

台灣與全球雨量長期變化研究(二)： 亞澳季風區一至三月雨量年際變化

盧孟明 麥如俊

中央氣象局氣象科技中心

(中華民國九十一年八月二十六日投稿；中華民國九十二年九月一日定稿)

摘 要

分析了 Dai 全球陸上降水格點資料(1920-95)我們發現台灣一至三月降雨的年際變化和西太平洋群島(關島附近)與澳洲西北部的降雨變化顯著相關。藉由 NCEP/NCAR 重分析資料的可降水量之佐證，我們歸納出三種降雨類型：類型一是台灣偏濕，菲律賓海與熱帶西太平洋和澳洲西北偏乾；類型二則是台灣偏乾，另兩地偏濕；類型七是台灣和澳洲西北偏乾，菲律賓海與熱帶西太平洋偏濕。環流分析結果指出，類型一的出現主要是 El Niño 造成的，而類型二與類型七都發生在菲律賓海與熱帶西北太平洋上對流運動比較活躍的時候，有二分之一的個案發生在 La Niña 年。伴隨類型二的重要低層環流特徵為從東亞與中緯度西北太平洋伸入菲律賓海和赤道西太平洋的低壓深槽，此深槽可加強跨赤道流。和類型二相比，類型七在菲律賓海上也有低壓環流，然而尺度較小。

亞澳季風區海平面氣壓場的 EOF 分析結果顯示赤道太平洋海溫的年際與年代際變化對這個區域的大氣有不同的影響。伴隨 ENSO 年代際變化，赤道西太平洋和澳洲東部的海平面氣壓場有升高的趨勢，下沉氣流增強。此一趨勢對於類型一的出現頻率影響並不大，對於類型二、七的出現影響也有限。顯示形成類型一雨型的主要因子仍是 ENSO 的年際變化，而 La Niña 不是類型二、七的形成主因。類型二、七雨型的形成可能決定於菲律賓海和赤道西太平洋上低層低壓環流的尺度大小。

關鍵詞：台灣冬雨，台灣冬雨與聖嬰現象，亞澳季風系統

一、前 言

本文是兩篇相關論文的第二篇，在前一篇論文(盧與麥 2003)我們分析的重點是台灣雨量

長期變化趨勢季節特徵，結果發現亞澳季風區從澳洲往北經印尼、台灣一直到華北、日韓這些海陸交錯與近海區域的雨量變化在南北方向

上特徵相當複雜，季節性差異非常明顯。同時，我們也發現台灣冬季與春季降雨有明顯的年代際變化，和 PDO(Pacific Decadal Oscillations)的相位變化有相當高的類似性。因為全球陸地雨量在台灣附近的資料和測站相比以一至三月相似程度最高，PDO 和天氣系統的關係也以冬季比較明顯(Nakamura et al. 2002)，因此我們覺得有必要進一步針對亞澳季風區的一至三月來探討台灣雨量年際變化與其他地方的變化關係如何，藉此對控制台灣雨量變化的可能因子提出論述。

關於台灣一至三月雨量長期變化的研究並不多。一些研究發現(許與陳 1994, 廖 1995, 吳與陳 1996, 盧 2000)一至三月的雨量受到 ENSO(El Niño/Southern Oscillation)影響相當明顯，El Niño 年之後有偏濕傾向，La Niña 年之後偏乾。Lu (2002)發現台灣一至三月雨量有準雙年振盪的訊號，這個訊號在 1982 年之後比 1982 年之前明顯，有可能是在 ENSO 的準雙年振盪與南海海溫偏高兩種因素的作用下激發的。本文的主要目的是辨識重複出現的亞澳季風區內與台灣相關的一至三月雨量年際變化特殊型態，並研判這些型態與 ENSO 的關係。論文架構如下：第二章將介紹我們所使用的資料，第三章是以盧與麥(2003)為背景進行亞澳季風區一至三月降雨的相關係數分析，並提出三個與台灣相關的亞澳季風雨型，第四章要藉由合成分析和主成分分析法 EOF 進一步驗證三個雨型的確實性，並根據環流特徵檢視他們的合理性。第五章是綜合分析與結論。

二、資 料

本文使用的 Dai et al. (1997)全球降水格點

資料解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ，資料長度為 1900-95 年，但因受限於各個測站的觀測情形，以全球平均而言 1951-90 年的資料較為完整。這一套資料乃是根據陸地測站資料經客觀分析轉換，並且依據 1951-79 氣候值計算成雨量距平。關於資料的分析與品質方法在 Dai et al. (1997)中有詳細的說明。盧與麥(2003)仔細檢查過這一套降水資料與台灣測站資料的相關性，發現兩組資料在冬季相關性較高，其中又以二月的相關係數最高。因此，本文將僅專注於討論台灣一至三月累積雨量的年際變化。

除了降雨資料之外，本文還使用了 1949-2001 年的 NCEP/NCAR 重分析資料(Kalnay et al. 1996)月平均場量。重分析資料中可降水量 (precipitable water) 是對流層的整層大氣所含水氣積分而得的，雖然與實際降雨有段差距，但是因為 NCEP/NCAR 重分析資料是目前世界上唯一長度在三十年以上，可免費取得，並且與觀測資料最接近的完整全球氣候格點資料，可降水量又是和雨量最類似的模式固有變數 (intrinsic variables)，因此了解它的年際變化有助於增進對區域降雨和大尺度氣候變異關係的認識。此外，我們也將各組資料與 CMAP (Xie and Arkin 1997) 做過比較，發現 NCEP/NCAR 重分析的可降水量變異度在東南亞的冬季有相當高的代表性，但是對夏季的代表性甚弱。

三、相關係數分析

本文的分析範圍以亞澳季風區為主，經度從 60°E 到 160°E ，緯度 50°S - 50°N 。在資料的前置處理方面，為避免因資料長度不同而造成的誤差，我們僅考慮篩選出的資料完整之格點，選取標準是 1920-95 年當中至少要有連續的 50

年完整資料並缺資料比例不超過 10%。首先，計算 Dai 降水資料 (簡稱為 Dai) 在台灣附近 110°-125°E 和 20°-30°N 範圍內資料完整的 29 個格點的平均值 (簡稱為 TWN) 與亞澳季風區內的格點資料做相關係數分析。步驟如下：先以每 9 個格點為單位計算逐點與 TWN 的相關係數，若有 3 點以上滿足前述之完整性選擇標準，則以合於選擇標準的格點平均值代表 9 點的中心點雨量，然後計算該點與 TWN 的相關係數，顯著性達 1%和 10%的格點標示在圖 1。圖 1 顯示除了華南、琉球和日本東南部與台灣

雨量有明顯的正相關關係之外，菲律賓南方與東馬、菲律賓海上關島附近以及澳洲西北濱海區域和台灣雨量關係是明顯負相關。根據相關係數分析結果，我們把顯著性達 1% (參圖 1) 在菲律賓南方與東馬一帶的格點平均值稱為 Area1W，菲律賓海關島附近的格點平均值稱為 Area1E，澳洲西北濱海區域的格點平均值稱為 Area2，另外以 Area1 代表 Area1W 與 Area1E 的平均值，各個區域之間的相關係數列於表一。如我們在圖 1 所見，表一中的幾個區域和台灣都有顯著的負相關關係，其中以 Area1 和台灣

1920-1995 JFM, TWN Area Mean v.s. Global Grids Correlation Coefficients
(Large Triangle For 99% Confidence Level, Small Triangle For 90% Confidence Level)

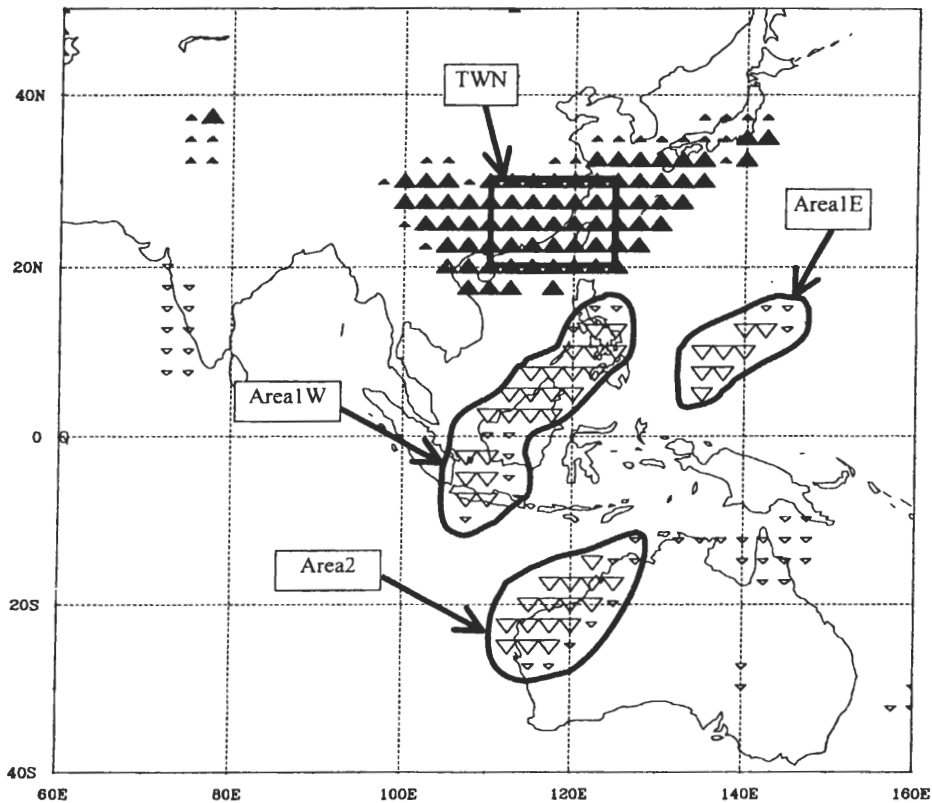


圖 1 按 Dai 資料之 1920-1995 年一至三月平均之可降水量，計算出 TWN(圖中黑色框線區) 區域平均可降水量與全球所有格點相關性較顯著之區域。各格點代表該點與周圍八點之區域平均值。正相關以符號▲表示;負相關以▽符號表示。滿足統計測試 90%信心度以上以小三角形表示，滿足統計測試 99%信心度以上則以大三角形表示。

表一 1920-95 的 Dai 雨量資料在台灣(TWN)、南海東部(ArealW)、西太平洋群島關島附近(ArealE)、澳洲西部偏北(Area2)、Areal(ArealW 與 ArealE 平均)五個區域的相關係數。按 1920-95 與 1949-95 計算顯著性均達 0.01 者以***標示之。

	TWN	Areal1W	Areal1E	Area1	Area2
TWN	1	-0.59***	-0.41***	-0.61***	-0.55***
Area1W		1	0.44***	0.94***	0.23
Area1E			1	0.72***	0.45***
Area1				1	0.35
Area2					1

表二 根據台灣(TWN)和西太平洋群島關島附近(ArealE)、澳洲西部偏北(Area2)相關性所歸納出的與台灣一至三月累積降雨相關的四種降雨類型。表中(+) 表示正距平, (-) 表負距平; 年份的上標(E) 表示 El Niño, (L)表示 La Niña。

	YEARS			
	TWN	ArealE	Area2	
Type-1	+	-	-	52, 57, 58 ^E , 59 ^E , 64, 69 ^E , 70 ^E , 83 ^E , 88 ^E , 90, 92 ^E
Type-2	-	+	+	62, 63, 67, 71 ^L , 74 ^L , 76 ^L , 82, 84 ^L , 87 ^E
Type-3	+	+	+	56 ^L , 61, 68, 81, 91 ^E
Type-4	+	-	+	80 ^E , 95 ^E
Type-5	+	+	-	51 ^L , 53, 75 ^L , 85 ^L
Type-6	-	-	+	60, 73 ^E , 78 ^E
Type-7	-	+	-	50 ^L , 55 ^L , 65 ^L , 72, 86, 89 ^L , 93 ^E
Type-8	-	-	-	49, 54, 66 ^E , 77, 79, 94

的相關性最高, ArealW 與台灣的相關性略高於 ArealE。我們還注意到雖然 Area2 和 ArealE 相關係數顯著性達 1%, 但是和 ArealW 之間的相關性卻不高, 若以 1949-95 資料計算甚至未達 10% 顯著的標準。ArealE 和 ArealW 之間的相關係數也不高, 顯示控制這兩個區域一至三月雨量年際變化的系統不完全相同。為了判別台灣一至三月降雨和亞澳季風區內雨量特徵的關

