

海軍氣象中心大氣數值預報模式測試研究

于宜強¹ 陳曉華¹ 莊漢明²

1海軍氣象中心

2美國國家環境預報中心

摘要

美國國家環境預報中心的RSM(Regional Spectral Model)區域波譜模式，是由 Juang 和 Kanamitsu (1994)在NCEP所發展出來的區域模式，此模式不同於一般定差分法的區域模式，是使用sine-cosine級數函數的波譜方式，進行區域天氣系統的模擬計算。RSM採用單向(one way)的巢狀方式輸入全球模式預報場資料當作基本場，來處理邊界上的問題。為了減少兩模式之間的差異性，本模式是使用與美國國家環境預報中心GSM(Global Spectral Model)全球波譜模式相同的物理參數過程，而模式的測試結果相當不錯。中華民國海軍氣象中心自84年起由美國國家環境預報中心引進RSM(區域波譜模式)，並邀請莊漢明博士與中正理工學院共同研發海軍大氣數值預報模式。此模式使用與美國國家環境預報中心的RSM(區域波譜模式)相同的動力與物理參數化計算，輸入的全球模式資料則是使用中央氣象局現行作業之全球波譜模式預報場代替，並針對海浪預報作業需求將其模式結構由一層巢狀網格，改進為三層巢狀網格，並在高解析網格部份加入高解析細地形，以期得到更多中尺度效應的結果。

在此針對模式各網格部份(西北太平洋A網格、中國海域B網格及台灣海域C網格)進行實際個案初步測試，並針對測試結果加以分析討論，作為模式未來繼續改進的方向。在以上各網格的測試結果中，在西北太平洋A網格個案模擬結果已能夠與全球模式結果相當接近，能有效掌握大氣系統之趨勢。在中國海域B網格個案模擬中，在主要大尺度天氣系統趨勢中以能夠解析出地形及中尺度的效應對天氣系統之影響。至於台灣海域C網格則可以解析出較強的地形效應的影響。此模擬之結果頗令人滿意。

一、前言

早期的天氣預報是採用主觀預報法，其方式是先以人將通信中收到的各式氣象資料填在天氣圖上，在繪製成等壓線、等溫線及氣流線等，並分析天氣系統高低壓之中心、鋒面、颱風等天氣系統之強度及位置。有了這些資料根據預報員本身之所學及經驗，判斷未來天氣系統移動之方向速度及強度變化。並作主觀天氣預報。由於每個人的學識經驗有限，因此主觀天氣預報的準確度與時效便有其極限。為了改進預報的準確度和增長預報的期限，必須採用較為客觀的數值天氣預報。美、日、歐及澳洲等國家發展數值模式作業已有四十年的歷史，目前已有二、三十個國家採行數值天氣預報作業系統進行未來之天氣預報。中央氣象局也自民國七十三年起開始發展數值天氣預報系統，至七十九年初全球及有限區域預報系統相繼完成，正式加入數值天氣預報的國際行列。

本軍為精進天氣及海浪預報之準確及時效性，自民國八十三年起委託台大海研所發展大氣與海浪預報模式研發案。大氣預報模式部份則由中正理工學院負責，引進美國國家環境預報中心(NCEP；過去名稱為美國國家氣象中心NMC)之區域波譜模式進行研發改進，同時並請回美國國家環境預報中心模式

