1973 年至 2005 年間，各地夏季（6 月至 9 月）降雨普遍增加，許多測站的降雨強度也增

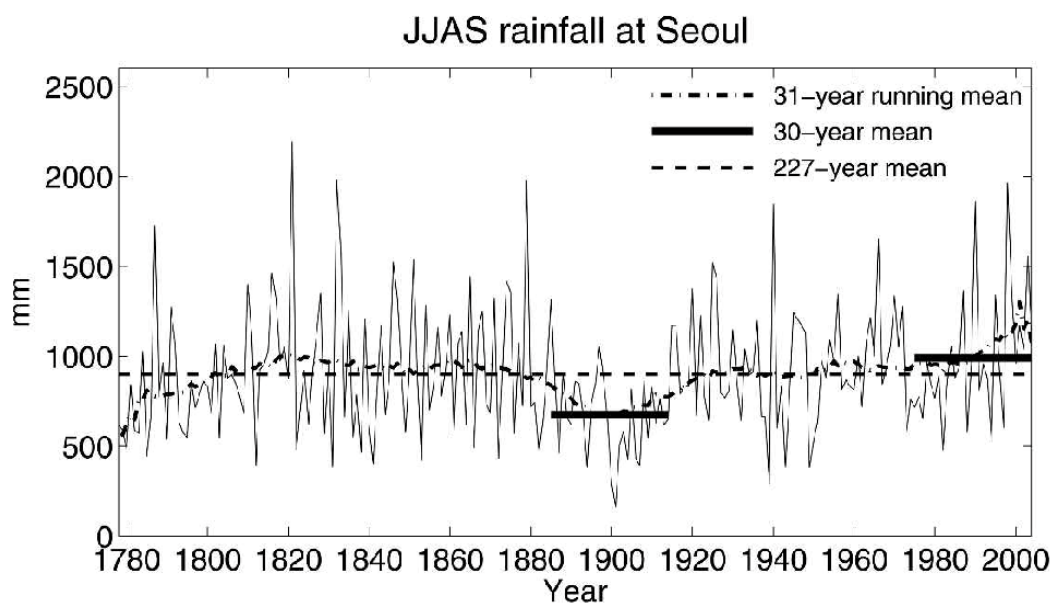


圖 16 1778 年至 2004 年，韓國首爾 6 月至 9 月之降水量，粗橫線分別代表此期間內最多雨及最少雨的 30 年。  
(摘自 Wang et al. 2007)

