

# 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

張忍成<sup>1</sup> 曾建翰<sup>2</sup> 顧欣怡<sup>1</sup>  
中國文化大學大氣科學系<sup>1</sup> 中央氣象局科技中心<sup>2</sup>

## 摘要

在本報告中，一個淺水方程模式及其伴隨模式系統首先被發展測試，並加上最小化程序，組成一個四維變分同化原型系統，再應用至颱風路徑「預報」上。以賀伯颱風為例，本淺水模式應用在颱風路徑「預報」實驗上的24/48/72小時的平均誤差分別為：120/276/469公里。若利用伴隨模式系統，將過去12時已知資訊以不同處理手法，運用變分同化方式植入模式初始場中，幾乎均可大大提昇原有模式的預報能力。其最佳者，24/48/72小時的平均「預報」誤差可分別改善為：74/186/303公里！其中，僅使用單一時段「觀測」（僅含重力位高度場）逼近者所需時間較久，往往未達預設最佳條件前即已超過最大允許疊代次數，且模式預報能力提昇情形較不顯著；另一方面，以2時段「觀測」逼近者所需前置作業時間則甚短，只需5-10次疊代計算即可，且模式預報能力可有大提昇。此或肇因於後者具有較明確的約束條件。顯然，在簡單模式下的四維變分同化投資是可行且負擔得起的，其在提昇模式預報能力上更極具潛力。

## 一、前言

自1962年來，中央氣象局的官方路徑預報24小時誤差約為177公里（李，1996），目前，想必更有進步。然此預報能力，或可為幅員遼闊、海岸線甚長之國家其人民所接受，卻難去滿足本國人民之要求。如1995年的賴恩（Ryan）颱風及今（2001）年的桃芝颱風：24小時之預報誤差，在其最接近台灣或登陸本島時，分別僅有不到100/60公里，竟仍未能見容於部分社會大眾。概因我國土地甚小與地形複雜，稍有誤差則結果恐謬以千里，故人民對路徑預報準確性之要求便相對極為嚴苛。另一方面，社會大眾對颱風來襲期間各地區的準確風力及定量降水預報之需求亦日益增加，而其預報正確與否之一大前提是，同樣端賴著對颱風移動資訊的確實掌握情形。因而，如何提昇颱風路徑之預報能力，以期能供給民眾更準確的預報資訊，一直是中央氣象局作業上最迫切的任務之一，同時亦是從事颱風研究工作者一個的重要課題。

基於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深具潛力，如Bennet *et al.* (1993)、DeMaria and Jones (1993) 及 Jones and DeMaria (1999) 等均積極以正壓模式在從事這方面的嘗試；另一方面，由於複雜模式除其伴隨模式系統之發展曠日廢時外，若欲應用這一非常耗費電算資源的四維變分同化技術，在目前的條件下恐力有未逮。何況根據WMO報告(1995, p168)，即使簡單如正壓模式在實際預報作業上亦可有相當不錯的表現（前36小時），雖然其預報價值在72小時後

便喪失殆盡。因此，我們在此選擇以動力簡單、可大量節省電腦資源之淺水方程模式，來發展其伴隨模式，建構一個四維變分同化原型系統，進而應用在颱風路徑預報實驗上，以了解其在提升模式預報能力的可行性及可能貢獻。

## 二、淺水模式及其伴隨系統

本研究所使用淺水模式之控制方程如下，

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= -m^2 \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + fu - \frac{\partial \phi}{\partial x} - \frac{1}{2} (u^2 + v^2) \frac{\partial m^2}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -m^2 \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) - fv - \frac{\partial \phi}{\partial y} - \frac{1}{2} (u^2 + v^2) \frac{\partial m^2}{\partial y}, \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} &= -m^2 \left( u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) - \phi m^2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)\end{aligned}\quad (1)$$

其中  $u, v$  為水平風場， $\phi$  為重力位場， $m$  為地圖投影係數。模式中使用的水平格網數為  $191 \times 155$ ，解析度為 45 公里，網域左下角位在 (6.09 S, 88.756 E)，而右上角則在 (49.544 N, 176.282 W)，這與固定網域之 TFS 完全相同（黃等，1997）。積分步距為 30 秒，採用蛙格式。邊界條件在驗證模式預報能力時乃用海棉邊界（sponge boundary），詳細設置參見張（1998）；而在探討初始敏感度分析及比較同化實驗結果時，則改採事先給定值（即實際分析）。但在後

續實驗中，我們注意到：無論採用何者，對模式預報或模擬的結果影響甚微，故原則上，在同化實驗應嚴格視為模擬者，或亦可等同看作「預報」結果。綜言之，除網域及邊界處理外，本模式與曾等（1997）所使用者並無不同。

若將模式簡化成下式，即：

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = N(\mathbf{x}), \quad (2)$$

其中， $\mathbf{x}$  為  $u, v, \phi$  所組成的狀態向量變數， $N$  為代表淺水方程之非線性算子；則由泰勒級數展開，取一階導數近似，可得(2)式之正切線性模式 (Tangent Linear Model; TLM) 為：

$$\frac{d\mathbf{x}'}{dt} = \frac{\partial N}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{x}' = \mathbf{L}\mathbf{x}' \quad (3)$$

此時， $\mathbf{L}$  為一可隨時間改變之基本狀態場所組成的線性算子；而  $\mathbf{x}'$  表狀態向量變數擾動。根據伴隨理論，(3) 式的伴隨模式為：

$$-\frac{d\mathbf{x}^*}{dt} = \mathbf{L}^* \mathbf{x}^* \quad (4)$$

其中， $\mathbf{x}^*$  即為  $\mathbf{x}'$  的伴隨變數；而  $\mathbf{L}^*$  為相對應於  $\mathbf{L}$  的伴隨算子，原則上，前者乃後者之轉置矩陣。另外，(3)、(4)式左手邊相差一負號，為一階導數算子及其伴隨算子間的特性，即伴隨模式為逆時間軸回積的由來。詳細推導，可參考曾等（1997）及其中之參考文獻。

