

中央氣象局非靜力區域模式對颱風路徑預測之表現與測試

----- 初始場、邊界條件及投落送資料

陳得松、黃康寧、葉天降、蕭玲鳳、鄭銘華

中央氣象局

一、前言

台灣位於西北太平洋邊緣，每年夏秋季節平均約有三至四個颱風侵襲，是各類天然災害中影響最劇者，每每造成生命財產損失。因此中央氣象局的重要任務之一即是於颱風季節，提供準確的颱風現況與預報資訊，使各界能儘早做好防範措施。

以動力數值模式做較長時程的颱風路徑預測，其參考性較統計預報方法為高，非靜力區域預報系統(NFS)為中央氣象局近年來致力發展之新一代數值區域模式，並在此模式中建立颱風預測能力(陳等 2004)。本文包括介紹中央氣象局舊有之颱風路徑預報模式(TFS)及非靜力區域模式(NFS)，整理、校驗二模式於近幾年對颱風路徑預測之表現，以及不同初始場與側邊界值對 NFS 模式颱風預測之影響。於後第二節說明使用模式，第三節為預測結果分析與討論，第四節初始場與側邊界實驗結果，第五節模式對投落送觀測資料的應用測試。

二、預報模式

本研究使用中央氣象局作業模式：高解析非靜力預報模式(Non-hydrostatic Forecast System, 簡稱 NFS)。此 NFS 為四階定差，三層巢狀網格(45/15/5)公里，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。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。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(葉 2004)。NFS 模式並於颱風生成後，亦加入渦旋移置(relocation)及透過 O.I.客觀分析法在颱風中心附近 6°內(共 41 點)植入虛擬觀測資料，其虛擬觀測資料產生做法見陳等(2004)。現行 NFS 作業之初始場為 update cycle，側邊界值則來自中央氣象局全球波譜模式(GFS)之分析場及預報場。

三、結果分析與討論

2004 年西北太平洋上共計發生 29 個颱風，實際發生範圍約在東經 105 度至 175 度、北緯 5 度至 45 度間。NFS 與 TFS-nest 對其中 22 個颱風進行每 12 小時一次的即時作業預測。此二模式的颱風路徑預測結果與中央氣象局官方預報(CWB)做全年、以及針對發布警報的 9 個颱風進行均勻個案誤差比較，其 24/48/72 小時之平均預測路徑距離誤差，如圖 1 所示。全年部分，CWB(116/209/286 公里)表現最佳，NFS(135/245/372 公里)居次，雖 NFS 之第三天預測誤差與

CWB 差距增長較兩天內之誤差差距增長為多，但表現仍較 TFS-nest(164/298/428 公里)優約 18/18/13%。至於對發布警報的 9 個颱風的預測誤差部分，仍是 NFS(135/280/442 公里)遜於 CWB(120/237/333 公里)，優於 TFS-nest(153/322/490 公里)。NFS、TFS-nest 與 CWB 於此部分的表現皆不如三者各自之全年平均表現。NFS 及 CWB 主要是因為對當年的 RANANIM 颱風掌握不佳所致，若除去 RANANIM 颱風，NFS 之 24/48/72 小時平均誤差降至 126/248/389 公里，第三天的誤差降幅可達 12%。TFS-nest 則是對 CONSON、MEARI、NOCK-TEN 颱風掌握較差。整體而言，TFS-nest 於 2004 年的表現與前兩年類似，有如颱風西進時的偏右誤差、轉彎過慢、轉彎後移速過慢、颱風往東北行進時的偏左誤差等系統性誤差，而 NFS 亦有類似上述系統性誤差，但已明顯改進。

