

# 利用 MM5 4DVAR 模式和加入福衛三號及虛擬同化資料來研究珊珊颱風個案

吳俊澤 黃清勇

國立中央大學大氣物理研究所

## 摘要

本研究同時採用中尺度數值預報模式 MM5 及其 4DVAR 系統 (MM5-adjoint 模式), 探討福衛三號 GPS 掩星反演折射率資料同化與加入的虛擬渦旋資料同化 (bogus data assimilation, BDA), 了解颱風初始分析場的改進對珊珊颱風預報的影響。結果發現加入虛擬渦旋 (僅海平面氣壓) 同化為初始觀測場, 可以提供較為接近實際的強勁颱風, BDA 主宰對預報的影響, 明顯改善了路徑提早北偏的現象, 逐日降雨量和 72 小時路徑預報上都有優越的表現。而折射率探空資料同化則對環境熱力水汽場有些影響, 但基本上遠不及 BDA 的顯著效果。未來的研究將結合更多資料的同化, 期望能對於颱風路徑和降雨強度預報的模擬能更加精確地掌握。

## 一、前言

台灣是亞熱帶地區的一個海島, 每年從 5 月開始到 10 月都可能受到颱風的侵襲。台灣所有的氣象災害之中, 以颱風的影響為最大。西北太平洋是全球熱帶氣旋活動最旺盛的地區, 平均每年約有 25.7 個颱風生成 (Neumann, 1993); 台灣位處於西北太平洋之濱、颱風路徑之要衝, 平均每年有 3-4 個侵台颱風, 約 6 個對台灣有影響的颱風 (謝等, 1998)。李 (1988) 調查分析台灣位於太平洋西濱, 幅原雖然不大, 但因為是在颱風移動的主要路徑之上, 平均每年約有 6 個左右颱風影響台灣和附近海域, Yeh and Elsberry (1993) 更進一步分析之中更有 2 至 3 個颱風其中心直接侵襲台灣。Willoughby (1995) 認為各颱風雖有其特異而複雜的中尺度結構, 但颱風之暴風雨大多集中於中心附近, 因此準確的路徑預報成為颱風預報的關鍵。

本研究亦使用 4DVAR 來探討資料同化對颱風路徑及強度預報的影響。4DVAR 同化為最具有效和最具有吸引力的方法之一, 其以估計理論 (estimation theory) 為基礎, 且能最小化 (minimization) 分析資料的偏差, 並且構成此變分分析 (variational analysis) 的理論基礎 (Gelb, 1980)。這個數學處理方法可得到一理想的分析解, 並提供於資料分析。由於模式會受到物理及動力方面的限制, 將所有資料同化為一時間窗內, 藉以改善初始場, 對於模式積分的結果將有所助益。此方法 (4DVAR) 藉由模式的調整過程, 透過不斷地積分計算, 直到找到一最佳的解, 使資料與分析變數的誤差最小化。

## 二、研究方法與實驗設計

MM5 4DVAR 主要是建構在 MM5 非靜力中尺度模式上的四維變分資料同化系統。此系統可以將所有資料同化為一時間窗區內, 藉由模式的調整過程, 使資料與分析變數的誤差達到最小值, 來改進模式的初始分析場, 使其更接近實際的大氣狀態而提高數值模式預報的準確度。

MM5 4DVAR 在變分問題的數學處理上, 採用一個客觀函數的最小化 (即 cost function 價值函數), 定義為如下:

$$J = \frac{1}{2} [x(t_0) - x_b]^T B^{-1} [x(t_0) - x_b] + \sum_{t_i \in (t_0, t_R)} \frac{1}{2} [h(x(t_i)) - y_{obs}]^T O^{-1} [h(x(t_i)) - y_{obs}]$$