係, 若單以兩個區域的相關性為基礎來討論其與大尺度環流系統的關係必會受雜訊過高所擾, 這與為何需要檢驗相關係數普遍顯著性(field significance/global significance, Livezey and Chen 1983)來判別區域相關是否因大尺度作用影響所造成的概念是類似的。一個簡單的解決辦法就是以三個區域為基礎, 按彼此的相關性來探討各個區域特性與大尺度環流系統變異的關係。因為 ArealW 與 Area2 相關係數過低以致 Area1 與 Area2 的相關係數僅有 0.35, 未達 5% 顯著標準, 但是 ArealE 與 TWN 和 Area2 均達到 5% 顯著標準, 我們決定接下來按 TWN、ArealE 和 Area2 三個區域的關係做進一步分析。

首先將這三個區域在 1949-95 的 46 年的降雨按照距平(相對於 46 年平均值)符號分為偏乾與偏濕兩類, 然後將符合不同類別組合的年份列於表二。若按隨機分布, 每一個類別出現的個數為 5-6 年, 然而從表二我們看到 Type-1、Type-2 和 Type-7 的個數都偏多, Type-4 的個數則偏少。為了確定各種類別個數分布差異的穩定程度, 我們也檢驗了按 TWN、ArealW、Area2 三個區域統計的類別分布(表略), 發現仍以 Type-1、Type-2 和 Type-7 的個數偏多, 並且

Type-7的個數多於Type-2。為判斷Type-1、Type-2和Type-7是否的確經常出現，在資料長度的限制之下我們接下來的分析重點是利用NCEP/NCAR重分析資料檢驗是否能從可降水量資料判別Type-1、Type-2和Type-7，並且能否得到大尺度場量的印證。

四、可降水量年際變化

我們先用合成分析與EOF分析兩種方法來分析可降水量資料以檢驗Type-1、Type-2和Type-7這三種雨量距平類型。可降水量和Dai屬於兩組完全獨立的資料。因此，如果合成分析的結果支持我們根據Dai判別出的類型，一方面可以相信這些類型不是Dai資料造成的獨特結果，更重要的是我們可以進一步利用NCEP/NCAR重分析資料的其他場量來分析台灣、西太平洋群島和澳洲西部相關性形成的原因。EOF分析則可以從可降水量變異度的角度來驗證雨型的重現性與重要性。

(一) 合成分析

在個案挑選方面，表二的Type-2年份當中因1982和1987年沒有出現在以TWN、ArealW、Area2三個區域統計的對等類別中，因此不列入合成個案；同理，Type-7中的1993也沒有納入合成計算。這些年份對計算結果並沒有關鍵性的影響，排除的原因是希望結論仍適用於ArealW。納入合成計算的年份，類型一(Type-1)的個案有十一年(1952, 1957, 1958, 1959, 1964, 1969, 1970, 1983, 1988, 1990, 1992)，類型二(Type-2)有七年(1962, 1963, 1967, 1971, 1974, 1976, 1984)，類型七(Type-7)有六年(1950, 1955, 1965, 1972, 1986, 1989)。這三個類型以外的23

年通稱為正常年。合成分析是比較各類別平均值與正常年平均值之間差異的顯著性，檢驗方法採用Student's t (Press et al. 1993)法。本文中提到的合成距平均指各類別與正常年的平均差值。

類型一、二與七的一至三月可降水量合成距平圖分別顯示在圖2a-c。圖2a清楚顯示台灣偏濕、關島附近和澳洲北部偏乾的訊號，和類型一的雨量特徵相符。伴隨亞澳季風區雨量特徵的還有南印度洋與西北印度洋偏濕，東太平洋偏濕，熱帶南大西洋與赤道非洲附近偏濕的訊號；從赤道東太平洋往東北延伸到美國弗羅里達半島南端都有偏濕的訊號，這些訊號與El Niño年的雨量特徵一致(Curtis and Adler 2003)。圖2b顯示台灣偏乾、關島附近和澳洲北部偏濕的訊號，也是和類型二的雨量特徵相符的。關島附近和澳洲北部偏濕訊號狀甚狹長，在北半球從熱帶西北太平洋往東北延伸，在南半球則從澳洲西北以東南方向往南太平洋延伸，被包夾在這兩個狹長濕帶之間的是廣大的負距平區域。大西洋上平均而言以偏乾的訊號較強，印度洋上則無明顯的訊號。赤道東太平洋訊號與La Niña的雨量特徵一致，但是La Niña的印尼偏濕訊號在圖2b中並不明顯。圖2c顯示台灣與澳洲西部偏乾、關島附近偏濕的訊號，與類型七的雨量特徵相符。赤道太平洋普遍偏乾，熱帶大西洋也有明顯的偏乾訊號。圖2b和2c雖然在赤道太平洋都有偏乾訊號，差異卻相當明顯。圖2c偏乾訊號較集中在赤道附近，而圖2b的偏乾訊號除了在赤道附近以外還有從赤道分別以東北與東南走向往副熱帶南北太平洋延伸的負距平帶。類型二的赤道西太平洋暖池(150°-180°E)偏乾，這個區域的可降水量距平在

1949-1995 Global Precipitable Water Anomaly Composite

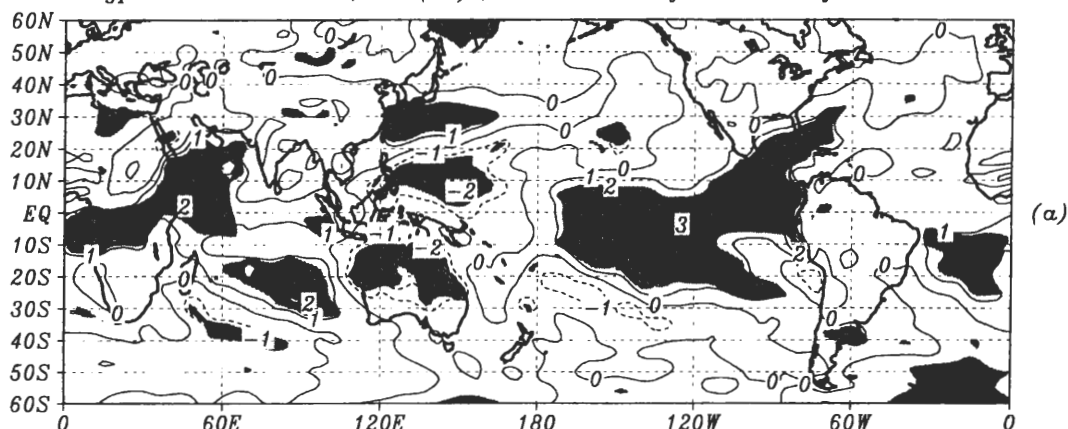
(Type-1 : 1952, 1957, 1968, 1969, 1964, 1969, 1970, 1983, 1988, 1990, 1992)

(Type-2 : 1962, 1963, 1967, 1971, 1974, 1976, 1984)

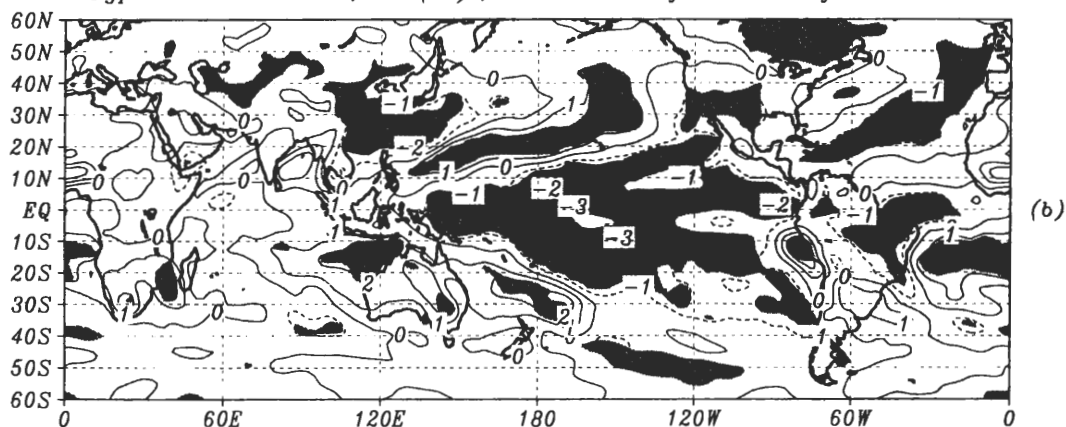
(Type-7 : 1950, 1955, 1965, 1972, 1986, 1989)

(Normal : 1949, 1951, 1953, 1954, 1956, 1960, 1961, 1966, 1968, 1973, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1985, 1987, 1991, 1993, 1994, 1995)

Type-1 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



Type-2 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



Type-7 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level

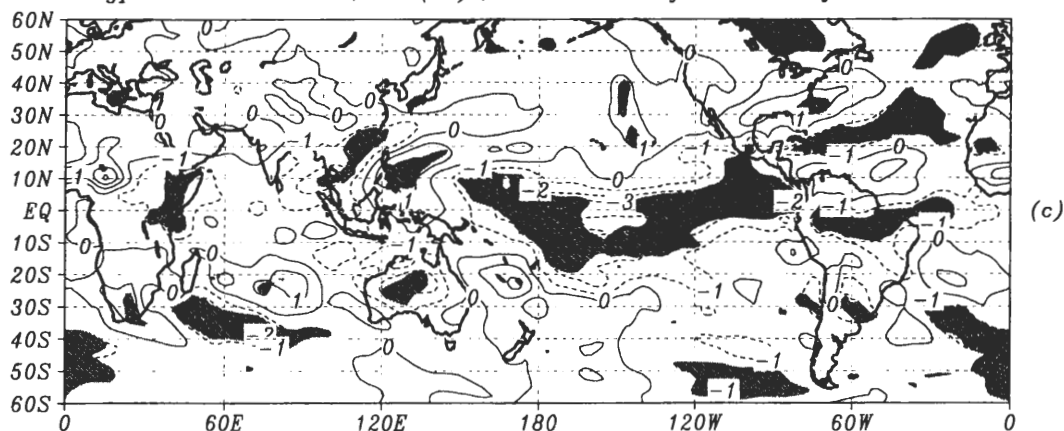


圖2 按 NCEP 重分析資料 1949-2001 年一至三月平均之可降水量，計算出各降雨類型與正常年間差異性的合成結果。正值以實線表示，負值以虛線表示。陰影區為滿足統計上 90%信心度測試之區域。(a)類型一與正常年;(b)類型二與正常年;(c)類型七與正常年。關於降雨類型與正常年的定義詳見第三章。

類型一與類型七都不顯著。類型二與類型七在南半球有明顯的差別。類型二有一個濕帶從澳洲西北往東南向南太平洋換日線延伸，在類似位置類型七偏濕的幅度不大。類型二澳洲偏濕，在類型七澳洲則偏乾。

以上可降水量合成距平的結果驗證了根據 Dai 資料所歸納的降雨類型，顯示 NCAR/NCEP 重分析資料合適用以研究台灣冬雨年際變化的環流特徵。類型一的可降水量合成距平與 El Niño 雨量距平特徵大致相似，類型二與類型七和 La Niña 雨量距平特徵相似，唯類型七在澳洲附近的濕帶比類型二東偏。

我們根據美國國家氣候中心(Climatic Prediction Center)所判定的 ENSO 年份(<http://www.cpc.noaa.gov/products>)把 El Niño (La Niña)以「E」(「L」)標示在表二中對應的年份上，發現類型一當中除了四個正常年(1952、1957、1964、1990)之外其餘均為 El Niño 年。類型二除了 1987 是 El Niño 年之外，有四個 La Niña 年(1971、1974、1976、1984)，和四個正常年。類型七則有一個 El Niño 年(1993)，四個 La Niña 年(1950、1955、1965、1989)，和兩個正常年(1972、1986)。特別值得注意的是，十二個 La Niña 年中，沒有被歸入類型二和類型七的四年均屬於連續兩年 La Niña 的第二年。除了類型五以外，每一種類型都在 El Niño 年出現過，但以類型一出現的次數最多，十五個 El Niño 年中出現了七次。這些結果與圖 2a 的明顯 El Niño 特徵而圖 2b、c 的 La Niña 特徵一致。若將所有的 El Niño 和 La Niña 年都排除，則剩餘年份中個案數最多的是 Type-8，其次為 Type-1 和 Type-2，顯然 ENSO 是凸顯類型一的重要因素。

爲了進一步探討類型一與類型二是否屬於亞澳季風區一至三月雨量年際變化的主要形態，我們接下來對 1949-2001 年的一至三月平均可降水量做經驗正交函數(EOF)分析。