NFS、TFS-nest 二模式亦對 2005 年 5 月至 9 月第三號至第十八號颱風的颱風做即時作業預測，其路徑預測誤差校驗結果與中央氣象局官方預報(CWB)做均勻個案比較。圖 2 為 24/48/72 小時之平均預測路徑距離誤差之比較，在全部個案部分，圖中顯示 NFS 誤差 117/208/269 公里與表現最佳的 CWB(92/164/267 公里)差距不大，第三天的誤差更與 CWB 極接近，且亦優於 TFS-nest 的 144/299/441 公里。對發布警報的 6 個颱風的預測誤差部分，仍是 CWB(80/133/220 公里)最佳，NFS(125/219/321 公里)居次，再者是 TFS-nest(113/239/356 公里)。除了 NFS 之外，TFS-nest 與 CWB 於此部分的表現優於二者各自之全部個案平均表現。NFS 主要是對 MATSA、TALIM 颱風路徑預測有明顯偏右誤差所致，若去除 TALIM 颱風誤差，NFS 之 72 小時誤差降至 283 公里，降幅達 12%。TFS-nest 較大誤差發生在 HAITANG 颱風，但當 HAITANG 颱風接近台灣時，TFS-nest 預測路徑則有不錯的表現。CWB 則是對 KHANUN 颱風有較差的掌握，而 NFS、TFS-nest 對此颱風預測優於 CWB，尤其 NFS 的第三天平均路徑預測誤差僅有 178 公里。整體而言，NFS 與 TFS-nest 於 2005 年 5 至 9 月颱風路徑預測，仍出現類似 2004 年的偏右誤差、轉彎過慢、轉彎後移速過慢、颱風往東北行進時的偏左誤差等等系統性誤差。

圖 3 為 TFS-OP 自 1998 年至 2005 年延展預報時程至 72 小時的平均預測路徑距離誤差圖，加上 TFS-nest 自 2002 年至 2005 年 9 月、以及 NFS 自 2004 年至 2005 年 9 月的誤差比較。圖中顯示 TFS-OP 於 1998 年的誤差比其餘年為大，主要是因為 TFS-OP 對當年的 Rex 颱風掌握不佳所致，若除去 Rex 颱風，則 1998 年的 24/48/72 小時平均誤差降至 177/307/476 公里，與 TFS-OP 其餘年份誤差相近。圖中可看出，TFS-OP 於 2002 年的表現稍優於前三年。其原因除了颱風的年際間變化(陳等 2001)，或許也因 GFS 於 2002 年提高垂直層解析度所致，亦即 TFS-OP 有較效好的初始場與側邊界值。此外，TFS-OP 有第三天預測誤差增幅明顯增大之系統

性誤差，而 TFS-nest 嘗試解決此問題，更動了颱風渦旋結構初始化方法，以及提高垂直解析層數。TFS-nest 這些修正對 2002 年至 2005 年的颱風路徑預測確實有正面效應，第三天預測誤差增幅亦無明顯增大的情形。至於 NFS 於 2004 年及 2005 年的表現，更優 TFS-OP 及 TFS-nest 於上述年份的平均表現。

從以上討論可知，初始場資料的正確與否以及模式解析度對 TFS 的颱風預測有很大影響。除了上述因素外，模式設計更貼近實際大氣運動的非靜力模式 NFS 則比 TFS 有更佳的預測準確度。

四、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：

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(WMO)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，共進行五組實驗測試(如表 1)：1. 初始場來自 NFS 模式前 6 小時之 6 小時預報場，且由於 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，因海上觀測資料稀少，此種系統常一直存留於模式初始場。為修正此種現象，我們於 O.I. 客觀分析時在洋面及青康藏高原地區加入每 5 度一點之氣象局全球模式(CWB GFS)資料，72 小時邊界條件則來自氣象局全球模式內差，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-GG；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-AA；4. 初始場來自 NFS 模式前 6 小時之 6 小時預報場，並於 O.I. 客觀分析時在洋面及青康藏高原地區加入每 5 度一點之 NCEP 全球模式資料，72 小時邊界條件則來自氣象局全球模式內差，此組實驗簡稱 NFS-5G；5. 初始場資料處理與第 4 組實驗相同，但 72 小時邊界條件來自 NCEP 全球模式內差，此組實驗簡稱 NFS-5A。在 2005 年颱風季(5-9 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 117/208/269 公里。但仍有如 8 月份之泰利(Talim)颱風，NFS 之 48/72 小時路徑誤差分別達到 276/484 公里，幾乎不能預測掌握颱風行徑，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 2 為本測試所選之颱風個案日期表，共有 2005 年 7 個颱風 43 個案。