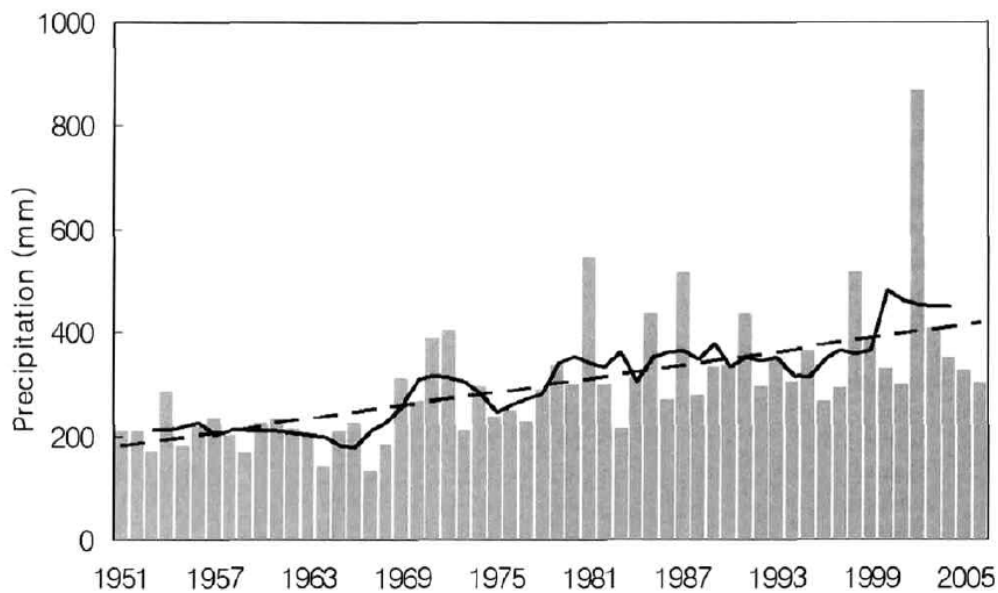


圖 17 1951 年至 2006 年韓國每年日雨量極端值的逐年變化。圖中粗實線為 5 年滑動平均，點線為線性迴歸線，線性趨勢為  $230\text{mm} (56\text{yrs})^{-1}$ 。(摘自 Yoon 2010, Choi and Moon 2008)

強，但以 6 月與 8 月較為明顯。降雨大於 30mm 與 50mm 的天數也普遍增加。

## 六、結論與討論

為瞭解全球暖化背景下，臺灣的背景區域氣候變遷特性，本研究彙整東亞及西北太平洋季風區過去氣候的年代／年代際變化及長期趨勢，重點整理如下表。

東亞季風、溫度及降雨
<p>◇近 50 年來（約 1950 年代之後），東亞夏季與冬季季風皆呈現減弱趨勢</p>
<p>◇自 1948 年以來，東亞陸地上（如中國北方及東部）均呈現顯著的增溫；在海面上，副熱帶西太平洋全部呈現增暖趨勢。</p>
<p>◇自 1948 年以來，東亞平均降雨的長期趨勢，具有區域性的差異，不過大多數地區的趨勢不顯著。</p>
西北太平洋熱帶氣旋
<p>◇生成、強度、路徑及伴隨降雨與登陸的變化呈現顯著的年代際變異。</p>
<p>◇全年（強度至少達熱帶低壓）生成總數於過去 49 年間（自 1961 年至 2009 年）隨年份增加呈現顯著的下降變化。若考慮觀測資料品質相對較佳的時期（1970 年代之後），則無顯著線性變化。</p>
<p>◇根據 Knutson et al (2010) 結論，以現有觀測資料分析熱帶氣旋過去趨勢時，受限於觀測資料的品質與長度，無法確認目前觀測到的這些熱帶氣旋活動的長期變異超過自然氣候變異的幅度，亦即仍無法從過去的熱帶氣旋觀測具體辨識出顯著的人為影響。</p>

在彙整過去研究成果同時，本研究也注意到，在探討氣候變遷議題時，分析的對象是否呈現顯著的趨勢及其與人為的全球暖化是否有關常是最受關注的焦點。然而，一個無法避免的問題是現有歷史觀測資料的長度及品質是否足以呈現顯著的線性趨勢。觀測資料不夠長時，不易區分究竟觀察到的趨勢是真實的趨勢或是長週期的年代/年代際變異。觀測資料品質不佳時，也不易確認觀察到的變化是氣候系統內部的自然變遷或資料不一致引起的人為變遷。如前述彙整文獻得到之東亞夏季季風氣候變異，在 50 年尺度上呈現減弱趨勢，超過 100 年尺度時長期趨勢就不顯著。又如西北太平洋熱帶氣旋強度於 1970 年代後期以來是否呈增加趨勢，以及這些變化是否因全球暖化引起，也因資料長度和品質的限制，而無法確認。吾人必須了解這些觀測背後的限制。待未來累計更長期的較佳品質觀測，並有較完善的氣候動力模式可用來研究造成變異的機制之時，可望進一步確認驅動這些氣候變遷外力的貢獻多寡。

## 誌謝

本研究在國科會計畫 NSC 99-2621-M-492-001 及 NSC 100-2621-M-492-001 支持下完成，特此致謝。

## 參考文獻

Allan, R. J., and T. J. Ansell, 2006: A new globally complete monthly historical mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850-2004. *J. Climate*, 19, 2717-2742.



