

臺灣地區近百年測站資料氣溫與雨量的波譜分析結果

陳雲蘭
氣象預報中心
中央氣象局

摘 要

臺灣地區自設立氣象觀測站以來，迄今已有近百年的觀測資料，本文將說明利用波譜法分析本區六個近百年測站溫度與累積雨量資料後所獲得的結果。

文中除檢視年平均資料的週期外，主要針對五個主觀分季（冬季、春季、梅雨季、颱風季及秋季）的資料加以分析，經過與非週期性過程的比較並整理通過顯著性測試的譜值，可以得到一些初步的結果：在溫度方面，主要是以40-60年長週期為主，但在冬季較長的週期是出現在20年左右。2-3年週期皆可在除冬季以外的其他四個季節發現。在比較各分季後可發現冬季的週期分布與其他季節較為不同。雨量方面顯示資料的訊息來自於多種週期的組合，且其頻譜分布因地區及季節的不同有較明顯的差異。其60年的長週期只出現在春季及秋季的部分測站，梅雨季則有30年的週期。高頻方面，東部兩個測站皆顯示夏季有相當明顯的準4年週期，其他2-3年週期在各個季節也都有信號。大體而言，溫度分析顯示主要為40-60年低頻週期，而雨量的長週期在15-60年之間都有信號，且主要分布在春夏系統轉換的時節。就準兩年週期而言，以春季及秋季的溫度資料較明顯。分析結果中並無11年的太陽活動週期。

一、前言

透過一些客觀的統計方法，藉由分析歷史資料可以對一個地區氣候特徵得到初步的認識。除了可由氣候平均與各種高階動差觀察資料的分布外，週期分析可以了解資料循環出現的重複性。近幾年來臺灣地區有增溫的趨勢，是否表示著某種長週期的存在？又是否具有類似高層大氣的準兩年週期？做為臺灣地區氣象研究工作者，實有必要對本土的氣候特性做進一步的探討。統計分析需要使用長時間的資料才能有較客觀的結果，現值中央氣象局建站百年紀念之際，本研究針對本區幾個近百年的測站資料加以分析，重新檢視臺灣地區長期資料的週期性。

分析臺灣地區氣象要素的週期性研究工作始見於六〇年代，雖然當時的電子計算機購置不易，徐晉淮（1967）仍利用人工計算方式將各月份氣溫與雨量資料使用調和分析法，以36個資料單位為基本週期製作分析圖，並且也提供作為長期預報上的參考。劉衍淮（1964）使用臺北及恒春站自設站起迄1960年止的64年資料分析其週期，他強調出某一特定週期可能只清楚的表現在某一特定時間內，並在不同的資料分析中，缺乏共同的週期。這說明了臺灣地區天氣可能存在的複雜性。七〇年後致力在臺灣測站資料分析的工作者首推魏元恆（1973,1975）及蕭長庚（1973），他們進一步使

用自相關函數來探討資料的持續性。並廣泛分析候平均、月平均、季平均及年平均資料。他們在年際變化方面主要的結論為月及年均溫具有近似兩年的週期，並且有長週期增溫的趨勢。應用功率譜的波譜分析來尋找週期可見陳泰然等之論著（1978），他們先選取最大落後步長透過自相關函數計算頻譜值，此法將不受限於調和分析法中基本週期的限制，較可分析出正確的週期。

本文接續前輩的工作，分析六個測站自設站以來至今的百年觀測資料，使用波譜分析法來檢視其週期性，分析中並透過與非週期性過程的比較及統計上的顯著檢定，希望能確實分析所發現週期的顯著程度。

二、使用資料

在中央氣象局25個所屬測站中，只有九個測站是在民國以前就成立的，其他的16個測站均於民國21年之後方陸續設立。為應用較長的資料來作分析，在剔除資料不連續的測站後，本研究選取其中六個測站的月平均溫度與月累積降雨資料來分析。這六個測站站號及資料時間如下：台北（46692，1897-1996）、台中（46749，1897-1996）、台南（46741，1897-1996）、花蓮（46699，1911-1996）、澎湖（46735，1897-1996）、台東（1901-1996）。其中除台東資料時間為96年，花

蓮為86年外，其他西部四個測站都是上百年的測站（註：臺灣地區另一百年測站為恒春站，但在1945年的資料有部份遺漏，因而沒有選取。）這六個站恰好包含了臺灣地區的北、中、南、東、西南與東南六個代表地區。雖然百年資料的可靠度可能受一些人為因素或儀器更新的潛在問題影響，但本研究中仍直接使用來自中央氣象局資料處理科所記錄的歷史資料，並未作其他的修正。

