

# 區域波譜模式在南海季風實驗期間的區域氣候模擬研究

伍柏林 林沛練 張隆男  
國立中央大學大氣物理研究所

## 摘要

本研究主要是以 Juang et al. (1997) 發展改良的區域波譜模式 (RSM) 針對南海季風實驗 (SCSMEX) 期間作區域氣候模擬。本研究是使用 NCEP 全球分析資料來當作區域波譜模式的初始場及隨時間變化的側邊界條件，模式的水平解析度為 30km，研究時間是針對 1998 年 5、6 月進行為期二個月的區域氣候模擬。

由本研究結果顯示在為期二個月的區域氣候模擬研究中，模式對 5、6 月的平均狀態均有不錯的掌握，只是在 5 月份時模式對太平洋副高的模擬有過強的結果，導致太平洋副高向西延伸至台灣地區，另外模擬的結果顯示在華南地區出現較強的西南風而華南沿海及南海北部地區的相對濕度模擬結果則偏乾，這些原因導致模擬的降雨主要集中在華南地區，而華南沿海及南海北部地區的降雨則明顯偏少。這種降雨分佈的模擬偏差現象可透過更詳細的雲雨物理過程予以修正。另外，由模擬的結果顯示模式可以掌握區域天氣轉變的特性如太平洋副高東退，低層 850hpa 西南風增強及高低層緯向風之轉變等南海季風肇始期間的特徵區域波譜模式均有不錯的模擬結果。

## 一、前言

柯 (1999) 提到天氣預報的問題可分作三類：第一類，大氣運動主要是由初始條件決定的。第二類，大氣的運動實際上可以認為是與初始條件無關的。第三類，在大氣的運動一方面不能夠忽略初始條件的細節，預報出其發展的清晰過程，另一方面，對於決定最終平衡狀態的強迫外力也必須給予充分的考慮。第一類問題即為短期天氣預報，可以只考慮初始條件而忽略外力的作用。第二類問題即為氣候狀態的預報，即求出大氣運動的近似狀態，此時外力作用較為重要，而大氣本身的初始狀態則可以忽略。第三類問題是最為困難的長期天氣預報，此時初始條件與外力作用均非常重要，故不能忽略它們其中一個，因而問題得不到簡化。因此過去我們所探討的天氣預報主要是第一類及第二類的問題而對於第三類的問題較少討論，但是我們所關心的氣候變化也許只侷限於我們所生活的地區，而我們無法用短期預報模式來探討區域氣候的變化因為它無法作長時間的模擬，另外我們也無法用全球氣候模式來探討區域氣候的變化，這是因為其水平網格解析度約為 200~400 公里，顯然我們無法以如此粗糙的全球模式網格解析度來討論區域中小尺度的氣候變化，因此我們需要一個更高解析度的模式來模擬區域氣候的變化。當然我們可以將全球氣候模式的水平網格解析度提高，但相對的隨著解析度的提高及網格點數的增加我們需要更快的計算機處理速度來做大量的計算工作及資料處理，另外我們也需要有更大容量的儲存空間來存取模擬的結果。所以我們目前所擁有的設備要利用高解析的全球氣候模式來從事區域氣候模擬會有其困難性。近十幾年來透過氣象研究的科學家們發展出一種嵌套的 (nested) 區域氣候模式，它主要是嵌套在全球模式下，利用全球模式的輸出結果當作其初始場及邊界條件。另外透過此種設計其最後目的是可以利用粗網格的全球模式嵌套一個較細網格的區域氣候模式 (Hong and Leetmaa, 1998)，如此我們可以節省大

量的計算時間、資料處理及資料的儲存。

## 二、模式簡介

本研究所選用的模式最初是由 Juang 和 Kanamitsu (1994) 在美國國家環境預報中心 (NCEP) 所發展出來的靜力模式，後來在經過 Juang et al. (1997) 發展改良而成的區域波譜模式 (Regional Spectral Model)。因為在區域波譜模式內積分變數為去除大尺度環流後的擾動量 (perturbation part)，因此可免去一般區域模式在側邊界上不連續的現象。而且模式在積分的過程中可以持續把全球模式的分析場或預報場的訊息傳入區域模式範圍內，如此可以讓區域模式模擬的結果與全球分析的資料不會有太大的差異。詳細的介紹可以參考 Juang and Kanamitsu (1994)、Juang et al. (1997) 及 Hong et al. (1999)。

