

# 邊界條件、模式範圍及植入渦旋結構等對 颱風路徑預報的影響

彭順台 張智北 鄭寶鳳\*

美國海軍研究學院 中央氣象局\*

## 摘要

本文針對氣象局颱風路徑預報系統(TFS)預報不好的個案，經由改變植入渦旋結構、人為加熱強弱、初始條件、邊界條件、水平解析度與涵蓋範圍等各種實驗來尋找導致預報不佳的主要因素。結果顯示本系統對於瑪麗安颱風不能預報到其運動路徑的轉向，主要歸因於模式對颱風的上游涵蓋範圍不足，使得不能掌握綜觀天氣系統的變化，影響到對颱風路徑的預報，其他因素則沒有明顯的效應。

## 一、簡 介

中央氣象局的颱風路徑預報系統(Typhoon Track Forecast System, 簡稱TFS)已完成其第一年度(1990)的正式作業。每次執行48小時的路徑預報，提供為預報作業的重要指引。關於這個系統的詳細介紹及初期績效可以參考鄭等(1991)的文章。對於其未能提供良好預報路徑的個案，值得我們進一步研究，探討其中到底是什麼因素導致預報不佳。本文將討論對瑪麗安颱風所進行的各種實驗。瑪麗安颱風在1990年5月19日登陸台灣西南，與其他大多數在西太平洋產生而向西北運動的颱風不同，該颱風產生在南海，隨後向北轉東北運動。TFS在5月16日12z開始對她進行路徑預報，直到5月18日12z，全程的預報路徑如圖一所示。對這颱風的預報，TFS表現出一致性的預報偏差一向北、向西北偏，而沒有像實際颱風路徑發生轉向的現象。其48小時的平均預報誤差是1172公里，是TFS預報最差的一個颱風。為了探討導致渦旋這樣運動的主要因素，進而研究改進方法，我們針對5月16日12z進行許多實驗，這些實驗描述在第二節。依據這些實驗的結果，我們討論下一階段數值天氣預報系統提供颱風路徑預報的作業，將有一些修改，這部分敘述於第三節。

## 二、靈敏度測試

為了探討數值天氣預報系統對提供颱風路徑預報

的改進，我們進行的實驗包括對(一)植入不同渦旋結構的靈敏度；(二)不同人為加熱量的靈敏度；(三)對初始條件的靈敏度；(四)對網格解析度及模式涵蓋範圍的靈敏度；(五)對邊界條件的靈敏度做測試，並且(六)用區域預報模式的架構執行颱風路徑預報。分別說明如下：

### (一)對渦旋的大小與強弱的靈敏度

由於颱風通常在缺乏觀測資料的海上運動，使得客觀分析不能分析到伴隨颱風應有的環流結構。即使客觀分析得到一個封閉的環流，那通常也不在正確的位置上，並且多半不具有垂直的一致性。因此在數值模式中植入一些資料來代表颱風，是全球各個數值天氣預報中心一致的作法。TFS就經由植入一個結構平衡的渦旋來達成這個目的。產生這個渦旋的作法，可以參考鄭等(1991)的文章。

根據實際颱風的強度與大小，我們選用不同型式的渦旋植入預報模式，這些對稱性渦旋結構的初始徑向分布如圖二所示。5月16日12z瑪麗安颱風的中心氣壓為980mb，其十分鐘平均風速最大值達28公尺/秒，當時強度正在減弱中。在這個實驗裡分別用三個不同的渦旋進行植入處理，它們都是在柯氏參數  $f$  設為定值的平面上建立的。第一種稱為弱小渦旋，以平均海面溫度為 $27^{\circ}\text{C}$ ，最大切向風速為15公尺/秒，對稱性風場的徑向範圍達15個網格點(相當於1,050公里)。第二種稱為弱大渦旋，所用參數同第一種，只有徑向範圍擴展到20個網格

點。第三種稱為中大渦旋，其對稱性風場的環流徑向範圍也達20個網格點，而平均海溫用28°C，最大切向風速為25公尺/秒。圖三是用這三種不同渦旋進行植入處理所得到的預報路徑，顯示預報路徑對這因素並不靈敏。

