

# 淺水伴隨模式系統在改善颱風路徑預報之應用

林宇庭<sup>1</sup> 張忍成<sup>1</sup> 曾建翰<sup>2</sup> 顧欣怡<sup>2</sup>

中國文化大學大氣科學系<sup>1</sup> 中央氣象局<sup>2</sup>

## 摘要

本文使用淺水伴隨模式預報賀伯(herb)颱風作個案分析，實驗設計與張等(2001)類似，主要差異在於(1)將同化時窗拉長至前 24 小時；(2)目標函數中之分析變數由僅包含重力位擴充至同時包含水平風場；(3)目標函數之定義空間縮小。

實驗的選擇以張等(2001)的基本實驗為主，實驗 4 為同化大尺度環境駛流場後再將颱風渦旋植入而得到一新初始場；實驗 5 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦旋，並由此得到一新的初始場；實驗 7 為同化大尺度環境駛流場，並同時逼近同化時窗的兩端點後再將颱風渦旋植入而得到一新初始場；實驗 8 為同化大尺度環境駛流場時已包含颱風渦旋，並同時逼近同化時窗的兩端點，由此得到一新的初始場。由實驗 4、實驗 7 得到的初始場與實際分析場較相近。

就平均路徑誤差而言，24 小時同化實驗的預報結果比 12 小時同化實驗來的差，但是在某些時 14 刻(如 1996/07/26/00-1996/07/27/00)卻可呈現較佳的預報結果，這可能與同化實驗包含的時段是否存在葛樂禮(Gloria)颱風渦旋有關。另就整體路徑趨勢而言，24 小時同化實驗的預報結果則較 12 小時者為佳，此或許是當同化時窗變長時，初始場改變的較符合預報模式的動力結構所致；另一方面，同化時窗加長往往使得初始颱風渦旋的強度變弱，所以導致在某些時間點的路徑預報偏差變大，使得平均路徑預報誤差相對增加。

由實驗結果指出，應用四維變分同化的技術確有提升模式預報能力的空間，12 小時同化實驗的預報結果即有不錯的表現。淺水模式 24 小時預報誤差為 144.6 公里，但實驗 4 同化時窗 12 小時的 24 小時預報誤差降為 132.6 公里，而同化時窗 24 小時的同化實驗在颱風行徑的趨勢上可有不錯的改進。顯然不同的同化方式似乎可掌握到影響預報結果之不同的有利因子，因此如何利用不同的同化方式來擷取有效的預報結果，以達到預報能力的提升，是今後工作的重點。

## 一、前言

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，在改善颱風路徑預報上深具潛力，如 Bennet *et al.* (1993)、DeMaria and Jones (1993) 及 Jones and DeMaria (1999) 等均積極以正壓模式在這方面作嚐試，四維變分同化技術在目前來說是非常耗費電算資源，因此希望利用較簡單的預報模式來降低電算資源的耗費，且根據 WMO 報告 (1995, p168)，即使利用的簡單預報模式如正壓模式在實際預報作業上前 36 小時的預報也有相當不錯的表現，雖然在 72 小時以後

就沒有預報價值。所以選擇可大量節省電算資源之前水模式來發展伴隨模式，以此建構一四維變分同化原型系統，進而應用在颱風路徑預報實驗上，希望能提升模式預報能力的可行性及其貢獻。

資料同化在現在研究大氣的範疇上是一項不可或缺的一項工作，而同化的方式有兩種基本假設一是假設預報模式是完美的，而造成預報偏差來自於初始場的誤差，而同化修正初始場的為傳統的 adjoint (改進初始場)，另一是假設觀測初始場是正確的，而預報誤差來自於模式動力上的不足如 Derber(1989) 所提出 Variational

Continuous Assimilation (尋求最佳 external forcing function) 去修正模式的偏差, 本篇所使用的是 adjoint 傳統的技巧, 在 adjoint 裏最主要的是 cost function 的定義, 如何去改變 cost function 去做 minimization 使之找出最佳的初始場, 由此初始場去做預報。

## 二、研究方法

本研究爲了減少浪費電算資源, 因此使用較簡單的預報模式淺水颱風路徑預報模式, 因此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  $u, v$  爲水平風場,  $\phi$  爲重力位場, 模式的基本設定爲模式的水平格點數爲  $191 \times 155$ , 解析度爲 45 公里, 網域左下角位在  $(6.09^\circ\text{S}, 88.756^\circ\text{E})$ , 而右上角則在  $(49.544^\circ\text{N}, 176.282^\circ\text{W})$ , 積分步距爲 30 秒, 而時間積分的格式使用跳蛙格式。

