

GFDL 颱風預報系統對於 1996 年西北太平洋地區 颱風預報測試結果評估

吳俊傑、卓瑜甄
國立台灣大學大氣科學系

摘要

本研究測試 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風預報系統對於西太平洋地區颱風的預報情形，以瞭解此系統在現階段對於西太平洋颱風之預報能力。在 1996 年之颱風季節中，我們對西北太平洋 23 個颱風做 171 個案的真時 GFDL 颱風模式預報。在路徑預報方面，GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風之路徑預報在所有預報個案中，對 12 (171 個案)，24 (159 個案)，36 (146 個案)，48 (136 個案)，60 (118 個案) 及 72 小時 (108 個案) 的各預報時間，其平均預報路徑誤差分別為 108, 174, 220, 274, 352 及 436 公里。與 1995 年 GFDL 之路徑預報結果比較顯示，在前 48 小時之預報，1996 年之預報誤差較 1995 年約增加 10 %；但在 60 及 72 小時的預報，則 1996 年之表現優於 1995 年。若與 TFS 預報系統 1996 年之結果比較顯示，在 12 小時之預報路徑誤差兩者相當 (TFS 略優)；在 24, 36 及 48 小時之預報，則 GFDL 優於 TFS，其改進分別為 15 %，31 % 及 38 %。但經由 GFDL 及 TFS 對 CLIPER 做均勻個案比較則顯示，實際上 1996 年 GFDL 相對於 CLIPER 之預報技術較 1995 年增加，而 1996 年 TFS 之預報技術較 1995 年卻略為降低。

路徑預報偏差及強度預報偏差之結果則顯示雖然 GFDL 颱風預報系統對於西北太平洋颱風預報之系統偏差會因年份不同而有所變化，但基本上仍略具一定的系統偏差：即在路徑預報方面 GFDL 系統會低估高緯度颱風之移速，且對颱風轉向之預報能力較為有限；在強度方面，1996 年 GFDL 平均預報誤差較 1995 年減少約 5 Knots，並且在強度預報偏差上略顯高報強度較弱之颱風而低報強度較強之颱風的趨勢。由賀伯颱風個案討論結果顯示，雖然 GFDL 預報系統對路徑預報已展現相當之預報能力，但對於風雨預報仍有其不確定性。透過這些測試，我們已較能肯定 GFDL 預報系統對於西北太平洋颱風之預報能力。我們亦認為此模式預報結果對於台灣地區颱風預報具有參考價值，且此模式的一些長處 (其初始資料及渦旋植入方法)，應可提供台灣現有颱風模式學習。目前我們正在規劃更多之測試以探討 GFDL 預報系統優於其他現有模式之主因，以及瞭解 GFDL 預報系統對初始資料場之敏感問題，並期望藉由這些測試以釐清現階段颱風預報所面臨之問題。

Evaluation of the GFDL Hurricane Prediction System in the western North Pacific in 1996

Chun-Chieh Wu & Yu-Tseng Cho
Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

Abstract

The GFDL hurricane prediction system was tested at National Centers for Environmental Prediction in experimental mode and in near real time for western North Pacific storms during 1996. Altogether, 171 forecasts were run for 23 storms that formed during the months of July through December.

Results indicate that the GFDL system exhibited considerable skill in the forecast of the storm track for the cases run. The mean track errors for all cases run are 108, 174, 220, 273, 352 and 436 km for 12 (171 cases), 24 (159 cases), 36 (146 cases), 48 (136 cases), 60 (118 cases) and 72 (108 cases) hours. Compared to the forecasts in 1995, the track errors in 1996 are about 10% larger for the first 48h, but are smaller at 60 and 72h. Except for the first 12h, the average improvement of GFDL track forecast over TFS is 15%, 31% and 38% for 24, 36 and 48h. However, the homogeneous comparisons between the GFDL and CLIPER forecasts show that the 1996 GFDL forecasts have higher forecast skill (relative to CLIPER) than the 1995 GFDL forecasts. Meanwhile, the 1996 TFS forecasts show slightly lower forecast skill (relative to CLIPER) than its 1995 forecasts.

Despite the demonstrated skill of the GFDL forecast system as a useful dynamical model guidance for tropical cyclone forecasters in the western North Pacific region, some biases were revealed in the storm track and intensity. In general, some slow (along-track) bias with no obvious cross-track

bias is identified in 1996, as compared to the northward and rightward (relative to the storm's heading direction) bias in 1995. As to intensity forecast, similar to the results in 1995, an over-prediction of the intensity of weak storms and an under-prediction of the intensity of strong storms of the GFDL system are found in 1996, thus suggesting a need for some improvement in the prediction model and its initialization.

More tests and investigations are needed in order to identify the key factors that affect the performance of each typhoon forecasting system. A comparison study of the parallel GFDL forecasts in 1996 using the analyses from AVN (at NCEP) and from NOGAPS (at the Navy) may shed some light on the issue regarding to the sensitivity of the GFDL hurricane prediction system to the initial analysis.

一、前言

颱風是自然界最具破壞力的天氣系統，也是台灣最重要的災變天氣，其所帶來的雨量亦是台灣地區最重要的水資源之一。以民國 84 年為例，許多颱風過門而不入，未對南部帶來足夠降水，因此造成南部地區缺水及限水的問題。另一方面，賴恩 (Ryan) 颱風於 9 月 22 日掠過恆春半島外海，台灣大部份地區民眾度過一個少風、少雨的颱風假日，同樣也造成社會經濟的耗損。

而強烈颱風賀伯(Herb)於民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日期間侵襲台灣北部地區，其所挾帶之破紀錄豪雨造成整個台灣地區超過數百億之民生經濟損失。尤其是南投山區及阿里山地區，災情最慘重 (特別是其嚴重之山崩及土石流等災害) 。根據農委會統計，賀伯颱風共造成死亡及失蹤人數分別達 51 人及 22 人，受傷人數 463 人，房屋全倒 503 間，半倒 880 間，農田流失 559 公頃、埋沒 1266 公頃，海水倒灌 2157 公頃，復建費用約 19 億元，農業災害損失達 199 億元 (李三畏，1996) ；而其他道路、橋樑之重建費用更是難以估計。儘管因各年代幣值不同而無法準確比較歷年來災害損失大小，但賀伯風災可能是自民國四十八年八七水災以來最大的災害。

另外中央氣象局的分析 (民國 84 年年終記者會) 顯示近 15 年台灣地區因氣象因素導致的直接財物損失，平均每年達新台幣 160 億元 (賀伯颱風災害未含在內) ，而其中有 76.6% 的損失係由颱風災害所造成。這些例子正凸顯台灣地區經濟民生對於颱風侵襲與否的敏感度及脆弱性，因此如何加強我們對颱風之研究、瞭解，以提高對颱風之預報能力，一直都是國內大氣科學界最重要的課題之一。