### (二)對加熱量多少的靈敏度

在TFS執行積分過程中，我們對颱風中心附近做人為加熱處理，以維持所植入渦旋的強度。每當模式對動力部分積分四次，就執行一次加熱處理，以初始渦旋的徑向溫度梯度的一半，取代預報中減弱的徑向溫度梯度（鄭等，1991）。這實驗的目的是為了探討是否熱化處理所加的量過大，影響到模式對大尺度天氣系統的預報準確度，進而導致一個不好的渦旋運動路徑。圖四包括以不同加熱量執行預報所得的結果。此中植入的渦旋是在 $\beta$ 平面上建立的，它含有波數1的 $\beta$ 渦旋，方向指向西北（Fiorino and Elsberry, 1989），使得其比植入 $f$ 平面建立的渦旋在模式中產生 $\beta$ 渦旋所需時間較少。圖四中路徑2就是植入 $\beta$ 平面渦旋的預報路徑，它與圖三路徑3是植入 $f$ 平面渦旋的預報路徑其它的使用條件都是相同的。兩相比較可見前者在早期（24小時）的路徑比較平滑，並且運動較快。這是正式作業中所使用的方法：其熱化處理中以初始溫度梯度的50%，取代預報中減弱的溫度梯度。而圖四中路徑1是只用20%的初始溫度梯度做取代的結果。路徑3初始熱化量如同路徑2是用50%，然後隨時間呈指數遞減。這實驗顯示熱化過程的加熱量愈小，使得預報的運動速度減小，而方向並沒有差異。這結果與TFS對其他個案的測試結果類似。

### (三)對初始條件的靈敏度

在此實驗中TFS的初始條件，藉由先期處理過程(preprocessing)來修改。目前此種試驗主要有二：(1)與颱風過去運動速度特性有關的一種 $\beta$ 渦旋( $\beta$ -gyres)的原型，(2)採用DeMaria(1987)的建議：以颱風過去移速修正颱風影響範圍內的環流設計。包含以上兩種先期處理過程的路徑預報，對大部分個案表現良好（陳得松等，1991）。圖五中，路徑

1代表作業版所得的預報路徑，路徑2是只加原型 $\beta$ 渦旋於初始場的預報路徑，路徑3代表只採用DeMaria初始流場修正法的預報結果，路徑4代表同時加入原型 $\beta$ 渦旋及DeMaria修正法的預報結果。很不幸地，對瑪麗安颱風的預報路徑，這些作法並沒有改善。

### (四)對網格解析度及模式涵蓋範圍的靈敏度

眾所週知，由數值模式要得到好的路徑預報，則模式的涵蓋範圍必需大得足以包含相關的顯著綜觀氣流型式(DeMaria, 1982)。而數值模式的解析度對適當的預報也是很重要的。在TFS的發展階段，許多實驗被用來配合在氣象局當前的電腦資源的限制下，選定最佳的解析度及涵蓋範圍。目前這模式的變數大小已到達電腦記憶體可容許的最大限度，水平解析度為70公里，涵蓋範圍如圖六。本實驗我們把水平解析度改為90公里，與區域預報系統相同，維持原有的變數大小，以放大模式涵蓋範圍。圖七路徑1表示作業版使用的70公里解析度所得的預報路徑，路徑2是解析度為90公里，增加模式東邊範圍（如圖八-1）所得預報路徑。路徑3是解析度為90公里，增加模式西邊範圍（如圖八-2）的結果。顯然對這個颱風，模式原先所涵蓋的西邊範圍不足，所以增加東邊範圍沒有改進，增加西邊範圍可以改進路徑預報。比較圖七中路徑2與3所對應的預報綜觀系統（圖九-1，九-2）與實際客觀分析系統（圖十），可見增加東邊範圍的實驗中，在大陸中部及東部的高壓太弱，使得靠近韓國的鋒面太弱。而增加西邊範圍的實驗中，對這些天氣現象掌握得比較好，提供了利於渦旋轉向的環境。

### (五)邊界條件的靈敏度

本實驗使用真實邊界值（全球預報系統的客觀分析值）取代由全球預報系統的預報值所提供的邊界條件，測試是否可以改進預報路徑，結果如圖十一所示，與圖七路徑1相比，可見真實的邊界值對預報路徑稍有改善。為進一步確定其效果，仿照產生圖七路徑3的作法，利用真實邊界值去作預報，

結果如圖十二所示。顯然，當模式涵蓋足夠的範圍，用真實的邊界對路徑預報不再有額外的改進。這個亦可能是邊界值經過調和處理 (Perkey and Kerisberg, 1976) 的效果。

