

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 簡化動力模式伴隨系統與颱風路徑預報改善之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2111-M-034-004-

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

計畫參與人員：陳御群，林宇庭

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 10 月 28 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 簡化動力模式伴隨系統與颱風路徑預報改善之研究

### A Study on Improving Typhoon-track Forecasts with a Simplified Dynamical Model and Its Adjoint System

計畫編號：NSC 91-2111-M-034-004

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：張忍成 中國文化大學大氣科學系

#### 一、摘要：

吾人利用四維變分同化手法，強迫一區域淺水模式在過去12（或24）小時至初始時間之模式演化結果去同時逼近來自複雜作業模式之已知分析，以產生經包括歷史資訊微幅調整後之新初始場，來進行颱風路徑預報實驗結果之比對分析。

結果顯示：當模式原始預報結果即已較佳之個案，如賀伯（Herb，1996）、辛勒克（Sinlaku，2002）等，在改用新的初始場進行預報實驗時，似乎可顯著提昇此簡化動力模式應用在颱風路徑預測上之準確度；然當原始預報本已不佳時，如納莉颱風（Nari，2001）個案，則利用此四維變分逼近法，除一天以內的預報外，並無法有效改善本區域淺水模式之颱風路徑預報能力。

以賀伯個案颱風為例，實驗發現：「傳統」的分析逼近方式，即同時逼近所有可用分析資訊，並非是利用四維變分逼近法之最佳策略；反而往往是「開放式」的變分逼近策略，即雖由前時分析出發但僅逼近初始時分析而已，對模式路徑預報表現可有較顯著之提昇。

此外，「同化時窗」較短者之預報結果，一般而言，優於時窗較長者。另外，僅逼近大尺度環境駛流場者，優於逼近原分析場中已含有人工颱風虛擬渦漩者。但在某些情況下，含有颱風虛擬渦漩之較早期資訊，似乎卻又是欲改善模式路徑預報結果所不可或缺之要素。

由綜合傳統與開放式四維變分逼近結果之對比，以及同化時窗長短者間之相

較，簡化模式路徑預報改進之主因應在於：新的初始場中隱含有調整模式系統性偏差的動力擾動存在，或多或少持續地抵消部分模式後續之系統性預報誤差，而非此新初始分析場較原始分析更接近真實所致。

關鍵詞：颱風路徑預報、淺水伴隨模式系統、四維變分同化技術

#### Abstract：

A regional shallow-water model (SWM) and its adjoint system, capable of performing the four-dimensional variational (4DVAR) data-assimilation tasks, were used to optimally fit the current and earlier analyses, from a sophisticated operational forecasting system, with various fitting strategies. The resulting modified initial analyses were then used by the same SWM to explore the potential benefits of using this 4DVAR-like function-fitting method in helping the model's performance on typhoon-track forecasts.

For those cases that model's original predictions were not too bad before any surgery, such as Herb (1996) and Sinlaku (2002), it is found that the method boost model's capability significantly. On the other hand, the fitting preprocessing gives little help for the cases whose tracks were poorly predicted originally, such as Nari (2001), except maybe for the first 12- to 24-hour forecasts.

It is found that the conventional way of fitting all available information during a

specified time window is the best strategy, in terms of model performances. On the contrary, it is usually the process that leaves the starting analysis open which has done a better job.

It is also noted that the results from a shorter fitting time-window (12 hours) are generally better than those from a longer period (24 hours). In addition, results from fitting analyses without were superior to those with bogus typhoon vortices. However, the historical analyses including the bogusing information may sometimes play a crucial role in helping the model forecasts.

By carefully comparing our results in terms of above-mentioned contrasts, it is inferred that the SWM's improvement in predicting a typhoon motion is more due to the fact that the newly acquired initial analysis contains information that would more or less reduce (or cancel) the follow-up systematic drifts, rather than it is more accurate than the original analysis.

Key words : Typhoon-track forecasts, 4D-Var data assimilation.

