

# 台灣地區降水長期預報評述

吳明進

國立台灣大學大氣科學研究所

## 摘要

本文針對台灣地區降水長期預報，以個人研究結果為基礎，依預報的方法分別作一概略的回顧與展望。

聖嬰/南方振盪 (ENSO) 是一個全球現象，這個現象由於熱帶海氣系統的交互作用結果有相當的延續性。由領先落後的相關顯示 ENSO 指數對台灣西部地區春季的降雨有領先至少一個月的預報能力。台灣春季降水與 ENSO 的顯著相關，從 Nino-3 之 SST 和台灣春雨的小波分析以及分時段的相關分析指出這相關性有顯著的年代變化。1978 年以後相關變得非常顯著。

氣候變化地心說理論或地熱渦理論，由中國大陸蘭州高原大物所湯懋蒼教授所倡議。應用地熱渦理論於台灣地區降水的長期預報曾經二年多的作業性預報實驗。本文以判中率和 Mobley Score 兩種技術得分比較氣象局作業長期預報和利用地熱渦預報的結果來評估應用地熱渦理論於台灣地區降水長期預報的技術。整體而言，第一階段 (1998 年 5 月-11 月) 依地熱渦平移假說所作的降水預報沒有預報技術，東部的預報尤差。相對地中央氣象局這段期間的預報優於隨機預報，顯示邊際預報技術。第二階段 (1998 年 12 月-99 年 4 月) 依地熱頻散的假說所作的預報結果有大幅度的改進，顯示不錯的預報技術，不過東部的預報結果仍然不佳。第二階段氣象局作業預報表現變差，接近或劣於隨機預報。第三階段地熱渦預報技術大幅滑落，多數預報劣於隨機預報。氣象局的預報則大多數略高於隨機預報。顯示利用地熱渦理論預報分區的降水可能不具可行性。氣象局之預報則顯示不顯著的預報技術。

其次是和美國 NCEP 與 ECPC/SIO/UCSD 合作，使用 NCEP/RSM96V 區域波譜模式進行台灣區域降水的長期預報。該預報系統自 1997 年 9 月底開始，每週作一次往前預報 12 週。98-2000 年的預報結果顯示，第 1 週，及第 5 至 8 週的預報有相當技術。整體而言模式可以顯示各區清楚的年變化特徵。但北、東台灣冬季的降水量有高估的趨勢。

## 一、前言

台灣位於東亞季風區，全省年平均降水量可達 2500 公厘以上，可說相當多。但由於人口稠密，使得人均降水資源只達全球平均值的五分之一多一點，可說相當少。加上降水季節與分布不平均，降水區域分布的差異，使得水資源在大部分地區，某些季節縱使天候正常也相當緊張。如加上天候異常乾旱發生，水資源即成稀有資源。但假設能依準確的短期氣候預報 (即長期預報)，事前做有效的規劃，必能使降水多時移做水力發電等用途，增加經濟效益。降水少時也能因事前的準備因應，使乾旱之衝擊減至最小，所以提高降水長期預報技術有其迫切的需要。

在中央氣象局預報中心設有長期課，進行以旬為單位，一個月為期的長期預報，以及一個月為單位，一季為期的長期預報。由於傳統的預報工作接偏重於逐月的天氣預報，對於長期預報並未能投入足夠的人力和資源，所以成果不能與美、日等先進國家相比。

筆者近年來也投注相當時間於台灣地區降水長期預報相關研究，並建立一虛擬的區域氣候/水文預報實驗室 (<http://wu.as.ntu.edu.tw>)。嘗試和國際上的研究中心和學術單位合作，從事台灣地區降水/水資源的作業性預報實驗。本文要以個人的研究結果做基礎