#### (六) 利用區域預報系統的架構預報颱風路徑

作業的區域預報系統擁有與TFS相似的動力及物理架構。其解析度為90公里，垂直方向分12層。在瑪麗安颱風發生期間，比較兩個系統的大尺度天氣型式，發現前者的預報比後者好，於是我們進一步探討，把TFS植入渦旋及人為熱化處理程序放到區域預報系統中進行預報，測試其是否可以提供較好的預報路徑。圖十三是所得的結果，由於這實驗的解析度與圖七路徑3所用的相同，而它們的範圍也相近，使得預報路徑差不多。在別的研究中，我們嘗試在作業版的區域預報系統中植入一些觀測資料，但是不包括人為加熱處理，來得到另一種颱風路徑的客觀預報指引 (陳建河等，1991)。

客觀指引可以做參考。

(六) 基於以上的結果，TFS將隨颱風的位置移動模式範圍使在颱風上游涵蓋足夠大的面積。

### 三、結 論

TFS在氣象局正式作業了一年，我們選取其中較差的一個颱風路徑預報來研究導致差勁預報的主要因素。透過許多實驗的進行來測試渦旋運動對不同因素的靈敏度。所得結果可歸納如下：

- (一) 植入不同渦旋及增減人為熱化處理的加熱量只稍微改進渦旋的移動，渦旋運動主要的方向並未受影響。
- (二) 在目前氣象局的電腦極限下，增加模式涵蓋範圍必要伴隨犧牲模式的解析度。而對渦旋運動的上游涵蓋足夠的範圍是很重要的。
- (三) 當模式涵蓋範圍不夠大，以致不能對客觀系統提供好的預報時，用真實邊界條件可以稍微改進預報路徑。
- (四) 瑪麗安颱風預報不良的原因在於模式對綜觀尺度天氣型式預報得不好，所以光是改變對渦旋附近初始場的處理不能改進預報路徑。
- (五) 利用在作業版RFS中植入資料的處理程序已在進行中，所以氣象局預報人員將多一個颱風運動預報的

## 參考文獻

- DeMaria, M., 1987: Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectral model. *Mon. Wea. Rev.* 115, 2346–2357.
- Fiorino M., and R.L. Elsberry, 1989: Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, 46, 975–990.
- Perkey, D.J., and C.W. Kreitzberg, 1976: A time-dependent lateral boundary scheme for limited-area primitive equation model. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 744–755.
- 陳建河、彭順台、張偉正，1991：CWB 區域預測系統植入颱風風暴之研究。天氣分析與預報研討會論文集編(80)。
- 陳得松、彭順台、張智北、鄭寶鳳，1991：原始方程颱風路徑預報模式初始場之改進。天氣分析與預報研討會論文集編(80)。
- 鄭寶鳳、彭順台、張智北、陳得松，1991：中央氣象局原始方程颱風路徑預報系統的評估。天氣分析與預報研討會論文集編(80)。

Sensitivity of typhoon track forecast to initial  
conditions, boundary conditions and others

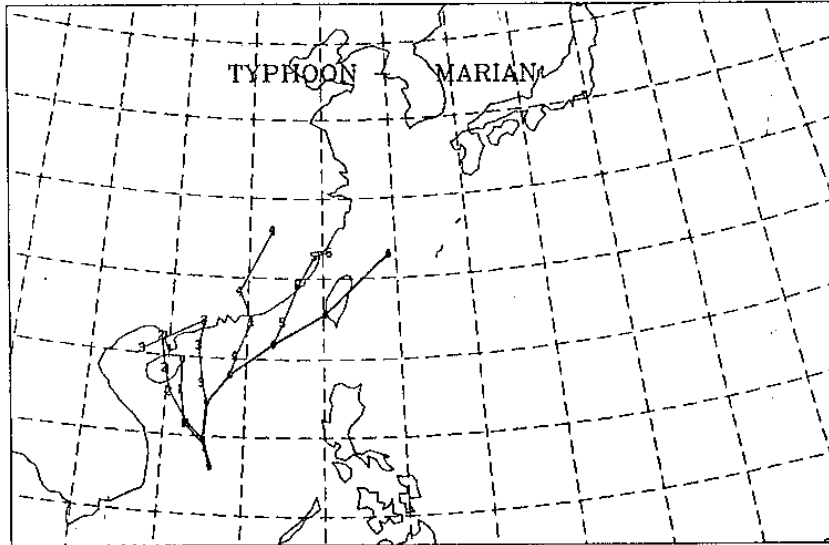
Melinda S. Peng, C.-P. Chang, B.-F. Jeng\*