其中

$x_b$  是背景場,

$y_{obs}$  是觀測場,

$B$  是背景誤差協方差矩陣,

$O$  是觀測誤差協方差矩陣,

$h$  是觀測運算子,

$t_R$  是同化資料窗區的時間長度。

在背景誤差方面, 是根據 NMC 方法 (24 小時預報減去 12 小時預報之差異統計) 得到背景誤差項。此外在海平面觀測誤差方面, 使用權重係數為 0.2 hPa。GPS 掩星觀測折射率誤差與 Huang et al. (2005) 同, 近地面為 3% (約 10 N-unit), 且與高度呈指數遞減。

而在虛擬資料同化 (BDA) 的部份, 則是使用

Fujita(1952)的經驗公式與 Park and Zou (2004)的線性關係式，來導入海平面氣壓（颱風部分），其定義如下：

$$P_0(r) = P_c + \Delta P \left\{ 1 - \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \right\}$$

其中

$$\Delta P = P_\infty - P_c,$$

$P_c$  是颱風中心氣壓，

$P_\infty$  是離中心無窮遠處的氣壓，

$R_0$  是最大氣壓估計半徑，

$r$  是渦旋的半徑， $0 \leq r \leq R_{out}$ ，

$R_{out}$  是海平面閉合等壓線最外圈的半徑，

$$R_0 = 0.38 R_{34kt} - 3.8 \quad (\text{Park and Zou, 2004})$$

其中

$R_{34kt}$  是 34-kt 風速的半徑，可由觀測來推估。

本研究對 2006 年的中度颱風珊珊做模擬。使用 MM5 3.7 版及 4DVAR 同化系統，將 FORMOSAT-3 衛星掩星資料（折射率探空）同化於模式中。在網格內使用 Grell 的積雲參數化及 Medium-Range Forecast(MRF)的邊界層參數化。使用兩層巢狀的網格，都是 151x151、垂直為 23 層，而一個是解析度 45 公里的網格，另一個是解析度 15 公里的網格。其初始模擬的時間為 2006 年 9 月 14 日 0000UTC，進行 72 小時的預報。

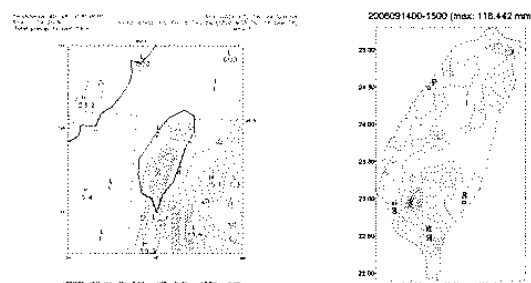
此實驗模擬設計有純粹只從 MM5 所得到的初始分析場及預報場、只有加入虛擬渦旋的初始場 (BDA)與加入虛擬渦旋和衛星同化資料(BDA+GPS)的初始場。此加入 GPS 即同化 FORMOSAT-3 衛星資料，是在同化時間窗區內加入不同時間及位置的資料。在做 BDA 時，是加入海平面颱風氣壓為觀測場，每 3 分鐘導入一次，導入時間共 30 分鐘，其間假設颱風中心不隨時間移動，如 Zou and Xiao (2000)及 Xiao and Zou (2000)，同化效果甚佳。