- Brohan, P., J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett, and P. D. Jones., 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 111, D12106, doi: 10.1029/2005JD006548.
- Camargo, S. J., and A. H. Sobel, 2005: Western North Pacific Tropical Cyclone Intensity and ENSO. *J. Climate*, 18, 2996-3653.
- Chan, J. C. L., 1985: Tropical Cyclone Activity in the Northwest Pacific in Relation to the El Niño/Southern Oscillation Phenomenon. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 599-606.
- Chan, J. C. L., 1995: Tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2567-2571.
- Chan, J. C. L., 2000: Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific Associated with El Niño and La Niña Events. *J. Climate*, 13, 2960-2972.
- Chan, J. C. L., 2006: Comments on "Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment". *Science*, 311, 1713, doi: 10.1126/science.1121522.
- Chan, J. C. L., 2007: Interannual variations of intense typhoon activity. *Tellus, A*, 59, 455-460.
- Chan, J. C. L., 2008: Decadal variations of intense typhoon occurrence in the western North Pacific. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, 464, 249-272, doi: 10.1098/rspa.2007.0183.
- Chan, J. C. L., 1995: Tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2567-2571.
- Chan, J. C. L., and J.-E. Shi, 1996: Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 2765-2767.
- Chan J. C. L., and K. S. Liu, 2004: Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective. *J. Climate.*, 17, 4590-4602.
- Chan, J. C. L., and M. Xu, 2009: Inter-annual and inter-decadal variations of landfalling tropical cyclones in East Asia. Part I: time series analysis. *Int. J. Climatol.*, 29, 1285-1293.
- Chang, C. -P., 2004: East Asian Monsoon Vol.2, World Scientific Series on Meteorology of East Asia. 564pp.
- Chen, W., H. F. Graf, and R. H. Huang, 2000: The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 17, 46-60
- Chen, T.-C., S.-P. Weng, N. Yamazaki, and S. Kiehn, 1998: Interannual Variation in the Tropical Cyclone Formation over the Western North Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1080-1090.
- Choi, E. S., and I. J. Moon, 2008: The Variation of Extreme Values in the Precipitation and Wind

- Speed during 56 Years in Korea. *Atmosphere*, 18, 246-538.
- Choi, K.-S., B.-J. Kim, D.-W. Kim, and H.-R. Byun, 2010: Interdecadal variation of tropical cyclone making landfall over the Korean Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 30, 1472-1483.
- Cui, X. P., and Z. B. Sun, 1999: East Asian winter monsoon index and its variation analysis (in Chinese). *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 22, 321-325.
- Ding, Y., G. Ren, G. Shi, P. Gong, X. Zheng, P. Zhai, D. Zhang, Z. Zhao, S. Wang, H. Wang, Y. Luo, D. Chen, X. Gao, and X. Dai, 2007: China's National Assessment Report on Climate Change (I): Climate Change in China and the future trend. *Advances in Climate Change Research*, 3 (Suppl.), 1-5.
- Emanuel, K., 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
- Elsner, J. B., J. P. Kossin, and T. H. Jagger, 2008: The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455, 92-95.
- Endo, N., B. Ailikun, and T. Yasunari, 2005: Trends in Precipitation Amounts and the Number of Rainy Days and Heavy Rainfall Events during Summer in China from 1961 to 2000. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 621-631.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, M. Katsuyama, and K. Kobayashi, 2005: The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *SOLA*, 1, 41-44.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, and K. Kobayashi, 2006: Long-Term Changes of Heavy Precipitation and Dry Weather in Japan (1901-2004). *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 1033-1046.
- Gong D.Y. and S. W. Wang, 1999: Long-term variability of the Siberian High and the possible connection to global warming (in Chinese). *Acta Geographica Sinica* 54, 125-133.
- Gong, D. Y., and S. W. Wang, 2000: Severe summer rainfall in China associated with the enhanced global warming. *Clim. Res.*, 16(1), 51-59.
- Gong, D.-Y., and C.-H. Ho, 2002: Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1436, doi: 10.1029 /2001GL014523.
- Gong, D.-Y., J.-A. Wang, and H. Han, 2005: Trends of summer dry spells in China during the late twentieth century. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 88, 203-214.
- Gray, W. M., 1979: Hurricanes: Their formation, structure, and likely role in the tropical circulation. *Meteorology over the Tropical Oceans*, D. B. Shaw, Ed., Royal Meteorological Society, 155-218.
- Graham, N. E., 1994: Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: observations and model results. *Climate Dyn.*, 10, 135-162.