## 三、全球模式分析場、觀測資料與模擬結果之比較

本研究的區域氣候模擬是以 NCEP 的全球分析資料當作區域波譜模式的初始場與邊界條件，模擬的水平解析度為 30km，模式模擬的時間是從 5 月 1 日至 6 月 30 日。吾人主要是要了解區域波譜模式對台灣鄰近以及南海地區在梅雨季及南海季風肇始前後轉變特徵的掌握程度，因此將利用全球模式分析場與觀測資料來與模擬的結果作比較。圖 1 及圖 2 分別為 5 月份及 6 月份 850hpa 相對濕度場及風場的月平均狀況 (其中風場是以箭頭符號表示，而陰影部分為相對濕度大於 70% 以上的地區)，其中在風場的分佈三個分析場均非常相似，且在 6 月份時台灣地區、大陸東南沿海附近及南海北部地區有比較強的西南風分佈。另外，由模擬的結果可以發現 5 月份在華南地區有偏強的西南風 (圖 1 D)，這個現象也發生在 6 月份 (圖 2 D)。圖 1 及圖 2 陰影部分為相對濕度場的分佈狀況，可以注意到各分析場 (圖 A、

圖 B、圖 C)，其中以 ECMWF (圖 A) 的值比較大且大於 80% 的分佈區域也比較廣，而 NCEP (圖 C) 大於 80% 的分佈區域主要是在大陸東南地區，而 CWB (圖 B) 的數值則有偏低的現象，這個偏差現象可能是因為使用氣候值的資料所造成的。一般而言由分析資料可以看出 6 月份的相對濕度較 5 月份大。另外，由模擬的結果 (圖 D) 可以發現 5 月份時在南海北部地區的相對濕度較乾 (大部分都低於 70%)，而在華南地區相對濕度的分佈則與 NCEP (圖 C) 的分析資料相似。到了 6 月份在南海北部地區的相對濕度則有增加的現象 (低於 70% 的區域變小)。圖 3 分別為全球降雨氣候資料 (GPCP) 5 月份及 6 月份的平均狀況 (圖 A 及圖 B) 及長波逸出輻射量 (OLR) 5 月份及 6 月份的平均狀況 (圖 C 及圖 D)。其中 5 月份時在南海北部地區及青康藏高原附近 (左上邊界部分) 這兩種分析資料 (圖 A 及圖 C) 較不一致外，其在台灣及華南地區的降雨帶分佈均非常相近，而在 6 月份這兩種的分析資料 (圖 B 及圖 D) 對於降雨帶的分佈均非常相似，另外，可以注意的是這兩個屬於大尺度的降雨分佈，它可以表現出主要的降雨分佈的地方但對於一些地域性的降雨分佈就無法掌握。從模擬的結果 (圖 E 及圖 F) 可以發現在南海北部地區的降雨分佈較 GPCP (圖 A) 的分析資料少，且主要降雨帶也比較偏北，但它可以表現出區域地區的降水特徵，當然這些區域地區的降水分佈也許是錯的，這是模式需要去改進的地方。圖 4 為南海北部地區 GPCP 與 OLR 的緯向平均 (110E-120E) 時序圖，由圖 A 可以發現在 5 月 15 日至 6 月 11 日左右雨帶的分佈隨著時間由北往南移動，又由南向北移動，形成一個 V 字形的形狀，在圖 B 也有相同的情形發生，這顯示南海季風肇始前中緯度系統南移，降雨系統由中緯度移近南海地區以及肇始後南海對流發生後往北移動之特徵。而模擬的結果 (圖 C) 在 5 月 15 日至 5 月 22 日左右在南海北部地區沒有明顯的降雨分佈，這說明了模式在模擬降雨上有些許誤差，如中緯度雨帶的向南移動並無法模擬出來，這是因為模擬的降雨帶一直是分佈在比較偏北的華南地區。