## 三、資料來源

本研究係利用 1996 年賀伯 (Herb) 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。

賀伯 (Herb) 颱風生命期間的格點資料是由中央氣象局的全球模式的全球分析場轉化而來的, 資料時間爲 96072412 至 96080100 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), 使用的變數爲 500 hPa 的水平風場與高度場。其中分別有含颱風渦漩 (標爲 bogus) 與不含颱風渦漩 (標爲 nobogus) 之初始資料。不含颱風渦漩者由全球分析場直接內插而得, 將其視爲真實環境駛流場。有包含颱風渦漩者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 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

在整個實驗設計中 (除了時間  $t$ ) 與張等 (2001) 較大的不同, 在於目標函數 (cost function) 空間範圍定義的不同 ( $x=5, 186$ ;  $y=5, 150$ ), 原本爲 ( $x=1, 191$ ;  $y=1, 155$ ), 及各變數的影響 ( $u, v, \Phi$ ) 皆加入同化; 但是就單純淺水模式實驗的結果並無很大的差異, 因此其它實驗的設定就以此爲基本設定。主要採用實驗 4、實驗 5、實驗 7 和實驗 8 的設計精神, 在張等 (2001) 的實驗結果, 每 12 小時預報一次共 72 小時的預報結果都有優於淺水 (shallow water) 颱風路徑預報模式, 且這 4 組實驗以包含背景場的差異, 及限制時間點的控制皆包含在內; 而實驗 2 和實驗 6 是由不含颱風渦漩的分析場去逼近含有颱風渦漩的分析場, 其基本上在渦漩處的同化逼近就較不容易, 而實驗 3 的設計爲同化時由不含颱風渦漩的分析場去逼近含有颱風渦漩的分析場, 但是在預報時由前 12 小時加入颱風渦漩後開始預報, 因此其預報時間將比其它實驗多 12 小時, 所以爲了實驗的統一性只選用了實驗 4、實驗 5、實驗 7 和實驗 8 作爲本研究的基本實驗組, 各個實驗的設計如圖一所示。

## 五、結論與討論

本文的實驗設計與張等 (2001) 類似, 主要差異在於將同化時窗拉長至前 24 小時, 只針對其中分別以有無颱風渦旋爲背景場的兩組實驗做時間延長的資料同化; 使用的模式爲淺水颱風路徑預報模式, 並利用此一模式應用在伴隨理論, 而成爲數值淺水模式。

在同化實驗的分析中, 若以目標函數變量圖分布來看, 大致可將不同實驗區分爲兩群, 即爲實驗 4、實驗 5 一組和實驗 7、實驗 8 一組, 它們的主要差別在於對目標函數控

制逼近的時間點，前二者的設計為讓模式盡量逼近實際的分析場，可以看到其同化過後的初始場與實際的分析場相近。而後二者則是同時對前、後兩端時間點的分析場作逼近，因此其同化後的初始場比前二者的同化結果較偏離“TFS”之初始分析場。

而近一步言，以無植入颱風渦漩先進行同化後再加入颱風渦漩的實驗最為相似即是實驗 4、實驗 7，對大尺度環境駛流場可以非常的逼近相似，在加入颱風渦漩時其颱風的強度也不會減弱太多，因此在各個高、低壓的分佈與實際的分析場就會相當接近，且颱風的強度與實際賀伯颱風的強度也較接近；而另一方面有植入颱風渦漩之同化實驗，亦即實驗 5 和實驗 8 在大尺度環境駛流場的同化結果與「實際」分析場也極為相近，但是在颱風渦漩的強度上就減弱許多，因為颱風渦漩經過最小化程式的處理，並在同化時修正颱風渦漩的變量與大尺度環境駛流場的變量，為了相互配合使得颱風渦漩減弱，所以颱風強度明顯與「實際」分析場有較大的差異。

舉例而言，預報結果的分析發現 2612 時由 min8-24 實驗同化後的初始場對賀伯颱風路徑的預報表現最好，且其預報的路徑與實際相仿，可以發現前 24 小時的虛擬渦漩也是改變預報路徑的影響因子之一，而在 min4-24 及 min7-24 也都有修正預報路徑，可以相信前 24 小時的同化將大尺度環境駛流場的影響因子加入其中，這兩種方式皆有修正其系統性誤差進而改善預報結果如圖二所示；但是到了 2812 時則是 min5-12 的預報路徑較好，因此可以發現到當同化後的初始場雖與實際作業的分析場相近(如實驗 4、實驗 7)時其預報的結果並不一定出現如預期的較好表現。因此可以知道在同化前 12 或 24 小時，在逼近初始場的過程時修正系統性誤差，將此改變表現在同化後的初始場，以致改變了預報的結果。