對台灣地區降水的長期預報做一個評估與展望。

長期預報的方法大致可分成統計/物理推斷法和數值模式預報法二類。以下只評介區域氣候/水文預報實驗室進行的聖嬰/南方振盪相關應用及地熱渦推斷台灣區域降水長期預報。而由動態時間序列模式延伸的模糊分類/馬可夫鏈時間序列模式和奇異譜/最大熵譜時間序列模式等統計/物理推斷預報法。限於篇幅，本文予於略過。同時其他相關的多變數迴歸、多變數判別分析、正準相關分析以及類神經網路應用等，由於並未在預報實驗室執行作業性預報實驗，也予略過。數值模式預報方面，區域氣候/水文預報實驗室使用美國 NCEP/GSM/RSM 模式系統和美國 NCEP 及 ECPC/SIO/UCSD 合作進行台灣區域 0-12 週的短期氣候預報。自 1997 年 10 月開始執行預報的結果如何，有加以評估的必要，以下分別介紹前述預報方法的原理和評估預報實驗的結果。

## 二、統計/物理推斷

### (一) 相關

El Nino/Southern Oscillation (ENSO) 為全球尺度現象影響全球的氣候。對台灣地區降水的影響可以從分區月降水與領先或同時的 ENSO 指標，如南方振

盪指數(Southern Oscillation index, SOI)或Nino-3海面溫度(sea surface temperature)顯著相關看出(Wu and Chen, 1996)。整體而言,台灣北部地區在El Nino 成熟期(北半球冬季)後的二月、三月降水顯著增加,同樣的情形發生在台灣的中部和南部。台灣西部降水與 ENSO 的相關有顯著的年代季變化,圖 1 為 1951-2000 冷季(11~3 月)Nino-3 SST 和隨後台灣西部早春(2~3 月)降水的 Morlet 小波分析的結果(Jiang et al. 2002)。台灣西部春雨和 Nino-3 SST 在 1970 年代中以後,年代季變化之變異加大,而且相位重合。兩者於 1951-1977 年與 1978-2000 分段的相關係數(圖 2)顯示台灣西部在 1978 年以後 ENSO 事件成熟期後之春雨有顯著的增加。領先或同時的 ENSO 指標,是台灣台灣春雨一個有效的預報指引。

## (二) 地熱渦理論與台灣地區降水預報評估

從傳統氣象的觀點,認為降水長期預報關鍵在於海洋大氣系統能量平衡的演化。因而集中資源與人力於監視大氣海洋系統的變化,並更進一步發展大氣-海洋偶合數值模式進行定量降水長期預報。不過以目前模式的發展,除了 ENSO 相關現象之外,並未顯示有足夠的技術。這個缺失可能是源於對海洋-大氣系統之物理了解不足,但也可能是因為忽略了“地圈”這個因素的影響所致。從地學觀點來說,地球系統中能量最主要的形式是熱能,而地球系統五大圈中,地圈的熱容量占總熱容量 99.9%,水圈僅佔 1/1000,大氣、冰雪圈占百萬分之一,生物圈比大氣圈小二個數量級。因此各圈層相互作用中,在長時間尺度的變化裡,地圈可以啓主導性的作用。它微小的變化,可使其他圈層產生巨大反應。

大陸中國科學院蘭州高原大物所(現為寒旱所)的湯懋蒼教授等人分析大陸地區地溫、降水和地震資料,結果提出“地熱渦”或氣候變化地心說理論(Tang et al., 1982, 1989)。

地熱渦的定義是在每月或季 3.2m 地溫距平( $T'$ )佈圖中,分析出  $T' \geq 0.5^\circ\text{C}$  的高溫中心,且其周圍有  $T' < 0^\circ\text{C}$  的低溫區所圍繞者稱之。如果本區發生 4 級以上的中強地震則高溫值可降低為  $T' > 0.1^\circ\text{C}$ 。根據地溫資料的分析,可知 3.2m 高溫區的熱量應有部分來自地下更下層,由地熱渦中心的地理分布和地殼上升區一致以及強震區分佈在地熱渦特定的象限,湯懋蒼提出地熱渦乃是地幔波傳送熱流在地質破碎區熱量上傳的現象。地熱渦中心熱液上湧、地殼上凸,熱能由此散逸至大氣中,形成地面熱源,因而相伴低層大氣低壓輻合,有利降水發生。反之冷中心則冷液下沉,地殼下凹,伴隨低層大氣高壓下沉輻散因而成爲乾旱地區。此即爲氣候變化的地心說。地熱渦周圍地殼垂直運動變化最大地區,則有利於強震發生。根據統計,中國地區地熱渦平均水平尺度 600km,特徵速度 1cm/s。大部分的地熱源地,可追蹤至印度洋邊緣附近,而後向東移動。因而觀測追蹤地熱渦的生成變化與移動,即可據以做地震和降水的長期預報。這種降

