

熱帶太平洋地區大氣與海洋年際變異度研究：海溫、低層大氣與颱風

余嘉裕 花雲挺 涂建翊

中國文化大學大氣科學系

(中華民國八十六年六月二十日收稿；中華民國八十七年二月十二日定稿)

摘 要

本文利用 ECMWF/TOGA BASIC 大氣網格點資料、中央氣象局西太平洋颱風資料、COADS 海溫資料分析低層大氣、颱風與海溫年際變化間之關係。結果顯示，赤道太平洋海溫之年際變化基本上以 160°E 為界，呈東西反相位分佈，最大之海溫年際變異量發生在赤道東太平洋地區。另外透過海溫之波譜分析顯示，赤道太平洋海溫年際變化是由多重時間尺度現象所組成，其主要週期有二：一個是 25 個月左右的「準兩年週期震盪」；另一個則為 43~54 個月左右的「準四年週期震盪」。

大氣低層緯向風場、渦度場、輻散場、濕度場與海溫變化有密切之關係。當赤道太平洋海溫上升時，我們發現赤道太平洋上空之低層將產生西風異常；渦度場則以赤道為界，以北產生正渦度環流，以南產生負渦度環流；150E 以東之赤道及副熱帶地區低層大氣大多為輻合區所籠罩，主要輻散區則位於澳洲北部、印尼附近之西太平洋地區。另外低層大氣濕度明顯增加之區域基本上與年際海溫上升最大區域一致，亦即在赤道中太平洋和東太平洋地區。

我們也發現，中或強度 El Nino 之海溫增溫對於西太平洋強烈颱風之發生頻率與持續日數有顯著之影響，「El Nino 年」平均強烈颱風次數由氣候值之 9.5 個上升到 13 個，持續日數也由氣候值之 90 日上升到 142 日。然而，強度在中度以下之颱風年際變化受到 El Nino 海溫增溫影響極為有限，且較弱的海溫增溫（如弱和極弱 El Nino 個案）對颱風發生頻率和持續日數也沒有顯著影響。

關鍵詞：年際變異、海面溫度、El Nino、颱風

容量為陸地之 4 倍，使得海洋一直扮演著大氣運動能源儲槽以及氣候調節器之角色。在地球上所有大洋中，太平洋為覆蓋面積最廣的一個，約為大西洋和印度洋的三倍大，因此研究太平洋上大氣與海洋交互作用為近二十年來氣候研究之重心。事實上，大氣和海洋的交界面存在著不同時間和空間尺度的交互作用，透過這些交互作用大氣和海洋彼此交換動量和熱量。一般而言，海洋的運動速度遠比大氣來得緩慢，大氣和海洋系統間主要大尺度運動現象之頻率有顯著的差異，大範圍的大氣海洋交互作用並不易發生。然而大氣運動的時間尺度隨著緯度降低而增長，因此熱帶大氣低頻分量與海洋運動的時間尺度變得比較接近，也較容易發生大範圍的交互作用，其中熱帶 ENSO (El Nino/Southern Oscillation) 現象就是目前已知最著名的大氣海洋交互作用例子。

ENSO (El Nino/Southern Oscillation) 現象包含著熱帶海洋和大氣年際週期的變化，此種赤道地區熱源年際變化不僅影響熱帶地區，透過上層大氣的波動與大氣環流也將影響副熱帶甚至高緯度地區之氣候分佈。完整的描述 El Nino 事件需分成三部份，Rasmusson and Carpenter (1982) 分析 1949~1974 年間 6 個 El Nino 合成個案顯示：El Nino 發生之前一年年底，秘魯外海的季節性暖水並未隨時間減弱，其範圍反而逐漸向西伸展；在 El Nino 年的 6 月至同年年底期間，此擾動現象達最大強度，原位於赤道西太平洋區之暖水區開始東移至赤道中太平洋區；在 El Nino 年的下一年，海溫距平開始有最低值出現，此時稱之為「La Nina 年」。在大氣部份，原本強烈的低層東風自 El Nino 事件肇始之時即轉為微弱，赤道區西太平洋地面氣壓開始上升，中太平洋及東太平洋區地面氣壓則呈現明顯的下降趨勢。

近二十年來由於觀測技術的進步，透過對各種物理參數的分析，科學家對於 ENSO 現象的空間結構以及時間演變等特徵已有較為完整的認知。例如：Weare (1982) 對海面溫度、Barnett (1977) 對太平洋低緯低層風場、Chelliah and Arkin (1992) 對海平面氣壓與外逸長波輻射等各參數的分析都有助於我們揭開 El Nino 現象的神秘面紗。儘管我們對 El Nino 現象的形成機制已有初步的瞭解，然而我們對於 El Nino 出現週期之高度不規則性尚有預測上之困難，這點主要是因為 ENSO 現象包含了多重時間尺度之大氣海洋交互作用在內 (Jin et al. 1994; Jiang et al. 1995)，使得其產生機制遠較其他現象來得複雜。

許多觀測研究顯示，El Nino 現象雖起源於赤道東太平洋海溫異常增暖，但它對其他地區的氣候也有顯著之影響。Nitta (1987) 的報告指出，El Nino 為導致西太平洋的印尼、菲律賓和澳洲北部乾旱並使日本產生暖冬現象之原因。另外 Palmer and Brankovic (1989) 亦證實 ENSO 年後海面溫度的變化為造成 1988 年美國南部嚴重乾旱的主要原因之一。因此，了解東太平洋海溫異常與熱帶或甚至全球大氣環流間之關係，便成為近十年來短期氣候變遷研究的重要課題。本文利用長時間的網格點資料，分析海溫與低層大氣各參數間之時空關係，找出熱帶太平洋地區大氣與海洋主要的年際變異型態，以做為未來偶合動力模式研究之參考指標。

另外，鑑於熱帶太平洋地區海洋與大氣的低頻變異對低緯及副熱帶地區均有顯著的影響，加上有些研究也發現大西洋 (Gray 1984; O'Brien et al. 1996) 以及東太平洋 (Chu and Wang 1997) 颶風發生頻率及持續日數均與海溫的低頻變異有顯著的相關性，因此全球發生熱帶氣旋頻率最高的西太平洋地區，其颶風發生頻率

是否與赤道東太平洋海溫之年際變異有關，也是個值得我們深入探討的課題。

本文第二節描述研究所使用的海面溫度資料、大氣網格點資料與西太平洋颱風資料之形式、類別、來源及處理方式；第三節討論熱帶太平洋地區海溫之時間-空間特徵，包括單點相關分析、經驗正交函數分析、波譜分析之結果。第四節針對赤道太平洋地區低層大氣運動場與海溫之關係加以分析，分析參數包括低層風場、渦度場、輻散場與濕度場等。第五節探討太平洋海溫年際變異對西太平洋颱風發生頻率及持續日數間的影響，第六節則總結和討論本文之主要結果。

