

# 追風計畫 (DOTSTAR) 投落送 (Dropsonde) 資料對於 颱風路徑數值模式模擬/預報之影響評估研究

周昆炫 吳俊傑\* 林博雄  
國立台灣大學大氣科學系

## 摘要

追風計畫 (DOTSTAR) 為西北太平洋地區在近年針對西北太平洋接近台灣地區的颱風所進行的先驅性飛機觀測實驗。在2002年為期一年的籌畫過程中，完成航管、通訊、與飛機租用與改造後，於2003-2004兩年間，已完成10颱風12架次的觀測，並成功量測190枚投落送資料。

本研究主要針對DOTSTAR於2004年的10個觀測個案，進行投落送資料對於模式路徑的影響評估研究。本研究總共使用三個全球模式 (NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM) 及兩個區域模式 (GFDL、WRF) 進行投落送資料影響的評估工作。在2004年10個個案的驗證中，除了GFDL模式外，所有模式於前72小時的驗證中均顯示將投落送資料同化至模式後，可以改善模式中颱風模擬的路徑誤差。平均而言，NCEP GFS的路徑誤差改善率約為15%左右，NOGAPS約在12%之間，而JMA GSM則為20%，至於區域模式WRF則有16%左右的路徑預報誤差改善。

雖然大部分的模式均顯示投落送對於路徑改善有正面的效果，由於目前的觀測個案仍有限 (只有10個)，因此只有NCEP GFS模式在預報時間第42、48小時，NOGAPS在第6小時，JMA GSM在第12、18、30、54小時，GFDL在第72小時與WRF模式在預報時間第12、18小時的路徑誤差改進達到90%以上的統計信心檢定 (Student氏單尾分配成對t-檢定)。但是若使用上述三個全球模式於各預報時間的系集平均進行檢定，則在6-72小時的預報中，將有83%以上的預報時間是達到90%的統計信心水準，平均改進達19%。未來在DOTSTAR持續進行更多觀測，我們預期將累計更多的個案，以更明確評估此投落送改善颱風路徑預報的成效。

關鍵字：追風計畫、投落送

## 一、前言

有鑑於歷年颱風屢屢重創台灣地區造成重大災害，颱風研究的重要性不容小覷，尤其是以颱風的路徑預報仍為颱風研究上的首要課題 (Wu and Kuo 1999; Wang and Wu 2003)。因此在國科會的資助下，台灣地區於2003年正式展開GPS投落送飛機偵察觀測實驗「追風計畫」 (Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region, DOTSTAR)，藉此取得颱風周圍最敏感地區的大氣環境資料，除可增進對颱風結構的瞭解外，亦能有效改進颱風路徑、強度及風雨分佈預報。關於追風計畫的詳細介紹可參考Wu et al. (2005a) 的研究計畫回顧與初步成果介紹。

此計畫配合學術界與氣象局資料同化技術，並與

美國 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)、HRD (Hurricane Research Division)、FNMOC (Navy's Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center) 及日本 JMA (Japanese Meteorological Agency) 進行研究合作。DOTSTAR 於2003-2004 期間飛行路徑主要是參考三種觀測敏感區域來規劃，包括(1) NCEP 之系集預報不確定性 (Aberson 2003)、(2) ETKF (Ensemble Transform Kalman Filter) 之特點變異性 (Majumdar et al. 2002)、(3) 美國海軍之奇異向量 (Singular Vector) 敏感位置圖。

DOTSTAR 計畫於2003年9月至今，追風計畫已針對杜鵑、米勒、妮妲、康森、敏督利、梅姬、艾利、米雷、納坦及南瑪都等10個颱風完成12航次之飛機偵察及投落送觀測任務，總計在颱風上空飛行57小時，並投擲190枚投落送。各任務的詳細觀測細節可參照表1。

表1: DOTSTAR 於2003-2004年飛機觀測任務介紹。颱風位置為JTWC分析之最佳路徑。模式驗證中A、N、J、G、W各代表NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM、GFDL及WRF數值模式。

\* Corresponding author address: Chun-Chieh, Wu, Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei, 106, Taiwan. e-mail: cwu@typhoon.as.ntu.edu.tw

