

1998年東亞夏季季風前期發展特徵之分析

黃文豪¹ 王作台¹ 林沛練¹ 胡志文²
¹中央大學大氣物理所
²中央氣象局科技中心

摘要

亞洲夏季季風是影響東亞地區最主要的大尺度系統之一，大部分研究指出，南海地區是亞洲夏季季風最早開始的地區之一，但由於以往觀測資料的缺乏，對於該區在季風肇始期間變化的特性，仍然未能有確切的了解。

本文採用 ECMWF 及 1998 年南海季風實驗(SCSMEX)密集觀測期之資料，來分析 1998 年東亞夏季季風肇始前後的特徵變化。由 ECMWF 資料分析，使吾人了解到東亞夏季季風之大尺度演變。而利用南海季風實驗期間之密集觀測資料，可以得到之前大尺度分析所未能得到之重要結果，如由東沙島與南沙太平島各氣象場之時間序列可以清楚看到南海北部(東沙島為代表)與南海南部(南沙太平島為代表)之肇始特徵的一些差異，亦即南沙太平島的季風肇始與熱帶的關聯很強，而東沙島則較容易受到中緯度鋒面系統之影響，同時也理解到南海南部的系統建立較能夠代表東亞季風的肇始。

另由 SCSMEX 實驗期間之南沙太平島、東沙島及澎湖三地之降水及各項變數時間序列，使吾人更了解東亞夏季季風在南海地區北移的特徵。而根據此季風北移的特徵，吾人可以進行天氣預報的嘗試，亦即當南海南部的季風肇始現象發生時，便可以對南海南部以北的區域進行 3-7 天或中長期之預報，此規律性的建立也值得進一步探討。

一、前言

亞洲夏季季風包括了印度季風和東亞季風，而東亞夏季季風是影響台灣春夏季主要的大尺度環流系統之一，在東亞夏季季風肇始後，所伴隨之西南氣流會直接影響台灣，而來自南海地區之西南氣流所夾帶充沛的水汽，使得台灣降下豪大雨的機會也增多，也間接促使台灣梅雨季的到來，而梅雨季對台灣民生、農業與經濟的影響甚大，因此針對東亞夏季季風的探討一直都是亞洲地區及國內學者研究的重要課題之一。

Tao and Chen (1987) 利用長期地面降水資料之紀錄，對亞洲夏季季風區各地之平均肇始日期做合成分析，其結果顯示出南海地區為東亞夏季季風最早發生的區域。

針對誘發亞洲夏季季風肇始之作用力的探討，有很多學者提出了他們的研究結果。如 Chang and Chen (1995) 認為中緯度斜壓鋒面的移入，使得南海地區大尺度氣壓梯度增加，加強了西南氣流，同時該西南氣流亦自熱帶海洋帶來充沛的水汽，使得梅雨鋒面得以維持，造成東亞季風的肇始。

而 Murakami et al.(1986) 認為，南海地區是位於整個季風區中，壓力梯度之季節轉換較敏感的地區，故若有適時的

低頻擾動，如 Madden-Julian 震盪(Krishnamurti et al. 1985)，或 10~20 天的震盪(Krishnamurti and Ardanuy, 1980) 進入南海地區時，則會誘發東亞夏季季風肇始。

前人的對於東亞季風在南海地區的研究，對其已經有一定的了解和認識，但由於海面上較缺乏傳統的觀測資料，為更進一步了解南海地區在亞洲夏季季風爆發過程中所扮演的角色，遂籌畫進行了南海季風實驗(South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX)，希望透過實驗取得的高時空解析度觀測資料，彌補以往在此區域觀測資料嚴重缺乏的空白，並判別此新增密集觀測資料提供了何種新的訊息及對季風肇始現象的了解。期望能對東亞季風或是東亞短期氣候的預報有所改善。

二、使用資料

本文採用了 1998 年 5 至 6 月 ECMWF(水平網格點是 0.5×0.5 度)以及南海季風實驗(SCSMEX)計劃期間之觀測資料，實驗密集觀測時間自 1998 年 5 月 5 日起至 6 月 25 日止，採用東沙、南沙之地面觀測以及中大 ISS(整合探空系統和海軍、氣象局施放之探空資料，同時亦採用了海洋氣象表面觀測浮球 buoy (SCS3)的資料及 GPCP 每天的降雨資料(水平網格點是 1×1 度)。