- Gray, W. M., C. W. Landsea, P. W. Mielke, and K. J. Berry, 1992: Predicting Atlantic seasonal hurricane activity 6-11 months in advance. *Wea. Forecasting*, 7, 440-455.
- Guo, Q.Y., J. Cai, X. Shao, and W. Sha, 2003: Interdecadal variability of East-Asian summer monsoon and its impact on the climate of China. *Acta Geographica Sinica*, 4, 569-576.
- Ha, K.-J., and E. Ha, 2006: Climatic change and interannual fluctuations in the long-term record of monthly precipitation for seoul. *Int. J. Climatol.*, 26, doi:10.1002/joc.1272.
- Ha, K.-J., K.-S. Yun, J.-G. Jhun, and J. Li, 2009: Circulation changes associated with the interdecadal shift of Korean August rainfall around late 1960s. *J. Geophys. Res.*, 114, doi: 10.1029/2008JD011287.
- Ho, C.-H., J.-Y. Lee, M.-H. Ahn, and H.-S. Lee, 2003: A Sudden Change in Summer Rainfall Characteristics in Korea During the Late 1970s. *Int. J. Climatol.*, 23, 117-128.
- Ho, C.-H., J.-J. Baik, J.-H. Kim, D.-Y. Gong, and C.-H. Sui, 2004: Interdecadal changes in summertime typhoon tracks. *J. Climate*, 17, 1767-1776.
- Hsu, H.-H., and X. Liu, 2003: Relationship between the Tibetan Plateau heating and East Asian summer monsoon rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 2066-2069.
- Hsu, H.-H., and S.-M. Lin, 2007: Asymmetry of the Tri-pole Rainfall Pattern during East Asian Summer. *J. Climate*, 17, 4443-4458.
- Huang, R.H., L. Zhou, and W. Chen, 2003: The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asian monsoon and their causes. *Adv. Atmos. Sci.*, 1, 55-69.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Japan Meteorological Agency (JMA), 2010: *Climate Change Monitoring Report 2009*. 99pp.
- Jhun, J.-G., and E.-J. Lee, 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate*, 17, 711-726.
- Jung, I.-W., D.-H. Bae, and G. Kim, 2010: Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea. *Int. J. Climatol.*, 30, doi: 10.1002/joc.2068.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski,

- J. Wang, R. Jenne, D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-472.
- Kamahori, H., N. Yamazaki, N. Mannoji, and K. Takahashi, 2006: Variability in intense tropical cyclone days in the western North Pacific. *SOLA*, 2, 104-107.
- Kang, L.H., Chen W. and Wei K., 2006: The interdecadal variation of winter temperature in China and its relation to the anomalies in atmospheric general circulation (in Chinese). *Climatic and Environmental Research*, 11, 330-309.
- Kim, J.-H., C.-H. Ho, and P.-S. Chu, 2010: Dipolar redistribution of summertime tropical cyclone genesis between the Philippine Sea and the northern South China Sea and its possible mechanisms. *J. Geophys. Res.*, 115, D06104, doi: 10.1029/2009JD012196.
- Kim, J.-H., C.-H. Ho, M.-H. Lee, J.-H. Jeong, and D. Chen, 2006: Large increase in heavy rainfall associated with tropical cyclone landfalls in Korea after the late 1970s. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L18706, doi: 10.1029/2006GL027430.
- Knutson, T. R., J. L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J. P. Kossin, A. K. Srivastava, and M. Sugi, 2010: Tropical cyclones and climate change. *Nature Geosci.*, 3, 157-163, doi:10.1038/ngeo779.
- Kossin, J. P., K. R. Knapp, D. J. Vimont, R. J. Murnane and B. A. Harper, 2007: A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L04815, doi:10.1029/2006GL028836.
- Kubota, H., and J. C. L. Chan, 2009: Interdecadal variability of tropical cyclone landfall in the Philippines from 1902 to 2005. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L12802, doi: 10.1029/2009GL038108.
- Lau, K.-M., 1992: The East Asian summer monsoon rainfall variability and climate teleconnection. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 211-241.
- Lander, M. A., 1994: An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the Western North Pacific and ENSO. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 636-651.
- Lee, S.-S., P. N. Vinayachandran, K.-J. Ha, and J.-G. Jhun, 2010: Shift of peak in summer monsoon rainfall over Korea and its association with El Niño - Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 115, doi:10.1029/2009JD011717.
- Li, C., 1988: Frequent activities of stronger aertroughs in East Asia in wintertime and the occurrence of the El Niño event. *Sci. China (Ser. B)*, 31, 976-985.
- Li, J. P., and Q. C. Zeng, 2002: A unified monsoon index. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1274, doi: 10.1029/2001GL013874.
- Li, J. P., Z. W. Wu, Z. H. Jiang, and J. H. He, 2010: Can global warming strengthen the East Asian Summer Monsoon? *J. Climate*, 23, 6696-6705, doi:10.1175/2010JCLI3434.1