Typhoon name	Position	Intensity (m s <sup>-1</sup> ) / Strength of TC	Observation time	Number of dropsondes	Model evaluation
Dujuan	20.9°N, 123.6°E	62.4/TY	06Z 01 Sep 2003	11	A/N/J/G
Melor	20.7°N, 120.6°E	31.2/TS	06Z 02 Nov 2003	15	A/N/J/G
Nida	15.2°N, 123.7°E	70.2/TY	12Z 17 May 2004	15	A/N/J/G/W
Conson	19.9°N, 120.1°E	46.8/TY	12Z 08 Jun 2004	16	A/N/J/G/W
Mindulle	17.4°N, 127.0°E	39.0/TY	12Z 27 Jun 2004	16	A/N/J/G/W
Mindulle	18.6°N, 125.0°E	59.8/TY	12Z 28 Jun 2004	16	A/N/J/G/W
Mindulle	18.9°N, 123.1°E	65.0/TY	12Z 29 Jun 2004	14	A/N/J/G/W
Megi	19.8°N, 129.8°E	20.8/TS	12Z 16 Aug 2004	16	A/N/G/W
Aere	23.8°N, 125.0°E	33.8/TY	12Z 23 Aug 2004	18	A/N/G/W
Meari	25.4°N, 129.0°E	57.2/TY	12Z 25 Sep 2004	17	A/N/G/W
Noek-Ten	26.3°N, 122.2°E	33.8/TY	12Z 24 Oct 2004	13	A/N/G/W
Nanmadol	17.9°N, 119.0°E	49.4/TY	00Z 03 Dec 2004	14	A/N/G/W

## 二、模式介紹

「追風計畫」與中央氣象局 (CWB)、美國海軍、美國海洋大氣總署的颶風研究中心、及日本氣象廳 (JMA) 等作業單位有密切合作關係，因此針對所進行觀測的颶風個案可獲得其作業上的全球模式 (包括 NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM 及 CWB GFS) 以及區域模式 (包括 GFDL、CWB NFS 颶風預報系統) 有無同化投落送資料的模式預報結果；此外，我們亦額外使用研究上廣泛使用的 MM5 及 WRF 模式進行投落送資料的影響評估工作。

本研究主要是依據 NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM、GFDL 與 WRF 模式進行評估 (CWB 模式之成果評估目前由其相關研究人員進行中)。其中 NCEP 及 NOGAPS 及 JMA 全球模式具有本身獨立之同化系統，可以將觀測資料同化至模式初始場中。以 NCEP GFS 為例，即透過 GDAS (Global Data Assimilation System) 系統將全球觀測資料同化至模式中。另外，本研究中 GFDL 與 WRF 模式的初始條件及邊界條件，是使用 NCEP GFS 模式的預報資料。此外，所有模式除了 NCEP GFS、WRF 模式之外，其他模式均進行渦旋植入 (bogusing) 的程序，藉以於初始場中呈現較適當之渦旋結構。以下為各模式之概要介紹：

### (1) NCEP GFS

NCEP GFS (Surgi et al. 1998) 為美國 NCEP 作業單位所使用的全球模式，目前每 6 小時進行一次作業預報。目前本研究所使用的 GFS 模式為 T254 的波譜模式，即水平方向約有 55 公里的解析度，而垂直方向從地表至模式頂層 2.7 hPa 共有 64 層不等間距的 sigma 座標垂直分層。模式使用 GDAS 系統來同化投落送資料，然後再將同化後的資料作為 GFS 模式的初始條件及邊界條件。GDAS 系統的運作程序包括觀測資料的品質管制、3DVAR 資料同化、渦旋 relocation 程序、以及 GFS 模式本身。

### (2) NOGAPS

NOGAPS (Hogan and Rosmond 1991) 模式為美國海軍作業單位所使用的全球模式，目前每 12 小時進行一次作業預報。研究中模式的水平座標為 T159 之波譜空間，水平解析度約為 80 公里，垂直座標為 sigma 座標，從地表至模式頂層 1.0 hPa 共 24 層。現行模式是以多變量最佳內差法來進行資料同化，而資料分析時所用的背景場是以前 6 小時的分析場來提供。此模式於預報初始場中亦採用颶風渦旋植入方