(二) 可降水量 EOF 分析

1949-2001 年的一至三月平均可降水量的第一個 EOF(EOF-1)和它的主成分時間序列(principal component)顯示在圖 3a。主成分時間序列表現出代表可降水量最主要年際變化特徵的 EOF-1 在時間上有一個明顯的變化趨勢：1973 年之後 EOF 的負相位出現次數明顯增多，振幅較大。EOF-1 的負相位對應到澳洲與南海和菲律賓海一帶距平爲正值，表示可降水量偏多；而非洲東岸和赤道西太平洋的可降水量偏少，台灣附近則也是雨量偏少，但是偏差的幅度不大。從可降水量引申出來的台灣降水變化趨勢和我們的前一篇論文(盧與麥 2003 之圖 3a)顯示台灣測站雨量變化趨勢並不一致，而台灣測站資料是所有資料當中唯一可以代表實際發生的現象。我們還利用 1920-95 的 Dai 資料檢查了東非、南亞和澳洲的 75 年來一至三月降水的線性變化趨勢(圖略)，發現在南半球的趨勢和 Dai 資料的趨勢相當一致，在北半球則不盡相同。因此，我們認爲可降水量的 EOF-1 有兩種意義。第一、它支持了我們從 Dai 資料歸納出的降雨類型特徵：台灣和關島附近與澳洲西北部有負相關的關係。第二、以對年代際尺度變化貢獻大而言，EOF-1 在南半球的重要性可能大於北半球。但我們不能不注意可降水量是數值模式的導出量，受到觀測資料的數量與種類的影響甚大。因此，我們對於所顯示的長期變化趨勢是否真確仍有所保留，但是對於獲得陸地降水資料支持的部分應該重視。

(a) EOF of NCEP Reanalysis Precipitable Water, JFM (1949-2001)

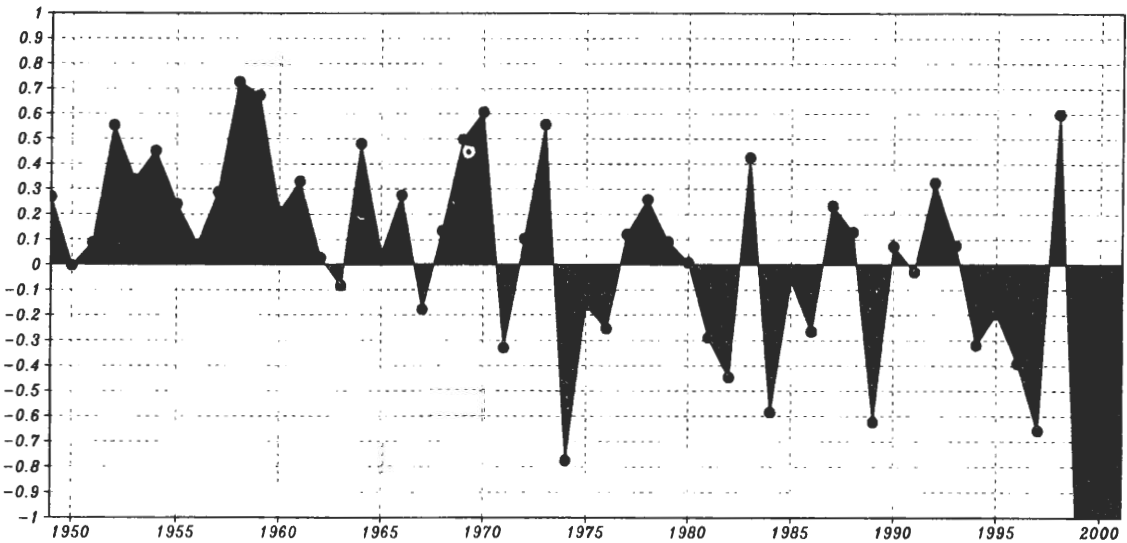
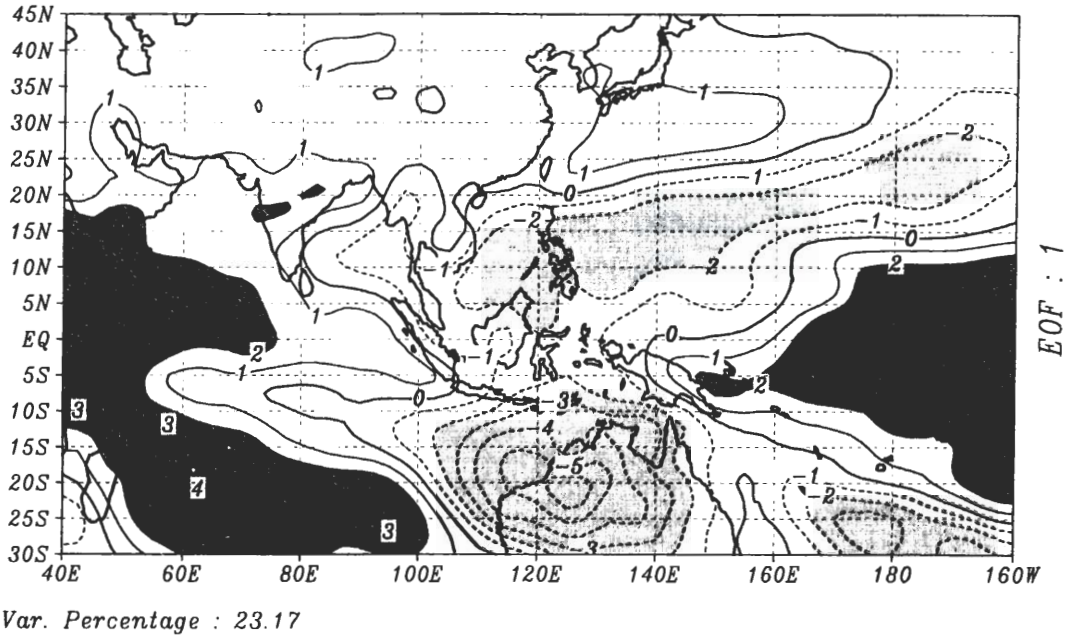
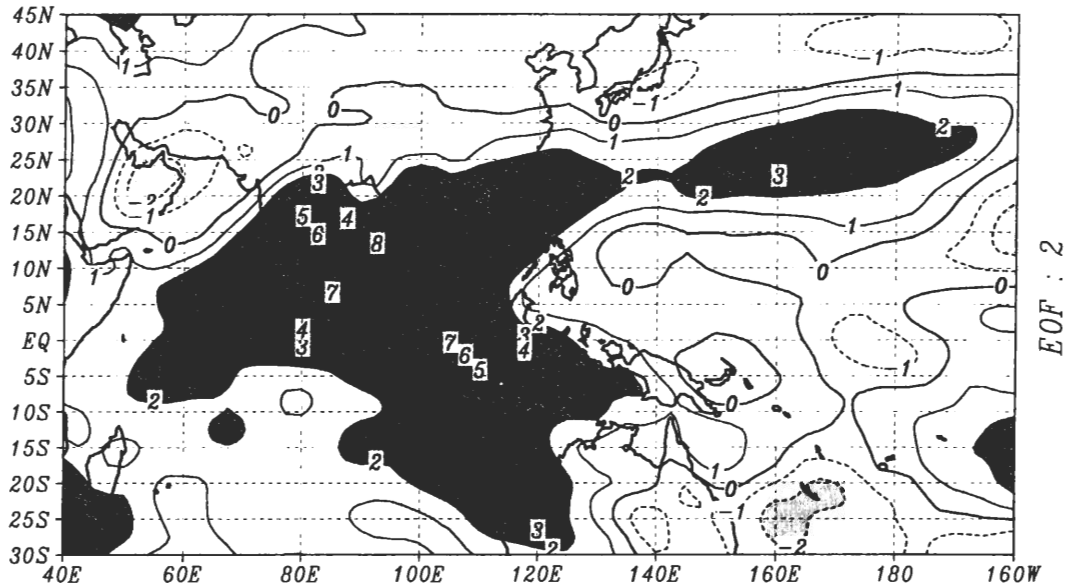


圖 3a 按 NCEP 重分析資料之 1949-2001 年一至三月平均可降水量，求得之第一個 EOF 及其主成分時間序列。EOF 負荷係數 (loading coefficient) 之等值線間距為 1.0 kg/m^2 ，負值以虛線表示，正值以實線表示。陰影區表示絕對值大於 2.0 kg/m^2 。

若仔細比較 EOF-1 (圖 3a) 與可降水量的距平合成 (圖 2a-c) 不難看到在 150°E 以西一直到印度洋這個區域類型一 (圖 2a) 與 EOF-1 非常相似，類型二 (圖 2b) 則是在 90°E 以東一直到換日線與

EOF-1 非常相似。類型一、二和 EOF-1 相似程度的差別以及兩個類型之間的差異均顯示同時造成台灣偏濕另兩區偏乾和造成台灣偏乾另兩地偏濕的控制條件不只一個，也就是說雨量距

(b) EOF of NCEP Reanalysis Precipitable Water, JFM (1949-2001)



Var. Percentage : 10.30

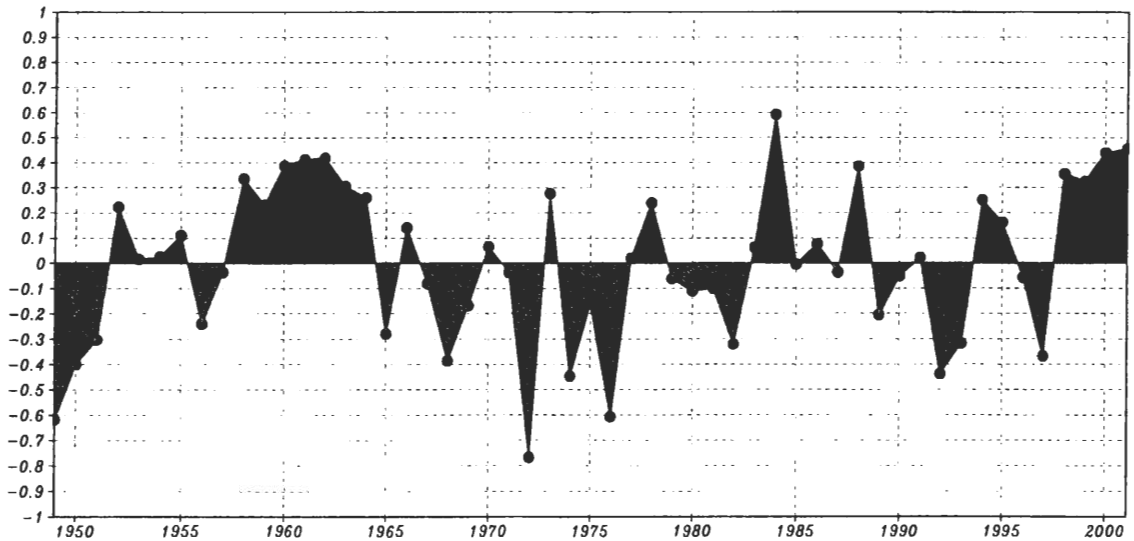
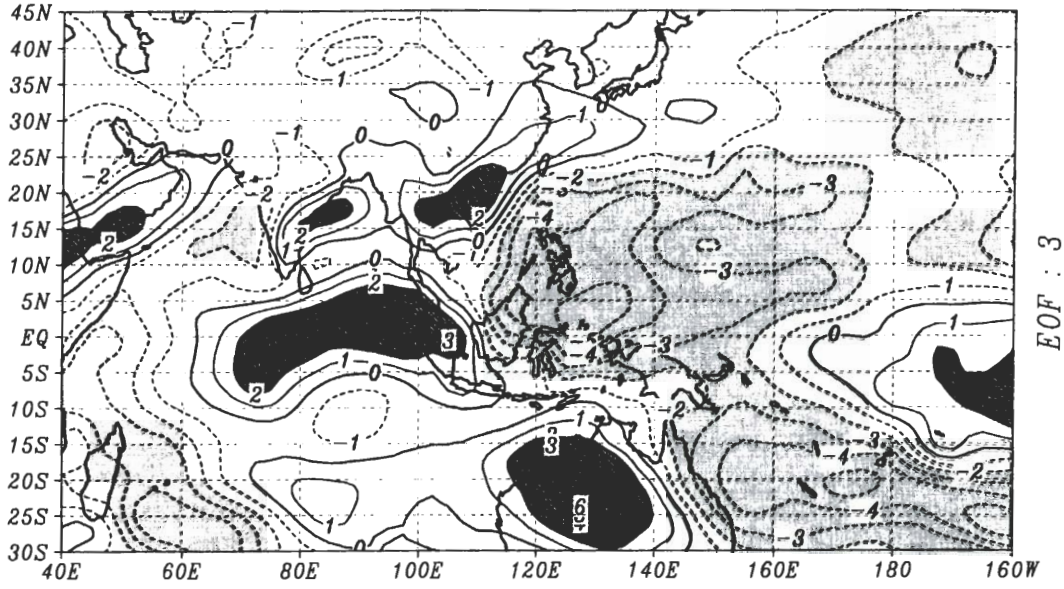


