

# 中央氣象局全球預報模式植入颱風模擬實驗

陳建河 馮欽賜 陳雯美 賴姿伶

中央氣象局氣象

## 摘要

利用颱風觀測報告數據，如颱風中心現在位置、中心氣壓值、近中心最大風速、七級風暴風半徑等僅有資訊，用疊代法求取 Ring King vortex 公式中之參數如近中心最大風速距離( $r_{vm}$ )及外圍風速曲率( $b$ )，基本作法是以 Ring King vortex 公式計算颱風的水平風場，以此風場帶入非線性平衡方程並配合靜力方程而得到颱風中心氣壓估計值，再與實際觀測報告之颱風中心氣壓及七級風暴風半徑相比較來修正  $r_{vm}$  及  $b$  值，經過重複的計算與比較以求得做近似之  $r_{vm}$  及  $b$  值。如此，用來計算颱風水平風場結構的 Ring King vortex 公式中的各個參數均用實際的觀測報告來決定。最後，颱風環流的風場是由渦度場（由 Ring King vortex 決定）加上環境的渦度場與輻散場所反演的風場而得，而相對應的高度場、溫度場及海平面氣壓場是解非線性平衡方程及靜力方程而得。至於  $\sigma$  面上的垂直結構，則假設颱風是相當正壓結構，設定渦度隨高度遞減，至於植入颱風至何種高度則參考實際觀測的颱風強度（強、中、弱）來決定。

在植入颱風之前，要先移除初始場的颱風環流以取得環境的風場，移除的方法是用 Kurihara et al (1973)，對溫度場、渦度場、輻散場及海平面氣壓場作過濾，至於植入或移除颱風的範圍是以初始場中的颱風中心向外尋找其風速小於  $6m/s$  的距離為颱風的大小。

以中央氣象局 T180 全球預報模式為工具，直接在預報模式垂直 30 層的  $\sigma$  面上植入颱風，從模式初始化(nonlinear normal mode initialization)的結果顯示模式並不會強烈排斥植入的颱風環流，且模式 72 小時的颱風路徑預報與原有的植入方法（將植入颱風當作觀測資料去分析）相比較，顯示本植入方法的確對颱風路徑的預報有相當程度的改進。

關鍵詞：植入颱風、Ring King vortex

## 一、前言

就大多數的數值預報模式而言，其對於颱風的路徑或定量降水預報，大都會以人為植入颱風的方式來進行預報，主要原因之一是在颱風發生的海洋地區，通常缺乏觀測資料，雖然目前有衛星的觀測資料可用，但還是有一些限制存在；另外一個原因是模式解析度的關係，因為在模式解析度提高的情況之下，如果沒有足夠密度的觀測資料來解析颱風的結構，將會影響模式對於颱風路徑與定量降水預報的準確度，因此人為植入颱風還是許多模式採用的方法，例如 GFDL 的(Kurihara et al 1993)、中央氣象局颱風預報模式（簡稱 CWBTFS）及全球預報模式（簡稱 CWBGFS）。

目前人為植入颱風的方式大概有兩種，一種是將颱風直接植入預報模式中如 GFDL 模式，另一種方式是將植入的颱風以觀測資料的形式經由模式的分析模組來植入，例如中央氣象局全球波譜預報模式（簡稱 CWBGFS）。在 2003 年 6 月以前，CWBGFS 使用最佳內差分析方法(optimal interpolation method 簡稱 OI)，而 2003 年 6 月以後則使用 3 維變分分析方法(3 dimensional variational analysis method 簡稱 3-D VAR)來植入颱風。根據 Kurihara et al (1973)對 GFDL 模式植入颱風的測試結果顯示，一個良好的人為植入方