圖 4 為本實驗 NFS-OP、NFS-GG、NFS-AA、NFS-5G 及 NFS-5A 等五組實驗對泰利颱風之預測颱風路徑與實際路徑比較。NFS-OP 對此颱風之預測一直存有明顯偏北誤差，24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 99/224/539 公里。NFS-5G 在於初始場對青康藏高原及海洋區域加入每 5 度一點之 NCEP 全球模式資料後可稍改進此偏北現象，24/48/72

小時颱風路徑平均預測誤差為 103/221/484 公里。NFS-AA 在初始場及邊界條件皆使用 NCEP 全球模式預測資料後，可大幅改善偏北偏差，24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差為 91/165/305 公里。至於 NFS-5A 亦展現了不錯之預測能力，24/48/72 小時颱風路徑平均預測誤差降為 90/163/303 公里。

對本實驗所選取 2005 年 7 個颱風 43 個案，NFS-OP、NFS-GG、NFS-AA、NFS-5G 及 NFS-5A 等五組實驗之 12/24/36/48/60/72 小時颱風路徑平均預測誤差如表 3。NFS-OP 與 NFS-5G 之差異在於初始場對青康藏高原及海洋區域加入每 5 度一點之氣象局全球模式資料以 AVN 取代，72 小時邊界條件則同樣來自氣象局全球模式內差，由表 3 可知 NFS-5G 在前 24 小時颱風路徑平均預測誤差可較 NFS-OP 改善約 10%，3 天內平均則改善 5%。至於 NFS-5G 與 NFS-5A 之差異則在於邊界條件處理，邊界條件使用 NCEP 全球模式預測場後，由表 3 可知在後 36 小時颱風路徑平均預測誤差可較 NFS-5G 改善約 17%，3 天內平均則改善 12.5%。顯示對 NFS 模式而言，邊界條件對預測影響甚鉅，尤其預測 36 小時以後更形重要。NFS-OP 與 NFS-5A 則在初始場及邊界條件皆不同，NFS-5A 在 72 小時內全程之颱風路徑平均預測誤差表現皆優於 NFS-OP，平均則改善 17%。上述實驗結果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。

五、NFS 模式投落送(dropsonde)觀測資料應用測試

從 2005 年 7 月至 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 4 個颱風進行 5 次觀測，其個案日期如表 1。在上述 5 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 200-1000hPa，垂直標準層數 9 層。本研究共對今年 5 次個案分別進行三組實驗，以測試中央氣象局非靜力區域數值預報模式(NFS)在客觀分析(O.I.)處理中加入及未加入這些投落送觀測資料對颱風路徑預測之效應。三組實驗設計規畫詳如表 5。

第一組實驗之設計仿照 NFS 作業環境，初始場來自 NFS 前 6 小時之 6 小時預報場，邊界條件使用中央氣象局全球模式(CWB GFS)預報場，並執行颱風渦旋初始化流程。圖 5 為此實驗在 NFS 模式客觀分析中加入(opdp)及未加入(opnodp)投落送觀測資料對 5 個案之 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，對模式之颱風預測路徑影響不大。5 個案之路徑預測平均誤差如表 6，opdp 在 24、36、48 時之誤差稍小於 opnodp，但在 12、60、72 時之誤差則稍大於 opnodp。在加入投落送觀測資料後，12 至 72 時路徑預測誤差平均僅可改善 2.3%。其原因可能由於 NFS 在此組實驗中加入虛擬觀測資料，圖 6 為 2005/09/09/12UTC 卡努颱風個案中，NFS 模式虛擬渦旋觀測資料與投落送資料(深色)在 850hPa 之風場分佈圖。由圖得知，兩種風場資料頗為一致，故而加入投落送資料未對 NFS 之颱風預測路徑產生顯著效應。