水長期預報在大尺度可行的預報方法,是否可以推廣應用到台灣分區降水這種較小尺度的預報?台大區域氣候/水文預報實驗室,和大陸中科院蘭州高原大物所(現為寒旱所)湯懋蒼教授研究群合作,進行了二年多(1998 5 月~2000 年 5 月)的台灣分區降水領先 1 至 3 個月之作業性預報實驗。區域氣候/水文預報實驗室負責提供台灣 8 個中央氣象局測站,0-5m 的地溫觀測以及 12 個測站資料。高原大物所結合大陸地區 205 站 0 至 3.2m 地溫觀測以及 333 站地面溫度級降水觀測資料,製作地熱渦分布演化圖,並依此比照中央氣象局的季節預報分區,全省分成北、中、南、東四區,進行領先一至三個月的偏少、正常、偏多(累年月降水量從小到大,依序取個數 30%、40%、和 30% 的範圍定義)的三分類預報。預報的結果如何?本文以判中率和 Mobley score 二種技術得分,比較隨機預報和地熱渦預報及中央氣象局同時期季節預報結果,評估其預報技術。

應用地熱渦理論的預報實驗大體可分爲三階段,第一階段自 1998 年 5 月至 11 月,乃是湯教授依據地熱渦之加強減弱爲平流過程的概念來做地熱渦預報,再來預報降水。第二階段自 1998 年 12 月至 1999 年 4 月,乃是依據地熱渦之加強減弱爲頻散過程的概念來進行預報。第三階段的預報自 1999 年 5 月至 2000 年 5 月預報由湯教授研究群其他成員主導,因此預報結果之評估也分爲三個階段進行。預報技術的評估採取隨機預報和中央氣象局同期的季節預報爲評比對照。

校驗的基準是分區中央氣象局所屬氣候站觀測結果,北部有台北、基隆、新竹、宜蘭四站,中部地區有台中、日月潭二站,南部爲台南、高雄二站,東部爲花蓮、成功、台東、大武四站。

整體的預報技術評估分區以二種技術得分顯示,第一種爲命中率,代表正確預報的比例,隨機預測平均之命中率爲 33.3%,命中率低於 33.3% 的表示不具預報技術。第二種的技術得分爲 Mobley Score。Mobley Score 爲一處罰分數,預報正確 0 分,差一級得 1 分,差二級得 2 分。得分越高表示預報錯誤越嚴重,越不具預報技術。100 站月預報校驗爲例,隨機預報之 Mobley Score 爲  $12 \times 4 + 9 \times 2 = 84$ 。地熱渦預報和中央氣象局中央氣象局季節預報之 Mobley Score 除以隨機預報的 Mobley Score 可得到一標準化之 Mobley Score。此相對 Mobley Score  $< 1$  代表預報技術優於隨機預報。Mobley Score  $\geq 1$  代表沒有預報技術, Mobley Score 值越高代表預報結果越差。

台灣分區月降水分類之地熱渦預報和中央氣象局季預報在全省北中南東四區,前述的三個時期,領先 1 至 3 個月之判中率技術得分統計如表一所示,相對於隨機預報之 Mobley Score 技術得分統計如表二所示。

首先由判中率(表一)來看,整體而言第一期(1998 年 5 月~11 月)地熱渦預報在北部和南部領先 1-3 個月有些微預報技術,中部除領先 1 個月外也有些微預報技術,東部則完全沒有預報技術。氣象局的預報領先一個月的預報於四區皆有相當的技術,領先二個月

