

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫：伴隨(Adjoint)技術在改善模式路徑預報之應用(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2625-Z-034-009-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：中國文化大學大氣科學系

計畫主持人：張忍成

共同主持人：曾建翰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 2 日

颱風路徑數值預報模式之改進與系集預報技術之發展與建立—子計畫：  
伴隨（Adjoint）技術在改善模式路徑預報之應用（2/3）

主 持 人：張忍成  
共同主持人：曾建翰

（NSC 91-2625-Z-034-009；91/08/01～92/07/31）

期中報告

一、前期結果

本計畫為上一（90）年度計畫之延續。在去年度計畫中，我們已成功建立一以淺水伴隨模式系統為架構，具有四維變分資料同化能力的正壓颱風路徑預報模式，並應用在賀伯（1996）颱風個案上，初 48 小時同化暨「後預報」實驗測試。

綜合的測試結果，我們初步得到的主要結論是：模式經同化處理後，可對較長期預報（2 天以上）有所改善，然而對較短期者（即 48 小時以內）則未必如此！但如採用只同化大尺度環境場的策略，於回加初始颱風渦漩後，再進行「後預報」實驗，則可穩定提昇模式之預報能力！

本年度的工作則架構在去年的基礎上做更進一步的同化測試暨後預報實驗。目的之一在了解模式預報結果對同化目標函數（cost function）定義區域之敏感度如何？另一方面，同時拉長同化時窗，以了解加入較多已知的過去信息是否能更有利於模式預報？

二、方法與實驗設計

進行同化工作所需最小化之 cost function 通用定義如下：

$$J = \sum_T \sum_{\Gamma} w_w \left( \frac{w - w^{TFS}}{\Delta w_{max}^{TFS}} \right)^2 + w_u \left( \frac{u - u^{TFS}}{\Delta u_{max}^{TFS}} \right)^2 + w_v \left( \frac{v - v^{TFS}}{\Delta v_{max}^{TFS}} \right)^2。$$

其中：T 表「觀測」時間點，可同時包含預報初始時及過去已知觀測或分析（如前 12 或 24 小時者）； $\Gamma$  為空間位置，即含各個網格點。本研究所使用的「觀測」場為來自氣象局 TFS 之分析，或已含颱風渦漩、或僅含大尺度環境場。原則上，cost function 之定義不同，其結果也將有所差異，因而我們針對不同的時空貢獻來定義出不同的目標函數，設計一系列的同化及後預報實驗（表一），以了解預報結果對不同同化過程的敏感度。

其中，與去年主要的差別之一，在於減少計算 cost-function 的空間格點數，由原來包括模式全區域，變為去掉側邊界（各邊往內縮 5 格點）之模式區域；差別之二在於「同化時窗」擴展至過去已知 24 小時內之分析資訊；差別之三在於

擴展 cost-function 之計算，由僅考慮重力位場，進而同時包含所有模式變數（即風場與重力位場）。最後，差別之四，在於颱風中心位置預報誤差上採行更精確的計算。（上年度的數值乃由 1 經緯度差異相當於約 100 公里估算而來，如今改採兩點間大圓公式計算。）

### 三、重點成果說明

我們依舊以賀伯颱風（1996）為討論個案。其路徑約可分三期：在 26/12Z 前為穩定西行，其後則轉為西南西前進，再於 29/00Z 轉向西北直撲台灣而來。其中，第二階段中的二次轉向，幾乎是所有模式所無法掌握者。

根據上一年度的經驗，我們侷限在 TEST4、TEST5、TEST7、TEST8 等原來四組實驗設計，以及其相對應衍生之不同同化及後預報實驗群（見表一）作進一步測試。主要結果簡述如下：（見表二）