第二組實驗之設計中，NFS 初始場來自 NFS 前 6 小時之 6 小時預報場，邊界條件使用美國 NCEP 全球模式(AVN)預報場，且由於 NFS 模式虛擬渦旋觀測資料與投落送資料，兩種風場資料頗為一致，故此組實驗並不執行颱風渦旋初始化流程。圖 7 為此實驗在 NFS 模式客觀分析中加入(nbdp)及未加入(nbnodp)投落送觀測資料對 5 個案之 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，對海棠颱風之模式颱風預測路徑影響不大，對馬莎、珊瑚及卡努之模式颱風預測路徑則獲得一些改進。5 個案之路徑預測平均誤差如表 3，nbdp 在 12、24、36、60 及 72 時之誤差稍小於 nbnodp，在 48 時之誤差則與 nbnodp 相當。在加入投落送觀測資料後，12 至 72 時路徑預測誤差平均約可改善 9.7%。圖 8 為 2005/07/16/00UTC 海棠颱風個案中，NFS 模式未加入投落送觀測資料之客觀分析場與投落送資料(深色)在 850hPa 之風場分佈圖。由圖得知，兩種風場資料仍頗為相似，故或而加入投落送資料只對 NFS 之颱風預測路徑產生些許效應。

第三組實驗之設計中，NFS 初始場來自美國 NCEP 全球模式(AVN)分析場，邊界條件使用 NCEP 模式(AVN)預報場，而由於 NFS 模式虛擬渦旋觀測資料與投落送資料頗為一致，故此組實驗亦並不執行颱風渦旋初始化流程。圖 9 為此實驗在 NFS 模式客觀分析中加入(anbdp)及未加入(anbnodp)投落送觀測資料對 5 個案之 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，對海棠及卡努颱風之模式颱風預測路徑影響不大，對馬莎、珊瑚之模式颱風預測路徑則獲得一些改進。5 個案之路徑預測平均誤差如表 3，anbdp 在 12、24、36、48、60 及 72 時之誤差皆稍小於 nbnodp。在加入投落送觀測資料後，12 至 72 時路徑預測誤差平均約可改善 5.7%。圖 10 為 2005/07/16/00UTC 海棠颱風個案中，NFS 模式於此組實驗未加入投落送觀測資料之客觀分析場與投落送資料(深色)在 850hPa 之風場分佈圖。由圖得知，兩種風場資料亦仍頗為相似，故而加入投落送資料也只對 NFS 之颱風預測路徑僅產生些許效應。

綜上所述，第一組實驗中 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。原因可能來自模式本身已對颱風進行植入虛擬渦旋觀測資料初始化過程。因此在第二組及第三組實驗中，我們不再於 NFS 植入虛擬渦旋觀測資料，但發現客觀分析場與投落送資料亦仍頗為相似，故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僅產生些許效應。

誌謝

1. 本研究是在國科會 93 年計畫編號：NSC93-2625-Z-052-0045 及 94 年計畫編號：NSC94-2625-Z-052-006 贊助下完成，在此表示衷心之謝意。
2. 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，2004：颱風路徑預報作業模式與初始場處理之改進(3/3)。國科會研究報告 NSC92-2625-Z-052-010，47 頁。

