

用 GFDL 颱風模式預報 1995 年西太平洋地區颱風

吳俊傑

國立臺灣大學大氣科學系

摘要

本研究測試 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式對於西太平洋地區颱風的預報情形，以瞭解此模式在現階段對於西太平洋颱風之預報能力。在 1995 年之颱風季節中，我們對西北太平洋 22 個颱風做 122 個案的實時 GFDL 颱風模式預報，並將這些預報結果提供給氣象局做其預報之參考。GFDL 颱風模式的預報路徑的結果相較於 CLIPER、中央氣象局的 TFS 和 EBM、及美國的 AVN 與 NOGAPS 等模式的預報均較出色。其中 GFDL 模式對於西北太平洋的颱風的路徑誤差平均減少 35 %。另外 GFDL 的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 %。由這些預報結果顯示，GFDL 颱風預報模式對於西北太平洋的颱風路徑具有相當好的預報能力。我們認為此模式預報結果對於臺灣地區颱風預報是具有參考價值。除了 GFDL 颱風模式的一些長處（如其多重巢狀可移動網格之設計及資料初使化與 bogusing 方法）可供本地現有颱風模式學習外、我們認為更多 GFDL 颱風模式之測試、以及針對此模式建立在臺灣之需要性及可行性做長遠的規畫是有必要的。

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。以去年(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，使得水庫貯水量持續下降，因此，缺水及限水的陰影已籠罩南部民眾之心頭。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，使不少民眾對中央氣象局的颱風預報能力產生質疑及誤解。另外中央氣象局的最新分析 (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。而其中有 76.6% 的損失係由颱風災害所造成。這些例子正突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。而如何改進颱風之預報及降低預報誤差更是氣象預報的一大挑戰。

中央氣象局所發展的第二代颱風路徑預報模式 (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，雖不全然理想，但已有所改善，而這套颱風試模式仍在繼續研究改進之中。儘管氣象局已有這套自己所發展的模式，然而在做正式颱風預報時，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。

本研究之目的便在於測試 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式對於西太平洋地區颱風的預報情形，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。並且從預報與實際觀測之比較中學習經驗，以改進模式及其資料初始化與渦旋 bogusing 處理方法，期盼能改進未來之颱風預報，並且利用此模式協助颱風學理之研究。

本文之第二節將簡介研究背景；第三節說明所使用的 GFDL 颱風模式及所進行的預報方式與流程；第四節分析並探討預報結果；第五節為綜合討論；最後則為總結。

二、背景

就學術觀點而言，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，這些物理過程一直是國際大氣科學界深感興趣的研究題材。除了台灣之外，日本、美國、中國大陸、澳洲、印度、菲律賓等地亦常遭颱風（或稱颶風）之侵襲，因此有關颱風之研究及預報改進也受到這許多國家特別的重視。

就台灣而言，由於正當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。颱風乃一快速旋轉的三度空間渦漩，伴隨有極強之對流特徵（如眼牆、螺旋狀雨帶等）。颱風接近台灣地區時，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，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。此外，雖然成熟的颱風常具有共同之結構特徵，但每個颱風仍具有其個別之（中尺度）結構和環境流場特徵，因此在颱風形成、發展和運動過程中，每一個案有其特殊性，使得單獨之個案分析常亦無法合理推測全貌。綜合而言，颱風之研究包含自中小尺度至大尺度之各種大氣動力及大氣海洋交互作用過程，必需從各方面同時進行研究方可對颱風之了解有所突破。

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接近二百公里。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。

針對上述的颱風預報問題可知，目前改進颱風預報的步驟大致包括：1. 發展更經濟且有效的颱風觀測技術以獲取更多寶貴的颱風資料；2. 颱風學術原理之研究突破；3. 颱風數值預報模式之改良，除了颱風路徑之外，並期盼能改進至能夠預測關鍵的雨量及風速大小分佈；4. 發展所謂的“專家系統”以結合客觀的數值預報及主觀的預報專家經驗，做出更準確的颱風之機率預報。