的預報在北部和東部有些微的技術，領先三個月的預報則除東部之外皆有相當技術。第二期(1998年12月~1999年4月)地熱渦預報相對於第一期有相當改進。除了東部領先一個月和領先二個月之外都有顯著技術。氣象局的預報則表現不佳，命中率接近或低於隨機預報。第三期地熱渦預報技術大幅滑落，四區各領先月份之命中率多數劣於隨機預報，領先一個月的預報尤差。氣象局之預報則略有改進，不過仍有約半數預報劣於隨機預報。其次由相對 Mobley Score(表二)來看，第一期地熱渦預報，除東部全部和中部領先一個月之外有預報技術，氣象局的預報則大部分皆有預報技術。第二期地熱渦預報顯示相當的技術，氣象局的預報則表現較差，有半數的預報劣於隨機預報。第三期地熱渦預報技術顯著變差，有半數的預報顯著劣於隨機預報。氣象局的預報則表現較佳，多數預報有顯著技術。總結來說地熱渦預報在實驗期間第一期和第三期表現都差，甚至劣於隨機預報，氣象局的預報於第二期表現較差，於第一期特別是第三期表現較佳，顯示不顯著的預報技術。台灣分區降水預報於東部地區表現較差。

### 三、區域氣候數值預報

台大區域氣候/水文預報實驗室，從1997年10月開始和美國NCEP/SIO/UCSD合作，透過快捷通訊網路接收ECPC/SIO/UCSD使用固定版本的NCEP全球波譜模式(NCEP/GSM)和NCEP所提供的全球大氣已初始化(GDAS, Global Data Assimilation System)的資料，固定海面溫度距平和氣候海冰資料等所做的全球短期氣候預報(0-12週)數值資料，使用NCEP/RSM96V區域氣候模式進行台灣區域氣候預報。此短期區域氣候預報實驗為每週執行一次，每次做長達12週之預報運算，區域氣候預報使用的全球模式預報資料(NCEP/GSM)和區域氣候模式(NCEP/RSM96V)運算結果，皆已存檔作為預報技術評估和台灣區域氣候可預報度評估的基本資料庫。降水預報的結果並同時以月平均的形式公佈在ECPC/SIO/UCSD(<http://ecpc.ucsd.edu/>)和台大區域氣候實驗室的網站(<http://wu.as.ntu.edu.tw>)上。全球大氣和海洋初始化資料的評估可參考Kanamitsu et al. (2002)。使用全球模式NCEP/GSM所做短期氣候預報實驗結果評估可參考Roads et al. (2001)，東亞地區的結果參考Chen et al. (2001)。以下只分析NCEP/RSM96V預報台灣區域氣候的結果。資料期間採用預報初始化時間1998年1月~2000年12月1週(7日)平均資料。分區降水評估基準為氣象局自動雨量站和氣候站日降水資料之1週平均。

圖3顯示不同領先週期模式預測之降水距平與觀測降水距平之相關係數。由此可見預測之降水與觀測之降水在第一週(LEAD 0)內有接近顯著之相關而在第二週(LEAD 7)後逐步衰減，但在第5週(LEAD 28)至第8週(LEAD 49)則出現另一高峰。整體而言，以相關係數代表之技術得分。模式對於北部地區之降水預報有較高之技術。

以各區降水距平 $>30\%$ ， $+30\% \sim -30\%$ ，和 $<-30\%$ 三分類為依據的判中率在不同領先週期的分佈圖(圖略)可見模式預報在第一週(LEAD 0)及第八週(LEAD 49)及第11週(LEAD 70)有較高之技術，對不同之分區則無偏好。

圖4顯示分區在第5-8週(LEAD 28-49)模式預測與觀測降水平均之年變化。整體而言模式可以顯示各區清楚的年變化特徵。模式傾向於在北部和東部預測過多的冬季降水，而在中部則預測偏少的夏季降水。降水在北部和中部六月多於七月，北部和東部10月降水高峰的氣候特徵模式並無法掌握，由此可見模式系統尚無法掌握梅雨季和颱風侵襲所帶來的極端降水。