法。

### (4) JMA GSM

JMA GSM 模式為日本氣象廳作業單位從 1998 年使用至今的全球模式，目前每 6 小時進行一次作業預報。模式為 T213 的波譜模式，相當於水平方向約 60 公里的解析度，而垂直方向從地表至模式頂層 0.4 hPa 共有 40 層不等間距的 sigma 座標分層。在觀測資料處理方面，JMA 使用 3DVAR 系統來進行每天四次的資料同化循環來同化觀測資料。模式的分析場中亦進行渦旋植入程序處理，即由經驗公式根據觀測參數決定颶風的氣壓場、溫度場、風場於模式初始場的分布情形。關於此模式及資料處理細節可參考：

[http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline-nwp/index.htm](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline-nwp/index.htm)。

### (4) GFDL 颶風預報系統

美國 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颶風預報系統為原始方程模式，具有三層巢狀網格，為一區域模式。水平解析度最外層為 1 度，中層為 1/3 度，最內層為 1/6 度。垂直為 18 層分佈的 sigma 座標。模式部分包括本身特有的颶風渦旋植入方法 (Kurihara et al. 1998)。本模式本身並沒有獨立的資料同化系統，因此進行投落送資料影響評估實驗時，是間接使用 NCEP GDA 有無同化投落送資料的結果來作為模式的初始及邊界條件。

### (5) WRF 模式

WRF 模式為美國各氣象研究中心所共同研發的新一代中尺度數值模式，此模式除了可以針對實際中小尺度天氣系統的模擬能力外，亦於模式中建立理論模式的研究模組，藉以作為學術研究上的測試平台。此外模式亦規劃完整的 3DVAR、4DVAR 資料同化模組，以提供模式較理想的初始場，進而提升作業單位的數值模擬。本研究中額外使用 WRF 模式進行區域模式之投落送資料影響評估，藉以更深入瞭解投落送使用於中尺度模式中之表現情形。研究中所使用的網格水平解析為 54 公里，東西、南北方向分別為 161、121 個網格點；垂直網格為 sigma 座標，層數為 31 層。研究中模式積分所使用的初始場及側邊界條件乃由 NCEP GFS 模式的有無同化投落送的結果內差所提供。

## 三、結果

本研究將針對 2004 年的觀測結果，即 8 個颶風、10 個個案，進行投落送資料對颶風路徑影響之評估研究。

### (一) 投落送資料對於颶風初始場之影響

首先我們先介紹投落送資料對於颶風中心附近結構的影響情形，如圖 1a 所示。圖中顯示在米雷颶風的個案中 NCEP GFS 模式在同化投落送資料於颶風附近所造成的深層平均風場改變情形，可以發現其改變量最明顯的地區大部分位於投落送拋投的位置，但其改變量值並不固定，以颶風中心的南側較為明顯，最大風速差異量接近 4 m s<sup>-1</sup>，而北側的深層平均風場

則稍微減弱。至於另一模式 NOGAPS 在同化投落送後的深層平均風場變化如圖 1b 所示，可以發現其風場改變量最明顯的區域同樣位於投落送拋投的位置，然而若與 NCEP GFS 相比較，可以發現其平均風場改變量值明顯較少，且颱風中心北側深層平均風場並無減弱的情形出現。進一步分析所有模式與個案的深層平均風場改變情形後，得知此由於同化投落送資料所造成的改變量並不是固定不變的。我們發現這些風場改變的差異情形跟投落送的位置與其他觀測資料的空間位置有關，而模式中進行資料同化的方法亦會對風場改變量造成影響，此外模式中對於颱風進行渦旋處理的方法亦有相當程度的影響。

