

## 中央氣象局非靜力區域數值預報模式(NFS) 對颱風路徑預測之研究與測試

陳得松、黃康寧、葉天降

中央氣象局

### 摘要

本研究針對中央氣象局數值模式設計三種實驗：1.不同積雲參數化處理、2.加入投落送(dropsonde)觀測資料、3.使用不同初始場、邊界條件，以分析模式在上述實驗條件下對颱風預測的影響。分析結果如下：(1)在改變雲物理處理對颱風強度及 NFS 模式對預測路徑之影響的實驗中，NFS 之颱風路徑預測平均誤差統計結果，基本上未呈現明顯差異。就預測內容而言，NFS-AS 對颱風之移動方向掌握較 NFS-KUO 稍好，但對颱風之移動速度則存有偏慢誤差。(2)在分析加入非傳統性觀測投落送資料對 NFS 模式颱風路徑預測之應用測試方面，NFS 模式之颱風路徑預測對客觀分析處理中加入或未加入投落送觀測資料並不敏感。而在 TFS-nest 模式加入投落送觀測資料亦未能改善模式之颱風路徑預測誤差。(3)在使用不同初始場、邊界條件對 NFS 颱風路徑預報影響測試方面，NFS 模式使用美國 NCEP 全球模式(AVN)內差而來之初始場、邊界條件，其颱風路徑預測誤差最小。

關鍵字：積雲參數化處理、投落送觀測資料、初始場、邊界條件

### 一、前言

目前由於氣象知識、觀測技術、及電腦運算速度等皆較以往有長足進步，氣象人員在做颱風路徑預報時，已頗倚重數值天氣預報颱風模式之預報結果。中央氣象局之原始方程颱風路徑預報模式(Nested Typhoon Track Forecast System, 簡稱 TFS-nest) 及新一代高解析非靜力區域模式(Non-hydrostatic Forecast System, 簡稱 NFS)在近年來之作業表現已日趨穩定(葉等, 2003)。

以數值模式預報颱風是一件極具挑戰性的工作。其中有兩個主要原因，首先是當颱風形成於廣闊的洋面上時，其環境結構及附近駛流場都缺乏適當觀測資料可提供參考。其次當模

式預報颱風時，從數十至數千公里之系統皆須涵蓋，這對模式而言，在處理上須更加小心。臺灣為一多山海島，位於亞洲大陸東南方約兩百公里處，平均每年約有三至四個颱風侵襲本島附近海域，所造成之生命、經濟損失極為巨大，尤以八十五年七、八月間賀伯颱風侵襲臺灣本島，造成數百億的財產損失與幾十人傷亡，為近數十年來最大的颱風災害。而後，八十六年的溫妮颱風、八十七年的瑞伯颱風、八十九年的象神颱風、九十年納莉與桃芝兩颱風及九十三年敏督利及艾利颱風也都在台灣造成嚴重災情，因此颱風之路徑風雨預報乃是我國中央氣象局最主要任務之一。

眾所皆知數值模式之進步並不一定能保證可提高每一個案之準確率(Elsberry et al.,

1992)。現今反而是透過質量較佳之觀測資料改進模式中對颱風環流初始狀態之描述較易改善颱風預報品質。然而在經濟資源限制下，並不可能因此而在熱帶海洋面上建立永久之觀測網。在西太平洋方面，美國在 1987 年終止了以飛機觀測颱風之任務，直接降低颱風附近觀測資料之品質及數量，也大大增加了我們欲了解颱風結構之困難度，國內則在國科會之支持下進行飛機觀測實驗。

另外，Wang and Li(1992)，Wang and Holland(1994)以及 Peng and Chang(1996)曾說明大氣斜壓性對颱風運動之效應。Shapiro(1992)，Wu and Emanuel(1993)，Flatau et al.(1994)與 Jones(1995)則曾研究在環境氣流中，垂直風切所造成的影響。Peng and Chang(1996)指出在數值模式中對颱風環流垂直結構之描述，若環境場屬斜壓大氣則對颱風運動之預報非常重要，反之，在正壓大氣中則不然。Velden and Leslie(1991)對澳洲地區颱風進行分析得到結論如下：較強且發展較高之颱風，其運動與較深層平均氣流場有關。因此在某些情形下，模式中虛擬颱風垂直結構之分布變得非常關鍵。配備觀測儀器之無人遙控飛機提供一種新的方法以解決廣闊海洋上缺乏觀測資料的問題。而在預報作業上，應用此種無人遙控飛機觀測技術、及其他如衛星觀測等可能有極大之發展潛力。不過現今各技術尚未成熟，因此各種關於初始資料處理方法之嘗試成為作業預報應用上極重要的一項工作。由於觀測資料不足所導致之颱風初始場不確定性，顯然很難避免，但卻可藉由系集預報方法來了解它們所可能造成之影響。系集預報技術基本上源自 Monte Carlo 模擬法，即對同一個案，在同一時間上以各種可能且不同之初始狀態分別進行預報(Leith, 1974)。由於所須耗費之電腦資源極為龐大，系集預報研究技術通常應用於長期預報。對颱風預報而言，由於相當正壓模式運算快速，故大部分颱風系集預報皆以它做

為研究工具(Aberson et al., 1995)。在中央氣象局有限電腦資源下，Peng(1995, 1996)對局內現存原始方程路徑預報系統(TFS)進行系集預報可行性之研究。Peng 發現對 TFS 進行初始定位、颱風大小、強度等系集預報實驗，可有效改善 TFS 在某些原本預報不好之颱風個案之預報能力。顧等(2003)則將系集處理之技術測試、與建置在中央氣象局颱風路徑預報之作業環境。我們亦在中央氣象局新發展之高解析非靜力模式設計流程，於此模式中加入颱風環流初始化過程，並已完成程式設計，於 2004 年將颱風預測部分正式上線作業。

本研究之主要目標在：1. 分析雲物理處理之改變對颱風強度及結構之影響，以及其對預測路徑之影響。2. 分析加入非傳統性觀測投落送(dropsonde)資料對 NFS 與 TFS 颱風路徑預測之應用測試。3. 了解使用不同初始場、邊界條件對 NFS 颱風路徑預報影響測試。希望透過本研究以了解新一代高解析非靜力區域模式(NFS)對颱風之預測能力及特性。

## 二、預報模式與研究方法

### (一) 預報模式

本研究使用中央氣象局新發展之高解析非靜力預報模式進行相關測試。此模式為四階定差，三層巢狀網格(45/15/5)公里，格點數分別為  $221 \times 127 / 181 \times 193 / 91 \times 121$ ，垂直 30 層之非靜力平衡模式，水汽的動力平流方面，除了一般的四階法，尚有 Hsu 與 Arakawa 正定法可供選擇，此法當網格解析度到達對流尺度時，更能凸顯正定水汽平流法的重要性，尤其是在垂直平流方面。當然較之四階定差法，正定法會花費更多的電腦計算時間。模式採用 split-explicit 法處理前三個速度較快的重力波，也使用四階頻散讓模式穩定積分。以 120 秒為積分時距，每天執行兩次(0000UTC 與 1200UTC)，每次預報 72 小時，所需之側邊界值來自中央氣象局全

球波譜模式之分析場及預報場，而 GFS 自 2002 年 3 月，垂直解析層數從 18 層增至 30 層。模式的物理部份，輻射參數化方面採 Harshvardhan 等法處理，邊界層參數化方面採 TKE E-ε 法處理，而降水模擬部份，對流性降水參數化方面有 Kuo 以及 Arakawa and Schubert 兩種方法。大尺度降水參數化方面有層狀降水參數法以及雲冰與雲水的降水參數法，現行 NFS 作業採用郭氏法與雲冰雲水法。而在颱風渦旋初始化流程上，我們亦對 NFS 中加入渦旋移置(relocation)技術及透過最佳化客觀分析法(Optimal Interpolation, OI)在颱風中心附近 6° 內共植入 41 點虛擬觀測資料，以取得較完整之颱風環流結構。經研究評估後，我們認為其有颱風路徑作業預測之能力，因此於 2004 年對 NFS 做必要之功能擴充，將其颱風預測部分正式上線作業。

## (二) 研究方法

### 1. 測試使用不同積雲參數化處理對 NFS 模式颱風路徑預報影響，並分析其預測誤差

目前氣象局 NFS 模式之雲物理處理有郭氏(Kuo)積雲參數化法及 Arakawa and Schubert 參數化法等兩種選項，上線作業所使用之積雲參數化法為郭氏積雲參數化法。郭氏積雲參數法計算水汽水平幅合的垂直通量，對於深對流之天氣系統模擬效果佳，而不利層狀降水的模擬，Arakawa and Schubert 積雲參數法以準平衡(quasi-equilibrium)為出發點理論完整，對大尺度之天氣系統模擬效果佳，然而較不利小尺度的模擬。本研究選取 2004 年 12 個颱風共 129 個案，其個案日期如表 1，將 NFS 模式所使用之積雲參數化法改為 Arakawa and Schubert 參數化法且執行 72 小時預報，並分析兩種積雲參數化法對 NFS 模式颱風預測能力之影響。此外我們也將 NFS 模式兩種不同積雲參數化法所得之颱風路徑做系集預報，並評估其預測表現。