陳得松、黃康寧、葉天降與謝信良，2004：中央氣象局非靜力數值模式颱風預報之校驗與展望。第八屆全國大氣科學學術討論會論文集編，217-222。

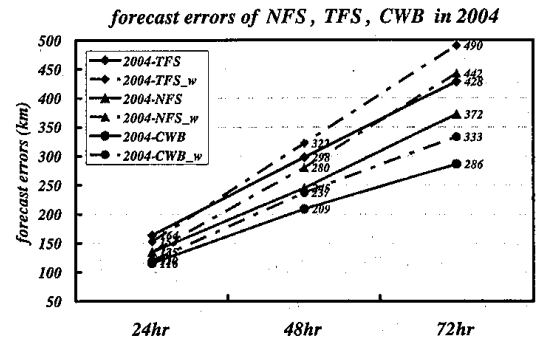


圖 1. NFS, TFS 模式與氣象局官方颱風路徑預測對 2004 全年及發布警報的 9 個颱風進行均勻個案誤差比較

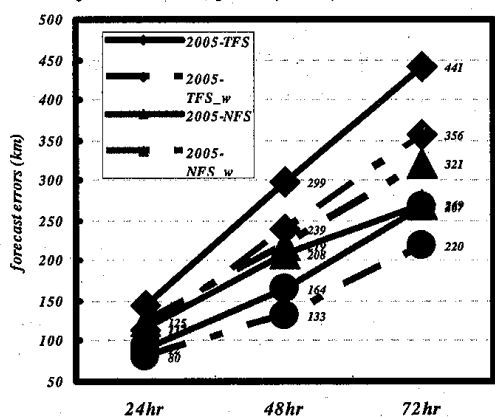


圖 2. NFS, TFS 模式與氣象局官方颱風路徑預測對 2005 年 5 月至 9 月進行均勻個案誤差比較

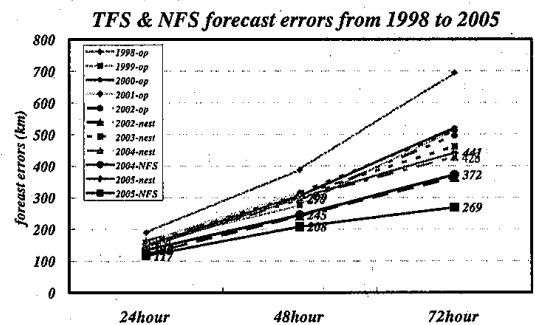


圖 3. 1998 年至 2005 年 TFS-OP、TFS-nest 與 NFS 之颱風預測路徑平均距離誤差

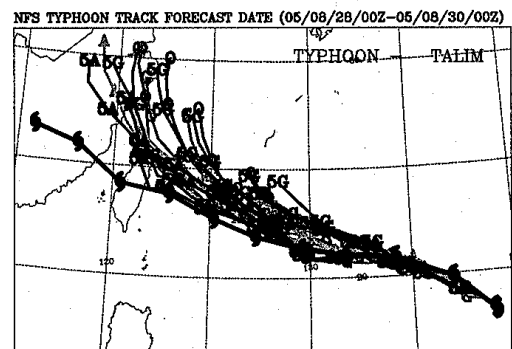


圖 4. NFS-OP(O)、NFS-GG(G)、NFS-AA(A)、NFS-5G(5G)及 NFS-5A(5A)對泰利颱風預測路徑與實際颱風移動路徑比較。

NFS(45KM) FORECAST WITH/WITHOUT DROPSONDE DATA

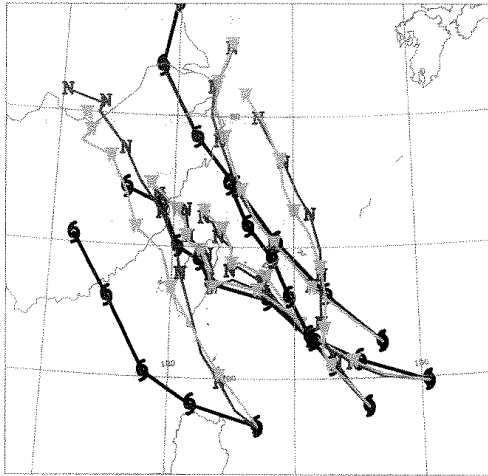


圖 5、實驗一在 NFS 模式客觀分析中加入(opdp、W)及未加入(opnodp、N)投落送觀測資料對 5 個案之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。