黃 (1999) 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，於是吾人想瞭解模式在 SCSMEX 期間對於季風肇始期間各氣象場的特性是否都能有很好的模擬。首先看的是使用肇始候前 15 日 (5 月 6 日至 20 日) 與後 15 日 (5 月 26 日至 6 月 9 日) 之 15 日平均，來瞭解季風肇始前後期氣象場的變化，圖 5 分別是 NCEP 分析資料與模擬結果在季風肇始前後期重力位場與風場的分佈情況，首先來比較 NCEP 分析資料在肇始前 (圖 B) 與肇始後 (圖 D) 重力位場與風場的分佈狀況，可以發現肇始前在南海北部地區主要是受太平洋副高的影響，到了季風肇始後太平洋副高的勢力退出南海北部地區，從風場也可以發現肇始前在南海北部地區主要是吹東南風，肇始後因西南風盛行而改吹西南風且風速有明顯增強的現象。同樣的情形也可以從模擬的結果 (圖 A、圖 C) 看到，只是在肇始前後所模擬的重力位場有偏強的

現象。圖 6 是在 15°N 的緯向風場之緯向時序分佈隨高度的變化圖，圖中陰影的部分為正直，代表西風，由圖可以發現在 5 月 21 日前在低層緯向風大多以東風為主，而在 21 日以後則轉變為西風，這個現象說明了在 5 月 21 日前這個地區主要是受到太平洋副高的影響之後因受西南季風的影響使得緯向風有 180° 的轉變。在高層也可以看到類似的情形，在 21 日之前是以西風為主，而在 21 日以後則轉變為東風。另外，可以注意模擬的結果 (圖 4D) 與分析的資料非常相似。

另外，在此吾人利用台灣地區降雨觀測資料與探空資料來進行進一步之比較驗證，主要是想瞭解模式模擬的結果是否對區域的中、小尺度的天氣現象有所掌握。圖 7 及圖 8 分別為台灣地區觀測降雨分佈及模式模擬降雨分佈的結果，所選取的時間為 6 月 1 日至 6 月 6 日每日的累積降雨分佈圖，因為在這段期間內在台灣南部地區有豪大雨的現象發生，可以注意在 6 月 3 日至 5 日在台灣西南部地區有較大的降雨現象發生 (如圖 7 C、D、E) 其極值有超過 128 (mm/day)，但在模擬的結果顯示在 6 月 3 日至 4 日有較大的降雨現象發生 (如圖 8 C、D)，但是其位置是偏在台灣地區的西北方，這個原因可能是因為模擬的降雨帶比較偏北的緣故，但是模式模擬的降雨分佈與觀測的降雨分佈還蠻相近的。接下來吾人選用東沙 (46810) 探空站所觀測的資料作空間與時間變化的時序列圖，並比較了分析資料、模擬結果與探空資料的差異性，以瞭解區域氣候模式對區域性氣象場的變化是否能夠有效的掌握。圖 9 為東沙地區探空資料 (圖 A)、ECMWF (圖 B)、NCEP (圖 C) 及模擬結果 (圖 D) 緯向風的分佈情形 (陰影區為正值，代表是西風)，可以注意在探空資料所顯示的緯向風分佈與 ECMWF (圖 B)、NCEP (圖 C) 的分析資料及模擬的結果 (圖 D) 非常相似。

#### 四、區域氣候模擬的敏感度測試

由圖 3 E、F 可以發現在模擬的過程中對降雨的模擬有些許的偏差現象，吾人是否可以透過考慮更詳細的雲雨物理過程來改善模擬的降雨過程。之前的模擬中只考慮簡單的水汽調整作用，在敏感度測試中將考慮更詳細的雲雨物理過程 (以下將以 cloud3 表示)，其中是在水汽的作用上多考慮了水氣 (water vapour)、雲水/冰 (cloud water/ice) 及雪/雨 (snow/rain) 的作用，詳細的方程式如下：

$$\frac{\partial q'_v}{\partial t} = -m^2 \left( u \frac{\partial q'_v}{\partial x} + v \frac{\partial q'_v}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial q'_v}{\partial \sigma} + F_{qv}^{diff} + F_{qv}^{hidif} + F_{qv}^{impl} + F_{qv}^{exp} - \frac{\partial q'_v}{\partial t}^{base}$$

$$\frac{\partial q'_{ci}}{\partial t} = -m^2 \left( u \frac{\partial q'_{ci}}{\partial x} + v \frac{\partial q'_{ci}}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial q'_{ci}}{\partial \sigma} + F_{qci}^{hidif} + F_{qci}^{exp} - \frac{\partial q'_{ci}}{\partial t}^{base}$$

$$\frac{\partial q'_{rs}}{\partial t} = -m^2 \left( u \frac{\partial q'_{rs}}{\partial x} + v \frac{\partial q'_{rs}}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial q'_{rs}}{\partial \sigma} + F_{qrs}^{hidif} + F_{qrs}^{exp} - \frac{\partial q'_{rs}}{\partial t}^{base} - \frac{g}{p_s} \frac{\partial \rho q'_{rs} V_t}{\partial \sigma}$$