三、分析方法

(一) 波譜分析

為了觀察資料中的顯著週期，利用波譜分析將時間序列轉換到頻率域上來分析，使用時間序列的自相關函數來估算連續功率譜。令一時間函數為 $x(t)$ ，則其自相關函數為

$$\rho(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt$$

其中 τ 為延遲相關中落後時間的間隔長度。由傅立葉轉換可將自相關函數轉為頻率域的分布，其關係式為

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau)e^{-i\omega\tau} d\tau$$

為了消除譜值估計的抽樣誤差，需對譜值作平滑處理，因此再乘上一個窗函數，本研究所選用的窗函數為 Bartlett-Priestley Spectral Window，最後可繪成譜圖。在估計功率譜的自相關函數求算時，需選取一最大延時長度（此後記為 m ）。 m 值的選取需同時考慮足夠多的採樣點及分析頻率的解析度，本研究對近百年的資料樣本分別計算 m 值為 30, 25 及 20 的譜值，分析將以 $m=30$ 的計算結果為主，並配合選取其他 m 值的譜值來檢視可能存在的週期。

(二) 功率譜的校驗

雖然我們可從譜圖中觀察主要的譜值及其對應的週期，但這些信號是否具有統計意義則需作統計上的檢驗工作。

波譜分析的顯著檢定最常使用的是將譜值與非週期性的隨機過程比較，如果譜值能強於這些非週期過程，才可能真正反應出其代表的週期。本文將針對時間序列自相關落後 1 個資料時間的相關值（ $\text{lag}(-1)$ ，此後記為 ρ_1 ）情形，利用二種非週期過程來檢查譜值的顯著性，另外使用 Chi-square 分布計算通過 90%，95% 及 99% 顯著水準的信賴區間，以表現出信號顯著的可靠程度。

所謂二種非週期過程指的是紅噪（Red-Noise）及白噪（White-Noise）。其中紅噪是一種低頻的非週期隨機過程，其譜值在低頻為最大，在

高頻最小。在統計學上其名稱為一階馬可夫過程，其功率譜可表為下式：

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_1^{|\tau|} e^{-i\omega\tau} d\tau \\ = \frac{1 - \rho_1^2}{1 - 2\rho_1 \cos\omega + \rho_1^2}$$

如果分析資料的 ρ_1 經統計 t-test 檢定為明顯的正值，則可能有類似紅噪的非週期過程分布，因此需將譜值與紅噪比較。而白噪則為另一種不隨頻率改變的非週期過程，如果分析資料的 ρ_1 為負值或不為顯著正值，則將其與白噪比較。白噪的功率譜值為資料功率譜的平均。

四、年均溫與年雨量的波譜分析結果

圖一為六個測站取 m 值為 30 的年均溫頻譜圖，可見最強的譜值出現在最長的週期附近，由於各站自相關係數 ρ_1 皆高達 0.5 以上，顯示資料可能有低頻持續的特性，為檢視是否存在可信的週期，將資料譜值與紅噪相比。配合參考 m 值為 25 的譜值分布（未附圖）後，發現 50-60 年的週期都大於紅噪的譜值且具 95% 以上的信賴程度，除此之外，在六個測站都明顯出現的週期為 2-3 年的週期，其中並以澎湖站通過 99% 的可信區間最為明顯。其他週期方面，臺南、花蓮站有 3-4 年的週期，而臺北及臺東在該週期也有明顯的譜值。若只考慮高於紅噪的大值，則有 6-7 年的週期在北、中、南三個測站，花蓮站則偏向 5-6 年的週期。

年雨量的週期分布地區性差異較大，從圖二中可見 60 年長週期只出現在臺南站，而東部兩個測站則一致出現明顯的 20 年週期，顯示其不同於西部測站的特性。對台北站而言，年累積雨量完全沒有大於 4 年以上的長週期，臺中與臺南較長週期是出現在 8-9 年，澎湖則為 7-8 年。通過顯著檢定的高頻週期以台北站的準 3 年週期最為明顯，其次為臺南的準 2 年週期，另外花蓮有 3-4 年的週期，臺中則可能也有準兩年的週期。

大體來說，年均溫的資料顯示明顯的長週期，這與許多氣候變遷報告中所提的增溫趨勢是一致的〔9〕，另一較明顯的週期為 2-3 年的週期，此結果也與其他的研究結果相同〔5〕，部分地區則出現 3-4 年的週期。雨量的長週期並不明顯，但東部兩個測站一致顯示 20 年週期是一較特別的結果，將來若能獲取長時間的環流或海洋資料，可進一步探討其中可能的關連。高頻的週期則因地區而或有差異，或根本不明顯，顯示降雨特性地區性差異大，另外從花蓮站資料分析中可見從 2-8 年皆有高於非週期過程的大值，反應出可能影響花蓮地區降雨因子的複雜性。

五、季節平均資料的波譜分析結果

臺灣位處亞熱帶，不同季節之間，天氣的變化相當明顯。為了更仔細分析可能存在的年際週期，針對本區五個主要的季節作平均後資料再做分析。分季的依據係參考影響臺灣地區的天氣系統類型後主觀分為下列五個季節：冬季（12月、1月及2月）、春季（2月、3月及4月）、梅雨季（5月及6月）、颱風季（7月、8月及9月）、秋季（9月、10月及11月）。這樣的分類大致也與中央氣象局現行作業上的定義相去不遠。