表 1 NFS 模式使用不同積雲參數化法之測試實驗個案時間表

颱風名稱	起迄時間
康森 (Conson)	04/06/06/12-04/06/10/12
電母(Dianmu)	04/06/13/12-04/06/20/12
敏督利 (Mindulle)	04/06/24/00-04/07/01/12
南修(Namtheun)	04/07/25/12-04/07/31/12
蘭寧(Rananim)	04/08/08/12-04/08/12/00
梅姬 (Megi)	04/08/16/12-04/08/19/00
佳芭(Chaba)	04/08/21/00-04/08/30/00
艾利 (Aere)	04/08/21/00-04/08/25/00
桑達(Songda)	04/08/29/00-04/09/06/00
莎莉佳(Sarika)	04/09/05/00-04/09/06/00
海馬(Haima)	04/09/12/00-04/09/12/12
米雷 (Meari)	04/09/21/00-04/09/29/00

### 2. 測試分析應用投落送觀測資料對 NFS 與 TFS 風路徑預測之影響

從 2003 年 9 月至 2004 年 9 月，侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗 (Dropsonde Observation for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR)) 共對 8 個颱風進行 10 次觀測，其個案日期如表 2。在上述 10 次投落送實驗中，每次所得資料數不一，約在 14 至 18 個之間，高度則落於 200 至 1000hPa，垂直標準層數 9 層。本研究將以中央氣象局非靜力區域數值預報模式與高解析度巢狀網格颱風模式，在 OI 客觀分析處理中分別加入及未加入這些投落送觀測資料，並執行 72 小時颱風路徑預測。以分析應用投落送觀測資料對 NFS 及 TFS-nest 模式颱風路徑預測之影響。

表 2 2003 年至 2004 年之投落送觀測實驗個案時間表

颱風名稱	起迄時間
杜鵑(Dujuan)	03/09/01/06
米勒(Melor)	03/11/02/06
妮妲 (Nida)	04/05/17/12
康森 (Conson)	04/06/08/12
敏督利 (Mindulle)	04/06/27/12
敏督利 (Mindulle)	04/06/28/12
敏督利 (Mindulle)	04/06/29/12
梅姬 (Megi)	04/08/16/12
艾利 (Aere)	04/08/23/12
米雷 (Meari)	04/09/25/12

### 3.了解使用不同初始場、邊界條件對 NFS 颱風路徑預報影響測試

數值模式之預測表現除受模式動力架構、物理參數化處理、時空解析度及觀測資料等影響外，初始場、邊界條件亦扮演極重要之角色。由於中央氣象局非世界氣象組織會員，作業上使用之觀測資料數目常不如國外氣象作業中心，尤以非傳統性觀測資料為甚。當氣象局數值模式在作業上對某些颱風路徑出現失敗預測時，常令人好奇其原因是否可能由於觀測資料數目較少或資料同化技術不同而導致模式初始場難以正確描述真實大氣環境，進而造成模式未能成功預測颱風移向。有鑑於此，本研究主要將測試不同初始場、邊界條件對氣象局 NFS 模式颱風路徑預報之影響，共將進行三組實驗測試(如表 3)：1.作業環境中之取 NFS 模式前 6 小時之 6 小時預報場為初始猜測場，並進行客觀分析，72 小時邊界條件則來自氣象局全球模式(CWB GFS)內差，此組實驗簡稱 NFS-OP；2.NFS 模式使用來自氣象局全球模式內差而得之初始場、邊界條件，此組實驗簡稱 NFS-GFS；3. NFS 模式使用透過網路取得來自美國 NCEP 全球模式(AVN)內差而來之初始場、邊界條件，此組實驗簡稱 NFS-AVN。在 2004 年颱風季(6-9 月)中，NFS 模式顯示了對西北太平洋區颱風不錯之預測能力，24/48/72 小時路徑平均誤差為 122/216/325 公里。但仍有如 8 月份之蘭寧颱風，NFS 之 24/48/72 小時路徑誤差分別達到 227/620/1096 公里，NFS 對此颱風幾乎毫無預測能力。若除去蘭寧颱風，則 NFS 之 24/48/72 小時路徑平均誤差將可降為 115/191/286 公里，此種颱風為本研究首要進行測試之個案。此外我們亦選取一些原本 NFS 就可成功預測路徑之颱風進行使用不同初始場、邊界條件對颱風路徑預報影響實驗，表 4 為本測試所選之颱風個案日期表，共有 2004 年 8 個颱風 42 個案。此外我們也將以上實驗 NFS 模式所得之颱風路徑做系集預報，並評估其預

測表現。

表 3 本研究測試不同初始場、邊界條件對氣象局 NFS 模式颱風路徑預報影響之三組實驗設計。

	初始場	邊界條件
NFS-OP	NFS 前 6 小時之 6 小時預報場 (update cycle)	72 小時邊界條件來自氣象局全球模式 (CWB 的 GFS)內差
NFS-GFS	來自氣象局全球模式 (CWB 的 GFS)內差	72 小時邊界條件來自氣象局全球模式 (CWB 的 GFS)內差
NFS-AVN	來自美國 NCEP 全球模式 (AVN)內差	72 小時邊界條件來自美國 NCEP 全球模式 (AVN)內差

表 4 NFS 模式使用不同初始場、邊界條件測試實驗之個案時間表

颱風名稱	起迄時間
康森 (Conson)	04/06/07/00-04/06/08/12
敏督利 (Mindulle)	04/06/27/12-04/06/29/12
康伯斯 (Kompasu)	04/07/14/00
蘭寧 (Rananim)	04/08/08/12-04/08/11/00
佳芭 (Chaba)	04/08/21/00-04/08/24/00
艾利 (Aere)	04/08/21/00-04/08/24/00
桑達 (Songda)	04/09/01/00-04/09/03/12
米雷 (Meari)	04/09/24/00-04/09/26/12

## 三、結果分析與討論

### (一) NFS 模式使用不同積雲參數化法對颱風路徑預報影響之測試

目前氣象局 NFS 模式之積雲參數化處理有郭氏積雲參數化法及 Arakawa and Schubert 參數化法等兩種選項，上線作業所使用之積雲參數化法為郭氏積雲參數化法。郭氏積雲參數法計算水汽水平幅合的垂直通量，對於深對流之天氣系統模擬效果佳，而不利層狀降水的模

擬, Arakawa and Schubert 積雲參數法以準平衡(quasi-equilibrium)為出發點理論完整, 對大尺度之天氣系統模擬效果佳, 然而較不利小尺度的模擬。本研究選取 2004 年 12 個颱風共 129 個案, 將 NFS 模式所使用之積雲參數化法改為 Arakawa and Schubert 參數化法且執行 72 小時預報, 並分析兩種積雲參數化法對 NFS 模式颱風預測能力之影響。

圖 1 為在模式中使用郭氏積雲參數化法(NFS-KUO)及 Arakawa and Schubert 積雲參數化法(NFS-AS)之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。由圖可見, 對康森(Conson)颱風個案, NFS-Kuo 之颱風路徑預測方向不錯但移速過快, 導致其颱風路徑預測誤差較 NFS-AS 大, 尤以 72 小時誤差之差別最大, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時颱風路徑預測誤差分別為 200/370/430、192/309/264 公里。對電母(Dianmu)颱風個案, 基本上 NFS-KUO 及 NFS-AS 之預測路徑相似, 24、72 小時誤差之差別不大, 48 小時之路徑誤差則以 NFS-KUO 較佳, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 93/144/291、84/171/306 公里。對敏督利(Mindulle)颱風個案, NFS-AS、NFS-KUO 皆可成功預測颱風之北轉, 但 NFS-KUO 在初期之預測路徑偏慢偏南, 故校驗誤差較 NFS-AS 大, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 110/196/250、95/164/177 公里。對南修(Namtheun)颱風個案, NFS-AS 之颱風預測移速稍慢, NFS-KUO 則在颱風北轉時較慢反應, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 97/167/199、77/167/272 公里。

對蘭寧(Rananim)颱風個案, NFS-KUO 及 NFS-AS 之預測皆無技術可言, 兩者都有明顯偏北誤差, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別達到 226/617/1091、204/569/1097 公里。對梅姬(Megi)颱風個案, 基本上 NFS-KUO 及 NFS-AS 之預測路徑相似, 兩者之預測路徑都頗貼近颱風實際移動路徑, 但皆有