從學術觀點而言，颱風是流體力學在大自然所展現的絕妙特例。颱風系統包括旋轉渦旋、位流、層化流體、熱力對流、大氣與海洋之交互作用等物理過程，一直是國際大氣科學

界深感興趣的研究題材。以台灣為例，由於位處於西北太平洋地區颱風路徑之要衝，每年常受颱風侵襲，但也因此成為觀測和研究颱風之絕佳地理位置。颱風接近台灣時，中央山脈高聳、複雜的地形，對颱風伴隨之對流和環流結構有相當顯著的影響；此地形作用，不但可以改變颱風之路徑，也使得其所伴隨之強風和豪雨之預報更加困難。而此地形作用導致颱風特性之複雜變化亦為學術上深具挑戰之研究課題。

除上述學術難題外，加上颱風本身及其周圍大氣環境的觀測資料之不足、颱風預報模式之缺陷、人為颱風預報的主觀性、以及上述各原因的交錯影響，準確的颱風預報是相當困難，而颱風預報的能力更是有限。依統計平均而言，目前世界各先進國家的二十四小時颱風中心位置預報誤差約為一百八十公里。然而台灣地區地狹人稠，對於颱風是否侵襲非常敏感且脆弱。無論是颱風入侵或者是假警報都會造成社會成本之損失。因此，颱風預報的改進是台灣地區目前氣象科技發展最實際也最大的挑戰之一。

中央氣象局所發展的第二代颱風路徑預報系統 (TFS) 已於 1994 年建置完成，並針對 1994 年之颱風做作業性測試。Chen et al. (1994) 顯示 24、48 小時颱風路徑預報統計誤差各為 201、380 公里，較其前一代系統已有所改善。此 TFS 颱風預報系統仍在持續研究改進之中，如何吸取其他颱風模式及其資料初始化方法之優點，以改善 TFS 颱風預報系統，應是值得進一步研究的方向。另外，深入瞭解颱風預報系統本身之系統誤差及偏差特性，除了對於模式本身之改進有所助益外，亦可提供使用其系統做預報者之重要參考依據。儘管氣象局已有這套自己所發展的模式，然而在正式颱風預報時，客觀地參考其它模式之預報結果及加上有經驗的預報人員之主觀人為研判，亦是做好颱風預報不可忽視的環節。

Wu (1994) 使用 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風預報系統對

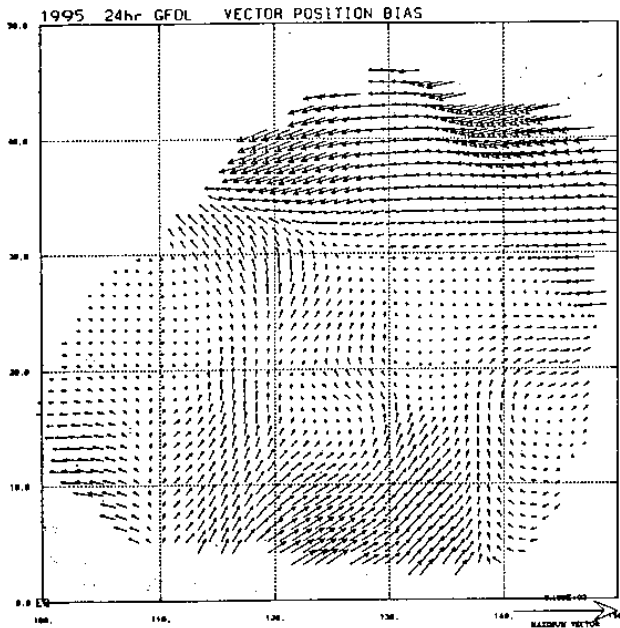


圖 1：GFDL 颱風預報系統對 1995 年西北太平洋颱風 24 小時預報之實際位置預報偏差（圖中箭頭代表實際經緯度誤差）。

西北太平洋的颱風進行初步測試，其結果顯示此模式對 18 個侵台之西北太平洋之颱風具有相當之預報能力。吳（1996）與吳（1996）針對 1995 年颱風季節中 16 個西北太平洋地區的颱風做 125 個案之真時預報。其結果顯示 GFDL 颱風預報系統的路徑預報結果相較於 CLIPER（CLImatology and PERsistence）、中央氣象局的 TFS 和 EBM（Equivalent Barotropic Model）、及美國 AVN（AViation 模式）與 NOGAPS（Navy Operational Global Atmospheric Prediction System）等模式之預報均較為出色，且路徑誤差平均約減少 35%。另外 GFDL 颱風路徑預報誤差亦遠低於關島和台灣的官方預報，其改進超過 30%。

有關路徑預報偏差之探討（圖 1），吳（1996）顯示在 1995 年西北太平洋之颱風預報中，GFDL 颱風預報系統對於 15° ~ 30°N 區域的颱風之路徑有較好之表現，但具有系統性的偏北誤差，即預報颱風過早轉向（recurve）的情形；對於較高緯度區域的颱風則有向西的預報偏差。而此向西偏差可能是由於 GFDL 預報低估高緯度地區往東北（或東）方向行進之颱風移速所造成。若以沿著颱風路徑（Along-Track；AT）及垂直颱風路徑（Cross-Track；CT）二個分量探討此模式對颱風移速及行徑方向預報的掌握（圖 2），顯示 1995 年路徑偏差在 CT 方向為偏右，AT 方向為偏快。