- Liu, K. S., and J. C. L. Chan, 2008: Interdecadal variability of western North Pacific tropical cyclone tracks. *J. Climate*, 21, 4464-4476.
- 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 productions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069-1079.
- 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, doi: 10.1007/s00382-003-0327-3.
- McPhaden, M. J., and D. Zhang, 2004: Pacific Ocean circulation rebounds. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18301, doi:10.1029/2004GL020727.
- Nitta, T., and S. Yamada, 1989: Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 375-383.
- Nitta, T., and Z.-Z. Hu, 1996: Summer climate variability in China and its association with 500 hPa height and tropical convection. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 74, 425-445.
- Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang, and J. Fang, 2010: The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467, 43-51.
- Qian, W. H., J. Fu, and Z. Yan, 2007: Decrease of light rain events in summer associated with a warming environment in China during 1961-2005. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L11705, doi: 10.1029/2007GL029631.
- Qian, W. H., Q. Hu, Y. F. Zhu, and D. K. Lee, 2003: Centennialscale dry-wet variations in east Asia. *Climate Dyn.*, 21, 77-89.
- Qiu, Y. Y., and W. D. Wang, 1984: Progresses in the research of medium-range prediction of cold surge. *Proceedings of Medium-Range Prediction of Cold Surge*, Peking University Press, 1-10.
- Ren, F., G. Wu, W. Dong, X. Wang, Y. Wang, W. Ai, and W. Li, 2006: Changes in tropical cyclone precipitation over China. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L20702, doi: 10.1029/2006GL027951.
- Ren, G., M. Xu, G. Tang, L. Zhang, H. Liu, P. Zhai, F. Ren, X. Zou, Z. Chu, J. Guo, X. Liu, Q. Li, Y. Wang, Z. Chen, and H. Yang, 2004: Climate Changes of the Past 100 Years in China. *China Climate Change Info-net*, <http://www.ccchina.gov.cn>.
- Shi, N., 1996: Features of the East Asian winter monsoon intensity on multiple time scale in recent 40 years and their relation to climate (in Chinese). *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 7, 175-182.
- Song, J.-J., Y. Wang, and L. Wu, 2010: Trend discrepancies among three best track data sets of western North Pacific tropical cyclones. *J. Geophys. Res.*, 115, D12128, doi: 10.1029/2009JD013058.