三、分析結果

根據陳(1996)對於東亞季風肇始定義：當 850 hPa 的西太平洋副熱帶高壓退出南海而南海地區之西南氣流主要來自印度越赤道流時，即為東亞季風之肇始。

3.1 1998 年東亞夏季季風特性分析

本文採用陳(1996)的季風定義，分析得知 1998 年季風肇始候為 5 月 21 日至 5 月 25 日，依照上節分析方法，吾人亦採用肇始候的前 15 日與後 15 日之 15 日平均，來看 1998 年東亞夏季季風在肇始前後期一些基本場的改變。

圖 1a 為 1998 年東亞夏季季風肇始候前 15 日的低層(850 hPa)平均氣流線分布變化。在肇始前，主導整個東亞地區的系統，仍是太平洋副熱帶高壓與印度洋地區西來之氣流。由印度地區來的氣流因受太平洋副高的影響，勢力僅達中南半島西部。而和氣候平均值不同的是，1998 年夏季季風在肇始前的越赤道流不明顯，這可能是太平洋副高的勢力較強，導致越赤道無法順利向北推進。在肇始後，如圖 1b，太平洋副高東退至 115°E，其勢力退出了南海地區，而由印度洋與孟加拉灣西來之氣流也開始進入南海地區。在高層(200 hPa)，季風肇始前東亞地區主要的系統為中南半島上的南亞高壓，如圖 2a，中心位置約為 10°N。南海地區受此高壓環流影響，西風及北風分量較大，在肇始後，如圖 2b，南亞高壓中心位置北移到 20°N，南海地區由原來西風分量轉變成東風分量較多的情況，因此在季風肇始前後期東亞地區高層環流的變化上，南亞高壓中心位置的改變佔重要地位。

Yanai et al. (1992)指出，在春末夏初青康藏高原東側會出現暖化的現象，此暖化現象的非絕熱項對東亞夏季季風有決定性的影響；由低層(850 hPa)在季風肇始前後 15 日之平均溫度場可知(圖略)，在肇始前，高原的東側有一個暖中心存在，此中心也一直持續到季風肇始後；而高層(200 hPa)平均溫度場亦顯示，季風肇始前主要的暖中心約在印度地區，此時是南熱北冷的狀態，肇始後，暖中心北移到青康藏高原，造成南北溫度梯度逆轉，轉變成為南冷北熱的狀態，此經向溫度的轉變亦有可能是造成高層南亞高壓迅速北移及高原東西側的西南氣流先後出現的主要原因之一(如 Yanai 等,1992)。而由熱力風條件之要求，溫度梯度逆轉也有利於上層東風下層西風結構之穩定建立。

吾人對 1998 年東亞季風肇始前後的空間特徵變化已有初步的了解，現就對南海地區各氣象變數更細微的時間變化來做一探討，以期能更了解季風的肇始以及發展的過程。

為了能更清楚的看出風場的變化，圖 3 為南海地區之區域平均緯向風場，採用 110°E~120°E，10°N~20°N 之區域平

均，所得出之垂直高度-時間序列圖。在 5 月 15 日附近，高層西風分量開始往底層發展，至 5 月 20 日之後，風向開始全面性的轉變。故可知南海地區在季風肇始前後高層或低層風向的轉變，是東亞夏季季風的主要特徵之一。吾人也將由 SCSMEX 實驗之 IOP 資料值中，再對此一變量在南沙及東沙地區之特性做更進一步之分析。

為進一步的探討季風肇始的特徵，在此吾人同時計算南海地區區域平均的渦度場及輻散場時間變化。圖 4a 為低層(850hPa)區域平均(110°E ~120°E，10°N ~20°N)的渦度場時間序列。在 5 月 1 日至 5 月 20 日期間，其渦度場為負值，而在季風肇始期間，吾人很明顯可以看到高度場在 5 月 21 日起由負值轉為正值，同樣在高層(200 hPa)(圖 4b)亦顯示出在季風肇始期間有正渦度的趨勢，其意義表示南海地區在肇始前是在副高勢力範圍之下，而季風肇始後，由於副高東退，使得南海地區不管是高層或低層，渦度值均呈現渦度增加的狀態。

3.2 SCSMEX 實驗資料初步分析

由上述兩部分的結果中，吾人已對肇始前後的大尺度場之氣候特徵與 1998 年的特徵做了討論，現為更進一步了解由 SCSMEX IOP 資料中，隱含的肇始特性，此部份吾人將著重分析 SCSMEX 中，南沙與東沙地區之各式觀測資料。