基本上，欲改進模式對已知觀測分析環流場的模擬，可利用伴隨理論的技術，以類似四維變分同化的原理來執行之。原則上，模式預報誤差可用以定義一量度距離之目標函數 (cost function)，利用伴隨模式逆時間軸積分回推，可首先反求得模式初始場相對於實際誤差之敏感區域。由此再加上最小化程序之應用，便可藉以得出既接近實際觀測 (或其他獨立分析) 演化亦滿足模式動力的最佳初始場。

### 三、資料

基於民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日間侵台的賀伯 (Herb) 颱風當時造成台灣本島空前的鉅大損失外，終其一生均在高壓南緣發展，較適合淺水模式相當正壓的屬性，且其前期同時還有葛樂禮 (Gloria) 颱風之存在，對其偏南行徑應有相當程度之影響；另外，雖然各家數值模式在 7 月 28 日 00Z 以後，均對賀伯颱風作出近乎完美的動向預報 (即向西北方移動，直撲台灣北部)；但是，在此之前，尤

其是 7 月 26 日 12Z 至 28 日 00Z，原由西向轉為西南西向之行徑，卻是各家數值模式所未能掌握者 (黃等，1997)。究其因，則是模式無法確切預報出當時太平洋副高西伸發展的趨勢所造成的必然結果 (如：張，1998)。故我們首先選定賀伯颱風個案作為初步測試的分析對象。

原則上，Herb 颱風生命期間的格點資料是由氣象局全球模式的全球分析場轉化而來 (資料時間自 96072412 到 96080100)。本淺水模式所涵蓋的解網各區域與固定網域之 TFS 完全相同 (黃等，1997)，使用變數為 500 hPa 的水平風場與高度場。本研究中分別有含與不含颱風渦旋之初始資料。不含者，即由全球分析場直接內插而得，將視為真實環境流場。另外，有包含颱風渦旋者，則由全球分析場先針對颱風部分做濾波處理去除 (陳等，1997)，再將剩存場內插至 TFS 網格，隨後再植入颱風渦旋 (含 Rankine Vortex 及  $\beta$ -gyres)，並作水平側邊界處理及客觀分析而得。

### 四、實驗設計

原則上，實驗架構之設計乃以不同的處理手法，將前 12 小時已知的分析環流資訊隱含於模式初始分析場中，同時逼近原 TFS 之觀測分析場 (即 TFS 模式之初始分析)。所謂不同處理手法的主要差異在於：

(1) 或僅含大尺度背景分析場 (NB)，或同時含有颱風渦旋環流 (b) 的分析場 (B)；

(2) 或僅以 12 小時前之初始分析作 first guess 出發進行最小化，或同時逼近 12 小時前之觀測分析。

如此，我們一共設計出 8 種最小化測試實驗，分列如表 1。其中，試驗一之 S 乃指模式模擬結果充作分析，而非實際觀測分析；其作用僅在驗證本四維變分同化流程之正確性，無關於颱風路徑預報之改進與否。再者，在經最小化過程後尚需加入 b 者，純為大尺度環境場之逼近，如試驗三、四、八；前二者之差別僅在所加初始渦旋時間不同而已。乍看下，為具有相同的比較基礎，試驗三必須較其他試驗多積分前 12 小時，先天上已然處於劣勢；然後續結果討論中，將意外凸顯出其所附加資訊之重要性。

### 五、結果與討論

#### (一)、原始淺水模式預報表現

吾人針對賀伯颱風個案作一系列的路徑預報實驗 (滿 72 小時預報個案共 11 組)，發現在實際路徑偏西南西向前進時，即 2600 至 2800 時，模式可有相當準確的預報結果，甚至到 72

小時的預報誤差還能維持在不超過100公里的超高水準表現下；但在最差的情況下，即實際路徑由西南西向轉為西北向時（2800以後），單只48小時的預報誤差，就可超過400公里以上。整體而言，12小時的平均誤差在100公里以內，24小時者在100公里附近，36小時約在200公里左右，而48小時則不到300公里（詳見表2）。顯然模式針對賀伯颱風個案之表現與DeMaria *et al.* (1990)中所引用比較之正壓模式（Sanders *et al.*, 1975）對22.5°N以南之大西洋颶風個案路徑預報之平均表現，有過之而無不及。因此，本研究使用之淺水模式，證實當可有36—48小時之路徑預報參考價值，至少對賀伯颱風個案是如此。

另由預報距離於實際位置之分布圖（見圖一），得知預報誤差大都位在實際中心位置的西南象限。可見本模式一如其它正壓模式，在颱風向北偏轉的情形下，往往有較實際延遲的傾向，甚或無法掌握。與DeMaria *et al.* (1990)不同者，在於模式預報有偏快的趨勢，而非較慢。當然，我們只針對賀伯颱風的個案而已，實際情形為何，尚待更多個案結果之驗證。

除使用海綿邊界外，吾人另以隨時間更新之大尺度實際分析並揉合模式自身的預報值作為側邊界條件（揉合方式乃採用正弦函數為權重係數）。實驗結果，模式在掌握路徑模擬的表現上，隨初始場之不同，較海綿邊界者，互見千秋。整體而言，在此邊界處理下，「預報」路徑之方向及其轉向之趨勢似乎掌握較佳；然另一方面，在後期則有呈現加速之傾向。簡言之，更新側邊界之使用在方向及轉向之趨勢上或稍有改善；但由平均誤差的角度來看，則幾無差別。是以，我們在後續實驗中，採用此側邊界條件，並暫以「預報」視之。

