

中央氣象局非靜力數值模式颱風預報之校驗與展望

陳得松 黃康寧 葉天降 謝信良
中央氣象局

一、前言

臺灣為一多山海島，位於亞洲大陸東南方約兩百公里處，颱風是所有的天然災害中為害最烈者，每年夏秋季節平均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。在氣象防颱方面，首在於提供準確之颱風現況與預報資訊，使各界能儘早做好防颱準備，以降低生命財產損失。以中央氣象局主觀預報而言，其 24 小時之平均預報誤差約為 178 公里(葉等, 1998)，和颱風路徑統計預報法如 CLIPER 與 HURRAN 之預報誤差相近，也和國際間其他先進國家颱風路徑預報誤差相近。

以數值模式預報颱風是一件極具挑戰性的工作。非靜力區域預報系統(Non-hydrostatic Forecast System, NFS)為中央氣象局近年來致力發展之新一代數值區域模式，由柳(2002)對 NFS 之測試評估，可知此模式之發展已漸趨成熟。由於颱風預報為中央氣象局最重要任務之一，因此我們著手嘗試在此模式中建立颱風預報能力。而評估模式颱風預測能力，將為本文之重點。

二、預報模式

使用中央氣象局新發展之高解析非靜力預報模式(NFS)，此模式為 NFS 為四階定差，三層巢狀網格(45/15/5)公里，格點數 221x127/191x193/ 91x121，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。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。

由於颱風大部份皆形成於廣闊熱帶海洋面上，在颱風附近常欠缺傳統觀測資料，因而在模式初始分析場中，常無法正確解析颱風位置及其環流結構，亦增加了颱風預測之困難度。為改善此情形，NFS 嘗試在初始場颱風中心附近 6°內(共 41 點)植入虛擬觀測資料。其虛擬觀測資料產生做法如下：

風場結構(1000hPa—400hPa)包含

- 1) 七級風、十級風暴風半徑及中心最大風速產生之 Rankine 渦旋。
- 2) 對全球模式風場做濾波，以取得颱風附近之大尺度駛流。
- 3) 颱風過去 6 小時移動速度。

在質量場結構(1000hPa—700hPa)方面，則基於上述虛擬渦旋風場，由梯度風平衡反演出高度場及質量場。此 41 點虛擬觀測資料和其它傳統及遙測觀測資料一起提供 O.I.客觀分析法進行分析，以取得含有完整颱風環流之模式初始場。我們亦對 NFS 加入搜尋颱風位置之能力，使其在預報過程可同時記錄颱風中心。

三、結果分析與討論

(一) 非靜力高解析模式(NFS)之颱風路徑預測

本年度研究中，我們對中央氣象局新發展之高解析非靜力模式(NFS)做必要之功能擴充，使其有颱風路徑作業預測之能力，為進一步了解 NFS 模式路徑之預測能力，我們選取了 2002 年 Rammasun、Nakri、Sinlaku、2003 年 Kujira、Nangka、Soudelor、Imbudo、Morakot、Krovanh、Dujan、Melor 等 11 個中

央氣象局曾發佈警報的颱風，再加上 Halong、Koni、Etau、Maemi、Ketsana、Nepartak 等 6 個颱風，共計 17 個颱風 101 個案做測試。

圖 1、2 分別為本文所選 2002、2003 年部份所選颱風 NFS(標線'N')及 TFS(標線'T')之預測路徑與颱風實際移動路徑比較。由圖 1 可見，TFS 對 Rammasun 颱風之預測明顯左偏，NFS 則較能掌握颱風北轉趨勢；Nakri 及 Halong(圖未示)為同時存在於西北太平洋之颱風，但兩者距離甚遠，並未互相影響移動路徑，但此二個案仍可檢視 NFS 對多颱風同時存在之預測能力，NFS 及對 Nakri、Halong 之 24/48/72 小時路徑預測誤差分別為 144/240/323 公里、95/186/288 公里及 139/287/312 公里、104/219/361 公里，NFS 展現了對多颱風同時作業之能力。對 Sinlaku 而言，NFS 在初期有偏北誤差，但在 9 月 5 日 00 及 12UTC 之預測則適當掌握了此颱風移動先變慢南偏後轉往西北西加速登陸浙江之趨勢，NFS 及 TFS 對 Sinlaku 颱風之 24/48/72 小時路徑預測誤差分別為 100/165/301 公里、119/201/462 公里。