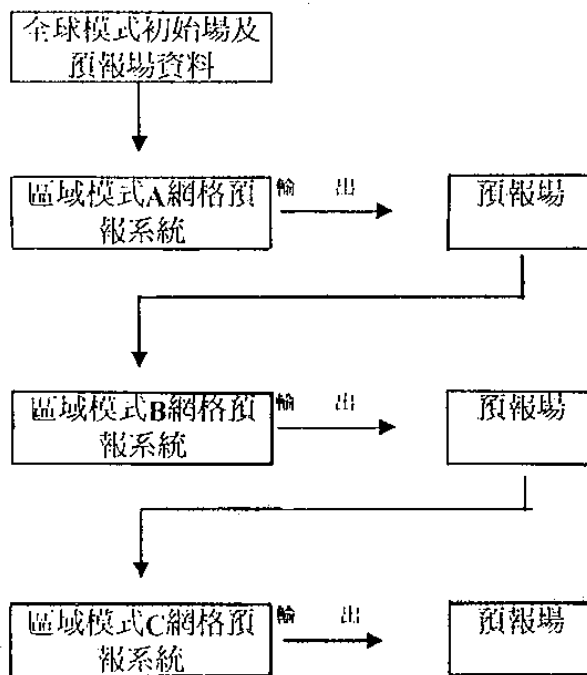
原作者回國協助。美國國家環境預報中心的區域波譜模式，是由 Juang 和 Kanamitsu (1994)所發展出來的區域模式，是屬於新一代的區域模式，此模式不同於一般定差分法的區域模式，是使用sine-cosine級數函數的波譜方式，進行區域天氣系統的模擬計算。自1976年以來，已有許多國家發展出例行數值天氣預報作業用的波譜模式，由於波譜模式適合長時間的全球積分，因此這些波譜模式多用於氣候模擬及全球預報。此區域波譜模式也是為了配合全球波譜模式而設計的，採用單向(one way)的巢狀方式輸入全球模式預報場資料當作基本場來處理邊界上的問題，為了減少兩模式之間的差異性，本模式使用與美國國家環境預報中心全球波譜模式相同的物理參數過程，本模式可用來模擬美國東岸的天氣擾動、落磯山被風旋生、及颱風五日的軌跡預報，其結果相當不錯。美國於1995年正式將此模式納入日常預報作業之用。在測試過程中Juang也曾針對台灣地區TAMEX 期間，台灣中尺度對流系統個案測試結果相當成功。

計畫將建立東亞以及西北太平洋地區之有限區域巢狀大氣波譜預報作業模式，包括(1)西北太平洋區域、(2)中國海域及(3)台灣海域作業用之模式。現今已大致完成，本中心並進行一系列個案測試以瞭

解，此模式在東亞天氣預報上所表現之特性。

二、模式簡介

海軍大氣區域波譜預報模式系統是引進 Juang and Kanamitsu(1994)為美國國家環境預報中心所發展的區域預報模式，為主要架構，加以修改為適用於東亞地區之大氣數值預報作業系統，作業系統之流程如圖一。以下就模式的預報方程、物理過程、數值方法、運算步驟、模式結構和模式進行步驟加以說明。



圖一 大氣模式作業流程圖

(一)、模式的預報方程式

此模式是使用 σ 坐標當作模式垂直坐標的靜力原始方程式， σ 的定義為

$$\sigma = P / P_s$$

中 P 為垂直坐標軸的氣壓值， P_s 為地表面氣壓。模式上邊界 $\sigma = 0$ ；下邊界之 $\sigma = 1$ 。模式方程式包括動量方程、熱力方程、濕變數方程與連續方程以及診斷的靜力方程式。

模式是針對每網格點上之擾動值加以計算，因此任何一變數 A 將可以分為兩部份，即

$$A = A_g + A'$$

其中 A 代表該變網格點上的預報值， A_g 代表該變數於網格點上的基本場值（全球模式輸出值）， A' 代表該變數於網格點上之擾動值。

(二)、模式之物理過程

如前所述，模式使用與美國國家環境預報中心區域波譜模式相同之物理參數化過程，包括：隨日夜變化的短波及長波輻射、輻射與雲的交互作用，地表層和行星邊界層的物理過程、重力波平滑和垂直擴散、郭氏積雲參數化、深淺對流參數化、大尺度(格點)降水及一些水文過程等。其中除了輻射(長波及短波)部份是每一個預報小時作一次外，其它部份都是每一個時間步(time step)執行一次。

(三)、模式格點結構：

大氣模式是三度空間的模式，我們是利用正交地圖投影地圖投影作為水平坐標，美國國家環境預報中心區域波譜模式則是採用適用於中高緯度的極坐標投影。在此我們是針對台灣地區加以修正為適用於中低緯度的麥卡脫投影法，標準投影點為北緯22.5度。

前述動力過程的運算是在波譜係數空間上進行，而物理過程則是在格點空間上運算。定差分法處理預報場變數的空間微分項是一種近似法，有截斷誤差，因此定差分法需使用交錯網格；而波譜模式是利用波譜函數表示預報變數，預報變數之空間仍是函數形式，因此沒有截斷誤差之問題，不需使用交錯網格，亦即所有之預報變數均在同一網格點上，此為模式的水平面結構。

