

颱風模式初始場不確定性對路徑 預測影響之初步研究

葉天降 黃康寧 陳得松

中央氣象局

(中華民國八十八年二月二日收稿；中華民國八十八年七月十四日定稿)

摘 要

在颱風路徑模式預測裡，由於觀測資料之不足，初始場常需透過人為之處理，因此存在明顯之不確定性。本文主要以中央氣象局颱風路徑預報模式為研究對象，針對 1996 年 Cam(凱姆)、Gloria(葛樂禮)、Dale(戴兒) 及 Herb(賀伯)四颱風個案，以改變人為加入渦旋之大小、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布等 13 種不同處理，透過模擬以分析研究模式預測路徑對初始場改變之敏感性。結果顯示，這些初始場參數之改變都對模式颱風預測路徑有相當明顯之影響，24/48 小時預測中心位置差異平均達 55/68 公里，其中在環境場有比較明顯之水平或垂直風切時，模式之預測路徑對初始場參數之改變更敏感。此外也顯示，若在加入虛擬渦旋前，所用之濾波方法未能有效去除初始場所含不完整之颱風渦旋時，可能使模式颱風路徑預測誤差增大，此時引用類似 DeMaria(1987)之方法修正駛流，似能減少預測誤差。

關鍵詞：颱風路徑預報、路徑預測誤差對模式初始場之敏感性

一、前言

國家科學委員會規劃防颱、防震及建立防護體系為災害防治國家型科技計畫之三大主要部分(顏等 1997)，而在防颱計畫中又分為氣象、防洪與土石流等領域。在氣象防颱方面，首要的工作是要提供準確之颱風現況與預報資訊，使各界能儘早做好防範措施，以降低生命財產損失。至於颱風預報之成敗，颱風移動路徑之預報是最為關鍵。

以中央氣象局之主觀預報而言，其 24 小時之平均預報誤差約為 178 公里(葉等 1998)，和統計颱風路徑預測方法如 CLIPER 與 HURRAN 之預測誤差相近，也和國際間其他先進國家颱風路徑預報誤差相近。對較長時間之颱風移動路徑預報，統計方法所得結果之誤差逐漸增加，因此動力預報模式成為颱風預報作業中很重要的客觀參考指引，如 Kurihara et al.(1995)所發展之模式以及中央氣象局颱風路徑預報模式(Chen et al. 1997)等都展現動力數值模式之路徑預測參考價值。

造成颱風移動之因素很多(參見 Elsberry 1995)，包括導引氣流、地球自轉 β 效應、斜壓性、水平風切、非絕熱效應、垂直風切、地形影響等等，因此準確的颱風路徑預測除了在模式本身要能完整的包含各項動力與物理機制外，初始的狀況也是關鍵因素。而由於觀測資料大多集中於陸地，在颱風所在之洋面上，傳統之觀測資料十分缺乏，因此初始之分析場有許多的不確定性，尤其是颱風之本身結構，目前尚沒有有效的觀測分析技術可供作業應用。而不完整的觀測，所得不完整之颱風結構，若不能有效避免，將會經資料分析同化過程累積

誤差，因此有些全球預報系統如美國海軍之 NOGAPS (Goerss and Petko 1995) 與中央氣象局之 GFS (Terng et al. 1998) 是透過虛擬觀測資料之方式以提高模式預測之準確率。而各颱風路徑預報模式也都透過人為設定的方式(見 Elsberry 1995)，在初始場中植入颱風之渦旋(vortex bogussing)，由此可見觀測資料不足所導致之颱風初始場不確定性，顯然很明顯且難避免。

對初始不確定性，常透過所謂系集預報(ensemble forecasts)之作法(如 Leith 1974；Hoffman and Kalnay 1983；Mureau et al. 1993)以得知模式預測結果之可能分布，在實際預報作業應用時，則可由其系集平均與其分散程度得到客觀之參考依據。由於初始不確定性取決於觀測與分析之誤差，而誤差所造成之影響將隨系統之特性而有不同成長，因此其影響和天氣系統之尺度以及預報時間有關，一般綜觀以上尺度之天氣系統，由於有較佳之觀測網，短期內之變化已能有效掌握，因此一般系集預報之作業應用主要在於更長時間之預報。對中小尺度天氣系統，由於觀測資料不完整，加上系統之演變時間尺度更小，因此系集預報技術也被引用到較短時間之預報裡(如 Mullen and Baumhefner 1994)。

在颱風路徑預報裡，實際作業時由於電腦系統之限制，系集預報之嘗試主要利用簡單之正壓模式(如 Aberson et al. 1995；Cheung and Chan 1997)和由不同作業中心所得之結果(如吳 1997；Goerss 1999；Wu et al. 1999)來進行，尚無法直接由較完整之模式進行多次預測試驗。國內負責颱風預報作業之中央氣象局，在從事颱風路徑預報作業時，除了主觀天氣型態之研判外，另有統計方法、國外主客觀預報結

果、以及動力模式預測結果等可供參考，其中完整之提昇 (Chen et al. 1997)，是預報作業時重要的參考資料，然而由於計算資源的限制，現階段在即時預報作業時，無法進行較多次之試驗，以提供初始場改變可能影響之資訊給作業參考。

本文之目的在嘗試了解相似於作業情況下，模式路徑預測對初始場改變之敏感性與所導致路徑預測變化情形。其結果除對颱風之移動有進一步了解外，在實際作業應用時，可在正式模式預報作業後之有限時間裡，針對當時颱風與環境之特性，設計一組比對預報，使預報作業人員能進一步了解這些改變對預測路徑之影響，從而對颱風之運動有更深一層之認識，而提高主觀預報之準確率。於後第二章將進一步說明我們所使用之模式與個案之選取，第三章是分析結果與討論，最後一章則是結論。

二、預報模式與個案

本文所用之颱風路徑預報模式是中央氣象局於 1994 年發展完成並經由其後數年逐步改進之作業模式 (Chen et al. 1997)，此模式是建構在原始方程組之有限差分模式，垂直共 20 層，水平解析度 45 公里，涵蓋東亞與西北太平洋廣大地區。在模式之物理方面，包含高解析之地表邊界層 TKE E- ϵ 參數處理，Kuo 氏積雲參數化、大尺度飽和降水、以及簡單只考慮地表溫度變化之輻射作用。另外，由於水平解析度較粗，為使較小較弱颱風不致於在模式預報過程消失，所以加入人工加熱之方法 (Chang 1983)。

預報模式在中央氣象局預報中心認為有必要時，於觀測時間 00UTC 或 12UTC 啟動，各進行 48 小時預測。以 1997 年為例，當年共有 31 個颱風在西北太平洋生成，此颱風路徑預報模式共對其中 20 個颱風進行 180 次預測，平均 24 小時預測誤差為 162 公里，48 小時預測誤差為 264 公里。

模式預測所需之側邊界值是由中央氣象局全球預報模式提供，其初始場是經過分析與非線性正模初始化處理後之結果，而分析則是以全球預報模式之分析場，經人為修正渦旋結構後之結果為分析之初始猜測值 (first guess)，透過含探空等傳統之觀測資料進行最佳內插 (Optimal Interpolation) 分析。在人為修正渦旋結構之作法方面，則是首先以類似 Kurihara et al. (1993) 之方法濾除不完整之颱風渦旋，而後於觀測之颱風中心所在處 1000hPa 至 300hPa 間加入可控制七級風 (15m/s) 暴風半徑 (r_7)、最大暴風半徑 (r_d)、及中心最大風速 (V_{\max}) 之對稱渦旋，此渦旋之速度 (V) 隨中心距離 r 之分布相似於 Hughes (1952) 等之分析，其關係為：

$$V = V_{\max} \left(\frac{r}{r_d} \right), \quad r < r_d$$

$$V = V_{\max} \left(\frac{r_d}{r} \right)^a, \quad r \geq r_d$$

其中 a 為水平風場分布函數，設定：

$$a = \frac{\log\left(\frac{V_7}{V_{\max}}\right)}{\log\left(\frac{r_d}{r_7}\right)}$$