二、資料分析與研究方法

(一) 資料來源與結構

本文所採用資料包括 COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) 海面溫度 (SST) 資料、ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) 高空氣象資料、中央氣象局西北太平洋颱風資料。ECMWF 網格點資料解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯度，每日有兩筆觀測值 (00 及 12UTC)；COADS 網格點資料為 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 經緯度，為月平均值。分析區域為 $30^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}/100^{\circ}\text{E} \sim 60^{\circ}\text{W}$ ，分析時間為 COADS SST 資料的 1958~1990 年，ECMWF/WMO 的 1980~1985 年以及 ECMWF/TOGA 的 1985~1995 年。

中央氣象局之颱風資料起迄時間則為 1947~1995 年，內容包括颱風名稱、源地、路徑、強度等資料，範圍涵蓋從 100°E 到 160°W 之北半球地區，每六小時提供一次報告。颱風強度依中央氣象局之分類將風速介於 34~63 knots 者稱之為輕度颱風；介於 64~99 knots 者稱之為中度

颱風；大於 99 knots 以上者稱之為強烈颱風。在本文之研究中，視每一颱風生命史中之最大強度為該颱風分類基礎，例如某一颱風最大強度為中度，則吾人將該颱風之持續日數、頻率等資料歸類於中度颱風之統計樣本內。

另有 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 經緯網格的週平均 Reynolds 最佳內差海溫資料 (Reynolds Optimum Interpolation SST)，起迄時間為 1982~1995 年。由於此筆海溫資料之時空解析度較 COADS 高，因此吾人以此資料作為分析太平洋海溫與低層大氣間相關之基礎。

(二) 研究方法

本文中所用的分析方法皆為近代氣象統計中常用者，包括單點相關分析、經驗正交函數分析以及波譜分析等，關於上述統計方法之詳細內容可參考 Walpole and Myers (1978)，Brigham (1983) 以及 Johnson and Wichern (1982) 之說明。關於 NOAA 氣候預報中心依海溫對 ENSO 現象的敏感度 (Reynolds 1988) 將熱帶太平洋區分為三個變異中心作為指標海域，分別是秘魯外海的 Nino1+2 區 ($90^{\circ}\text{W} \sim 80^{\circ}\text{W}/10^{\circ}\text{S} \sim \text{EQ}$)、赤道東太平洋的 Nino3 區 ($150^{\circ}\text{W} \sim 90^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$) 以及赤道中太平洋的 Nino4 區 ($160^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$)。另外我們也採用 Gutzler (1996) 對西北太平洋暖池定義的 Nino5 區 ($120^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ ， $\text{EQ} \sim 20^{\circ}\text{N}$) 為分析之指標海域，各指標海域之相對地理位置如圖 1 所示。指標海域 Nino1+2、Nino3 和 Nino4 位於赤道太平洋海溫年際變化最明顯的區域，因此本文利用它們來討論熱帶太平洋地區大氣與海洋的低頻變異型態。

相關係數之求取及經驗正交函數運算所使用的海溫資料為 1982~1995 年共 14 年的週平均資料 (Reynolds OI-SST)，波譜分析則使用 1958~1990 年共 33 年的月平均海溫資料

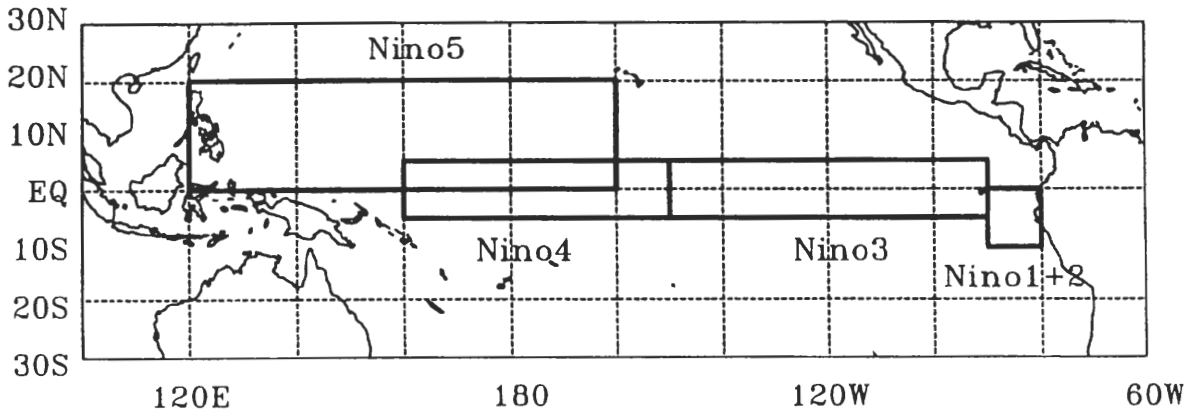


圖 1 根據 NOAA 及 Gutzler (1996) 所定義熱帶太平洋 Niño1+2, Niño3, Niño4 以及 Niño5 之地理位置。

(COADS SST)。

三、熱帶太平洋海溫時空特性分析

(一) 單點相關分析

有鑑於我們的著眼點在研究年際以上週期的部份，故我們首先將每月的海溫平均資料減去該月的氣候平均值得到距平值，以去除掉季節性效應的部份來孤立年際變異分量。圖 2 為去除季節循環效應後對 Niño1+2、Niño3 以及 Niño4 區域平均海溫所做之單點相關分析分佈。我們發現赤道太平洋海溫以 160°E 為界，呈東西向反相位分佈，這意味著當赤道東太平洋海溫增溫時，整個西太平洋地區海溫將同時下降，最大負值中心出現在菲律賓東方海面之 160°E/15°N 附近，顯示除東太平洋外，此處為海溫年際變化敏感度較大之地區。