（一）氣溫方面

圖三中六個小圖由左而右，由上而下分別表示六個測站在五個分季均溫經波譜分析後對應至各週期的譜值。其中虛線的等值線表各週期的譜值，而譜值通過90%可信區間者，將其譜值取對數後以細實線等值線標記出，譜值通過95%可信區間者，則以粗實線等值線標記出，如此可較直接觀察可能存在的週期。以下主要觀察通過95%可信區間的週期，並配合其他偏高的譜值來判斷週期存在的可能性，分別就各個季節的分析結果加以說明：

1. 冬季（DJF）：若與其他季節相比，可發現冬季的週期性最不明顯，只在幾個站出現較低頻的週期，在台北站為50-60年，花蓮站為20年，台東則有7.5年的信號。若考慮90%的可信程度，則台東、台北及台中站也存在20年的信號，花蓮及台東則另有6年的週期。

2. 春季（FMA）：在六個站40-60年長週期均相當明顯，西部北、中、南三個本島測站則另有一致準2年週期的信號，除此之外，澎湖有4年的週期，其他別無顯著信號。

3. 梅雨季（MJ）：同樣具40-60年的長週期，但在臺北站此長週期可存在於20-60年之間，此特性與其他站不同。另外2.5-3年的週期在台北、台南、花蓮及台東都通過95%的可信區間，若只考慮90%的可信程度則另二個測站也一致支持此週期的存在。

4. 颱風季（JAS）：除顯著長週期外，其他偏強的譜值對應在2-4年的週期，在各地區較一致出現的為近2.5年，另外3-4年的週期在台中、台南、澎湖、台東等中南部地區都有信號。

5. 秋季（SON）：除具40-60年的長週期，另一為2-2.5年，別無其他週期。

整體而言，臺灣地區近百年氣溫在分季後，仍顯示長週期的存在，除低頻變化外，只有高頻的2-3年週期較明顯，但不論高頻或低頻，都以12至隔年2月的冬季平均資料最不明顯，顯示冬季溫度資料的週期特性與其他的季節明顯不同。

（二）雨量方面

圖四表示六個測站分季後雨量資料波譜分析的結果。與圖三比較後發現雨量的頻譜分布與氣溫有明顯的差異，在雨量的資料分析中，可見長、中、短各種週期，並且季節性與地區性的差異明顯。以下仍先就分季來討論：

1. 冬季（DJF）：2-3年的週期以台北、花蓮及台中較明顯，另外台南有近7年的週期。無其他較長週期信號。

2. 春季（FMA）：40-60年長週期信號在台北站及台中站，花蓮則有25-30年的長週期，若參考通過90%可信區間的譜值，則台北也有30年的週期，而台東則為15年。另外台東也支持在台南與澎湖地區都出現的顯著7.5年週期。在偏高頻方面，除台中沒有明顯信號外，西部測站有偏2年週期，東部測站則偏3年。

3. 梅雨季（MJ）：在西部四個測站都顯示梅雨季有30年週期的信號，其中以台中及澎湖站為最顯著，而台南站雖沒有到達90%的可信區間，但其譜值也居其資料分析中的高值，因此可以支持此一週期的可能性。在東部地區的花蓮則有20年的週期，而台東是以15年週期較明顯。另外台中及台南有8-10年的高譜值，而台東有近5年的高值，但都只有通過90%的顯著測試。在高頻方面台北、台中及澎湖有近3年的週期，而偏2年的週期只出現在台北站。

4. 颱風季（JAS）：地區性的差異很大，值得一提的是東部二個測站一致有明顯的4年週期且顯著性達99%的可信程度。其他通過95%顯著測試的只有台北站的2-3年週期與台中站的8年週期。

5. 秋季（SON）：從譜值的分布看來可知秋季以東部的值最大，顯示出在此季節東部與其他地區氣候上的差異性，另外也可看出秋季較長的週期只出現在東部，花蓮和台東均具有20年的週期。另外花蓮並配合台中及台南站都顯示3.5年的週期，台中及台南則另有近2年的週期。而在臺北站通過95%可信區間的只有10年的週期，也顯示出與其他測站的差異性。參考超過90%可信區間的譜值後發現秋季在台北及花蓮地區可能存在一60年的長週期，這是除了春季以外，另一個具有此長週期的季節。

雨量的變化因地區及季節的不同而有相當明顯的差異性，這也符合我們已經了解的事實。部分地區資料頻譜具有相當的一致性，例如東部雨量在颱風季有4年的週期特性，而在秋季有20年週期性，台北及台中春季雨量有40-60年的週期特性，這些一致性都增加了結果的可信程度。大體而言，雨量15年以上的長週期變化似乎較容易出現在春夏系統轉換的時候，以地區來說也以春、秋季迎風面的東部及鋒面系統容易影響的中部以北為較明顯。