圖 5a 為 ISS 儀器所觀測之地面風向及風速每日平均之時間序列圖。圖中顯示出季風肇始前低層風向大致為東北風或東風，5 月 21 日至 6 月 1 日這段期間，由於中緯度鋒面系統的移入，使得風場呈現混亂的局面，至 6 月初，地面之西南風才穩定建立，因此可知此風場的混亂期乃是季風發展與轉變的時刻。

分析東沙島之降雨量時間序列，可看出大致有三波降水，一為 5 月初，二為 5 月 15 日至 20 日期間、第三則是 5 月 30 日至 6 月初之降水，將短波輻射、淨輻射量、降水三者的時間分布對照(圖略)，可看出它們之間的關係，因雲量較多，短波輻射與淨輻射量也較低，大氣較不穩定，因而容易產生對流與降水，而較值得注意的是東沙島在吾人所定義之季風肇始候期間並沒有產生明顯的降水，此現象與以往所認識似乎有所不同。

為了更進一步了解東沙島在季風肇始期間的變化，吾人嘗試利用 SCSMEX 期間所得之探空資料，對整層大氣加以分析(圖 6)，為東沙島探空資料所反衍出的緯向風時間序列，其中陰影區為正，即代表西風分量。由圖中可看出自 5 月初至季風肇始前，底層大致為東風，季風肇始期間亦低層亦出現西風，但西風分量穩定建立則是在 5 月 30 日開始。反觀高層在季風肇始前為西風，至 22 日左右(即肇始期間)，轉

變為東風，隨後東風減弱退至 100 hPa 附近，至五月底，東風分量增強，之後雖有西風分量，但強度已逐漸減弱，這與前人的研究結果相似。高層未完全轉變為西風的原因，除了中緯度鋒面的影響外，與南亞高壓北移的時間與強度亦有關聯。

綜合來說，東沙島在 5 月 15 日附近，氣壓與溫度皆開始下降，風向轉變，也有零星的降水，但是否可判斷此為季風肇始之現象呢？對照天氣圖以及地面降水，雖然 15 日有降雨，但 21 日後並無連續性降水以及西南風穩定建立的現象，且由天氣圖亦可得知，此應為中緯度鋒面所致。但大致上來說 25 日之後，風速逐漸增強，相對溼度也開始增加，溫度、壓力也降至最低，可知此時是季風轉變的時刻。但值得注意的是，東沙島在 5 月 15 日至 20 日、5 月 30 日至 6 月初這兩段時間有連續性降水產生，哪一階段的降水較能代表季風肇始？我們由之前的分析可得知，5 月 15 至 20 日東沙島高層並無東風分量出現，而且有很強的西風產生，另外，地面氣壓、風向、風速亦無明顯增強及轉變的現象，對照氣象局之地面天氣圖，吾人判斷 15 至 20 日這一階段的降水並不是季風肇始所導致，乃是中緯度鋒面所引起之降水。此外，值得一提的是在東亞夏季季風肇始期間(5 月 21-25 日)並沒有降下太多的雨量，反而是在季風肇始後的下一候(5 月 30 日後)才有連續性降水，此一現象所代表的意義值得吾人探討。

國內台灣大學海洋研究所和美國海洋暨大氣總署之太平洋海域環境實驗室(PMEL/NOAA)合作，自 1998 年 4 月起，於南海地區放置三組海洋氣象表面觀測浮球(ATLAS)分別為 SCS1、SCS2、SCS3 以及一組雨量計浮球(Rain Buoy)，以收集海面氣象資料以及上層海洋的水文資料。但是因遭受人為破壞，故資料大部分都残缺不全，僅餘浮球 SCS3(12°59'N, 114°25'E)之資料較為完整，時間較長，圖 5b 即為 SCS3 所觀測之海面風場每日平均時間序列，由圖可知，5 月 18 日之前，風向大致為東風或東南風，風速開始增強，從 5 月 21 日起，風向明顯的開始轉變為西南風，之後西南風開始穩定建立。同樣的，相對溼度在 18 日風向轉為西南風且風速加強後，相對溼度便開始增加。而在溫度場的變化上，在季風肇始期間，溫度下降，季風穩定建立後，溫度則開始回升。因此，東亞夏季季風肇始後，風向轉變，風速增強、溫度下降，水汽增多，因此 SCS3 所觀測到的現象此現象與東沙島所觀測到地面資料結果類似。唯一不同處為各氣象場轉變的時間約早於東沙 2-3 日。