(二) 經驗正交函數分析

為進一步瞭解赤道太平洋海溫之時空特徵，圖 3 和圖 4 分別顯示含季節循環和濾去季節循環分量之太平洋海溫前三個 EOF 特徵向量分

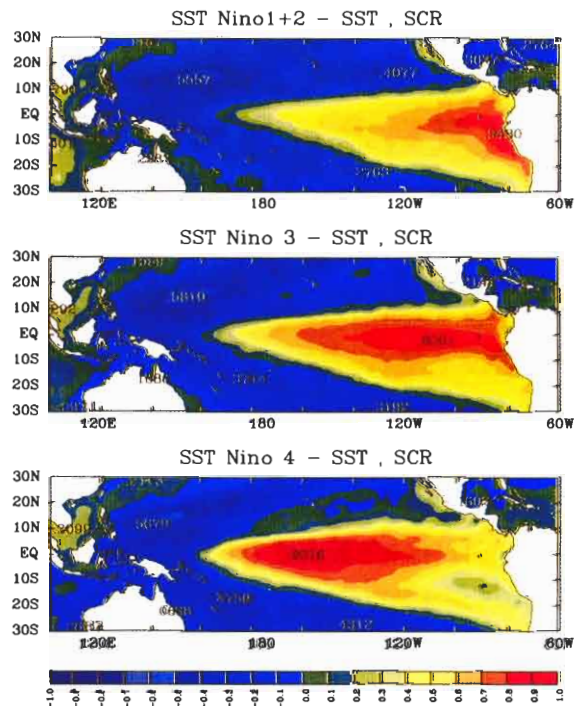


圖 2 濾除季節效應之熱帶太平洋海溫對 Niño1+2、Niño3、Niño4 區域平均海溫單點相關分佈圖。暖色系代表正值相關，冷色系代表負值相關，各顏色間隔 0.1。資料採用 Reynolds 1982-1995 年最佳內差 SST。

佈。含季節循環效應之前三個特徵向量(圖 3)所解釋的變異量分別為 74%、9.4%和 3%。第一個特徵向量 (EOF1) 等值線分佈除了赤道東太

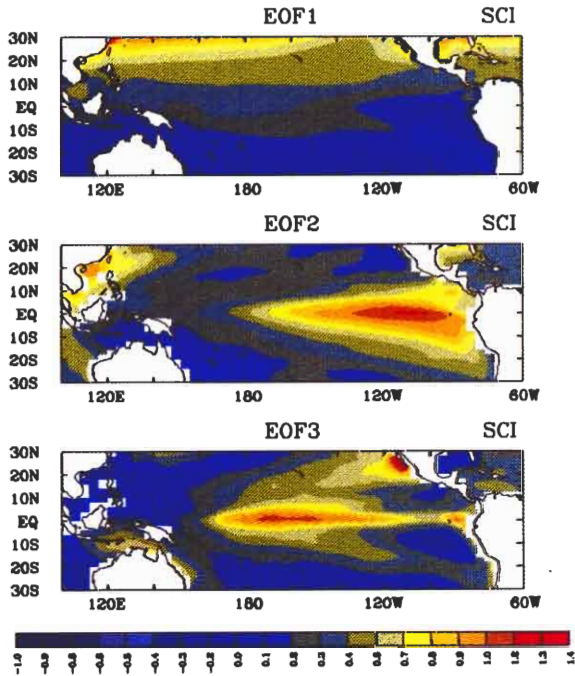


圖 3 含季節效應在內之熱帶太平洋海溫前三個經驗正交函數 (EOF) 分佈圖。圖中特徵向量值已被常態化 (normalized)，最大值為 1.4 (深紅色區) 而最小值為 -1.0 (深紫色區)，各顏色間隔 0.1。資料採用 COADS 1958-1990 年月平均 SST。

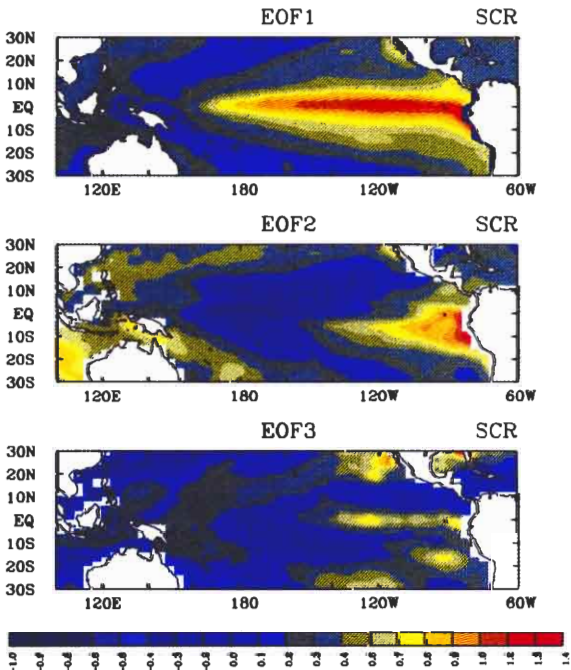


圖 4 同圖 3，但為濾除海溫季節效應後之前三個經驗正交函數分佈圖。

平洋部份地區外，多呈東西走向，海溫變異以赤道為分界呈南北反相位分佈，當北半球太平洋海溫升高(降低)時，南半球太平洋海溫將降低(升高)，由此可知 EOF1 所代表的是由季節性效應所主宰的變異量。

第二個特徵向量 (EOF2) 主要解釋海溫年際變異部份，這點在圖 4 的說明當中可得到印證。圖 3 之 EOF2 與 EOF1 比較有顯著之差異，最大正值變異中心位於赤道東太平洋之 110W/EQ 附近，與 NOAA 所定義的 Nino3 位置相當一致，表示該處為熱帶太平洋海溫年際變化最顯著之地區。副熱帶太平洋地區以及澳洲北部則顯示出負相位之關係，顯示該處海溫將在赤道東太平洋增溫之同時降溫，值得注意的是降溫區之降溫幅度僅為赤道東太平洋增溫幅度之四分之一到五分之一左右，以一般典型之 El Nino 事件中東太平洋海面增溫 4 °C 為例，西太平洋暖池海溫變化則小於 1 °C，振盪幅度相當有限。另一個與赤道東太平洋變異同相位區則由澳洲西部外海經南海往北延伸至台灣東方海面，其最大振幅約為赤道東太平洋之三分之一左右。在第三個特徵向量 (EOF3) 中出現兩個最大正值變異中心，兩者最大增溫幅度相當，其中範圍較大之中心位於 170°W/EQ 附近；另一中心則位於中美洲巴雅加利福尼亞半島西部外海。前者之位置與 Nino4 區相當一致，顯示除了赤道東太平洋地區外，赤道中太平洋亦為海溫年際變異較顯著地區之一；而後者為赤道外地區海溫增溫幅度最大之地區，或可解釋為何 El Nino 現象發生時，美國南加州和墨西哥西部發生颶風和豪雨機率大增之原因。負區則佔據了大部份副熱帶和西太平洋地區。