NFS(45KM) FORECAST WITH/WITHOUT DROPSONDE DATA

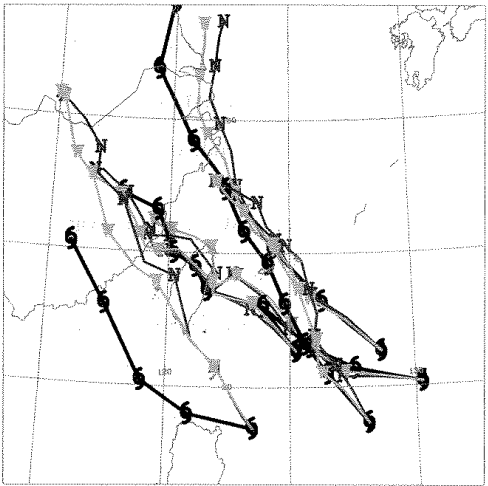


圖 7、實驗二在 NFS 模式客觀分析中加入(nbdp、W)及未加入(nbnodp、N)投落送觀測資料對 5 個案之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。

NFS(45KM) FORECAST WITH/WITHOUT DROPSONDE DATA

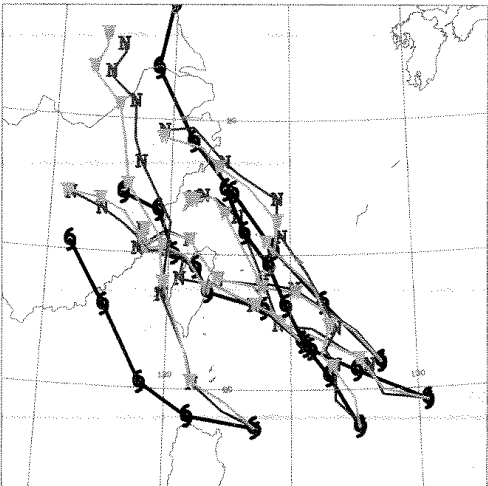
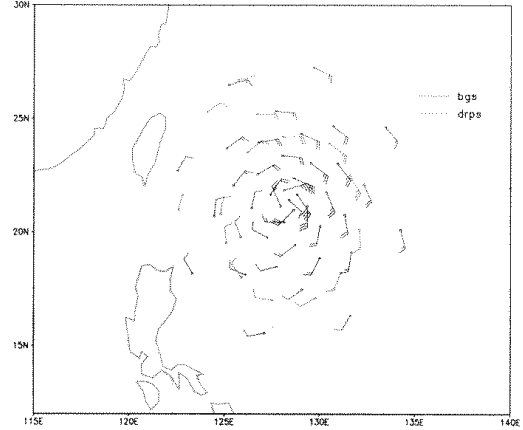


圖 9、實驗三在 NFS 模式客觀分析中加入(nbdp、W)及未加入(nbnodp、N)投落送觀測資料對 5 個案之 3 天預測路徑與實際颱風移動路徑比較。

05090912 850hPa wind



AFCES

2005-09-1

圖 6、2005/09/09/12UTC 卡努颱風個案中，NFS 模式虛擬渦旋觀測資料與投落送資料(紅色)在 850hPa 之風場分佈圖

05071600 drps 850hPa wind

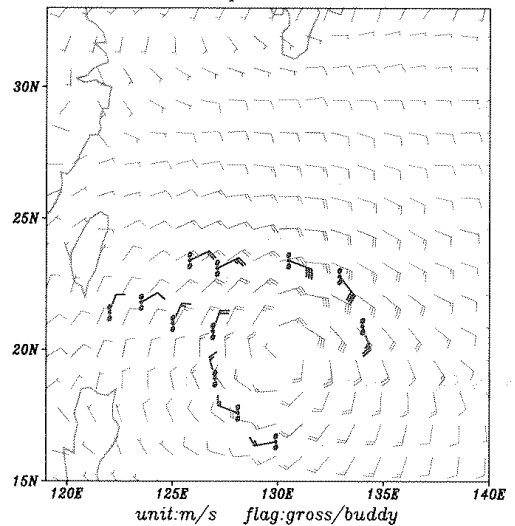


圖 8、為實驗二 2005/07/16/00UTC 海棠颱風個案中，NFS 模式未加入投落送觀測資料之客觀分析場與投落送資料(紅色)在 850hPa 之風場分佈圖。