圖 3b 同圖 3a，為第二個 EOF 及其主成分時間序列。

平類型的形成作用因子不只一種。因此，合成分析法比 EOF 或其他以多點相關為基礎的圖型 (pattern) 分析法更適於幫助我們了解亞澳季風區的降雨類型與大尺度環流的關係。

可降水量的 EOF-2 與 EOF-3 和它們的主成分時間序列顯示在圖 3b-c。這兩個 EOF 解釋的變異量相當。EOF-2 的主要特徵是從孟加拉灣往東北經台灣到西太平洋的一個帶狀的同號結構，主成分時間序列沒有明顯的長期變化趨勢。

(c) EOF of NCEP Reanalysis Precipitable Water, JFM (1949-2001)



Var. Percentage : 10.14

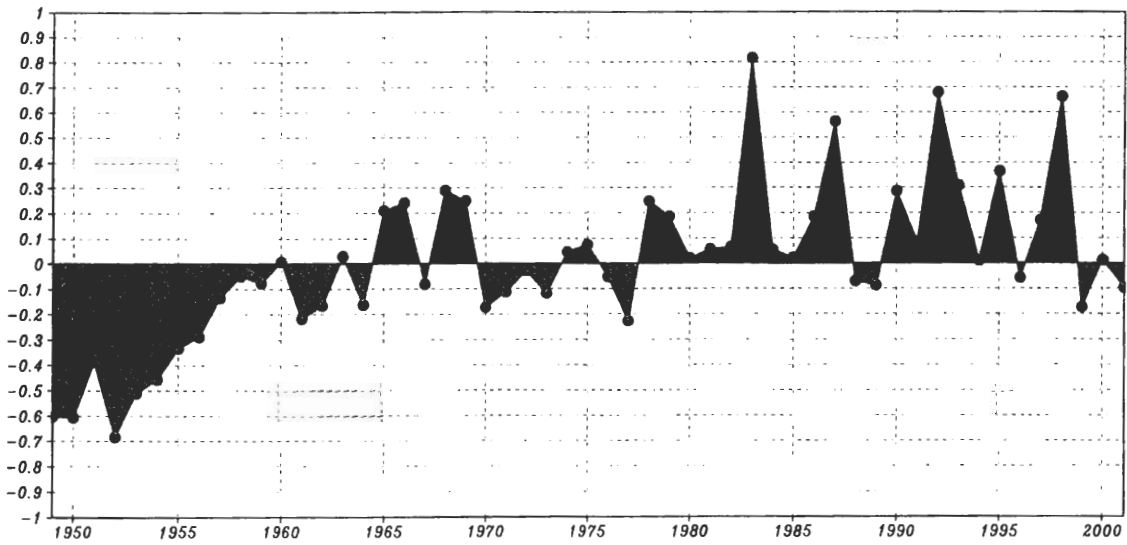


圖 3c 同圖 3a，為第三個 EOF 及其主成分時間序列。

按符號來看台灣和澳洲西部同相，與菲律賓海
的關係並不清楚。圖 3c 顯示 EOF-3 的結構是澳
洲、赤道東印度洋與蘇門達臘、從中南半島往
東北經台灣一直延伸到東海這三個區域的相位
相同，而與菲律賓海和澳洲東方的珊瑚海(Coral

Sea)與南太平洋相位相反。特別值得注意的是
EOF-3 的主成分時間序列有非常明顯的線性變
化趨勢，1949-77 以負相位為主而 1977 以後則
以正相位為主，這個變化與盧與麥(2003)所指
出的趨勢相同。比較 EOF-3(圖 3c)與類型七的可

降水量的距平合成(圖 2c)，可以看到類型七雨型與 EOF-3 的空間特徵最相似。

藉這一章的分析我們驗證了第三章所辨認出的三種雨型並不是 Dai 資料造成的獨特結果。NCEP/NCAR 重新分析資料的可降水量合成分析與 EOF 分析結果顯示這一套資料合適於研究雨型和大尺度環流的關係。由於我們對於 ENSO 以外的作用力缺乏了解，而且除了類型一以外類型二、七和 ENSO 的關係都不明顯，EOF-2 與 EOF-3 也難以區隔，因此我們接下來將沿用合成分析法來探討降雨類型與大尺度環流型態的關係。

五、環流型態

本章首先以合成法分析降雨類型一、二、七的環流特徵，變數包括了海表面溫度(SST)，850 hPa 風場和海平面氣壓場(SLP)。接下來，我們將用 SLP 的 EOF 特性來探討合成分析的結果與 ENSO 的關係，結果發現：類型一屬於 El Niño 所造成亞澳季風區重複出現的降雨型態，La Niña 雖與類型二、七有關，但不是激發出這兩種類型的唯一條件。伴隨類型二的海溫距平除了有赤道太平洋的 La Niña 現象之外還有東亞大陸臨海海溫偏低同時菲律賓海和西北太平洋偏高的現象，東亞沿岸與西北太平洋的低層風場和海溫距平有非常一致的搭配。類型七與類型二的海溫距平型態在熱帶非常相似，在中高緯度則差別甚大。類型七的中高緯海溫距平比較顯著的地方出現在美洲沿岸與大西洋，明顯的低層風場距平則出現在菲律賓海，中高緯風場距平並不像類型二那麼顯著。

(一) 合成分析

(1) 海表面溫度

圖 4a 是類型一的海溫距平合成圖，距平顯著性達 10% 的區域(陰影部分)包括赤道東太平洋和南印度洋。赤道東太平洋的海溫偏暖，而南印度洋有一個北暖南冷的距平特徵。類型二的 SST 合成距平顯示在圖 4b，距平顯著性達 10% 的區域明顯大於類型一，除了赤道東太平洋和換日線附近有明顯的負距平之外，從赤道西太平洋暖池往東北方向一直到 30°N 與 150°W 附近有一個帶狀的正距平區，同時從北印度洋往東包括南海與東海等近陸海域的海溫均為負距平。類型七的 SST 合成距平(圖 4c)雖然在熱帶區域和類型二的合成圖相當類似，但是在副熱帶西北太平洋則相差甚遠。類型七西太平洋 SST 距平顯著區域僅限於菲律賓海的小範圍，在副熱帶中高緯完全沒有訊號；在東太平洋美洲沿岸與中美洲加勒比海、墨西哥灣以及熱帶大西洋 SST 距平的顯著性則均達 10%，比類型二明顯。

(2) 850 hPa 風場

根據類型一合成的 850hPa 風場與流函數距平圖顯示於圖 5a，風場當中只要是 u 或 v 達到 10% 的顯著性即畫出風標。距平顯著的風場主要出現在 80°E 和 150°W 之間，赤道上 120°E 附近是東風，換日線附近則是西風。伴隨在東風距平的南北側有反氣旋環流，西風距平南北側有氣旋環流，台灣附近的南風是南海與菲律賓海反氣旋的延伸。另外，在南太平洋和北大西洋東部也可以看到顯著的氣旋距平。比較圖 2a 的類型一可降水量距平和圖 5a，我們發現菲律賓海與澳洲的可降水量負距平區有明顯的低層反氣旋環流距平與之對應，而在台灣附近的大

1949-1995 Global Sea Surface Temperature Anomaly Composite

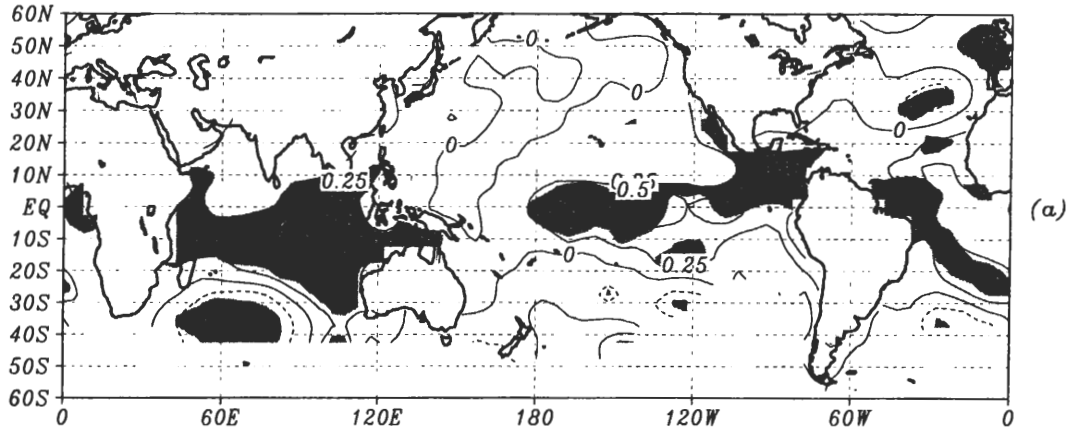
(Type-1 : 1952,1957,1958,1959,1964,1969,1970,1983,1988,1990,1992)

(Type-2 : 1962,1963,1967,1971,1974,1976,1984)

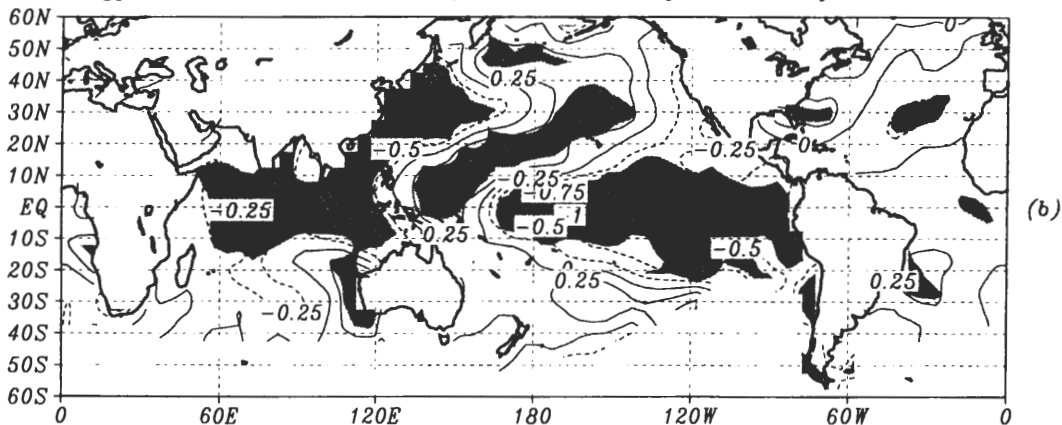
(Type-7 : 1950,1955,1965,1972,1986,1989)

(Normal : 1949,1951,1953,1954,1956,1960,1961,1966,1968,1973,1975,1977,1978,1979,1980,1981,1982,1985,1987,1991,1993,1994,1995)

Type-1 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



Type-2 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



Type-7 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level

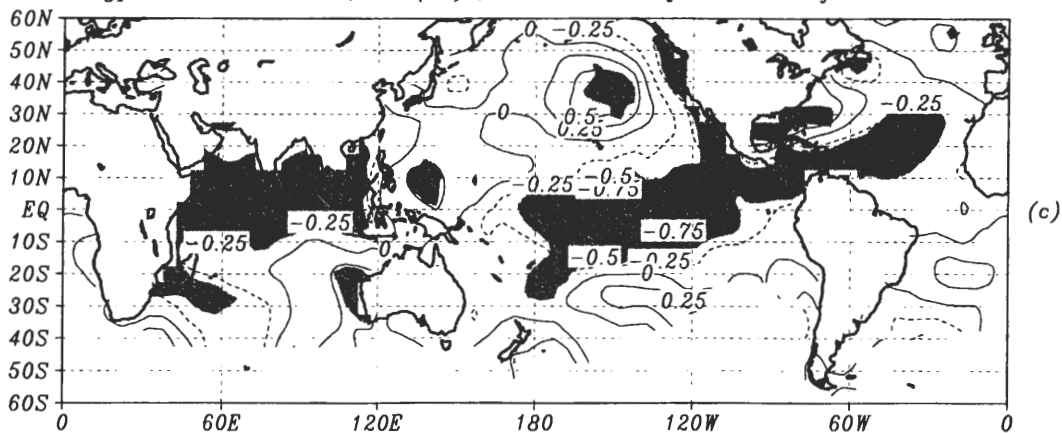


圖4 同圖2，為海平面溫度距平場之合成結果，單位為°C。陰影區表示為滿足統計上90%信心度測試之區域。

1949-1995 850hPa Wind Field and Streamfunction Anomaly Composite

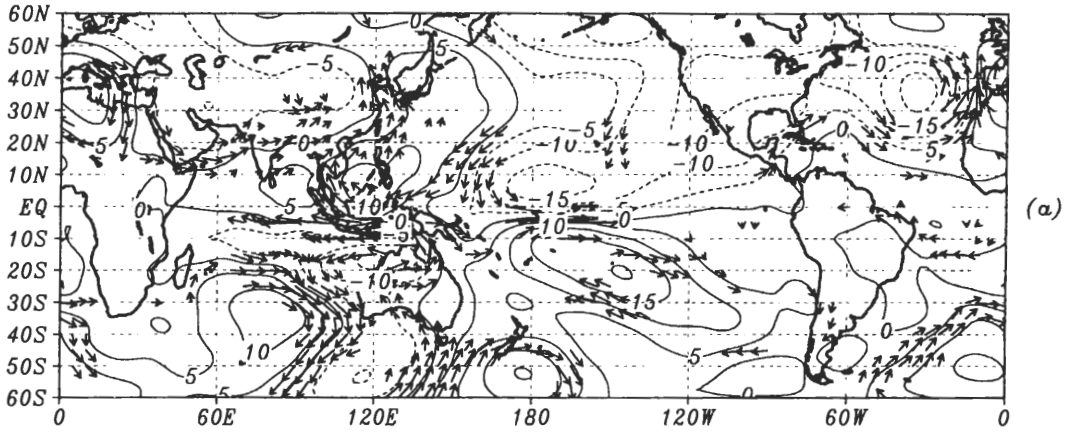
(Type-1 : 1952,1957,1958,1959,1964,1969,1970,1983,1988,1990,1992)