## 二、前言

颱風災害一直是台灣地區四大災變天氣之首。舉如著名的賀伯 (Herb, 1996) 象神 ( , ) 到最近的桃芝 ( , 2001) 納莉 (Nari, 2001) 等皆造成人民生命財產的鉅大損失。但另一方面, 颱風降雨卻也是本島民眾不可或缺的主要水源之一, 如2002年春台灣北部的嚴重乾旱, 若非雷馬遜颱風 ( , ) 等帶來及時雨, 後果恐怕不堪設想。因此, 颱風問題一直是國人所關注, 而氣象從業人員所應重視且面臨艱鉅挑戰的主要議題之一。

面對颱風問題, 首先遭遇的最主要挑戰在於路徑預測的是否準確, 尤其後續的局部地區風力及降水預報表現更是取決於此。中央氣象局官方24小時路徑預報誤差雖已由過去約177公里 (李, 1996), 進步到目前的133公里 (中央氣象局1997-2001年之颱風調查報告)。然此預報水準, 有時卻仍無法滿足本國人民之要

求。如1995年的賴恩 (Ryan) 颱風及2001年的桃芝颱風, 24小時預報誤差在其最接近本島或登陸台灣時, 分別僅有不到100、60公里, 卻都曾引起軒然大波。而去 (2002) 年因辛勒克 (Sinlaku) 颱風所造成的紛端, 至今恐怕都還尚未平息! 概因我國幅員狹小且地形複雜, 稍有些微失誤, 往往與實際情況大相逕庭, 故人民對路徑預報準確之要求相對極為嚴苛。因而, 如何提昇對颱風路徑預報之能力, 以提供民眾更正確的資訊, 是吾輩氣象專業人員首要任務之一。

應用伴隨技術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, 對改善模式預報深具潛力; 但另一方面, 複雜作業模式除其伴隨 (adjoint) 系統之發展曠日廢時外, 欲應用這非常耗費電算資源的四維變分同化技術, 在目前電算資源限的條件下恐尚力有未逮。因此, 以簡單動力模式來使用此誘人但卻昂貴的伴隨技術應用, 或是目前最可行的折衷方案。如Bennet *et al.* (1993)、DeMaria and Jones (1993) 及 Jones and DeMaria (1999) 等均曾積極以正壓模式來從事這方面的嘗試。況且, 根據WMO報告 (1995, p168), 即使簡單如正壓模式, 其在實際預報作業上亦可有相當不錯的表現 (前36小時); DeMaria *et al.* (1990) 亦指出正壓模式對位在副高南緣之颱風個案路徑預報具有相當程度的參考價值 (36-48小時)。因此, 我們嘗試以動力簡單、可大量降低電腦資源需求之淺水方程模式, 發展其伴隨模式, 建構一四維變分同化原型系統, 進而應用於颱風路徑後預報實驗上, 探索其在提升模式預報能力的可行性及可能貢獻。如有改善, 吾人更將側重在其如何改善、以及為何改善等議題之探討。

## 三、研究方法

### (一) 淺水變分同化系統

本研究使用先期研究中所發展的區域淺水模式及其伴隨模式系統 (曾、張、林, 1997; 張, 1998、1999、2000), 再加上一所謂的 L-BFGS 的最小化模組 (Liou *et*

al., 1987), 組成一可進行四維變分資料同化工作之淺水變分同化原型系統。

#### (二) 四維變分同化 fitting 分析法

除使用來自氣象局 TFS 模式之分析場作為區域淺水模式之初始場外, 本研究更採行四維變分資料同化處理之精神, 自前時 (前 12 或 24 小時) 的已知分析環流出發, 來逼近預報初始時間之原 TFS 觀測分析場, 以建構一含過去歷史資訊之新的初始分析。在此, 欲最小化之目標函數通用定義為:

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

其中,  $T$  表「觀測」時間點, 而  $\Gamma$  為空間網格點。

原則上, 不同的逼近策略將得出不同的新初始場。取 12 小時同化時窗, 我們共設計出 8 種最小化實驗, 分列如表 1。其中, TEST1 為孿生子實驗, 除驗證變分同化流程之正確性外, 其作用在做為完美模式假設下之同化結果比對基準。

TEST2-5 與 TEST6-8 互為對照群, 前者為「開放式」逼近, 即雖前時分析出發, 但僅逼近初始時分析而已; 後者則為一般直覺的「封閉式」逼近方式, 即同時迫近同化時窗內所有的可用分析。其中再分三組: TEST2 與 TEST6 為類 BDA (Zou and Xiao, 2000) 實驗, 即由不含虛擬颱風渦旋之分析出發, 逼近含有者; TEST5 與 TEST8 為皆含虛擬颱風渦旋之分析, 即如 DeMaria and Jones (1993) 所採用者; TEST3/4 與 TEST7 則為皆不含虛擬颱風渦旋之分析 (或僅有大尺度環境駛流場) 最末一組在進行後預報實驗時, 必得先將虛擬颱風渦旋環流加回, 其為含虛擬渦旋之原初始分析與不含者間之差異。而 TEST3 與 TEST4 二者之差別僅在回加初始渦旋的時間不同而已, 前者在同化過程之初始時, 而後者則為後預報實驗之初始時。簡要言之, 上述不同變分同化逼近策略的主要差異在於: (一) 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); (二) 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。