05071600 drps 850hPa wind(cold)

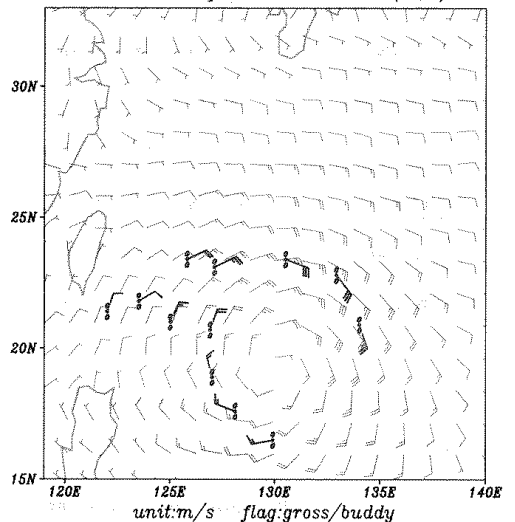


圖 10、為實驗三 2005/07/16/00UTC 海棠颱風個案中，NFS 模式未加入投落送觀測資料之客觀分析場與投落送資料(紅色)在 850hPa 之風場分佈圖。

NFS-GG	82	149	181	207	264	355
NFS-AA	63	141	194	223	257	326
NFS-5G	65	140	203	244	308	401
NFS-5A	63	133	182	205	249	316
Case number	43	42	41	40	39	36

表 1、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五組實驗設計。

	初始場	邊界條件
NFS-OP	NFS 前 6 小時之 6 小時預報場, 洋面及青康藏高原地區加入每 5 度一點之氣象局全球模式資料	來自氣象局全球模式內差
NFS-GG	來自氣象局全球模式內差	來自氣象局全球模式內差
NFS-AA	來自美國 NCEP 全球模式內差	來自 NCEP 全球模式內差
NFS-5G	同 NFS-OP 但加入每 5 度一點之 NCEP 全球模式資料	來自氣象局全球模式內差
NFS-5A	同 NFS-OP 但加入每 5 度一點之 NCEP 全球模式資料	來自 NCEP 全球模式內差

表 4、投落送觀測實驗個案時間表

颱風名稱	時間
海棠 (Haitang)	2005/07/16/00
海棠 (Haitang)	2005/07/17/00
馬莎 (Matsa)	2005/08/02/12
珊瑚 (Sanvu)	2005/08/11/12
卡努 (Khanun)	2005/09/09/12

表 5、NFS 模式對投落送觀測資料 3 組實驗設計表

	Initial field	Boundary condition	bogus	Dropsonde
opnodp	NFS update cycle	CWB GFS	with	without
opdp				with
nbnodp	NFS update cycle	AVN GFS	without	without
nbdp				with
anbnodp	AVN GFS	AVN GFS	without	without
anbdp				with

表 2、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	時間
陶卡基(Tokage)	04/10/14/12-04/10/16/00
尼莎(Nesat)	05/06/03/00-05/06/05/00
海棠(Haitang)	05/07/12/00-05/07/17/12
馬莎(Matsa)	05/07/31/12-05/08/04/12
珊瑚(Sanvu)	05/08/11/12-05/08/13/00
泰利 (Talim)	05/08/28/00-05/08/30/00
卡努(Khanun)	05/09/07/12-05/09/09/12

表 3、NFS 模式使用不同初始場、邊界條件對 2005 年 7 個
颱風 43 個案測試之平均路徑預報誤差(km)

	12h	24h	36h	48h	60h	72h
NFS-OP	73	153	212	242	320	416

表 6、NFS 模式對投落送觀測資料 3 組實驗之平均路徑預報
誤差(km)

	12h	24h	36h	48h	60h	72h
opnodp	63	126	143	183	192	226
opdp	65	111	131	175	195	241
nbnodp	88	135	183	170	169	140
nbdp	76	129	144	170	152	128
anbnodp	82	187	289	299	300	269
anbdp	76	175	271	276	277	268
Case no.	5	5	5	5	4	4