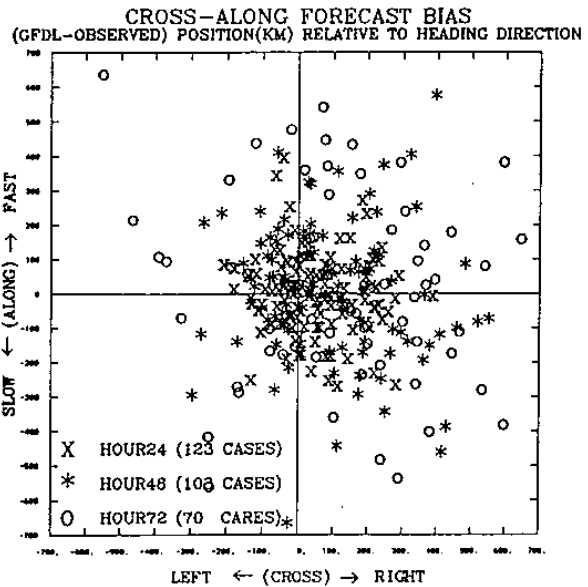


圖 2：GFDL 颱風預報系統對 1995 年西北太平洋颱風預報誤差在 Cross-Track（橫座標）及 Along-Track（縱座標）方向上之分佈圖。

GFDL WIND SPEED BIAS

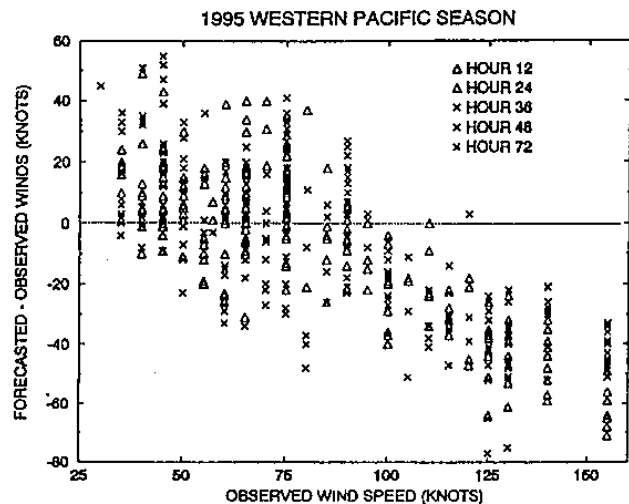


圖 3：GFDL 颱風預報系統對 1995 年西北太平洋颱風強度預報之系統偏差。橫座標代表觀測（JTWC）之颱風強度，縱座標代表 GFDL 強度預報誤差。

在強度預報方面，吳（1996）顯示 GFDL 颱風預報系統對 1995 年西北太平洋之颱風強度的預報能力仍屬有限，並且具有一強度預報之系統偏差（圖 3）：即 GFDL 預報會低報強度較強之颱風，而高報強度較弱之颱風。吳（1996）之測試中也發現 GFDL 颱風預報個案表現之良否和此模式對大尺度環境流場模擬之好壞有很大之關係；即 GFDL 預報系統對颱風預報較準確時，其對大尺度之環境流場亦有較好之表現。另外重要的是，由探討與美國海軍使用 GFDL 系統（但以 NOGAPS 為初始資料）之初步比較結果顯示 GFDL 系統之預報對於所使用初始資料可能相當敏感。

透過 Wu (1994) 及吳 (1996) 之研究，我們雖較能肯定 GFDL 颱風預報系統用來預報西北太平洋地區颱風之能力，但該年度之統計結果是否具有代表性？有關颱風路徑預報結果在不同年份之持續性與否，以及對於颱風路徑及強度預報之系統偏差問題，我們認為仍須藉由更多的研究測試才能有深入瞭解。此外，有關模式對於初始場之敏感度問題，則有賴於使用不同初始資料進行預報，且將結果加以比對，才能有所突破。

基於上述精神，本研究之主要目的即在延續 Wu (1994) 及吳 (1996) 之工作——測試 GFDL 颱風預報系統對於 1996 年西太平洋地區颱風的預報結果，以瞭解此模式在現階段對於西太平洋颱風之預報能力，進而評估其將來做為本地颱風預報參考之價值。並且從不同模式預報與實際觀測之比較中學習經驗，以改進 GFDL 及 TFS 模式及其資料初始化與渦旋 bogusing 處理方法，期盼能對未來之颱風預報有所幫助。

本文之第二節說明所使用的 GFDL 颱風預報系統及所進行的預報方式與流程；第三節為預報結果分析及探討；最後則為總結。

二、GFDL 颱風預報系統

本節介紹 GFDL 颱風預報系統之基本架構，我們所使用的最新版本的 GFDL 的多重巢狀可移動網格 (Multiply Nested Movable Mesh) 颱風模式 (以下簡稱為 GFDL 颱風預報系統)，是由 Kurihara 和 Bender (1980) 所研究發展，再經由 Tuleya et al. (1984)，Bender et al. (1987) 和 Bender et al. (1993) 對模式的細部加以修改，並加入資料初始化過程及颱風渦旋植入 (bogusing) 方法【Kurihara et al. 1993; 1995 (KBTR)】及輻射參數化 (Tuleya 1994)。

此模式為一原始方程模式，在水平為經緯度座標，垂直為 σ ($\sigma = P/P_s$) 座標。垂直高度分為 18 層，積分範圍為緯度 $75^\circ \times$ 經度 75° ，所使用的三重巢狀網格，其解析度由粗至細分別為 1° ， $1/3^\circ$ 和 $1/6^\circ$ 。最外層網格的範圍緯度是由 10°S 到 65°N ，而經度座標則隨著預報的颱風位置不同而有所改變。

模式中參數化過程主要包括積雲參數化，大氣—地面交互作用，垂直和水平擴散，及輻射參數化。此模式使用美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental

Prediction, NCEP) T126 的全球分析場，並將其內差至 GFDL 颱風模式之網格上做為模式積分的初始條件，並以 NCEP 全球模式每 12 小時的預報結果做為側邊界條件 (Kurihara et al. 1989)。

GFDL 的颱風預報系統主要特徵包括 1、為一個高解析度的多重可移動網格模式，2、NCEP 的全球分析場資料做為初始場，3、採用 GFDL 模式之颱風初始化過程和颱風植入方法。因此這三部份中任何一項的改進，都可能提高模式預報的準確度。在 Bender et al. (1993) 的模擬中，透過颱風初始化過程對 Gloria (1985) 和 Gilbert (1988) 颶風做模擬，結果顯示在預報的前 48 小時其路徑相較於沒有初始化之預報有顯著的改善。颱風的強度在預報上雖有較大之誤差，但對其強度的變化已稍可掌握。KBTR 提出新的初始化方法，針對過濾擾動場中屬於颱風擾動和不包含颱風擾動的部份加以改善；使用新的初始化方法，在 Florence (1988) 颶風的模擬中，可將颶風東北方的氣旋和颶風本身的環流做較好的過濾，得到更正確的環境流場，進而改進颱風的路徑預報。

此 GFDL 預報系統在經過多年之測試及近年的實際颱風預報模擬，統計上顯示出為所有大西洋及東太平洋颱風模式中之最佳路徑預報，並且稍微展示颱風強度之預報能力 (Kurihara et al. 1993)。GFDL 的颱風預報系統，已在 1994 年的颱風季節，在 NCEP 的 Cray C-90 電腦上測試，並在 1995 年時正式成為 NCEP 颱風預報的作業模式，且已在 1996 年六月成為美國海軍數值預報中心 (FNOC) 颱風預報的作業模式。我們認為 GFDL 颱風模式是現有實際颱風預報的最佳模式之一。

本研究仍延續 Wu (1994) 及吳 (1996) 之研究，透過網路，利用 NCEP 之 Cray-C90 電腦，在 1996 年颱風季節針對西北太平洋地區颱風進行真時預報。而此研究中的一項特色即在於當美國海軍使用 NOGAPS 之資料場對 1996 年西北太平洋地區之颱風從事預報時，我們亦同時採用 GFDL 系統以 AVN 為初始資料場於 NCEP 進行平行之預報。因此比較兩者之結果將可幫助瞭解 GFDL 預報系統對於初始條件之敏感問題；而這也是做系集預報 (ensemble forecast) 的初步探討。為配合美國海軍對於西北太平洋颱風進行預報之預報時間以進行平行預報，在本研究中所進行颱風預報之初始時間為 0600 UTC 和 1800 UTC【故此研究中有關 GFDL 預報系統之預報結果無法與 TFS (0000 UTC 及 1200 UTC) 之結果進行均勻個案之比較】。以每日 0600 UTC 之預報為例，