在作業時，這些參數值是由預報人員依各觀測資料主觀研判後提供。另外，也加入非對稱結

構，此非對稱結構是經由相當正壓模式，以相同渦旋水平結構為初始場，經 48 小時模擬所得因 β 效應所造成之 β -gyres。

由於預報模式之複雜性，進行 48 小時之預報，約需要在中央氣象局作業所用包含八個中央處理器之 CRAY-YMP 電腦上運算 11,000 秒時間，因此不易進行大量之模擬測試，以做系集預報。本文針對較有代表性之四類颱風，各選擇一在實際預報作業時較難掌握之個案來進行預報敏感性分析。此四類颱風分別為：(1) 生成於南海之颱風，由此區域生成之颱風通常較弱，而與環境場之交互作用較小，卻又伴隨豐沛水汽，對此類颱風，我們選取之個案為 1996 年 5 月 22 日 00UTC 之凱姆 (Cam) 颱風；(2) 由東向西侵襲台灣或台灣附近海域之颱風，我們選取之個案為 1996 年 7 月 24 日 00UTC 之葛樂禮 (Gloria) 颱風；(3) 位於中太平洋較低緯度地區 (10°N 至 15°N) 颱風，此類颱風在早期向西北西移動時，中央氣象局颱風路徑預報模式常見偏北之預測誤差，我們選取之個案為 1996 年 11 月 7 日 12UTC 之戴兒 (Dale) 颱風；(4) 較強並對台灣地區造成較大災害之颱風，我們選取之個案為 1996 年 7 月 29 日 12UTC 之賀伯 (Herb) 颱風。

Cam 颱風於 1996 年 5 月 20 日 06UTC 在中西沙島海面 (17.5°N , 115.7°E) 形成，是該年西北太平洋第三個颱風，據中央氣象局之資料指出(陳維良，個人聯繫)，當時副熱帶高壓脊線是由東北朝西南走向，橫跨於菲律賓南方海面，Cam 隨後沿此副熱帶高壓之西北邊緣向東北移動(路徑如圖 1a)，於 22 日 00UTC 進入巴士海峽，對台灣東南部海面造成威脅，為 1996 年中央氣象局所發佈之第一個颱風警報。隨後 Cam

北移分量稍小，而呈東北東方向通過巴士海峽，其時 500hPa 並有西風槽通過 Cam 北方，不過此西風槽並未影響 Cam 之轉向。至 23 日 09UTC 時，Cam 逐漸移至 20°N 以北，致使高層雲系與西風雲系合而為一，結構逐漸鬆散，強度迅速減弱。

Gloria 颱風則於 7 月 22 日 18UTC 在菲律賓東方海面 (14.1°N , 128.3°E) 由熱帶性低氣壓發展成為輕度颱風，據中央氣象局之資料(游志淇，個人聯繫)，Gloria 颱風是 1996 年影響台灣地區的第二個颱風，當時西太平洋低緯度地區熱帶擾動非常活躍，南海附近有 Frankie 颱風，Gloria 東方為一低壓雲簇，隨後發展為 Herb 颱風。在 Gloria 生成至 7 月 27 日 18UTC 於中國大陸消散期間，太平洋副熱帶高壓持續強盛，Gloria 主要以穩定的速度沿高壓南緣朝西北方移動並增強，而後中心受台灣地形影響乃逐漸減弱，其路徑如圖 1b。

Dale 颱風於 11 月 5 日 18UTC 在關島東南方海面 (10.9°N , 152°E) 形成，主要沿太平洋高壓南緣向西移動並增強，至 11 月 7 日 00UTC 中心最大風速達 75KTS，據關島美軍聯合防颱中心之估計，至 9 日 12UTC 中心最大風速達 140KTS，此時 Dale 已移至北緯 15 度並繼續向西北移動，據中央氣象局之資料(陳圭宏，個人聯繫)顯示 11 月 10 日太平洋高壓明顯減弱，因此 Dale 在接近 130°E 時路徑偏北進入中緯度，未對台灣地區造成影響，其路徑如圖 1c。

Herb 颱風於 7 月 24 日 12UTC 在關島東北方外海 (19.9°N , 148.8°E) 形成，謝等(1996)曾說明在 7 月 27 日 00UTC Gloria 颱風登陸中國大陸福建地區後，太平洋高壓增強並向南伸展，導致 Herb 颱風向西南西移動，而後太平洋

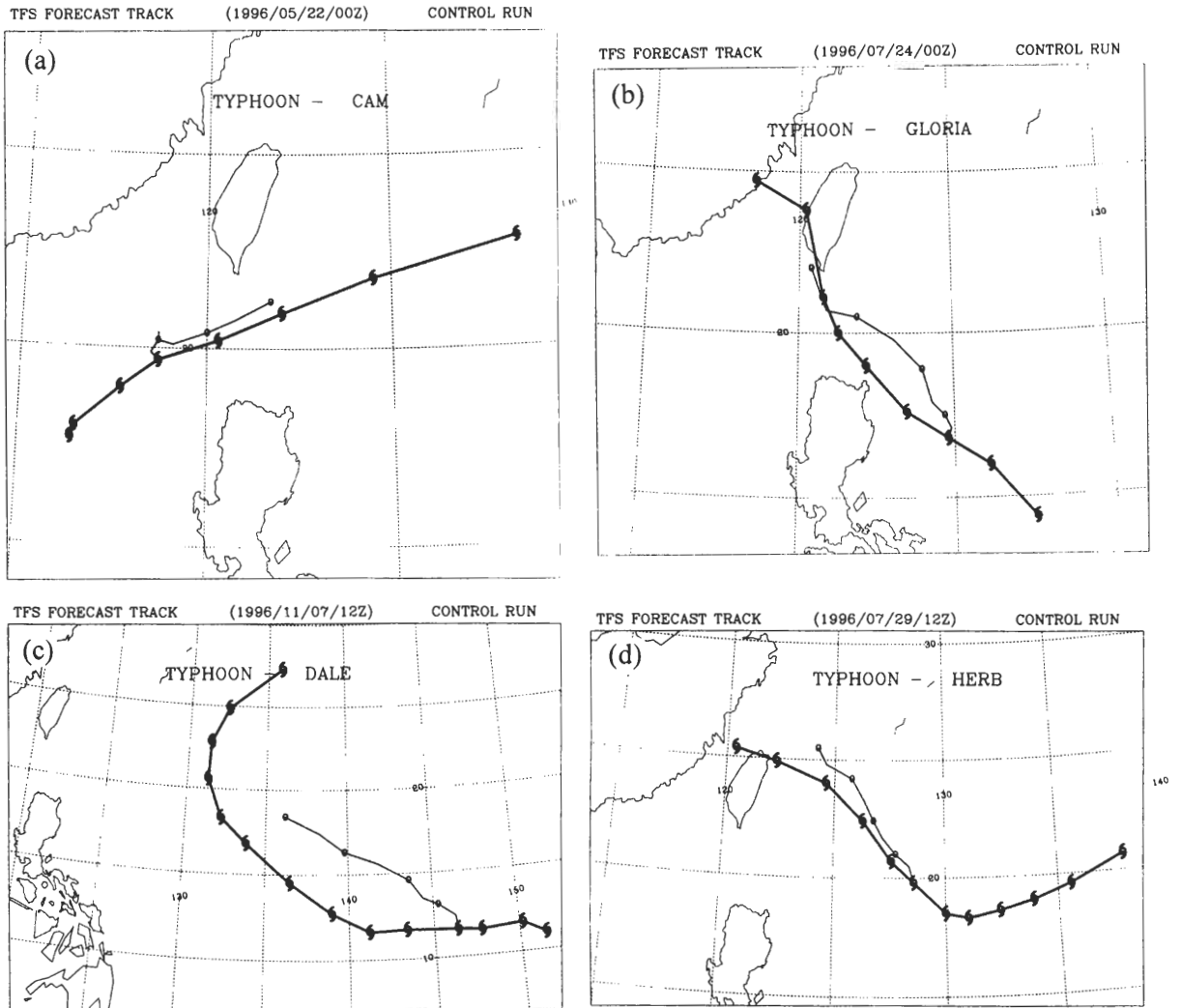


圖 1 (a)Cam, (b)Gloria, (c)Dale,與(d)Herb 颱風之移動路徑(每 12 小時颱風符號連線)與作業預測路徑。

高壓於 29 日 00UTC 減弱，Herb 颱風轉向西北朝臺灣地區移動，中心約於 31 日 12UTC 登陸宜蘭地區。在 Herb 颱風影響臺灣地區期間，給臺灣地區帶來暴雨與嚴重災情，其路徑如圖 1d。

針對模式預報初始改變敏感性之分析，我們分別對前述所選取四個案，以改變渦旋結構或位置等。進行預測模擬，分析其預測路徑之變化。考慮之變因、詳細代碼與說明如表一，

作業時(或稱控制實驗)所用之各參數如表二。

三、結果與討論

(一) 控制實驗

Cam 颱風在 5 月 22 日 00UTC 約位於 19.7°N，118.7°E，隨後加速向東北方移動，48

表一 各敏感性測試之控制變因與代碼。

控制變因		代碼
颱風大小 (七級風暴風半徑)	加 50 公里	SL
	減 50 公里	SS
颱風強度	加 30%	WS
	減 30%	WW
颱風水平結構 (中心最大風速所在半徑)	60 公里	RL
	30 公里	RS
颱風中心初始位置	東移 0.5°	LE
	西移 0.5°	LW
	南移 0.5°	LS
	北移 0.5°	LN
初始場	用 EC 之分析場取代	IE
駛流之修正	加入 DeMaria 之修正法	DM
人工加熱	改變垂直分布	AH