本研究主要目的便是針對颱風數值預報模式之測試、即在延續 Wu（1994）的實驗，利用 GFDL 颱風模式對於 1995 年颱風季節的西太平洋颱風做真時（real time）的預報工作，並將這些預報結果提供給氣象局做其預報之參考。透過這樣的預報實驗，我們可以更加了解此模式預測西太平洋颱風路徑之能力。藉此我們亦可評估未來參考此模式結果做為臺灣地區颱風預報之價值。更為是否有將此模式建立在臺灣之需要性及可行性做長遠的規畫。

三、模式簡介

GFDL 的多巢可移動網格（Multiply-nested Movable Mesh）高解析度颱風模式是 Kurihara 所領導的颱風研究小組歷時約 20 年所研發出來。此模式所發展的多巢可移動網格兼顧模式之解析度及計算效率的雙重需求，對於颱風的預報，特別實用。而其巢狀網格之設計亦是雙向交流（two-way interaction），所以不同巢之間動力上是相連接的。GFDL 颱風模式除了做為颱風動力之理論研究外，在經過近幾年來發展的資料初始化及颱風渦旋 bogusing 處理方法（Kurihara et al., 1990, 1993 和

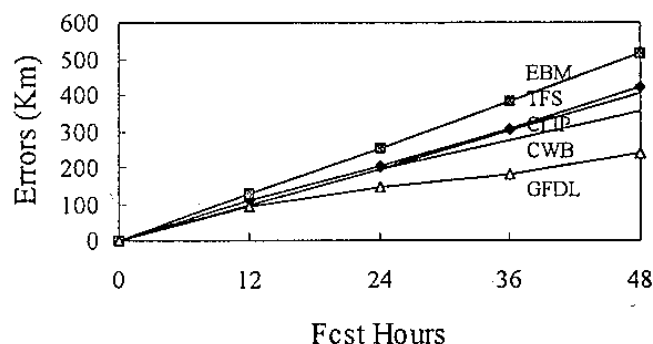


圖 1：1995 年颱風季節，GFDL、CLIPER、TFS、EBM 等颱風模式及 CWB 的官方預報對西北太平洋颱風 inhomogeneous 個案之預報路徑誤差比較。

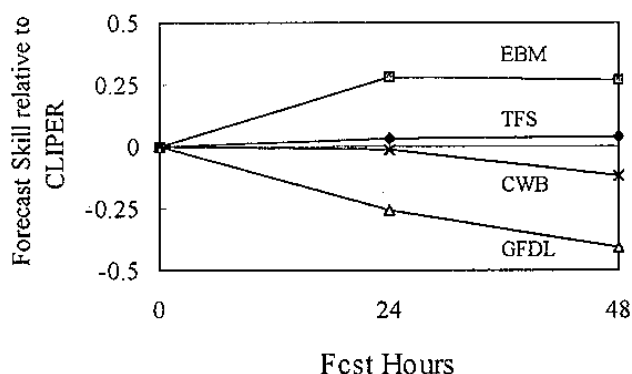


圖 2：1995 年颱風季節，GFDL、TFS、EBM 颱風模式及 CWB 的官方預報對西北太平洋颱風 inhomogeneous 個案的預報路徑誤差相對於 CLIPER 之預報能力比較。

1995) 後，亦已被用來做實際颱風預報。以下即對此颱風模式做簡單介紹。

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 颱風模式)，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，並加入初始化過程 (Kurihara et al. 1993, 1995) 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 $10^\circ S$ 到 $65^\circ N$ ，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氣象中心 (National Meteorological Center; NMC) 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 NMC 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 的颱風模式主要特徵包括 1、為一個高解析度的多重可移動網格模式，2、NMC 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。Kurihara et al. (1995) 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 預報模式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颱風模式中最佳路徑預報，並且展示相當程度的颱風強度之預報能力 (Kurihara et al. 1993)。此模式對於幾個具威脅性的颱風 (Andrew, 1991; Inki, 1992; Emily, 1993) 的準確預報特別受到重視。GFDL 的颱風預報模式，在 1994 颱風季時對各個地區的颱風進行真時 (real time) 的預報；預報計有大西洋 60 個個案和東太平洋 158 個個案。其 1994 年颱風季預報的路徑結果顯示，不論是對大西洋或是東太平洋的颶風，GFDL 颱風預報模式都有相當好的預報結果 (Kurihara et al. 1995)。Wu (1994) 也對 1994 年西北太平洋 5 個侵台颱風做 18 個個案之預報，結果亦顯示此模式具有有相當好之預報能力。