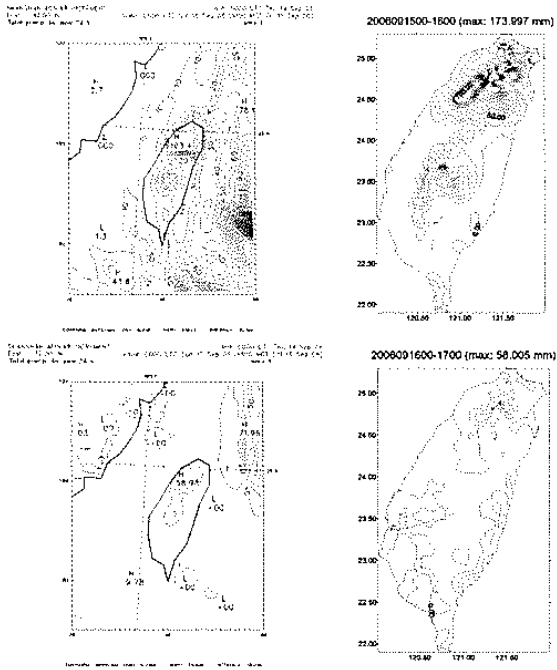
### 三、結果與討論

結果發現加入虛擬渦旋(僅海平面氣壓)為初始觀測場的方法 (BDA)，可以提供較為接近實際情形的強勁颱風，主宰對預報的影響，明顯改善了路徑提早北偏的現象，逐日降雨量（如圖一）和 72 小時路徑預報（如圖二）上都有優越的表現，其結果如圖所顯示。同時同化折射率資料則對環境熱力水汽場有些影響，但基本上遠不及 BDA 的顯著效果。未來的研究將結合更多資料的同化，期望能對於颱風的模擬能更加精確地掌握，對颱風路徑和降雨強度預報到以提供更有效的防災資訊及技術。

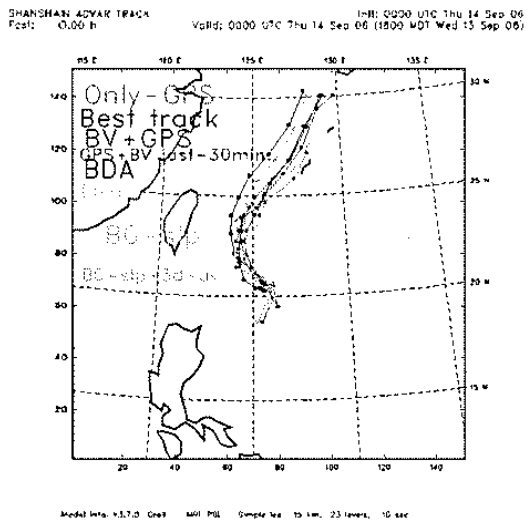
### 四、參考書目

- 李清勝，1988：“台灣地區颱風路徑之預報分析”，大氣科學, 16, 133-139。
- 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降，1998：百年侵台颱風路徑圖集及其應用。中央氣象局,台北。
- Fujita, T., 1952: “Pressure distribution within a typhoon.” *Geophys. Mag.*, 23, 437-451.
- Gelb, A., 1980: *Applied Optimal Estimation*. The M. I. T. press, Cambridge, MA.
- Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo, S.-H. Chen and F. Vandenberghe, 2005: “Improvements on typhoon forecast with assimilated GPS occultation refractivity.” *Weather and Forecasting*, 20, 931-953.
- Neumann, C. J., 1993: *Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. Global overview. *Chapter 1*, WMO, 1.1-1.56
- Park K. and X. Zou, 2004: “Toward developing an objective 4DVAR BDA scheme for hurricane initialization based on TPC observed parameters.” *Mon. Wea. Rev.*, 132, 2054-2069.
- Willoughby, H. E., 1995: Mature structure and evolution. *Chapter 2, Global Perspectives on Tropical Cyclones*. WMO/TO-No.693, WMO, 21-62。
- Xiao, Q., X. Zou, and B. Wang, 2000: “Initialization and simulation of a landing hurricane using a variational bogus data assimilation scheme.” *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2252-2269.
- Yeh, T.-C. and R. L. Elsberry, 1993: “Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part: Upstream track deflections.” *Mon. Wea. Rev.*, 121, 3193-3212.
- Zou, X., and Q. Xiao, 2000: “Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme.” *J. Atmos. Sci.*, 57, 836-860.





圖一 珊珊颱風逐日的雨量預報和觀測降雨量，由上往下分別是 24、48、72 小時。



圖二 珊珊颱風 72 小時路徑的預報，分別有最佳路徑、加入 BDA 或 GPS 的資料和僅用 AVN 分析場的模擬。