(Type-2 : 1962,1963,1967,1971,1974,1976,1984)

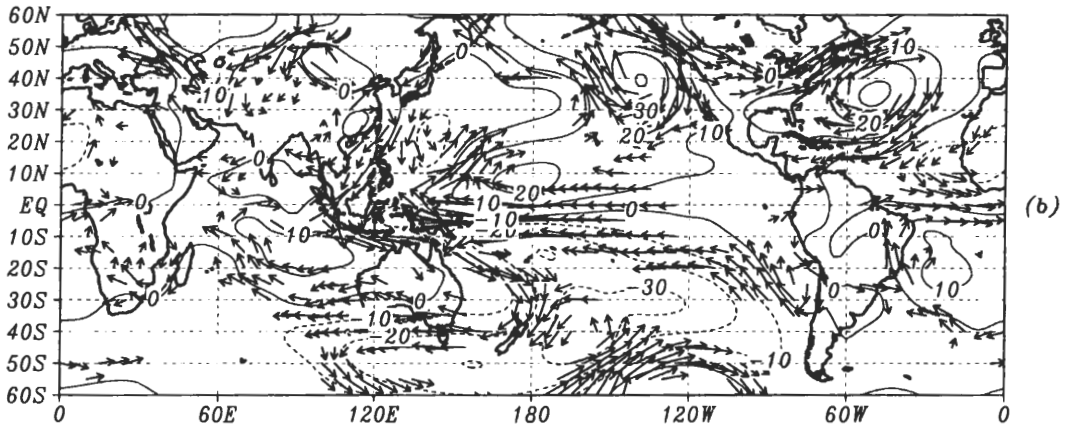
(Type-7 : 1950,1955,1965,1972,1986,1989)

(Normal : 1949,1951,1953,1954,1956,1960,1961,1966,1968,1973,1975,1977,1978,1979,1980,1981,1982,1985,1987,1991,1993,1994,1995)

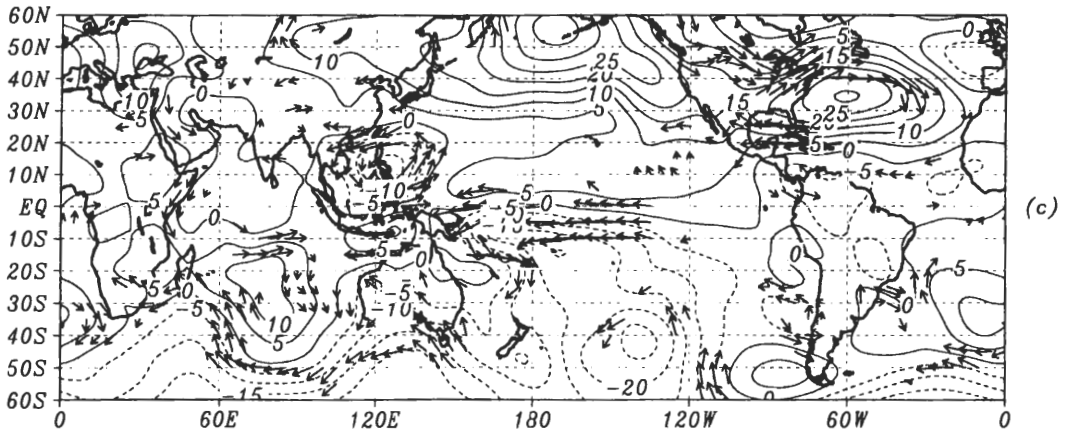
Type-1 v.s. Normal , JFM (0) , 90% Confidence Level



Type-2 v.s. Normal , JFM (0) , 90% Confidence Level



Type-7 v.s. Normal , JFM (0) , 90% Confidence Level



→
1

圖 5 同圖 2，為 850hPa 風向量與流函數場之合成結果。流函數場之單位為 $10^5/s$ ，風向量長度之單位為 (8m/s)/inch。風標標示為滿足統計上 90% 信心度測試之區域。

陸沿岸可降水量正距平區有南風與之對應。伴隨南風的系統在大陸上是低壓(流函數距平為負)而海上為高壓系統(流函數距平為正)。

圖 5b 是根據類型二合成的 850hPa 風場與流函數距平, 和類型一相比 u 或 v 達到 10% 顯著標準的範圍更廣。若比較 80°E 和 150°W 之間的風場可以發現類型二的風場距平與類型一符號大致相反, 但類型二往太平洋延伸的範圍較廣, 兩種類型在東印度洋上的差異較大。比較圖 2b 的類型二可降水量距平和圖 5b, 我們發現菲律賓海與澳洲的可降水量距平的正區有明顯的低層氣旋式環流距平, 而在台灣附近的大陸沿岸降水量的負距平區則有北風距平, 伴隨的流函數距平在華北有高壓(反氣旋)特徵而在海上有低壓(氣旋)距平的特徵。

圖 5c 是根據類型七合成的 850hPa 風場與流函數距平, 與圖 5a 和 b 相比 u 或 v 距平顯著的範圍較少, 這種差異在 80°E-150°W 經度範圍內尤其明顯。圖 5c 中最特別的是在菲律賓海和南海上之氣旋式環流距平, 圖 2c 顯示伴隨這個環流距平在西邊從中南半島到台灣的可降水量偏少, 東邊菲律賓海上可降水量偏多。圖 5b 與 5c 在赤道西太平洋和換日線附近的風場距平都是明顯的東風, 和圖 2b 與 c 的東太平洋少雨以及圖 4b 與 c 的東太平洋 SST 偏低這些 La Niña 特徵一致。由於類型二與類型七個案中分別有四年 La Niña 年, 而這兩種雨型的差別在於類型二是菲律賓海和澳洲的雨量距平同時偏多而類型七是前者偏多後者偏少, 圖 5b 與 5c 從南海到西太平洋的環流距平差異顯示菲律賓海上的氣旋式環流東西向尺度大小可能是決定菲律賓海和澳洲的雨量距平相位是否相同的關鍵因素, 而這個尺度則可能是由海溫特徵以及伴隨

的海氣交互作用所決定(Wang et al. 2002)。從圖 4c 南海與菲律賓海海溫距平並不顯著的特性看來, 類型七合成的菲律賓海氣旋(圖 5c)可能是因澳洲對流偏弱以致於菲律賓海上的哈德里環流下沉氣流偏弱所造成的。但是類型二的菲律賓海氣旋則可能是因海溫與亞洲冬季季風的異常經海氣交互作用而形成的。

(3) 海平面氣壓場

根據類型一合成的 SLP 距平圖顯示於圖 6a。我們看到在 100°-160°E 和 30°S-30°N 範圍內有明顯的正距平, 在北半球從日韓和俄霍次克海附近以順時針方向經西北太平洋往菲律賓海方向延伸, 在南半球則是從澳洲南方的南印度洋以逆時針方向往赤道延伸, 澳洲西半部也有顯著的高壓距平。負距平的顯著區域則出現在紐西蘭東南方的南太平洋、南太平洋群島和赤道附近的東太平洋和以及南印度洋的 30°S 與 90°E 附近。從這個距平圖可以推估南方振盪指數(SOI: Southern Oscillation Index), 亦即南太平洋大溪地測站和澳洲達爾文測站的海平面氣壓距平差是負值, 與 El Niño 特徵相同。特別值得一提的是在台灣附近的 SLP 距平為負, 雖然值不大而且未達 10% 顯著程度, 但是相對於南北的正距平而言卻是一個明顯的低值區。這些海平面氣壓距平特徵和類型一的雨型特徵(台灣多雨, 菲律賓海與澳洲西部少雨)相當一致。

類型二的海平面氣壓距平(圖 6b)顯示西北太平洋與菲律賓海和澳洲西部的距平都是負值, 從台灣到越南的南海西北沿岸一帶氣壓偏高, 在南半球印度洋和澳洲上是低壓距平而在南太平洋包括紐西蘭與南太平洋群島附近有高壓距平。比較類型一(圖 6a)與類型二可以發現兩種類型在北半球的空間分布特徵大致相似唯符號

1949-1995 Global Mean Sea Level Pressure Composite

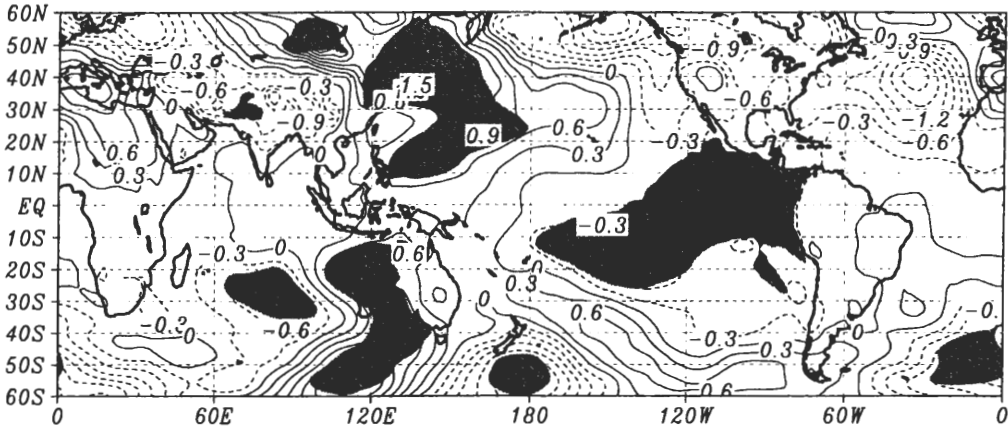
(Type-1 : 1952,1957,1958,1959,1964,1969,1970,1983,1988,1990,1992)

(Type-2 : 1962,1963,1967,1971,1974,1976,1984)

(Type-7 : 1950,1955,1965,1972,1986,1989)

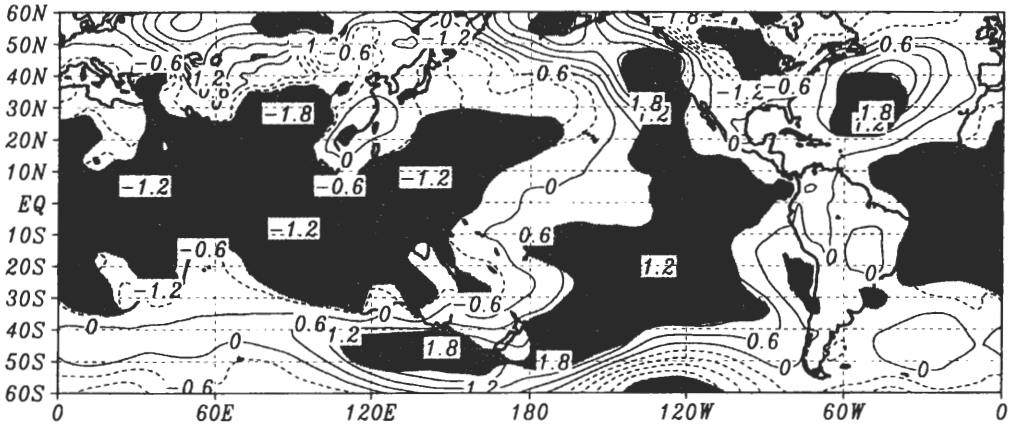
(Normal : 1949,1951,1953,1954,1956,1960,1961,1966,1968,1973,1975,1977,1978,1979,1980,1981,1982,1985,1987,1991,1993,1994,1995)