在垂直方面，我們採用 σ 坐標，而在模式運算過程中 σ 是不變的。垂直運算是採定差分法，垂直速度置於實線上，而預報變數全部置於虛線上。在垂直分布上共有18層，分別為 0.995、0.981、0.960、0.920、0.856、0.777、0.688、0.594、0.497、0.425、0.375、0.325、0.275、0.225、0.175、0.124、0.074、0.021 等18層。在水平方面，全球模式所使用的是全球高斯網格，即是經度間格為常數，緯度間格為餘函數的水平坐標。區域模式則是使用區域高斯網格，即是將全球坐標投影至地圖坐標上，在地圖坐標上取等常數為距離的網格。

(四)、模式的數值方法

如前所述，模式是波譜模式，所以預報的變數是用波譜函數來表示，但有限區域模式有邊界的問題，因此將預報變數分成二部份，一部份符合波譜函數的條件，另一部份符合邊界條件。在此，將預報變數分成平均場和擾動場兩部份，平均場是全球模式輸入的預報資料(input data)，代表了整個區

域的大尺度運動，可以此當做邊界條件；擾動場是由區域模式利用波譜方式計算出來(output data)的資料，即是符合波譜符合波譜函數條件部份，在此擾動場是以雙正弦—餘弦級數(double sine-cosine series)組成的二維(水平)波譜係數表示。

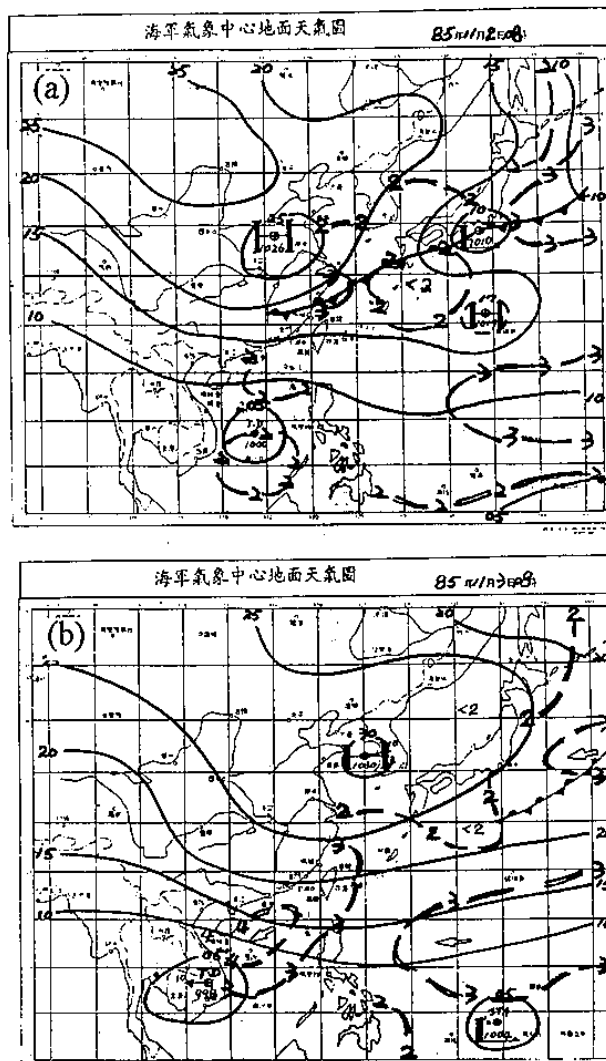
三、個案測試

在本測試研究中，針對冬季個案進行模擬測試，以便能瞭解，本模式在冬季天氣系統的表現如何，可提供日後模式精進的參考。先前我們曾經針對東亞地區梅雨天氣系統進行測試(于, 1996)，不同現在的是；全球預報場資料我們均以EC 的全球分析場資料所取代，如此，可以減少全球預報模式所產生之誤差值。進行了1987年5月14日起至6月15日(TAMEX 期間)共三十三個個案的模擬預報，在以上的測試中，我們發現由全球資料輸入區域模式當中，因為沒有重新進行初始化的工作，使得模式在預報時，因物理過程的不同，有一些綜觀尺度長波的誤差被解析出來，使得預測結果有時會產生較大的誤差。在過去三十三個測試中，其模式的校驗值分別均有四~五個個案的誤差偏大。一般而言，其結果不甚理想。因此，我們使用了，長波過濾法(long wave filter, 又稱cut wave), 其模擬結果得到大幅改善，校驗誤差值由原先的10~20降低為10以下。由其結果可瞭解在使用長波過濾修正法後，不只系統趨勢相同，甚至連系統強度及速度大致均相似。在本測試研究中，本模式輸入之全球預報場資料，則是使用未來作業所使用之中央氣象局之第二代全球模式預報場資料。在全球模式與區域模式兩者物理過程仍然不同，而且，全球預報模式所提供的預報資料，非文獻中所提及最佳巢狀資料(每六小時輸入一筆)，而為12小時(前24小時)及24小時(24小時後)，在西北太平洋A網格部份不只要進行模擬，它還有一項更重要的任務，即是提供B網格巢狀預報場更高的時間解析度。