Naval Postgraduate School    Central Weather Bureau\*

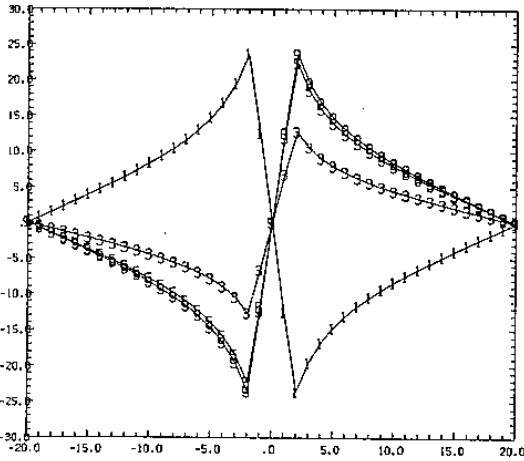
**ABSTRACT**

A number of experiments have been carried out for a particular typhoon forecasted by TFS to understand the major factors that may contribute to a poor forecast. For the case we studied, typhoon Marian, the major reason is insufficient domain coverage of the forecast upstream of the typhoon. This insufficient domain resulted a poor forecast of the synoptic patterns that caused a poor forecast of the track. When the synoptic patterns were poorly forecasted, other processes cannot improve the track forecast.

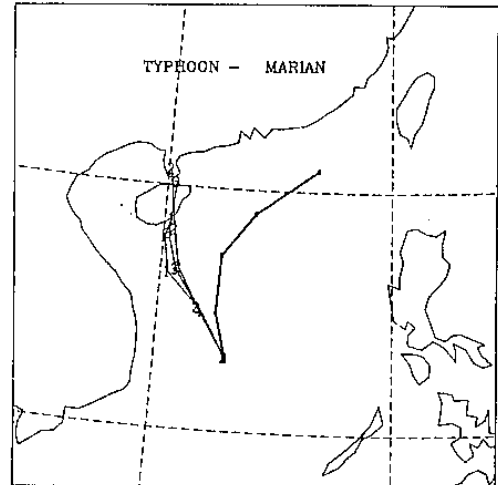
CWB TYPHOON TRACK FORECAST DATE (90/05/16/12Z-90/05/18/12Z)



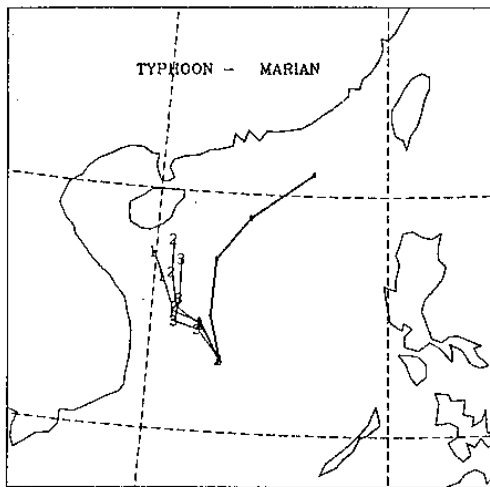
圖一：瑪麗安颱風的最佳路徑（粗線）及TFS所做的各次預報路徑（細線）。



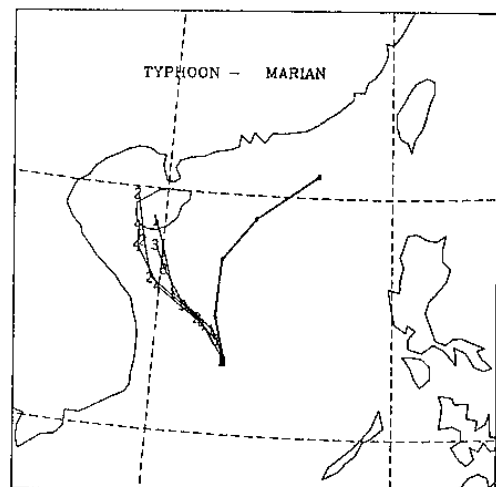
圖二：渦旋切向風的初始徑向分布（數字代表 $\sigma$ 坐標上的層別，1是最高層，9是最低層）。