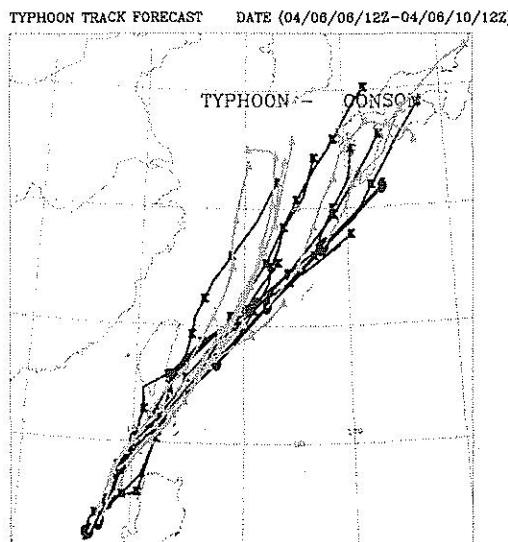
偏慢現象, NFS-KUO、NFS-AS 之 12/24/36 小時誤差分別為 64/134/345、105/225/219 公里。對艾利(Aere)颱風個案, NFS-AS 之預測路徑移速偏慢且在颱風形成初期有較偏北誤差, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 108/164/362、109/223/471 公里。對佳芭(Chaba)颱風個案, NFS-KUO 及 NFS-AS 之預測路徑相似, 初期之 72 小時預測皆過早北轉, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 152/166/284、122/171/256 公里。

對桑達(Songda)颱風個案, NFS-KUO 及 NFS-AS 皆可掌握颱風之移動方向, 但 NFS-AS 之預測移速較偏慢, 故路徑誤差較大, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 110/152/198、125/273/395 公里。對莎莉佳(Sarika)颱風個案, NFS-KUO 之預測路徑偏左, NFS-AS 之預測移速偏慢, 兩者都未能掌握颱風北轉趨勢, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48 小時誤差分別為 135/467、195/408 公里。對海馬(Haima)颱風個案, 由於生命史甚短, 僅能校驗 24 小時路徑誤差, NFS-KUO、NFS-AS 之 24 小時誤差分別為 67、43 公里。本研究測試之最後個案為米雷(Meari)颱風, NFS-AS 比 NFS-KUO 較早預測到颱風由西北向轉至東北向移動之趨勢, 故誤差較小, NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時誤差分別為 76/183/347、120/136/198 公里。

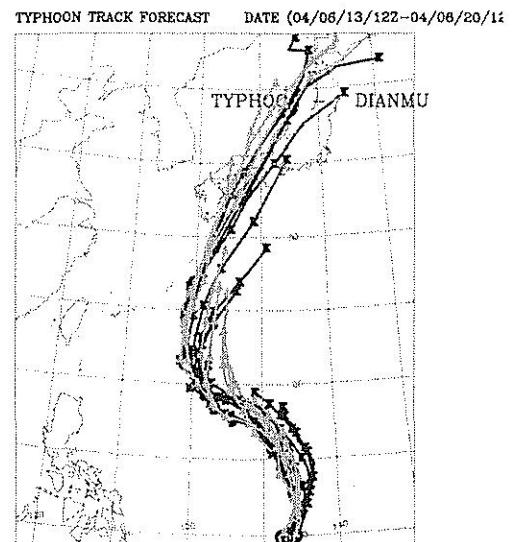
在此實驗中, 我們也將 NFS 模式採兩種不同積雲參數化法所得之颱風路徑做系集預報(NFS-ensemble), 圖 2 為 CWB(氣象局官方預報)、NFS-Kuo、NFS-AS 及 NFS-ensemble 對此 12 個颱風 129 個案之 24、48 及 72 小時颱風路徑預測平均誤差統計, CWB、NFS-KUO、NFS-AS 及 NFS-ensemble 之 24/48/72 小時平均颱風路徑預測誤差分別為 111/208/288、122/210/315、120/218/317 及 112/195/274 公里。NFS-KUO、NFS-AS 之平均誤差基本上未呈現明顯差異, 皆稍遜於氣象局官方預報(CWB),

但系集預報則呈現不錯之颱風路徑預測能力，  
24/48/72 小時平均預測誤差在四者中皆最少。  
就預測內容而言，NFS-AS 對颱風之移動方向

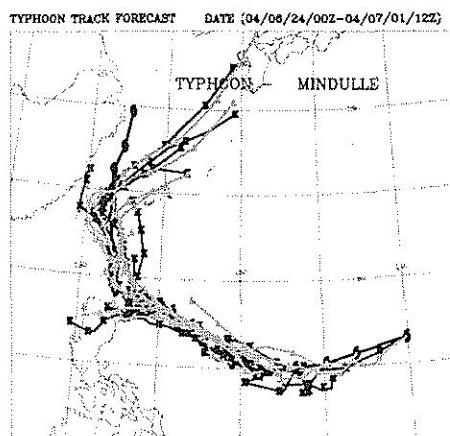
掌握較 NFS-KUO 稍好，但對颱風之移動速度  
則存有偏慢誤差。



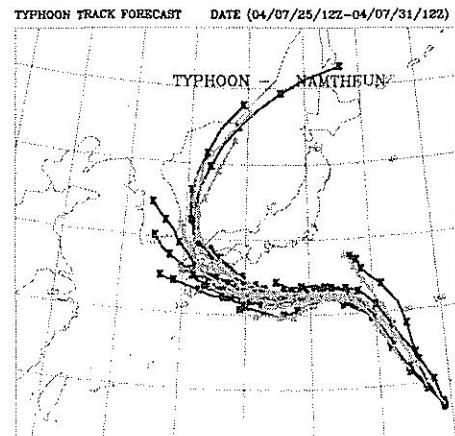
(a)



(b)

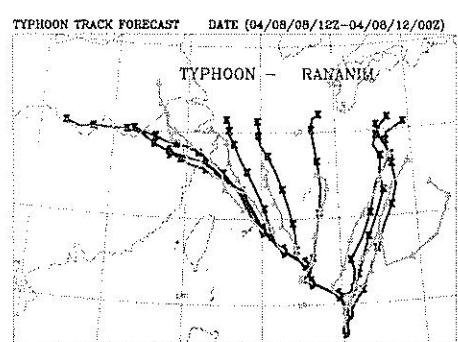


(c)

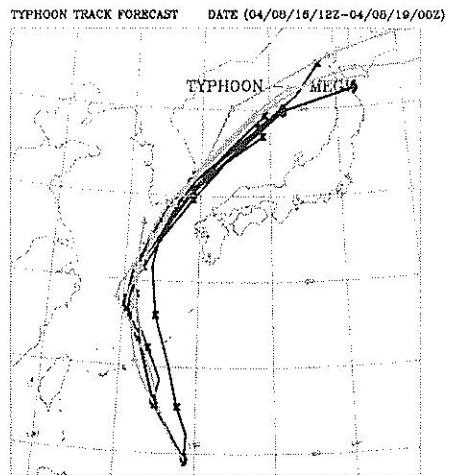


(d)

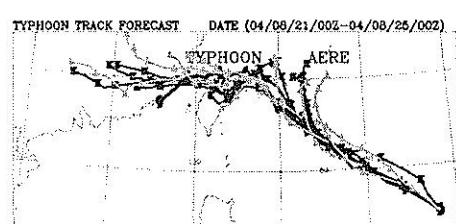
圖 1 在 NFS 模式使用 KUO 及 Arakawa and Schubert 積雲參數化法之 72 小時預報路徑圖。粗黑線為實際颱風移動路徑，'K' 表 KUO，'A' 表 Arakawa and Schubert，時間間隔為 12 小時。(a)康森(Conson)颱風，(b)電母(Dianmu)颱風，(c)敏督利(Mindulle)颱風，(d)南修(Namtheun)颱風。



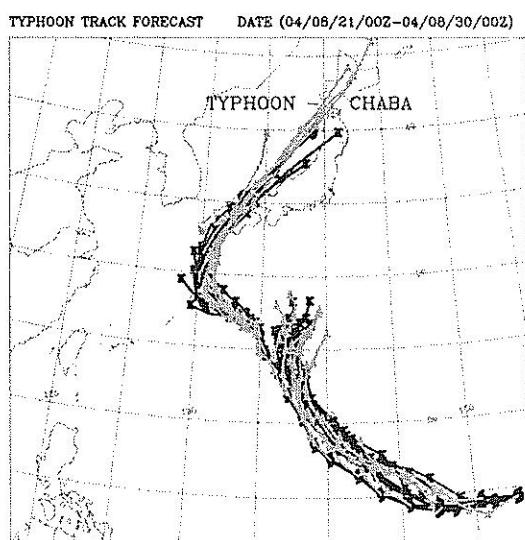
(e)