表二 控制實驗所採用之颱風相關參數。

颱風名稱	Cam	Gloria	Dale	Herb
時間	00UTC 1996/05/22	00UTC 1996/07/24	12UTC 1996/11/07	12UTC 1996/07/29
初始位置	(19.7°N, 118.7°E)	(16.8°N, 124.8°E)	(11.6°N, 146.4°E)	(19.8°N, 128.6°E)
七級風 暴風半徑(km)	150	200	200	350
中心最大風速(m/s)	20	30	35	45
颱風水平結構 (中心最大風速 所在半徑, km)	45	45	45	45

小時後位於 22.8°N, 128.5°E。模式作業預報時中央氣象局研判其為較小較弱颱風，七級風暴風半徑 150 公里，中心最大風速 20m/s，預測路徑之方向和實際移向相近(見圖 1)，只些微偏北，但在移速上則明顯較慢，前 24 小時之預測誤差即達 352 公里，到 48 小時誤差成為 722 公里。

Gloria 颱風在 7 月 24 日 00UTC 約位於 16.8°N, 124.8°E，隨後以西北西方向移動，48 小時後位於恆春半島南方(21.1°N, 120.8°E)。作業時中央氣象局研判其為中度颱風，七級風暴風半徑 200 公里，中心最大風速 30m/s，控制實驗預測路徑誤差較 Cam 颱風之誤差改善很多，24 小時之誤差為 189 公里，48 小時誤差不

但未成長反而降低為 108 公里，其誤差主要是在預測初期偏北偏慢，而在後期當 Gloria 颱風實際路徑偏北時，預測路徑偏西並加速，因此使 24 小時路徑預測誤差反較 48 小時之誤差大。

Dale 颱風於 11 月 7 日 12UTC 約位於 11.6°N, 146.4°E，其後先向西再轉西北，48 小時後約位於 14.5°N, 136.5°E。作業時研判其為中度颱風，七級風暴風半徑為 200 公里，中心最大風速較上述 Gloria 颱風稍大，為 35m/s。控制實驗之預測路徑主要朝西北向，以致預測初期明顯偏北，24 小時之預測誤差為 422 公里，於後只少量增加，48 小時預測誤差為 434 公里。

Herb 颱風於 7 月 29 日 12UTC 約位於 19.8°N, 128.6°E，其後向西北移動，48 小時後約位於 24.9°N, 122.3°E。作業時中央氣象局研判其為強烈颱風，七級風暴風半徑為 350 公里，中心最大風速較上述 Dale 颱風稍大，為 45m/s。控制實驗之預測路徑和觀測路徑相當一致但稍慢，24 小時之預測誤差為 51 公里，48 小時預測誤差為 202 公里。

(二) 敏感度實驗

各敏感度測試之模擬路徑結果如圖 2，其中對 Cam 颱風除 AH(改變人工加熱率)之預測路徑有比較大差異外，其它之預測路徑特性和控制實驗相似，都是移速較實際慢很多。對 Gloria 颱風有比較大預測路徑差異的是 IE(以 ECMWF 之分析場取代全球預報模式之分析場)之預測移速較快，和 DM(以 DeMaria 方法修改初始場)之預測在初期較沒有明顯偏北的誤差。對 Dale 颱風，其情況和 Gloria 颱風之測試相似，以 IE 和 DM 之測試預測和其他預測有比較大差異，初

期北偏誤差較小，其中尤以 IE 之測試預測更為明顯，其預測路徑和觀測路徑十分相似，只是移速稍慢。對 Herb 颱風，其情況也是以 IE、DM 和 AH 之測試預測和其他預測有比較大差異，其中 AH 之 48 小時預測路徑中心位置和觀測最為相似，誤差僅為 35 公里。

為進一步分析各控制變因對路徑預測之敏感性，表三詳列以控制實驗之颱風預測中心位置為參考點，各控制變因之實驗所預測中心位置相對於控制實驗中心位置之距離。圖 2 雖顯示暴風半徑等參數之改變並非影響模擬渦旋移動路徑的最主要因素，但由表三可見，改變暴風半徑 50 公里對各颱風之預測中心位置都有不容忽視的影響，對此四颱風進行 24/48 小時之預報，最小之影響為改變 11/33 公里，最大為改變 133/84 公里。平均 24 小時之改變為 43 公里，48 小時之改變為 55 公里。其中以對 Cam、Gloria 及 Herb 三個案之影響較小，而以 Dale 之影響較大。Harr and Elsberry (1991) 以 700hPa 之氣流討論颱風之路徑，若計算此三颱風 700hPa 上之平均氣流，隨所選取區域平均之半徑變化(表四)可見 Cam 若以 200 公里、300 公里或 400 公里為半徑所得駛流之最大變化在東西 U 方向為 0.07m/s，在南北 V 方向為 0.11m/s。Gloria 與 Herb 颱風之情形和 Cam 颱風之情形相似，在 U 方向之最大變化為 0.04m/s 與 0.19m/s，V 方向之最大變化為 0.17m/s 與 0.04m/s。而 Dale 颱風之情形，在 U 方向之最大變化為 0.45m/s，V 方向之最大變化為 0.10m/s，其變化最為明顯。由以上有限個案之實驗結果可見，暴風半徑之訂定對颱風路徑預報模式之預測結果有相當程度之影響，其中尤以平均氣流隨選取範圍大小變動較敏感者有更大影響，因此在實際預報作

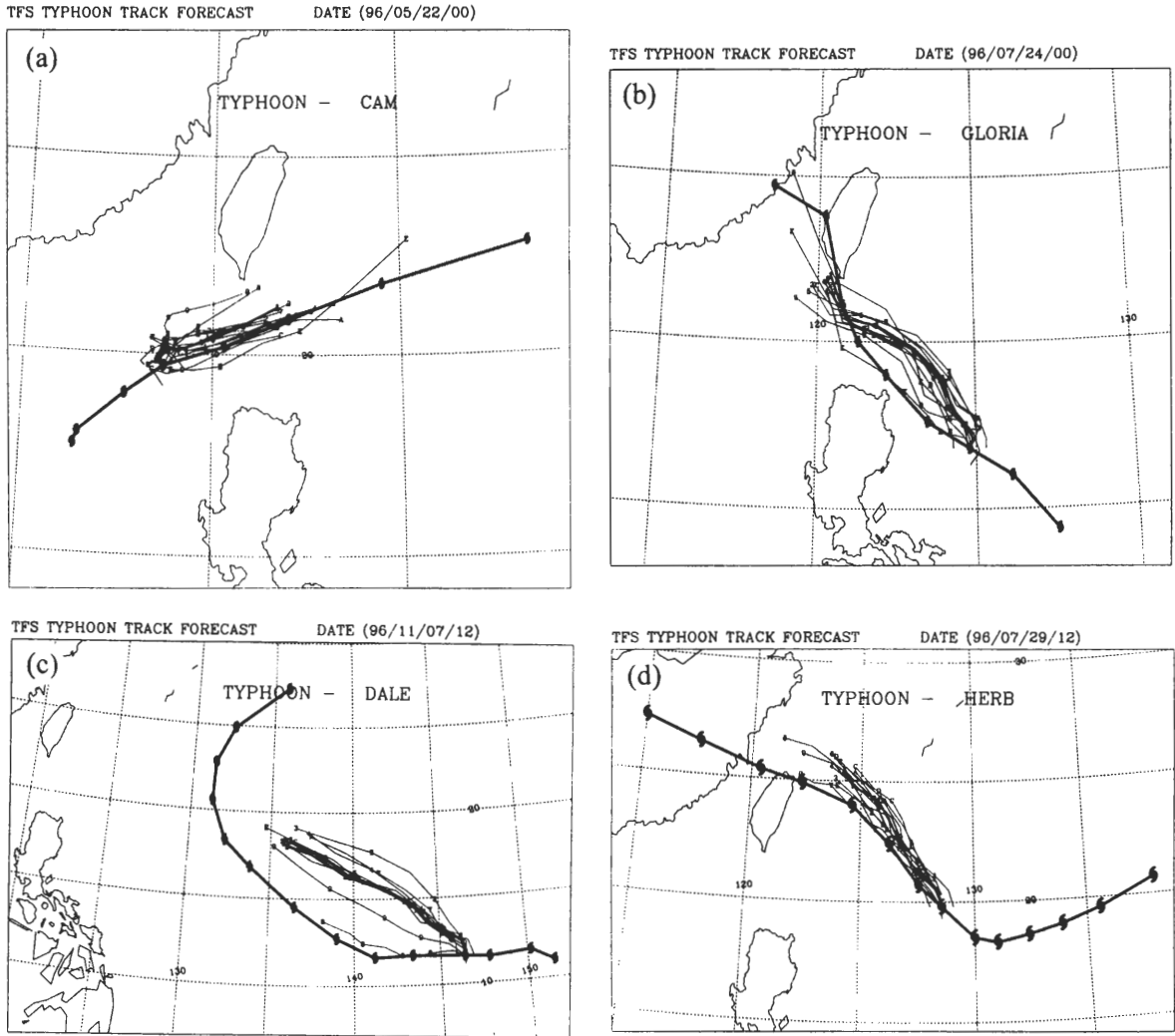


圖 2 (a)Cam, (b)Gloria, (c)Dale,與(d)Herb 颱風之移動路徑與各敏感度測試之預測路徑。(‘1’表作業預測路徑, ‘2’表 SL, ‘3’表 SS, ‘4’表 WS, ‘5’表 WW, ‘6’表 RL, ‘7’表 RS, ‘8’表 IE, ‘9’表 DM, ‘a’表 LE, ‘b’表 LW, ‘c’表 LS, ‘d’表 LN, ‘e’表 AH)