在本測試中，我們針對1996年冬季個案進行11月1日、11月9日及11月26日三個冬季天氣系統進行數值預報測試。

(一)、個案一：

本個案是以11月1日08時(中原時)為初始資料，11月1日中國海域是受鋒面前偏南氣流影響。11月2日滯留鋒面伴隨冷高壓逐漸南下，華東沿海風向由南風轉為北風。11月3日台灣附近海面均受東北季風影響(如圖二)。在24小時預報中，由於A網格加入了長波過濾修正法，所有的系統趨勢都與實際系統相近，由925hpa風場圖台灣附近

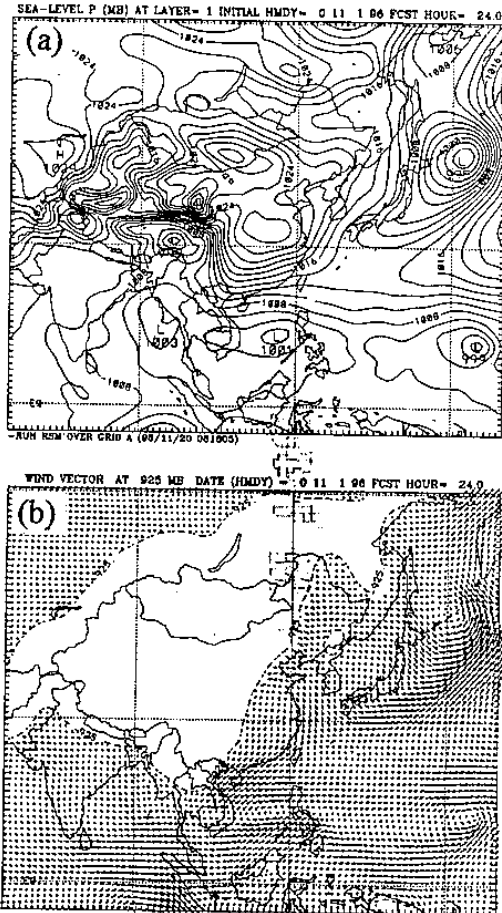


圖二 地面天氣分析圖(a)11月2日；(b)11月3日。

都受到東北風影響，在南海地區有一個熱帶擾動正逐漸向西移動(如圖三)。在B網格部份氣壓場的分布與A網格趨勢及分布相似。在1000 hpa風場部份，在鋒面帶的位置上，有一明顯的風場及強東北季風在華東地區。在B網格中我們使用了不同於全球模式及A網格的較高解析地形，在台灣附近海面的風場因為地形的阻擋有繞流的現象，在台灣海峽及巴士海峽風力均有加強的作用。在C網格部份(如圖四)，由於解析度的提高，台灣地形也相對提高。台灣東部迎風面有一個明顯的中尺度高壓產生，850 hpa 風場部份，受地形增高影響台灣附近風場有所改變，強風區只剩下巴士海峽部份，與實際資料有所出入。在48小時的數值預報中，A網格的預測圖中(如圖五)，台灣地區受東北季風影響，南海低壓區正逐漸登陸中南半島，925 hpa 的風場預報中，台灣附近都是受大陸冷高壓所引進之東北季風所控制，於實際天氣形態相當類似。B網格中，氣壓場趨勢與實際相似。高壓中心已移到朝鮮半島。南海附近低壓已移至中南半島上，速度比A網格及