GFDL系統之預報約在1200 UTC—1400 UTC時完成（即在NCEP全球模式完成後1—3小時）。

三、結果分析

1996年颱風季節，我們自7月中旬至12月底對西北太平洋23個颱風做171個案的眞時預報（預報個案如表1），因此較1995年增加40%之個案數。我們將預報結果加以分析，並和1995年GFDL及1996年TFS之預報結果做比對，以探討GFDL颱風預報系統之路徑和強度預報，預報結果之系統偏差，及在不同年度之變化。

表1：1996年GFDL颱風預報系統在西北太平洋所做颱風預報個案總表。

STORM NAME	NUMBER OF CASES	DATES OF FORECASTS
DAN (WP06)	3	JULY 06 - JULY 08
EVE (WP07)	11	JULY 13 - JULY 19
GLORIA (WP09)	5	JULY 22 - JULY 25
HERB (WP10)	9	JULY 24 - JULY 31
IAN (WP11)	2	JULY 29 - JULY 29
JOY (WP12)	3	AUGUST 02 - AUGUST 03
KIRK (WP13)	15	AUGUST 05 - AUGUST 15
NIKI (WP18)	5	AUGUST 18 - AUGUST 20
ORSON (WP19)	17	AUGUST 22 - SEP. 03
SALLY (WP23)	6	SEP. 05 - SEP. 08
TOM (WP25)	8	SEP. 11 - SEP. 17
VIOLET (WP26)	11	SEP. 12 - SEP. 22
WILLIE (WP27)	6	SEP. 18 - SEP. 22
YATES (WP28)	7	SEP. 23 - OCT. 01
ZANE (WP29)	10	SEP. 24 - OCT. 02
ABEL (WP30)	2	OCT. 13 - OCT. 16
WP31	2	OCT. 13 - OCT. 15
BETH (WP32)	9	OCT. 14 - OCT. 21
CARLO (WP33)	7	OCT. 21 - OCT. 25
WP35	1	NOVEMBER 02
DALE (WP36)	11	NOV. 04 - NOV. 12
ERNIE (WP37)	13	NOV. 04 - NOV. 16
FERN (WP42)	8	DEC. 22 - DEC. 26
TOTAL	171	JULY 06 - DECEMBER 22

(一) 路徑預報誤差

在路徑預報方面，GFDL颱風預報系統在所有個案預報中，對12（171個案），24（159個案），36（146個案），48（136個案），60（118個案）及72（108個案）小時的各個預報時間，其平均路徑預報誤差分別為108, 174, 220, 274, 352及436公里。若將1996年GFDL之結果和1995年GFDL之預報加以比對（如圖4），結果顯示1996年GFDL颱風預報系統之路徑預報誤差，在前48小時較1995年約增加10%，但在60及72小時的預報，則優於1995年。不過值得注意的是，由於1996年GFDL之初始預報時間為非

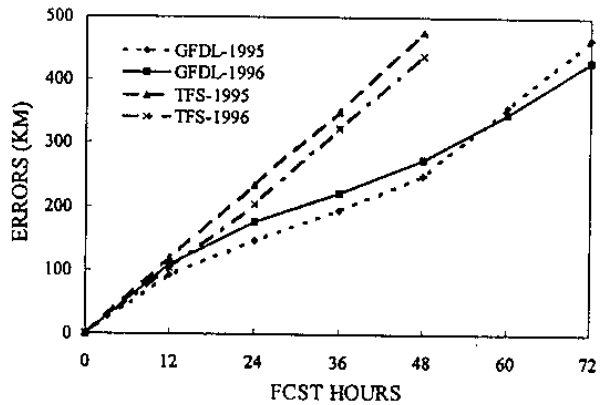


圖4：1996年颱風季節之GFDL與TFS之颱風路徑預報誤差及1995年GFDL與TFS之颱風路徑預報誤差比較。

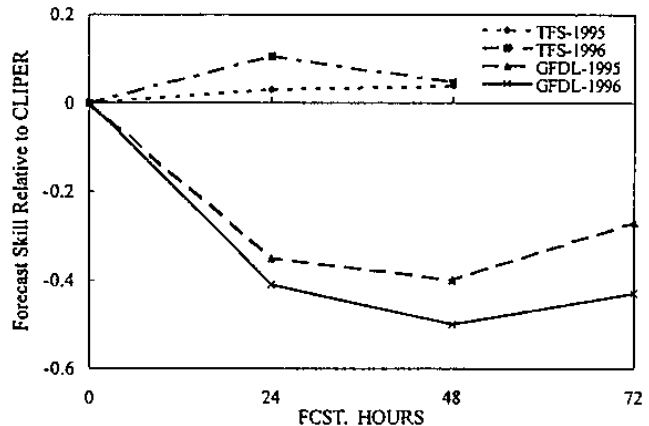


圖5：1996及1995年颱風季節之GFDL與TFS之颱風路徑預報分別相對於同期CLIPER預報的預報能力比較；即 $(E_{model} - E_{CLIPER}) / (E_{CLIPER})$ 。

傳統觀測時（即非0000 UTC與1200 UTC；而為0600 UTC與1800 UTC），故可以利用之傳統觀測資料較為有限，因此所分析初始資料場之好壞可能較容易受全球模式做四維資料同化表現之影響。

雖然初始預報時間不同（即GFDL系統為0600 UTC及1800 UTC），我們亦嘗試以1996年GFDL之預報結果和所有TFS預報做非均勻個案之比較（如圖4）。結果顯示在12小時之路徑預報誤差兩者相當（TFS略優）。而在24, 36及48小時，則GFDL優於TFS，其誤差改進約為15%, 31%及38%；即GFDL與TFS路徑預報誤差之差別隨預報時間而增加。若我們將TFS對1996年颱風路徑預報之結果與1995年TFS之預報結果加以比較，則可發現TFS在1996年之路徑預報誤差較1995年改進約10%。

以上結果雖然顯示1996年GFDL路徑預報誤差較1995年增加，而1996年TFS之預報誤差較1995年減少，但經由1996年GFDL及TFS預報系統獨立對CLIPER做均勻個案比較（即GFDL與CLIPER做0600 UTC及1800 UTC之均勻個案比較；而TFS與CLIPER做0000 UTC及1200 UTC之均勻個案比較）

卻顯示(如圖 5)，實際上 1996 年 GFDL 相對於 CLIPER 之預報技術較 1995 年增加，而 1996 年 TFS 之預報技術較 1995 年卻略為降低。這是由於 CLIPER 在 0600 UTC 及 1800 UTC 之平均預報誤差在 24 及 48 小時預報時間分別較 0000 UTC 及 1200 UTC 增加 30% 及 20%。