對 2002 年 4 個所選颱風共 19 個個案，NFS 之預測表現明顯優於 TFS。但由圖 2 可見，對 2003 年 11 月以前所選 13 個颱風 82 個案則互有優劣。說明如下：對 Kujira 而言，TFS 因無法即時反應颱風北轉，故 72 小時誤差達到 450 公里，NFS 則較好為 347 公里；Nangka(圖未示)之移速頗快，NFS 雖在移動方向上預測與實際相近，但由於移速過慢，與 TFS 比較，其 24/48 小時誤差各為 197/758、257/598 公里。對 Soudelor 而言，NFS 之路徑預測有偏快偏右之誤差，與 TFS 比較，其 24/48 小時誤差各為 194/311、111/171 公里；Imbudo 及 Koni(圖未示)亦為同時存在於西北太平洋之颱風，但兩者距離甚遠，並未互相影響移動路徑，NFS 及 TFS 對 Imbudo 之 24/48/72 小時路徑預測皆偏北，誤差各為 190/275/362 公里、110/281/323 公里，對 Koni 之 24/48 小時誤差分別為 191/23 公里及 152/312 公里。2003 年 8 月發生之 Morakot(圖未示)曾侵襲台灣南部，NFS 及 TFS 對此颱風之 24 小時路徑預測誤差為 191 公里、150 公里，而在此同時太平洋上另有

Etau(圖未示)形成，NFS 過早預測北轉，TFS 則轉彎過慢，兩模式之 24/48/72 小時路徑預測誤差為 122/251/423 公里、129/274/400 公里；對 Krovanh(圖未示)而言 NFS、TFS 之預測仍屬偏北，24/48 小時路徑預測誤差各為 85/233 公里、185/340 公里；對 Dujuan 而言 NFS、TFS 之預測亦偏北，24/48/72 小時路徑預測誤差各為 76/208/578 公里、114/373/686 公里。9 月份之 Maemi 雖未侵台但卻為台灣北部帶來豐沛雨量，NFS 仍過早預測北轉，TFS 則太慢轉，兩模式之 24/48/72 小時路徑預測誤差為 97/241/426 公里、79/222/499 公里。10 月份之 Ketsana(圖未示)而言，其移動速度變化甚大，在颱風形成初期移速甚慢，進入中緯度後又移速甚快，NFS 對前期尚可掌握，但之後則有偏慢，兩模式之 24/48/72 小時路徑預測誤差為 219/351/452 公里、142/345/608 公里；10 月底之 Melor 其路徑甚難預測，主因此颱風雖為弱颱風，但垂直結構似乎非常完整，故其路徑主要受中高層氣流導引，NFS 及 TFS 在初期皆錯誤預測颱風將進入南海，NFS 更因強度預測過弱而只能校驗 2 天預測，兩模式之 24/48 小時誤差各為 124/353 公里 196/412 公里。對 11 月之 Nepartak(圖未示)，NFS 及 TFS 之 24/48/72 小時平均誤差分別為 133/185/218、166/252/238 公里。