六、總結

利用週期分析來了解時間序列的特性，早在五〇年代就開始了，在電子計算機的發展與統計方法的不斷改善後，更多精密的方法可以更仔細的分析時間序列的週期，本研究的目的一方面配合建站百年紀念的機會，接續前輩的研究再一次分析臺灣地區的氣溫與雨量資料，另一方面也應用更仔細的統計方法檢驗確實可能存在的週期。

由上面的分析我們大概可整理出以下的結果：

(一) 溫度的資料較有持續性，在年均溫的分析中顯示明顯的40-60年長週期，另一明顯週期則為2-3年，並以澎湖站最為顯著。

(二) 年雨量60年週期只出現在台南站，東部兩個測站則一致反應20年的週期。高頻的部分以台北準3年的年雨量週期通過99%的可信程度最為顯著，次之則為台南的準2年週期。

(三) 分季後的氣溫分析顯示各季仍有40-60年長週期的存在，除此長週期外，只有2-3年的高頻週期較顯著，這與年均溫的分析相去不遠。但不論高頻或低頻，都以冬季的信號最弱。

(四) 分季後的雨量資料可以更仔細觀察出臺灣地區的週期性。明顯週期似乎比較容易出現在雨期或雨區。而15年以上的長週期則容易出現在冬夏系統轉換的時節，例如60年長週期只出現在春季台北及台中地區，以及秋季的台北及花蓮地區，另外秋季在東部也有20年的長週期。

(五) 就溫度方面通過99%可信區間的譜值來說明，在春季及秋季有極為明顯的準2年週期，春季時表現在西部三個測站，秋季時六個測站都很顯著，其中以台東站最為明顯。梅雨季則有台東的準3年週期，且花蓮與台南的準3年週期也幾乎通過99%的可信區間，颱風季最明顯的週期是出現在台南、花蓮及台中的近3年週期，並以台南站的譜值為極度明顯。冬季則甚少通過95%測試者。