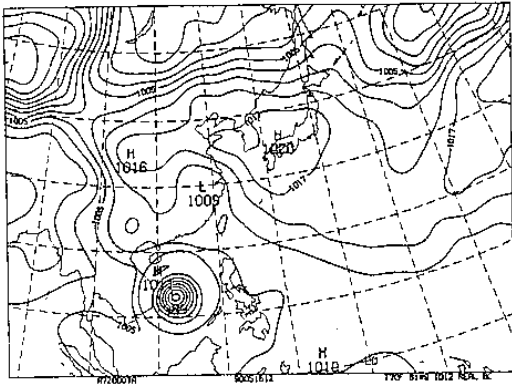
圖四：使用不同人為加熱強度所得的預報路徑：  
1.溫度梯度恢復20% 2.溫度梯度恢復50%  
3.溫度梯度恢復50%並隨時間呈指數遞減



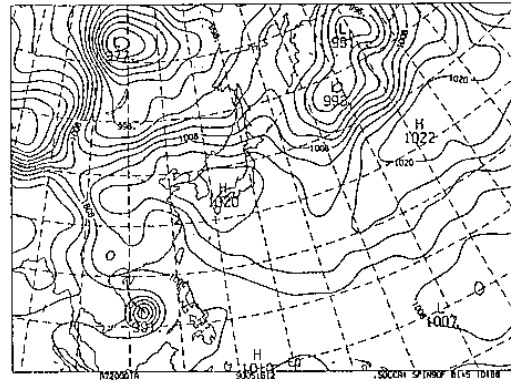
圖三：使用不同植入渦旋所得的預報路徑：  
1.用弱小渦旋  
2.用弱大渦旋  
3.用中大渦旋



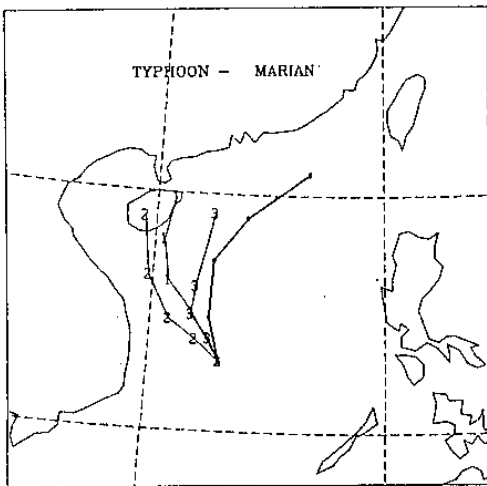
圖五：路徑1.作業版的預報路徑  
2.初始場合原型 $\beta$ 渦旋的預報路徑  
3.以颱風過去移速取代颱風影響範圍環流（加入持續性）的預報路徑  
4.同時加入原型 $\beta$ 渦旋及持續性的預報路徑



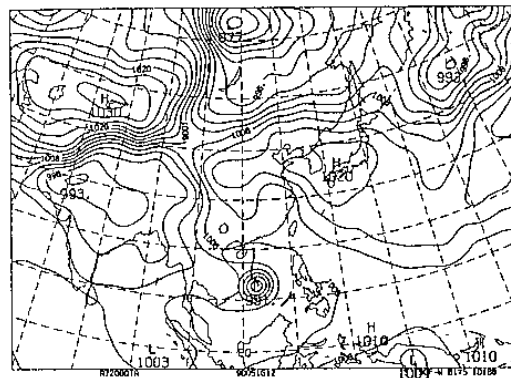
圖六：作業版TFS的範圍



圖八-1

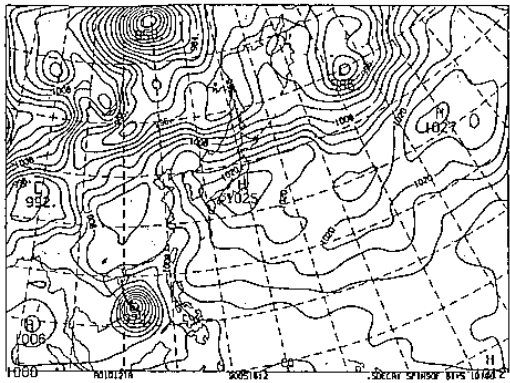


圖七：使用不同解析度及涵蓋範圍所得的預報路徑  
 1.作業版， $\Delta X = 70$ 公里  
 2.減小解析度， $\Delta X = 90$ 公里，增加東邊範圍  
 3. $\Delta X = 90$ 公里，增加西邊範圍