至於對所有 101 個案，NFS、TFS 及中央氣象局官方預測(CWB)之誤差比較則如圖 3，其 24、48、72 小時平均誤差分別為 134/141/109、251/281/207、369/417/350 公里，兩個客觀數值動力模式在 24、48、72 小時之預測能力皆遜於中央氣象局官方主觀預測。其中 NFS 由於為一新建置之區域模式，相對 TFS 而言採用了較先進之動力及物理處理方法，其颱風作業能力仍在發展階段。NFS 對本文所選 17 個颱風 101 個案而言，雖在 3 天內路徑預測平均誤差表現皆優於 TFS，但仍存在偏北系統性誤差，以及在中高緯度當實際颱風轉北時，其常有過早轉向及移速過慢誤差。我們將進一步選取更多歷史個案進行測試，並針對預報結果，分析應用加入颱風作業能力非靜力高解析度預報模式之預測特性，做為中央氣象局繼續發展改進高解析度颱風模式之參考。

(二) NFS 之颱風路徑預測改進測試

如前文所述，10月底之Melor其路徑甚難預測，主因此颱風雖為弱颱風，但垂直結構似乎非常完整，故其路徑主要受中高層氣流導引。圖4中標線W為NFS在31日00UTC對此颱風之預測路徑，由於植入渦旋強度過弱，其颱風中心氣壓僅達1003hPa，NFS錯誤預測颱風將進入南海並在3天後減弱為熱帶低壓，模式之24/48/72小時誤差為139/394/649公里。NFS之颱風作業能力仍在發展測試階段，植入渦旋強度過弱可能是模式路徑誤差來源之一，有鑑於此，我們嘗試在模式中植入與實際衛星雲圖推估強度(995hPa)較接近之虛擬渦旋(994.3hPa)。圖4中標線S為NFS對此個案之預測結果，不僅對颱風強度較能維持，模式之24/48/72小時誤差僅為77/108/135公里。此測試發現，若能在NFS中植入與颱風實際結構較接近之虛擬渦旋，則對此個案路徑預測誤差可獲得明顯改進，我們將針對植入渦旋強度對更多歷史個案做進一步測試。

此外，由於颱風附近觀測資料稀少，颱風初始位置與結構常含極大之誤差，更為增加數值模式預報難度，本年度之Melor即為典型案例。2003年在台灣地區曾在9月1日06UTC對Dujuan及在11月2日06UTC對Melor進行投落送(dropsonde data)實驗，NFS亦針對上述兩組投落送實驗資料進行測試。圖5為NFS對9月1日06UTC Dujuan測試結果，圖中標線N、W分別為未加入及加入投落送資料之48小時預測路徑。由圖可見，兩組測試皆在12時後有偏北誤差，未加入及加入投落送資料之24/48小時路徑預測誤差分別為175/168公里及169/177公里，對此個案，加入投落送資料後，對NFS之颱風路徑預測影響不大。圖6為NFS對11月2日06UTC Melor颱風測試結果，圖中標線N、W分別為未加入及加入投落送資料之36小時預測路徑。由圖可見，兩組測試皆有偏慢偏左誤差，但加入投落送資料後，NFS對颱風移速之預測稍好，未加入及加入投落送資料之12/24/36小時路徑預測誤差分別為61/211/383公里及43/115/300公里，對此個案，加入投落送資料後，對NFS之颱風路徑預測則有正面效果。

四、結語

本研究中，我們對中央氣象局新發展之高解析非靜力模式(NFS)做必要之功能擴充，使其有颱風路徑作業預測之能力。為了解NFS模式路徑之預測能力，我們選取了2002年、2003年十七個颱風做測試。NFS、TFS兩個客觀數值動力模式在24、48、72小時之預測能力皆遜於CWB。而其中NFS雖在3天內路徑預測平均誤差表現皆優於TFS，但仍有偏北系統性誤差及在中高緯度當實際颱風轉北時，其常有過早轉向及移速過慢誤差。我們將進一步分析其預測特性，做為中央氣象局繼續發展改進高解析度颱風模式之參考。