(f)

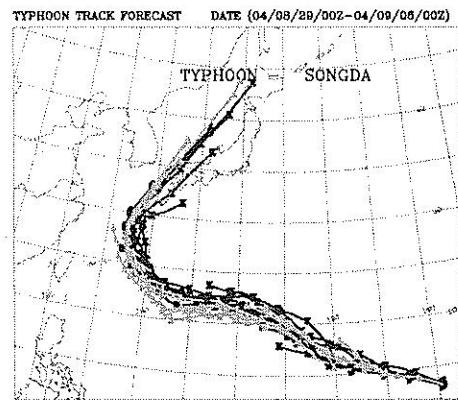


(g)

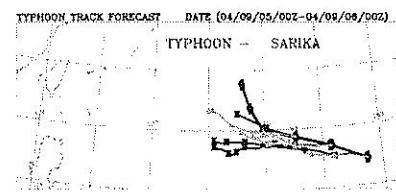


(h)

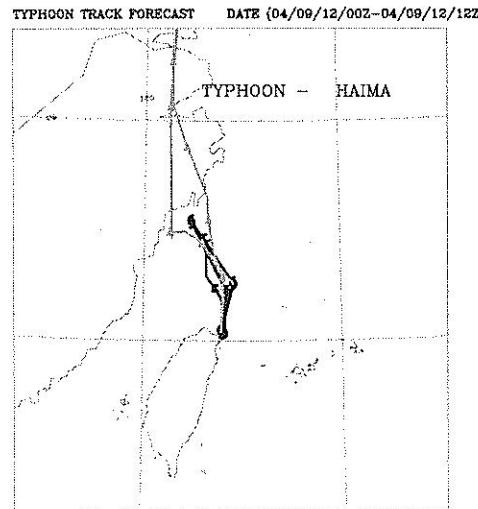
圖 I(續) (e)蘭寧(Ranim)颱風，(f)梅姬(Megi)颱風，(g)艾利(Aere)颱風，(h)佳芭(Chaba)颱風。



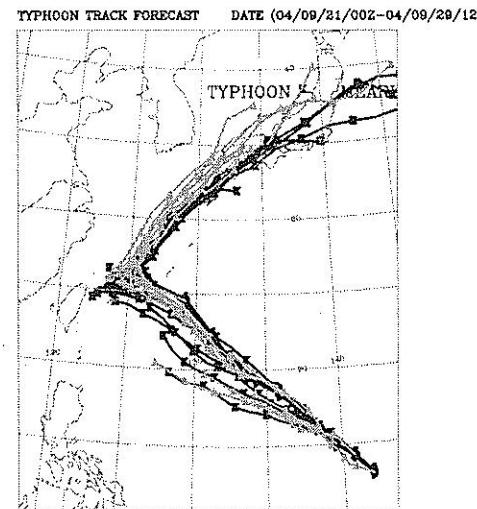
(i)



(j)



(k)



(l)

圖 1(續) (i)桑達(Songda)颱風，(j)莎莉佳(Sarika)颱風，(k)海馬(Haima)颱風，(l)米雷(Meari)颱風。

Homogeneous comparison of CWB, NFS-Kuo, NFS-AS, NFS-ensemble Forecast Errors in 2004

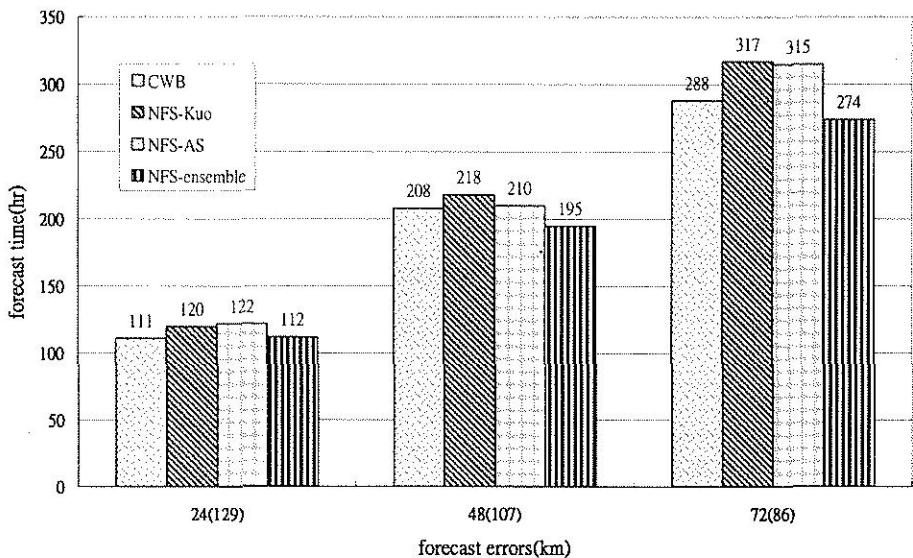


圖 2 2004 年 CWB、NFS-Kuo、NFS-AS、NFS-ensemble 的颱風相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差之比較，橫軸括弧內之值為颱風個案數。

## (二) NFS 與 TFS 加入投落送觀測資料對颱風路徑預測之應用測試

本研究以中央氣象局非靜力區域數值預報模式與高解析度巢狀網格颱風模式，在 O.I.客觀分析處理中分別加入及未加入這些投落送觀測資料，並執行 72 小時颱風路徑預測，以分析應用投落送觀測資料對模式颱風路徑預測之影響。

圖 3 為在 NFS 模式客觀分析中加入(以 NFS(alldrop)表示)及未加入(以 NFS(nodrop)表示)投落送觀測資料之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。由圖可見，在 NFS 客觀分析中加入投落送觀測資料後，改進了模式對米勒(2003 年 11 月 2 日 0600UTC)、敏督利(2004 年 6 月 27 日 1200UTC、6 月 28 日 1200UTC)及艾利(2004 年 8 月 23 日 1200UTC)颱風之路徑預測誤差；而對杜鵑(2003 年 9 月 1 日 0600UTC)及妮妲(2004 年 5 月 17 日 1200UTC)颱風兩個

案，加入及未加入投落送觀測資料對 NFS 之路徑預測影響不大；至於對康森(2004 年 6 月 8 日 1200UTC)、敏督利(2004 年 6 月 29 日 1200UTC)、梅姬(2004 年 8 月 16 日 1200UTC)及米雷(2004 年 9 月 25 日 1200UTC)颱風等 4 個案，在 NFS 客觀分析中加入投落送觀測資料後，模式之颱風預測路徑較偏左偏慢，因而稍加大了路徑預測誤差。

表 5 為對此 10 個案之颱風路徑預測平均誤差統計，對 24 小時平均颱風路徑預測誤差而言，NFS(alldrop)、NFS(nodrop)分別為 105、106 公里，基本上未呈現明顯差異。對 48 小時平均颱風路徑預測誤差而言，NFS(alldrop)、NFS(nodrop)分別為 207、186 公里，在 NFS 模式加入投落送觀測資料後並未產生正面效益。審視各個案路徑預測情形，發現此模式對康森(Conson)颱風因未能掌握其實際快速往東北移動趨勢而導致路徑預測誤差偏大，尤以

NFS(alldrop)達到 566 公里，NFS(nodrop)為 437 公里。若不計此個案，則 NFS(alldrop)、NFS(nodrop) 48 小時平均颱風路徑預測誤差分別為 156、150 公里，其結果與 24 小時颱風路徑預測誤差顯現相似現象，加入或未加入投落送觀測資料未呈現明顯差異。對 72 小時平均颱風路徑預測誤差而言，NFS(alldrop)、NFS(nodrop)分別為 110、87 公里，在 NFS 模

式加入投落送觀測資料後，仍未對較長期颱風路徑預測顯現正面效益，但因可校驗個案數僅有 5 個，在統計上較無代表性。此外對 3 天平均颱風路徑預測誤差而言，100 公里左右之誤差皆代表模式可成功預測颱風路徑，故基本上在 NFS 中加入及未加入投落送觀測資料，對 3 天颱風路徑預測並未呈現明顯差異。

