

四維資料同化對淺水颱風路徑預報模式之影響研究

呂致穎 張忍成

中國文化大學大氣科學系

摘要

本文利用變分同化技術應用在淺水方程模式對颱風路徑預報中，對納莉 (Nari) 颱風做個案分析。實驗的設計與林 (2003) 類似，主要的差異在 (1) 將同化的時窗改回至前 12 小時；(2) 擴大目標函數的定義空間。

實驗的選擇則以張等 (2001) 的基本實驗為主，實驗 5 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦漩，並由此得到一個新的初始場；實驗 8 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦漩，並同時逼近同化時窗的兩個端點，由此得到一個新的初始場。

就平均路徑誤差而言，發現實驗 5 和實驗 8 的實驗結果並沒有如預期的改善颱風路徑預報的準確度，只有在前 12 小時的模擬結果能有接近實際觀測路徑的表現，之後就跟 SW 的實驗一樣往北邊行進了。另外也發現實驗 8 的颱風行進速度比實驗 5 來得快，所以其平均誤差都比實驗 5 來得大。

由於此相當正壓模式，對中緯度地區的模擬不甚理想。未來期望透過加入 Derber (1989) 所提出的 VCA 同化技術概念，藉由找到最佳外力函數來修正系統性誤差，來探討是否可改善對颱風路徑預報的準確度，並找出其可以改善的原因。

關鍵字：變分同化、伴隨 (adjoint) 理論、淺水方程

一、前言

台灣位處西北太平洋邊緣，在各類天然災害中，以夏秋兩季的颱風影響最甚。平均來說，中央氣象局一年約對 3 至 4 個颱風發佈警報。然而，颱風所挾帶而來的強風和豪雨對人民的生命和財產有著極大的威脅。這使得必須找到一個良好的預報方法來正確地預報颱風路徑，以期能及早防範颱風所帶來的災害。自從 1962 年以來，中央氣象局對颱風路徑預報的 24 小時平均誤差為 177 公里；而 1997 年至 2001 年這五年的 24 小時平均誤差

為 133 公里。雖然有所改進，但由於台灣面積狹小、地形複雜，以致於常有「失之毫釐，差之千里」的缺憾。因此，正確地預報颱風路徑為一項不可或缺的重要工作。

利用伴隨技巧的四維變分同化系統，可產生逼近時間上連續之觀測又符合模式本身動力演化的初始解，在改善颱風模式之路徑預報上深具潛力，如 Bennet et al. (1993)、DeMaria and Jones (1999) 等均積極以正壓模式在這方面做嘗試；另一方面，由於四維變分同化應用在複雜模式上非常耗費電算資源，因此希望利用較簡單

的淺水方程預報模式來降低電算資源的浪費。

本研究利用一個較簡單的淺水颱風路徑預報模式經由加入伴隨理論的步驟，再經過最小化的處理來得到一個包含四維資料同化理論的數值淺水颱風路徑預報模式。運用此模式，可以有兩種同化的方法：一是假設預報模式是完美的，造成預報誤差主要是來自於初始場的誤差，如此以改進初始場為目標即是傳統的 adjoint 同化方式。另一種是假設觀測初始場是正確的，而預報誤差主要是來自於模式動力上的不足，如 Derber (1989) 所提出 VCA (Variational Continuous Assimilation)，利用尋求最佳外力函數來修正模式的系統性誤差。

二、研究方法

本研究為了減少浪費電算資源，因此使用較簡單的淺水颱風路徑預報模式，所使用的淺水方程如下：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + \frac{\partial \phi}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + \frac{\partial \phi}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} + \phi \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= 0\end{aligned}$$

其中 u, v 為水平風場， ϕ 為重力位場，模式的基本設定為水平格點數為 229×181 ，解析度為 45 公里，網域左下角位在 $(9.9^\circ\text{S}, 82.254^\circ\text{E})$ ，而右上角則在 $(52.219^\circ\text{N}, 160.39^\circ\text{W})$ ，積分步距為 45 秒，使用跳蛙法。

目標函數 (cost function) 可定義成：

$$J = \frac{1}{2} \sum_{t=t_0}^{t_f} (\mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}}(t))^T \mathbf{W} (\mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}}(t))$$

其中 $\mathbf{x}(t)$ 表示包含 u, v, ϕ 的狀態向量。 $\bar{\mathbf{x}}(t)$ 表示參考之狀態向量，如觀測場、背景場，或是大氣基本場。而 J 就是目標函數 (cost-function)，由 $\mathbf{x}(t)$ 和 $\bar{\mathbf{x}}(t)$ 在時間 t_0 和 t_f 之間的所有差值組成，是一個四維空間 (三度空間 + 時間) 所組成的函數，所以求算 J 的極值過程就稱為四維變分。