業時需謹慎研判。

颱風強度改變對模式預測路徑之結果顯示(表三), 將中心最大風速改變 30%所造成中心 24/48 小時預測位置之差異, 最小為 11/30 公里, 最大為 104/156 公里, 平均為 38/83 公里, 因此在實際作業時亦不容忽視。四者中, 以 Gloria 與 Herb 颱風對颱風強度變化所造成之影響較

小, 而以 Cam 颱風對颱風強度變化所造成預測位置之差異最明顯。Cam 颱風由於是較弱颱風, 中心最大風速 20m/s, 在較弱(減 30%)之測試時最大風速僅 14m/s, 又因其為最小颱風, 七級風暴風半徑為 150 公里, 因此模式在預測時比較不容易維持其強度, 須要在計算時有較明顯之人工加熱, 以致測試之結果較不規律, 在較強(中

表三 各敏感性測試(代碼見表一)之預測中心位置與所對應控制實驗預測中心位置之距離(公里)。

	24 小時預測					48 小時預測				
	Cam	Gloria	Dale	Herb	平均	Cam	Gloria	Dale	Herb	平均
SL	11	24	68	22	31.3	46	33	54	39	43
SS	43	30	133	11	54.3	56	70	84	60	67.5
WS	66	11	48	33	39.5	104	30	124	61	79.8
WW	104	21	11	11	36.8	156	91	49	46	85.5
RL	63	31	34	24	38	94	11	32	90	56.75
RS	25	11	102	25	40.8	16	61	128	98	75.75
LE	63	52	54	11	45	129	66	44	11	62.5
LW	63	22	32	66	45.8	84	83	44	55	66.5
LS	53	56	55	68	58	25	39	55	83	50.5
LN	44	99	54	22	54.8	111	111	89	40	87.8
前 10 項 平均	53.5	35.7	59.1	29.3	44.4	82.1	59.5	70.3	58.3	67.6
IE	49	122	333	91	148.8	76	369	564	309	329.5
DM	78	115	209	121	130.8	94	137	115	201	136.8
All	166	134	174	131	151.3	406	196	176	204	245.5

表四 Cam、Gloria、Dale 與 Herb 四颱風在 700hPa 上隨選取半徑之平均東西向(U)與南北向(V)氣流。

颱風名稱	200 公里		300 公里		400 公里	
	U(m/s)	V(m/s)	U(m/s)	V(m/s)	U(m/s)	V(m/s)
Cam	3.07	0.36	3.10	0.31	3.14	0.25
Gloria	2.75	1.07	2.79	1.15	2.78	1.24
Dale	4.91	0.15	4.72	0.14	4.46	0.05
Herb	-0.32	1.90	-0.28	1.91	-0.13	1.94

心最大風速加30%)與較弱(中心最大風速減30%)之測試都使預測之結果較控制實驗之颱風移速為快。對 Gloria 颱風,以較弱之測試,結果顯示其預測路徑有較控制實驗更遠離實際位置之誤差(圖 2), Dale 颱風較弱之測試在早期(<12h)也有相同之現象,事實上,我們於後(見圖 5)將分析 Gloria 與 Dale 颱風早期偏北之誤差主要是因為初始處理未能完全濾除不完整颱風渦旋所造成之影響,在此情況下,較弱渦旋(WW)受到這種駛流之影響更大,而使其路徑偏移較明

顯,而較強渦旋(WS)在移動上受此之影響較小,尤其是對 Dale 颱風,在較強之測試時,中心最大風速已達 45.5m/s,使其七級風暴風半徑增加,因此為一更強且大之颱風,其 48 小時預測位置較 WW 之測試偏西北,與β效應之影響有相同之特性(Fiorino and Elsberry 1989)。改變中心最大風速對 Herb 颱風路徑之影響也與β效應之影響有相同之特性,中心風速越大之測試結果其向西北移動之速度也越大。

改變颱風水平結構對模式預測颱風中心位置之改變情形顯示(表三)，將中心最大風速所在位置往中心或往外移動 15 公里所造成 24/48 小時預測位置之差異，最小為 11/11 公里，最大為 102/128 公里，平均為 39/66 公里，較改變七級風暴風半徑 50 公里或最大風速 30%之結果為不明顯。由改變颱風水平結構對風速隨半徑之變化情形(圖 3)可見，因颱風預報模式之水平解析度為 45 公里，因此最大風速往中心移 15 公里之測試基本上與一較弱颱風之測試相似，不過和前述 WW 之測試比較則改變之幅度較小，因此與控制實驗結果相近，尤其是 Cam 與 Gloria 颱風。對中心往外移 15 公里之測試基本上與一較強颱風之測試相似，不過和前述 WS 之測試比較則改變之幅度亦較小。另外，改變中心最大風速所在位置，對颱風之大小影響較小，在 WS/WW 之測試裡，除提高/減少最大風速外，也將因風速改變而使暴風半徑改變，以致使類似之 β 效應造成路徑有所變化。

改變颱風初始位置所做的測試(圖 4)顯示，影響颱風移動之因素相當複雜，在初始中心位置向東(LE)、向西(LW)、向南(LS)、向北(LN)各移動 0.5 度之測試，在隨後之預測位置各有不同之變化，使其相對之地理位置逐漸變成不規律，而非簡單的平移。以 Cam 颱風而言，12 小時之預測位置和控制實驗有較大差異的是 LN 與 LS，中心位置相對於控制實驗偏西，而 LN 更有相對於控制實驗明顯偏南的情況。到 24 小時之預測位置，LS、LE、LW 等測試裡颱風移動都有較控制實驗偏西、而 LN 則持續偏南。到 48 小時之預測位置，LS 與控制實驗維持大致相同之相對位置而稍偏南，LE、LW 則移動偏西，LN 則明顯偏南。

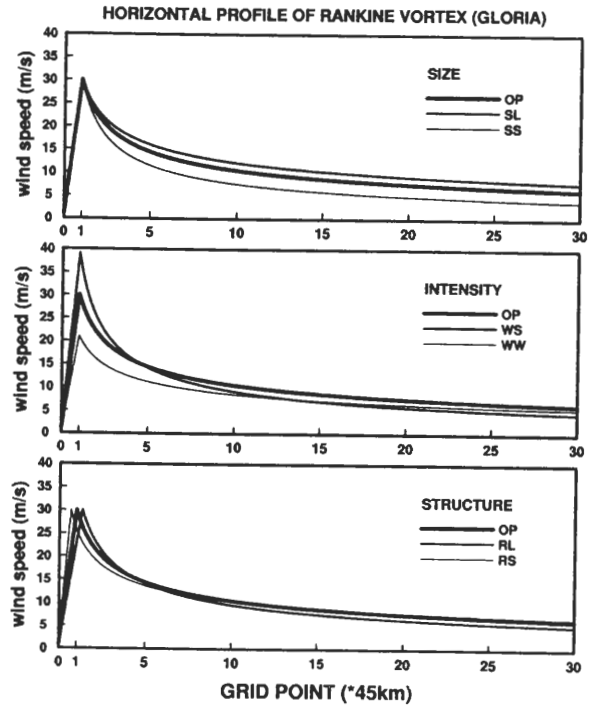


圖 3 以 Gloria 颱風為例，控制(OP)與各測試渦旋之風速隨半徑(格點數)之分布。

對 Gloria 颱風，LE、LW、LS 與 LN 各測試颱風中心之移動變化則與 Cam 颱風之情形不同，其 12 小時之預測位置相對於控制實驗有明顯呈逆時針旋轉的情形，LW 此時偏南，LS 偏東，LE 偏北，而 LN 偏西(圖 4)。至 24 小時，仍有繼續呈逆時針旋轉的情形。對 Dale 與 Herb 颱風之測試，亦有與 Gloria 颱風測試相同之情形，但較不明顯且持續時間較短。