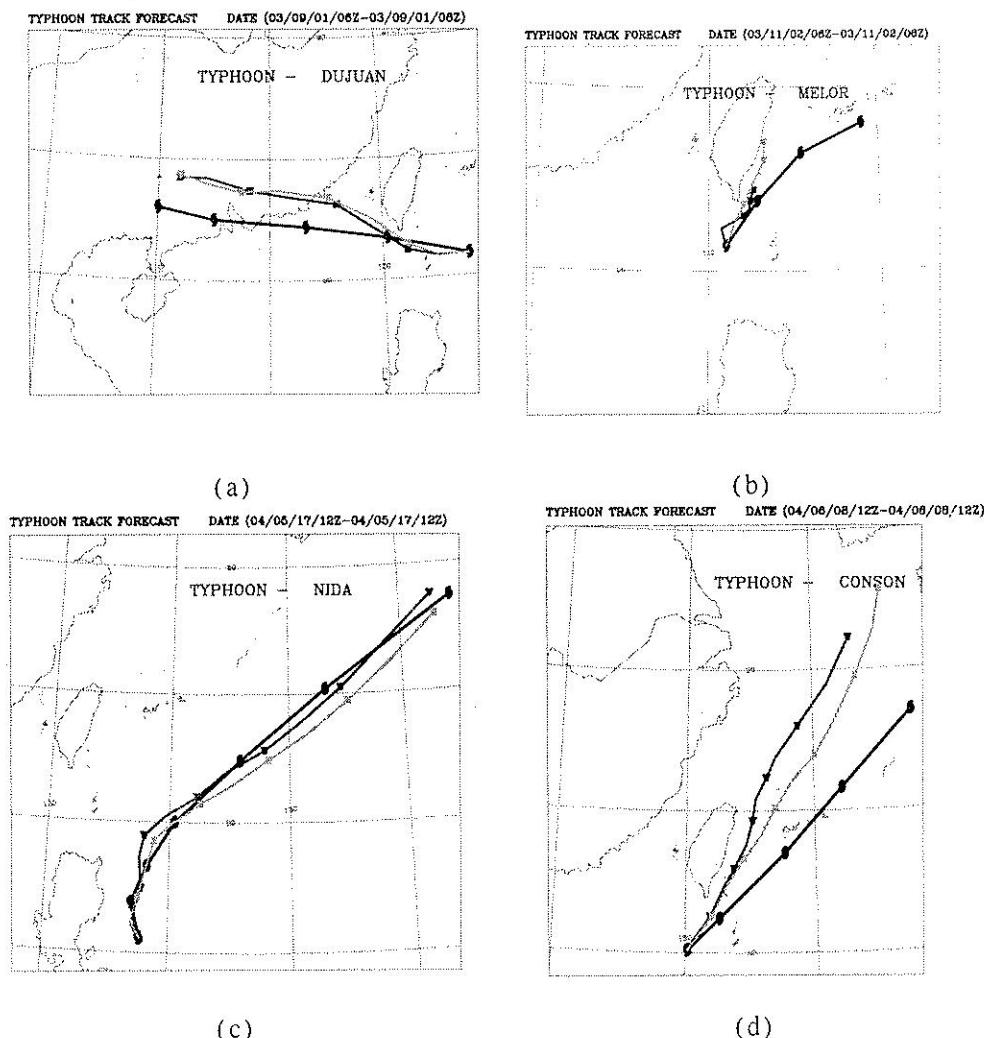
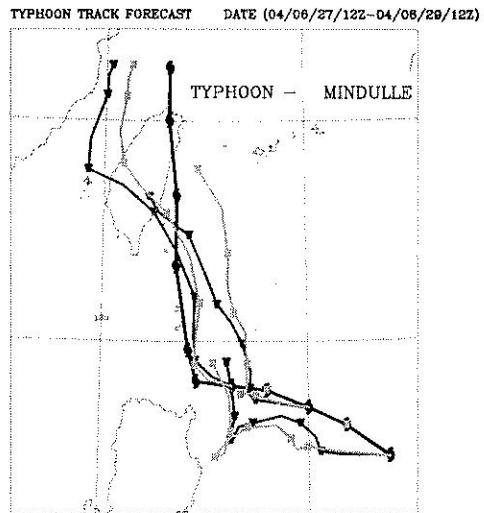
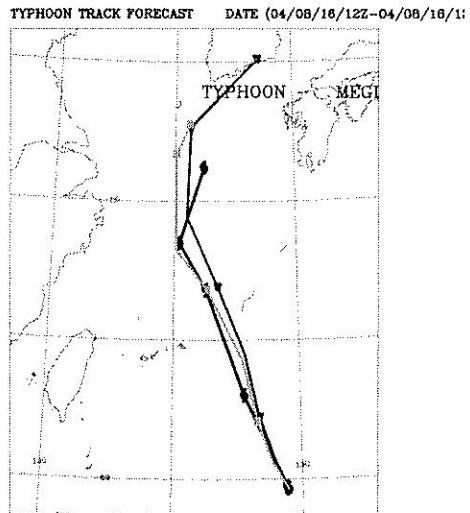


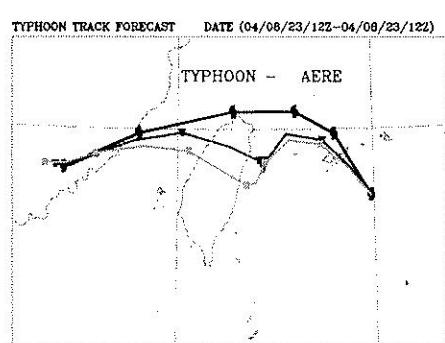
圖 3 在 NFS 模式客觀分析中加入及未加入投落送觀測資料之 72 小時預報路徑圖。粗黑線為實際颱風移動路徑，'W' 表加入，'N' 表未加入，時間間隔為 12 小時。(a)杜鵑(DuJuan)颱風，(b)米勒(Melor)颱風，(c)妮妲(Nida)颱風，(d)康森(Conson)颱風。



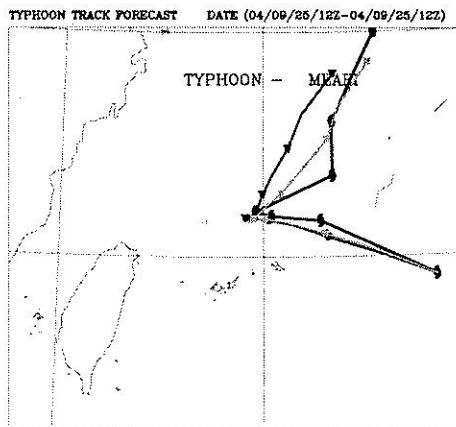
(e)



(f)



(g)



(h)

圖 3 (續)，(e)敏督利(Mindulle)颱風，(f)梅姬(Megi)颱風，(g)艾利(Aere)颱風，(h)米雷(Meari)颱風。

表 5 NFS 模式加入及未加入投落送觀測資料  
對 8 個颱風 10 個案之颱風路徑預測平均誤  
差統計 (單位為公里)

	24hr	48hr	72hr
Without dropsonde NFS(nodrop)	106	186	87
With dropsonde NFS(alldrop)	105	207	110
Case number	10	8	5

綜上所述，NFS 模式之颱風路徑預測對客觀分析處理中加入或未加入投落送觀測資料並不敏感。如此結果可能仍因此模式本身已對颱風進行渦旋移置及植入虛擬觀測資料(synthetic observations)等初始化過程，故在 NFS 模式初始場中，颱風附近已存有完整且與模式動力、物理皆達平衡狀態之渦旋結構。在此情形下加入投落送觀測資料對 NFS 模式之颱風預測因而未產生明顯效應。

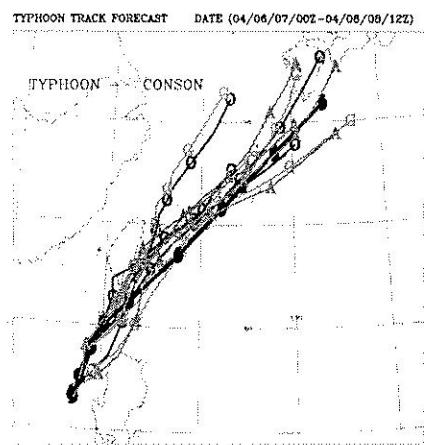
至於在 TFS-nest 方面，同樣也對 2004 年 8 個投落送觀測資料個案做應用測試。TFS 模式在客觀分析處理中加入及未加入投落送觀測資料之 24/48/72 小時颱風路徑預測平均誤差分別為 126/311/483 及 111/254/459 公里。就個別個案而言，在 TFS 模式客觀分析處理中加入投落送觀測資料，僅對梅姬及妮妲颱風之預測路徑有改善。但對米雷、敏督利、艾利及康森颱風而言，則反使預測路徑誤差變大(圖未示)。此預測結果可能是因 TFS-nest 同樣已有虛擬颱風渦旋初始化過程，以致於加入投落送觀測資料，對大部分個案之颱風預測路徑並未改變太多。而在 TFS-nest 中加入投落送觀測資料使一些個案之颱風預測路徑誤差增大，尚需更進一步探討。