其中  $q'$  是指擾動量， $q^{base}$  是指基場，方程式中的  $m$

是指地圖投影因子  $u^* = u/m$ ,  $v^* = v/m$ , 而 vdiff 是指垂直擴散 (vertical diffusion), hdiff 是指水平擴散 (horizontal diffusion), impl 是指次網格可解析降水之加熱作用 (heating due to subgrid-grid-resolvable precipitation physics), expl 是指網格可解析降水之加熱作用 (heating due to grid-resolvable precipitation physics)。詳細的討論可以參考 Hong et al. (1998)。圖 10 A、B 分別為 cloud3 與 NCEP 分析資料 5 月份平均與 6 月份平均相對濕度場與風場的差異, 由圖 A 在 5 月份的平均風場的差異與圖 1 A 比較可以發現在華南地區的西南風偏強的現象有明顯減弱, 且在南海北部地區、巴士海峽地區的氣旋性的風場差異也不存在, 這表示 cloud3 所模擬的太平洋副高較接近 NCEP 的分析場, 另外在南海北部地區相對濕度場的分佈也比較偏濕。由圖 B 與圖 2 A 可以做個比較吾人發現在華南地區的西南風偏強的現象也有明顯減弱, 且在台灣地區附近的氣旋性的風場差異也較小, 另外在南海北部地區相對濕度場的分佈偏濕的範圍也增加了。圖 10 C、D 分別為使用 cloud3 所模擬的平均降雨分佈, 可以發現 5 月份平均降雨模擬 (圖 C) 分佈與圖 3 E 相比在南海北部地區有明顯增多的現象, 且在 6 月份平均降雨模擬 (圖 D) 分佈與圖 3 F 相比在南海北部地區也有明顯增多的現象。但有一個地方是吾人必須注意的, 就是在圖 10 C、D 中可以發現在海陸分佈的交界處平均降雨分佈有明顯的差異, 此一現象顯示模式中是否對海陸的對比差異的處理有問題或則是對海洋面上通量的處理仍待改進。

## 伍、結論

由上述的討論吾人可以瞭解 RSM 在南海季風實驗期間對緯向風場平均時間序列圖結果顯示在南海季風肇始前後期太平洋副高的東伸西退的情形有不錯的模擬結果。且由緯向風場 (U) 看其從地面至高層的風向轉便可以發現在 5 月 21 日至 25 日左右在底層風向由東風轉變成西風, 同時可以在高層看到風向是由西風轉變成東風的變化, 因此由此可以大致看出模式模擬的季風肇始時間與黃 (1999) 所提出在 1998 年時南海季風肇始的時間相近。

但模擬結果對南海北部地區的降雨分佈有比較差的模擬, 此現象顯示模式所模擬的降雨帶一直維持在偏北的華南地區而沒有南北移動的現象。吾人也將模擬結果與台灣地區的降雨觀測資料及探空資料做比較發現在區域地區降雨極大值的模擬上有一些差異, 這是因為模式模擬的降雨帶有偏北的趨勢, 所以造成降雨的極大值發生在比較偏北的地區, 但在降雨區域的分佈上仍有不錯的相似性, 而與探空資料的比較上對緯向風風場的分佈情形也掌握的不錯。另外, 吾人也做了敏感度測試, 來探討模式在對降雨模擬結果顯示在南海北部地區有偏小的現象, 而選用了比較詳細的雲雨物理過程來探討其對降雨模擬的影響, 此實驗對水氣的作用上多考慮了水氣 (water vapor)、雲水/冰 (cloud water/ice) 及雪/雨 (snow/rain) 的作用, 結果顯示使用了比較

詳細的雲雨物理過程會對南海北部地區的降雨現象有明顯的改善。此一結果顯示雲雨物理過程對區域的降雨模擬是很重要的, 值得進一步研究。

大致上而言, 由模擬的結果顯示 RSM 在區域氣候的模擬還能夠掌握大尺度環流特徵及中、小尺度的氣象場變化, 所以對 RSM 來說它對區域氣候模擬是一個不錯的工具。