為進一步了解這些中心位置變化所得路徑之意義，圖 5 為各颱風在濾除分析之渦旋而未加入虛擬渦旋前 850hPa 之風場，由圖 5a 顯示引用 Kurihara et al. (1993)之濾波方法雖能改善颱風之路徑預測，但仍未能完全濾除觀測分

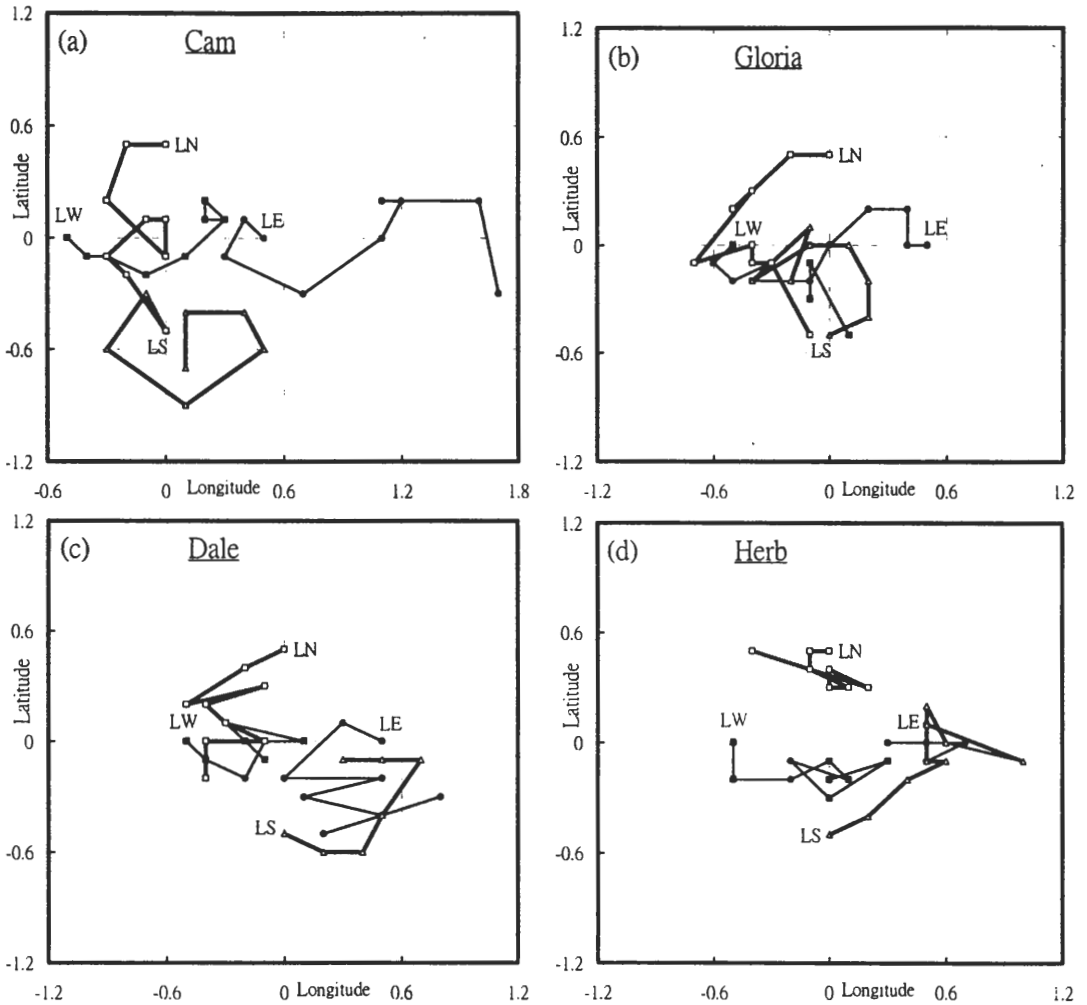


圖 4 改變(a)Cam, (b)Gloria, (c)Dale,與(d)Herb 颱風初始位置(LN,LW,LS 與 LE 四測試)之模式預測颱風中心位置(每 6 小時定位)相對於控制實驗所預測颱風中心位置(於 0,0)之分布。

析場所遺留之颱風渦旋。Cam 颱風之初始場在濾波後，仍在颱風中心附近有一氣旋流場，不過中心風速較微弱，而此氣旋中心位於 Cam 中心之東北方。在 LN 之測試裡，颱風中心往北移，所在位置將有更明顯之東北氣流，這和預測結果 LN 偏西、偏南一致。Gloria 颱風之初始場在濾波後則在 850hPa 見其南方有很明顯西風，而北方則為東風，在東側則有較明顯南風，

西側為微弱南風。這種氣旋環流和各移動颱風中心位置測試結果顯示，颱風中心在初期有反時鐘相對移動之情形一致。Dale 颱風之初始場在濾波後也可見中心附近在 850hPa 上有明顯氣旋式環流，其中心位置在 Dale 實際中心之北方，使 Dale 中心附近有明顯之西風並在東側有偏南氣流，這或許是 Dale 作業預測初期有西向移速偏慢而偏北移動誤差之所在。LS 颱風中心所在

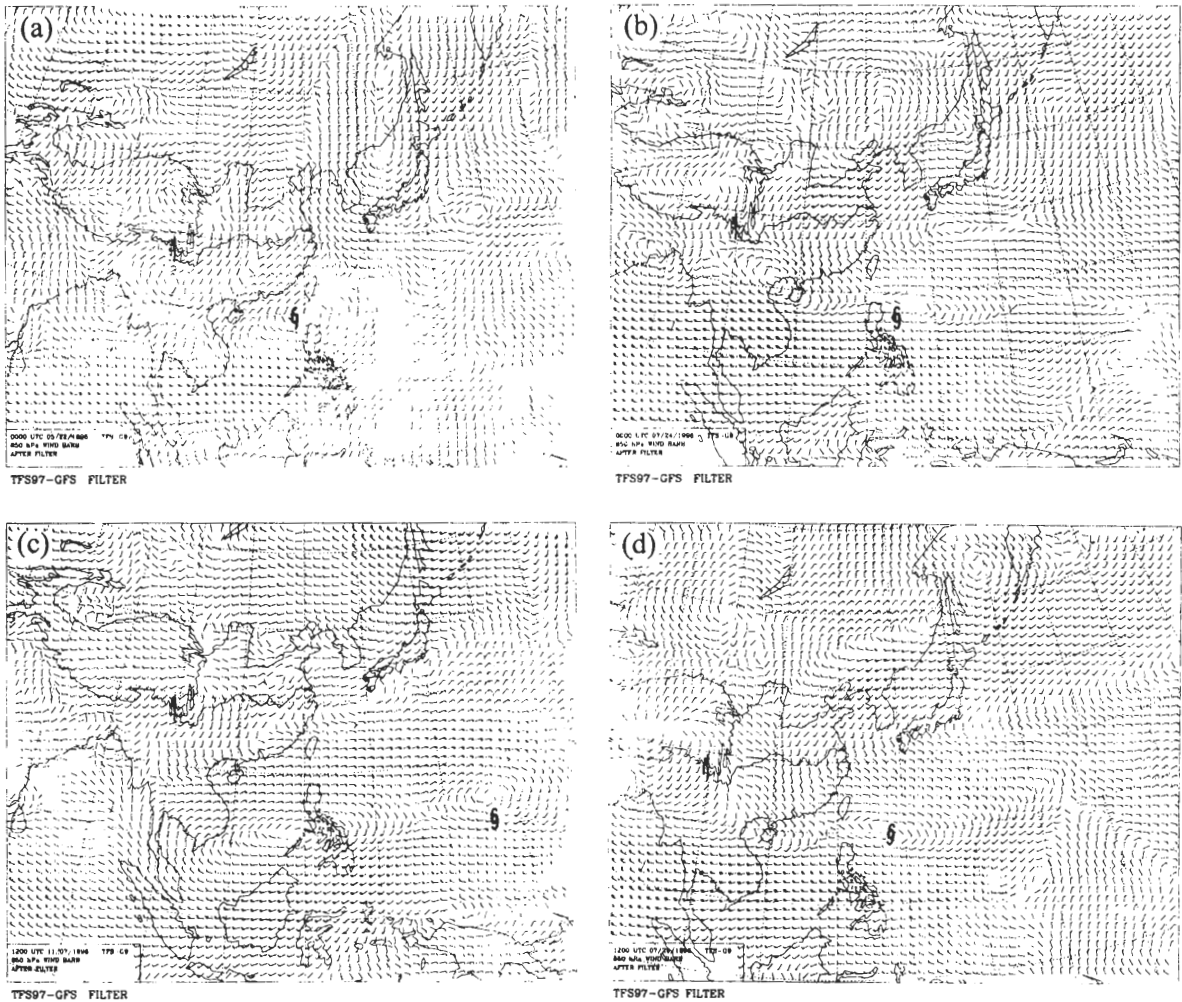


圖 5 (a)Cam, (b)Gloria, (c)Dale,與(d)Herb 颱風之初始場經濾除分析之渦旋後在 850hPa 上之風場。

位置較控制實驗更南，西風之影響更明顯，因此使其初期預測結果更偏東。反之，LN 颱風中心所在位置較控制實驗為北，因此所受偏西之效應較小，相對而言為偏東。LW 颱風中心則較控制實驗偏西，所受中心東側南方氣流之作用較少，因此相對於控制實驗有往南之移動，因此也使 LS、LN、LW 有相對於控制實驗逆時針之移動。Herb 颱風之初始場在濾波後，也仍可在 850hPa 上原中心附近看見明顯氣旋式環流，