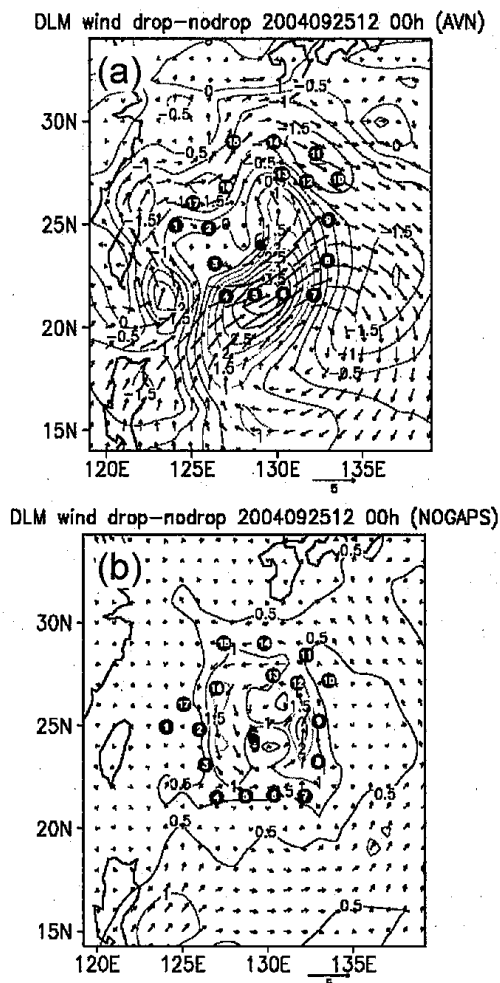


圖 1：米雷颱風個案，模式初始場有無同化投落送實驗之深層平均風場（925-250-hPa）差異，單位為  $\text{m s}^{-1}$ 。(a) 為 NCEP GFS 模式；(b) 為 NOGAPS 模式。黑色數字點掉表投落送投擲位置與順序。

## (二) 全球模式之颱風路徑預報影響

NCEP GFS 模式針對 DOTSTAR 個案中所進行的投落送資料影響評估研究中，以米雷颱風的模擬路徑差異最為顯著，如圖 2a,b 所示，可以發現當有同化投落送資料的實驗中，模式模擬路徑的轉向點將改善，且原先會登陸台灣的模擬路徑亦不存在。路徑誤差於模式積分 72 第小時最大可減少約 400 公里，而整體的路徑誤差減少率則在 15%~50% 之間。

米雷颱風是 DOTSTAR 所有觀測個案中路徑預報改善最顯著的個案，然而並不是所有的觀測個案都有如此顯著的成效，多數的結果是呈現些微改善的情形。而最壞的個案則為敏督利颱風第三次的觀測個案（圖 2c,d 所示），模式於積分第 60 小時的模擬路徑誤差增加 150 公里左右，而平均路徑改善率在 102 小時的驗證時間中，約為 -40% 至 -50% 之間。我們認為米雷與敏督利兩個案未來都有值得進一步研究的空間，不論是就颱風路徑模擬、投落送資料運用的角度均具有正面的助益。

NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM 全球模式針對 2004 年（8 個個案、10 個颱風）DOTSTAR 個案所進行的統計評估結果如表 2 所示。首先由 NCEP GFS 的結果顯示，當模式中同化投落送資料後，模式除了第 60 小時外，其餘各預報時間的路徑誤差明顯減少。若只針對前 72 小時的路徑誤差而言，平均路徑改善率約為 15% 左右。雖然此結果顯示投落送資料可以減少 NCEP GFS 模式的颱風路徑預報誤差，但由於目前驗證的個案只有 10 個，因此路徑誤差改善率只有預報時間的第 42、48 小時通過 90% 的 T-TEST 統計顯著性檢定（表 2 粗體數字部分）。至於在 NOGAPS 模式的統計結果上，模式於前 72 小時的路徑改善情形均呈現正面的效果，平均的路徑誤差改善約有 12%。值得一提的是，NOGAPS 模式在 72 小時時候的路徑誤差改善率會明顯變為負值（圖未示），這是因為 2004 年大部分的颱風個案在 DOTSTAR 觀測的前後均有明顯轉向往北的特徵，進而造成初期較大的路徑誤差在模擬的後期會被修正。