GFDL 的颱風預報模式，已在 1994 年的颱風季節，在 NMC 的 Cray C-90 電腦上測試，並在 1995 年時正式成為 NMC 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。本研究即透過網路，利用 NMC 的 Cray C-90 電腦，於 1995 年颱風季節針對西北太平洋地區颱風做真時預報。以每日 12 UTC 之預報為例，GFDL 颱風模式之預報可以在約可在 18 UTC 時完成 (即在 NMC 全球模式完成後一小時)。

四、結果分析

1995 年颱風季節，我們自 7 月中旬至 11 月初對西北太平洋 16 個颱風做 124 個案的實時預報，同時並將結果傳真至中央氣象局。預報結果除和 CLIPER、中央氣象局之 TFS 和 EBM (Equivalent

Barotropic Model) 等模式，及與 GUAM (即 GTWC，位於 GUAM 的 Tropical Cyclone Warning Center) 和中央氣象局的官方預報做比較外，也與 NMC 的 AVN (AViation 模式) 和美國海軍 NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Predication System) 的颱風預報模式結果作 homogeneous 的比較。附帶要提的是，雖然 GFDL 颱風模式執行的是 72 小時的預報，但因中央氣象局之模式僅預報 48 小時，因此在與中央氣象局模式做比較時，我們僅比較到 48 小時。

在路徑預報方面，GFDL 颱風模式在所有 124 個個案中，對 12、24、36、48 及 72 小時的各個預報時間之平均路徑預報誤差分別為 95、146、193、250 及 468 公里。若將 GFDL 與 TFS、EBM、CLIPER 等颱風模式及中央氣象局的官方預報做所有個案 (但非 homogeneous) 的比較結果顯示 (如圖 1)，在前 12 小時各模式及官方預報 (簡稱 CWB) 的路徑誤差都很接近，但在 24 小時以後，GFDL 的路徑誤差便明顯地小於其它預報結果，此差異並隨時間增加而變大。圖 2 為各模式及官方預報相對於 CLIPER 之預報能力的比較 (其中負值表示較 CLIPER 之預報為佳；即顯示有預報技術)。圖中顯示只有 GFDL 模式及中央氣象局的官方預報表現出預報技術 (優於 CLIPER)，而 GFDL 模式相較於 CLIPER 之預報技術比中央氣象局的官方預報超過 30%。

如果對上例做 homogeneous 的比較 (如表 1、及圖 3 和 4)，我們仍發現類似的結果。其中圖 3 顯示 TFS、EBM 的路徑誤差劣於 CLIPER，而 GFDL 的路徑預報則優於 CLIPER 及中央氣象局官方的路徑預報。GFDL 在 12、24、36 及 48 小時的各個預報時間之平均路徑預報誤差分別為 90、144、183 及 241 公里，相較於 TFS，其誤差改進達 14%、30%、42 及 43%；若相較於 CWB (CLIPER) 的 24 及 48 小時的預報，GFDL 模式的誤差改進則分別為 25 (23)% 和 31 (34)%。而 GFDL 路徑預報誤差之標準差亦遠較其它預報低，此結果亦顯示 GFDL 模式預報之較具穩定性。

	12Hr	24Hr	36Hr	48Hr
TFS	105(62)Km	207(122)Km	314(183)Km	423(231)Km
EBM	124(77)Km	258(138)Km	393(202)Km	522(253)Km
GFDL	90(57)Km	144(84)Km	183(117)Km	241(160)Km
CLIPER		187Km		367Km
CWB		193Km		350Km
Case Numbers	102	101	93	82