其中心位置與 Herb 颱風之中心位置相當一致，這種渦旋之逆時鐘方向流場與圖 4 中，Herb 颱風各移動颱風中心位置之測試結果呈逆時鐘相對位移之現象一致，而因為此渦旋在中心附近之風速除在中心南方有較強風速外其它都較弱，因此各移動颱風中心位置之測試結果呈逆時鐘相對位移之現象較其它三颱風不明顯，但位於最南方之測試(LS)，由於有較強西風，因此有最明顯相對於控制實驗偏東之移動。

若考慮中心位移對預報位置所造成之敏感性，由表三可見，在 24 小時以 Gloria 颱風之 LN 為最大，其值為 99 公里，對 48 小時則以 Cam 為最大，LN、LE 都大於 110 公里，Herb 最小，其平均值為 47 公里。所有 16 個測試平均 24/48 小時之差異為 51/67 公里。由以上之分析，我們認為預測初期敏感性可能與初始場有關，Gloria 中心附近南北有反向氣流，因此改變中心位置後之颱風預測位置有較大差異。對預測後期之敏感性，除了初期造成之差異外，颱風之強度可能也有所影響，Herb 與 Dale 颱風屬較強颱風，因此逆時鐘方向相對位移之影響期間較短並較不受中心所在位置差異而影響；反之，Gloria 與 Cam 為較弱颱風，因此在初使場有殘留渦旋時，預測路徑較受中心所在位置差異之影響。

圖 5 顯示經濾波後並未能完整的去除中央氣象局全球預報系統所解析到不完整的颱風環流，為進一步了解這初始處理對路徑預測之敏感性，乃分別以 DeMaria(1987)方法修正駛流(DM)與以 ECMWF 分析場(IE)做測試，其預測颱風中心位置相對於控制實驗之分佈情形如圖 6。由圖與表三可見，改變初始場之處理方法所造成預測位置改變之程度，較前述只改變颱風本身之強度、結構或所在位置所造成預測位置之改變要明顯，以 DM 為例，平均 24/48 小時預測位置之差異為 131/137 公里，而 IE 則為 148/329 公里。

由圖 2 可見 DM 之預測基本上對初期之路徑預報誤差有改善，尤其是對颱風 Gloria 與 Dale，主要是因為 DM 方法引用持續性修正駛流，因此對颱風未來移動速度較接近持續性而分析場之濾波又未能完整去除全球預報系統所

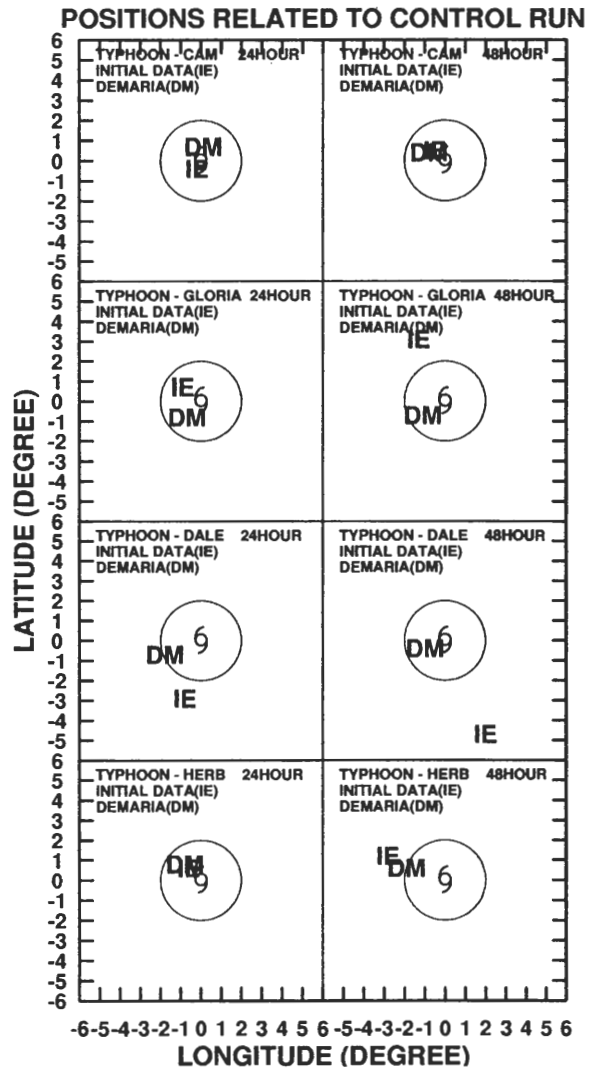


圖 6 採用 ECMWF 之分析場為初始場(IE)與引用 DeMaria(1987)方法修正駛流場(DM)之測試，所造成 24 小時(左圖)與 48 小時(右圖)預測位置相對於控制實驗之分布情形。由上而下分別為颱風 Cam, Gloria, Dale 與 Herb。

解析之不完整颱風環流時，引用 DeMaria 之處理方法有助於減少不良初始場在預測初期所造成之誤差。

以 ECMWF 分析場取代中央氣象局全球預報系統之分析場所做之路徑預報(圖 2 中路徑

符號 8)，對 Cam 颱風並沒有太大差異，而對 Gloria 與 Dale 兩颱風則有非常明顯差異，初期都對控制實驗北偏與減速的情況有所改善，使 24 小時之預測誤差明顯由原 189 與 422 公里，減少為 153 與 263 公里，不過隨後 IE 高估了 Gloria 颱風之移速，使 48 小時之預測誤差擴大，而較控制實驗誤差稍大。但對 Dale 颱風之預測則準確掌握了逐漸轉向的趨勢，48 小時誤差維持在 204 公里，較控制實驗的誤差 434 公里為優。相

反的，Herb 颱風以 ECMWF 分析場取代中央氣象局全球預報系統分析場所做之路徑預測，則使誤差稍微增加，24 小時之誤差由 51 公里增加為 68 公里，48 小時之誤差則由 202 公里增加為 219 公里。圖 5 為經濾波處理後控制實驗之初始場，圖 7 則為經濾波處理後 IE 之初始場，由預報模式與分析方法加上採用觀測資料之不同，因此不同之預報系統間之分析場有相當大之差異，尤其在颱風附近，若無適當觀測資料，誤