Type-1 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



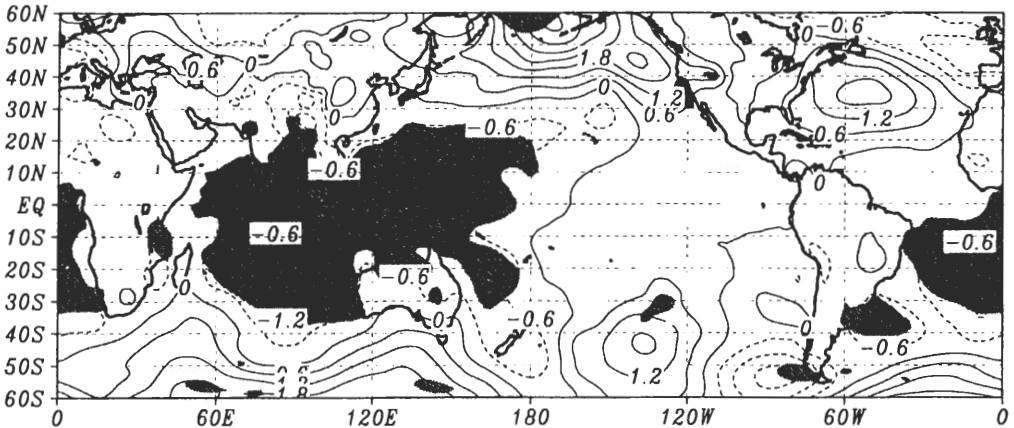
(a)

Type-2 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



(b)

Type-7 v.s. Normal, JFM(0), Shaded Area for 90% Confidence Level



(c)

圖 6 同圖 2，為平均海平面氣壓場之合成結果，單位為 hPa。陰影區表示為滿足統計上 90%信心度測試之區域。

相反；在南半球卻不是如此，兩種類型的空間分布特徵差異甚大，以澳洲與其東西兩方的南太平洋與印度洋尤其明顯。類型一的澳洲及附近的 SLP 距平以東西結構為主，類型二的距平結構在澳洲陸地上並不明顯。澳洲與台灣之間海平面氣壓距平特徵(北高南低)和類型二的低層風場(亞洲低緯區冬季季風與澳洲低緯區夏季季風均強，圖 5b)及雨型特徵(台灣少雨，菲律賓海與澳洲西部多雨)是一致的。

圖 6c 顯示類型七的海平面氣壓在西北太平洋與菲律賓海有明顯的負距平，澳洲東方的珊瑚海(Coral Sea)與南印度洋距平也是明顯的負值，在中高緯的阿留申低壓則是偏弱。比較圖 6c 與 5c 發現亞澳季風區內最顯著的系統就是菲律賓海上的氣旋低壓距平，圖 5c 的赤道西太平洋與換日線附近的東風距平和圖 6c 中類似區域向西減低的氣壓梯度距平特徵是一致的。類型七的雨量特徵是台灣與澳洲西部少雨，菲律賓多雨，這些特徵與 SLP 距平特徵相當一致。

圖 6a-c 顯示台灣附近的 SLP 合成距平均未達 10%顯著性，但菲律賓海與爪哇群島和澳洲之間的印度洋以及南印度洋等區的合成距平均達 10%的顯著性，表示這些地方可能是影響一至三月台灣區域氣候特徵的關鍵區域。

(二) 海平面氣壓 EOF 分析

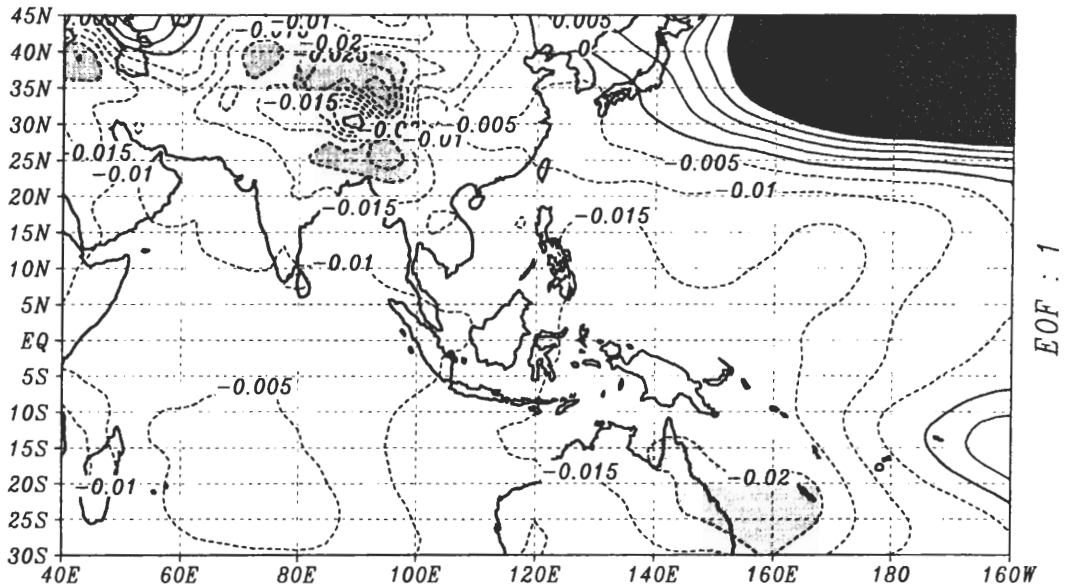
(1) 與降雨類型的關係

從以上的分析我們發現三種降雨類型都可以在 SLP 場找到顯著並且和降雨特徵一致的距平型態，我們接下來用 EOF 法分析 1949-2001 年的一至三月平均海平面氣壓場，藉以了解這三個降雨形態和整個亞澳季風區主要的 SLP 變異關係如何。EOF-1 和它的主成分時間序列表

示在圖 7，EOF-2 表示在圖 8。EOF-1 最重要特徵是在南半球澳洲東邊和北半球西太平洋上分別有明顯東西和南北方向的氣壓梯度距平，並且主成分時間序列變化顯示 EOF-1 有清楚的年代際變化。1977 年以前以正相位為主，1977 年以後以負相位為主，表示從澳洲東部跨赤道到菲律賓海與熱帶西太平洋這個區域與中緯度西北太平洋和阿留申群島南方的廣大區域之間海平面氣壓差異在 1977 年以前是阿留申低壓距平偏高(低壓較弱)而澳洲東部與新幾內亞和西太平洋暖池的氣壓距平偏低(低壓較強)，1977 年以後則是阿留申低壓偏低(低壓較強)而澳洲東部氣壓偏高(低壓較弱)。圖 8 所示 EOF-2 的重要特徵是從中緯度西北太平洋往西南經菲律賓海、印尼直到東印度洋有明顯並且符號一致的海平面氣壓距平，台灣附近的距平雖然幅度較低但是梯度甚大，澳洲西方東印度洋上有明顯的氣壓距平，符號與熱帶南太平洋 160°W 附近相反。

為比較 EOF 分析結果和三種降雨距平類型以及 ENSO 的關係，我們把 EOF-1 與 EOF-2 的相位與雨型和 ENSO 相位的關係整理在表三。因為圖 7 顯示海平面氣壓場的年代際變化出現於 1977 年左右，在表三中我們除了統計各個指標在 1949-2001 時期的對應關係之外還分別統計了在 1977 年前後關係的異同。表三的百分比是分別按照類型一、類型二、類型七、El Niño、La Niña 對應到 EOF-1 與 EOF-2 的正、負、零相位的頻率來計算。這裡的「零相位」乃指主成分的大小近乎 0 (<10)並且是在從正(負)峰值轉變成負(正)峰值的過程中。定義「零相位」以區別正、負相位的最主要原因是因為 EOF-2 的主成分在 1960 與 1967 這兩年(圖 8)等於 0。被歸入「零相位」年份的在 EOF-1 只有 1988 一年，

EOF of NCEP Reanalysis Sea Level Pressure , JFM (1949-2001)



Var. Percentage : 37.90

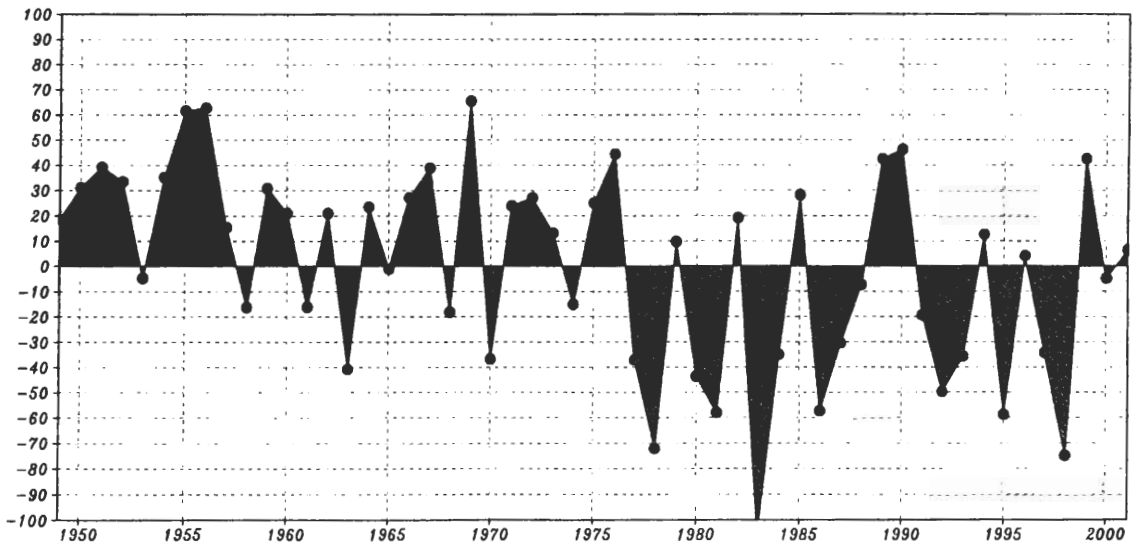


圖 7 利用 NCEP 重分析資料之 1949-2001 年一至三月平均海平面氣壓，求得之第一個 EOF 及其主成分時間序列，可解釋之總變異量為 37.9%。EOF 負荷係數(loading coefficient)之等值線間距為 $5 \times 10^{-3} \text{hPa}$ ，負值以虛線表示，正值以實線表示。陰影區表示絕對值大於 0.02hPa 。

而 EOF-2 有 1951、1967、1981、1995 與 1999 五年，這些年 SLP 的 EOF-2 分量幾近不存在。以三種類型的降雨和 EOF 的關係來說，若按發生頻率大於 80%為標準，在 1949-2001 時期達

到這個標準的僅有類型一與 EOF-2 的對應關係：82%的類型一降水發生在 EOF-2 正相位，這種關係也可以從圖 6a 與圖 8 的比較得到印證。在西太平洋、印度洋，澳洲等區域圖 8 與

EOF of NCEP Reanalysis Sea Level Pressure, JFM (1949-2001)