- Tian, S.-F., and T. Yasunari, 1992: Time and space structure of interannual variations in summer rainfall over China. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 70, 585-596.
- Trenberth, K. E., 1999: Conceptual Framework for Changes of Extremes of the Hydrological Cycle with Climate Change. *Climatic Change*, 42, 327-339.
- Trenberth, K. E., and J. W. Hurrell, 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Clim Dyn.*, 9, 303-319.
- 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.
- Wang, B., 1995: Interdecadal changes in El-Niño onset in the last four decades. *J. Climate*, 8, 267-285.
- Wang, B., and J. C. L. Chan, 2002: How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific. *J. Clim*, 15, 1643-1658.
- Wang, B., and LinHo, 2002: Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate*, 15, 386-398.
- Wang, B., Q. Ding, and J.-G. Jhun, 2006: Trends in Seoul (1778-2004) summer precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L15803.
- Wang, B., J.-G. Jhun, and B.-K. Moon, 2007: Variability and Singularity of Seoul, South Korea, Rainy Season (1778-2004). *J. Climate*, 20, 2572-2580.
- Wang, B., R. Wu, and K.-M. Lau, 2001: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, 15, 4073-4090
- Wang, H. J., 2001: The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's. *Adv. Atmos. Sci.*, 18, 376-386.
- Wang, X., L. Wu, F. Ren, Y. Wang, and W. Li, 2008: Influences of tropical cyclones on China during 1965-2004. *Adv. Atmos. Sci.*, 25, 417-426.
- Webster, P. J., and S. Yang, 1992: Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 118, 877-926.
- Webster, P. J., Holland, G.J., Curry, J.A. and Chang, H.-R., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.
- Webster, P. J., V. Magaña, T. Palmer, J. Shukla, R. Tomas, M. Yanai, and T. Yasunari, 1998: Monsoons: processes, predictability, and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, 103(C7), 14,451-14,510.
- Weng, H.-Y., K.-M. Lau, and Y. Xue, 1999: Multi-scale summer rainfall variability over China and its long-term link to global sea surface temperature variability. *J. Meteor. Soc. Japan*, 77, 845-857.
- World Meteorological Organization, 2011: 7th International Workshop on Tropical Cyclones

- (IWTC-VII). Saint-Gilles-Les-Bains, La Réunion, France, 15 - 20 November 2010. WMO/TD-No. 1561, 66 pp..
- Wu, M.-C., K.-H. Yeung, and W.-L. Chang, 2006: Trends in western North Pacific tropical cyclone intensity. *EOS*, 87, 537-548.
- Yoon, S.-J., 2010: Korean Climate Change Assessment Report 2010. Edited by Suk-Jo Lee, You-Deog Hong, Chang-Keun Song, Jeong-Ah Yu, Seung-Yeon Kim, 152pp.
- Yu, R., B. Wang, and T. Zhou, 2004: Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L22212, doi:10.1029/2004GL021270.
- Yumoto, M., and T. Matsuura, 2001: Interdecadal variability of tropical cyclone activity in the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 23-35.
- Zhai, P. M., X. Zhang, H. Wan, and X. Pan, 2004: Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J. Climate*, 18, 1096-1108.
- Zhang, X., F. W. Zwiers, G. C. Hegerl, F. H. Lambert, N. P. Gillett, S. Solomon, P. A. Stott, and T. Nozawa, 2007: Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, doi:10.1038/nature06025.
- Zhang, Z., Q. Zhang, and T. Jiang, 2007: Changing features of extreme precipitation in the Yangtze River basin during 1961-2002. *J. Geograph. Sci.*, 17, 33-42.
- Zhang, Q., C.-Y. Xu, S. Becker, Z.X. Zhang, Y.D. Chen, and M. Coulibaly, 2009: Trends and abrupt changes of precipitation maxima in the Pearl River basin, China. *Atmos. Sci. Lett.*, 10, 132-144.
- Zhou, T., R. Yu, H. Li, and B. Wang, 2008: Ocean forcing to changes in global monsoon precipitation over the recent half-century. *J. Climate*, 21, 3833-3852.
- Zhou, T., R. Yu, J. Zhang, H. Drange, C. Cassou, C. Deser, D. Hodson, E. Sanchez-Gomez, J. Li, N. Keenlyside, X. Xin, Y. Okumura, 2009: Why the Western Pacific subtropical high has extended westward since the late 1970s. *J. Climate*, 22, 2199-2215.