實際要快。1000 hpa風場預報，由於氣壓場走向偏東西向，因此，台附近多屬偏東風。大風區存在於巴士海峽及台灣東部之迎風面處之中尺度高壓勢力越來越強。在C網格中地形作用增加，中尺度高低壓有增強的趨勢，在850hpa地形效應更強，因此風場在台灣地區有撓流現象，在台灣北部海面風場偏南風，在巴士海峽風力相當強，海峽因為受地形阻擋風力相當小。

由此個案之模擬研究，本模式之A網格可以掌握其大範圍天氣系統，B網格及C網格則是針對中尺度及地形效應之模擬研究，這個案之結果相當理想。

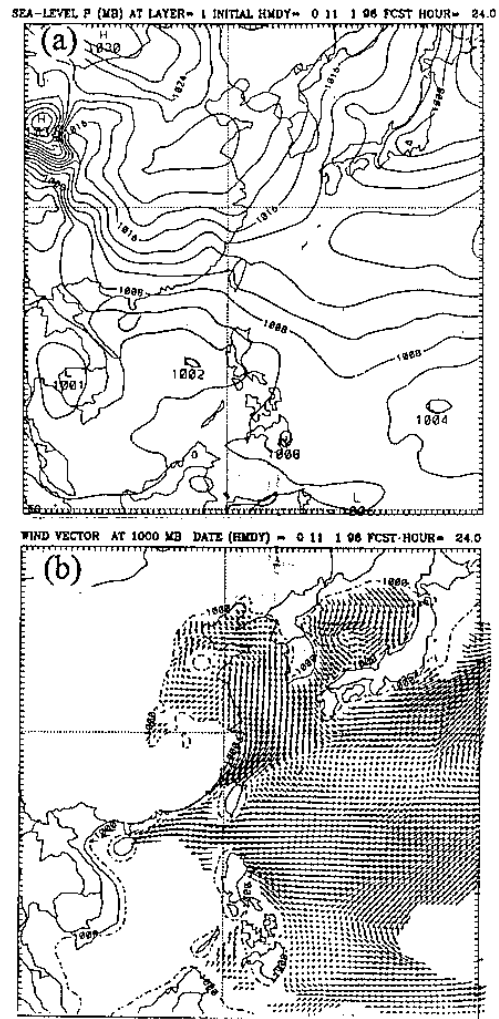


圖三 85.11.01大氣模式A網格24小時預報場
(a)海平面氣壓；(b)925hpa風場。

(二)、個案二：

本個案則是使用1996年11月9日08時資料當作初始資料進行48小時個案模擬測試。11月9日滯留鋒面位於日本海至華東一帶，正逐漸向南移動。在西北太平洋則有二個颱風，一位於菲律賓西方命名為爾尼，一則位於菲律賓東方命名為戴兒向西北移動。11月10日滯留鋒面已至台灣北部海面，戴兒則快速向西北移動已抵達130°E附近，南

海上的爾尼則緩慢的向北緩移。11月11日北方冷高壓逐漸南下，台灣北部海面正逐漸

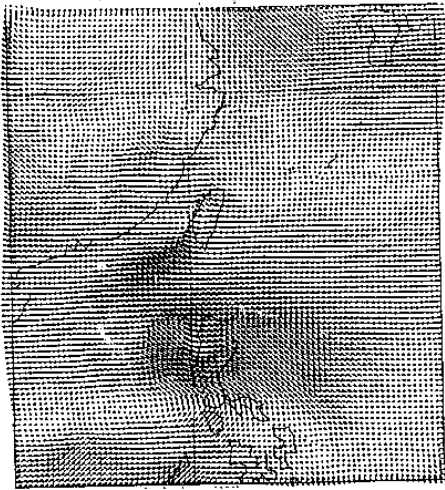
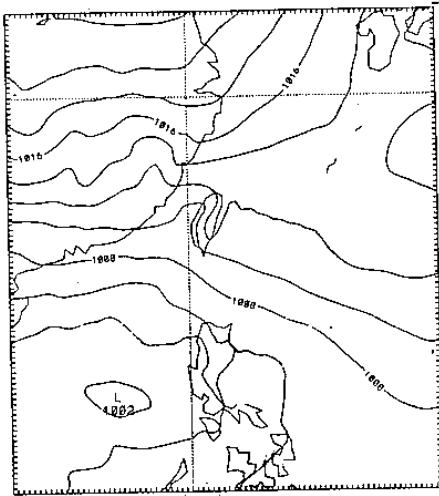