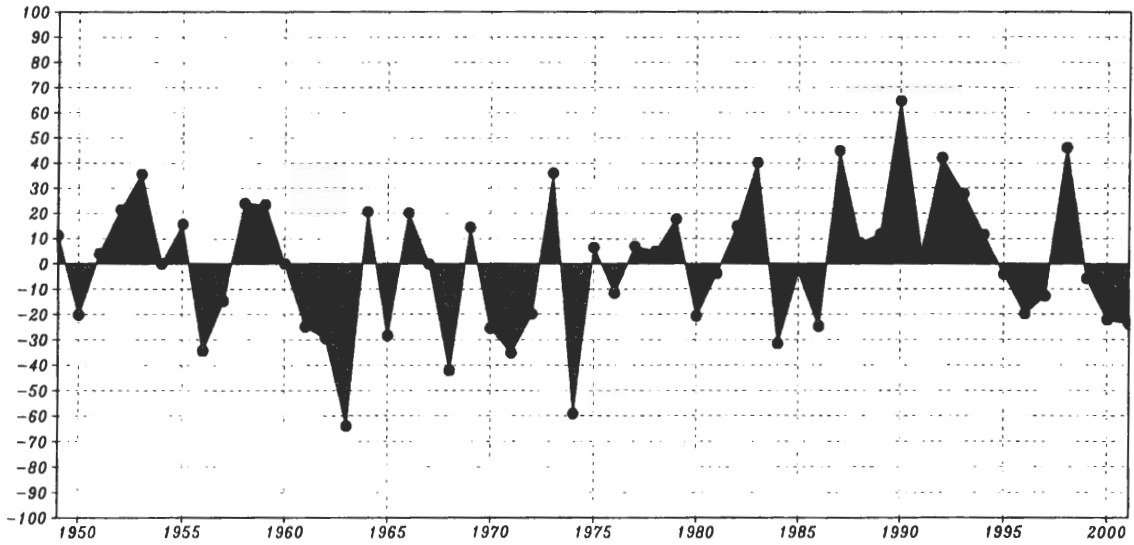
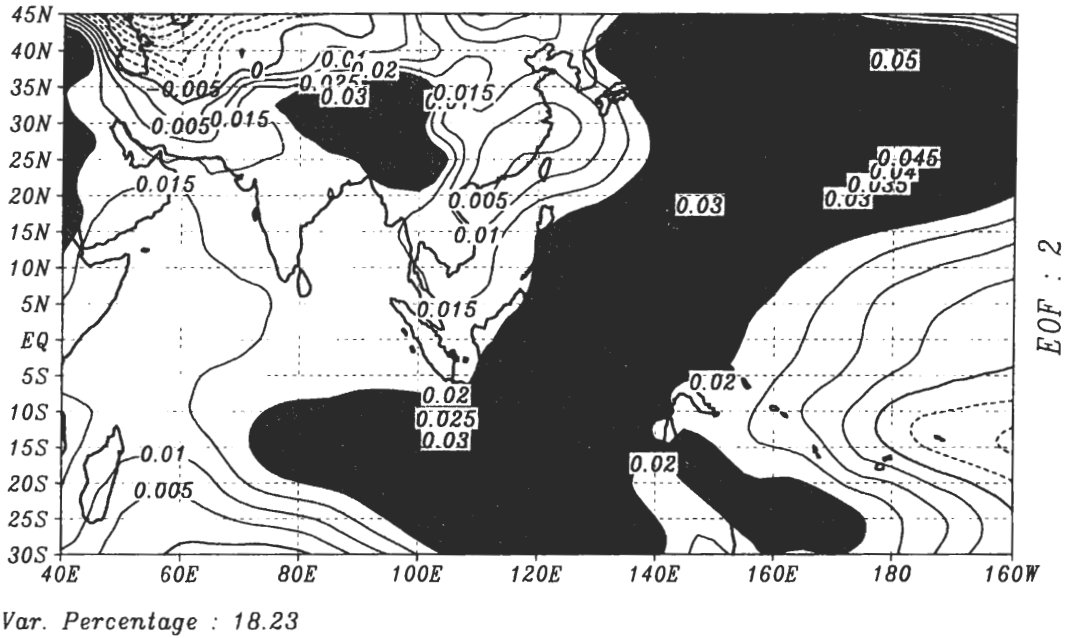


圖 8 同圖 7，為第二個 EOF 及其主成分時間序列。

圖 6a 的相似性甚高。圖 6a 海平面氣壓在西北太平洋、菲律賓海和印尼爪哇島南方的東印度洋都有明顯的正距平，在南太平洋斐濟群島附近為負距平，相對於日本和南海，台灣附近的 SLP 較低，尤其是華南沿海從長江下游到海南

島附近 SLP 要比周圍的區域都低，這些特徵都可在圖 8 看到。另外，在日、韓、俄沿海區域有高壓距平並且往東南一直延伸到換日線以東的北太平洋。

雖然 1977 以後所有的類型一都出現在

表三 降雨類型一(Type-1)、類型二(Type-2)、類型七(Type-7)，El Niño、La Niña 與亞澳季風區海平面氣壓之 EOF-1 和 EOF-2 的正(+)、負(-)、零(○)相位之百分比比例對應表，按三個時間區間統計：B77 為 1949-77，A77 對降雨類型而言是為 1978-95 但對 ENSO 而言是 1978-2001，49-95 / 49-01 即 1949-95 / 1949-2001。百分比大於 80%者以陰影表示。例：1949-77 期間 83%的類型二降雨出現在負 EOF-2，1978-2001 期間 90%的 El Niño 出現在負 EOF-1。

		Type-1			Type-2			Type-7			El Niño			La Niña		
		B77	A77	49-95	B77	A77	49-95	B77	A77	49-95	B77	A77	49-01	B77	A77	49-01
EOF-1	+	71	25	55	67	33	56	100	33	71	67	0	25	89	72	88
	-	29	50	36	33	67	44	0	67	29	33	90	69	11	28	12
	○	0	25	9	0	0	0	0	0	0	0	10	6	0	0	0
EOF-2	+	71	100	82	0	67	22	25	67	43	83	80	81	22	14	19
	-	29	0	18	83	33	67	75	33	57	17	10	13	66	72	62
	○	0	0	0	17	0	11	0	0	0	0	10	6	11	14	19

EOF-2 正相位，但是正 EOF-2 年在 1977 以前 (1949-76)有 12 年，1977 以後(1977-95)有 13 年，而類型一在 1977 以前有 7 件個案 1977 以後僅有 4 件。以 EOF-2 正相位時類型一出現的比例多寡來看，1977 年之前是 58%，之後是 31%。因此，1977 年以後若 EOF-2 相位為正並不表示類型一的出現機會較大，顯示雨型的出現除了大尺度海溫和氣壓條件之外還有其他重要影響因素。

類型二在 1977 年以前有 83%的比例出現在 EOF-2 的負相位，沒有一次出現在 EOF-2 正相位，這個關係可以藉比較圖 6b 和圖 8 得到支持，圖 6b 和圖 8 中西北太平洋、菲律賓海和熱帶東印度洋的廣大範圍內，負 EOF-2 的 SLP 和類型二的合成 SLP 距平非常相似。在 1977 年以前達到發生頻率大於 80%標準的還有類型七與 EOF-1 的對應關係，100%的類型七發生在 EOF-1 的正相位年份。比較圖 6c 與圖 7，我們發現兩張圖不論是在 SLP 西太平洋上的南北梯度，或是 SLP 在澳洲東、西的南印度洋和南太平洋的距

平特徵都十分相似。

以上結果顯示類型一、二、七雨型可以從 SLP 的第一和第二個 EOF 模的時空特徵得到支持。另一方面，表三顯示除了類型一和 EOF-2 的相位關係在 1977 年前後是一致的之外，其他的降雨類型和兩個 EOF 的相位關係在 1977 年前後是相反的。我們注意到了這三種類型在 1977 年之後的個案數相當少，因為 Dai 資料僅到 1995 年為止。1977 年以前(1949-76)共有 28 年的樣本，1977 年以後(1977-95)有 19 年的樣本，若按佔總樣本數的比例計算，1977 年之後各個類型出現的比例實際上並沒有明顯減少，因此類型二、七和兩個 EOF 的相位關係在 1977 年前後相反仍是一個需要重視並繼續觀察的現象。1977 年以前類型二、七主要出現在負 EOF-2 和正 EOF-1 時，符合 La Niña 特徵。1977 年以後類型二、七出現在正 EOF-2 和負 EOF-1 的比例升高，同時兩個 EOF 顯示 1977 年以後正 EOF-2 和負 EOF-1 出現較頻。因此，兩個雨型和 EOF 的相位關係在 1977 年前後相反表示雨型對於太

平洋海溫的年代際變化不敏感。換言之，類型二、七的出現並不隨 1977 年以後 La Niña 出現次數的減少而減少，La Niña 的出現與否不是類型二、七的決定性因素。

(2) 與 ENSO 的關係

在這一節我們希望繼續針對兩型與 ENSO 的關係做些討論。表二顯示有 64%(或 7/11)的類型一降水發生在 El Niño 年，在上一節我們指出有 82%的類型一個案發生在 EOF-2 正相位年，那麼 EOF-1、EOF-2 與 ENSO 在相位上的彼此對應關係如何呢？

同樣以發生頻率大於 80%為標準，表三顯示 El Niño 多半發生在 EOF-2 正相位年，La Niña 多半在 EOF-1 的正相位；1977 年以後的 El Niño 有 90%發生在 EOF-1 年負相位，發生頻率比在正 EOF-2 還大。1977 年以後的 10 個 El Niño 有 8 個(80%)發生在正 EOF-2 年裡，顯示 El Niño 和 EOF-2 在 1977 年以後有相當一致的相位關係。這些變化顯示 El Niño 與澳洲附近 SLP 的關係在 1977 年以後和澳洲東岸與珊瑚海附近的同相位關係(El Niño 時 SLP 偏高)比 1977 年以前要強。實際上，本文的 EOF-1 與 Gerreaud and Battisti(1999)指出的伴隨 ENSO 年代際變化之全球海平面氣壓場(請參該文之圖 5c)非常相似，因此 EOF-1 主要反應了亞澳季風區伴隨 ENSO 年代際變化的海平面氣壓場變化。

把表三裡的 ENSO 與 EOF-1 和 EOF-2 的關係對照圖 7、8 來看，發現不論是在 1977 年之前或之後 El Niño 都以出現在正 EOF-2 的年份居多，而 La Niña 多半發生在正 EOF-1 的年份，表示 ENSO 特性反應在不同的海平面氣壓 EOF 模，亦即 El Niño 和 La Niña 的 SLP 變化中心有

明顯位置上的差別。這些結果支持了前一節的結論：只有兩型一與 ENSO 和整個亞澳季風區主要的 SLP 變異有比較一致的關係。類型一屬於 El Niño 時亞澳季風區內的一種重複出現降雨型態，類型二、七在 1977 年以前與 La Niña 造成的亞澳季風區 SLP 變異比較有關，但是因為這種關係在 1977 年之後變弱，顯示 La Niña 不是造成這兩種雨型的決定性原因。

六、討論與結論

(一) 綜合討論

根據 Dai 全球降水資料(1920-1995)計算的相關係數分析，全球 2110 個格點中和台灣一至三月雨量年際變化相關性比較顯著的區域僅限於西太平洋群島(關島附近)與南回歸線以北的澳洲西部這兩個地方。按照台灣、關島附近和澳洲西北三個地方在 1949-95 年降雨距平的符號搭配，我們歸納出三種出現次數較多的兩型：類型一為台灣偏濕、關島附近與澳洲西北均偏乾，類型二為台灣偏乾、關島附近與澳洲西北均偏濕，類型七則為台灣與澳洲西北均偏乾、關島附近偏濕。這 47 年當中，屬於類型一與類型二的各有 11 和 9 年，類型七有 7 年，個案數均少於分別有 15 年的 El Niño 與 12 年的 La Niña。類型一的 11 年個案當中一至三月屬於 El Niño 的有 7 年，顯示類型一與 El Niño 關係密切；類型二與 ENSO 的關係較弱，9 年個案中僅有 4 年屬於 La Niña，1 年屬於 El Niño。類型七和 ENSO 的關係與類型二相似，雖然有 4 年是 La Niña 但是也有 1 年 El Niño。特別值得注意的是，12 年 La Niña 中，沒有被歸入類型二和類型七的四年均屬於連續兩年 La Niña 當中的第二年。

換言之，1949-95 期間凡前一年不是 La Niña 的 La Niña 年，台灣一至三月偏乾而非律賓海關島附近偏濕。

利用合成法與 EOF 法分析 NCEP/NCAR 重分析資料的可降水量後，我們確定類型一、二、七是屬於亞澳季風區一至三月雨量年際變化的主要形態。環流特徵分析的結果支持這三個雨型當中類型一是因 El Niño 影響形成的。亞澳季風區海平面氣壓場的 EOF 分析結果顯示第一和第二個 EOF 總和可以解釋 56% 的變異量，這兩個 EOF 雖然和 ENSO 有比較明確的關係，和降雨類型的關係則比較模糊。EOF-1 的負相位反映 La Niña，EOF-2 的正相位則反映 El Niño。此外，EOF-1 與 Gerreaud and Battisti(1999)中伴隨 ENSO 年代際變化的全球海平面氣壓場非常相似。

在 SLP 的 EOF 和降雨類型的關係這一方面，我們發現類型一與 EOF-2 有比較一致的配合關係，支持了類型一和 EOF-2 兩者都反應 El Niño 影響的想法。另外，1977 年以後類型二出現在負 EOF-1 的次數明顯高於正 EOF-1，正 EOF-1 表示從赤道西太平洋經新幾內亞一直到澳洲東部的 SLP 偏低，對流偏強。類型二和負 EOF-1 的關係顯示澳洲東部有對流活動減弱的變化趨勢可能提高類型二降水的發生機會較高。伴隨類型二降水還有一個重要的特徵是在台灣東方和西太平洋附近的低壓槽一直伸入赤道附近，若低壓僅限於菲律賓海和南海而沒有與中高緯低壓系統相連，則澳洲偏乾，屬於類型七的雨型。

Kiladis and Diaz (1989)根據 1854-1988 的全球測站資料詳細分析了 ENSO 對世界各地的溫度與雨量的影響，在一至三月的雨量方面他們