## （二）、同化實驗測試

前節討論中，我們已知由淺水模式預報的颱風中心位置之誤差分布圖(圖 1)可以明顯的看到第二、三象限的資料偏多，即模式預報偏快及緯度準確度不高的反應。尤其是長時間的預報如 60 和 72 小時，則預報距離較分析場偏快且偏南。反觀經由資料同化實驗後的實驗三、四、五、八(如圖 2)之誤差分布則沒有資料集中在第二、三象限的現象，一般而言呈現較平均分布的狀態。由於篇幅有限，在此將僅就部分試驗結果作較詳盡的描述，餘者將另文說明。在颱風中心位置預報上的改進程度，我們總結於表 2 中，來作說明。

除了實驗三外，實驗四、五、八在 12 到 72 小時的預報都有明顯的改進，尤其是實驗五和八，將 48 小時以內

的預報誤差降至 200 公里以下，足以媲美 TFS 模式預報(表 2)。實驗三雖然在前 36 小時預報反而變差，但在 48 到 72 小時則有明顯的改進，尤其是 72 小時的預報誤差更是縮小在 300 公里以下。

近一步可以由圖 3 的颱風中心位置經度誤差分析圖的平均誤差來看。淺水模式在 36 小時以後的預報就已經開始變快，72 小時的預報甚至已經偏差 4 個經度之多。實驗三是把速度整個拉慢了，經度誤差在 1 到 2 度之內。實驗四則是在 48 小時以後的預報才開始變快，但 72 小時的偏差已經改進到只有 3 個經度。實驗五和八在經度的預報上改進非常多，平均偏差只在 1 個經度之內。至於緯度的誤差方面，淺水模式由 48 小時以後的預報開始偏南，其他經由同化實驗後的緯度誤差都非常的小，除實驗五的 60 和 72 小時外，幾乎都在 0.5 個緯度以內(圖未示)。

由此我們已經可以確定，經由同化實驗後的初始場分析場將有助於控制淺水模式預報颱風中心位置偏快且偏南的問題，即是控制太平洋高壓勢力伸展不至於過快過南。由更詳細的資料顯示，在 96072600 以前的時間做同化實驗的結果普遍都不若淺水模式來的好。因為那時候的颱風走的較快，在淺水模式預報已經偏慢的情況下我們又將高壓勢力減弱，勢必造成颱風走的更慢。但是在 96072612 以後的時間，我們的同化實驗則很成功的將颱風中心位置經緯度的誤差縮小。下面我們就舉例兩個時間的實驗內容來說明，時間分別為 96072412 和 96072600。

由96072412的颱風中心位置圖(圖4)很明顯經由同化實驗以後的颱風軌跡(M)就淺水模式的軌跡(S)為慢，與分析場相比則兩者預報都偏慢。96072600則經由實驗三可以將颱風向下壓的路徑準確預報出來，但是位置有所偏差。其餘實驗則都有將軌跡拉慢的型態，尤其以實驗八(圖5)的結果最明顯。關於實驗三和其他實驗不同的原因，我們推測由於初始場的時間不一樣，剛好實驗三的初始場有考慮已經登陸大陸的前一個颱風(葛樂禮)之觀測分析場，可能是很主要造成不同於其他實驗的原因。由此可知，除了同化實驗以外，在多颱風情況下，其他初始颱風渦旋環流之觀測分析場也是很重要的因子。

## 六、致謝

本研究分別在國科會專題研究計畫(篇號 NSC87-2111-M-052-002-AP1；NSC88-2111-M-052-003-AP 1；NSC89-2111-M-052-003-AP1)的部分支助及中央氣象局電算資源的部分支援下完成。

## 七、參考文獻

李清勝, 1996: 颱風路徑預報作業改進研究(一)。第一部分: 改進中央氣象局颱風路徑機率預報之研究。CWB-85-2M-07, 21 頁。

張忍成, 1998: 環境場動力特性對颱風路徑影響之研究(一)。國科會專題研究報告, NSC87-2111-M-052-002-AP1, 6 頁。

曾建翰、張忍成和林和, 1997: 伴隨理論在四維變分及其在氣象中之應用, *大氣科學*, **25**, 307-336。

黃康寧、陳得松、葉天降、彭順台和張偉正, 1997: 中央氣象局颱風路徑預報模式1996之表現與檢討。1996天氣分析與預報研討會氣象論文彙編, 台北, 台灣, 401-410。

黃康寧、陳得松、葉天降, 2001: 中央氣象局颱風路徑預報模式2000之預報檢討。第七屆全國大氣科學研討會論文彙編, 台北, 台灣, 18-21。

陳得松、黃康寧、葉天降和彭順台, 1997: 中央氣象局颱風路徑預報模式初始場之改進。1996天氣分析與預報研討會氣象論文彙編, 台北, 台灣, 411-416。

Bennet, A. F., L. M. Leslie, C. R. Hagelberg, and p. E. Powers, 1993: Tropical cyclone prediction using a barotropical 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 adjoint model equation. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1730-1745.

Jones, R. W., and M. DeMaria: Further studies of the optimization of a hurricane track prediction model using adjoint equations. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 1586-1598.

Sanders, F., A. C. Pike and J. P. Gaertner, 1975: A barotropic model for operational prediction of tracks of tropical storms. *J. Appl. Meteor.*, **14**, 265-280.

WMO, 1995: Global perspectives on tropical cyclones. Ed. R. L. Elsberry, WMO/TD-No. 693, Geneva, Switzerland, 289pp.