最後以整體的表現來看，表 1 發現整個預報過程以 min4-12 這組實驗表現最好，在 24 小時預報就已追上淺水颱風路徑預報的結

果，淺水模式 24 小時預報路徑誤差為 144.6 公里，而 min4-12 的 24 小時預報路徑誤差為 132.6 公里，此結果與張等（2001）是一致的。最後的預報路徑誤差平均以實驗 4 表現最好，而實驗 5 及實驗 8 的預報路徑誤差，則是到預報 60 小時才有較好的表現，但是在 2612 及 2812 時的預報結果卻是實驗 5 及實驗 8 的預報路徑較好，在颱風要改變行徑方向時，以同化含有颱風渦漩大尺度環境駛流場的實驗表現較好。

而 min4-12 在 2612 時無法掌握賀伯颱風的行徑方向，可是在 min4-24 及延長同化時窗後又能將此一趨勢預報出來，在實驗 7、實驗 8 都有此一現象，因此由圖 3 可看到，前 24 小時的同化實驗使得預報路徑向實際路徑方向集中，但速度幾乎都偏快，可能這就是前 24 小時同化實驗平均預報路徑誤差較大的原因。

由之前的討論分析，可得到四項結論：

- 1) 平均路徑預報誤差以 min4-12 的表現最好，在 24 小時以後的預報誤差就比淺水颱風路徑預報模式要小，如表 2 所示；
- 2) 在一些情況下同化颱風渦漩的實驗有較好的預報結果，如實驗 5 和實驗 8 在颱風改變行徑方向時的預報路徑與實際颱風路徑相近，例如在 2612 及 2812 時；
- 3) 前 24 小時同化實驗在方向趨勢上的預報較前 12 小時同化實驗表現的要好；
- 4) 前 24 小時同化實驗在改變颱風轉向上可經由虛擬渦旋即大尺度環境場的修正，進而改變初始場修正系統性誤差影響預報結果；顯然不同的同化方式似乎可掌握到影響預報結果之不同的有利因子，因此如何利用不同的同化方式來擷取有效的預報結果，以達到預報能力的提升，是今後持續努力的方向。

## 六、參考文獻

- 張忍成，1998：環境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-API, 6 頁。
- 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，天氣分析與預報研討會論文彙編，台北，台灣，35-44。

陳得松、黃康寧、葉天降、彭順台，2001：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論文彙編，台北，台灣，411-416。

曾建翰，張忍成，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。

一，2001：中央氣象局全球模式四維變分實驗，中央氣象局研究發展專題，CW90-1A-17 號，29 頁。

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 之表現與檢討。第七屆全國大氣科學研討會論文彙編，台北，台灣，18-21。

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 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.

Talagrand, O., 1991: The use of adjoint equations in numerical modeling of the atmospheric circulation. In: (A. Griewank,

G. Corlise, editor) Automatic differentiation of algorithms: theory, implementation and application, pp. 169-180.

一， and P. Courtier, 1987: Variational assimilation of Meteorological observations with adjoint vorticity equation. Part I. Theory. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **113**, 1311-1328.

表 1 不同模式之預報表現與各實驗之預報表現比較表

公里 \ 小時	12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr
SANBAR_ALL	89	183	302	424		636
SANBAR_SOUTH	70	137	229	340		613
TFS_2000		148		306		613
sw-ave	81.35	144.6	208.2	262.7	333.6	401.1
test4-12	97.77	132.6	180.74	232.4	253.3	306.7
test4-24	95.53	147.5	180.27	234.9	293.2	363.1
test7-12	83.21	137.8	190.1	228.9	297.3	378.2
test7-24	79.33	146.3	196.19	263.4	336	390.7
test5-12	116.1	155.4	210.15	270.9	309.2	380.6
test5-24	183.9	210.2	229.94	261.6	315.8	417.3
test8-12	105.1	178.1	222.97	266.2	311.6	373.9
test8-24	174.5	192.4	207.3	250.1	317.3	412.4
t7-12-24	105.1	172.2	214.71	282.7	360.7	428.3
t8-12-24	154.5	211.4	271.87	301.7	363.6	444.9
t4-12-24	89.11	156.8	208.27	266.8	323.3	399.1
t5-12-24	113.8	173.1	236.02	289.1	358.5	454.1

