

利用 MM5 4DVAR 模式和加入福衛三號及虛擬同化資料來

研究颱風個案珊珊

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:

$$J = \frac{1}{2} [x(t_0) - x_b]^T B^{-1} [x(t_0) - x_b] + \sum_{t_r (r=0, R)} \frac{1}{2} \{h[x(t_r)] - y_{obs}\}^T O^{-1} \{h[x(t_r)] - y_{obs}\}$$

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_∞ 是離中心無窮遠處的氣壓，

R_0 是最大氣壓估計半徑，

r 是渦漩的半徑， $0 \leq r \leq R_{out}$ ，

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 151×151、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、只有加入虛擬渦漩的初始場(BDA)與加入虛擬渦漩和衛星同化資料(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，逐日降雨量和 72 小時路徑預報上都有優越的表現。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

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。

李清勝，1988: 台灣地區颱風路徑之預報分析, 大氣科學, **16**, 133-139。

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 overview. *Chapter 1, Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. 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.