### (三) NFS 模式使用不同初始場、邊界條件對颱風路徑預報影響測試

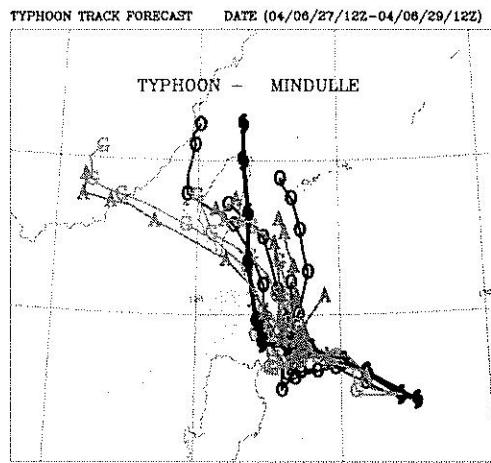
在 2004 年颱風季(6-9 月)中，NFS 模式顯示了對西北太平洋區颱風不錯之預測能力，24/48/72 小時路徑平均誤差為 122/216/325 公里。但仍有如 8 月份之蘭寧颱風，NFS 之 24/48/72 小時路徑誤差分別達到 227/620/1096

公里，NFS 對此颱風幾乎毫無預測能力。若除去蘭寧颱風，則 NFS 之 24/48/72 小時路徑平均誤差將可降為 115/191/286 公里，此種颱風為本研究首要進行測試之個案。此外我們亦選取一些原本 NFS 就可成功預測路徑之颱風進行使用不同初始場、邊界條件對颱風路徑預報影響實驗，本測試共選取 2004 年 8 個颱風 42 個案。

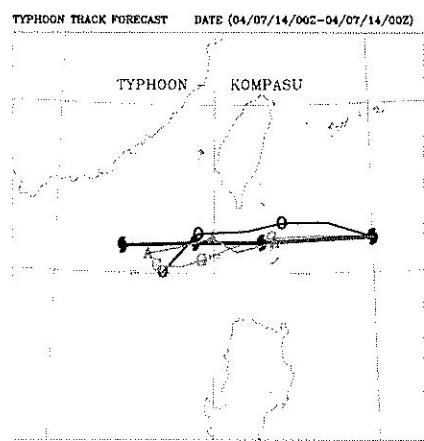
圖 4 為 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 對本研究所選 8 個颱風之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。由圖可見，康森颱風移動速度變化甚大，形成初期緩慢(4km/hr)向東北移行，之後則速度加快至 30km/hr 以上。本研究三組實驗測試之颱風預測路徑基本上差異不大，都可掌握颱風將從巴士海峽往東北移動之趨勢，而非如許多國外作業模式(英國全球模式、美國海軍全球模式、日本全球及區域模式)所預測颱風將經臺灣海峽往北移(圖未示)，但皆有颱風初期預測速度偏快，後期則預測速度過慢之現象。NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 192/376/341、216/424/388、187/340/379 公里。敏督利颱風之移動方向轉折角度甚大，從原本向西移行至菲律賓東北海域時，以近乎直角轉為向北運動，當時大部分國外作業模式皆預測颱風將持續西行穿過巴士海峽後才轉向(圖未示)。NFS-OP 在即時作業可預測敏督利颱風將在菲律賓東北海域往北轉，但稍過早反應，NFS-GFS 及 NFS-AVN 除了在 2004 年 6 月 29 日 1200UT 預測颱風將持續西行穿過巴士海峽後才轉向外，其餘實驗個案也顯示了與 NFS-OP 相同之颱風路徑預測趨勢。NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 90/178/122、87/203/229、122/211/270 公里。康伯斯颱風之生命史頗短，本研究只測試了 2004 年 7 月 14 日 0000UTC 個案，三組實驗測試 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 12/24/36 小時颱風路徑平均預測誤差為 93/30/158、36/61/131、42/58/88 公里。



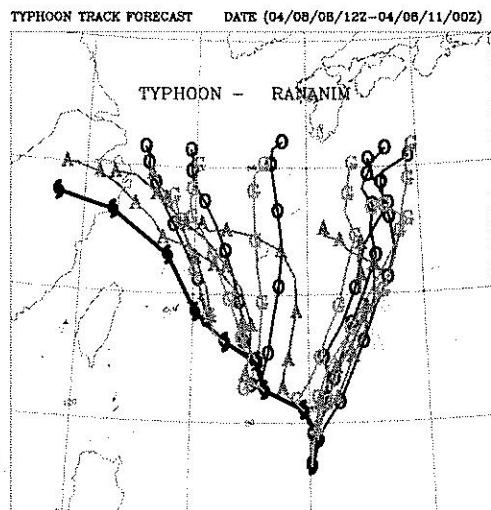
(a)



(b)

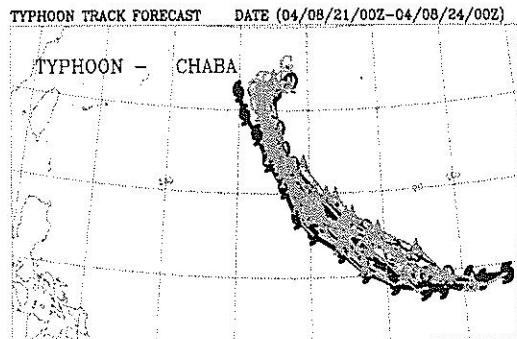


(c)

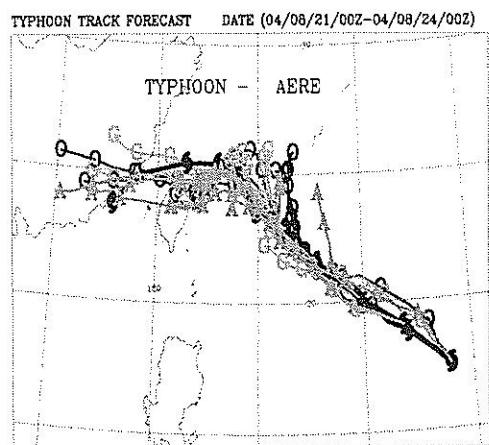


(d)

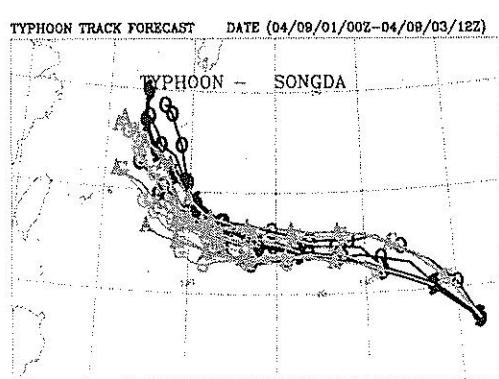
圖 4 為 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 對所選取 8 個颱風之 72 小時預報路徑圖。粗黑線為實際颱風移動路徑，'O' 表 NFS-OP，'G' 表 NFS-GFS，'A' 表 NFS-AVN，時間間隔為 12 小時。(a)康森(Conson)颱風，(b)敏督利(Mindulle)颱風，(c)康伯斯(KompaSu)颱風，(d)蘭寧(Rananim)颱風。



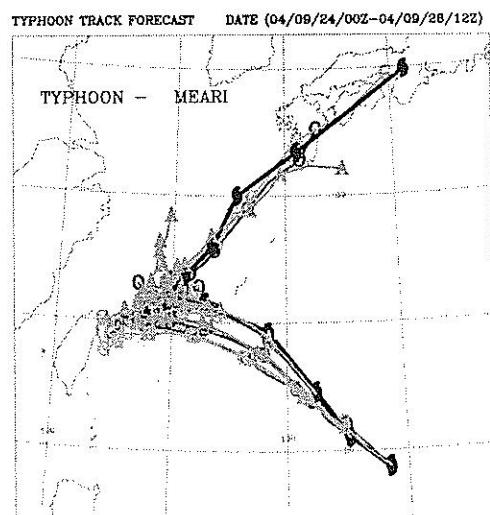
(e)



(f)



(g)



(h)

圖 4 (續)，(e)佳芭(Chaba)颱風，(f)艾利(Aere)颱風，(g)桑達(Songda)颱風，(h)米雷(Meari)颱風。

在蘭寧颱風生命史中，除形成初期緩慢往北北東移動外，大致行徑方向為西北向。在颱風形成初期除英國全球模式外大部分作業模式皆預測颱風將往北北東移動，到 2004 年 8 月 9 日 1200UTC 颱風轉往西北向運動後，大部分數值模式才預測颱風將往西北向(圖未示)。但氣象局之 GFS 及 NFS 一直到 2004 年 8 月 10 日 1200UT 後才預測颱風將往西北向，NFS-OP 之 72 小時路徑誤差達到 1096 公里，NFS 對此颱風幾乎毫無預測能力。NFS-GFS 與 NFS-OP 之颱風預測路徑，皆存有嚴重偏北誤差。NFS-AVN 則展現了與 AVN 幾乎相同之颱風預測路徑趨勢，在 2004 年 8 月 9 日 1200UTC 後即修正之前的偏北預測。此颱風個案證實了我們之前的假設，NFS 模式對某些個案未能成功預測颱風移向，可能因氣象局在觀測資料數目較少及不同資料同化技術而導致模式初始場未能正確描述真實大氣環境。在 NFS 使用美國 AVN 初始場及邊界條件後，即可顯示較佳預測品質，路徑預測誤差也因而大幅減少。NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 對蘭寧颱風之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 256/617/1091、205/639/1009、185/402/535 公里。