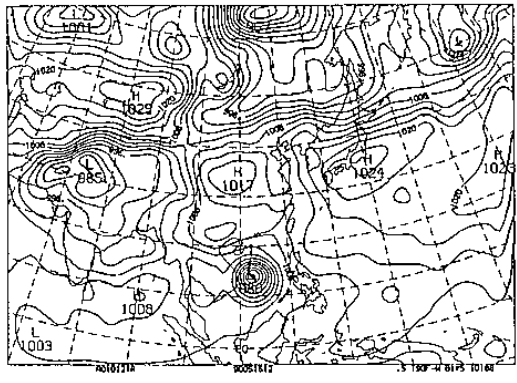


圖八-2

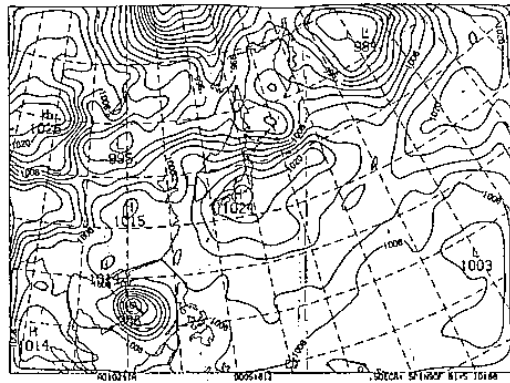
圖八： $\Delta X = 90$ 公里的TFS涵蓋範圍及客觀分析地面氣壓場  
 1.增加東邊部分  
 2.增加西邊部分



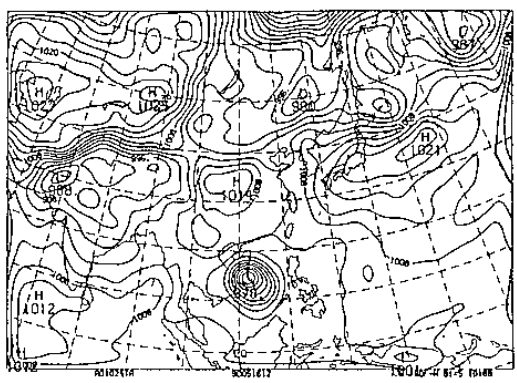
17 00



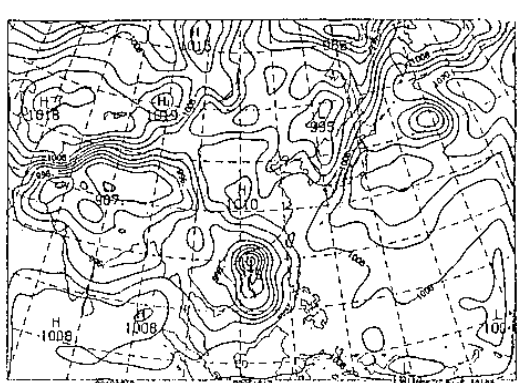
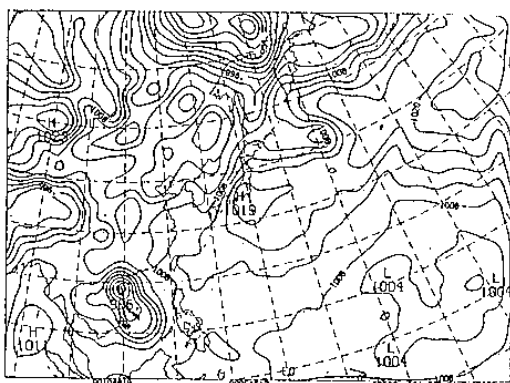
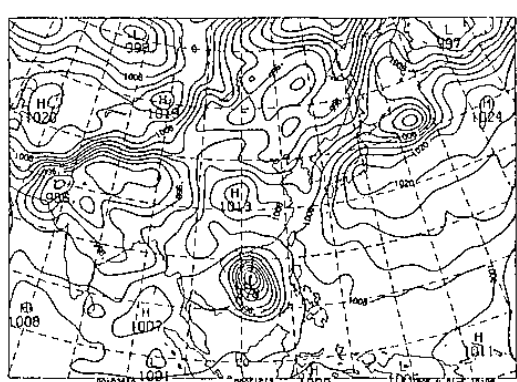
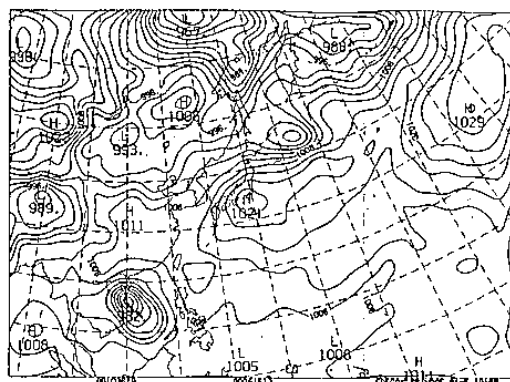
17 12