(二) 路徑預報偏差

除對各路徑預報結果加以比較之外，我們亦針對 GFDL，及 TFS 預報做路徑預報系統偏差之分析。在此分析中我們將路徑誤差分為沿著颱風路徑 (Along-Track; AT) 及垂直颱風路徑 (Cross-Track, 以 AT 方向右側為正; CT) 二個分量，以探討此二個模式對颱風移速及行徑方向預報的掌握。圖 6 (7) 為針對 GFDL (TFS) 颱風預報系統在 1996 年對西北太平洋颱風之所有預報個案之誤差在 CT 及 AT 分量上之分佈圖(由於 TFS 颱風預報系統僅預報至 48 小時，因此圖 7 只顯示 24 及 48 小時之誤差分佈)。圖 6 顯示 GFDL 路徑誤差在 AT 方向有稍慢的現象，在 CT 方向上並無明顯的系統性偏差。TFS 路徑誤差(圖 7) 在 AT 方向上也有偏慢的現象，但在 CT 方向上路徑誤差則較為凌亂。若將 1996 年之颱風路徑預報偏差結果和 1995 年比較，我們發現不論是 GFDL 或 TFS 颱風預報系統，其路徑預報偏差皆與 1995 年之路徑預報偏差(圖 2) 有頗大的差距(即 1995 年之路徑偏差分析中，在 CT 方向為偏右，AT 方向為偏快；而 1996 年之路徑預報偏差在 CT 方向無明顯之系統偏差，AT 方向則偏慢)。

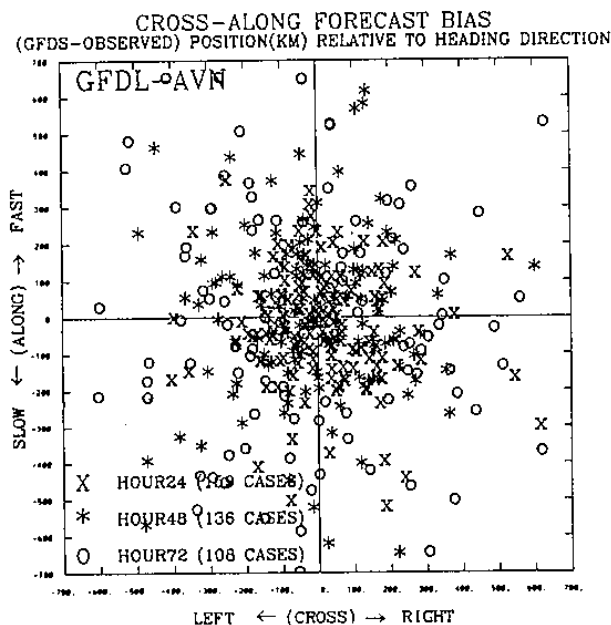


圖 6：GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風預報誤差在 Cross-Track (橫座標) 及 Along-Track (縱座標) 方向上之分佈圖。

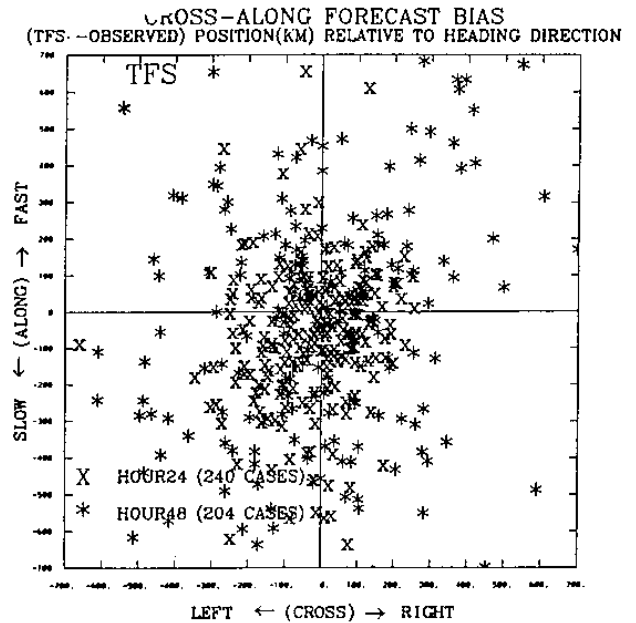


圖 7：TFS 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風預報誤差在 Cross-Track (橫座標) 及 Along-Track (縱座標) 方向上之分佈圖。

圖 8 (9) 為 GFDL (TFS) 颱風預報系統之 24 小時及 48 小時路徑預報的位置偏差(將所有 24 或 48 小時的預報誤差值經由簡單客觀分析所計算出每 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 網格點上之代表誤差向量；圖中箭頭所代表實際之經緯度誤差)。圖 8a 為 GFDL 在 24 小時之預報位置偏差，結果顯示 GFDL 對於 30°N 以北區域的颱風之路徑有向西之預報偏差；而對於 20°N 以南區域的颱風路徑有向東之預報偏差；在介於 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 區域之颱風路徑預報雖較 30°N 以北及 20° 以南區域之路徑預報為準確(即圖中之箭頭較短)，但由於在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 恰為西北太平洋地區颱風轉向之區域，因此 GFDL 颱風預報系統之預報偏差結果較為凌亂，但大致上略具有北偏的趨勢。由我們的分析顯示，此高緯度向西及低緯度向東之偏差可能是由於 GFDL 預報低估颱風移速所造成；在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 區域之路徑誤差較小而系統偏差不明顯則顯示出 GFDL 颱風預報系統對於 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 區域之颱風預報較為準確，不過對於颱風轉向與否之預報能力則較差，但略顯現出提早轉向之趨勢。在 48 小時之位置偏差圖中(圖 8b)，由於預報個案減少及路徑誤差擴大之影響，對於較高緯度及較低緯度之區域之位置誤差會因個案不足而受少部份預報結果之影響而較不具代表性(特別位在圖中邊界區域之箭頭)，但大致上仍可看出和 24 小時之位置偏差有相似之結果。綜合圖 8 及圖 6 之結果，並與 1995 年之路徑偏差(圖 1) 加以比較，顯

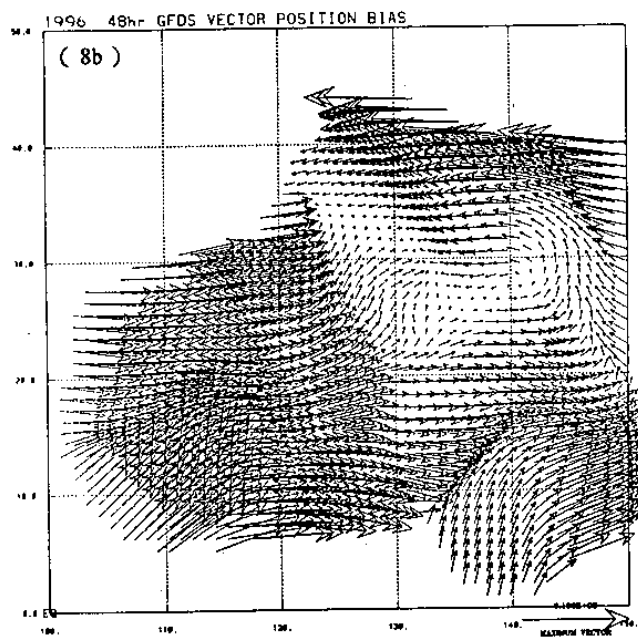
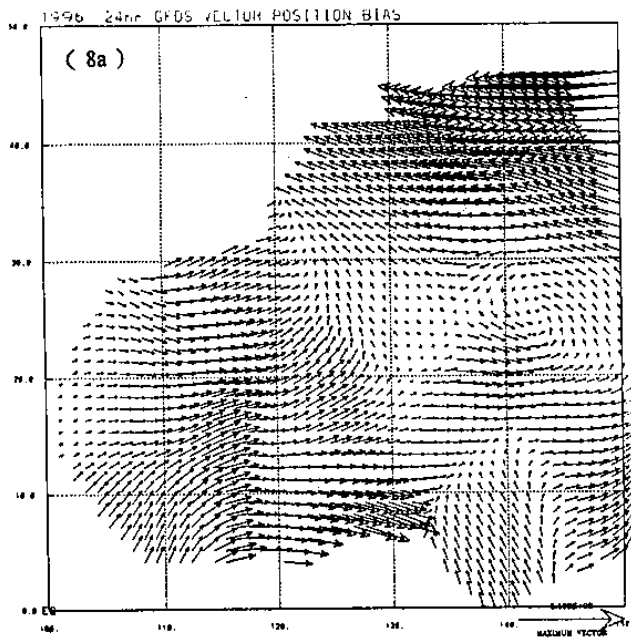