3	$NB_{j2}$	NB	$NB_{j2}' + b_{j2}$
4	$NB_{j2}$	NB	$NB' + b$
5	$B_{j2}$	B	$B'$
6	$NB_{j2}$	$B_{j2}+B$	$B'$
7	$NB_{j2}$	$NB_{j2}+NB$	$NB' + b$
8	$B_{j2}$	$B_{j2}+B$	$B'$

表2: 不同模式之預報表現及淺水模式經四維變分同化實驗後之「預報」表現。

颶風中心誤差 (km)	12 小時	24 小時	36 小時	48 小時	60 小時	72 小時
SANBAR_All (DeMaria et al., 1990)	89	183	302	424	-	636
SANBAR_South (DeMaria et al., 1990)	70	137	229	340	-	613
TFS_2000 (黃等, 2001)		148		306		520
淺水模式	76	120	191	276	369	469
實驗三	152	189	213	249	268	289
實驗四	77	111	145	221	289	392
實驗五	53	84	119	175	256	323
實驗八	22	74	136	186	250	303

## 八、圖表

表1: 同化測試實驗結果內容差異之對照表。

TEST	First guess	Target	Initial after minimization
1	$NB_{j2}$	$B_{j2} \rightarrow S$	$S'$
2	$NB_{j2}$	B	$B'$