法能夠使預報模式很容易接受所植入的颱風，並且可以避免產生初始場的調整及錯誤的 sipping up 問題，進而降低預報模式對於颱風路徑的預報誤差及有助於颱風強度改變的預報。葉等(1999)使用 CWB TFS 模式，以改變人為加入颱風之大小、強弱、最大風速所在半徑、中心位置等颱風初始場參數及不同大尺度場、不同模式垂直加熱分佈等 13 種不同處理，來研究模式預測路徑對初始場改變的敏感性，結果顯示，這些初始場參數之改變都對模式預測路徑有相當明顯的影響；另外，所使用的濾波方法如未能有效的去除初始場所含不完整之颱風環流時，也可能使模式颱風的路徑預測誤差增大。因此，一個好的人為植入颱風方法不僅僅要能夠正確地表示實際颱風的結構，而也還要能與預報模式具有一致性，才能準確地掌握颱風的各種動態。

作業中的 CWB GFS 其水平解析度為 T180， $\sigma$  垂直解析度有 30 層，2003 年 6 月之前，使用 OI 分析方法，是在 16 層的標準等壓面上進行分析，之後再內差至  $\sigma$  面上，而目前的 3-D VAR 分析是在  $\sigma$  面上直接分析，兩者有很大的不同，根據測試的結果，整體而言，3-D VAR 分析比 OI 分析更具有良好的預報成績，為了讓本分析方法能與作業模式一致，將原先在等壓面上發展完成的模組修改成適合  $\sigma$  面的模組，因此本文不再探討等

壓面值入颱風的結果，而直接探討  $\sigma$  面結果。就 CWB GFS 對於颱風的預報而言，目前是將所計算出的人為颱風（在網格點上）當成觀測資料，經由分析模組植入颱風。我們嘗試以直接植入預報模式的方式，將颱風植入於預報模式的  $\sigma$  分析面上。在想法上，我們希望用來計算颱風水平風場結構的 Ring King vortex 公式中的各個參數均能夠用實際的觀測報告來決定，同時，人為植入颱風的風場與質量場之間能夠滿足非線性平衡條件，同時質量場之間（高度場、溫度場、海平面氣象場）亦滿足靜力平衡關係，如此不僅要能夠正確地表示實際颱風的結構，而且能夠與預報模式具有一致性，不會因為質量場與風場之間的不平衡而使模式的預報產生重力波造成嚴重的不穩定（instability）現象。

本文共分四節，第一節為前言，簡單介紹人為植入颱風的背景及我們的想法，第二節將詳細介紹我們所用的人為植入颱風方法，第三節則敘述使用該方法於本局全球預報模式（GFS）的測試結果，最後第四節為結論。

## 二、植入方法介紹

在移除或植入颱風之前，必須要先決定初始場颱風環流的大小（ $r_0$ ），首先以實際颱風觀測報告的颱風位置為中心，找尋  $\pm 8$  度範圍內渦度值最大的位置，如果該渦度值小於  $1.0e^{-4} s^{-1}$ ，我們認為初始場並沒有颱風的環流存在，如果颱風的環流存在，則以颱風為圓心，區分 36 個象限尋找風速大於  $6m/s$  的距離為颱風的範圍所及，若任何一象限不滿足上述條件，則以平均距離決定之。找到 36 個象限的  $r_0$  之後，接著就要：

### （一）移除颱風

為了得到代表環境的氣流場，必須要把初始場的颱風環流過濾掉，使用 Kurihara et. Al. (1993) 的方法。依照觀測報告上的颱風強弱，對初始場的渦度、溫度、海平面氣壓做修勻。為了將颱風環流區域獨立出來，以下式為全重函數：

$$W(r, \gamma) = \begin{cases} 1 & \text{for } r=0 \\ 1 - \exp\left[-\frac{\gamma}{r} \exp\left(\frac{1}{r-1}\right)\right] & \text{for } 0 < r < r_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\gamma=30$ ，與原初始場（ $X$ ）合成而得最後的環境場（ $X_E$ ），即

$$X_E = (1 - W(r, \gamma))X + W(r, \gamma)X_R \dots \dots \dots (3)$$

### （二）植入颱風

以 ring king vortex 公式：

$$V(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m}\right) \exp\left\{\frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r}{r_m}\right)^b\right]\right\} \quad (4)$$