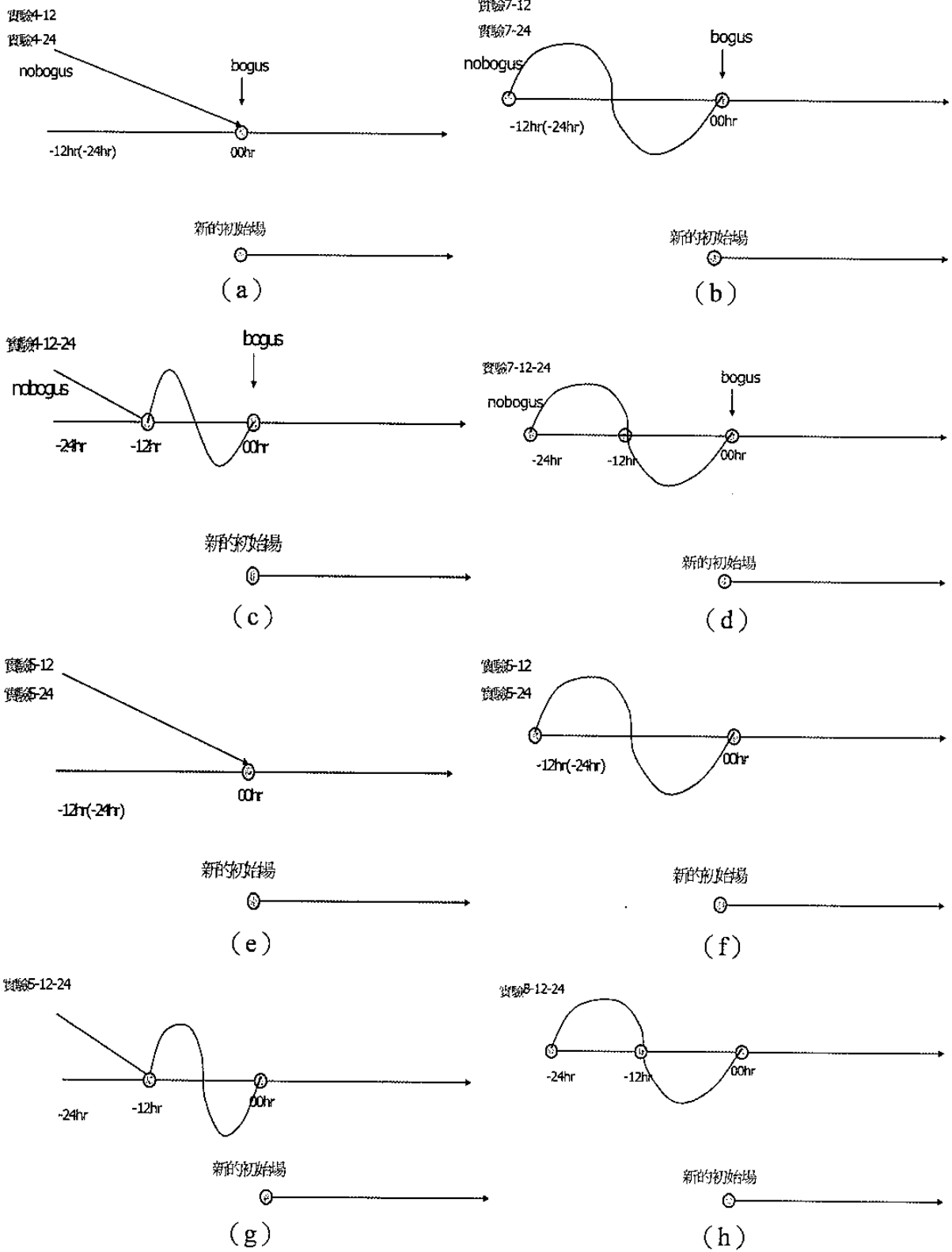


圖 1 實驗設計示意圖

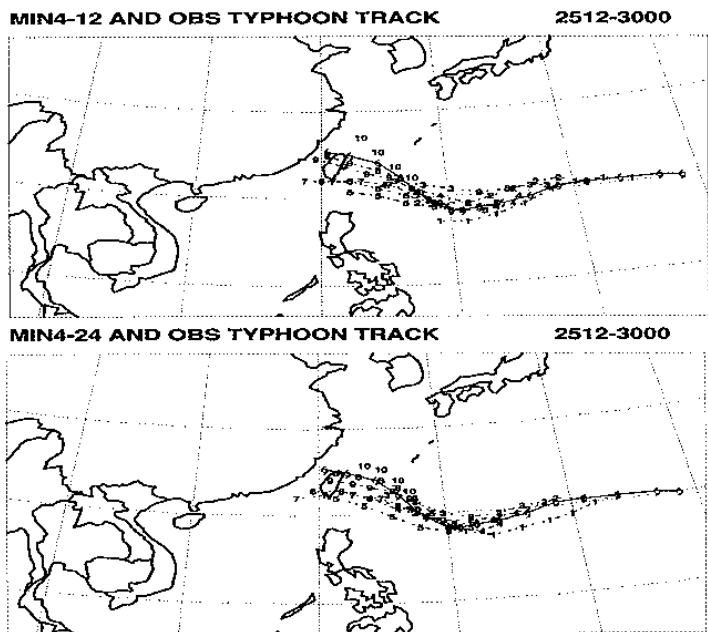