### 四、總結與討論

台灣地區降水長期預報重要性自不待言，台大區域氣候/水文預報實驗室也多年從事這方面研究，本文以個人研究結果為基礎，依預報的方法將實際預報實驗結果分別作一概略的評述。長期預報方法大致可以分成統計/物理推斷法和數值模式預報兩類。統計/物理推斷方面，本文評述的重點有應用與ENSO相關之預報和應用地熱渦理論之預報，並同時使用判中率和Mobley Score兩種技術得分三期比較與其氣象局作業季節月預報之結果。數值模式預報方面則評論區域氣候預報實驗室使用NCEP/GSM/RSM氣候模式系統進行作業性台灣區域降水長期預報實驗結果。

台灣西部的春雨和ENSO指標密切相關，氣象界早已知道並加以利用。經進一步的統計分析則發現這個關係有顯著的年代際變化，1978年後相關更為明顯。將來對於台灣西部春雨預報ENSO指標的應用可以加權。

地熱渦預報是一種新的嘗試。整體而言預報實驗期間之第二期顯著優於第一期，可能是地熱渦預報基本原理之改進，大幅度的改進降水預報技術。美中不足的是對於東部降水的預報還是無能為力。第三期的預報技術大幅度滑落顯示這種傳統主觀預報法一個致命的缺點，即是預報技術因人而異，預報無法有系統的改進。氣象局的預報綜合各方面的資訊，多人會商結果作成預報，在上述的地熱渦預報實驗期間，除了第二期之外，大致上顯示一個不顯著預報技術，第三期比第一期好，可能是近年大氣環流監測之加強及數值模式預報資訊之增加所致。第二期主要是下半年的預報，可能不能解釋為台灣氣候下半年的降水較難預報，而是一般氣候可預報度年際變化的結果。Roads et al(2001)曾經預測氣候數值預報在1997-98年有不錯的技術，可能和這時期全球顯著的ENSO訊息有關。氣候實際預報度的極限可能需更長期的預報結果追蹤評估才能得知。

數值模式氣候預報使用NCEP/GSM/RSM模式系統預報實驗的結果顯示預報於第1週和第5-8週有接近顯著的預報技術。預報之第一週為一般天氣長期預報的範圍顯示氣候的變化和初始條件關係密切。第5-8週有接近顯著的預報技術，還不能確定是偶然或者預報模式需要有一個月到一個半月的調適時間，模式才

會有較好的預報能力。這個有待更多更長期的預報實驗才能分辨。經過台灣區域氣候之模擬與預報實驗後指出區域模式在東部和北部的冬季總是預報過度的降水，這個問題在經過多次區域氣候模擬與預報實驗結果後被提出。模式發展者(Dr. H. H-M. Juang of NCEP)已發展出新版的RSM模式(RSM-97V)。經過許多模擬實驗證明可以大幅度改善這個冬季過度降水問題。因此區域氣候預報實驗室正進行使用新版的RSM模式(RSM-97V)與RSM-96V作平行預報期望能更進一步改進台灣區域定量降水長期預報的技術。

## 五、致謝

本研究是在國科會專題研究計畫 NSC 89-2111-M-002-027、NSC 90-2111-M-002-029 和 NSC 91-2111-M-002-021 支持下進行。作者感謝國際 NCEP/RSM-USER group，特別是與 Dr. H. H-M. Juang，Dr. John Roads，Dr. S. C. Chen，和 Dr. M. Kanamitsu 之討論啟發。作者也感謝與中國大陸中科院寒旱所湯懋蒼教授與南京氣象學院江志紅教授之合作，以及博士生李清騰先生之數值模式實驗執行。本文由台大李國豐、施景峰先生協助打字編排一併致謝。

## 文獻參考

Jiang, Z., G T.J Chen, and M.C.Wu; 2002  
Characteristics of large-scale circulations  
Associated with Spring Heavy Rain Events over