圖 4 為濾除季節循環效應之前三個特徵向量，所解釋的變異量分別為 53.50%、16.10%、

5.88%。由於季節循環效應已被濾除，因此圖中所示僅為年際變異分量。我們比較圖 4 之 EOF1 與圖 3 之 EOF1 發現兩者有相當大之差異，反倒類似圖 3 之 EOF2。正值區由南美秘魯外海沿赤道向西延伸至換日線附近，此種分佈與 El Nino 成熟階段海溫增溫距平分佈相當類似。值得注意的是，台灣附近的海溫變異和中太平洋地區是同相位的，此結果與王與胡（1994）分析 ENSO 年後春季西太平洋區海面溫度升高之結果一致。EOF2 最大正區位於 $5^{\circ}\text{S}/85^{\circ}\text{W}$ 附近，即位於 Nino1+2 定義區內，赤道中太平洋地區則為負值區所籠罩，最大負值中心位於赤道中太平洋之換日線附近。EOF3 解釋變異量相對小的許多，正負變異量之差距也較為不明顯。

（三）太平洋海溫之低頻波譜特性

為瞭解海溫變化之低頻特性，我們將濾掉季節循環後之 Nino1+2、Nino3 和 Nino4 區域平均海溫距平資料做時間波譜轉換，以孤立出年際以上週期的波譜特性（見圖 5）。Nino1+2 區之波譜分析（圖 5a）顯示出兩個局部最大強度週期，分別為週期 25 個月和 43 個月左右，此結果與 Jiang et al. (1995) 利用奇異波譜分析所辨識出 El Nino 中有準兩年（Quasi-biennial）和準四年（Quasi-quadrennial）週期特性相符。另外兩個強度較弱之局部最大值，其週期分別為 54 個月和 96 個月左右。Nino3 區之波譜（圖 5b）除了 54 個月週期強度較強外，與 Nino1+2 相當類似；Nino4 區之波譜（圖 5c）在準兩年週期強度明顯地減弱，反而在 54 個月週期波譜強度最強。

四、低層大氣與海溫之關係

由於海洋之低頻擾動部份透過熱通量之交換與低層大氣有顯著之交互作用，本節分析赤道

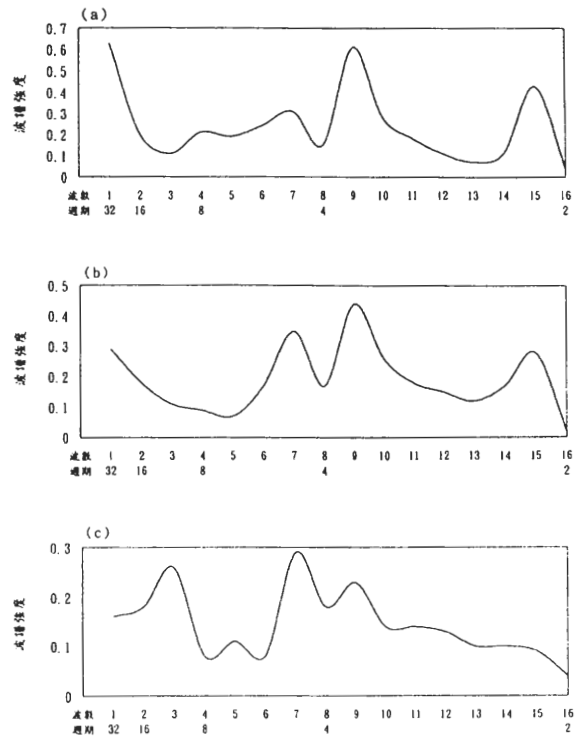


圖 5 濾除季節效應後 (a) Nino1+2、(b) Nino3 和 (c) Nino4 區域平均海溫之波譜特性。週期單位為年，波譜強度單位為 K。

太平洋地區低層大氣之風場（看旋轉風與輻散風）、濕度場與重力位高度場（質量場）等氣象參數之距平值與太平洋海溫之相關。由於吾人僅對年際變異現象有興趣，如同前節之分析，季節循環分量在此已被濾除。同時為避免近地面較小尺度現象干擾吾人之分析結果，我們取 850hPa 面上之低層氣象場代表低層大氣特性層。

（一）緯向風場與海溫

圖 6 顯示緯向風場與 Nino1+2（上圖）、Nino3（中圖）、Nino4（下圖）區域平均海溫之相關分佈。我們發現儘管所取之海溫基準點不同，但三圖之結果卻相當類似，高相關係數區皆集中在南北緯 10 度間之赤道區內。圖中顯示赤道太平洋上空之低層緯向風場對太平洋海溫變化最為敏感，當 El Nino 現象發生時，西起

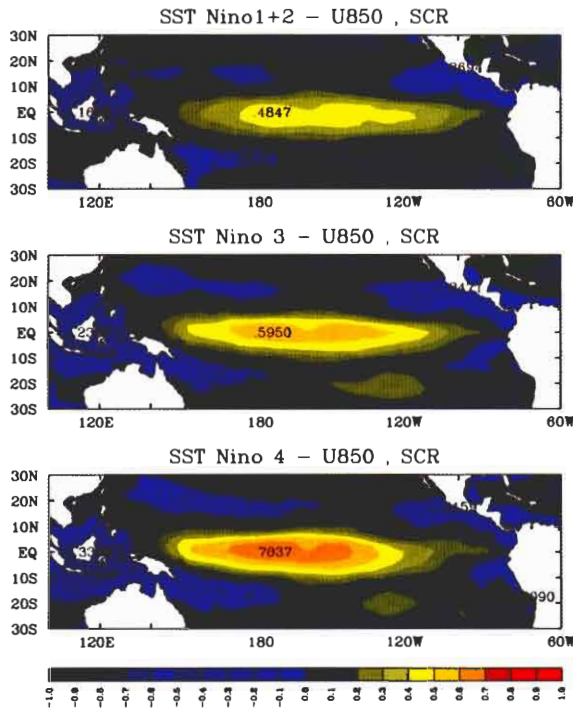


圖 6 濾除季節效應後 Nino1+2 (上圖)、Nino3 (中圖)和 Nino4 (下圖)區域平均海溫與低層 (850 hPa) 緯向風場之相關。暖色系代表正值相關，冷色系代表負值相關，各顏色間隔 0.1。

140°E，東到 80°W 之赤道太平洋上空之低層西風異常將增強，最大西風異常區發生在 170°W 之赤道上空，此結果與 El Nino 年中太平洋上空經常觀測到之西風暴潮 (westerly wind burst) 現象一致 (張育瑜 1994)。副熱帶地區相關係數均極小，最大的正相關出現在 170°W/EQ 的位置。澳洲北部、印尼以及南中國海一帶則為負相關區，然相關係數偏小，亦即赤道東太平洋海溫上升時，該處將有微弱東風異常現象發生。