另外，若進行 NOGAPS 路徑誤差改善的統計檢定，可以發現只有在模式積分的第 6 小時，可以通過 90% 的信心水準。最後另一全球模式 JMA GSM 的統計結果方面，可以發現此模式對於投落送資料的影響亦相當正面，幾乎在所有預報時間的投落送資料對於颱風路徑預報改善都是正的，模式前 72 小時的平均路徑誤差改善率約為 20% 左右。雖然此誤差改善已相當明顯，但受限於 JMA 並沒有足夠的人力及計算資源來延續此研究工作，因此 GSM 模式於 2004 年只有進行 5 個個案的投落送資料影響評估，因此其統計上的顯著性仍不確定，只有模式積分第 12、18、30 與 54 小時通過 90% 的統計顯著性檢定（表 2）。

最後，此路徑誤差統計結果值得注意的是，由於有些颱風接近台灣地區時，會受到台灣地形及環境流場因素的影響，因而造成颱風在飛機觀測不久候即減弱消散，所以大部分的颱風只能驗證至 72 小時。另外，路徑統計表很多不連續的點是由於個案數過少，進而造成某些時間的結果容易被部分個案所影響。以 NCEP GFS 第 48、54、60 小時的模擬結果為例，模式路徑誤差改善率分別為 27、4、-5%，此結果是因為梅姬颱風個案只驗證至 48 小時所造成。此外，梅姬颱風於 NOGAPS 模式中也只能驗證至 72 小時，這也造成模式於 72 小時時候路徑誤差改善由正轉負的主因。

## (三) 區域模式之颱風路徑預報影響

DOTSTAR 資料影響在區域模式的驗證中，本研究中使用 GFDL 及 WRF 模式來進行，其 2004 年 10 個案的統計平均結果如表 2 所示。在 GFDL 模式的結果中，在 12-48 小時的這段期間，投落送資料在 GFDL 模式中的影響呈現負面的效果，其平均路徑誤差增加 10%-15% 左右。然而模式在 48 小時之後的統計結果，其路徑誤差則由負轉正，平均路徑誤差約可以減少 15 至 25%，因此前 72 小時的整體平均路徑誤差改善則為 0%。雖然 GFDL 模式在前期的影響呈現負值，但其統計上的顯著性並不大。另外，關於資料影響由負轉正的原因應該與 NOGAPS 模式相同，即部分颱風個案轉向往北的移動路徑有關。

至於 WRF 模式的驗證中，10 個案的平均統計結果可以發現。在 72 小時的模式驗證中，所有預報時間均顯示投落送資料可以減少模式的颱風路徑預報誤差，其整體的平均路徑改善約有 16% 左右。然而，同樣由於目前個案數過少，因此只有在預報時間第 12、18 小時通過 90% 信心水準的統計檢定（如表 2）。

#### （四） 系集平均颱風路徑預報成效

雖然大部份模式的成果均顯示投落送資料可以減少模式的颱風路徑誤差，但由於 DOTSTAR 目前可進行驗證的觀測個案只有 10 個，因此這些正面結果並無法完全達到統計上的可信度。是以我們將每個預報時間中三個全球模式的系集平均結果進行計算。此方法的平均統計結果如表 2 最後一列所示，可以發現投落送資料減少模式路徑誤差於各預報時間達到 90% 統計信心水準達到 83%，而所有模式個案前 72 小時的平均路徑誤差減少率約在 19% 左右。

## 四、結論

DOTSTAR 為西北太平洋地區在美國空軍於 1980 年代後結束颱風觀測任務後，再次進行的飛機觀測實驗。在 2002 年為期一年的籌畫過程中，克服航管、通訊、與飛機租用與改造，我們於 2003 年順利開始執行任務，計畫執行迄今，已經完成 10 颱風 12 架次的觀測，共成功拋投 190 枚投落送。

本研究主要針對 DOTSTAR 於 2004 年的觀測個案進行投落送資料對於模式路徑的影響評估研究。本研究中總共使用三個全球模式（NCEP GFS、NOGAPS、JMA GSM）及兩個區域模式（GFDL、WRF）進行模式的驗證工作。在 2004 年 10 個個案的驗證中，於模式前 3 天的的驗證中，除了 GFDL 模式外，其餘的模式均顯示當模式中考慮投落送資料進模式後，將改善模式的路徑誤差。但由於目前的觀測個案只有 10 個，因此只有 NCEP GFS 模式在預報時間第 42、48 小時，NOGAPS 在第 6 小時，JMA GSM 在第 12、18、30、54 小時，GFDL 在第 72 小時與 WRF 模式在預報時間第 12、18 小時的路徑誤差改進達到 90% 以上的統計信心檢定（單尾 Student 氏 t 分配成對 t-檢定）。但是若將三個全球模式於各預報時間的系集平均結果進行檢定，則在前 72 小時的預報中，有 83% 以上的預報時間是達到 90% 的統計信心