三、資料來源

本研究係利用 2001 年納莉 (Nari) 颱風個案來探討四維變分同化技術實驗對於颱風路徑預報是否有改善的效果。

納莉 (Nari) 生命期間的格點資料是中央氣象局提供由全球模式分析場轉化而得的格點資料，資料時間為 01091100 至 01091712 止每 12 小時一筆資料。本研究使用淺水模式所涵蓋的網格區域與固定網域之颱風預報系統 (TFS) 完全相同 (黃等, 1997)。使用的變數為 500hPa 的水平風場與高度場，為有包含颱風渦漩的初始資料。有包含颱風渦漩的資料是由全球分析場先對颱風部分作濾波處理去除 (陳等, 1997)，再將剩存場內插至 TFS 網格，隨後再植入虛擬颱風渦漩，其中包含 Ranking vortex 及 β -gyres，並作水平側邊界處理及客觀分析而得。

四、實驗設計

在整個實驗的設計中，與林（2003）較大的不同在於目標函數（cost function）空間範圍定義的不同（ $x=1, 229; y=1, 181$ ）如圖 1 所示，原本為（ $x=5, 186; y=5, 150$ ），及同化時窗只有同化到前 12 小時外，其餘各實驗的設計為完全相同。主要採用了實驗 5 及實驗 8 的設計精神，實驗 5 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦漩，並由此得到一個新的初始場；實驗 8 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦漩，並同時逼近同化時窗的兩個端點，由此得到一個新的初始場。

五、結果與討論

（一）原始淺水模式預報表現

本研究對納莉颱風個案作一系列的路徑預報實驗（滿 72 小時預報個案共 13 組）如圖 2 所示，發現在颱風實際路徑往西南前進時（即 1700 至 1712 時），模式才有比較接近實際路徑的表現，不過也僅有在 36 小時的路徑預報平均誤差不超過 100km，過了 36 小時以後，其平均誤差就都超過了 100km。在颱風在台灣東北部盤旋時（即 1112 至 1512 時），淺水模式的預報表現都不好，這段時間的預報都是往北行進，完全沒有實際路徑有轉往西南方行進的轉向動作，而其 36 小時平均誤差也都大於 300km，72 小時的平均誤差更是大於 800km，其預報表現算是非常不理想。

（二）同化實驗表現

本研究對納莉颱風個案分別作實

驗 5 和實驗 8，如圖 3 和圖 4 所示。發現兩個實驗不管是在颱風在台灣東北部盤旋時（即 1112 至 1512 時）或是颱風實際路徑往西南前進時（即 1700 至 1712 時），其路徑預報都會有往北行進的表現，跟實際路徑相去甚遠。另外也可發現實驗 5 和實驗 8 只有在前 24 小時的預報能有優於淺水模式的路徑預報平均誤差，如表 1 所示。在 12 小時是實驗 8 表現最好，為 79.2980 km；在 24 小時則是實驗 5 較好，為 128.8748 km；在 24 小時之後，實驗 5 和實驗 8 的路徑預報平均誤差都比淺水模式來的大。

基本上，對模式會有這種表現並不會感到意外。因為納莉颱風是屬於在中緯度的颱風，而所使用的模式是屬於相當正壓模式，對中緯度地區的斜壓特性並不能很有效的掌握，所以對颱風路徑的預報就不會有很好的表現。另外，納莉颱風是各家預報模式都報不好的一個個案，例如中央氣象局的 TFS 預報模式，如圖 5 所示，也並不能很明確地掌握颱風的路徑走向。由於 TFS 是屬於已包含斜壓性的預報模式，對納莉颱風的路徑預報都還不盡理想。所以應該還有其它的因素存在，才會造成預報的誤差。例如有關雲的溼動力過程以及納莉與丹尼斯（DANAS）所產生的雙颱風效應都有可能是造成預報誤差的原因之一。

六、未來工作

由於淺水模式是屬於相當正壓模式，對中緯度地區的模擬不是很理想，因為中緯度必須要考慮斜壓性的特質。因此為了要將中緯度斜壓性以及其它可能造成預報的誤差的原因

(溼動力過程和雙颱風效應)考慮進來，透過利用1989年由Derber所提出的Variational Continuous Assimilation (VCA)變分同化的技術概念加入淺水數值預報模式之中，來研究此方法是否可增進對颱風路徑預報的準確度。