10月底之Melor其路徑甚難預測，由於植入渦旋強度過弱，NFS錯誤預測颱風將進入南海並在3天後減弱為熱帶低壓。我們嘗試在模式中植入與實際衛星雲圖推估強度較接近之虛擬渦旋，預測結果不僅對颱風強度較能維持，模式之24/48/72小時誤差僅為77/108/135公里。測試發現，若能在NFS中植入與颱風實際結構較接近之虛擬渦旋，則路徑預測誤差可獲得明顯改進。此外，NFS亦針對兩組投落送實驗資料進行測試，NFS對9月1日06UTC Dujuan颱風測試結果，未加入及加入投落送資料之24/48小時路徑預測誤差分別為175/168公里及169/177公里，對此個案，加入投落送資料後，對NFS之颱風路徑預測影響不大。NFS對11月2日06UTC Melor颱風測試結果，兩組測試皆有偏慢偏左誤差，但加入投落送資料後，NFS對颱風移速之預測稍好，未加入及加入投落送資料之12/24/36小時路徑預測誤差分別為61/211/383公里及43/115/300公里，對此個案，加入投落送資料後，對NFS之颱風路徑預測則有正面效果。

參考文獻：

- 葉天降，1998：初始不確定性對颱風預報之影響(I)。國科會研究報告 NSC87-2621-P-052-005，37頁。
- 柳再明、劉其聖，2001：NFS在SCSMEX期間的個案分析。91年天氣分析與預報研討會論文彙編，161-165。