水準、且平均改進達 19%。我們相信未來 DOTSTAR 累計更多的觀測個案後，屆時此投落送改善颱風路徑預報的影響成效將更明確。

進一步分析 WRF 模式的模擬結果，我們發現大部分的路徑結果與 NCEP GFS 一致，此結果乃由於本研究中是採用 NCEP GFS 的模擬資料作為 WRF 模式的初始及邊界條件，且並未額外進行任何投落送資料同化與渦旋植入程序所造成。此結果顯示於中小尺度的颱風路徑模擬中，模式初始場乃是影響區域模式模擬結果的關鍵角色。然而，同樣以 NCEP 為模式初始場的 GFDL 模式，則出現投落送資料無法對颱風路徑模擬改善的情形。此 GFDL 模式表現不佳的現象，HRD 在過去兩年於東太平洋與大西洋的模式驗證中亦呈現相同的情形。我們初步認為這個問題是由於 GFDL 本身的渦旋植入程序初始場中的投落送資料所造成。

儘管多數模式均顯示投落送資料的成效，但由於 GFDL 目前已是多數官方作業單位使用的動力模式參考指標之一，因此渦旋植入與投落送資料不能相容的問題，未來仍有待更進一步釐清與突破。另外本研究中使用的 NOGAPS 及 JMA GSM 全球模式亦於初始場中進行渦旋植入的程序，然而兩模式進行投落送資料的評估結果均顯示正面效果，因此上述投落送資料與人為渦旋資料相互干擾的問題似乎在這兩個模式並不存在。在檢查兩模式的渦旋植入程序後，發現由於投落送資料的同化是在模式進行渦旋植入之後，因此投落送資料可以正確存在於初始場中，近而影響其後續模式預報結果。

我們亦已使用 MM5 及 WRF 模式，透過其本身的 3DVAR 同化系統來探討投落送資料應用於區域模式的颱風路徑模擬所產生的影響。我們預期透過單一個案的深入研究，將更能力釐清投落送資料同化至模式中的成效與可能出現的問題，我們將在另一文章中詳細介紹此研究成果（黃等，2005）。另一有趣的科學議題則是策略性觀測的相關研究（Wu et al. 2005b），此一問題也是 DOTSTAR 的研究重點。

## 致謝

本研究十分感謝 HRD 的 Dr. Sim Aberson、FNMOCC 的 Dr. Melinda Peng、JMA 的 Dr. Shimbori 協助進行 NCEP GFS 與 GFDL、NOGAPS、JMA GSM 模式對於 DOTSTAR 觀測個案的投落送資料評估模擬實驗資料。

## 參考文獻

- 黃葳芃、吳俊傑、林博雄，2005：追風計畫(DOTSTAR) 投落送資料對康森颱風(2004) 路徑數值模擬的影響探討。九十四年天氣分析與預報研討會論文彙編。
- Aberson, S. D., 2003: "Targeted observations to improve operational tropical cyclone track forecast guidance", *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1613-1628.
- Hogan, T. F., and T.E. Rosmond, 1991: "The description