(二) 渦度場與海溫

渦度場常用以量度熱帶大氣低層低壓擾動強度，因此探討渦度場與海溫之相關有助於瞭解西北太平洋颱風發生次數之年際變化情形。圖 7 分析大氣低層渦度場與太平洋 Nino1+2、Nino3、Nino4 海溫之相關。在所有分析圖中，

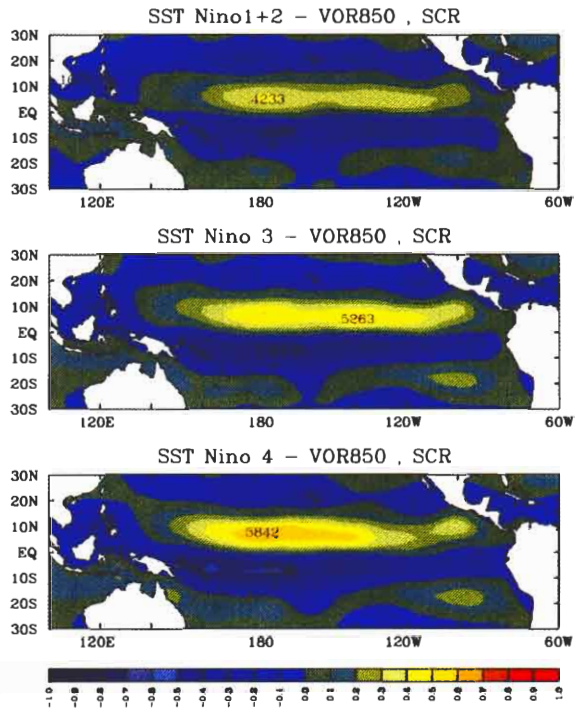


圖 7 同圖 6，但為與低層 (850 hPa) 渦度場之相關。

吾人發現主要正值區位於北半球 20N~EQ 範圍間，東西向則涵蓋整個太平洋盆地。除了 Nino3 (中圖) 外，最大正值中心位於赤道換日線附近。這代表當 El Nino 發生時，由 140°E 以東之熱帶北太平洋地區之低層正渦度擾動將增加，最大正渦度擾動中心位於中太平洋附近。南半球 20°S~Eq 及北半球副熱帶地區則由負區所籠罩，其他包括印尼、南中國海等處之相關係數則偏低。

(三) 輻散場與海溫

圖 8 為 Nino1+2，Nino3 與 Nino4 三區海溫與低層輻散場的相關係數分佈。我們發現除了少數地區外，自 150°E 以東之熱帶地區皆為負值區所籠罩，熱帶西太平洋地區則由正值區所主宰。這代表當 El Nino 發生時，由 140°E 以東之熱帶北太平洋地區將產生輻合擾動，而熱帶西太平洋則產生輻散擾動。此結果與觀測中，對流雨

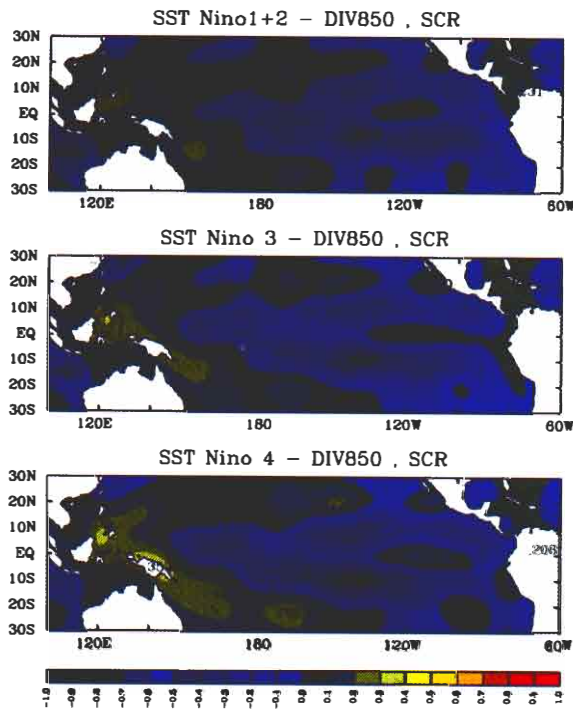


圖 8 同圖 6，但為與低層（850 hPa）輻散場之相關。

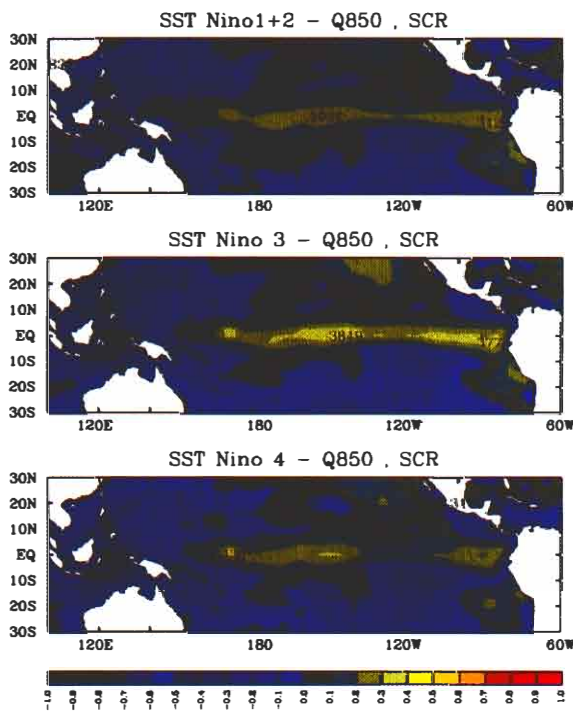


圖 9 同圖 6，但為與低層（850 hPa）濕度場之相關。

帶自印度洋和西太平洋東移到中太平洋地區造成該區豪雨機會大增，澳洲、印尼、菲律賓產生乾旱之結果相符。另外，南半球 20°S~EQ 及北半球副熱帶地區則由負區所籠罩，其他包括印尼、南中國海等處之相關係數則偏低。

（四）濕度場與海溫

圖 9 為濕度場與太平洋 Nino1+2、Nino3、Nino4 三區海溫之相關分佈。我們發現低層大氣濕度場在赤道地區對海溫年際變異最為敏感，當東太平洋海溫增加時，自 140°E 以東到南美秘魯外海之赤道上空，大氣之濕度場皆有明顯之增加，在熱帶西太平洋地區大氣之濕度場也有顯著之減少，此結果與前二小節之結果相當一致。