表一：台灣地區分區降水長期預報之判中率(×100)技術得分，N：北部、C：中部、S：南部、E：東部。PI：第一期 1998 年 5 月~11 月，PII：1998 年 12 月~1999 年 4 月，PIII：1999 年 5 月~2000 年 5 月。M1、M2、M3 分別代表一個月、二個月、和三個月前之預報。UHV：地熱渦預報，CWB：中央氣象局之預報。

		PI			PII			PIII		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
N	UHV	28	18	33	67	53	50	27	58	55
	CWB	38	34	52	33	33	33	44	42	38
C	UHV	17	30	33	33	56	67	35	39	37
	CWB	63	24	44	33	20	33	35	22	32
S	UHV	38	41	52	44	60	50	33	25	30
	CWB	42	14	62	33	19	22	38	42	55
E	UHV	17	25	11	30	15	50	23	33	30
	CWB	42	39	24	33	33	33	27	46	50

Taiwan in the warm and Non-warm Episode.  
(Subjected to M.W.R.)

Kanamitsu, M., A. Kumar, H-M.H. Juang, J. -K. Schemm, W. Wang, F. Yang, S-Y. Hong, P. Peng, W. Chen, S. Moorthi, and M. Ji, 2002; NCEP dynamical seasonal forecast system 2000. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83, 1019-1037.

Roads, J.o., S-C. Chen, and F. Fujuoka,  
2001: ECPC' s weekly to seasonal global forecasts.  
*Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82 639-658

Tang M., Q. Zong, and S. Wu, 1982: Brief introduction to a long-range forecasting method for rainfall anomalies in China. *Arch. Met. Geoph. Biokl.*, Ser. A., 31, 349-359

Tang, M., T. Li, J. Zhang and C. Li, 1989: The operational forecasting of total precipitation in flood seasons (April to September) of 5 years (1983-87). *Advances in Atmos. Sci.*, 6, 289-300.  
Wu, M.C. and G. -H. Chen, 1996: A study of impacts of ENSO on the short-term climate variation in Taiwan Spring rainfall. *CWB Taiwan Technique Report*. CWB-86-2M-0453pp.

表二：台灣地區分區降水長期預報之相對隨機預報之 Mobley Score 技術得分×100。N：北部、C：中部、S：南部、E：東部。PI：第一期 1998 年 5 月~11 月，PII：1998 年 12 月~1999 年 4 月，PIII：1999 年 5 月~2000 年 5 月。M1、M2、M3 分別代表一個月、二個月、和三個月前之預報。UHV：地熱渦預報，CWB：中央氣象局之預報。

		PI			PII			PIII		
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
N	UHV	85	94	65	60	71	71	105	50	56
	CWB	51	104	89	131	107	83	75	50	79
C	UHV	119	89	48	60	60	36	95	75	94
	CWB	34	69	48	60	83	60	95	90	88
S	UHV	85	50	83	83	60	60	120	145	141
	CWB	51	89	36	83	107	107	100	85	59
E	UHV	145	139	137	101	89	65	120	108	94
	CWB	71	99	101	42	42	42	112	80	59