並沒有在台灣、赤道西太平洋和澳洲西部發現明顯的訊號，但是在非洲東南辛巴威與莫三比克附近有顯著的偏濕訊號。仔細查看他們的圖 3c，我們發現本文指出的降水類型一和他們的結果是一致的，出現在非洲東南的 ENSO 訊號和我們分析的結果(圖略)也相當一致。據此，可以再次確定類型一降水主要是受 El Niño 的影響。McBride and Nicholls (1983)根據 1932-74 的澳洲 107 個測站的資料分析 ENSO 對澳洲雨量的影響，他們發現比較明顯的影響出現在南半球春季(九至十一月)，夏季(十二至二月)的訊號甚弱。這個關係可以從分析印尼測站雨量資料得到證實(Haylock and McBride 2001)。McBride and Nicholls (1983)還指出 ENSO 對澳洲降雨的影響有逐漸西移的傾向，這個趨勢和本文可降水量的第一個主成分的趨勢一致。Frederiksen et al. (1999)的數值模擬結果顯示澳洲西部和西北部的雨量變化主要是受到東印度洋與印尼附近的海溫變異的影響，而東部雨量主要受 ENSO 的影響。從亞澳季風區 SLP 的 EOF 分析結果來看，在澳洲附近 EOF-1 的主要中心在澳洲東部而 EOF-2 的主要中心在西北部，並且兩個主成分時間序列在 1976 年前後符號有明顯的差異，可能是與印度洋或太平洋海溫變異的年代際變化有關。但是根據類型一和 El Niño 之間穩定的關係，我們認為近 50 年來 El Niño 對於澳洲西北部降水的影響應無明顯改變。

在前一篇論文(盧與麥 2003 內圖 3)中我們看到以 75 年全島平均一至三月降雨資料來看，若僅考慮 1949 年以後的情形則大約是 1977 年以前台灣偏乾而 1977 年以後偏濕。本文(圖 7)指出偏乾的訊號和 EOF-1 正相位時阿留申低壓偏弱而熱帶西太平洋低壓偏強的距平特徵是一

致的，台灣偏濕時阿留申低壓偏強而熱帶西太平洋尤其是澳洲東部珊瑚海附近的低壓偏弱。Yang et al. (2002)指出對流層頂的東亞噴流年際變化和 ENSO 的關係不強，但是和東亞主槽、阿留申低壓與東亞冬季季風的關係甚鉅。噴流偏強時東亞主槽加深，阿留申低壓偏低，熱帶亞澳區域對流偏強。西北太平洋的海溫溫度南北梯度與噴流年際變化關係密切，梯度加強之後噴流會隨之加強。因此，亞澳季風區內一至三月台灣和其他地區降雨關係除了受到 ENSO 影響之外，西太平洋海溫經向梯度可能也是一個重要的影響因子。

這些結果說明台灣氣候的明顯乾期或濕期與亞澳季風系統的年際和年代際變化有關。另外，在 1977 年以前 ENSO 的變換週期較短，亦即 El Niño 和 La Niña 交替出現的準雙年振盪現象比較明顯(Wang 1995)，但是對台灣冬季氣候的影響主要表現在溫度而不是雨量(盧 2000)；1982 年之後 ENSO 變化頻率降低，南海海溫增暖，台灣冬季雨量的準雙年振盪轉趨明顯。Lu (2002)認為台灣冬季氣候變化特徵與菲律賓海低層環流變化關係密切，這個看法在本文再次得到確認。類型一、二雨型的風場和海溫距平合成分析結果顯示當關島附近和澳洲西北的雨量距平符號一致但與台灣附近符號相反時，在南印度洋和西太平洋都有明顯的海溫與低層環流距平。而類型七的合成分析結果顯示當關島附近多雨，澳洲西北和台灣附近少雨時，海溫與低層環流距平僅侷限在較小的南海和菲律賓海的範圍內。Wang et al. (2003)指出局地海氣交互作用是維持印度洋和西太平低層異常環流的必要機制，ENSO 則是形成海溫 and 風場異常的基本條件。類型一雨型以 El Niño 作用為主，因此

關島附近和澳洲西北的少雨是伴隨 El Niño 的沃克(Walker)環流在這個區域的下沉環流加強所造成的，而台灣附近多雨一方面是因為伴隨澳洲夏季季風的哈德里(Hadley)環流在台灣附近的下沉氣流減弱，另一方面可能是因菲律賓海的低層反氣旋環流可使鋒面在台灣附近停留較久所致(Wang et al. 2000)。

Hendon et al. (1999) 指出澳洲夏季雨量有相當程度是受到 MJO (Madden - Julian Oscillation) 的影響，在 MJO 比較活躍的年份澳洲夏季偏乾，MJO 較不活躍時澳洲夏季偏濕，並且 MJO 的活躍程度與 ENSO 或異常海溫作用的關係不大。本文中我們針對類型一、二、七降水所合成的可降水量顯示澳洲偏濕時赤道對流偏弱(圖 5b)，而澳洲偏乾時赤道對流偏強(圖 5a)，圖 5c 則顯示赤道對流與澳洲同時偏弱。從 850 hPa 風場(圖 5a-c)和海溫(圖 4a-c)合成圖來看，赤道對流偏弱而澳洲季風降雨偏多的情形發生在南海與爪哇海上的跨赤道流偏強，跨赤道流的強度受到東亞冬季季風強度和菲律賓海氣旋環流距平尺度的影響。

(二) 結 論

藉由分析台灣、西太平洋關島附近和澳洲西北部三個地方一至三月雨量的年際變化關係，我們發現在 El Niño 的作用下有利於台灣偏濕而另外二地偏乾的降雨型態(類型一)出現，在 La Niña 的作用下傾向於台灣偏乾而西太平洋關島附近偏濕(類型二、七)，但 La Niña 並不是形成類型二、七的唯一原因。菲律賓海與西太平洋上的對流運動異常活躍是類型二、七的共同特徵，兩種類型的差異在於澳洲西北部的偏濕(類型二)或偏乾(類型七)。北半球東亞與西太平

洋的中緯度擾動伴隨的低壓槽是否可伸入菲律賓海、南海與爪哇海是類型二出現的重要因素。換言之，低壓槽的深度可決定台灣偏乾時澳洲和赤道西太平洋深對流運動是否同時異常活躍。若西北太平洋低壓槽深度不夠，雖然菲律賓海偏濕但是澳洲會偏乾，類型七雨型於是出現。至於是何種因素導致菲律賓海冬季對流異常活躍？除了 La Niña 之外，菲律賓海的海溫高低也是一個重要因素，然而尚有許多未知領域有待繼續研究。另外，伴隨太平洋海溫年代際變化，赤道西太平洋和澳洲東部的海平面氣壓場有升高的趨勢，下沉氣流增強。此一趨勢對於類型一的出現頻率影響並不大，可能是因為年代際變化較強的區域出現在澳洲東部，可加強 El Niño 時澳洲西部偏乾的現象。事實上，澳洲東部海平面氣壓的升高趨勢對於類型二、七的出現影響也有限，顯示 La Niña 不是兩種雨型的形成主因。

本文達成了辨認台灣一至三月雨量與亞澳季風區內其他地方的雨量有何固定關係之目的。我們藉由有限的資料說明了類型一、二、七這三種降雨距平型態存在的真確性，並且從 NCEP/NCAR Reanalysis 資料顯示的大尺度環流距平型態找到了支持的證據。還需更多後續研究工作方能鑑別除了 ENSO 以外有那些重要因子在控制台灣一至三月雨量的年際變化。

致 謝

本研究是在中央氣象局短期氣候預測計畫與國科會 NSC 90-2621-Z-052-001 計畫的支持下完成。感謝張智北教授與周佳博士的討論，及審查者的寶貴意見。本文使用的 Dai 資料是

由 <http://www.giss.nasa.gov> 網站獲得。NCEP / NCAR Reanalysis 資料是由 <http://iri.ideo.columbia.edu> 網站獲得。

參考文獻

- 吳明進、陳圭宏 1996：聖嬰/南方振盪(ENSO)現象對台灣短期氣候變化影響之研究—春雨部分。八十五年度委託計畫研究報告第 CW85-2M-04 號，交通部中央氣象局。
- 許晃雄、陳圭宏 1994：台灣地區低頻大氣變化與熱帶海洋及大氣的關係。氣象科技中心技術報告彙編，No.014，中央氣象局，33-58。
- 廖志翔 1995：台灣地區春季降雨分析及聖嬰/南方振盪(ENSO)關係之探討。八十四年度研究報告第 CW84-1A-04 號，交通部中央氣象局。
- 盧孟明 2000：聖嬰現象與台灣異常氣候關係之探討。大氣科學，28，91-114。
- ，麥如俊 2003：台灣與全球雨量長期變化研究 (一)：1920-1995 變化趨勢。大氣科學，31，199-220。
- Curtis, S. and R. F. Adler, 2003: Evolution of El Niño-precipitation relationships from satellites and gauges. *J. Geophys. Res.*, 108 (D4), 4153.
- Dai, A., I. Y. Fung and A. D. Del Genio 1997: Surface observed global land precipitation variations during 1900-1998. *J. Climate*, 10, 2943-2962.
- ，and T. M. L. Wigley, 2000: Global patterns of ENSO-induced precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1283-1286.
- Frederiksen, C. S., D. P. Rowell, R. C. Balgovind, and C. K. Folland, 1999: Multidecadal simulations of Australian rainfall variability: The role of SSTs. *J. Climate*, 12, 357-379.
- Garreaud, R. D. and D. S. Battisti, 1999: Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation. *J. Climate*, 12, 2113-2123.

- Haylock M., and J. McBride, 2001: Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall. *J. Climate*, **15**, 3882-3887.
- Hendon, H. H., C. Zhang, and J. D. Glick, 1999: Interannual variation of the Madden-Julian Oscillation during Austral Summer. *J. Climate*, **12**, 2538-2550.
- Kalnay, E. M., and the coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 3, 437-471.
- Kiladis, G. N., and H. F. Diaz, 1989: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, **2**, 1069-1090.
- Livezey, R. E. and W. Y. Chen, 1983: Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 46-59.
- Lu, M.-M. 2002: The biennial oscillations in Taiwan. *TAO*, **13**, 469-498.
- McBride, J. L., and N. Nicholls, 1983: Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1998-2004.
- Nakamura, H., T. Izumi, T. Sampe, 2002: Interannual and decadal modulations recently observed in the Pacific storm track activity and East Asian winter monsoon. *J. Climate*, **15**, 1855-1874.
- Press, W. H., S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, 1993: Numerical Recipes in Fortran. Cambridge University Press. P610-613.
- Wang, B., 1995: Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. *J. Climate*, **8**, 267-285.
- , R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect Asian climate? *J. Climate.*, **13**, 1517-1536.
- , R. Wu, and T. Li, 2003: Monsoon-Ocean interaction and its impacts on the Asian-Australian monsoon. *J. Climate.*, **15**, 1195-1211.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539-2588.
- Yang, S., K.-M. Lau, and K.-M. Kim, 2002: Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies. *J. Climate*, **15**, 306-325.

The January-March Precipitation in the Region of Asian-Australian Monsoon

Mong-Ming Lu Ru-Jun May

Research & Development Center, Central Weather Bureau

(Manuscript received 26 August 2002 ; in final form 01 September 2003)

ABSTRACT

The 1920-95 grid precipitation over the land prepared by Dai et al. (1997) has been analyzed for studying the relationship between Taiwan winter (January-March) rainfall and the interannual variations of rainfall patterns in the Asian-Australian monsoon region. We find that Taiwan rainfall is strongly correlated with the rainfall over two areas: the west Pacific islands including Guam and northwest Australia. The correlated patterns are supported by the EOF analysis of the precipitable water of the NCEP/NCAR reanalysis data set. Three precipitation patterns, namely the Type-1, Type-2 and Type-7 are identified. Type-1 corresponds to the wet condition over Taiwan but dry over the Philippine Sea and northwest Australia. Type-2 has dry condition over Taiwan but wet over the other two areas. Type-7 is both Taiwan and northwest Australia are dry but the Philippine Sea is wet. The composite SST and circulation patterns suggest that Type-1 is a response to El Niño. However, La Niña is not the only influential factor bringing about the other two rainfall patterns. Both patterns have more active convection over the Philippine Sea. If the active convection is associated with deep troughs intruding from north Pacific to the South China Sea and intensifying the cross equatorial flow, then northwest Australia tends to be wet. If the active convection over the Philippine Sea is not associated with the deep troughs, then northwest Australia tends to be dry.

Based on the results of EOF analysis of the sea-level pressure over the Asian-Australian monsoon region, it is suggested that the atmosphere is affected by the equatorial SST anomalies in two different time scales of interannual and interdecadal scales. In the interdecadal time scale, the sea-level pressure over the western Pacific and eastern Australia in the decade after 1977 became higher than the decade before 1977. The increase in sea level pressure does not have clear impact on the occurrence frequency of the three rainfall types. These findings support the conclusion that the Type-1 pattern results from El Niño, while neither Type-2 nor Type-7 is primarily caused by remote SST anomalies.

Key words: Taiwan winter precipitation, Taiwan precipitation and ENSO, Asian - Australian Monsoon System