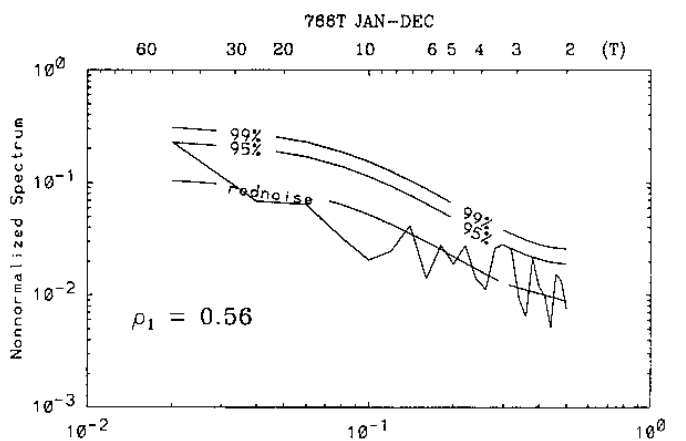
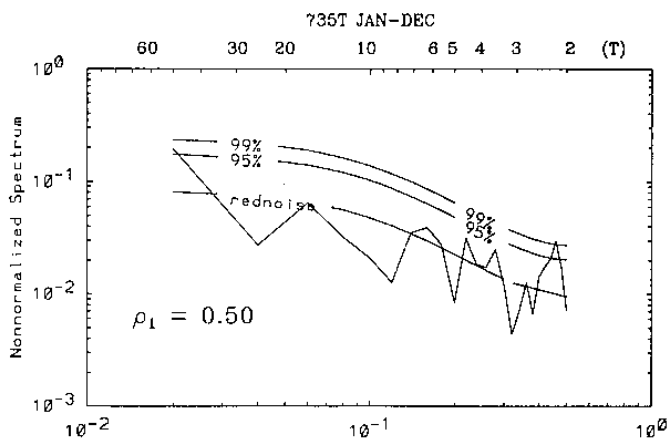
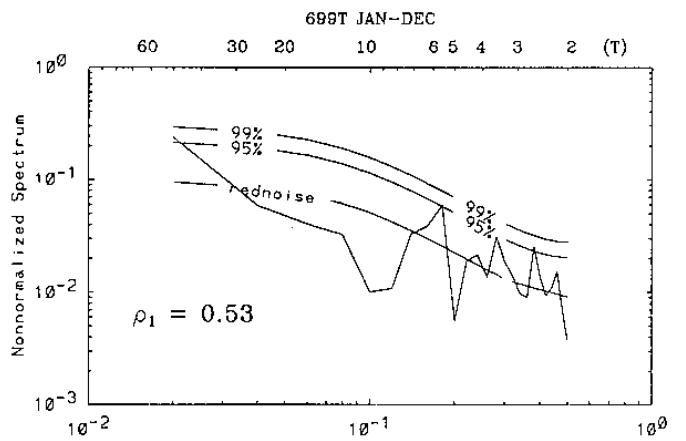
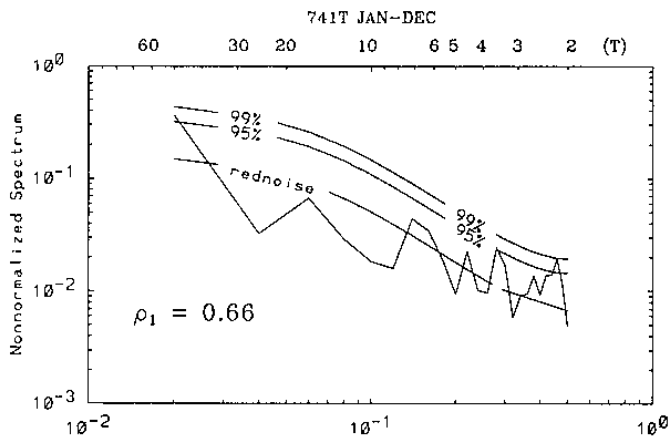
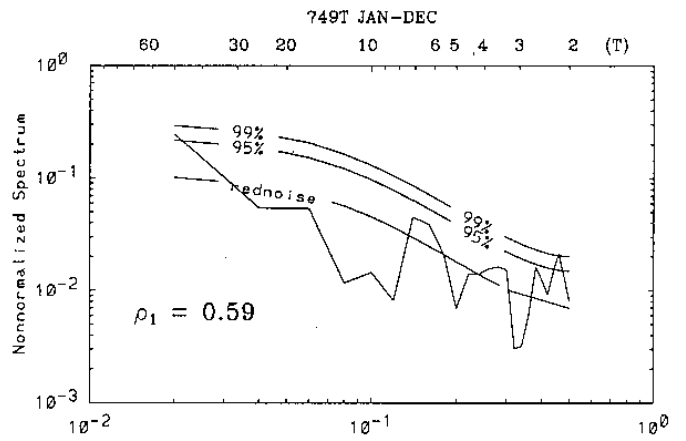
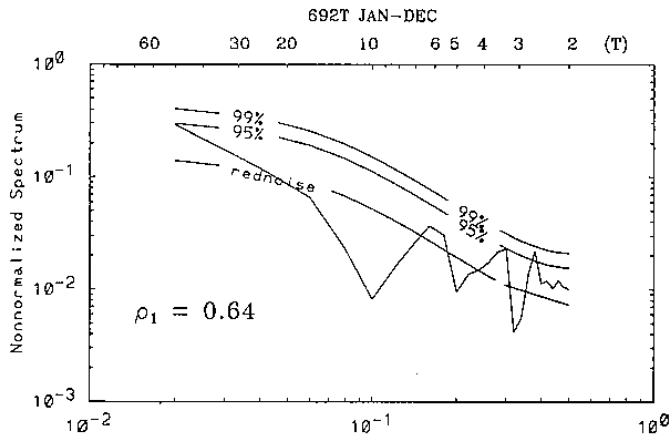
(六) 分季雨量資料通過99%可信程度的較少，顯示雨量週期的複雜性較強。其中最明顯的是同時在東部兩個測站都出現的颱風季準4年週期，另一個則為秋季在台中的3.3年週期。