另外, 為測試同化時窗長短之效應, 吾人更分別將 TEST4/7 與 TEST5/8 等實驗之同化時窗拉長至前 24 小時。如此, 各組間又多了一是否含前 12 小時分析之策略選項。

#### 四、資料與個案分析

本研究所使用的格點資料來自氣象局的 TFS 初始分析場。模式涵蓋的網格區域與固定網域之 TFS 完全相同 (黃等, 1997), 使用變數為 500 hPa 的水平風場與高度場。其中, 更區分有含與不含颱風渦旋之初始資料。不含者, 即由全球波譜模式的全球分析場直接內插而得, 將視為真實環境駛流場; 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。

我們除針對賀伯颱風個案做深入的測試外, 更選取如納莉、雷馬遜、納克莉及辛勒克等個案進行探討。這些個案或位在副熱帶高壓南緣、或位在北緣、或在東緣轉向之際, 根據 DeMaria *et al.* (1990) 的統計結果, 模式的原始表現將有大幅的起伏, 藉此可對四維變分同化 fitting 分析法應用在淺水模式颱風路徑預報上能有較廣泛之了解。

##### (一) Herb (1996)

民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日間侵台的賀伯颱風, 除造成本島空前的鉅大損失外, 終其一生均在高壓南緣發展, 應適合淺水模式相當正壓的屬性; 同時期更有葛樂禮 (Gloria) 颱風在其前, 對其偏南行徑或有相當程度之影響。另外, 其在 7 月 26 日 12Z 至 28 日間, 原由西向轉為西南西向之行徑, 是各家數值模式所未能確切掌握者。

##### (二) Nari (2001)

民國 90 年 9 月 15 日至 9 月 17 日間侵台的納莉颱風, 號稱本島颱風史上三大怪颱之一。除行徑怪異, 為史無前例地自東

北向西南移動登陸台灣外，其移速緩慢，侵台停留時間長達三天，並創下多項降雨紀錄，更造成全台鉅額損失，尤其重創北台灣地區。

### (三) 雷馬遜、納克莉及辛勒克颱風 (2002)

此三者皆為去年度氣象局曾發布警報之個案，但對台灣之影響利多於弊，尤其前二者對年初的旱象有及時雨的作用。雷馬遜位在副高東緣，為迴轉型 (recurving) 颱風；納克莉為超小型的微弱颱風，位在副高北緣；而辛勒克則是引起紛爭的西進型颱風，如同賀伯颱風一般位在副高南緣。

## 五、結果與討論

### (一)、淺水模式之原始預報表現

就賀伯颱風個案而言 (滿72小時預報個案共11組)，當實際路徑偏西南西前進時 (2600Z-2800Z)，模式可有相當準確的預報，72小時的預報誤差甚至還能維持在不超過100公里的超高水準。但在最差的情況下，即當實際路徑由西南西向轉西北向時 (2800Z以後)，48小時的誤差就已可超過400公里。整體而言，12小時的平均誤差約在80公里，24小時者在150公里附近，36小時約在200公里左右，而48小時則不到300公里，這與氣象局之相當正壓模式 (EBM) 表現大致相當 (24/136, 48/284)。

另就辛勒克個案來說，本淺水模式的表現，亦大致和應用在賀伯颱風的整體情形一致。但在針對雷馬遜個案的情況，則該模式的表現就稍差了，預報路徑基本上無法掌握實際路徑由西北轉北偏向之趨勢，此情況類似於賀伯颱風較差的階段，模式有較實際路徑偏左下而無法拉回的系統性偏差。