圖四 85.11.01大氣模式B網格24小時預報場
(a)海平面氣壓；(b)1000hpa風場。

通過本省，戴兒颱風也正逐漸轉向北移動。爾尼颱風則原地打轉，且逐漸消散當中(如圖六(a))。

由模式模擬預報中，A網格部份，在海平面氣壓場預報中，12小時預報圖中，颱風之位置與實際分析的位置相當接近。24小時預報圖中，韓國附近高壓位置及兩個颱風位置均與實際位置相同。48小時(如圖六(b))，整個北方高壓的趨勢，均與實際相似，颱風的位置均與實際相近。在B網格部份，24小時預報中，戴兒颱風中心位於17°N；131°E附近，爾尼颱風中心位於18°N；115°E附近，與實際颱風中心均非常之相近。位於韓國附近移動高壓趨勢與實際高壓相近。48小時預報部份(如圖六(c))，爾尼颱風勢力減弱，戴兒颱風中心位於20°N；125°E，比實際颱風位置偏西。北方高壓趨勢與實際相似，氣壓值稍微偏低。

C網格部份，台灣地區地形解析提高，台灣附近均受東北風影響，在台灣東北部附近有一個中尺度高壓因地形而生成，在背風區亦有一中尺度低壓之形成。在48小時預報中



圖四 85.11.01大氣模式C網格24小時預報場

(a)海平面氣壓；(b)850hpa風場。

(如圖六(d))，颱風中心同B網格均偏西，台灣附近東北風勢力增強，中尺度高壓增強，背風區台灣海峽之中尺度低壓強度亦增強。此個案對颱風位置的預報已能夠相當準確，僅於B、C網格部份戴兒颱風位置稍偏西。

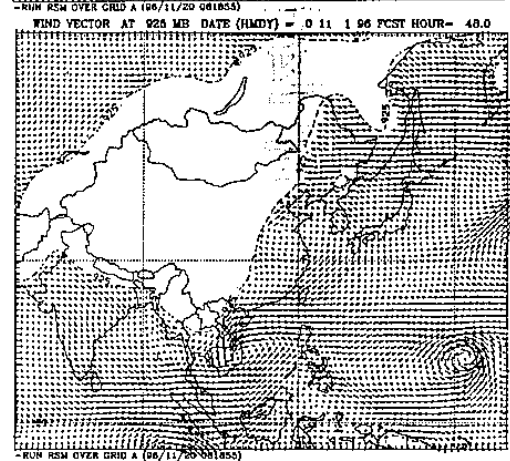
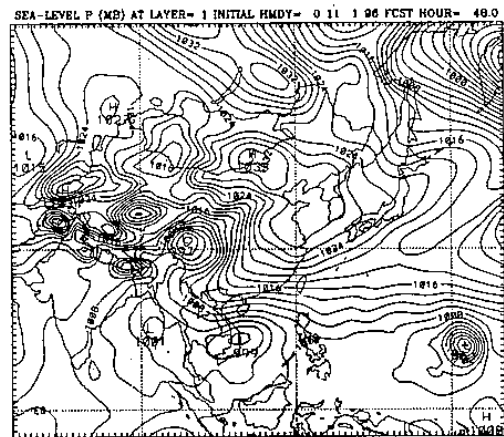
(三)、個案三：

本個案我們使用11月26日08時的資料當作模式的初始資料進行預報。在實際個案分析中，11月26日低壓及鋒面系統自華東附近海面移出，鋒面自韓國附近延伸至華南地區。11月27日冷空氣再度南下，冷鋒再度建立，鋒面自東北間西南延伸至華東地區，且快速東移出海，台灣附近受到較強之東北季風影響。

由模擬結果中，A網格中由於加入長波過濾器，整個預報場的分布及趨勢，均與實際天氣系統分布相類似。在26日降雨分布均與實際鋒面相配合。在菲律賓附近因熱帶

擾動有明顯降雨分布於北緯15度附近。在B網格模擬出來的，系統趨勢相同，但氣壓值則偏低。降雨預報中，降雨區分布均與A網格分布相似，降雨的極值比A網格中的明顯、且較大。在C網格中，可以看到地形效應影響，中尺度高低壓位置與迎風及背風位置相配合。