1. 經 SW 對 Herb (1996) 路徑預報 12/24/36/48/60/72 小時之平均誤差分別為 81/145/208/263/334/401 公里。
2. 經變分同化過程修改初始場後之總體最佳表現為：79/133/180/228/253/307 公里，可分別改善 2/12/28/35/81/94 公里。其中，單一整體表現最佳者為 TEST4，其平均誤差為 98/133/181/232/253/307，可改善空間為 -17/12/27/31/81/94。
3. 將同化時窗延長為 24 小時後，所得修正初始場之預報改善情形大致在 36 小時後才出現，尤其 60 小時後幾乎均有改善，唯除 TEST5\_12\_24、TEST7\_12\_24 及 TEST8\_12\_24。
4. 上述三者，尤其同時含-24, -12, 00 三時點的預報結果非但未有改進，反使表現變差。基於僅含二時間點者均較同時含三時間點者為佳，故推測其可能為：約制條件變多，疊代次數銳減，修正量極少，無法有效修正系統性誤差所致？雖然如此，同化大尺度者仍優於同化同時含有 bogus 渦漩者。
5. 若排除 TEST#\_12\_24 等，則 TEST4/7 系列幾乎均優於 TEST5/8 系列，所以最佳同化策略應以同化大尺度環流，再回加颱風渦漩者為佳。
6. 就含 bogus 渦漩者而言，TEST8\_12 早期（24 小時內）較 TEST8\_24 為佳，可能是後者之初始場變動已然較大所致。TEST5 系列亦同，但 TEST5 後期仍是如此，所以單就 TEST5 系列而言，以同化時窗為 12 小時者較 24 小時佳。整體而言，TEST8 亦同；雖然中期時（即 36-48 小時預報），是 24 小時同化稍優於 12 小時者。因此，同化時窗以 12 小時者優於 24 小時者。
7. 在 12 小時預報內，TEST7 系列優於 TEST4 者；而 TEST8 相對於 TEST5 系列亦同。因此短期預報內，似乎以雙時間點逼近，優於取單一時間點逼近者。至於晚期（60 小時後）則恰好相反，即 TEST4 優於 TEST7

系列。此現象在 24 小時後已呈如此趨勢！故多時間點限制之效果，似乎僅限於極短期預報內；若整體考慮而言，僅以單一時間點逼近，或是最佳手法。這在含 bogus 渦漩者（即 TEST5/8 系列）則無明顯差異。前者疊代次數可較少；而後者可長時修改，可較逼近原始初始分析。

8. 另一方面，在 12 小時預報內，大尺度逼近者（即 TEST4/7 系列），似乎以 24 小時同化時窗者優於 12 小時者！但預報 24 小時以上時，則是 12 小時同化時窗者為佳，此同前 6.中所述，並與其他實驗結論相一致（如 DeMaria and Jones，1993）。
9. 雖然平均而言，使用 24 小時同化時窗劣於 12 小時同化者，但有一重要例外情形發生：即當 Herb 往西南移動時期，僅利用 24 小時同化者較能預報出其正確偏向（圖一）！（此時期為所有作業模式無法正確預報出者！）其中，二時間點逼近（即 TEST7/8）較優於單一者（TEST4/5），且似乎以 TEST8 為最佳。因此，在某些情況下（存在雙颱風時），24 小時前的大尺度環境場顯得相當重要，同時『正確的』“小”尺度颱風渦漩資訊也不能輕忽。

綜合而言，在經過更多的同化實驗測試後，我們更加確定，在採特定之同化處理程序，亦即以同化大尺度環境場為主，再回加颱風初始渦漩，是可穩定提昇模式之預報能力。但另一方面，並非經同化處理，模式即可對較長期預報（2 天以上）有所改善。尤其，當約束條件過多時，對系統性誤差大的簡單模式而言，修正初始誤差為主之同化處理，反將使模式預報能力變差。

另外，針對前 12 小時的同化結果，去年度初步測試所得的結論對 cost-function 之定義在空間格點數以及變數上之變動並不敏感，依舊是成立的。換言之，以只由同化大尺度環境場演化著手的 TEST4 與 TEST7 兩者，在 24 小時以上的預報結果，相對於 SW 者均可有所改善（表二）；而「觀測」中已含有颱風渦漩之同化處理，即 TEST 5 與 TEST8，則直到 60 小時以後才見改進。

在將同化時間延長為前 24 小時的實驗中，其整體表現並不如只同化前 12 小時的相對照實驗。事實上，以 12 小時前的大尺度分析出發，逼近初始時的大尺度分析場，可能是本模式的最佳同化策略。雖然如此，在排除同時含-12 與-24 的實驗組後，將同化時間拉長至前 24 小時，並非全然一無可取，尤其在某些關鍵時刻，因此，含不同同化過程之初始系集預報策略，或應是可進一步研究其可行性之課題。

#### 四、參考文獻

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彙編，台北，台灣，35-43。

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。

DeMaria M., M. B. Lawrence, and J. T. Kroll, 1990: An error analysis

of Atlantic Tropical Cyclone Track Guidance Models. *Weather and Forecasting*, **5**, 47-61.

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.

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.