至於在納莉與納克莉個案之應用上，此淺水模式似乎就一籌莫展，毫無能力了。只見模式預測與實際路線最遲在24小時後即已分道揚鑠，幾成正交之態勢。

這與 DeMaria *et al.* (1990) 比較大西洋南北區 (22.5°N) 颶風個案正壓模式路徑預報之平均表現結果相似。

### (二) 變分同化後預報實驗

一般而言，以賀伯颱風為例：無論逼近策略為何，似乎只要經過 12 小時同化處理，60 小時以上的預報結果均較原始預報有所改善；其中，最佳者 (TEST 4) 之改進達 80-90 公里。至於 48 小時內者，只有兩組實驗 (即 TEST 4 和 7, 尤其前者) 存在連續一致的改善情形，但 12 小時之預報則無改善，且往往稍差。該二者在 48 小時的預報誤差降低到 230 公里左右，足以媲美 TFS 模式預報 (表二)。

若同化時窗延伸至前 24 小時，則除 TEST4 群外，預報 60 小時以上均見改善之情形已不復存在，尤其是同時包含過去二時分析之逼近結果。原則上，將同化時窗拉長以納入更多過去資訊，對簡化動力之淺水模式並不利；雖然如此，TEST7\_24 出現唯一對 12 小時預報有所改善者。

以 12 小時同化時窗之實驗結果進行比對，吾人發現：TEST4/7 往往較 TEST5/8 有更顯著之改善，前二者之優勢在 24 小時預報即已顯現，後二者卻要到 60 小時以後。前二者由只同化過去 12 小時的大尺度環境場演化著手，再將當時的颱風初始渦環流回加；而後二者則逼近之分析中已然含有虛擬渦環。另一方面，TEST4/5 的預報結果亦往往較 TEST7/8 為佳。前者與後者的主要差異在於後者還同時逼近前 12 時之分析，而前者則無；換言之，前者為採「開放式」之逼近策略，而後者為「封閉式」。

由仔細比較 TEST5 與 TEST8 (如圖一)，我們可注意到在同化期間，後者的「初始」時分析場往往較接近原始之複雜作業分析資料，而前者由於是開放式的，其經同化調整之結果便較偏離原始分析；另一方面，在「目標」時之調整結果則正好相反，即開放式的前者大體上要比封閉式的後者來得接近原始資料。由圖一中，TEST8 於「目標」時相對於原始分析的明顯系統性偏差可自邊界區之不連續性窺知。相對地，TEST5 之系統性偏差則較不明顯。顯然，開放式之四維變分同化逼近，在於利用較大幅度調整過去時之分析，達到產生

大幅抵消系統性誤差之效果。而此效應在後續之後預報實驗中，依舊存在，持續地壓制部分的系統性預報誤差。

由於已含虛擬颱風渦漩分析資料之取得較易，針對其他個案，吾人皆以 TEST5 之逼近策略進行預報實驗。我們發現：辛勒克颱風就如同賀伯颱風個案一樣，經同化逼近手術後有明顯之預報改善，且可相當接近實際路徑（圖二）。另在雷馬遜的個案中，雖亦有所改善，然而距實際轉向之趨勢則仍有相當之差距。至於納克莉以及納莉的情況，則由於原始差距過大，雖或有些許改進，基本上還是不具參考價值。

限於篇幅的關係，我們在此僅舉部分例子做原則性的討論，關於賀伯颱風個案的詳細分析結果可參見林（2003）或張等（2003）。而部分其他個案之應用則亦可見於曾（2002）。

## 六、結語

在本研究中，首先應用四維變分同化之精神，以不同的約束條件設計，強迫區域淺水模式在過去12（或24）小時內之演化使儘可能趨近來自複雜作業模式之已知分析結果，藉以產生經含括過去資訊微幅調整之新初始場。接著再以此新的初始分析場，進行一系列的颱風路徑後預報實驗，分析並比對其結果，藉以了解此法對淺水模式在颱風路徑預報應用上之可能附加價值，尤其著重在有否改善、如何改善、以及為何改善等議題之探討。

首先，在未經任何初始場改動手術前之原始模式後預報測試結果，支持 DeMaria et al. (1990) 的論點，亦即正壓模式 (Sanders et al., 1975) 對副熱帶高壓南緣之颱風個案可有相當程度的掌握能力，如賀伯 (Herb, 1996)、辛勒克 (Sinlaku, 2002) 等。