圖 8：GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風 (a) 24 小時 (b) 48 小時預報之實際位置預報偏差 (圖中箭頭代表實際經緯度誤差)。

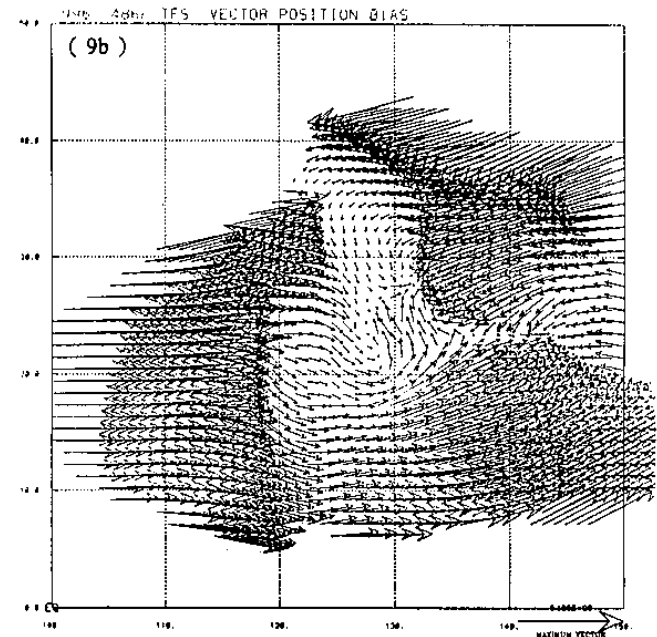
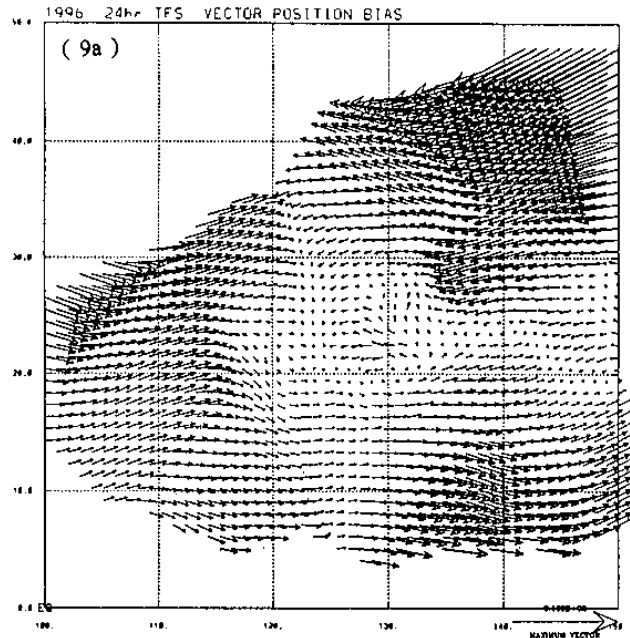


圖 9：TFS 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風 (a) 24 小時 (b) 48 小時預報之實際位置預報偏差 (圖中箭頭代表實際經緯度誤差)。

示出不同年份之系統偏差有所不同。但基本上我們發現對於西北太平洋颱風預報而言 GFDL 颱風預報系統會低估高緯度之颱風移速，且對颱風轉向的預報能力較為有限。

由 TFS 颱風預報系統之位置偏差 (圖 9a,b) 顯示不論是 24 小時或 48 小時之位置預報偏差皆大於 GFDL 之位置預報偏差。由圖 9 中亦顯示 TFS 颱風預報系統之位置偏差與 GFDL 之位置偏差頗為相似，即在 30°N 以北區域的颱風路徑有向西之偏差，在 20°N 以南區域的颱風路徑為像東之偏差；但在 20° ~ 30°N 區域的颱風路徑則十分凌亂。綜合圖 9

及圖 7 之結果，我們可看出 TFS 之颱風路徑預報在預報偏差方面，對 1996 年之颱風預報表現較 1995 年之結果持續，但同樣表現出 TFS 颱風預報系統對於颱風轉向與否之預報問題。

(三) 強度預報

雖然現有的其它颱風數值模式並無強度預報之能力，不過Kurihara et al. (1993) 已顯示GFDL颱風模式具有某當程度的颱風強度之預報能力。吳 (1996) 以GFDL颱風預報系統對1995年西北太平洋之颱風進行強度預

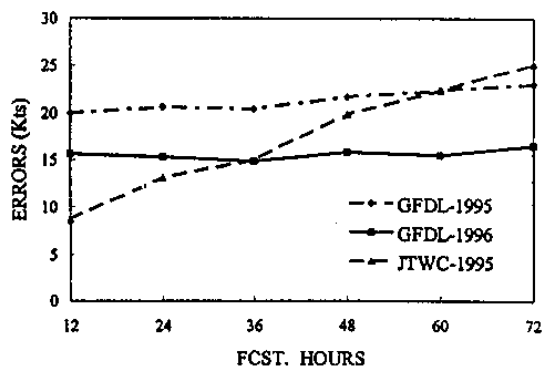


圖 10：GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風之強度預報誤差與 1995 年 GFDL 及 JTWC 官方強度預報誤差之比較。

報，結果顯示 GFDL 對於颱風強度預報仍屬有限。本研究我們亦針對 1996 年西北太平洋之颱風進行強度預報測試並與 1995 年之結果加以比較（如圖 10），結果顯示雖然 GFDL 颱風預報系統對於現階段颱風強度之預報仍屬有限，但 1996 年強度預報之結果已較 1995 年之強度預報有所改善（平均誤差減少 5 knots）；不過其誤差隨預報時間之改變趨勢仍與 1995 年之預報十分類似，即其強度上之預報誤差在預報初期（12 小時）便已存在，且至預報末期時，GFDL 颱風預報之強度誤差並沒有隨時間增加【未若 1995 年關島官方（JTWC）預報隨時間呈線性成長】。