七、致謝

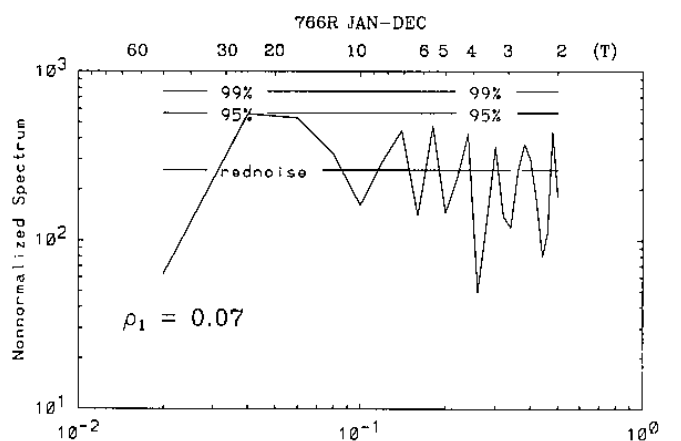
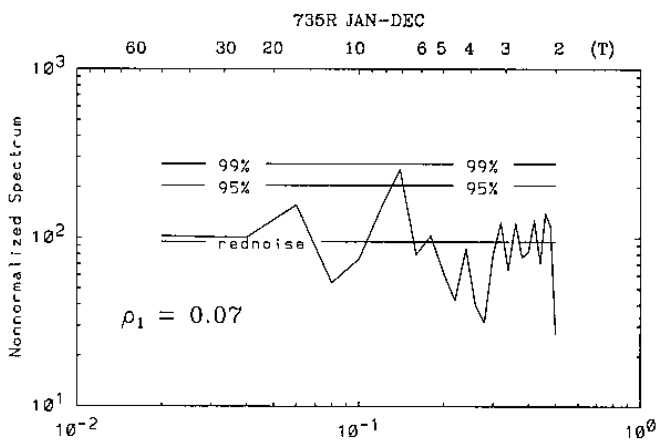
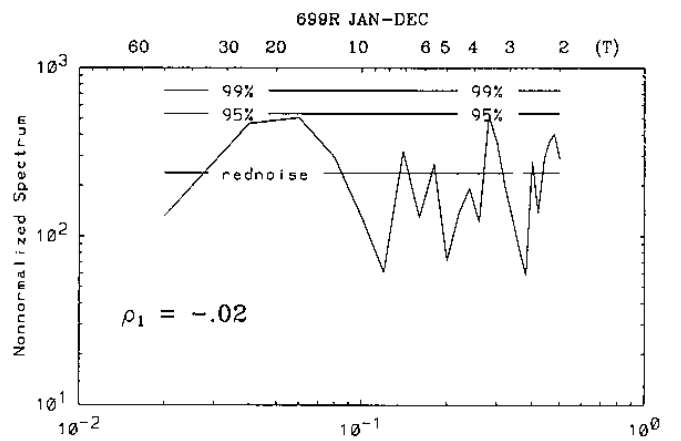
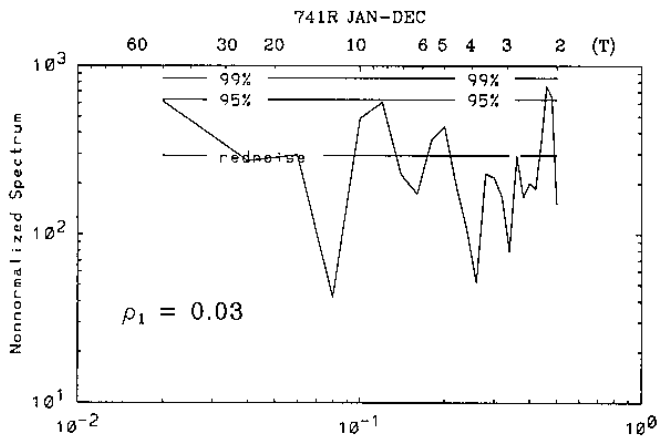
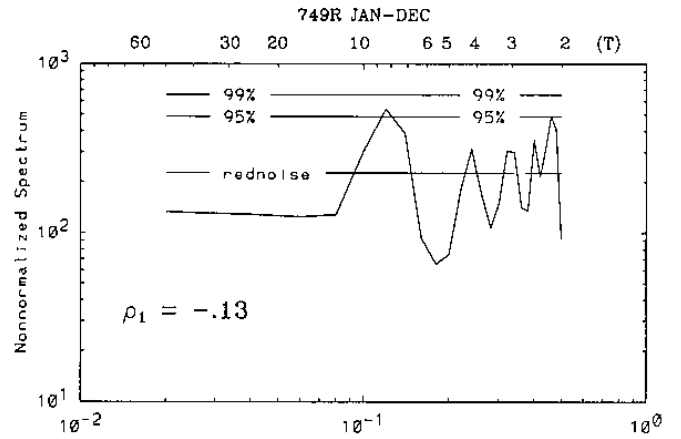
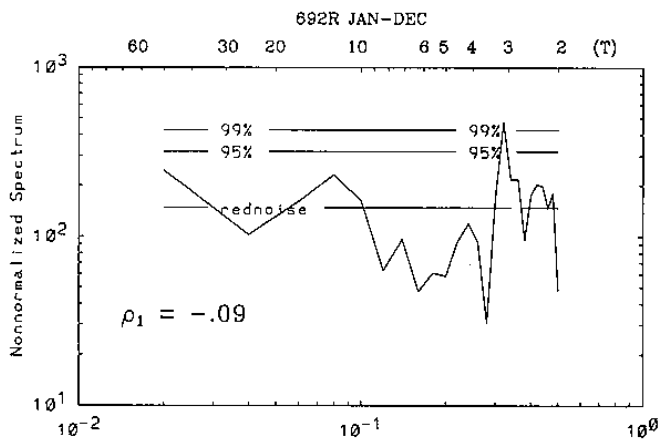
本研究的開始以至於能持續進行，需感謝本局研究員盧孟明博士的鼓勵與指導，研究期間承蒙資訊中心滕春慈副主任、科技中心蕭長庚技正及預報中心廖志翔課長提供相關資料，並獲長期課同仁陳圭宏技正、賀介圭技士提供寶貴的意見，在此特表達感謝之意。