## Climate Changes in East Asia/Western North Pacific

**Yi-chao Wu<sup>1</sup> Huang-Hsiung Hsu<sup>2,3</sup> Joo-Hong Kim<sup>2</sup>  
Peng Liu<sup>2</sup> Pao-Chun Tang<sup>2</sup> Wei-Kai Huang<sup>2,3</sup>  
Chun-Kai Yang<sup>2,3</sup> Chia Chou<sup>3</sup> Chung-Hsiung Sui<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> National Science and Technology Center for Disaster Reduction

<sup>2</sup> Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

<sup>3</sup> Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica

<sup>4</sup> Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

(manuscript received 9 February 2012 ; in final form 4 May 2012)

### ABSTRACT

Located in the Asian Monsoon region, Taiwan's climate and weather are primarily influenced by two monsoon systems, the East Asian monsoon and the western North Pacific monsoon. To realize the climate change in the nearby regions of Taiwan, this study reviews the decadal, interdecadal variability, and the long-term trend of the climate in these two monsoon regions.

The climate changes in the East Asian Monsoon are summarized below.

- Over the past 50 years (since 1950s), the East Asian summer monsoon (EASM) shows a weakening trend. Some studies argue that the EASM does not actually weaken. Rather, it is the tendency for a southward shift of the summer rain belt that results in the seeming weakening of the EASM. Some studies argue that the EASM changes along with the occurrence of 1976/1977 climate regime shift, and that it is closely related to the variations in ENSO during that period.
- No matter over the past 100 years (1873-1995) or over the past 50 years (since 1950s), the East Asian winter monsoon exhibits a weakening trend.

The climate changes in the western North Pacific monsoon is represented by the changes in the formation, intensity, track, and associated precipitation and landfall activity of tropical cyclones. In a comprehensive review (Knutson et al. 2010), the World Meteorological Organization's (WMO) expert team on Climate change Impacts on Tropical Cyclones concluded that, given the limitation in the availability and



quality of global historical observation of tropical cyclones, it is still unsure whether past changes in tropical cyclone activity have exceeded the variability expected from natural causes. Identifying anthropogenic influences in tropical cyclone activity in the past is still unachievable currently.

The climate changes in the western North Pacific tropical cyclone activity are summarized below.

- The annual number of tropical cyclone exhibits prominent decadal variability over the past 60 years (since 1951) and a significant decreasing trend over the past 50 years (since 1961). However, no significant linear trend is found if a shorter period (since 1970) is considered.
- In terms of the changes in tropical cyclone intensity, some observational studies (Webster et al. 2005; Emanuel 2005) reported that the intensity and the number of intense tropical cyclone exhibited prominent upward trends, which were attributed to anthropogenic influences. The findings were contested by other studies, mainly due to the concern of data consistency and the short record length relative to the periods of interdecadal variability. With respect to above disagreements, the current consensus (Knutson et al. 2010) is that it is still not certain whether these past changes in the tropical cyclone intensity result from anthropogenic influences.
- Over the past 60 years (since 1960s), the tracks of tropical cyclone underwent two abrupt shifts. Both shifts occurred around two years later than the well-known Pacific climate regime shifts, the 1976-1977 event and the 1998 event.
- The number of tropical cyclones that make landfalls in the Philippines over the past 100 years (1902-2005) and that in the coastal regions of East Asia over the last 60 years (1945~2004) shows no significant linear trend.

The long-term trends of temperature and precipitation in East Asia and the western North Pacific are also examined. Since 1948, the land surface in East Asia (especially northern and eastern China) and the entire subtropical western North Pacific have warmed up significantly. While the temperature over the East Asia and the western North Pacific shows an overall warming trend, the precipitation exhibits remarkable regional differences. The trends are insignificant in most regions, however.

The study also reviews how the mean state and extremes of temperature and precipitation have changed in Japan, Korea, and China in the past to further illustrate the regional climate changes in East Asia.

**Key Words: East Asian monsoon, Western North Pacific monsoon, Tropical cyclone, Climate change**