其次，吾人使用四維變分同化逼近的實驗結果顯示：當模式原始預報結果即已較佳時，即如賀伯、辛勒克等個案，在改採新的初始分析場進行後預報實驗時，似乎可顯著提昇此簡化動力模式在颱風路徑預測應用上之準確度；然而當原始結果本就已不甚佳時，如納莉颱風 (Nari, 2001) 個案，利用此四維變分逼近法，並無法有

效改善區域淺水模式之路徑預報能力，至多對一天以內的預報結果有些微作用罷了。

舉賀伯颱風個案為例，實驗進一步發現：以直覺的「封閉式」分析逼近策略，即同時逼近給定同化時窗內之所有可用分析資訊，並非是利用此四維變分逼近法的最佳方式；相反地，往往是所謂的「開放式」變分逼近策略，即雖由前時的分析出發但僅只逼近初始時之分析而已，對模式路徑預報表現更可有較顯著之提昇。

就給定「同化時窗」長短之差異而言，一般是較短者（12小時）之後預報結果，優於較長者（24小時）。這與 DeMaria and Jones (1993) 僅利用「封閉式」變分逼近含虛擬渦漩之分析的發現是相一致的。顯然簡化模式隨時間增大之系統性誤差應扮演了決定性的角色。

另外，就分別逼近分析場有無含颱風虛擬渦漩環流之後預報實驗結果，我們注意到：僅逼近大尺度環境駛流場者，大致更優於逼近分析場中已含有虛擬渦漩者。由於四維變分同化中，應用伴隨 (adjoint) 技巧隱含了 (正切) 線性化之假設，因而吾人懷疑此乃基於線性假設對含颱風渦漩分析之演化適用性較差所導致的結果 (張, 1998)。

然而，相對於上兩項論述，在某些情況下，如賀伯颱風早期的西南轉向階段 (即 1996/7/2612Z-7/2800Z)，則含有颱風虛擬渦漩之較早期資訊 (尤其前24小時者)，卻似乎是改善模式路徑預報所不可或缺的要害之一。尤其，在存在相距不遠的雙颱風情況下，如葛樂禮 (Gloria, 1996) 相對於賀伯颱風。

綜合上述封閉與開放式四維變分同化逼近結果之對比，以及同化時窗長短者間之相較，吾人認為簡化動力模式應用在颱風路徑預報之所以能有改進的主因應在於：新的初始場中，借助過去的資訊，隱含有調整模式系統性偏差的動力擾動存在。此或多或少持續地抵消部分模式後續時間積分時之系統性預報誤差，而非此新初始分析場較原始分析更接近真實所致。

## 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。

林宇庭，2003：應用伴隨方法在改善颱風路徑預報之研究。碩士論文，中國文化大學，107 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。

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。

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., M. B. Lawrence, and J. T. Kroll, 1990: An error analysis of Atlantic tropical cyclone track guidance models. *Wea. Forecast.*, **5**, 47-61.

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.

Zou, X. and Q. Xiao, 2000: Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 836-860.