# Error Distribution

# SW MODEL

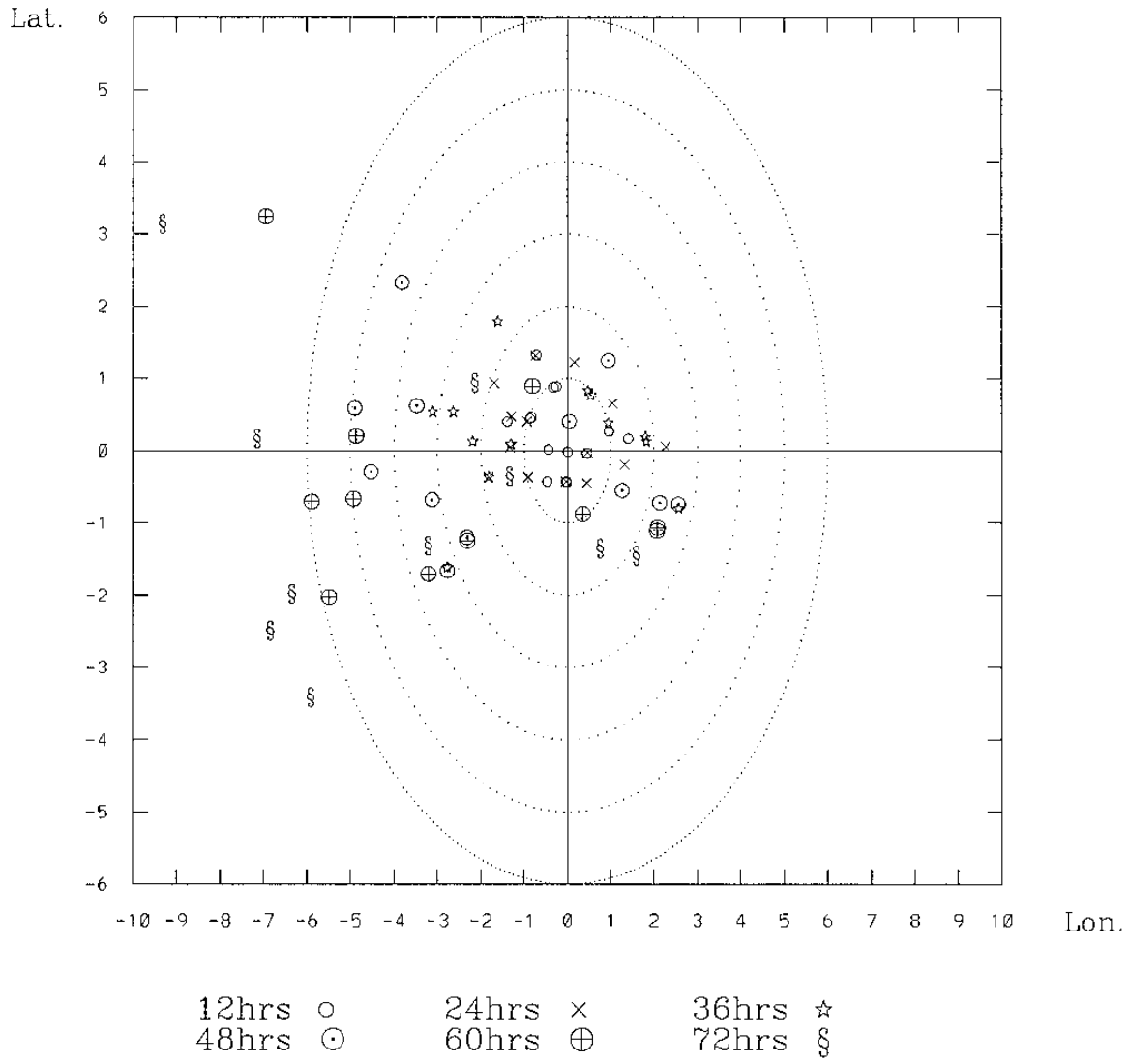


圖 1：淺水模式預報颱風中心位置相對於實際位置之分布圖。

# Error Distribution

MIN TEST8

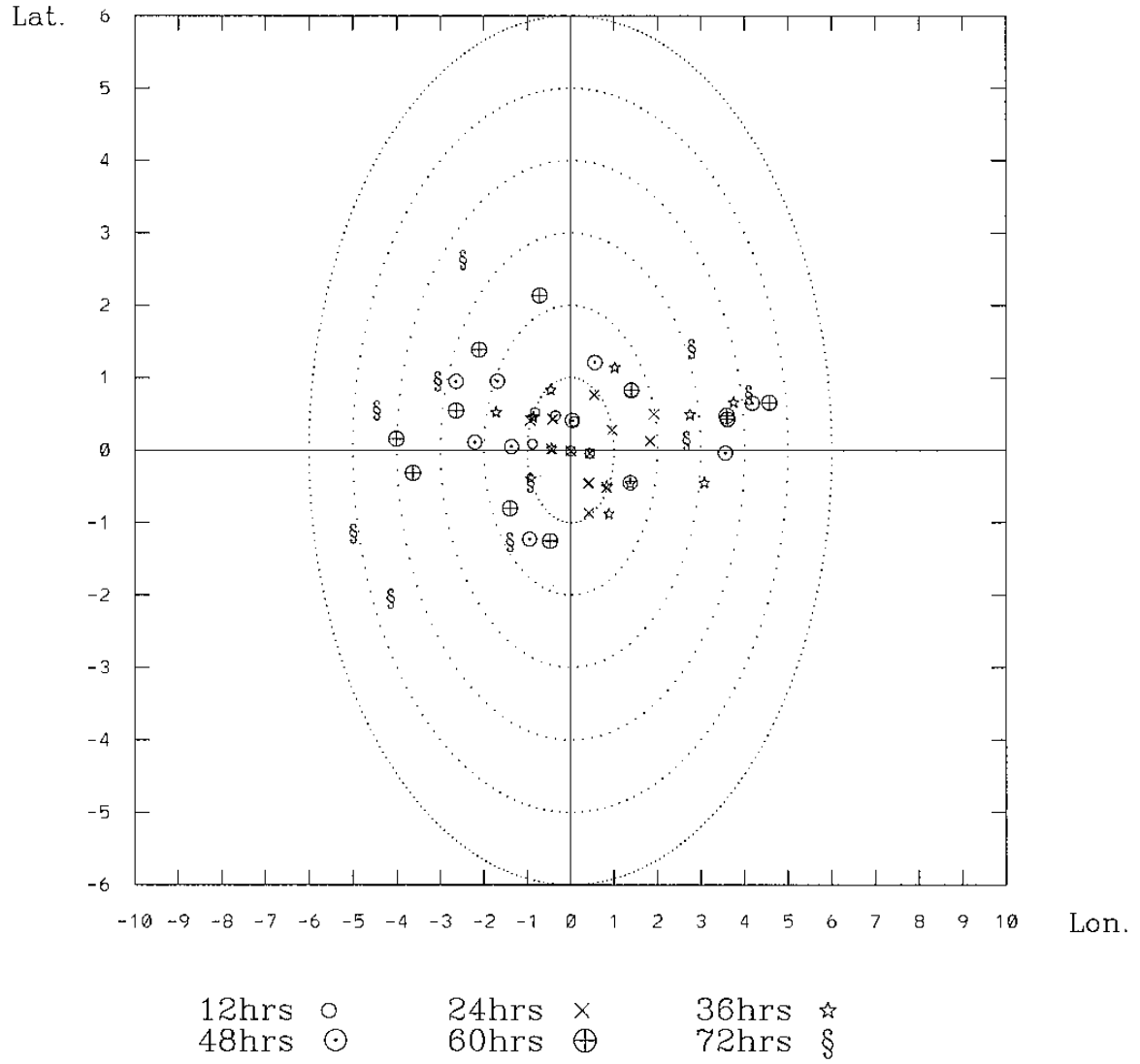


圖 2：實驗八預報颱風中心位置相對於實際位置之分布圖。

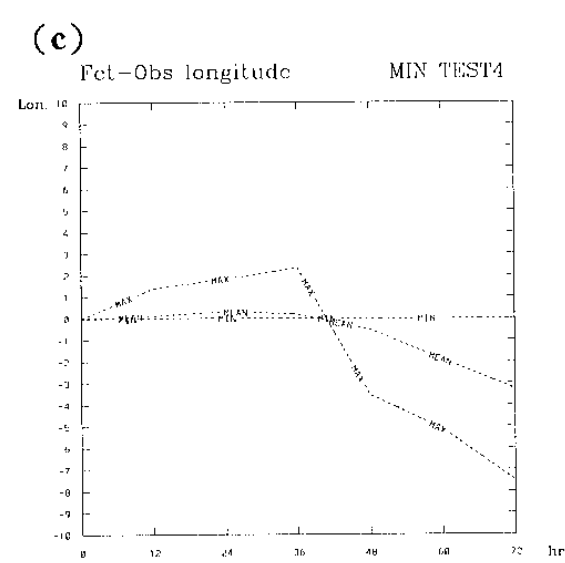