五、西太平洋颱風與海溫之關係

氣象學家早已知曉溫暖洋面為颱風形成必要條件之一，探討海溫變化對熱帶氣旋活動的影響也一直是熱帶氣象學之重要研究領域。Gray（1984）以及 Goldenberg and Shapiro（1996）分析大西洋颶風發生頻率與 El Nino 之關係皆發現，El Nino 所伴隨的東太平洋海溫升高會對大西洋颶風發生頻率產生抑制作用。Gray（1984）認為 ENSO 年後，加勒比海區域高對流層的西風垂直風切增加抑制該區高對流層反氣旋環流為造成西洋颶風發生頻率減少之主要因素。

鑑於西太平洋地區為全球颱風發生頻率最高之處，颱風所帶來的豪雨又往往為臺灣地區造成嚴重的氣象災害，故了解西太平洋地區颱風發生頻率與海溫年際變化（特別是 El Nino 現象）間之關係對台灣而言相當重要。由於伴隨 El Nino 之東太平洋海溫增溫往往在四、五月時間

始，而在十二月到隔年一月間到達尖峰，因此大氣和海洋科學家所稱之 El Nino 事件往往延跨兩個年度，如 1982/83、1987/88、1997/98 年之 El Nino 事件等。然西太平洋颱風多發生在北半球夏季，在 El Nino 事件之第二年夏天時，東太平洋海溫往往已經回復到正常狀態或者偏冷。為了本研究之目的，本文所定義之「El Nino 年」係指東太平洋海溫開始暖化之年，如 1982、1987、1997 年等，而「La Nina 年」則指「El Nino 年」後之次一年。文中 El Nino 強度指標與 Gray (1984) 同，皆依 Quinn et al. (1978) 之建議分爲「強」、「中」、「弱」、「極弱」四級。

圖 10 統計西元 1947~1995 年共 49 年間，發生在西北太平洋地區之颱風頻率年際分佈狀況，圖中同時標示著不同強度之 El Nino 年份。我們發現中度（含）以上之 El Nino 事件對強烈颱風發生頻率有顯著之影響，除了 1957 年外，1953、1965、1972、1976、1982、1987 年等六次中或強度以上 El Nino 事件發生時，該年

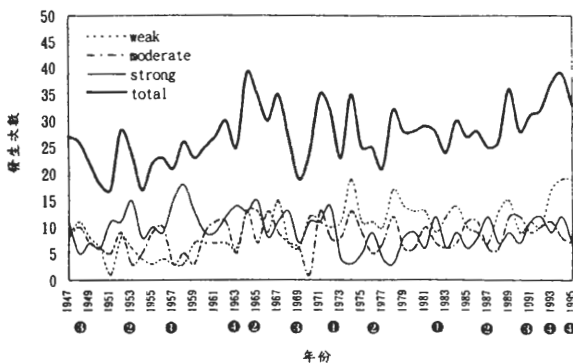


圖 10 1947 到 1995 間，西太平洋地區颱風頻率之年際分佈。圖中點線代表輕度颱風之發生次數；點虛線代表中度颱風之發生次數；細實線代表強烈颱風之發生次數；粗實線則代表所有類型颱風之總發生次數。年份軸（x 軸）上另標有「El Nino 年」強度符號，分別以 1 代表強烈、2 代表中度、3 代表弱、4 代表極弱。

強烈颱風次數皆較鄰近年顯著地增加。上述 7 個「El Nino 年」平均每年發生 13 個強烈颱風，比氣候值（9.5 個）超出 3.5 個之多。較弱之 El Nino 事件顯然與強烈颱風發生頻率沒有統計上之關聯，輕度和中度颱風發生頻率和 El Nino 事件也無一致的相關性，這些特徵導致颱風發生總頻率（粗實線）與「El Nino 年」間之相關性偏低。

圖 11 統計同時期、同地區所有颱風持續日數之年際分佈。我們發現中度（含）以上之 El Nino 事件對強烈颱風持續日數有顯著之影響，所有中度（含）以上 El Nino 事件（七次）發生時，該年強烈颱風持續日數皆有顯著的增加。上述 7 個「El Nino 年」平均強烈颱風持續日數每年為 142 日，比氣候值（90 日）超出 52 日之多，輕度和中度颱風持續日數和 El Nino 事件之相關則明顯地小很多。由於強烈颱風之持續日數遠大於中度以及輕度颱風，因此中強「El Nino 年」時之颱風總持續日數（粗實線）也比其他年高出許多。

由以上分析顯示，中、強程度之 El Nino 現象對西太平洋強烈颱風發生之頻率和持續日數有顯著之影響，表示若赤道東太平洋海溫變化

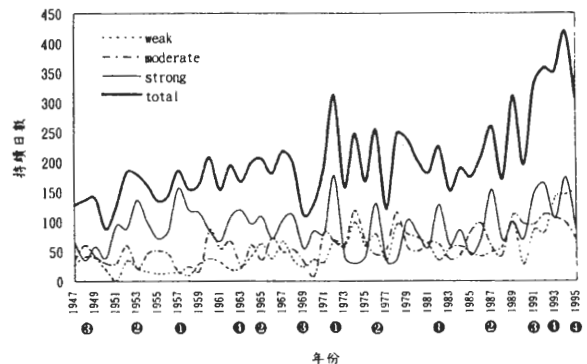


圖 11 同圖 10，但為颱風持續日數之年際分佈，颱風持續日數之定義見 2.1 節說明。

夠大時，即足以影響西太平洋強烈颱風之活躍程度。為瞭解西太平洋強烈颱風發生之源地與海溫變化之關係，我們需要強烈颱風發生源地以及發生頻率之地理分佈。圖 12 顯示 49 年間強烈颱風發生源地之分佈，我們發現西太平洋颱風源地大多侷限於北緯 5~20 度、東經 120~180 度之間，該處佔了所有颱風次數之 90 % 以上。由於該範圍位於太平洋暖池 (warm pool) 區，年平均海溫大多在 28 °C 以上，有些地區在夏季甚至超過 30 °C，因此提供了颱風形成的良好條件。