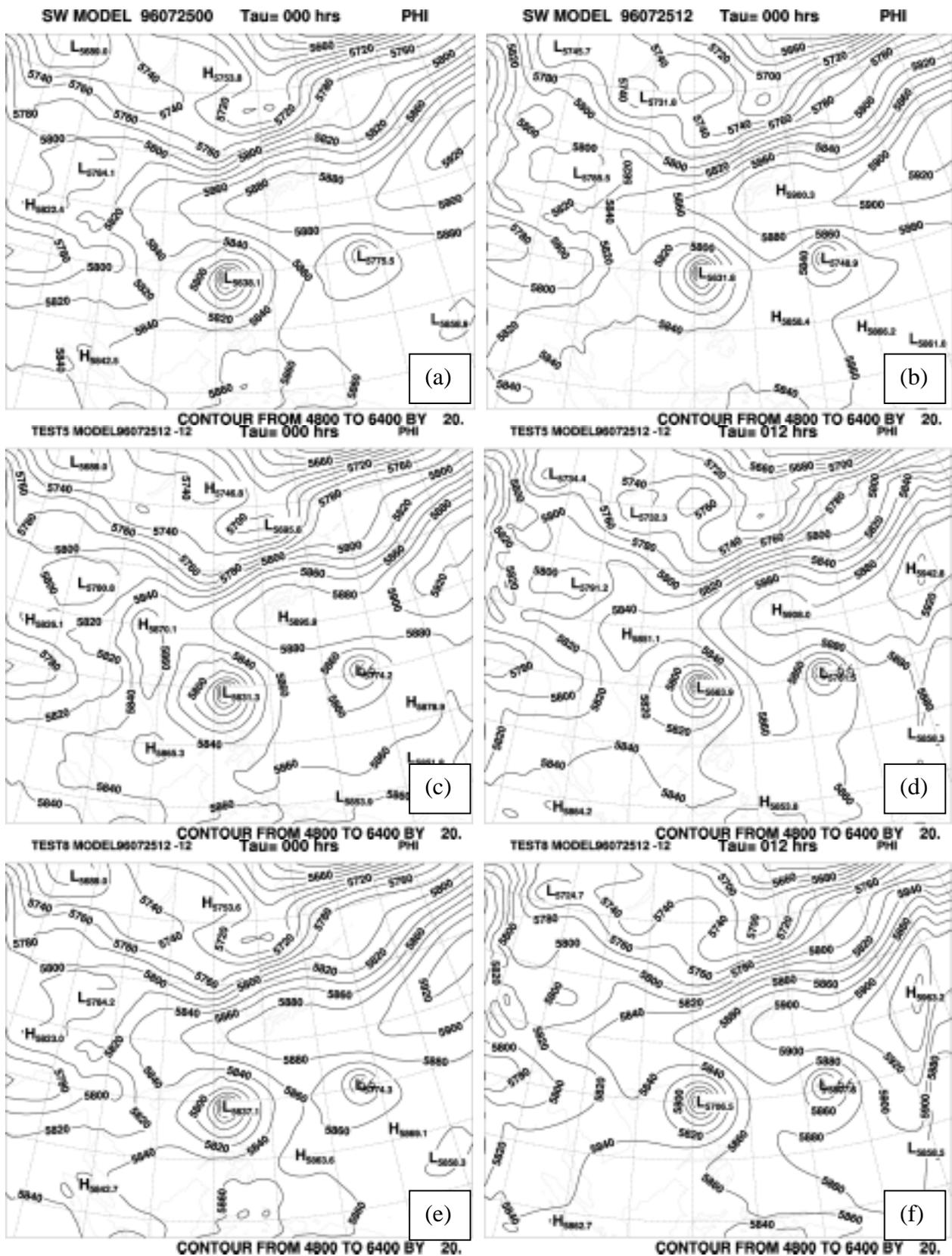
八、圖表

表一：四維變分同化逼近實驗設計對照表。

| TEST | First guess       | Target                | Initial after minimization                        |
|------|-------------------|-----------------------|---|
| 1    | NB <sub>-12</sub> | B <sub>-12</sub> S    | S'  |
| 2    | NB <sub>-12</sub> | B                     | B'  |
| 3    | NB <sub>-12</sub> | NB                    | NB <sub>-12</sub> <sup>2</sup> + b <sub>-12</sub> |
| 4    | NB <sub>-12</sub> | NB                    | NB' + b   |
| 5    | B <sub>-12</sub>  | B                     | B'  |
| 6    | NB <sub>-12</sub> | B <sub>-12</sub> +B   | B'  |
| 7    | NB <sub>-12</sub> | NB <sub>-12</sub> +NB | NB' + b   |
| 8    | B <sub>-12</sub>  | B <sub>-12</sub> +B   | B'  |