圖 2 min4-12、min4-24 同化後預報賀伯  
颱風之路徑圖

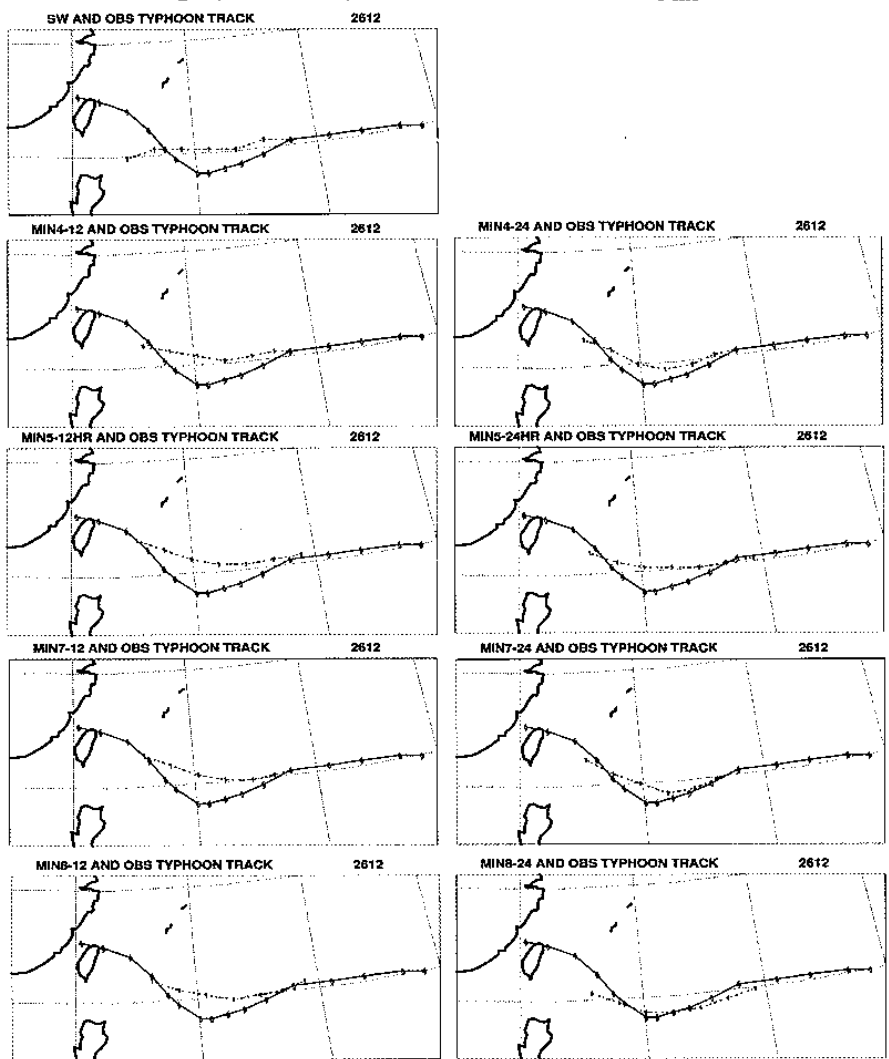


圖 3 淺水颱風預報模式與各實驗預報賀伯颱風在 2612 時之預報結果