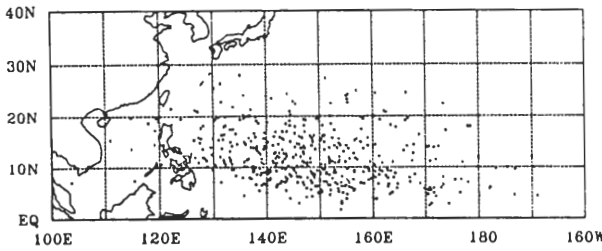


圖 12 1947 到 1995 間，西太平洋地區強烈颱風發生源地散佈圖。

為進一步瞭解「 El Nino 年」強烈颱風次數增多之原因，我們比較了前述 7 個較強之「 El Nino 年」、「 La Nina 年」以及「一般年」(neutral year) 強烈颱風發生源地分佈情形。由於地理上東經 150 度將西太平洋一分為二，因此我們以它為參考線分析颱風源地和 El Nino 現象間之關係。在圖 13 中，我們發現「 El Nino 年」(圖 13a) 時，西太平洋之東半部(東經 150 度以東) 颱風發生頻率與氣候平均值比較有增加之趨勢；而「 La Nina 年」(圖 13b) 和一般年(圖 13c) 時，颱風主要發生在西太平洋之西半部(東經 150 度以西)。這點可由圖 14 得到證實，在「一般年」平均每年有 8.8 個強烈颱風發生在西太平洋地區，其中西半部每年 5.4 個，而東半部每年有 3.4 個，此點與「 La Nina 年」相類似，皆是西半部頻率高於東半部。然而在「 El Nino 年」時，此種情形有顯著的改變，特別是在中、

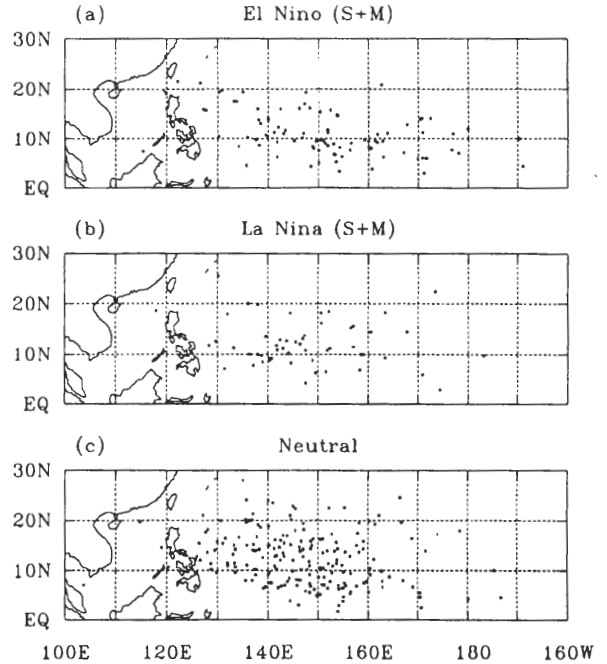


圖 13 同圖 12，但只統計 (a) 中強「 El Nino 年」、(b) 中強「 La Nina 年」以及 (c) 「一般年」強烈颱風發生源地。符號 S、M、W 分別代表強、中、弱「 El Nino 年」。

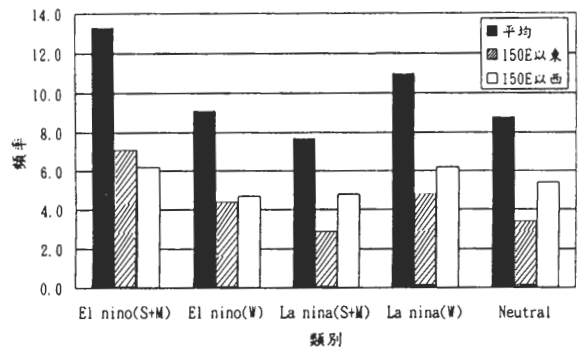


圖 14 強烈颱風發生頻率長條圖，符號 S、M、W 意義同圖 13。圖由左至右將頻率劃分成中強和弱「 El Nino 年」、中強和弱「 La Nina 年」以及「一般年」等五類，其中頻率係指年平均次數。

強程度之「 El Nino 年」，東經 150 以東之地區其強烈颱風發生次數有顯著的成長，由每年平均 3.4 次驟增為 7.1 次，而東經 150 以西之地區僅由每年平均 5.4 次增長為 6.2 次。由此可知，「 El Nino 年」西太平洋強烈颱風發生頻率及持續日

數之顯著增加，主要是西太平洋東半部增加的貢獻。

六、討論與總結

許多研究結果顯示，熱帶太平洋地區大氣熱源變化與熱帶甚至中高緯度地區大氣環流年際變異（interannual variability）或者短期氣候變化有密切之關係。由於熱帶太平洋地區熱源的變化主要受到海面溫度所主宰，特別是 El Nino 現象所造成之赤道東太平洋海面增溫重新分配了熱源的分佈，因此探討熱帶太平洋地區海溫年際變異與大氣間之關係，對於增進吾人對大氣環流年際變異分佈特徵有重要的助益。本文之研究目的即在瞭解海溫年際變化與大氣海洋交界面附近主要物理參數間之相關，以期找出熱帶大氣與海洋系統中主要年際變異型態。另外，西太平洋颱風發生頻率以及持續日數與赤道太平洋海溫間之關係也在本文中詳細討論。

單點相關分析結果顯示，赤道太平洋區海溫之年際變化基本上以東經 160°E 為界，呈東西反相位分佈。透過經驗正交函數分析也發現，最大之海溫年際變異量發生在赤道東太平洋地區，多數熱帶西太平洋及副熱帶地區呈現反相位分佈，然而東太平洋海溫年際變異振幅遠大於西太平洋地區，前者約為後者之 10 倍（見圖 2）。海溫的 EOF 分析也顯示，台灣和台灣東部海面之年際變異與赤道東太平洋地區同相位，亦即赤道東太平洋海溫升高時，台灣附近海面將些許增溫，此結果與王與胡（1994）分析 ENSO 年後春季西太平洋區海溫之結果一致。

另外在海溫的波譜分析方面，我們發現赤道太平洋海溫年際變化週期主要有二：一為 25 個月左右的準兩年週期震盪（quasi-biennial oscillation）；另一為 43-54 個月左右的準四年

週期震盪（quasi-quadrennial oscillation）。此結果顯示太平洋海溫年際變異是由多重時間尺度現象所組成，此點與 ENSO 現象週期之高度不規則性有密切之關係（Jiang 1995; Jin et al. 1995）。

在低層大氣與海溫年際變異分析方面，我們發現大氣低層緯向風場、渦度場、輻散場、濕度場與海溫變化有密切之關係。當赤道東太平洋海溫上升時，赤道中太平洋上空之低層大氣將產生西風異常，減弱緯向沃克環流（Walker Circulation）強度。渦度場則以赤道為界，當赤道太平洋海溫上升時，赤道以北產生正渦度環流，赤道以南產生負渦度環流。在輻散場分析方面，當赤道太平洋海溫上升時，150°E 以東之赤道及副熱帶地區低層大氣大多為輻合區所籠罩，主要輻散區則位於澳洲北部、印尼附近之西太平洋地區。另外低層大氣濕度明顯增加之區域基本上與年際海溫上升最大區域一致，亦即在赤道中和東太平洋地區。