南海季風實驗中，南沙太平島(10°23'N 114°22'E)觀測站亦加入密集觀測，以期觀測南海南部各變數的演變。大致上，南沙在 15 日至 20 日期間，風向開始轉變，風速減小，如圖

5c，壓力與溫度也開始降低，至 21 日季風肇始候，風速迅速增強且風向轉變為西南風，水汽含量亦增多，溫度與壓力亦下降至一最小值，而由南沙太平島地面雨量時間序列可知，自 5 月 23 日至 5 月底均有連續性的降水，6 月之後降雨也較季風肇始前來得多。因此吾人可以分析出南沙太平島之肇始現象發生在 5 月 21 至 25 日這一候，和吾人所定義之季風肇始候相同，其肇始特徵亦與東沙島及 Buoy 之觀測相似。

因此初步分析東沙與南沙兩地之觀測資料，吾人對兩地在季風肇始期間各變數的演變有了初步的認識，值得探討的是，東沙島的降雨在肇始期間並無大量降水，而是在相隔一候之後，也就是 5 月 30 日起，才有較多連續性降水，與南沙在夏季季風肇始期間，5 月 23 日便連續產生降水的情況不同。此顯示出一個重要的現象：南沙(南海南部)的季風肇始現象，早於東沙島(南海北部)出現。這是否代表著東亞夏季季風首先在南海南部肇始，產生降水，隨後因季風向北方推進，進而東沙島之季風肇始現象發生，隨後產生降雨呢？

為了更詳細的探討此現象，由南向北，吾人依序採取三個測站資料，分別為南沙(10°23'N, 114°22'E)、東沙(20°40'N 116°43'E)及澎湖馬公(23°32'N, 119°33'E)等，分析各項基本場的時間先後順序，以驗證南海地區季風北移的特性。

因季風肇始後風向會有明顯的轉變，因此由風向的轉變來判斷是一項較明確的指標。但由於季風肇始期間，風向比較紊亂，再加上中緯度鋒面的移入，使得風向在此期間較沒有規則，因此吾人以地面或底層西南風向分量開始穩定建立時，來作為判斷之依據。可得出此三地風向轉變的先後順序依序為，南沙(5 月 22 日)、東沙(6 月 1 日)、澎湖(6 月 10 日)。另外在季風肇始後，常伴隨著西南氣流，帶來較多的降水，因此選擇雨量作為指標，如圖 7，產生連續性降水的日期依序為，南沙(5 月 23 日)、東沙(5 月 30 日)及澎湖(6 月 3 日)。依此三者之地理位置來判斷，東亞夏季季風首先在南海南部(以南沙太平島為代表)肇始，隨後向北推移至東沙，之後到台灣澎湖等地，因此可以得出東亞夏季季風在南海地區有向北推移的特徵。

吾人為了探討東亞夏季季風北移的現象，亦採用 GPCP(global precipitation climatology project)全球降雨氣候計劃的雨量資料，採取 110°E-120°E 之緯向平均，繪製出緯度時間之雨量時序變化，如圖 8。可清楚的看到，從 5 月 11 日起，中緯度鋒面所帶來之降雨開始向東南移動，而 16 日起，開始進入南海地區，至 5 月 21 日至 26 日間，雨帶由 5°N-10°N 開始，南海地區開始向北輸送，至 6 月 1 日達到 20°N，也就是東沙島所在之位置，6 月 11 日後，北移至 25 度左右，

因此，無論是由觀測或是大尺度降雨模擬的降雨資料均可得到南海地區降水北移現象，可以看到南海地區之季風向北推進的特徵。

四、結論與展望

吾人對於南海地區大尺度的變化，雖有一定的了解，但過去因較少的實際觀測資料作為佐證，因此仍有不足之處，因此本文利用 SCSMEX 高時空解析度之觀測資料，讓吾人對於東亞夏季季風在南海地區肇始期間之時空演變，有了更清楚的認識。如低層風向由原本東風轉成西南風或南風，且風速有增強的狀況；地面壓力亦可顯示出季風肇始後，太平洋副高的東退；另由溫度場與溼度場之變化可印證，季風肇始後，因西南氣流帶來之水汽，使得東沙與南沙當地之相對溼度增加，溫度場於肇始後也持續增溫；而利用輻射儀的資料，可知肇始期間雲量增多，有利於對流之生長。這些驗證都是 SCSMEX 實驗所得到的成果。除此之外，此實驗觀測可以得出以前利用大尺度分析所未能得到之重要結果。由東沙島與南沙太平島各氣象場之時間序列可以清楚看到，南沙太平島的季風肇始現象早於東沙島，因此可以說東亞夏季季風最早肇始的地方在南海南部的區域。