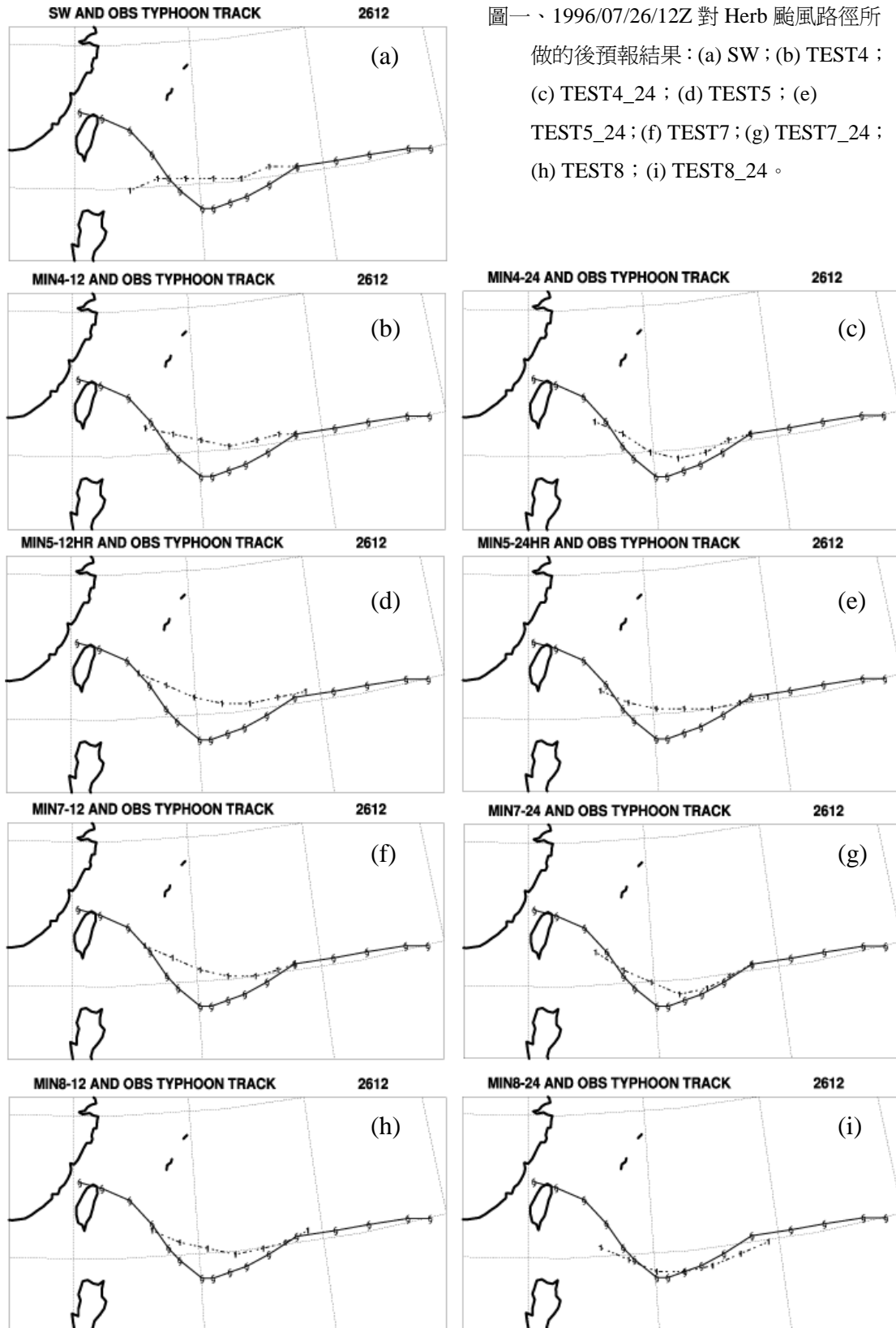
## 五、附圖表

表一：同化測試實驗設計內容差異之對照表。NB 代表僅含大尺度環流場，B 代表時含有大尺度環流場與 bogus 颱風渦旋，b 為僅含 bogus 颱風渦旋，'表經同化修正者，而下標則為時間（單位：小時）。