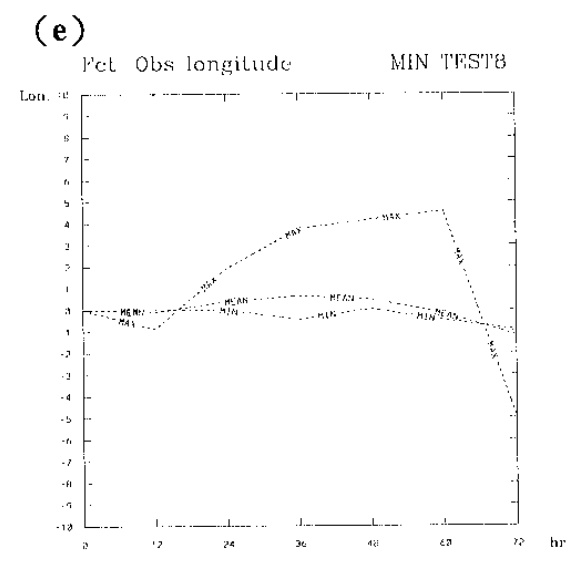
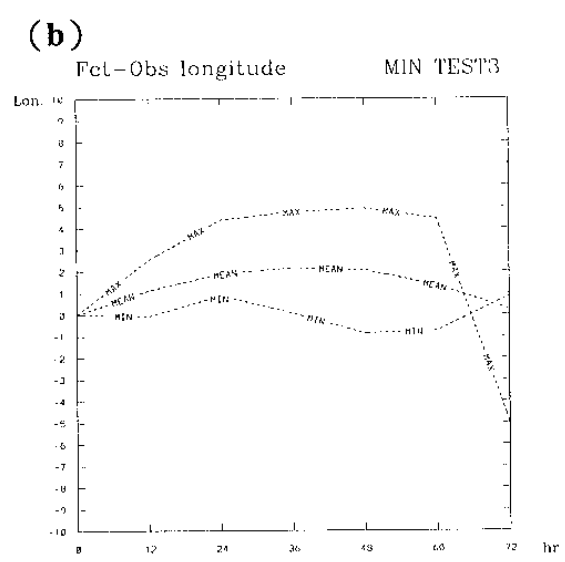
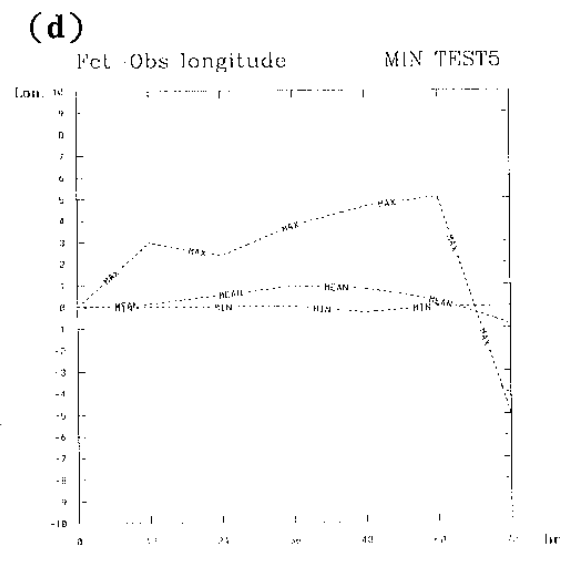
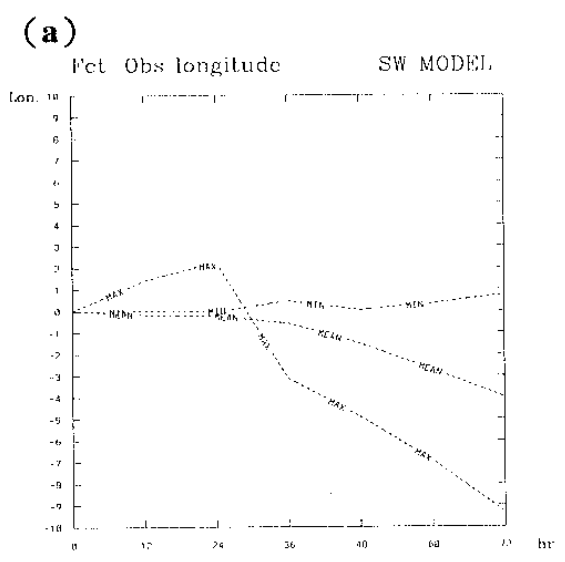
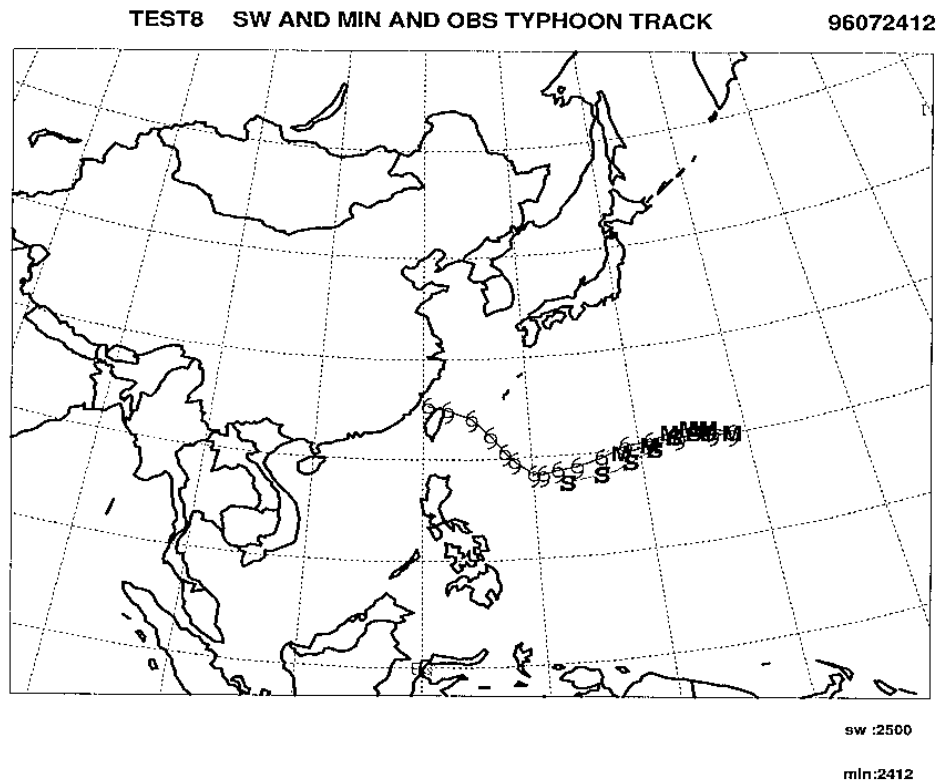


圖 3：模式預報颱風中心位置經度平均誤差、誤差最大、最小值。(a) 淺水模式 (b) 實驗三 (c) 實驗四 (d) 實驗五 (e) 實驗八。

(a)



(b)