而在 1998 年東亞夏季季風肇始期間，可以看出東沙島受到中緯度作用力的影響較多，無論是 5 月 15~20 日，或是 5 月 30 日至 6 月 9 日之間的降水，都和緯度鋒面系統的活動息息相關，而南沙太平島則因中緯度系統無法南下，受到熱帶作用力的影響較大，因此南海南部的系統建立較能夠代表東亞季風的肇始。另比較南沙、東沙與瀾湖三地之觀測資料得知，此三地之降水狀況及各氣象場變化日期最早為南沙，其次東沙，最後為瀾湖，此現象顯示出東亞夏季季風在南海地區有由南向北推進的現象，這是過去研究上所未能證實的。

吾人利用 SCSMEX 實驗此密集觀測資料，初步分析結果顯示南海北部(東沙島為代表)及南海南部(南沙太平島為代表)顯現的特性是不同的，南海南部系統的建立比較能代表東亞夏季季風的肇始。同時，東亞季風在南海地區亦有向北推進的情形，但尚有一個重要問題有待解決，東亞夏季季風是否只單靠中緯度作用力或是熱帶作用力而發展的呢？中緯度擾動所扮演的角色，是引發還是季風爆發之主要因素？吾人對此很難區分中緯度系統與熱帶系統的影響，必須要好幾個機制合起來，做全方位的思考才能解釋這些活動，此外本文只針對 1998 年 SCSMEX 實驗的這段期間來加以分析。過去是否也有和 1998 年有相同的情形以及季風在向北推移

的過程中是否會受到低頻擾動等其他作用力的影響呢？這些都是未來研究的重要方向之一。

而根據季風北移的特性，吾人可以利用此特性，來進行天氣預報的嘗試，當南海南部的季風肇始現象發生時，吾人便可以對南海南部以北的區域進行 3-7 天之天氣預報，倘若此規律性建立，確實有其實用性。因此寄望於後人能鑒於此有更深度的探討，以期更了解東亞夏季季風，對於台灣地區，在東亞夏季季風肇始後所造成豪大雨等強烈天氣現象之天氣預報有正面的貢獻，並往季風發展的中長期(10 日以上)預報能力增進上更進一步去了解。

五、誌謝

本研究在國科會計劃 NSC88-2111-M-008-035-AP7、NSC88-2119-M-008-005-AP7 支助下得以順利完成，在此特別表示感謝之意。

六、參考文獻

- 陳孟詩，1996：東亞夏季季風肇始期間大尺度系統轉化特徵之診斷分析。國立中央大學碩士論文，100 頁。
- Chang, C. P., and G. T. J. Chen, 1995: Tropical circulations associated with southwest monsoon onset and westerly surges over the South China Sea. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3254-3267.
- Krishnamurti, T. N., 1985: Sumer Monsoon Experiment – A review. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1590-1625.
- _____, and P. Ardanuy, 1980: The 10- to 20-day westward propagating mod and “breaks in the monsoon.” *Tellus*, **33**, 15-26.
- Murakami, T., L. X. Chen, and A. Xie, 1986: Relationship among seasonal cycles, low-frequency oscillations, and transient disturbances as revealed from outgoing longwave radiation data. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1456-1465.
- Tao, S., and L. Chen, 1987: A review of recent research on the east Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, C. – P. Chang and T. N. Krishnamurti, Eds., Oxford University Press, 60-92.
- Yanai, M., C. Li, and Z. Song, 1992: Seasonal heating of Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 319-35