八、參考文獻

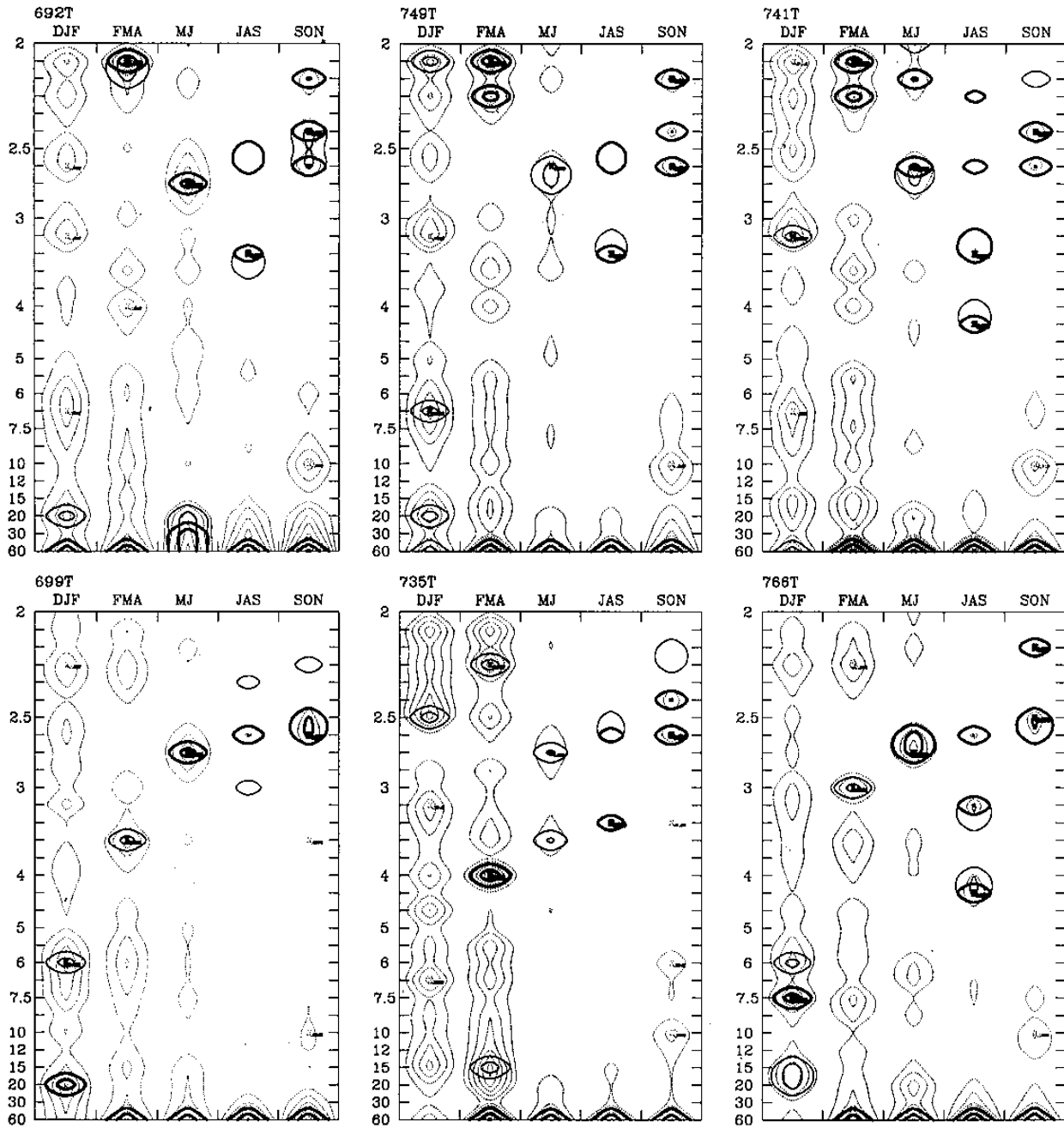
- [1] 徐晉淮，1967：“應用調和解析預報每日之氣溫與降水量”，氣象學報，13卷，4期，23-47。
- [2] 劉衍淮，1964：“臺灣氣候變化之趨勢與週期”，氣象學報，10卷，3期，31-51。
- [3] 陳泰然、吳清吉，1978：“臺灣五大城市之氣候特性分析”，大氣科學，5卷，2期，1-15。
- [4] 黃嘉佑，1990：氣象統計分析與預報方法，第一版，第九章，氣象出版社，北京，300-333。
- [5] 蕭長庚，1973：“臺灣氣溫週期變動之分析”，氣象學報，19卷，1期，1-14。
- [6] 蕭長庚，1980：“台灣地區日降水量及風速重現週期之研究”，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- [7] 魏元恒、蕭長庚、鄭春臺，1973：“臺灣氣溫週期變動之分析”，氣象學報，19卷，1期，1-14。
- [8] 魏元恒、蕭長庚、徐君明，1975：“臺灣極端雨量與氣溫之分析及預測”，氣象學報，21卷，3期，1-12。
- [9] 中央氣象局，1994：臺灣地區氣候變化之分析與評估，五章三節，附3-1 - 附3-19。