18 00



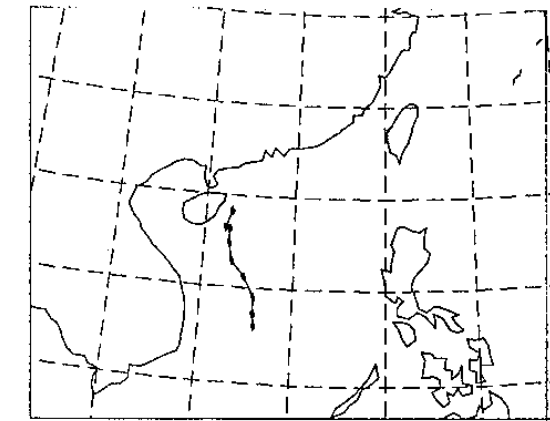
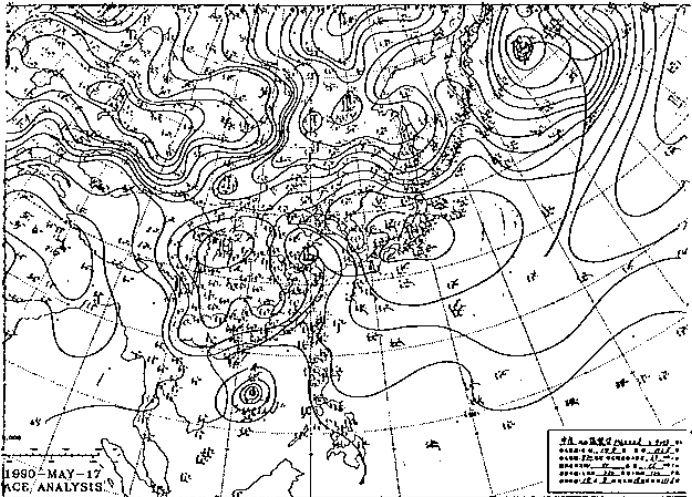
18 12



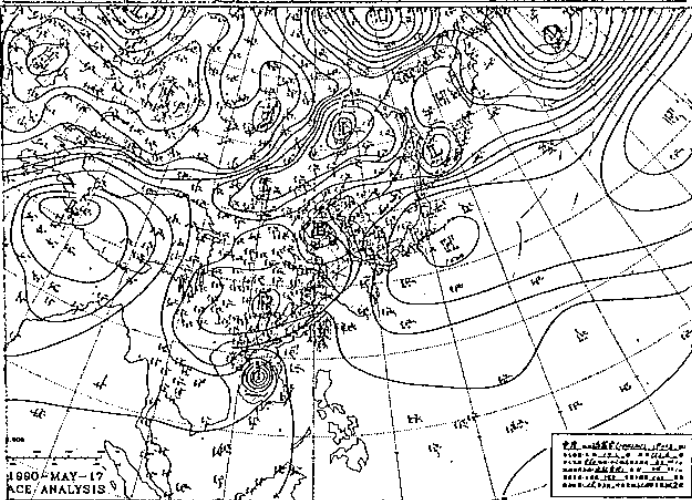
圖九：預報的綜觀天氣型態（地面氣壓場）  
1.  $\Delta X = 90$ 公里，增加東邊範圍