表二、淺水模式與同化實驗 12 小時至 72 小時誤差對照表：賀伯颱風個案。（單位：公里）

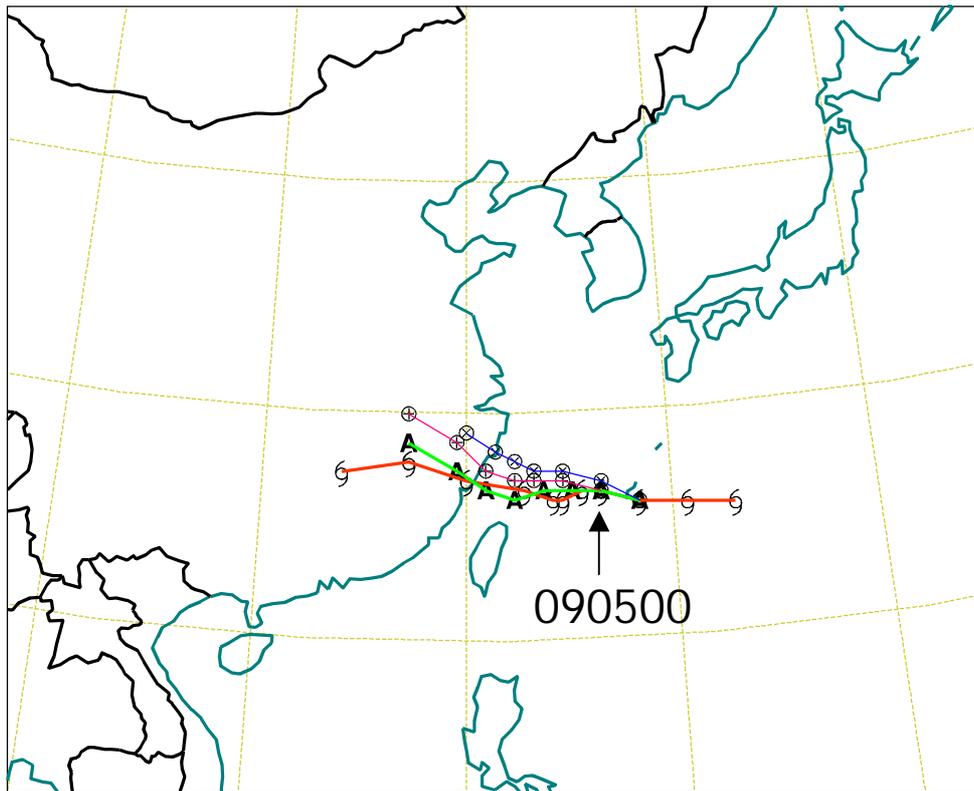
| 颱風中心誤差<br>( km )                                  | 12 小時 | 24 小時 | 36 小時 | 48 小時 | 60 小時 | 72 小時 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SANBAR_All<br>(DeMaria <i>et al.</i> ,<br>1990)   | 89    | 183   | 302   | 424   | -     | 636   |
| SANBAR_South<br>(DeMaria <i>et al.</i> ,<br>1990) | 70    | 137   | 229   | 340   | -     | 613   |
| TFS_2000 (黃<br>等, 2001)                           | -     | 148   | -     | 306   | -     | 520   |
| SW  | 81    | 145   | 208   | 262   | 333   | 401   |
| TEST2   | 84    | 136   | 191   | 272   | 341   | 442   |
| TEST6   | 77    | 148   | 220   | 283   | 378   | 474   |
| TEST3   | 232   | 262   | 305   | 321   | 339   | 369   |
| TEST4   | 98    | 132   | 181   | 232   | 253   | 306   |
| TEST4_24  | 96    | 148   | 180   | 235   | 293   | 363   |
| TEST4_12_24                                       | 89    | 157   | 208   | 267   | 323   | 399   |
| TEST7   | 83    | 137   | 190   | 228   | 297   | 378   |
| TEST7_24  | 79    | 146   | 196   | 263   | 336   | 391   |
| TEST7_12_24                                       | 105   | 172   | 215   | 283   | 361   | 428   |
| TEST5   | 116   | 155   | 210   | 270   | 309   | 380   |
| TEST5_24  | 184   | 210   | 230   | 262   | 316   | 417   |
| TEST5_12_24                                       | 114   | 173   | 236   | 289   | 359   | 454   |
| TEST8   | 105   | 178   | 223   | 266   | 311   | 373   |
| TEST8_24  | 175   | 192   | 207   | 250   | 317   | 412   |
| TEST8_12_24                                       | 155   | 211   | 272   | 302   | 364   | 445   |
| EBM   | -     | 136   | -     | 284   | -     | -     |
| GFDL  | -     | 164   | -     | 191   | -     | -     |



圖一、四維變分同化逼近法在 12 小時同化時窗內所使用的 (a) 初始時分析與 (b) 目標時分析，個案時間為 1996/07/2512Z：(c) 為 TEST5 修正之初始時分析，(d) 為 TEST5 修正之目標時分析；(e) 為 TEST8 修正之初始時分析，(f) 為 TEST8 修正之目標時分析。

02090412 mlnlm

SW(0,-12), VAR, OBS TYPHOON TRACK



圖二、淺水模式的原始預報結果（標藍色 09/0412Z 與玫瑰紅色者）與經 TEST8 同化處理後之預報結果：辛樂克（Sinlaku，2002）颱風。（個案時間為 09/0500Z，標紅色者為實際路徑。）