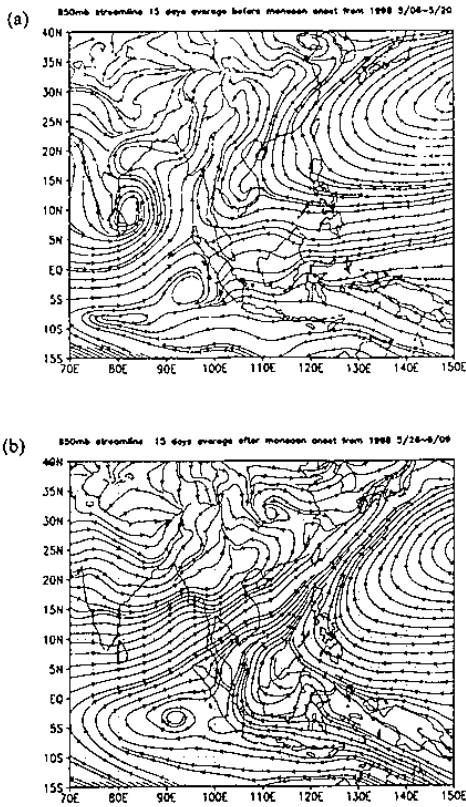


圖 1、1998 年東亞夏季季風肇始候前後 15 天平均之低層 (850hPa) 流線場。(a) 為肇始前，(b) 為肇始後。

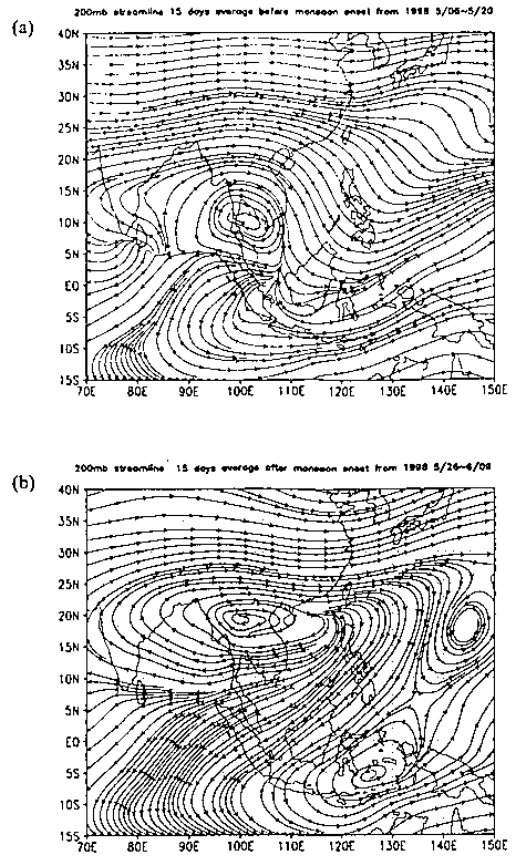


圖 2、1998 年東亞夏季季風肇始候前後 15 天平均之高層 (200hPa) 流線場。(a) 為肇始前，(b) 為肇始後。

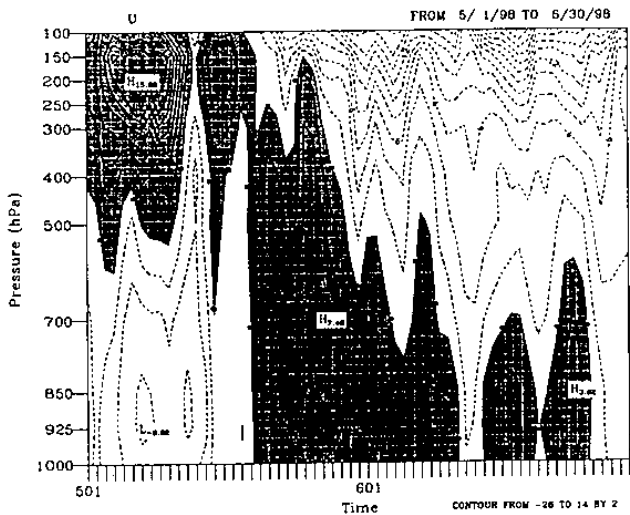


圖 3、1998 年 5、6 月，垂直大氣緯向風場之時間序列，採用 (110°E-120°E, 10°N-20°N) 之區域平均，Y 軸為高度，X 軸為時間，陰影區為正值，單位為 m/s。