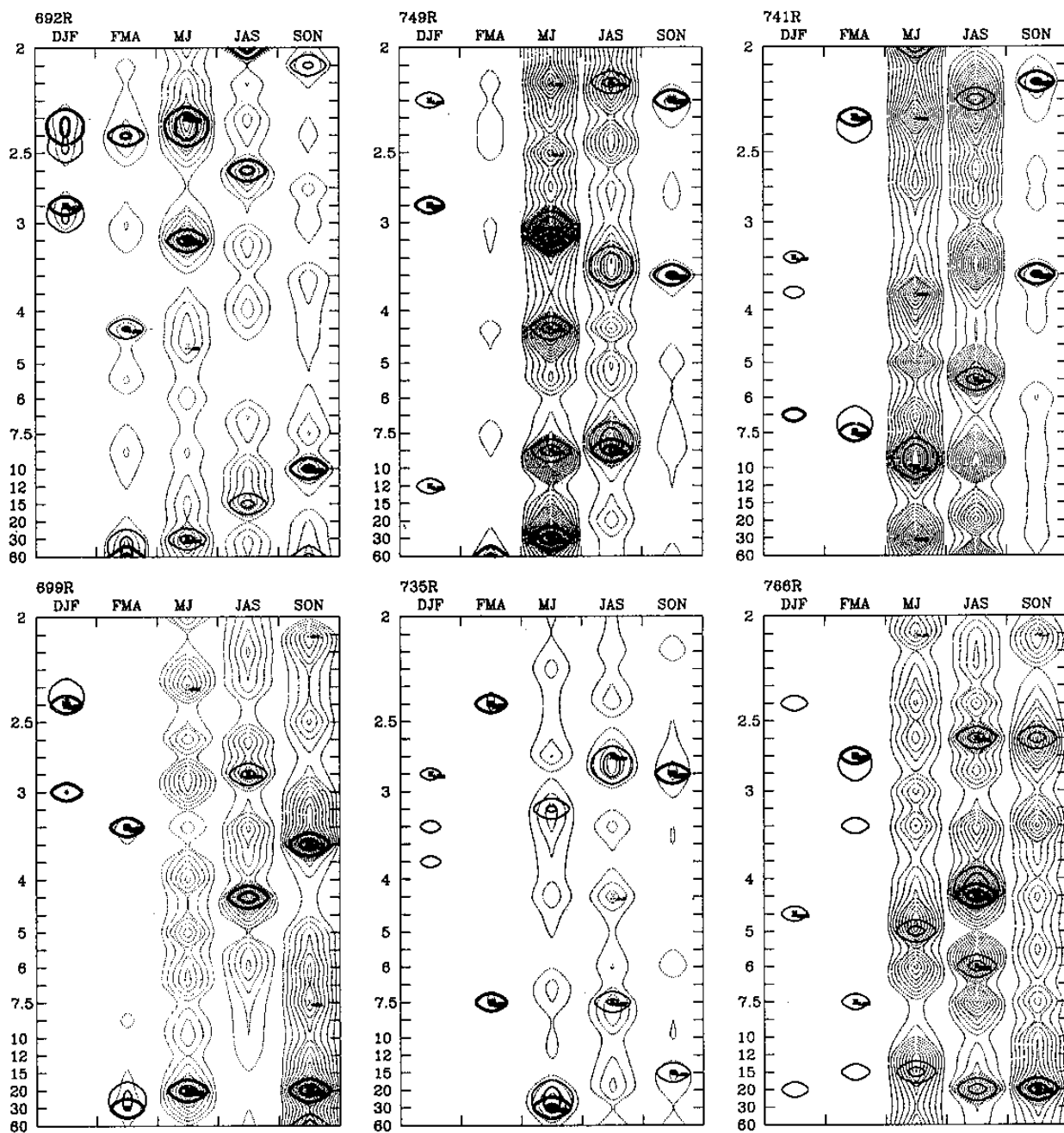
圖一、六個測站的年均溫波譜分析圖，由左而右，由上而下分別是台北站（692）、台中站（749）、台南站（741）、花蓮站（699）、澎湖站（735）及台東站（766）。所選取最大落後步長為30。



圖二、同圖一，但為年雨量的波譜分析圖。



圖三、六個測站分季後的氣溫波譜分析圖 (m值為30)，由左而右，由上而下分別是台北站 (692)、台中站 (749)、台南站 (741)、花蓮站 (699)、澎湖站 (735) 及台東站 (766)。其中虛線的等值線代表各對應週期的譜值，細實線等值線表示譜值通過%90可信區間者，粗實線等值線則為通過%95可信區間。



圖四、同圖三，但為分季後的雨量波譜分析圖。