在颱風和海溫相關分析方面，我們發現較顯著的東太平洋海溫增溫（如中度或強度 El Nino 個案）對於西太平洋強烈颱風發生頻率與持續日數有顯著之影響。當中、強 El Nino 現象發生時，該年強烈颱風次數由氣候平均每年 9.5 個上升到每年 13 個；強烈颱風持續日數也由氣候平均每年 90 日上升到每年 142 日。比較了「El Nino 年」和其他年份颱風源地之差異，我們發現 150°E 以東地區強烈颱風發生頻率大增，為造成「El Nino 年」颱風次數顯著增加之主要原因，此結果應與太平洋暖池（warm pool）於「El Nino 年」往東延伸有密切關係。另外我們的分析結果也顯示，強度在中度以下之颱風年際變化受到赤道東太平洋海溫增溫影響極為有限，而較弱的海溫增溫（如弱和極弱 El Nino 個案）對颱風發生頻率和持續日數也沒有顯著影響。

誌 謝

本研究由國科會計畫 NSC-86-2111-M-034-002 部份資助完成。作者感謝國科會副熱帶資料庫以及中央氣象局王時鼎先生惠予提供研究所需資料，方便本文得以順利完成。另外研究期間劉廣英教授和徐月娟博士提供不少寶貴意見，許博舜先生對繪圖之協助也在此一併致謝。最後作者要感謝兩位審查委員所提供的意見，提昇本文的可讀性。本研究所需計算機資源由文化大學大氣科學系所提供。

參考文獻

- 王作台與胡志文，1994: ENSO 年後春季東亞大氣特性之分析。第一部份：海溫與外逸長波輻射特徵。大氣科學，22, 339-360。
- 張育瑜，1994：TOGA COARE 期間西風暴潮特性之分析，中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- Barnett, T. P., 1977: The principal time and space scales of the Pacific trade wind fields. *J. Atmos. Sci.*, 34, 221-236.
- Brigham, E. O., 1983: The Fast Fourier Transform. Prentice Hall, 252pp.
- Chelliah, M., and P. Arkin, 1992: Large-scale interannual variability of monthly outgoing longwave radiation anomalies over the global tropics. *J. Climate*, 5, 371-389.
- Chu, P.-S., and J. Wang, 1997: Tropical cyclone occurrences in the vicinity of Hawaii: Are the differences between El Nino and non-El Nino years significant? *J. Climate*, 10, 2683-2689.
- Goldenberg, S. B., and L. J. Shapiro, 1996: Physical mechanisms for the association of El Nino and west African rainfall with Atlantic major hurricane activity. *J. Climate*, 9, 1169-1187.
- Gray, W. M., 1984: Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Nino and 30 mb quasi-biennial oscillation influences. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1649-1668.
- Gutzler, D. S., 1996: Low-frequency ocean-atmosphere variability across the tropical western Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 53, 2773-2802.
- Jiang, N., J. D. Neelin, and M. Ghil, 1995: Quasi-quadrennial and quasi-biennial variability in the equatorial Pacific. *Climate Dyn.*, 12, 101-112.
- Jin, F.-F., J. D. Neelin, and M. Ghil, 1994: El Nino on the "Devil's Staircase": Annual subharmonic steps to chaos. *Sciences*, 264, 70-72.
- Johnson, R. A., and D. W. Wichern, 1982: Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, 594pp.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373-390.
- O'Brien, J. J., T. S. Richards, and A. C. Davis, 1996: The effect of El Nino on US landfalling hurricanes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 773-774.
- Palmer, T. N., and C. Brankovic, 1989: The 1988 US drought linked to anomalous sea surface temperature. *Nature*, 338, 54-57.
- Quinn, W. H., D. O. Zopf, K. S. Short, and R. T. W. Kuo Yang, 1978: Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Nino, and Indonesian droughts. *Fish. Bull.*, 76, 663-678.
- Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.
- Reynolds, R. W., 1988: A real-time global sea surface temperature analysis. *J. Climate*, 1, 75-86.
- Walpole, R. E., and R. H. Myers, 1978: Probability and Statistics for Engineers and Scientists. MacMillan Publishing Co., 580pp.
- Weare, B. C., 1982: El Nino and tropical Pacific ocean surface temperature. *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 17-27.

The Interannual Variability of the Atmosphere and Ocean in the Tropical Pacific Region : Sea Surface Temperature, Low-Level Atmosphere, and Typhoons

Jia-Yuh Yu Yuin-Ting Hua Jien-Yi Tu

Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

(Manuscript received 20 June 1997 , in final form 12 February 1998)

ABSTRACT

Long period of the ECMWF/TOGA BASIC atmospheric grid data , CWB typhoon reports, and COADS sea surface temperature (SST) data are used to study the relation between low-level atmosphere, typhoon activities and the tropical Pacific SST. Our study indicates that the interannual pattern of SST exhibits opposite phase relation between eastern and western Pacific. Spectra of SST indicate multiple time scale characteristics in the eastern Pacific, with two dominant periods: the 25 months “quasi-biennial oscillation” and the 43-54 months “quasi-quadrennial oscillation”.

The zonal wind, vorticity, divergence, and specific humidity of the low-level atmosphere are highly related to the SST variations. The warming of the equatorial Pacific SST induced low-level westerly wind anomaly over warm SST, along with positive low-level vorticity anomaly to the north of the equator and negative to the south. The eastern Pacific SST warming also causes significant low-level convergence anomaly and low-level moisture increase over warm SST, while results in low-level divergence anomaly in the equatorial western Pacific.

Our study also confirms that the frequency and duration days of strong typhoons in the western Pacific are strongly influenced by moderate and strong El Nino warming episodes. The number of strong typhoons increases from 9.5 times per year on the average to 13 times per year during the “El Nino years”; while the

related to the SST variations. The warming of the equatorial Pacific SST induced low-level westerly wind anomaly over warm SST, along with positive low-level vorticity anomaly to the north of the equator and negative to the south. The eastern Pacific SST warming also causes significant low-level convergence anomaly and low-level moisture increase over warm SST, while results in low-level divergence anomaly in the equatorial western Pacific.

Our study also confirms that the frequency and duration days of strong typhoons in the western Pacific are strongly influenced by moderate and strong El Nino warming episodes. The number of strong typhoons increases from 9.5 times per year on the average to 13 times per year during the “El Nino years”; while the duration days of strong typhoons increase from 90 days on the average to 142 days per year during the “El Nino years”. Moderate and weak typhoons, however, are much less influenced by the SST, and the weak El Nino episodes do not show significant impact on the occurrence frequency and duration days of any typhoon activities.

Key words: Interannual variability, Sea surface temperature, El Nino, Typhoon.