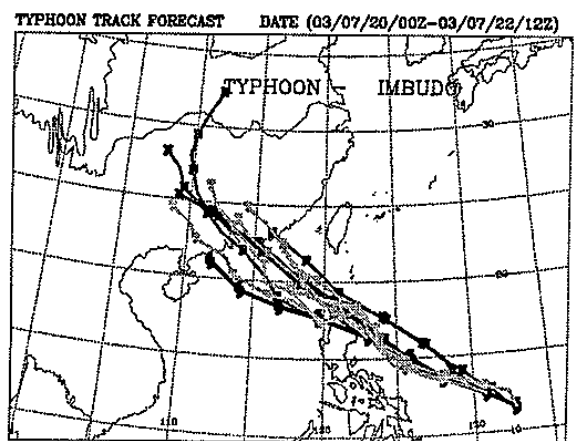
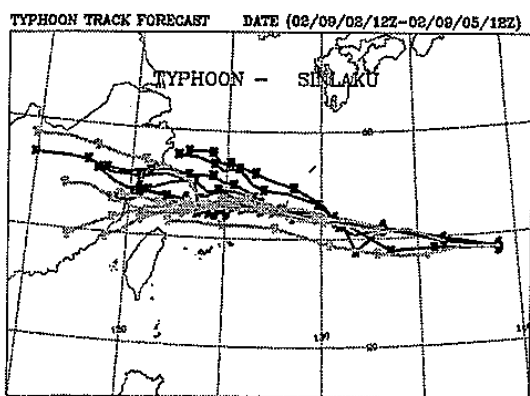
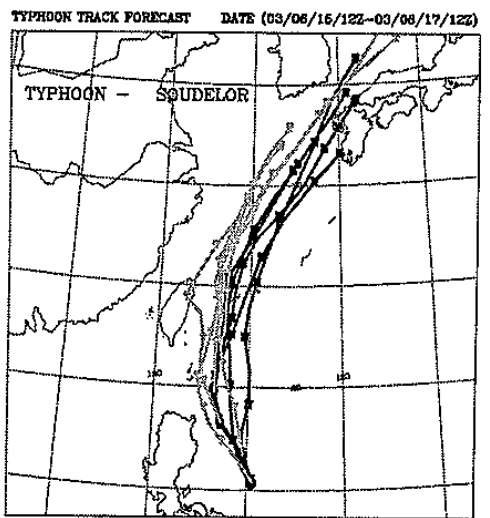
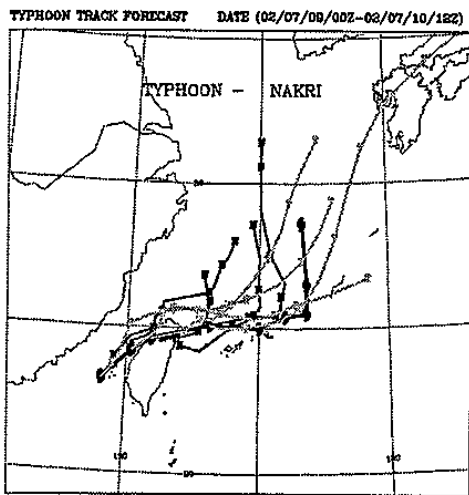
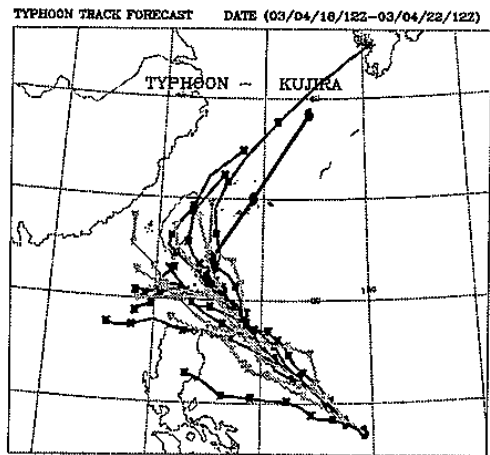
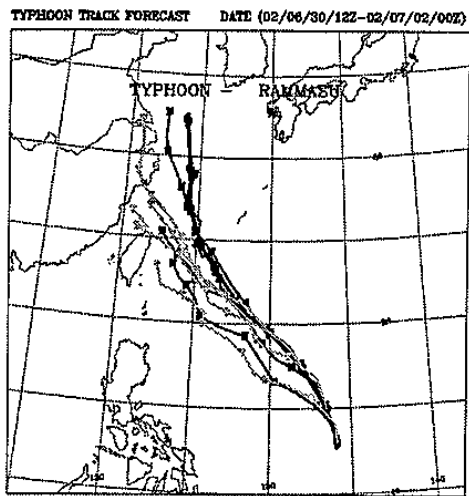
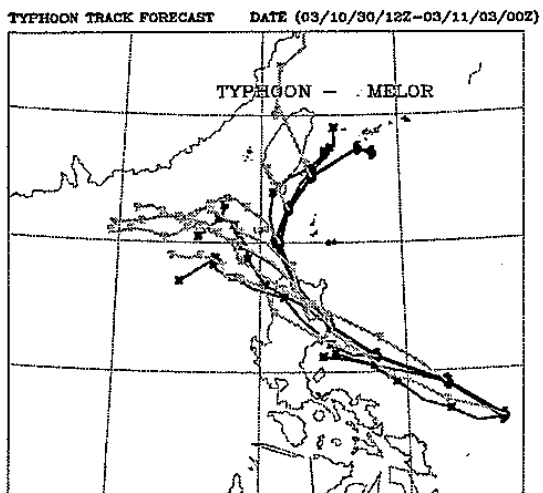
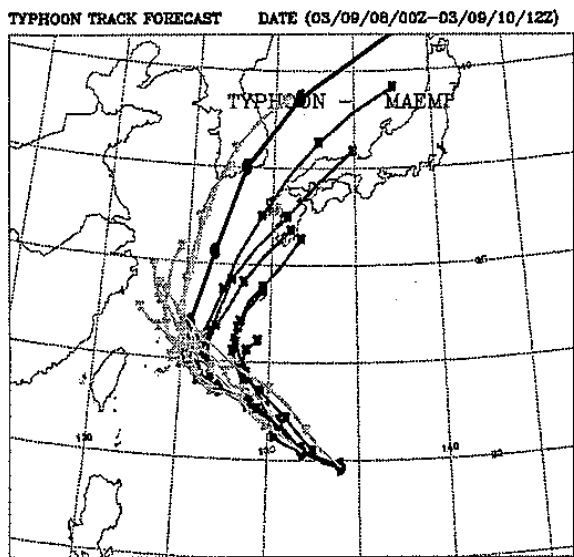
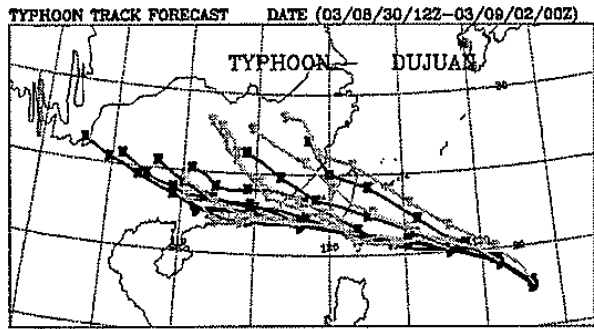