由於分析場的資料不足，因此先透過線性內插的過程造出六個“假”的高時間解析的分析場。再讓模式先跑12小時，每隔2小時輸出一筆資料，可得到六個與分析場不同的預報場。將這12小時內分析場與預報場之間的差距代回伴隨模式之中，可以得到目標函數對最佳外力函數的梯度(敏感度)，接著經由對梯度進行最小化的程序可找出其最佳外力函數，最後將最佳外力函數平均分配到模式之中。再運用模式去做預報，藉以探討是否可改善對颱風路徑預報的準確度，並找出其可以改善的原因。

七、參考文獻

- 林宇庭，2003：變分同化技術對淺水颱風路徑預報模式之影響研究—賀伯颱風個案分析。私立中國文化大學，地學研究所大氣組，碩士論文，99頁。
- 林宇庭，張忍成，曾建翰，顧欣怡，2003：淺水伴隨模式系統在改善颱風路徑預報之應用。2003天氣分析與預報研討會論文匯編，台北，台灣，383-388。
- 徐辛欽，2003：民國九十年颱風調查報告—第十六號納莉(NARI;0116)颱風。民國九十年颱風調查報告，中央氣象局，112-145。
- 張忍成，曾建翰，顧欣怡，2001：一個四維變分同化原型系統在改善颱風路徑預報之初步應用，2001天氣分析與預報研討會論文匯編，台北，台灣，35-44。
- 曾建翰，張忍成，林和，1997：伴隨理論在四維變分及其在氣象上之運用。大氣科學，25，307-336。
- 黃康寧，陳得松，葉天降，彭順台，張偉正，1997：中央氣象局颱風路徑預報模式1996之表現與檢討。1997天氣分析與預報研討會論文匯編，台北，台灣，401-410。
- Bennet, A. F., L. M. Leslie, C. R. Hagelberg, and P. E. Powers, 1993: Tropical cyclone prediction using a barotropic model initialized by a generalized inverse method. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1714-1729.
- DeMaria, M., and R. W. Jones, 1993: Optimization of a hurricane track forecast model with the adjoint model equations. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1730-1745.
- Derber, J. C., 1989: A Variational Continuous Assimilation Technique. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2437-2446.
- Jones, R. W., and M. DeMaria, 1999: Further studies of the optimization of a hurricane track prediction model using adjoint equations. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 1586-1598.

八、圖表

表 1、SW、TEST5 和 TEST8 預報路徑與實際路徑平均誤差 (單位：公里)

時間 實驗	+12hr	+24hr	+36hr	+48hr	+60hr	+72hr
SW	94.3815	137.0477	253.5085	402.2053	575.4392	755.4397
TEST5	85.6964	128.8748	270.2807	424.0884	617.2577	851.8963
TEST8	79.2980	152.4760	310.5906	493.2652	713.4107	954.3273

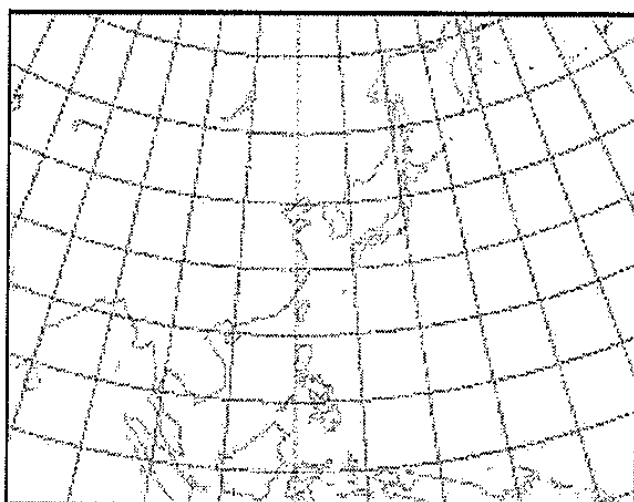


圖 1、所選取的水平範圍其水平格點數為 229x181，解析度為 45 公里，網域左下角位在 (9.9°S, 82.254°E)，而右上角則在 (52.219°N, 160.39°W)。

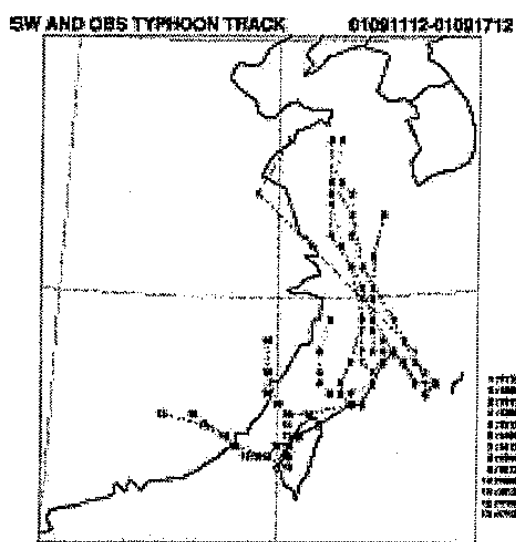


圖 2、SW 預報路徑 (斷線) 與實際觀測路徑 (實線)