- of the Navy Operational Global Atmospheric Prediction System's Spectral Forecast Model", *Mon. Wea. Rev.*, 119, 1786-1815.
- Majumdar, S. J., C. H. Bishop, B. J. Etherton and Z. Toth, 2002:"Adaptive sampling with the Ensemble Transform Kalman Filter. Part II: Field program implementation", *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1356-1369.
- Surgi, N., H.-L. Pan, and S. J. Lord, 1998:"Improvement of the NCEP global model over the Tropics: An evaluation of model performance during the 1995 hurricane season", *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1287-1305.
- Wang Y., and C.-C. Wu, 2003:"Current understanding of tropical cyclone structure and intensity changes - A review", *Meteor. Atmos. Phys.*, 87, 257-278, DOI: 10.1007/s00703-003-0055-6.
- Wu, C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999:"Typhoons affecting Taiwan: Current understanding and future challenges", *Bull. Amer. Met. Soc.*, 80, 67-80.
- Wu, C.-C., and Coauthors, 2005a:"Dropsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An overview", *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 787-790.
- Wu, C. C., P. H. Lin, J. H. Chen, and K. H. Chou., 2005b:"Targeted Observations of Tropical Cyclones Based on the Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector", Submitted to *Geophys. Res. Lett.*

## **The impact study of dropsonde data on tropical cyclone track forecasting in DOTSTAR**

**Kun-Hsuan Chou, Chun-Chieh Wu, Po-Hsiung Lin  
Department of Atmospheric Science, National Taiwan University**

### **Abstract**

DOTSTAR (Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region) is an international research program conducted by meteorologists in Taiwan partnered with scientists at the Hurricane Research Division (HRD) and the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

The DOTSTAR research team initiated the typhoon surveillance in 2003. During 2003 to 2004, 12 missions (10 typhoons and 190 dropwindsondes deployed) had been successfully conducted. Five models (4 operational and 1 research models) were used to evaluate the impact of the dropwindsonde on tropical cyclone track forecasting.

Based on 10 cases of model evaluation, the statistic results indicate that all models, except GFDL, show positive impact of the dropsonde data on the tropical cyclone track forecasting. In the first 72 hours forecasting, the mean track error reduction in three operational global models, NCEP GFS, NOGAPS and JMA GSM, is 15, 12, and 20% individually. The track error reduction in WRF regional model is 16%. However, there is no mean track improvement in the GFDL model.

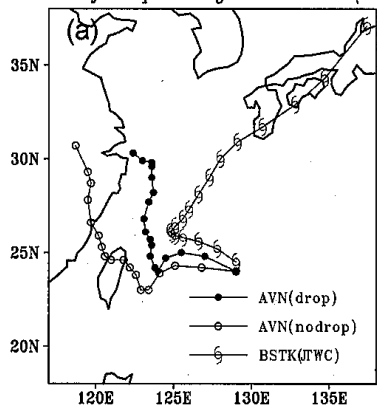
The Student t-test is applied to examine the significance of above track error reduction. It is found that only NCEP GFS model at 42, 48 h; NOGAPS at 6 h; JMA GSM at 12, 18, 30, 54 h, GFDL at 72 h and WRF model at 12, 18 h reached the statically significant at the 90% level. The 6-72-h averaged track error reductions from the ensemble averages of the three global models are 19%, while 83% of the forecasting times showing error reduction passes the Student-t test at the 90% significance level.

Key word: DOTSTAR, Dropwindsonde

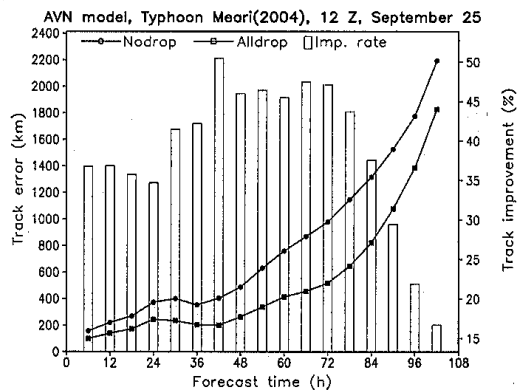
表 2：投落送資料對於各模式颱風路徑模擬改善統計表。路徑誤差（只顯示無同化投落送資料實驗）為與 JTWC 分析最佳颱風路徑計算求得。數值中粗體者代表該預報時間的計算結果達 90% 的統計信心水準。