2.  $\Delta X = 90$ 公里，增加西邊範圍

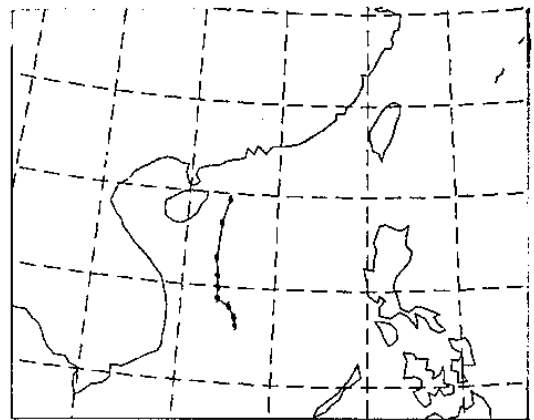




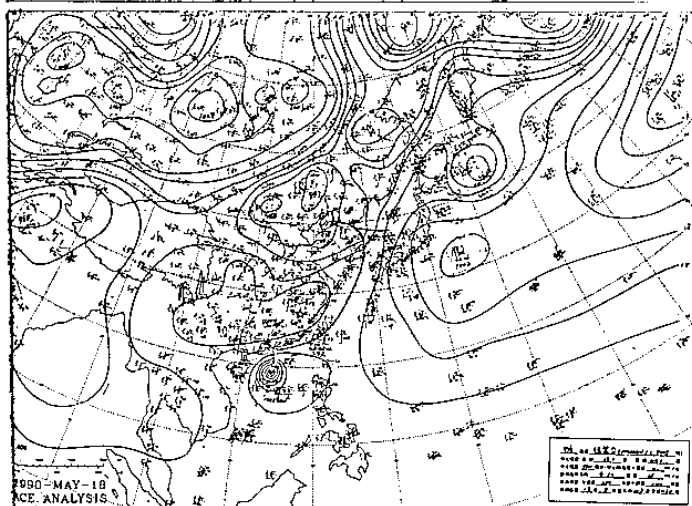
圖十一：作業版TFS使用真實邊界值所得預報路徑  
(可以比較用預測邊界值所得的：圖七路徑 1)



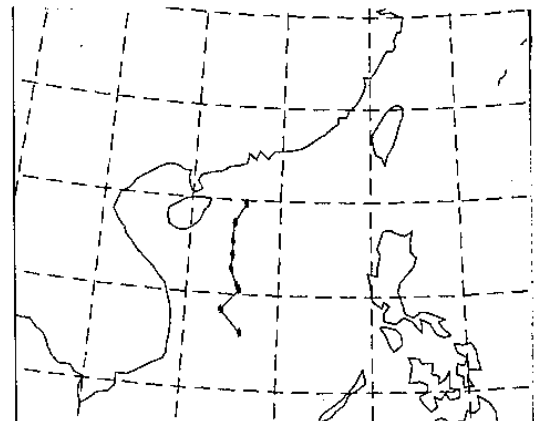
1712



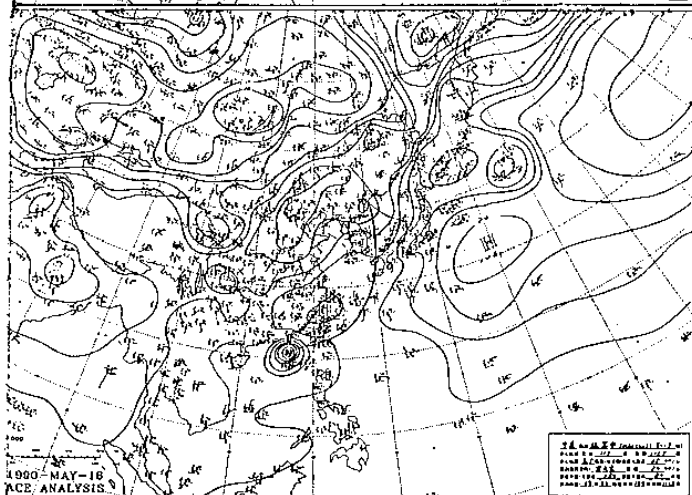
圖十二：使用真實邊界值， $\Delta X = 90$ 公里，增加西邊範圍所得預報路徑 (可以比較圖七路徑 3)



1800



圖十三：用區域預報系統的架構所得預報路徑



1812

← 圖十：綜觀天氣客觀分析場 (地面氣壓場)