由以上結果可知，本模式對冬季11月份的個案，在天氣系統趨勢方向，均能有效掌握。在氣壓場的表現上，一般而言，由模式所模擬出來的結果均比實際的偏低。在風場的預報中，大致均能完全與氣壓場配合，因此，只要氣壓場的預報準確，風場的誤差均不大。在降雨預報，在B、C網格中，加入高解析地形資料後，降雨情形也比A網格明顯。此三個個案結果中，模式的表現尚稱滿意。



圖五 85.11.01大氣模式A網格48小時預報場

(a)海平面氣壓；(b)925hpa風場。

四、結論

此區域波譜模式世新一代的區域模式。在一般區域模式處理上，最大的問題，就是邊界處理的問題，在此模式當中使用單向巢狀方法，將全球模式的輸出資料當作模式的平均場資料。在區域模式當中不針對平均場

部份加以計算，此模式僅對擾動量部份加以模擬計算。而且在網格與網格部份使用相同的方式，其結果堪稱良好。

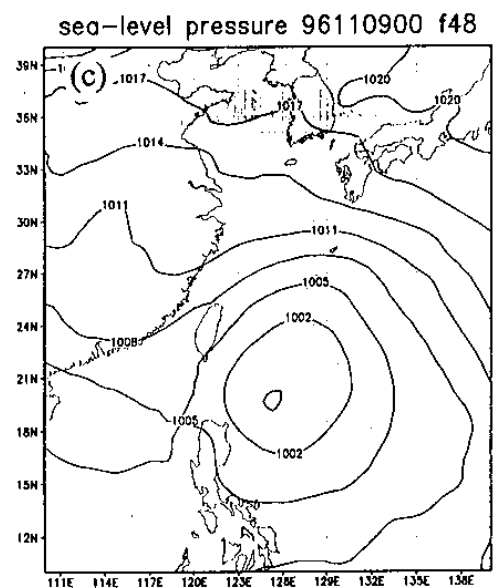
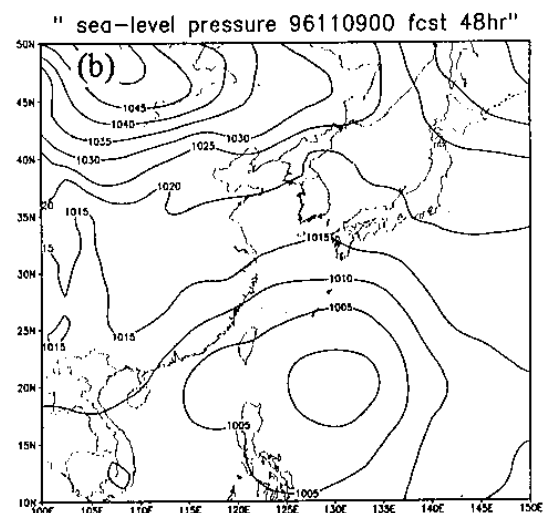
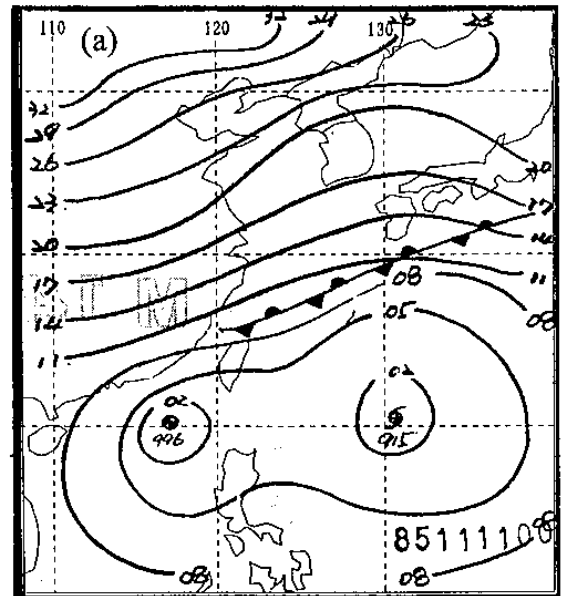
在本模式的測試研究當中，針對1996年東亞地區冬季天氣系統個案加以模擬研究。在鋒面及東北季風系統模擬當中，在鋒面移動速度方面，由於A網格部份加入長波過濾器，因此，系統的速度均與實際的天氣系統相當接近。而在B及C網格部份，在提高解析度及加入高解析地形資料之後，鋒面南下的位置均較實際系統稍偏北，即南方天氣系統之勢力較強所造成。在颱風個案中，相同在B及C網格當中，由於加入高解析作用力後，颱風移動的速度均比實際的速度快。不過就整體而言，模式預報結果中在天氣趨勢的掌握中，均能有效的掌握。因此在東亞地區的天氣系統的預報上以達到一般水準之上。在提高解析度的模擬當中，在模式當中加入更強的中尺度的作用力，發現在熱帶地區出現的誤差較為大且嚴重。這些問題可能是因為本模式原先的發展是針對中高緯度部份的天氣系統。在此我們所使用的範圍是在偏熱帶的地區，原先所使用的參數化過程需要進行調整修改。低緯度的天氣系統與中緯度天氣系統所受的主要影響不太一致。低緯度天氣系統在模式物理機制的影響份量較為嚴重，而中緯度天氣系統動力機制成份比較大。未來將針對物理過程部份進行一系列測試研究，以了解必須針對哪一部分的物理過程加以修改，方能達到熱帶天氣系統的要求，準確地進行數值天氣預報。