Model		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	mean
NCEP GFS	Mean track error (km)	52	76	98	133	167	171	<b>212</b>	<b>246</b>	232	246	313	294	187
	Improvement (km)	2	16	13	11	43	42	<b>67</b>	<b>65</b>	9	-13	13	52	27
	Improvement (%)	5	21	13	9	26	24	<b>32</b>	<b>27</b>	4	-5	4	18	15
	Case number	10	10	10	9	9	9	<b>8</b>	<b>8</b>	7	7	7	6	
NOGAPS	Mean track error (km)	<b>58</b>	95	131	167	218	253	281	367	445	527	624	501	306
	Improvement (km)	<b>8</b>	14	17	12	21	21	5	23	61	117	146	65	43
	Improvement (%)	<b>14</b>	15	13	7	10	8	2	6	14	22	23	13	12
	Case number	<b>10</b>	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	7	
JMA GSM	Mean track error (km)	46	<b>80</b>	<b>114</b>	151	<b>203</b>	223	269	355	<b>411</b>	460	590	405	276
	Improvement (km)	9	<b>25</b>	<b>19</b>	37	<b>68</b>	43	57	76	<b>81</b>	67	104	55	54
	Improvement (%)	19	<b>32</b>	<b>17</b>	25	<b>33</b>	19	21	21	<b>20</b>	14	18	14	20
	Case number	5	<b>5</b>	<b>5</b>	5	<b>5</b>	5	5	5	<b>5</b>	5	5	4	
GFDL	Mean track error (km)	28	53	76	92	132	163	164	209	243	276	333	<b>270</b>	170
	Improvement (km)	1	0	-11	-18	-12	-16	-32	-16	16	39	46	<b>67</b>	5
	Improvement (%)	4	-2	-15	-20	-9	-9	-19	-7	6	14	14	<b>25</b>	0
	Case number	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	<b>7</b>	
WRF	Mean track error (km)	54	<b>91</b>	<b>125</b>	154	185	218	292	212	253	260	301	336	207
	Improvement (km)	0	<b>21</b>	<b>30</b>	35	41	47	85	20	31	19	34	30	33
	Improvement (%)	0	<b>24</b>	<b>24</b>	23	22	22	29	9	12	7	11	9	16
	Case number	10	<b>10</b>	<b>10</b>	9	9	9	8	7	7	6	6	6	
Global Model Ensemble Mean	Mean track error (km)	<b>56</b>	<b>87</b>	<b>116</b>	153	<b>196</b>	<b>216</b>	<b>255</b>	<b>322</b>	<b>394</b>	<b>460</b>	<b>572</b>	549	281
	Improvement (km)	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	19	<b>41</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>59</b>	<b>66</b>	<b>87</b>	<b>121</b>	112	53
	Improvement (%)	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	12	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	20	19
	Case number	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	9	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	7	

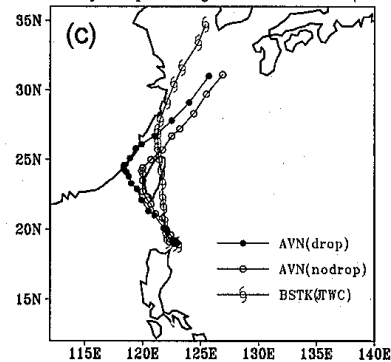
Tracks of Tropical Cyclone Meari (2004)



(b)



Tracks of Tropical Cyclone Mindulle (2004)



(d)

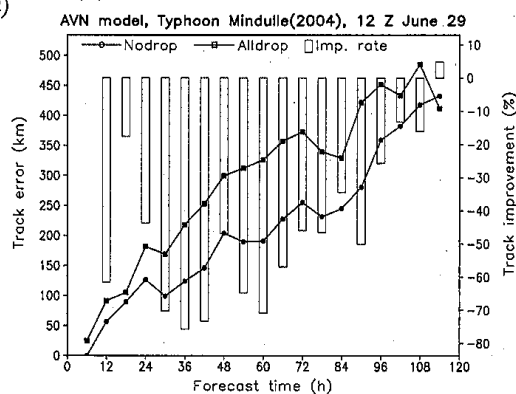


圖 2：(a) 與 (c) 分別為米雷、敏督利颱風的 JTWC 颱風路徑與 NCEPGFS 有無投落送資料模擬颱風路徑。(b) 與 (d) 則為路徑誤差隨時間的變化圖，圓(方)點為無(有)投落送實驗，直條為路徑改善率。