其中

$V_m$ ：最大風風速

$b$ ：外圍風速曲率

來表示颱風的水平風場，（4）式中參數  $r_m$  及  $b$  從實際

的颱風觀測報告中所沒有，我們利用觀測報告中的颱風中心氣壓（ $P_{typ}$ ）及七級風暴風半徑（ $r_7$ ）來決定，先假定  $r_m = 1$  個網格點距離去計算  $V(r)$ ，之後再解非線性平衡方程 (Holton, 1992)：

$$\nabla^2 \left[ \phi \frac{1}{2} (\nabla \psi)^2 \right] = \nabla \cdot [(f + \nabla^2 \psi) \nabla \psi] \dots (5)$$

其中

$\phi$ ：geopotential

$f$ ：coriolice parameter

$\psi$ ：stream function

得到  $\phi$  之後利用靜力方程 (Kurihara et. al. 1993)：

$$\ln P_s \approx \ln P_s - \frac{\phi_s}{RT_a} \quad (6)$$

其中

$\phi_s$ ： $\phi$  at  $\sigma=30$

$P_s$ ：颱風中心氣壓估計值

$P_s$ ：相對應於  $\phi$  的氣壓估計值

$T_a$ ：海溫

$R$ ：氣體常數

如果  $P_s > P_{typ}$ （實際颱風觀測之中心氣壓值）則

$$r_m = r_m + 1$$

$$P_s = P_s - 1$$

重複（4）、（5）、（6）式之計算，直到  $P_s = P_{typ}$

為止，如此最大風速半徑（ $r_m$ ）及風速曲率（ $b$ ）就可以由觀測報告所提供的資訊來決定，而不是使用主觀的猜測值。最後，颱風的環流風場以（4）得到（此時（4）式的所有參數均已知），渦度場則由風場計算得來。至於颱風環流的垂直結構，假設颱風是相當正壓結構，其渦度隨高度遞減，垂直  $\sigma$  層上的全重分別為 0.996、0.994、0.991、0.987、0.982、0.976、0.965、0.955、0.938、0.918、0.89、0.85、0.81、0.77、0.71、0.67、0.60、0.55、0.48、0.41、0.38、0、0、0、0、0、0、0、0、0、0、0、0 共 30 層。我們以颱風觀測報告為參考依據，對於強、中、弱的颱風，有不同的植入高度，若為輕度颱風則只到第 10 層，中度颱風到 9 層，強烈颱風則到第 8 層，。至於輻散場則是依照渦度場的強度的  $\sin(12^\circ)$  倍，最後再加上過去 6 小時的颱風移動速度。

高度場則同樣是以（5）式計算得來。因為是在  $\sigma$  層上植入颱風，因此必須要先決定地面氣壓場（terrian pressure），才能由靜力方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial P} = -C_p \theta \quad (7)$$

其中  $P = (p/p_0)^k$ ，得到溫度場。因此先以（6）式決定地面氣壓場之後在以（7）式得到溫度場。至於水

汽場的植入是以同樣的權重方式植入。

圖 1 是 NABI 颱風 (2005 年 9 月 3 日 00Z) 在等壓面上緯向切於颱風中心的溫度的垂直剖面, 經向切於颱風中心的風速的垂直剖面圖, 與作業版 (沒有 bogus) 的比較。

### 三、模擬結果

圖 2 是 2004 年 4 個颱風 (CONSON、MINDULLE、RANANIM、AERE) 及 2005 年共 9 個颱風 (SONCA、NESAT、HAITANG、MATSU、SANVU、TALIM、NABI、KHANUN、DAMREY) 的路徑預報圖, 紅色實際颱風之路徑, 表一為其路徑預報誤差。大致上, 2004 年的 4 個案路徑預報趨勢並非張握得很好, 但 2005 年的個案則預報路徑趨勢則掌握的相當不錯。