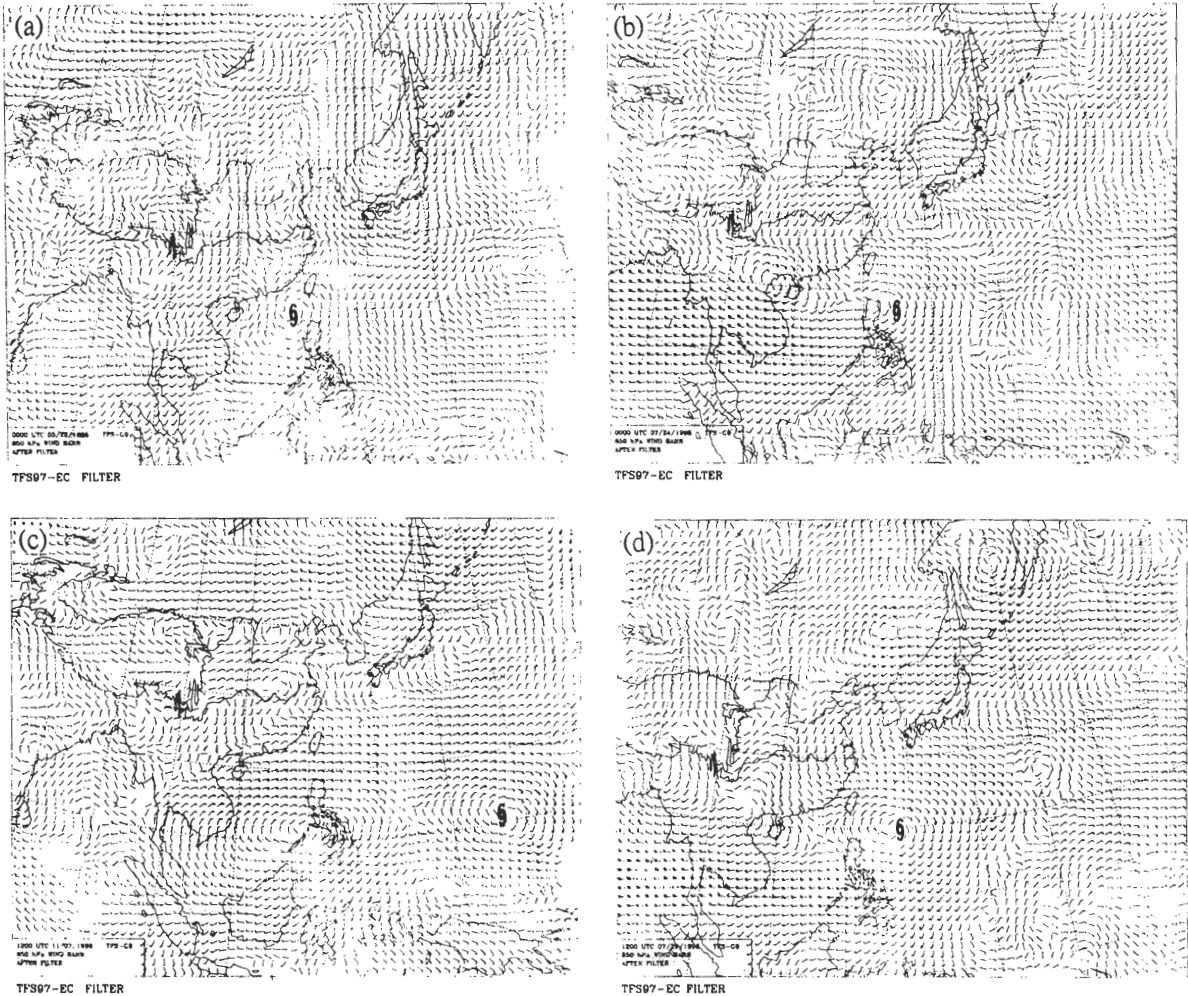


圖 7 如圖 5，唯為採用 ECMWF 之分析場為初始場。

差將隨四維資料同化之過程累積。ECMWF 之預報系統對 Gloria 與 Dale 兩颱風個案，其分析之颱風渦旋中心和實際位置較一致，使在 IE 之測試裡 Gloria 與 Dale 兩颱風之路徑預測有所改善。而對 Herb 颱風個案，ECMWF 分析之颱風渦旋中心和實際位置較不一致，使在 IE 之測試裡 Herb 颱風之路徑預測誤差較控制實驗大。由此也可見，颱風路徑數值預測，不僅模式本身之優劣影響預測之結果，上游之分析系統也有決定性之影響。以中央氣象局之現況而言，進一步提高其全球預報系統之解析度、引用更好之分析方法與更多之觀測資訊、並在適當時候採用類似於 NOGAPS 虛擬颱風觀測 (Goerss et al. 1995) 之作法，使颱風環流在分析場中有較準確之分布，預期可進一步提高颱風路徑預報模式之預測準確度。

圖 2 可見對 Cam 颱風即使引用 ECMWF 之分析資料仍無法改善預測移速太慢之誤差，進一步之分析顯示 Cam 所在地區有很強垂直風切，以半徑 300 公里之平均氣流而言，850hPa 上 U 為 0.2m/s，V 為 -0.9m/s；700hPa 上 U 為 3.1m/s，V 為 0.3m/s；400hPa 至 250hPa 之平均 U 為 5.7m/s，V 為 -5.2m/s，前述各模式預測裡，Cam 颱風之環流並未有效向上發展，移動主要受較低層駛流之影響，而使移速明顯偏慢。在完整之模式裏，若初始場正確，又有正確之模式解析能力，颱風發展之高度與強度變化趨勢應可由模式計算得到，中央氣象局颱風路徑預報模式由於水平解析度為 45 公里，因此對颱風結構之掌握較差，尤其是對如 Cam 較弱較小之颱風更不易完整模擬，若不透過人工加熱之處理，往往使模擬颱風之強度太弱而無法有效追蹤其移動路徑。在現行之作業裏，其人工加熱

之分布偏重於中低層，使模擬之颱風不易向上生長，移動主要受較低層駛流之影響。表三也詳列改變人工加熱以增加向高層之發展所得預測結果與控制實驗之相對分布，由表可見 AH 之影響以較弱之 Cam 颱風最為敏感，在使垂直發展較高後，其移動速度也明顯增大，使 48 小時之誤差降為 338 公里 (控制實驗誤差為 722 公里)，而 24 至 48 小時移速和觀測十分相近，主要之誤差是由 0 至 12 小時所造成。對 Herb 颱風 AH 之測試也使預測路徑與控制實驗有相當明顯差異，24 小時改變 131 公里，48 小時改變 204 公里，並使 48 小時之預測位置誤差降低至 35 公里。此種改善可能與模式對 Herb 颱風之強度維持與垂直高度之發展有關，控制實驗所預測 Herb 颱風中心氣壓由初始 920hpa 迅速升高並維持在 965hpa 左右，AH 之測試除使 Herb 颱風之發展較控制實驗延伸至更高層外，其中心氣壓除在模擬前 6 小時有減弱至 947hpa，而後加強並維持在 910hpa 左右，這和中央氣象局估計 Herb 颱風之中心氣壓在 7 月 30 日都維持在 910hpa 與 920hpa 間較相近。不過，觀測估計 Herb 颱風之中心氣壓可能因為臺灣地形之影響在 31 日後明顯上升，到 31 日 12UTC 時中心氣壓約為 940hpa，AH 之模擬則未能掌握模擬末段強度減弱的現象。

四、結 語

颱風對廣大地區之天氣造成重要影響，由於數值模式之發展逐漸成熟，而使其路徑預測逐漸受重視。然而，由於觀測資料之缺乏，加上模式與四維資料同化誤差累積之效果，使預報模式之初始場有較大之不確定性，尤其是

颱風之內部與附近結構往往需要以虛擬資料 (Goerss et al. 1995) 或透過濾波和人工加入渦旋之方法 (如 Kurihara et al. 1993) 以得到較完整之結構。中央氣象局颱風路徑預報模式在人為修正渦旋結構之作法方面，是首先以類似 Kurihara et al. 之方法濾除不完整之颱風渦旋，而後於觀測之颱風中心所在處 1000hPa 至 300hPa 間加入可控制七級風暴風半徑、最大暴風半徑、及中心最大風速之等參數之渦旋。對初始不確定性所造成模式預測結果之改變，以往多透過系集預報之方式來探討，對颱風之路徑預測方面，則因較複雜模式需計算資源大，多以 (如 Aberson et al. 1995；Cheung et al. 1997) 簡單之單層模式進行，相關之研究在國內則尚未有完整之報導。

本文主要是鑑於國內中央氣象局颱風路徑預報模式已有相當之準確度 (Chen et al. 1997)，其預測結果已是作業所參考之主要依據之一，而由於中央氣象局所蒐集之觀測資料，雖在傳統觀測之資料量和歐美等先進國家之資料量相當，但如衛星觀測等非傳統之資料在模式之應用量則明顯減少，因此對廣大洋面上之天氣系統如颱風之資料缺乏情形更為嚴重，初始場之不確定性也更明顯。為進一步了解其影響，乃針對四類颱風，由 1996 年度颱風個案裏選取在作業預報有較大誤差和對臺灣地區有較大影響之個案，以改變颱風大小、中心最大風速、中心最大風速所在位置、中心定位、改變初始場處理方法，以及改變人工加熱分布等，透過中央氣象局颱風路徑預報模式之模擬，以探討此模式對這些颱風結構或初始處理方法改變在路徑預測之敏感性。

由 1996 年所選 Cam、Gloria、Dale 及 Herb 等四颱風個案，經中央氣象局颱風路徑預報模式模擬結果顯示，改變七級風暴風半徑 50 公里造成 24/48 小時預測之颱風中心位置平均差異為 43/55 公里；改變颱風中心最大風速 30% 造成 24/48 小時預測之位置平均差異為 38/84 公里；改變颱風中心最大風速所在位置 15 公里造成之平均差異為 39/66 公里；改變中心所在位置 0.5 度造成之平均差異為 51/66 公里。這些改變對平均 24/48 小時預測誤差約 160/300 公里之預測結果而言，佔相當大的比率，因此在實際預報作業時值得謹慎的研判颱風結構之各參數，使預報模式能有較正確之颱風初始渦旋減少模式預測誤差。