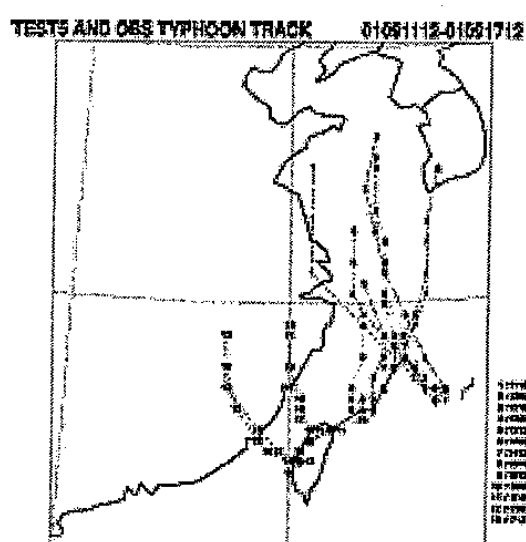


圖 3、TEST5 預報路徑 (斷線) 與實際觀測路徑 (實線)

TEST8 AND OBS TYPHOON TRACK 01091112-01091712

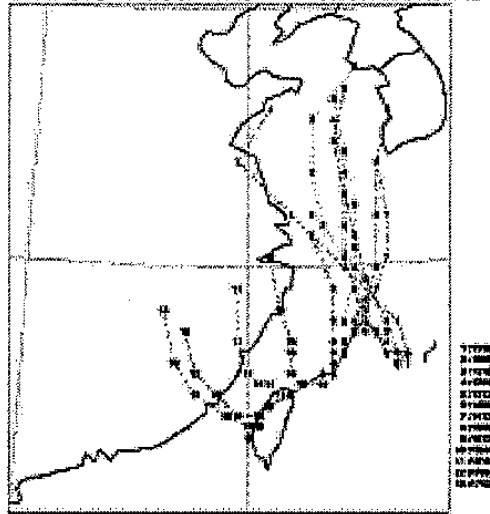


圖 4、TEST8 預報路徑（斷線）與實際觀測路徑（實線）

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (01/09/06/12Z-01/09/20/12Z)

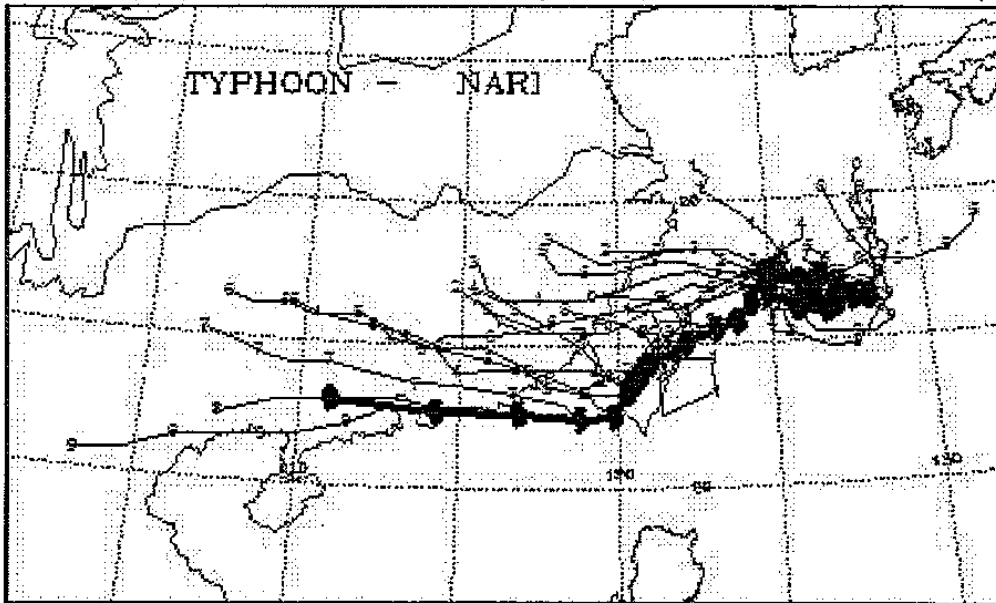


圖 5、中央氣象局 TFS 模式之預報路徑與納莉颱風最佳路徑比較圖（取自於徐辛欽：民國九十年颱風調查報告—第十六號納莉（NARI;0116）颱風）