圖 1、NFS(線標 N)及 TFS(線標 T)對 2002 年 Rammasun、Nakri、及 Sinlaku 所做之預測(細線)與實際(粗線)路徑，時間間隔為 12 小時。

圖 2、同圖 1，但為對 2003 年 Kujira、Soudelor、Imbudo 所做之預測(細線)與實際(粗線)路徑。



Homogeneous comparison of NFS, TFS-nest, CWB for 17 typhoons

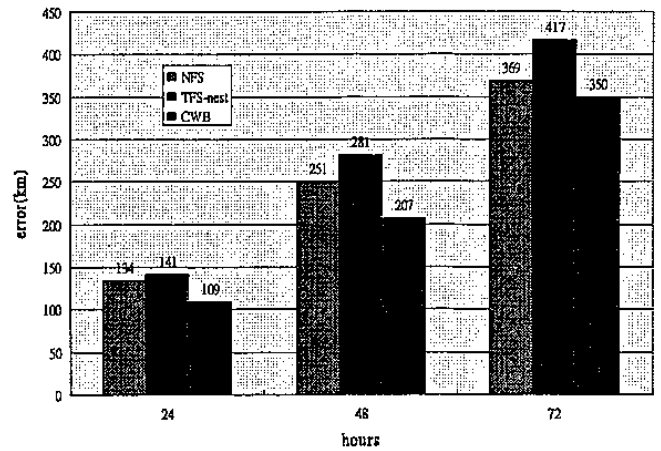


圖 3、NFS、TFS、CWB 對十七個颱風相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差之比較。