對佳芭颱風，三組實驗測試之颱風預測路徑差異不大，皆有稍偏右誤差，NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 185/229/324、209/263/311、168/278/320 公里。對艾利颱風，NFS-AVN 與 AVN 相似，較 NFS-OP、NFS-GFS 更早預測到颱風將由西北向移動轉為向西而非北轉，其颱風路徑預測誤差因而最小，NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 86/169/371、84/155/343、70/162/257 公里。對桑達颱風，三組實驗測試之颱風預測路徑誤差皆不大，但以 NFS-OP 之颱風預測路徑最貼近實際路徑。NFS-AVN 之颱風預測路徑較慢反應此颱風之西北轉向，但與 AVN 之颱風預測路徑之偏慢轉向(圖未示)比較則有修正。

NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 86/90/86、102/126/188、96/108/211 公里。

本實驗最後測試米雷颱風，在颱風除形成初期，三組實驗測試之颱風預測路徑差異不大，但之後當颱風大角度轉向東北向且加速時，NFS-OP 及 NFS-CWB 之預測移速過慢，NFS-AVN 則展現與美國全球模式類似之颱風預測路徑趨勢(圖未示)。NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 75/176/445、92/186/354、69/115/378 公里。

此外我們也將以上測試中 NFS 模式所得之颱風預測路徑做系集預報，對本實驗所選取 2004 年 8 個颱風 42 個案，圖 5 顯示 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 及 ensemble 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 136/256/370、138/275/375、123/227/325 及 126/239/340 公里。NFS 模式使用透過網路取得來自美國全球模式內差而來之初始場、邊界條件，其颱風路徑預測誤差最小，證實了我們之前的假設，NFS 模式可能因氣象局觀測資料數目較少，而導致模式初始場在某些個案難以正確描述真實大氣環境，因而影響模式之颱風路徑預測能力。在 NFS 使用觀測資料數目較多之美國 AVN 模式初始場及邊界條件後，即可顯示較佳預測品質，路徑預測誤差也因而改進。至於系集預報在此並未呈現最佳預測能力，究其原因可能仍因如上所述，NFS-OP、NFS-GFS 對蘭寧颱風之路徑幾乎毫無預測能力，由於此組成員之表現偏離平均值太多，因而降低了系集預報之技術。若不計蘭寧颱風個案，則如圖 6 所示 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 及 ensemble 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 114/194/279、127/215/295、113/195/298 及 112/186/274 公里。在此情形下，系集預報展現了不錯之颱風路徑預測能力，此一結果將可提供預報上良好指引。

homogeneous comparison of NFS-OP, NFS-GFS, NFS-AVN and ensemble

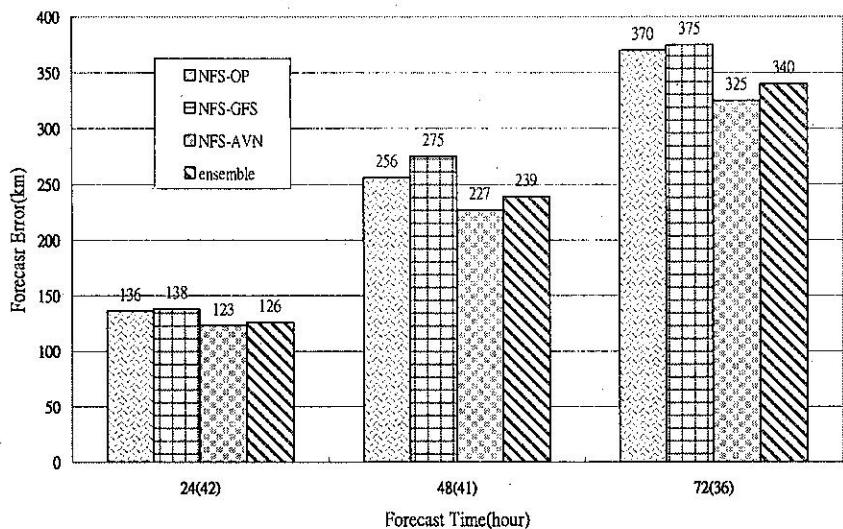


圖 5 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 及 ensemble 對 2004 年 8 颱風 42 相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差之比較，橫軸括弧內之值為颱風個案數。

Homogeneous comparison of NFS-OP, NFS-GFS, NFS-AVN, ensemble without Rantanm

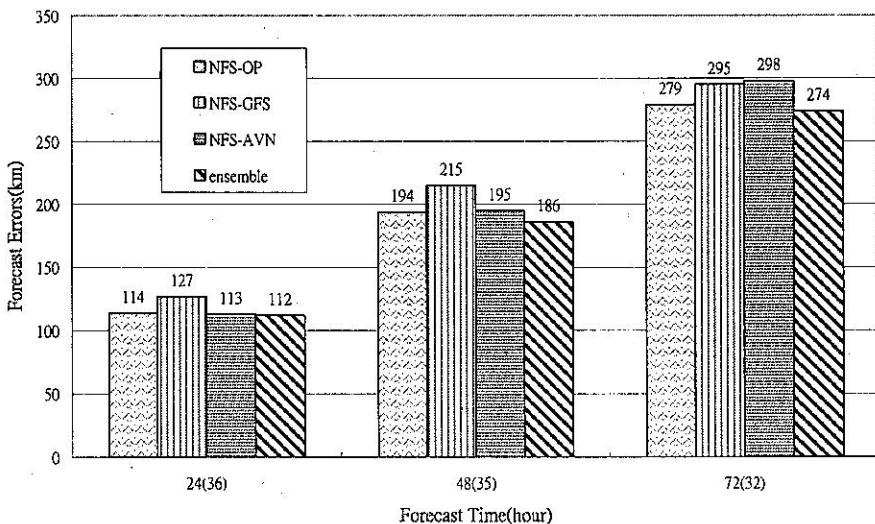


圖 6 NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 及 ensemble 對 2004 年 7 颱風(未含蘭寧)36 相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差之比較，橫軸括弧內之值為颱風個案數。

此外，我們尚針對蘭寧颱風分別進行初始場及邊界條件敏感度測試，由於 NFS 模式作業在 2004 年改為 update cycle，根據經驗，當在模式海上區域出現較強系統時，由於海上觀測資料稀少，此種系統常一直存留於模式初始場。為修正此種現象，NFS 模式在 O.I.客觀分析時每 5 度之經緯度加入 1 點之 CWB GFS 資料，在此我們進行將 CWB GFS 資料改以 AVN 取代，但預報過程之邊界條件仍來自 CWB GFS，此實驗簡稱 NFS-5，以觀察其對颱風路徑預測之影響。圖 7 為 NFS-OP、NFS-AVN 及 NFS-5 之對 2004 年 8 月 10 日 0000UTC 蘭寧颱風之預測路徑比較，我們發現 NFS-5 之前 36 小時預測路徑與 NFS-AVN 頗類似，但之後仍偏北，此現象可能因 NFS 預報過程之邊界條件仍來自 CWB GFS 之故。NFS-OP、NFS-AVN、NFS-5 之 12/24/36/48/60/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 82/173/332/449/645/976、68/140/237/124/202/285、50/106/258/359/486/761 公

里。NFS-5 之前 36 小時誤差較 NFS-OP 大為改善，若能即時取得 AVN 資料，將建議氣象局 NFS 作業朝此方向進行更多可行性測試。

至於在邊界條件敏感度測試方面，我們進行以 CWB GFS 為 NFS 模式初始場但預報過程之邊界條件來自 AVN 之實驗，此實驗簡稱 NFS-BC，以觀察改變邊界條件對 NFS 風路徑預測之影響。圖 8 為 NFS-GFS、NFS-AVN 及 NFS-BC 之對 2004 年 8 月 10 日 1200UTC 蘭寧颱風之預測路徑比較，我們發現 NFS-BC 之前 36 小時預測路徑與 NFS-GFS 頗類似，但之後來自 AVN 之邊界條件開始影響模式之颱風預測路徑，NFS-BC 36 小時後之預測路徑與 NFS-AVN 相似，持續往西北向前進，而 NFS-GFS 之颱風預測路徑則開始轉向北北東。NFS-GFS、NFS-AVN、NFS-BC 之 12/24/36/48/60 小時颱風路徑平均預測誤差為 76/163/200/348/608、121/217/83/102/220、66/135/130/237/413 公里。