## 參考文獻

- 柯文雄, 1999: 1998 年五六月間台灣梅雨期天氣於 NTU-GCM 的模擬研究。第六屆全國大氣科學學術研討會論文集編, 國科會, 122-129。
- 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。
- 黃文豪, 1999: 1998 年東亞夏季季風前期發展之特徵。國立中央大學碩士論文, 1-80。
- Hong, S.-Y., H.-M. H Juang and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2599-2620.
- Hong, S.-Y. and A. Leetmaa, 1998: An evaluation of the NCEP RSM for regional climate modeling. *J. Climate*, **12**, 592-609.
- Hong, S.-Y., H.-M. H Juang and D.-K. Lee, 1999: Evaluation of Regional Spectral Model for the East Asian Monsoon Case Studies for July 1987 and 1988. *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 553-572.
- Juang, H.-M.H. AND M. Kanamitsu, 1994: The NMC Nested Regional Spectral Model. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 3-26.
- Juang, S.-Y. Hong, and M. Kanamitsu, 1997: The NMC Nested Regional Spectral Model. An update. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2125-2143.

MAY 850hpa relative humidity & wind field

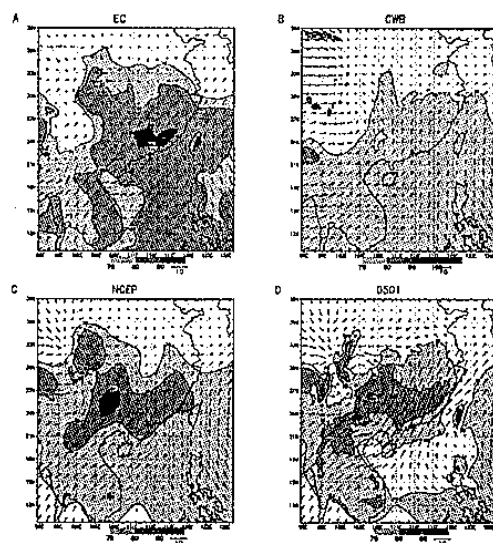


圖 1 5 月份平均 850hpa 風場及相對濕度場。圖 A 為 ECMWF 的分析資料。圖 B 為 CWB 的分析資料。圖 C 為 NCEP 的分析資料。圖 D 為模式模擬的結果。

JUN 850hpa relative humidity & wind field

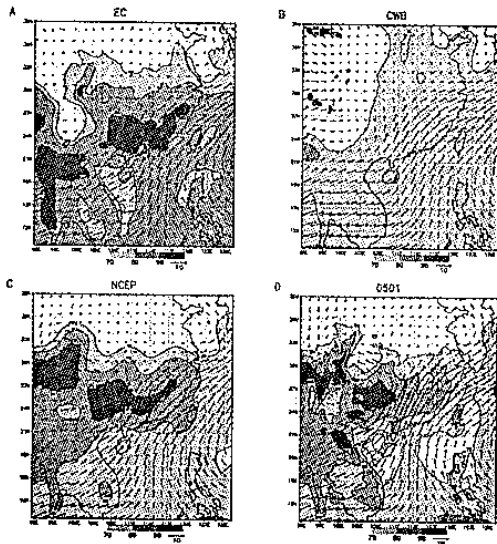


圖 2 6 月份平均 850hpa 風場及相對溼度場。圖 A 為 ECMWF 的分析資料。圖 B 為 CWB 的分析資料。圖 C 為 NCEP 的分析資料。圖 D 為模式模擬的結果。