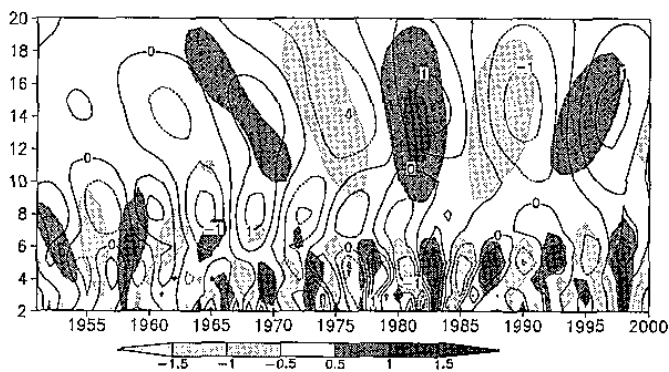


圖.1 1959-2000 台灣西部春雨(2-3 月)和領先及同時的北半球冷季(11-3 月)NINO 3 海面溫度距平之 Molet 小波之係數實數部分。

(c) 1978-2000

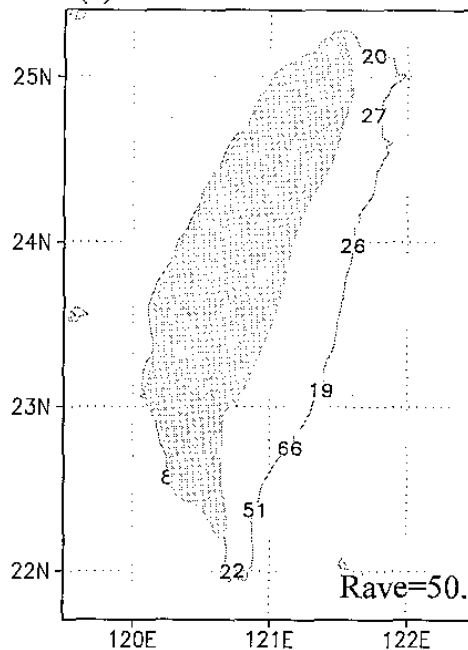
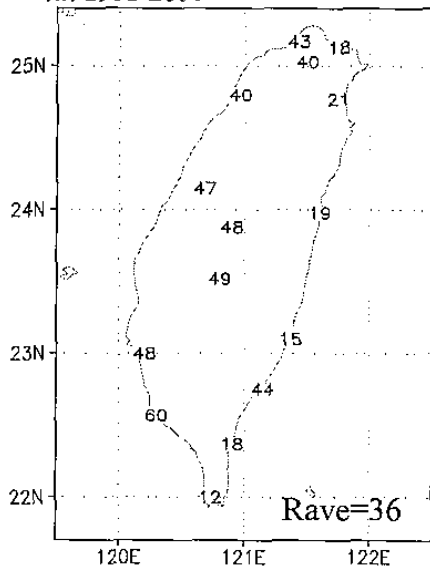


圖 2.台灣春雨(2-3 月)和領先及同時的北半球冷季(11-3 月)NINO-3 海面溫度距平之相關係數 $\times 100$  (a) 1951-2000, (b) 1955-1977, (c) 1978-2000 Rave 為平均值,代表西部降水的 8 站以陰影區表示。

(a) 1951-2000



(b) 1955-1977

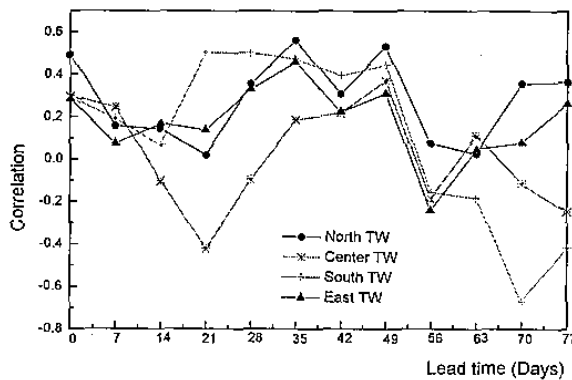
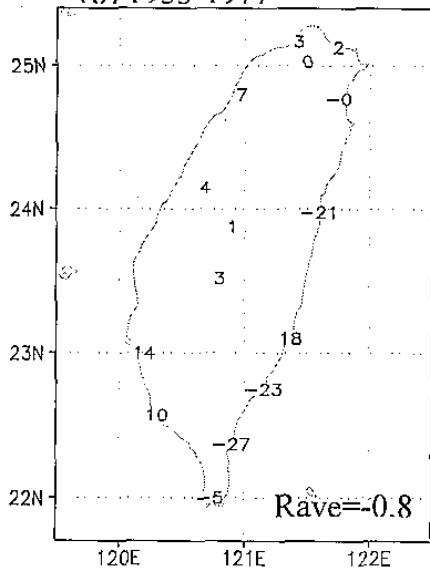