有關強度預報之系統偏差，1995 年 GFDL 強度預報（圖 3）顯示 GFDL 預報會低報強度較強之颱風，而高報強度較弱之颱風；而在 1996 年（圖 11），此一關係亦約略存在，但較不明顯。且 1996 年之平均強度預報有較 1995 年強度預報偏低之現象。這是由於 1996 年 GFDL 颱風預報統中所預報之最大風速為地面 10 公尺高之風速而非 1995 年時為 GFDL 模式中最低層之預報結果（即地面上 40 公尺之風速），因此在 1996 年時之地面最大風速須透過外差計算求得，故預報之最大風速會較 1995 年的預報低。我們認為預報強度偏差中，模式低報較強颱風部份是由於模式解析度無法完全解析眼牆之故。而高報較弱颱風之趨勢，可能部份是導源於 GFDL 初始化及渦旋植入過程對於弱系統之處理較不佳使然。因此如何從資料本身，初始化過程，及模式的物理過程做改進，以增加颱風強度預報之能力，乃是未來亟待深入探討的子題。

（四）賀伯颱風個案討論

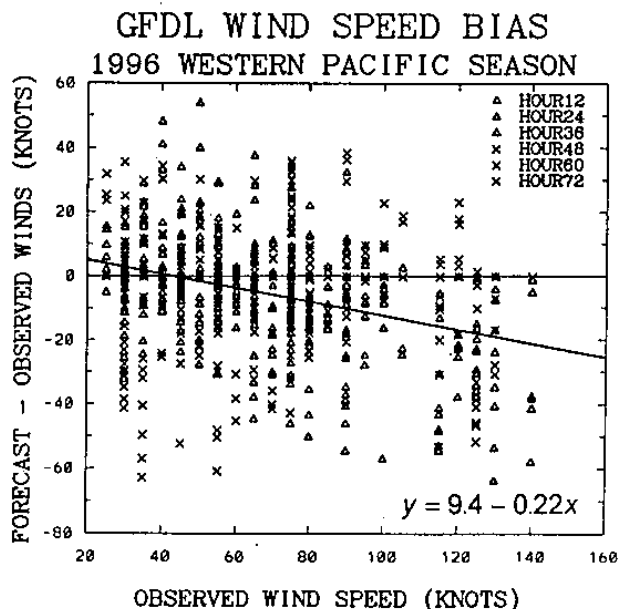


圖 11：GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風強度預報之系統偏差，橫座標代表觀測（JTWC）之颱風強度，縱座標代表 GFDL 強度預報誤差。

在此 23 個颱風預報中我們亦針對賀伯颱風作細部之探討。賀伯颱風在 1996 年 7 月 31 日 1244 UTC 時於宜蘭附近登陸；而後以緩慢速度通過台灣北部，並於 7 月 31 日 2000 UTC 時自新竹附近出海。賀伯颱風侵台期間帶來豐沛之降水對台灣造成重大之災害，其最大降水區分別集中在兩處：一位於北部石門水庫集水區，另一則為中南部曾文水庫上游集水區。

圖 12 為 GFDL 颱風預報系統對賀伯颱風的路徑預報和關島之觀測路徑。圖中顯示，GFDL 颱風預報系統對賀伯颱風之路徑預報只有在初期之預報中（預報 1, 2, 3）較不一致，之後對賀伯颱風的路徑預報皆具有相當的持續性。但 GFDL 之預報結果在賀伯颱風非常接近台灣時，都表現出較觀測路徑偏南的現象，因此導致 GFDL 預報之賀伯颱風登陸位置為花蓮而非宜蘭；但當賀伯颱風離開台灣後，GFDL 之預報結果又恢復到與實際觀測相似之路徑。

由於 GFDL 系統對於賀伯颱風之路徑在尚未接近台灣及離開台灣時，其預報路徑並無顯著較觀測路徑南偏之現象，且過去觀測（Wang, 1980）及理想模式（Bender et al., 1987）研究中提出台灣地形對類似侵台行徑颱風之影響為導致颱風向北偏移而產生氣旋式

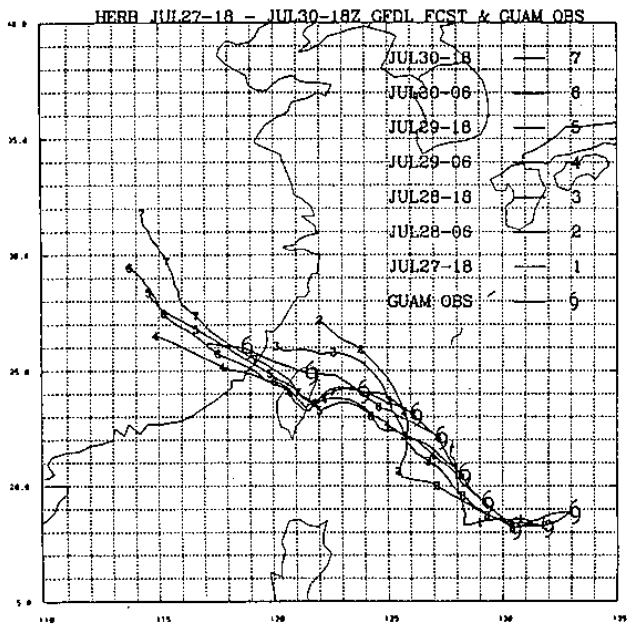


圖 12：1996 年賀伯颱風從 7 月 27 日 18 UTC 至 7 月 30 日 18 UTC 的所有 GFDL 預報系統 72 小時路徑預報圖及觀測最佳路徑圖（以颱風符號代表，每 12 小時顯示一次）。1, 2, 3...代表 GFDL 模式預報的時間順序。

之路徑；因此我們認為 GFDL 系統對於賀伯颱風接近及登陸台灣時預報路徑較實際觀測路徑偏南，可能是由於模式預報結果表現出賀伯颱風環流因氣流過山絕熱增溫而在花蓮地區而產生一局部低壓，導致 GFDL 系統以最低地面氣壓定位颱風中心產生錯誤（我們初步的風場分析亦符合此推測）。但這部份則需由更進一步之探討才能確定。

在降水方面，GFDL 颱風預報系統對於賀伯颱風所做累積雨量之預報顯示（圖未示），GFDL 之預報結果雖同樣可表現出有二個降水較大之區域：一處約為石門水庫之集水區，但另一處則在高雄附近（實際觀測在曾文水庫上游集水區）。但若由相對濕度之預報結果（圖未示）所表現之相對濕度較高的區域，則和觀測所得之最大降水區相當一致。此可能是由於模式對於台灣地形解析不足造成降水位置誤差，以及研究中所探討之結果為 1° 之解析度而非模式中最內層網格之 $1/6^\circ$ 解析度所導致。但由於颱風路徑預報之誤差會直接影響到中小尺度天氣系統之預報，因此雖然 GFDL 颱風預報系統在對於賀伯颱風之路徑預報表現已具