從植入颱風的結構不但是與實際觀測接近來看, 本植入方法的優點是風場與質量場滿足平衡條件同時也考慮了下邊界氣壓的條件 (決定質量場的重直結構)。從預報模式的平均地面氣壓擾動隨時間分布 (用來判定模式發生不穩定的一個指標), 顯示植入颱風的平均地面氣壓擾動與作業模式曲線相比較, 其差異並不是很大, 特別是前 6 小時。

### 四、結論及討論

利用颱風觀測報告數據, 如颱風中心現在位置、中心氣壓值、近中心最大風速、七級風暴風半徑等僅有資訊, 用疊代法求取 Ring King vortex 公式中之參數如近中心最大風速距離 (rvm) 及外圍風速曲率 (b), 基本作法是以 Ring King vortex 公式計算颱風的水平風場, 以此風場帶入非線性平衡方程並配合靜力方程而得到颱風中心氣壓估計值, 再與實際觀測報告之颱風中心氣壓及七級風暴風半徑相比較來修正 rvm 及 b 值, 經過重複的計算與比較以求得做近似之 rvm 及 b 值。如此, 用來計算颱風水平風場結構的 Ring King vortex 公式中的各個參數均用實際的觀測報告來決定。最後, 颱風環流的風場是由渦度場 (由 Ring King vortex 決定) 加上環境的渦度場與輻散場所反演的風場而得, 而相對應的高度場、溫度場及海平面氣壓場是解非線性平衡方程及靜力方程而得。至於  $\sigma$  面上的垂直結構, 則假設颱風是相當正壓結構, 設定渦度隨高度遞減, 至於植入颱風至何種高度則參考實際觀測的颱風強度 (強、中、弱) 來決定。

植入颱風的結構不但與實際觀測接近, 同時風場與質量場滿足梯度風平衡, 溫度場與高度場及地面氣壓場均滿足靜力平衡, 非線性初始化 (nnmi) 並沒有排斥所植入的颱風, 可以從預報模式的平均地面氣壓擾動隨時間分布很清楚地顯示出來, 從個案顯示 72 小時的颱風路徑預報與原有的植入方法相比較, 顯示本植入方法的確對颱風路徑的預報有一點改進。

在 2004 年的植入颱風方法, 其移除初始場的颱風環流是在模式的波譜空間上, 依颱風的強度不同, 對溫度場、渦度場、輻散場及海平面氣壓場以 Lanczos filter 做不同次數的修勻, 我們發現此種濾波方式會造成嚴重的相位偏差問題, 會影響到模式的路徑預報。2005 年改用 Kurihara et. Al. (1993) 的方法之後已有

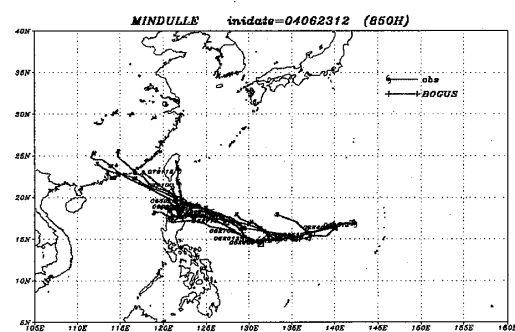
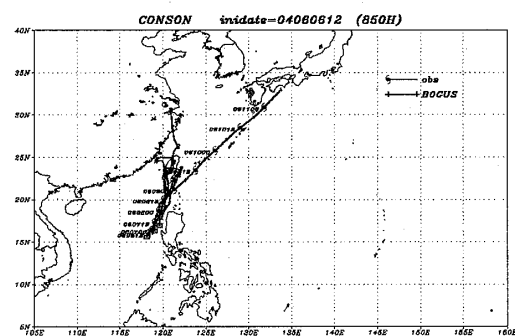
所改善。另外, 模式的解析度從 T120 增加為 T180 (相當於 70km 的解析度), 對於颱風的解析程度也略有改進, 但距實際颱風的解析仍然有一段差距, 由於模式解析的關係, 觀測報告中的 7 級風暴風半徑為 250km 而言, 約 4 個網格而已, 為解決模式解析度的問題, 考慮颱風是一個強旋轉的流體, 因此設定 Rossby number=6 來決定放大的因子。另外, 由於本方法相當倚賴實際的颱風觀測報告, 如果能有更準確的颱風觀測報告資料, 則對植入颱風的風場結構將會有很大的幫助。