<b>Experiments</b>	<b>First guess</b>	<b>Target</b>	<b>Initial after minimization</b>
<b>TEST4</b>	<b>NB<sub>.12</sub></b>	<b>NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST4_24</b>	<b>NB<sub>.24</sub></b>	<b>NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST4_12_24</b>	<b>NB<sub>.24</sub></b>	<b>NB<sub>.12</sub>+NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST5</b>	<b>B<sub>.12</sub></b>	<b>B</b>	<b>B'</b>
<b>TEST5_24</b>	<b>B<sub>.24</sub></b>	<b>B</b>	<b>B'</b>
<b>TEST5_12_24</b>	<b>B<sub>.24</sub></b>	<b>B<sub>.12</sub>+B</b>	<b>B'</b>
<b>TEST7</b>	<b>NB<sub>.12</sub></b>	<b>NB<sub>.12</sub>+NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST7_24</b>	<b>NB<sub>.24</sub></b>	<b>NB<sub>.24</sub>+NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST7_12_24</b>	<b>NB<sub>.24</sub></b>	<b>NB<sub>.24</sub>+ NB<sub>.12</sub>+NB</b>	<b>NB' + b</b>
<b>TEST8</b>	<b>B<sub>.12</sub></b>	<b>B<sub>.12</sub>+B</b>	<b>B'</b>
<b>TEST8_24</b>	<b>B<sub>.24</sub></b>	<b>B<sub>.24</sub>+B</b>	<b>B'</b>
<b>TEST8_12_24</b>	<b>B<sub>.24</sub></b>	<b>B<sub>.24</sub>+ B<sub>.12</sub>+B</b>	<b>B'</b>

表二：淺水模式同化後預報實驗之 12 小時至 72 小時誤差對照表。(單位：公里)  
 表中同時含有其他相關模式參考路徑預報誤差，其中，標陰影者表較 SW  
 佳，而()中的數字則為上年度測試時之估算值(詳內文)。

颱風中心誤差 ( km )	12 小時	24 小時	36 小時	48 小時	60 小時	72 小時
<b>SANBAR_All (DeMaria <i>et al.</i>, 1990)</b>	<b>89</b>	<b>183</b>	<b>302</b>	<b>424</b>	<b>-</b>	<b>636</b>
<b>SANBAR_South (DeMaria <i>et al.</i>, 1990)</b>	<b>70</b>	<b>137</b>	<b>229</b>	<b>340</b>	<b>-</b>	<b>613</b>
<b>TFS_2000 (黃 等, 2001)</b>	<b>-</b>	<b>148</b>	<b>-</b>	<b>306</b>	<b>-</b>	<b>520</b>
<b>SW</b>	<b>81 (83)</b>	<b>145 (129)</b>	<b>208 (205)</b>	<b>263 (295)</b>	<b>334 (391)</b>	<b>401 (491)</b>
<b>TEST4</b>	<b>98 (84)</b>	<b>133 (119)</b>	<b>181 (157)</b>	<b>232 (237)</b>	<b>253 (307)</b>	<b>306 (402)</b>
<b>TEST7</b>	<b>83 (79)</b>	<b>138 (132)</b>	<b>190 (194)</b>	<b>229 (260)</b>	<b>297 (347)</b>	<b>378 (438)</b>
<b>TEST5</b>	<b>116 (101)</b>	<b>155 (149)</b>	<b>210 (214)</b>	<b>271 (304)</b>	<b>309 (378)</b>	<b>381 (462)</b>
<b>TEST8</b>	<b>105 (88)</b>	<b>178 (165)</b>	<b>223 (222)</b>	<b>266 (293)</b>	<b>312 (350)</b>	<b>374 (421)</b>
<b>EBM</b>	<b>-</b>	<b>136</b>	<b>-</b>	<b>284</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>GFDL</b>	<b>-</b>	<b>164</b>	<b>-</b>	<b>191</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>TEST4_24</b>	<b>96</b>	<b>148</b>	<b>180</b>	<b>235</b>	<b>293</b>	<b>363</b>
<b>TEST7_24</b>	<b>79</b>	<b>146</b>	<b>196</b>	<b>263</b>	<b>336</b>	<b>391</b>
<b>TEST5_24</b>	<b>184</b>	<b>210</b>	<b>223</b>	<b>262</b>	<b>316</b>	<b>417</b>
<b>TEST8_24</b>	<b>174</b>	<b>192</b>	<b>207</b>	<b>250</b>	<b>317</b>	<b>412</b>
<b>TEST4_12_24</b>	<b>89</b>	<b>157</b>	<b>208</b>	<b>267</b>	<b>323</b>	<b>399</b>
<b>TEST7_12_24</b>	<b>105</b>	<b>172</b>	<b>215</b>	<b>283</b>	<b>361</b>	<b>428</b>
<b>TEST5_12_24</b>	<b>114</b>	<b>173</b>	<b>236</b>	<b>289</b>	<b>359</b>	<b>454</b>
<b>TEST8_12_24</b>	<b>155</b>	<b>211</b>	<b>272</b>	<b>302</b>	<b>364</b>	<b>445</b>



圖一、1996/07/26/12Z 對 Herb 颱風路徑所做的後預報結果：(a) SW；(b) TEST4；(c) TEST4\_24；(d) TEST5；(e) TEST5\_24；(f) TEST7；(g) TEST7\_24；(h) TEST8；(i) TEST8\_24。