圖 3.以 NCEP/GSM/RSM-96V 氣候模式系統不同領先日數預報和預報分區週降水的相關係數。

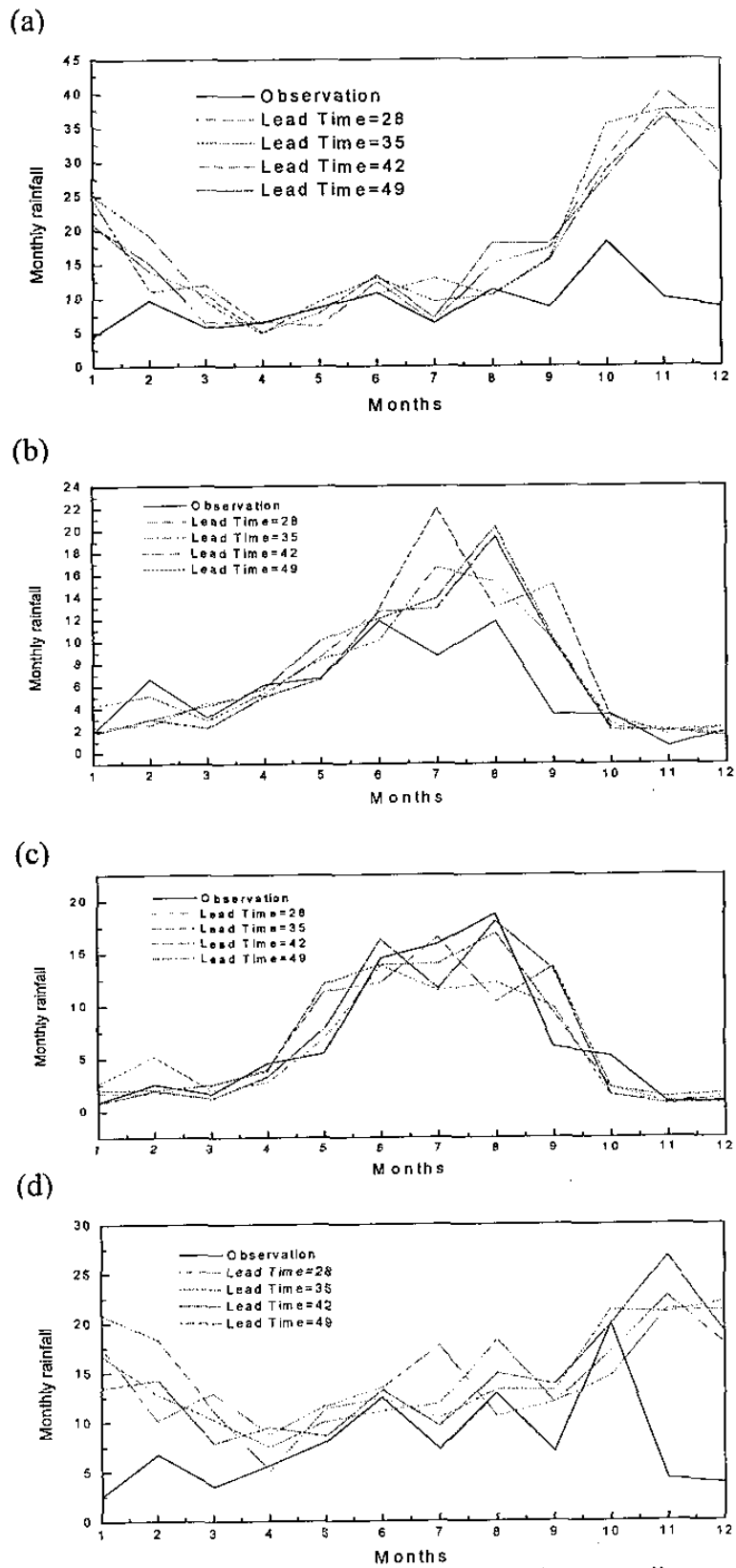


圖 4. 觀測和 28-49 日不同領先日數觀測的月(4 週)降水，(a) 北 (b) 中(c) 南(d) 東。