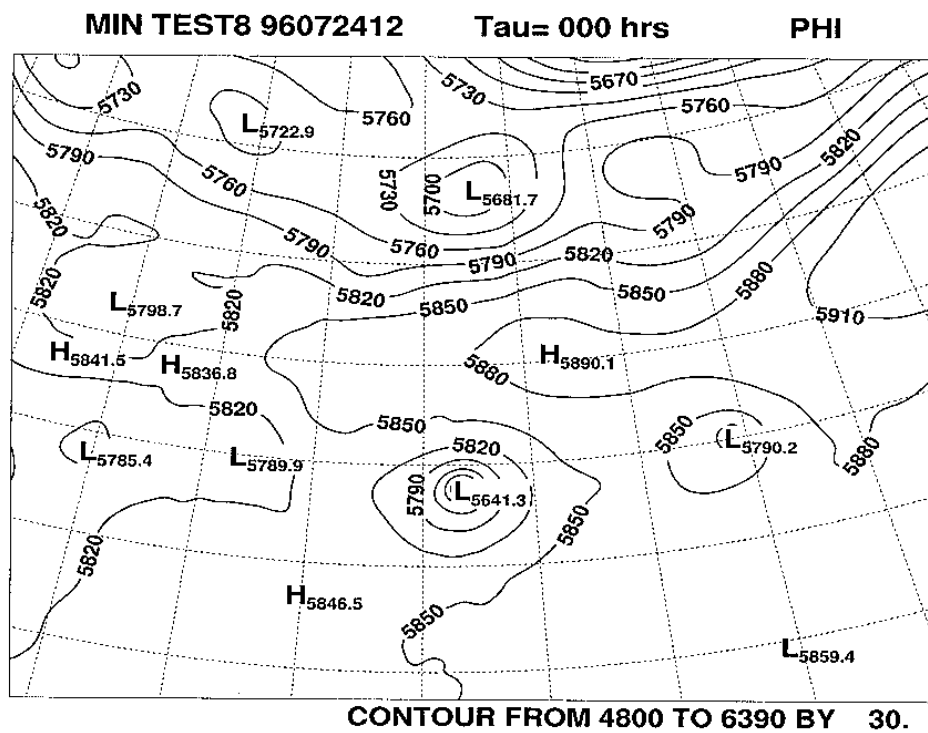
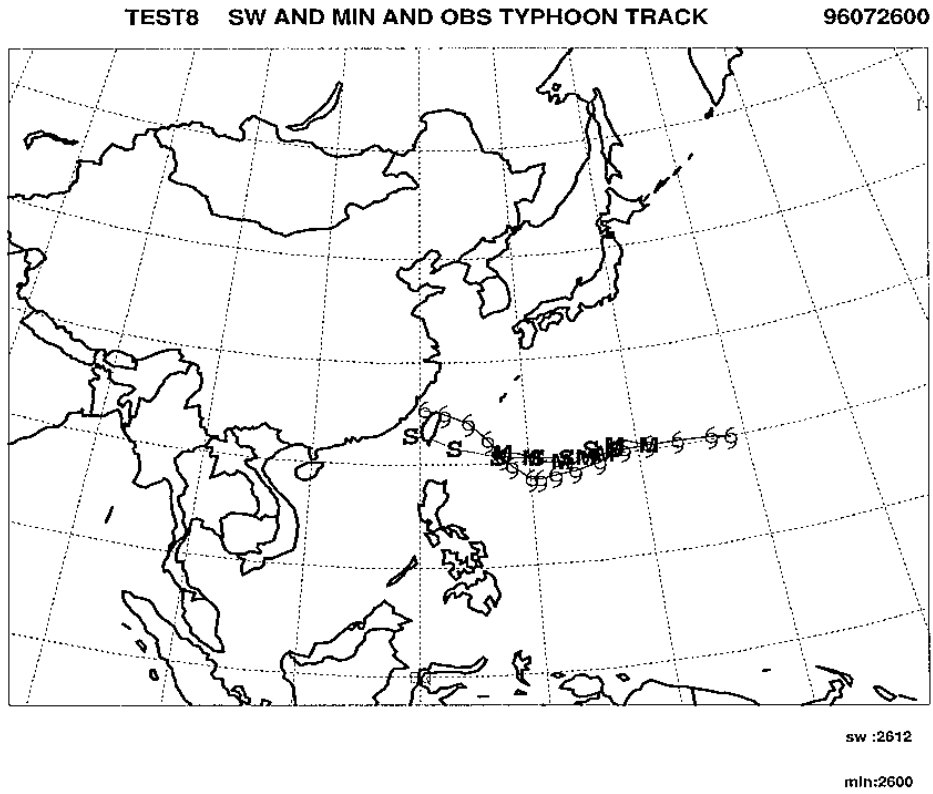


圖 4 : 96072412 (a) 實驗八 (M) 與淺水模式 (S) 颱風中心位置圖  
(b) 實驗八之初始場。



(a)



(b)