相當之路徑預報能力，但在風雨預報方面則仍有其不確定性。

四、結語

在 1996 年之颱風季節中，我們對西北太平洋 23 個颱風作 171 個案的真時預報，並將預和 1995 年 GFDL 系統對西北太平洋颱風之預報及 1996 年 TFS 之預報做非均勻個案的比較。在路徑預報方面，GFDL 颱風預報系統對 1996 年西北太平洋颱風之路徑預報在所有預報個案中，對 12（171 個案），24（159 個案），36（146 個案），48（136 個案），60（118 個案）及 72（108 個案）小時的各預報時間，其平均路徑預報誤差分別為 108, 174, 220, 274, 352 及 436 公里。與 1996 年 TFS 預報系統之預報結果比較顯示對於 12 小時之預報 GFDL 和 TFS 之預報誤差相當（TFS 略優），但在 24, 36, 48 小時之預報則 GFDL 預報優於 TFS，其改進分別為 15%，31% 及 38%；即隨預報時間增長，其路徑誤差之差別越顯著。在對於 1995 年 GFDL 對西北太平洋颱風路徑預報之比較中，則顯示在前 48 小時之預報，1996 年之路徑預報劣於 1995 年，而在 60 及 72 小時之預報則優於 1995 年；若針對 TFS 路徑預報結果則 1996 年誤差較 1995 年約減少 10%。但經由 GFDL 及 TFS 對 CLIPER 做均勻個案比較則顯示，實際上 1996 年 GFDL 相對於 CLIPER 之預報技術較 1995 年增加，而 1996 年 TFS 之預報技術較 1995 年卻略為降低。

由 1996 年對西北太平洋颱風之路徑偏差研究，顯示 GFDL 颱風預報系統對於 $20^\circ \sim 30^\circ\text{N}$ 區域之颱風預報較為準確，但對於颱風轉向之預報能力則較差，但略顯現出提早轉向之趨勢。對於 20°N 以南區域及 30°N 以北區域之颱風則有向東及向西之預報偏差，此部份是由於 GFDL 預報系統低估颱風移速所造成。將 1996 年所分析之路徑偏差與 1995 年之分析結果加以比較，顯示出不同年份之系統偏差有所不同。但基本上我們發現對西北太平洋颱風而言，GFDL 預報系統會低估高緯度之颱風移速且對颱風轉向之預報能力較為有限。

在強度預報方面，由 1996 年對西北太平洋颱風之強度預報結果顯示，GFDL 颱風預報系統對颱風強度之預報已較 1995 年改進（誤差約減少 5 knots），但對颱風強度之預報能力仍屬有限。由強度預報偏差分析則顯示 GFDL 系統在 1996 年之西北太平洋颱風強度預報中略具有某種強度預報系統偏差：即 GFDL 會低報強度較強之颱風而高報強度較弱之颱風，但此一關係不如 1995 年之預報明顯。

由賀伯颱風個案分析之結果則顯示 GFDL 颱風預報系統對於颱風路徑以具有相當之預報能力，但由於大尺度環境場之些微變化卻會造成中小尺度中巨大的誤差，因此在現階段中 GFDL 颱風預報系統對於風雨預報之能力仍有許多不確定性。

透過這些測試，我們已較能肯定 GFDL 預報系統預報西北太平洋颱風之能力。我們亦認為此模式預報結果對於台灣地區颱風是具有參考價值，且此模式的一些長處（其初始資料及渦旋植入方法），應可提供台灣現有颱風模式學習（已在進展中）。但究竟是由於何種原因（資料本身，GFDL 模式之初使化過程及渦旋植入部份，或是兩者）造成 GFDL 颱風預報系統之預報結果優於其他模式，乃是一項亟待研究之重要課題。此外，由於颱風模式預報結果對於初始場好壞相當敏感，我們認為中央氣象局的 TFS 系統在現階段預報能力有限之問題部份原因可能與初始場有關。我們正在做進一步之檢驗（例如以 AVN 分析場做 TFS 之初使場針對 1996 年 Violet 颱風進行預報測試），期待能明確找出 TFS 的癥結；有關美國海軍的平行預報之比較，我們正在做進一步之探討。我們希望對此做深入之研究以更加瞭解初始資料場對於颱風預報之影響，並釐清現階段颱風預報所面臨之問題。

致謝

本文作者感謝中央氣象局謝信良局長，鄭明典主任及葉天降副主任的支持，GFDL 的 Dr. Yoshio Kurihara 和 Mr. Morris Bender 及 NCEP 的 Dr. Stephen Lord 的協助，使得此真時的 GFDL 颱風模式預報實驗得以順利在 NCEP 的 C90 上進行。作者亦感謝中央氣象局的黃康寧小姐所提供的氣象局之預報資料。本研究是在中央氣象局計畫 CWB-86-2M-04 支助下完成。

參考文獻

- 李三畏，1996：賀伯颱風山坡地崩坍類別探討。賀伯颱風與工程環境研討會論文集，11-13。
- 吳俊傑，1996：用 GFDL 颱風模式預報 1995 年西北太平洋地區颱風。天氣分析與預報暨海象測報研討會，中央氣象局，台灣，台北，13-25。
- Bender, M. A., R. E. Tuleya, and Y. Kurihara, 1987: A numerical study of the effect of

island terrain on tropical cyclones. Mon. Wea. Rev., **115**, 130-155.

- _____, R. J. Ross, R. E. Tuleya, and Y. Kurihara, 1993: Improvements in tropical cyclone track and intensity forecasts using the GFDL initialization system. Mon. Wea. Rev., **121**, 2046-2061.
- Chen, D.-S., T.-C. Yeh, K.-N. Huang, M.-S. Peng, and S. W. Chang: A new operational typhoon track prediction system at the central weather bureau in Taiwan. Proc., 21 Conf. on hurricanes and tropical meteorology. American Meteorological Society, Boston MA. 51-52.
- Kurihara, Y., and M. A. Bender, 1980: Use of a movable nested-mesh model for tracking a small vortex. Mon. Wea. Rev., **108**, 1792-1809.
- _____, C. L. Kerr, and M. A. Bender, 1989: An Improved numerical scheme to treat the open lateral boundary of a regional model. Mon. Wea. Rev., **117**, 2714-2722.
- _____, M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. Mon. Wea. Rev., **121**, 2030-2045.
- _____, _____, R. E. Tuleya, and R. J. Ross, 1995: Improvements in the GFDL hurricane prediction system. Mon. Wea. Rev., **123**, 2791-2801.
- Tuleya, R. E., M. A. Bender, and Y. Kurihara, 1984: A simulation study of the landfall of tropical cyclones using a movable nested-mesh model. Mon. Wea. Rev., **112**, 124-136.
- Wang, S.-T., 1980: Prediction of the movement and strength of typhoons in Taiwan and its vicinity. Res. Rep. 018. National Science Council. Taipei, Taiwan (in Chinese).
- Wu, C.-C., 1994: Typhoon prediction using GFDL hurricane model. Proc., Conference on Weather Analysis and forecasting. Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan. 67.