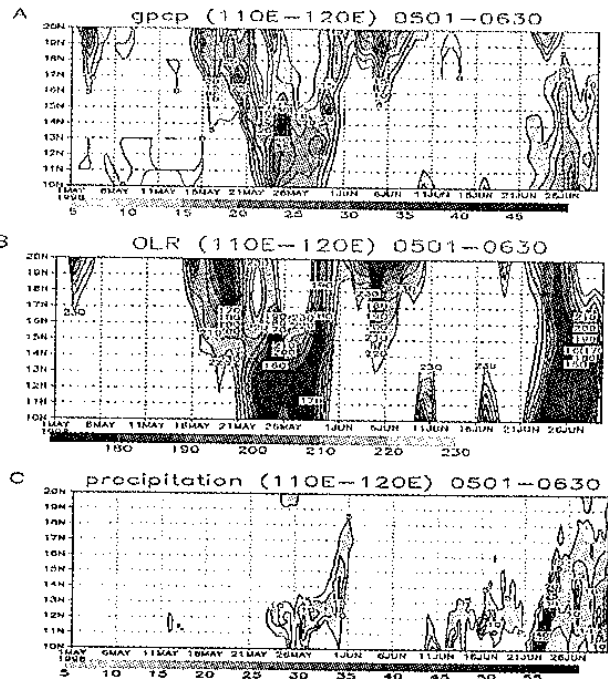


圖 4 圖 A 為 GPCP 在南海北部地區降雨的時序分佈圖。圖 B 為 OLR 在南海北部地區的時序分佈圖。圖 C 為模擬降雨結果的時序分佈圖。

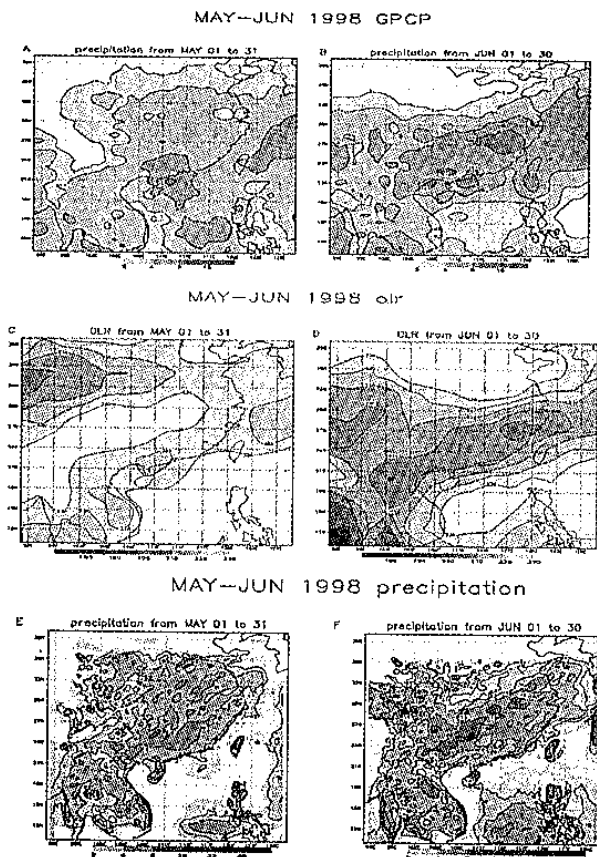


圖 3 圖 A 為 GPCP 5 月份平均的降雨分佈。圖 B 為 GPCP 6 月份平均的降雨分佈。圖 C 為 OLR 5 月份平均狀況。圖 D 為 OLR 6 月份平均狀況。圖 E 為 5 月份平均模擬降雨結果。圖 F 為 6 月份平均模擬降雨結果。

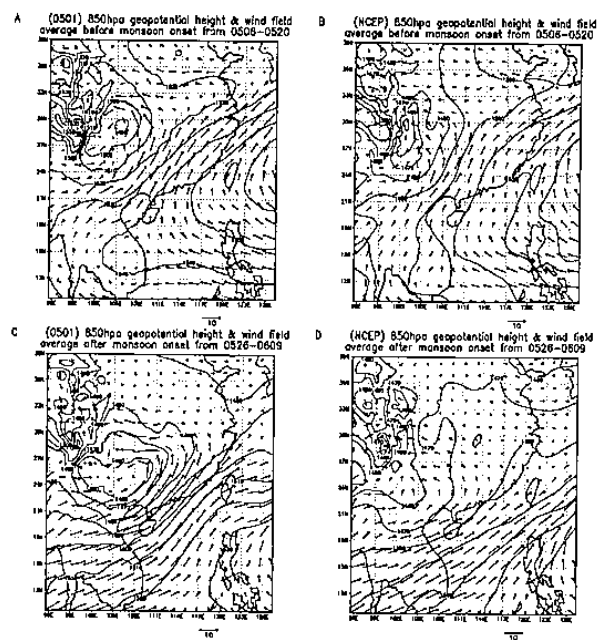


圖 5 季風肇始前後 15 天 850hpa 平均重力位場與風場分佈圖。圖 A 為肇始前模擬的結果。圖 B 為肇始前 NCEP 的分析資料。圖 C 為肇始後模擬的結果。圖 D 為肇始後 NCEP 的分析資料。