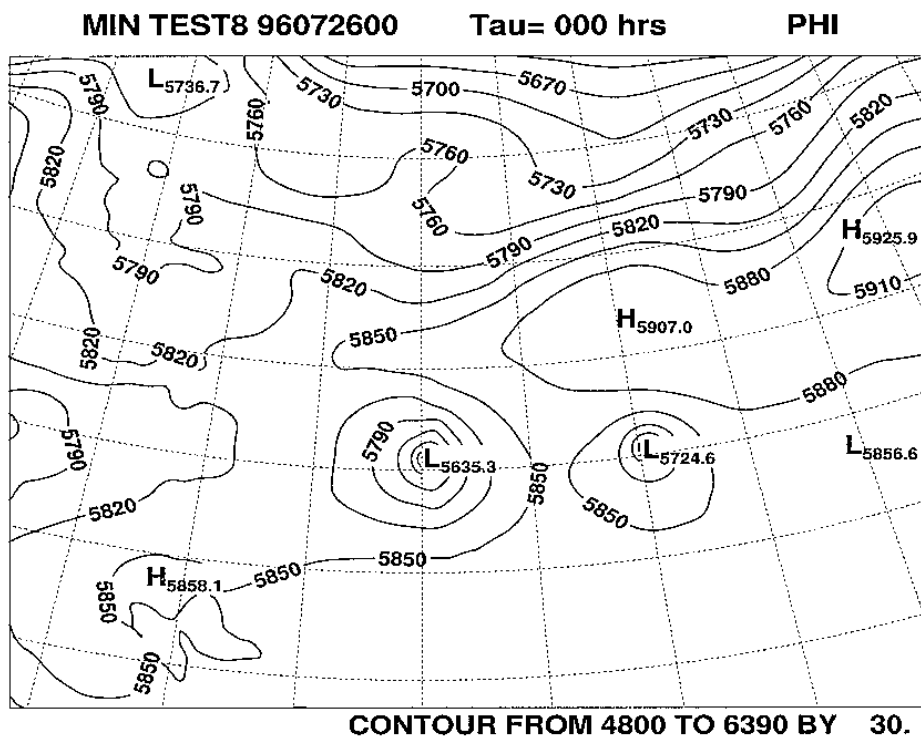


圖 5：96072600 (a) 實驗八 (M) 與淺水模式 (S) 颱風中心位置圖  
(b) 實驗八之初始場。

# 應用單都卜勒雷達觀測進行颱風渦旋初始化之研究

台灣大學土木工程所  
博士候選人江家慧

台灣大學土木工程系  
副教授李天浩

中國文化大學大氣科學系  
助理教授楊明仁

台灣大學大氣科學系  
教授吳俊傑

## 摘要

本研究嘗試利用 GBVTD (Ground-Based Velocity Track Display, Lee et al., 1999 and 2000)法分析五分山雷達之都卜勒風速觀測資料，未來擬作為初始化中尺度 (meso- $\alpha$ ) 數值模式颱風渦旋的同化方法，以期改進極短時(3-12)定量降水的預報。在都卜勒風場資料的分析上，首先應用軸對稱颱風環流概念，發展一套颱風環流之都卜勒風速摺疊校正 (dealiasing) 法，以此都卜勒風速摺疊校正法，處理中央氣象局五分山雷達之都卜勒風速觀測資料。其次利用 GBVTD 法解析颱風渦旋動力最強的核心部分的分層水平風場。第三步驟將分析得到的颱風渦旋植入 MM5 的 6.67 公里解析度風場數值解中，先以九點移動平均的方式內插平滑化植入颱風風場和模式風場解之間的差異；再採用斜壓方程式演算使風場達到質量平衡。未來計畫再將植入 MM5 之颱風渦旋以反覆迭代的方式，產生動力平衡的初始場，之後再進行 3~6 小時的定量降雨預報，期望透過雷達資料同化改進數值模式之初始場，增進數值模式預報 3~6 小時颱風定量降雨分佈的能力。

## 一、前言

根據王 (1980, 1989) 的分析顯示，受到中央山脈的影響，颱風的中尺度降雨與風場分佈具有相位鎖定的現象。Kuo and Wang (1997) 利用 6.7 公里解析度之 MM5 模式模擬賀伯颱風之降雨分佈，雖然模擬 24 小時累積最大降雨 818mm 為觀測值 (1700 mm) 的一半，但能夠正確的模擬降雨分佈情形。Wu and Kuo (1999) 指出由於海洋觀測資料稀少及颱風與台灣之間複雜的交互作用，透過資料同化的方式，利用衛星資料、都卜勒雷達觀測、偵察 (Omega Dropwindsonde 投落送)、無人飛機及 GPS/MET 觀測改進初始場，加上高解析度的數值模擬，可增進預報颱風動力及降雨分佈的能力。

當颱風接近台灣時，都卜勒雷達可提供即時定量的回波及都卜勒風速觀測資訊，具有高空間及時間解析度。分析雷達觀測颱風之回波場及都卜勒風速，可解析颱風之降雨及三維風場分佈情形。本研究主要為分析五分山雷達之都卜勒風速觀測資料，研究應用單都卜勒雷達風場資料改進颱風期間集水區尺度定量降水預報的方法。首先，在都卜勒風速資料的分析上，應用軸對稱颱風環流概念，發展一套不需要觀測資料，適用於即時作業的颱風環流之都卜勒風速摺疊校正法。利用前述都卜勒風速摺疊校正法，分析中央氣象局五分山雷達之即時都卜勒風速觀測資料。利用 GBVTD (Ground-Based Velocity Track Display, Lee et

al., 1999 and 2000) 解析颱風渦旋的垂直分層水平風場，以初始化方法將即時的雷達解析之颱風渦旋植入集水區尺度之 MM5 模式初始場內，以迭代的方式產生新的平衡初始場，再以此新的平衡初始場進行 3~6 小時的定量降雨預報。期望利用此初始化方法，於颱風接近台灣時，透過雷達觀測資料改進數值模式之初始場，增進數值模式預報 3~6 小時颱風定量降雨分佈的能力。

## 二、校正都卜勒風速之摺疊

位於北台灣的中央氣象局五分山雷達，為型號 WSR-88D 之都卜勒雷達，其都卜勒風速觀測距離為 230 公里，徑向解析度為 250 公尺。賀伯颱風期間，五分山雷達觀測之最大的無模糊都卜勒速度  $V_u$  (maximum unambiguous velocity) 為 26.55 m/s。根據地面風場觀測資料顯示，雷達之都卜勒風速觀測資料具有 1~2 次的摺疊現象。本研究採用 VAD-based determination of the Nyquist interval number (Yamada and Chong, 1999) 的概念，將雷達觀測資料的座標系統轉換為以颱風中心為原點的極座標系統，再以兩階段的軸向(radial)與方位角方向(azimuthal)二維檢測方式，進行颱風環流之都卜勒風速觀測資料的摺疊校正 (dealiasing)。

第一階段是在颱風軸向上檢驗都卜勒風速的一致性。根據 Donaldson (1970) 及 Brown et al. (1978) 的研究顯示，在任意半徑  $r$  之環帶狀上颱風渦旋軸對稱的切線風(tangential wind)及軸向風(radial wind)在雷