由 Cam、Gloria、Dale 及 Herb 四個案之測試結果，我們得知若平均駛流隨所選取半徑有比較明顯變化時，改變模式初始渦旋之範圍大小 (如七級風暴風半徑) 對模式之颱風預測路徑有比較大之差異。而由改變中心初始位置之測試則顯示，如颱風中心附近環境流場在水平向有比較大差異時，中心位置之差異才會造成預測路徑有比較明顯之差異。另外，我們研究之結果也顯示較小較弱之颱風受環境之影響比較明顯，而較強較大之颱風則其本身之結構有可能影響環境和其移動，有比較明顯受類似 β 效應之影響。

中央氣象局颱風路徑預報模式和其它之作業模式相同，也在初始場上引用植入虛擬渦旋之方法。由於全球預報模式之解析度與觀測資料之不足，提供颱風路徑預報模式所使用之初始場，若無法在植入虛擬渦旋前有效濾除觀測分析所得之不完整颱風環流時，這些殘餘之不完整颱風環流將會對颱風路徑預測有相當顯

著之影響，尤其對較弱之颱風更顯著。而由此所造成之誤差，在實際作業時若無法改變分析場，則可透過類似 DeMaria(1987)修正駛流之方式加以修正，或以類似 Elsberry et al. (1998)後續處理之方式應用預報結果。另外由我們的研究也顯示颱風路徑預報模式之準確度，不只決定於模式本身之完整性，上游初始場之分析也是關鍵因素，預期進一步提高中央氣象局全球預報系統之解析度以及改善觀測資料之蒐集與分析，將會間接的提昇颱風路徑預報模式之準確度。

由於現階段計算資源之限制，不易引用完整模式進行多次系集颱風路徑預測，我們建議可以仔細的依據個案之初始場情形，設計有限的實驗供作業應用。以中央氣象局之實際作業情況為例，作業時只能進行一組測試，由於我們的研究結果建議濾波後之環境場是一重要參考資料，若初始分析場中殘留不完整之颱風環流明顯，且其中心又與實際中心不一致時，可採用 DeMaria(1987)之方法修正駛流場以觀察其可能造成之影響。另外，颱風中心附近環流之分布與平均駛流隨高度與半徑之變化情形也是重要參考資料，若垂直風切明顯時，不同之颱風垂直結構分布與不同垂直分布之人工加熱方式可能將造成比較大之路徑差異，可進行相關之測試；若平均駛流隨半徑變化明顯時，颱風大小變化可能對路徑預測結果有比較大差異；此外，若環境流場在水平面上有比較明顯差異時，改變中心位置則可能對預測路徑有比較大差異。

誌 謝

本文在中央氣象局與國科會 NSC87-2621-P-052-005 支持下完成，特別感謝彭順台博士與張偉正博士在研究開始時參與之討論與提供建議，以及臺灣大學吳俊傑教授與審查委員在個案之選取、用辭與結果討論等方面提供寶貴建議使本文更完整。

參考文獻：

- 吳俊傑，1997：颱風數值預報作業模式改進研究(一)，中央氣象局研究報告，CWB86-2M-04，72頁。
- 葉天降，吳石吉與謝信良，1997：台灣附近颱風路徑預報校驗與統計方法之應用。*大氣科學*，26，227-248。
- 謝信良，徐辛欽與丘台光，1996：賀伯颱風歷程及降雨分析。嘉南地區定量降水預報整合型計畫總計畫研究報告。國家科會委員會 NSC85-2621-P052-002，116-161。
- 顏清連、蔡義本、陳亮全、李清勝、許銘熙、林美玲與羅俊雄，1997：防災國家型科技計畫規劃報告。國家科會委員會，47頁暨附錄。
- Aberson, S.D., S.J. Lord, M. DeMaria, and M.S. Tracton, 1995: Short-range ensemble forecasting of hurricane tracks. Preprints, 21st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, A.M.S., Miami, Fl., USA, April 24-28, 1995, 494-496.
- Chen, D.-S., M.S. Peng, T.-C. Yeh, S.W. Chang, and K.-N. Huang, 1997: Performance of the Typhoon-Track Forecast System in the Central Weather Bureau in Taiwan. Preprints, 22nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, A.M.S., Ft. Collins, Colorado, USA, May 19-23, 1997, 248-249.

- Chen, J.C.L., and R.T. Williams, 1987 : Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part I : Zero mean flow. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1257-1264.
- Chang, Simon W.J, 1983 : A numerical study of the interactions between two tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1806-1817.
- Cheung, K.K.W., and J.C.L. Chan, 1997 : Ensemble forecasting of tropical cyclone motion using a barotropical model. Part I : Perturbations of the environment. *Mon. Wea. Rev.* (accepted).
- DeMaria, M., 1987 : Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2345-2357.
- Elsberry, R.L., 1995 : Tropical Cyclone Motion. Chapter 4, Global Perspectives on Tropical Cyclones. *WMO Report No. TCP-38*, 106-197.
- Elsberry, R.L., M.A. Boothe, G.A. Ulses, and P.A. Harr, 1998 : Statistical post-processing of NOGAPS tropical cyclone forecasts. (paper in preparation)
- Fiorino, M., and R.L. Elsberry, 1989 : Some aspects of Vortex structure in tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 979-990.
- Goerss, J.S., and S.A. Petko, 1995: The impact of synthetic tropical cyclones observations on a global forecast model. Preprints, *21st Conference on Hurricanes and Tropical meteorology, American Meteorological Society, Miami, Florida, USA, April 24-28, 1995*, 149-151.
- Goerss, J.S., 1999: Tropical cyclone forecasting using an ensemble of dynamic models-1998 Atlantic hurricane season. Preprints, *23rd Conference on Hurricanes and Tropical meteorology, American Meteorological Society, Dallas, Texas, USA, January 10-15, 1999*, 826-829.
- Harr, P.A., and R.L. Elsberry, 1991 : Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1448-1468.
- Hoffman, R.N., and E. Kalnay, 1983 : Lagged-average forecasting an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, **35**, 100-118.
- Hughes, L. A., 1952: On the low-level wind structure of tropical storms. *J. Meteor.*, **9**, 422-428.
- Kurihara, Y., M.A. Bender, and R.J. Ross, 1993 : An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2030-2045.
- Kurihara Y., M.A. Bender, R.E. Tuleya, and R.J. Ross, 1995 : Improvements in the GFDL Hurricane Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2791-2801.
- Leith, C.E., 1974 : Theoretical skill of Monte Carlo forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 409-418.
- Mullen, S.L. and D.P. Baumhefner, 1994 : Monte Carlo simulations of explosive cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1548-1567.
- Mureau, R., F. Molteni, and T.N. Palmer, 1993 : Ensemble prediction using dynamically conditioned perturbations. *Quat. J. Roy. Meteor. Soc.*, **119**, 299-323.
- Terng, C.-C., C.-S. Liou, and C.-T. Feng, 1998 : Global typhoon forecast system at Central Weather Bureau. Proceedings, *Conference on Weather and Forecasting, Central Weather Bureau, Nov. 16-19, 1998, Taipei*, 210-214.
- Wu, C.-C., M.A. Bender, and Y. Kurihara, 1999 : On the performance of the GFDL hurricane prediction system in the western North Pacific and a comparison using the NOGAPS and AVN global analysis. (Submitted to *Weather and Forecasting*)

A Preliminary Study on the Sensitivity of the Typhoon Track Model Forecasts to the Initial Fields

Tien-Chiang Yeh Kaug-Ning Huang Der-Song Chen

Central Weather Bureau

(Manuscript received 2 February 1999 ; in final form 14 June 1999)

ABSTRACT

In operational environment, it is not easy to analyze the typhoon structure correctly from the current observation networks. Typhoon track forecast models usually require a bogussing procedure in the model initialization for simulate the typhoon circulation. This study examines the sensitivity of the model track forecasts to the model initial fields. Cases selected are typhoons Cam (00UTC 22 May), Gloria (00UTC 24 July), Dale (12UTC 7 November), and Herb (12UTC 29 July) of 1996. The model used is the operational typhoon track forecast model of Central Weather Bureau. Different initial fields are obtained by changing the parameters of the size, the strength, the radius of the maximum wind, and the location of the bogussing vortex. Different large scale environments are also examined. The simulation results show that the track forecast does sensitively depend upon the small change of the initial field. The mean distances between the forecast centers of the control forecasts and the forecast centers of the simulations with various specifications of the bogussing vortex are 55/68 km in 24/48 hours forecast. Among those cases, larger distances between forecast centers are found for the cases of typhoons in the environment with large horizontal or vertical wind shears. The results also show that some of the cases with large model track forecast errors are due to the incomplete removal of the model analyzed typhoon structure before adding the bogussing vortex. For those cases, by changing the vortex specifications in the bogussing procedure could not improve the forecast result effective. Applying the approach of modifying the environmental flow such as that proposed by DeMaria (1987) can, sometimes, produce a better forecast.

Keywords : Typhoon Track Forecast, Sensitivity of the Track Forecast to the Model Initial Field