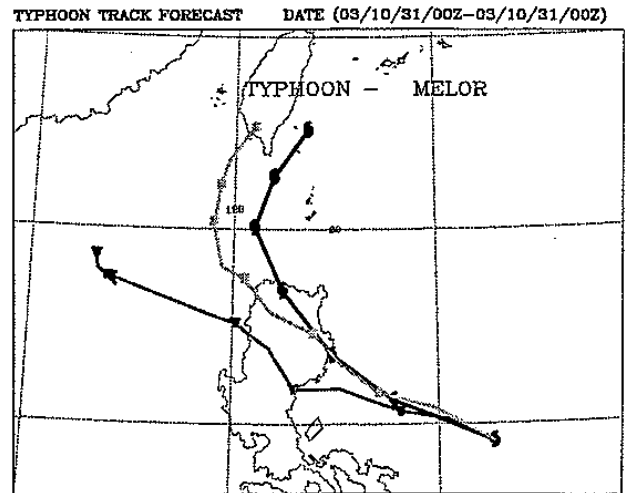


圖 4、NFS 在 10 月 31 日 00UTC 對 Melor 颱風之預測，標線 W、S 分別為植入強度較弱、較強渦旋之預測路徑，粗黑線為實際路徑。

續圖 2、同圖 2，但為對 2003 年 Dujan、Maemi、Melor 所做之預測(細線)與實際(粗線)路徑。

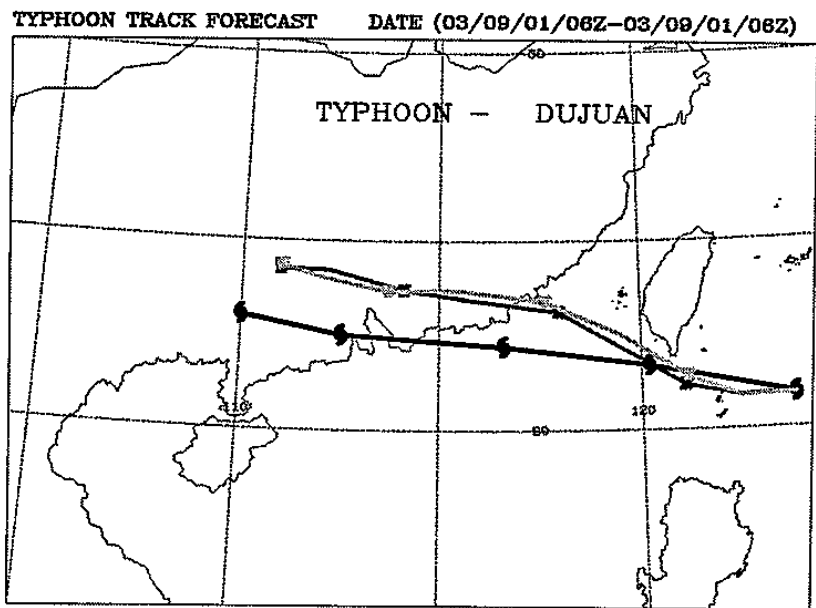


圖 5、NFS 在 9 月 1 日 06UTC 對 Dujan 颱風之預測，標線 N、W 分別為未加入及加入投落送資料之 48 小時預測路徑，粗黑線為實際路徑。

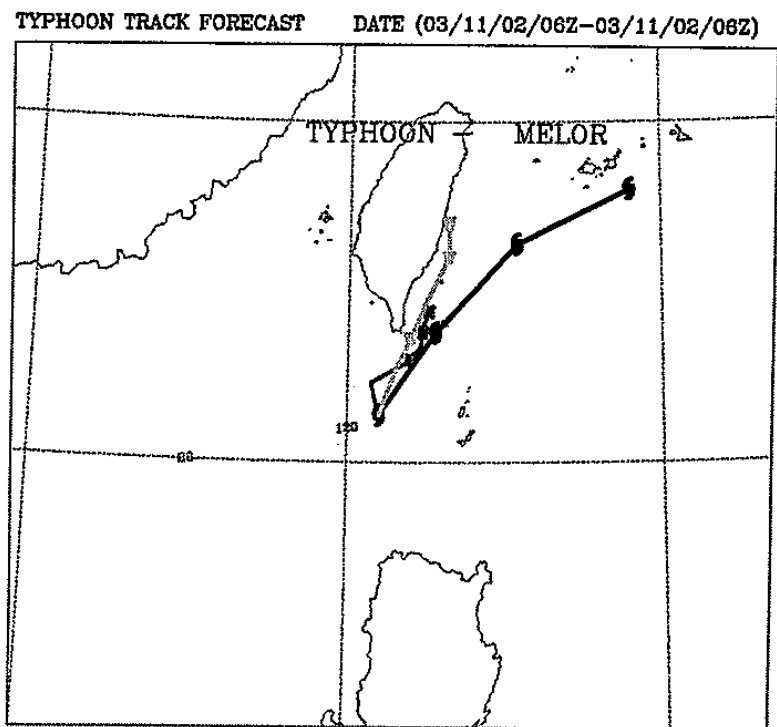


圖 6、NFS 在 11 月 2 日 06UTC 對 Melor 颱風之預測，標線 N、W 分別為未加入及加入投落送資料之 36 小時預測路徑，粗黑線為實際路徑。