U (110E-120E, at 15N) from 0501 to 0630

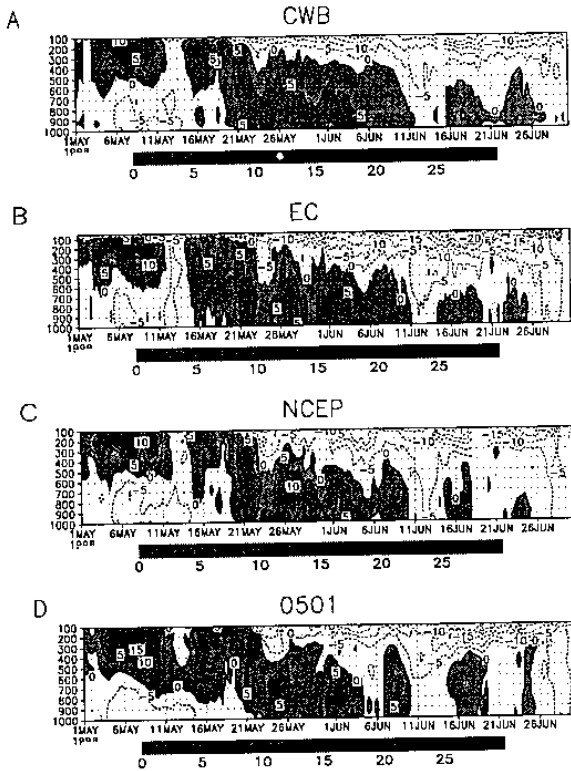


圖 6 是在 15°N U 場緯向平均，高度及時間序列的分佈圖。圖 A 為 CWB 的分析資料。圖 B 為 ECMWF 的分析資料。圖 C 為 NCEP 的分析資料。圖 D 為模式模擬的結果。

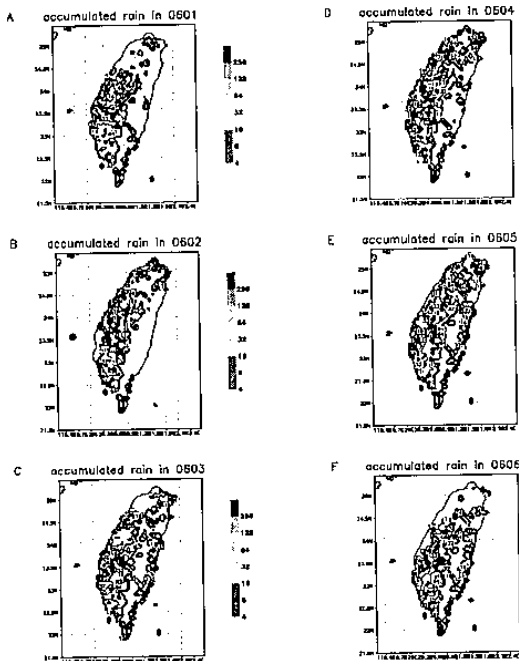


圖 7 為日累積降雨觀測資料 (mm/day)。圖 A 為 98 年 6 月 1 日的累積降雨。圖 B 為 98 年 6 月 2 日的累積降雨。圖 C 為 98 年 6 月 3 日的累積降雨。圖 D 為 98 年 6 月 4 日的累積降雨。圖 E 為 98 年 6 月 5 日的累積降雨。圖 F 為 98 年 6 月 6 日的累積降雨。