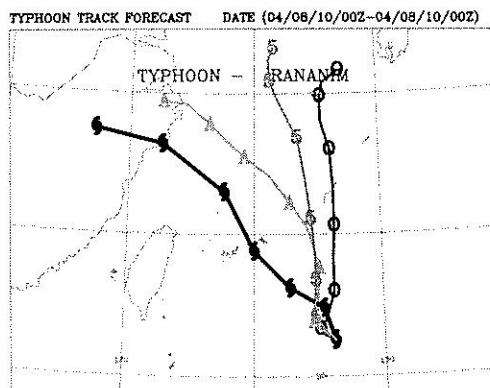


圖 7 為 NFS-OP、NFS-AVN、NFS-5 對 2004 年 8 月 10 日 00UTC 的蘭寧(Rananim)颱風個案之 72 小時預報路徑圖。粗黑線為實際颱風移動路徑，'O' 表 NFS-OP，'A' 表 NFS-AVN，'5' 表 NFS-5，時間間隔為 12 小時。

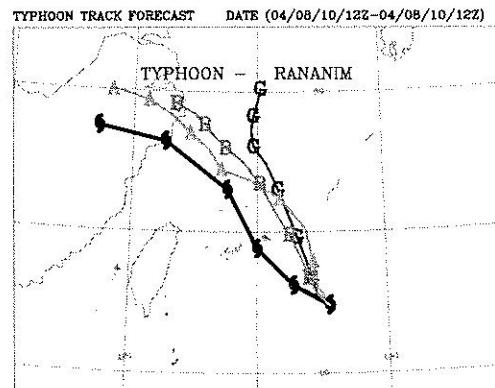


圖 8 為 NFS-GFS、NFS-AVN、NFS-BC 對 2004 年 8 月 10 日 12UTC 的蘭寧(Rananim)颱風個案之 72 小時預報路徑圖。粗黑線為實際颱風移動路徑，'G' 表 NFS-GFS，'A' 表 NFS-AVN，'B' 表 NFS-BC，時間間隔為 12 小時。

## 四、結語

本研究針對中央氣象局數值模式設計三種實驗，1.不同積雲參數化處理、2.加入投落送觀測資料、3.使用不同初始場、邊界條件，以分析在上述實驗條件下對模式颱風預測的影響。

在分析改變積雲參數化處理對颱風強度及 NFS 模式對預測路徑之影響的實驗中，NFS 對 12 個颱風 129 個案之颱風路徑預測平均誤差統計，NFS-KUO、NFS-AS 之 24/48/72 小時平均颱風路徑預測誤差分別為 122/210/315、120/218/317 公里，基本上未呈現明顯差異。就預測內容而言，NFS-AS 對颱風之移動方向掌握較 NFS-KUO 稍好，但對颱風之移動速度則存有偏誤差。

在分析加入非傳統性觀測投落送資料對 NFS 模式颱風路徑預測之應用測試方面，NFS 模式之颱風路徑預測對客觀分析處理中加入或未加入投落送觀測資料並不敏感。如此結果可能來自兩個原因，1、NFS(nodrop)基本上對此 10 個個案本就表現不錯之預測能力，不易再大幅改進路徑預測誤差，2、此模式本身已對颱風進行 relocation scheme 及植入 synthetic observations 等初始化過程，故在 NFS 模式初始場中，颱風附近已存有完整且與模式動力、物理皆達平衡狀態之渦旋結構。在上述情形下加入投落送觀測資料對 NFS 模式之颱風預測因而未產生明顯效應。而在 TFS-nest 模式加入投落送觀測資料亦未能改善模式之颱風路徑預測誤差。

本研究也嘗試了解使用不同初始場、邊界條件對 NFS 颱風路徑預報影響測試，對所選取 2004 年 8 個颱風 42 個案，NFS-OP、NFS-GFS、NFS-AVN 之 24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 136/256/370、138/275/375、123/227/325 公里。NFS 模式使用美國 NCEP 全球模式內而來之初始場、邊界條件，其颱風路徑預測誤差最小，證實了我們之前的假設，NFS 模式可能因氣象局觀測資料數目較少，而導致模式初

始場在某些個案難以正確描述真實大氣環境，因而影響模式之颱風路徑預測能力。在 NFS 使用觀測資料數目較多之美國 AVN 初始場及邊界條件後，即可顯示較佳預測品質，路徑預測誤差也因而改進。

透過本研究之評估及所進行之各項實驗測試，可更了解 NFS 模式對颱風之預測能力及特性，從而持續改進氣象局數值模式之颱風預測能力，以提供預報人員更具參考價值之預報指引。

## 誌謝

本研究所使用之美國 NCEP 全球模式 (AVN) 資料乃由中央氣象局科技中心盛揚帆博士提供，在此表示衷心之謝意。

## 參考文獻：

- 葉天降、陳得松、黃康寧，2003：颱風路徑預報作業模式與初始場處理之改進(2/3)。國科會研究報告 NSC91-2625-Z-052-004，37 頁。
- 顧欣怡、呂國臣、賈新興，2003：數值模式在颱風路徑預報之應用。92 年天氣分析與預報研討會論文彙編，394-399。
- Aberson,S.D., S.J. Lord, M. DeMaria, and M.S. Tracton, 1995: Short-range ensemble forecasting of hurricane tracks. Preprints, 21th Conf. On Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, Amer. Meteor. Soc., 494-496.
- Elsberry,R.L., G.J. Holland, H.Gerrish, M. DeMaria, C.P. Guard, and K.A. Emanuel, 1992: Is there any hope for tropical cyclone intensity prediction ? - A panel discussion. Bull. American Meteor. Soc., 73, 264-275.
- Flatau,M., W.H. Schubert, and D.E. Stevens, 1994: The role of baroclinic processes in tropical cyclone motion: The influence of

- vertical tilt. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2589-2601.
- Jones,S.C., 1995: The evolution of vortices in vertical shear. Part I: Initially-barotropic vortices. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*,**121**, 821-851.
- Leith,C.E., 1974: Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409-418.
- Peng,M.S., 1995: A study of the impacts of uncertainty of typhoon's initial position, intensity and movement on the track forecasts (I). Research Report,CWB84-3M-06,Central Weather Bureau.
- Peng,M.S., 1996: A study of the impacts of uncertainty of typhoon's initial position, intensity and movement on the track forecasts (II). Research Report,CWB85-3M-05,Central Weather Bureau,11pp.
- Peng,M.S., and S.W. Chang, 1996: Impacts of SSM/I retrieved rainfall rates on numerical prediction of a tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1181-1198.
- Shapiro,L.J.,1992: Hurricane vortex motion and evolution in a three-layer model. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 140-153.
- Velden C.S. and L.M. Leslie, 1991: The basic relationship between tropical cyclone intensity and the depth of the environmental steering layer in the Australian region. *Weather and Forecasting*, **6**, 244-253.
- Wang,B., and X. Li, 1992: The beta drift of three-dimensional vortices: A numerical study. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 579-593.
- Wang,Y., and G.J. Holland, 1996: Tropical cyclone motion and evolution in vertical shear. *J. Atmos. Sci.*, **53**, 3313-3332.
- Wu,C.C., and K.A. Emanuel, 1993:Interaction of a baroclinic vortex with background shear: Application to hurricane movement. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 62-76.

# **A Study on Typhoon Track Forecast for the Non-hydrostatic Forecast System of the Central Weather Bureau**

Der-Song Chen Kang-Ning Huang Tien-Chiang Yeh  
Central Weather Bureau

## **ABSTRACT**

The objectives and the results of the research are: 1. To analyze and compare the performances between the operational typhoon track forecast model (TFS-nest) and the CWB's new generation Non-hydrostatic Forecast System (NFS). The results show that the average forecast errors of NFS are smaller than those of TFS-nest. 2. To study the impact of using Arakawa and Shubert cumulus scheme in NFS model forecast. The results show NFS had a similar performance when the Arakawa and Shubert scheme replaced the original Kuo scheme although the former one could better maintain typhoon intensity. 3. To evaluate the impact on NFS forecast with dropsonde data in typhoon track simulation. The results show that the performance of NFS(alldrop) are also similar to NFS(nodrop) in 72-hour track simulation. The same situation happened to TFS-nest. 4. To test the sensitivity of typhoon track forecast of NFS with different initial fields and forecast boundary conditions. The results show that typhoon track forecast of NFS with initial field and boundary condition produced from US NCEP AVN model is the most satisfactory one.

Keyword: cumulus scheme、dropsonde data、initial fields、boundary conditions