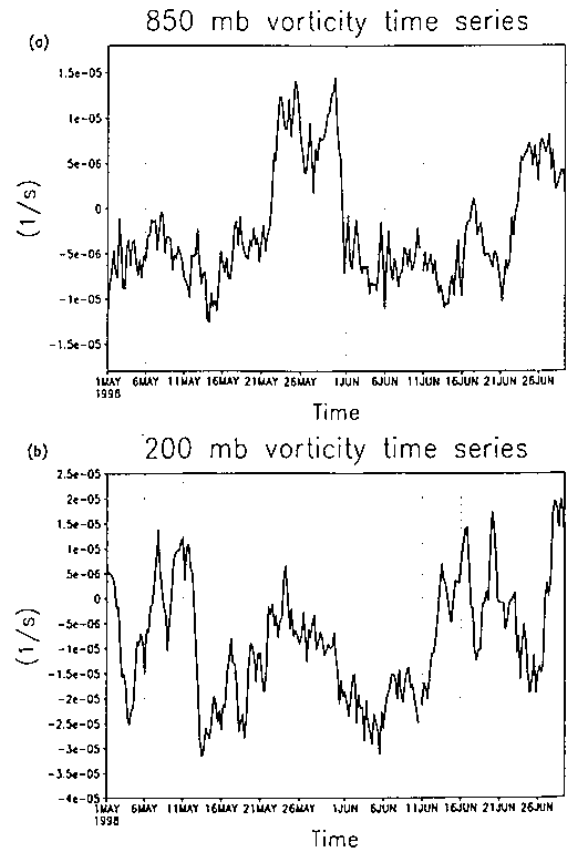


圖 4、1998 年 5、6 月南海地區渦度場之區域平均 (110°E-120°E, 10°N-20°N) 時間序列，單位為 1/s。(a) 為低層 850 hPa，(b) 為高層 (200 hPa)。