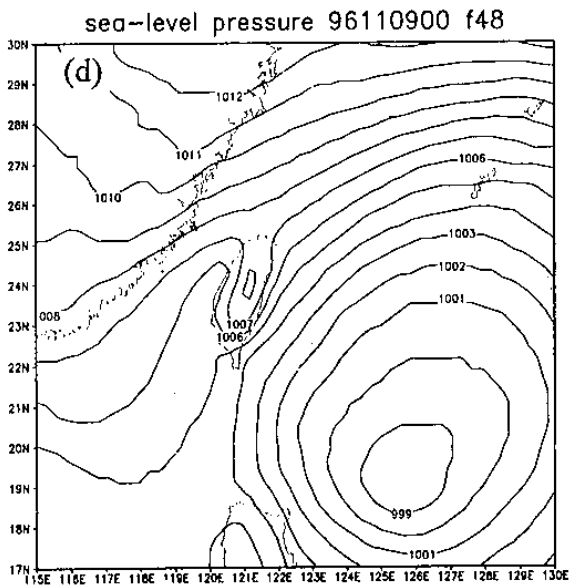
本模式由於使用單向巢狀方式，並且在最外層部份輸入全球模式的資料。因此，我們可以針對任何一個區域進行數值天氣預報。未來更可以針對本軍遠洋航行或作戰之艦隊，進行天氣預報，使本軍海面作戰多一份保障。

參考文獻：

于宜強，1996：RSM對東亞地區梅雨天氣系統之測試研究。中大天氣物理研究所碩士論文，121頁。

Juang, H.-M., and M. Kanamitsu, 1994: The NMC nested regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 3-26.





圖六 (a)85.11.11地面天氣圖；(b)48小時A網
格預測圖；(c)48小時B網格預測圖；
(d)48小時C網格預測圖；

The Research Study of RSM of Navy Weather Center

Yi-Chiang Yu 1 Hsiao-Hua. Chen 1 Hann-Ming Juang 2

1 Navy Weather Center

2 National Center for Environmental Prediction

ABSTRACT

The NCEP RSM (regional spectral model) was developed by Juang and Kanamitsu. The numerical scheme is not a finite difference method, but a spectral one which uses sine-cosine series as characteristic functions. To satisfy the boundary condition, the RSM uses nesting one way to input in the global model predicted data as mean field of RSM. In order to reduce the difference between GSM and RSM models, the dynamic and physical parameters were the same in both models. The results of both schemes have been verified to be reasonable.

R.O.C. Navy introduced RSM from NCEP in 1993. Both Dr Juang and professors of CCIT were invited to develop the on-line project of ROC navy RSM. The operational system uses the same dynamic and physical process as those of NCEP. However, the initial data was introduced from CWB global model predicted fields. In the mean time, to satisfy the wave forecast models, the construction of this model were changed from one nesting grib to three nesting grib. For understanding the mesoscale effect, higher resolution of the terrain data were used in high resolution grid scheme.

Analyzing and discussing the testing results to see the model performance our standard level on prediction were done. More tests for each nesting grids were suggested. For fulfill the large scale weather pattern, the result of A grid model were adjust to close to the result of global model. At B grid case testing, the model is able to simulate the terrain and mesocale effects to the weather pattern. C grid model can analyze more detailed terrain effect. These simulations using GSM have showed encouraging results for future application.