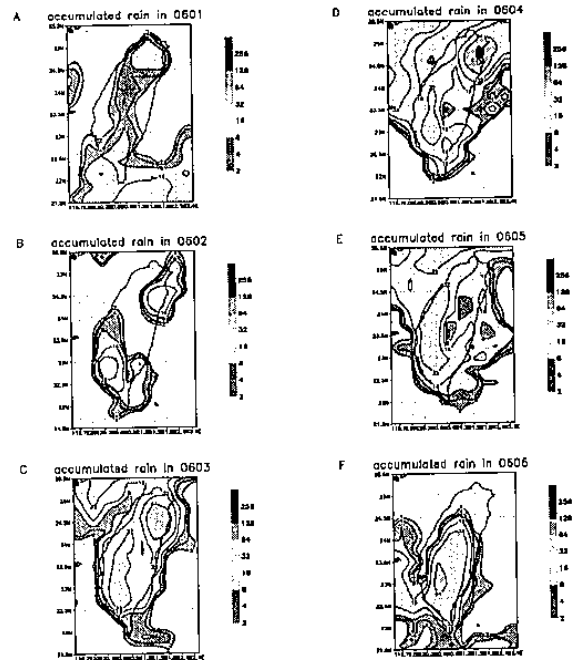


圖 8 為模擬的日累積降雨資料 (mm/day)。圖 A 為 98 年 6 月 1 日的累積降雨。圖 B 為 98 年 6 月 2 日的累積降雨。圖 C 為 98 年 6 月 3 日的累積降雨。圖 D 為 98 年 6 月 4 日的累積降雨。圖 E 為 98 年 6 月 5 日的累積降雨。圖 F 為 98 年 6 月 6 日的累積降雨。

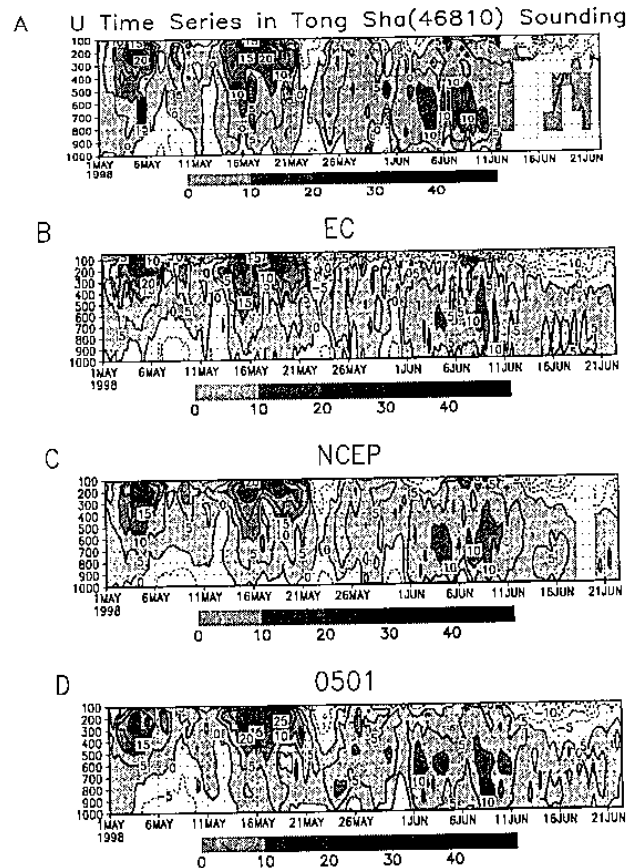


圖 9 圖 A 為東沙探空資料 U 場的時序變化圖。圖 B 為 ECMWF 的分析資料靠近東沙附近的 U 場時序變化圖。圖 C 為 NCEP 的分析資料靠近東沙附近 U 場的時序變化圖。圖 D 為模擬結果靠近東沙附近 U 場的時序變化圖。

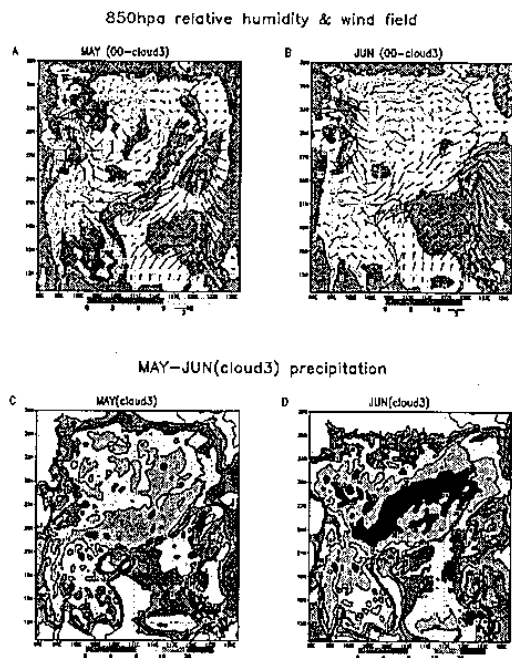


圖 10 為使用較詳細的雲雨物理過程 (cloud3) 與 NCEP 分析資料的差異。圖 A 為相對溼度與風場 5 月平均結果。圖 B 為相對溼度與風場 6 月平均結果。圖 C 為 cloud3 模擬 5 月份的平均降雨結果。圖 D 為 cloud3 模擬 6 月份的平均降雨結果。