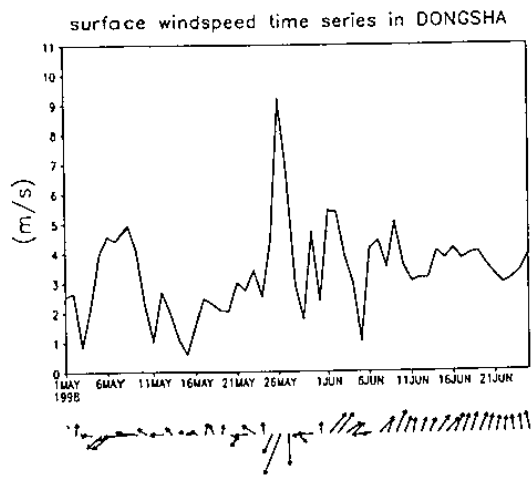


圖 5 a 1998 年 5、6 月，東沙島地面風向與風速。風速單位為 m/s。

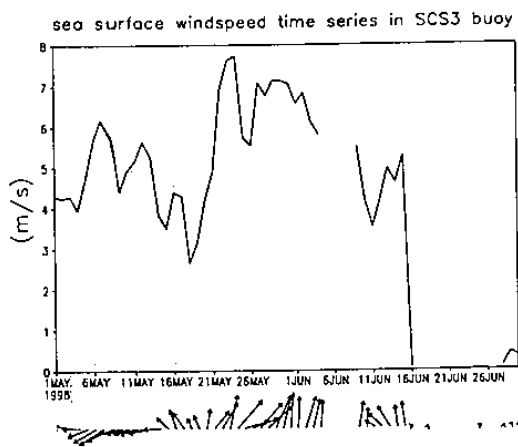


圖 5 b: 1998 年 5、6 月，海洋表面觀測浮球 SCS3 之海面風向與風速時間序列。風速單位為 m/s。

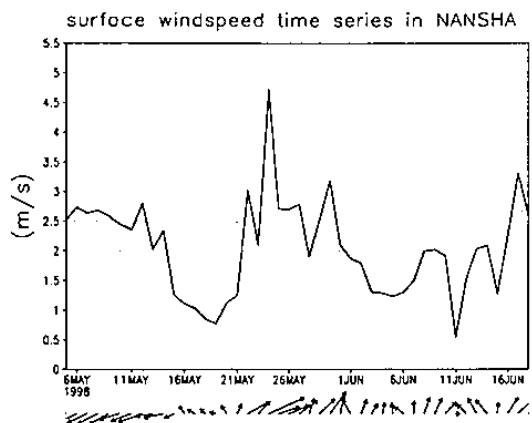


圖 5 c 1998 年 5、6 月，南沙太平島地面風向與風速。風速單位為 m/s。

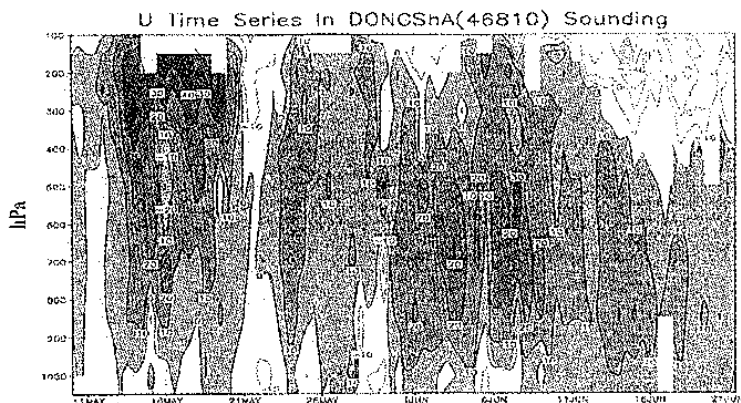


圖 6、1998 年 5、6 月，東沙島之緯向風場之高度-時間之時間序列，陰影區為正值。

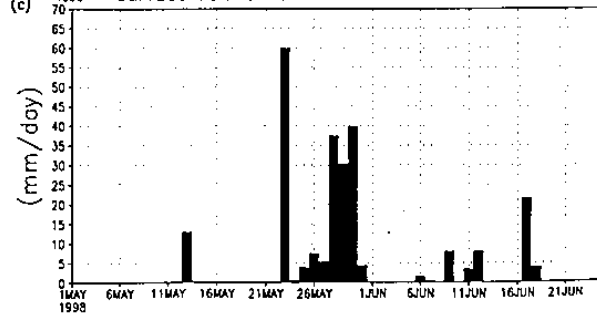
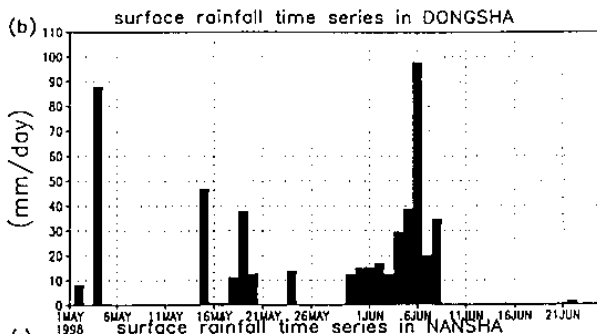
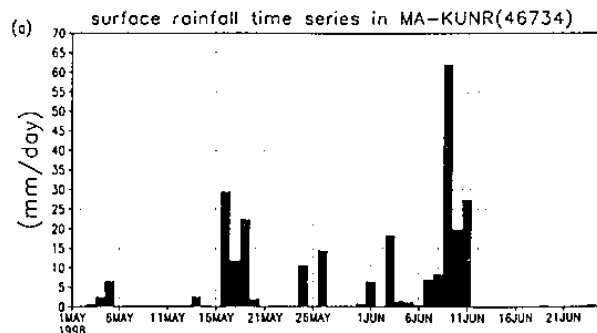


圖 7、南沙、東沙、澎湖三地降雨量之時間序列。(a)為澎湖、(b)為東沙島、(c)為南沙太平島。單位為 mm。

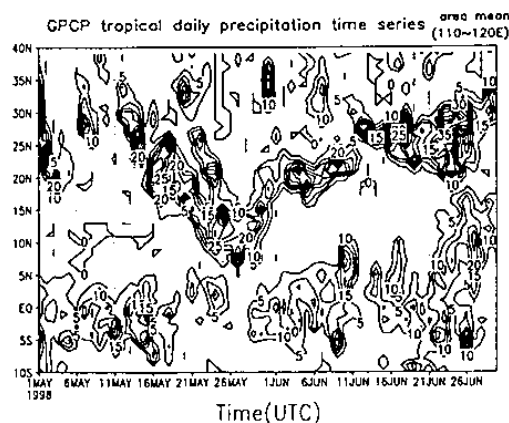


圖 8、GPCP 全球降雨氣候計劃的雨量資料之緯向平均 (110°E-120°E)，Y 軸為緯度，X 軸為時間之雨量時序變化，單位為 mm。