### 五、參考文獻

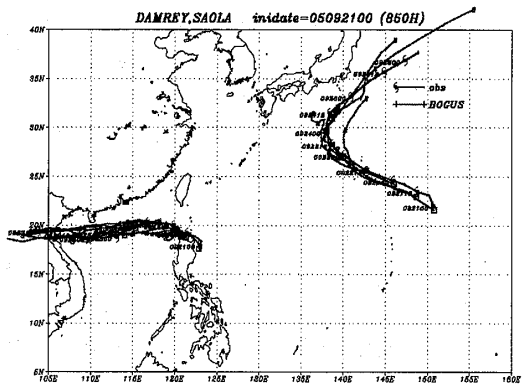
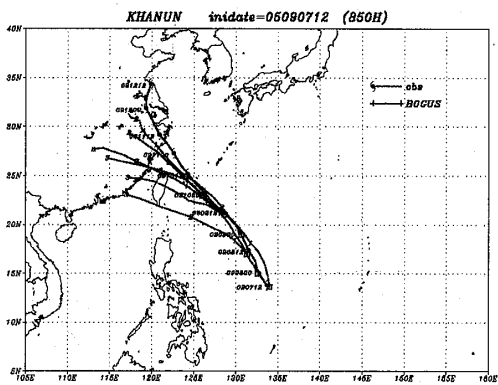
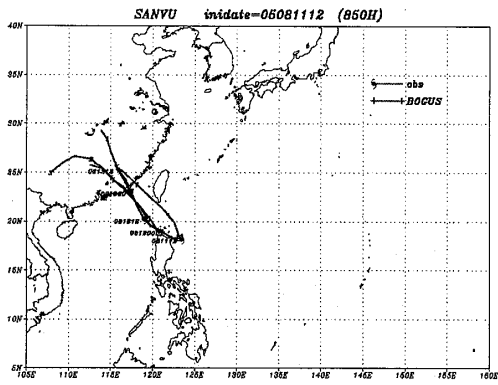
- 葉天降、黃康寧、陳德松, 1999: 颱風模式初始場不確定性對路徑預測影響支出步研究。大氣科學, 27, 215-233
- Hawkins, H. W., and D. T. Rubsam, 1968: Hurricane Hilda, 1964. II. Structure and budgets of the hurricane on October 1 1964. Mon. Wea. Rev., 96, 617-636.
- Kurihara, Y., M. A. Bender, R.J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. Mon. Wea. Rev., 121, 2030-2045.
- Liu, K. S., Johnny C. L. Chan, 1999: Size of tropical cyclone as inferred from ERS-1 And ERS-2 data. Mon. Wea. Rev., 127, 2992-3001.

### 六、致謝

本文在中央氣象局氣象科技研究中心支持下完成。







表一：颱風路徑預報誤差統計 (單位：KM)

名稱	12	24	36	48	60	72
2004年						
CONSON	107	213	287	429	499	344
MINDULLE	119	168	227	294	342	334
RANANIM	136	220	320	436	535	680
AREA	78	95	152	201	253	319
平均	110	174	246	340	407	419

名稱	12	24	36	48	60	72
2005年						
SONCA	98	180	258			
NESAT	71	131	195	296	444	601
HAITANG	84	154	222	287	319	342
TALIM	92	124	183	230	275	336
NABI	89	124	177	250	308	358
MASTA	71	76	115	113	156	186
KHANUN	89	100	177	293	402	620
DAMERY	56	105	174	257	369	433
SAOLA	99	150	270	388	385	538
平均	83	127	196	264	373	480