表 1：1995 年颱風季節，GFDL 和 CLIPER、TFS 和 EBM 等颱風模式及 CWB 的官方預報對西北太平洋颱風預報 homogeneous 的 24、36、48 和 72 小時預報路徑誤差平均及標準差（括號內數字）比較

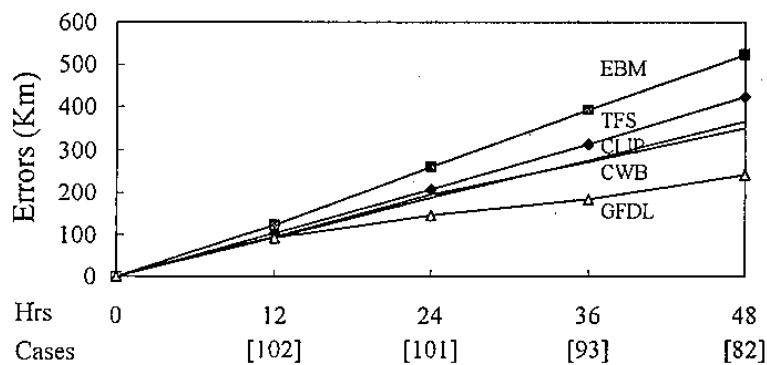


圖 3：1995 年颱風季節，GFDL、CLIPER、TFS、EBM 等颱風模式及 CWB 的官方預報對西北太平洋颱風 homogeneous 個案之預報路徑誤差比較。

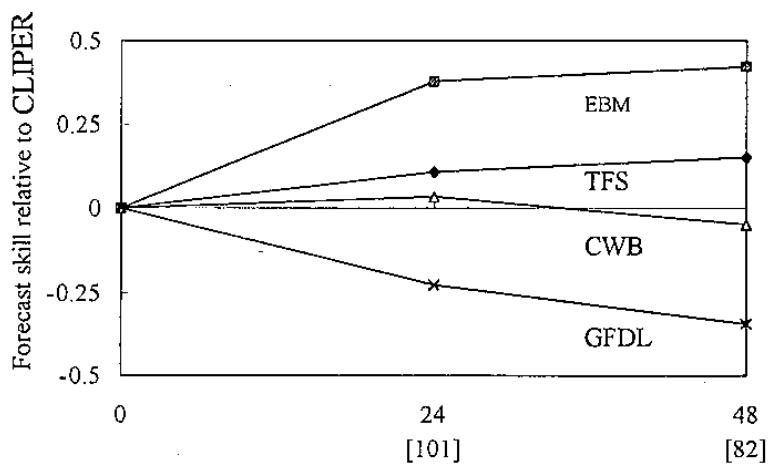


圖 4：1995 年颱風季節，GFDL、TFS、EBM 颱風模式及 CWB 的官方預報對西北太平洋颱風 homogeneous 個案的預報路徑誤差相對於 CLIPER 之預報能力比較。

另外由 GFDL、TFS、EBM 和中央氣象局官方的路徑預報相對於 CLIPER 做預報技術的比較（如圖 4）結果顯示，TFS 和 EBM 颱風模式相對於 CLIPER 並沒有預報技術，中央氣象局的官方預報則略優於 CLIPER，而 GFDL 颱風模式則勝過 CLIPER 達 30 %。

我們亦針對 TFS、EBM 及 GFDL 之所有個案的路徑誤差及標準差做比較（圖 5 a,b,c）。結果顯示，隨時間增加，GFDL 模式在路徑誤差除遠小於 TFS 及 EBM 兩個颱風模式的路徑誤差外，GFDL 模式的路徑誤差之標準差亦較 TFS 及 EBM 兩個颱風模式小。如果對 TFS、EBM 及 GFDL 的所有個案做 homogeneous 的路徑誤差和標準差比較（圖 6 a,b,c），結果亦和圖 5 相似。這再次顯示 GFDL 預報的路徑預報優於 TFS 及 EBM。此結果亦說明，

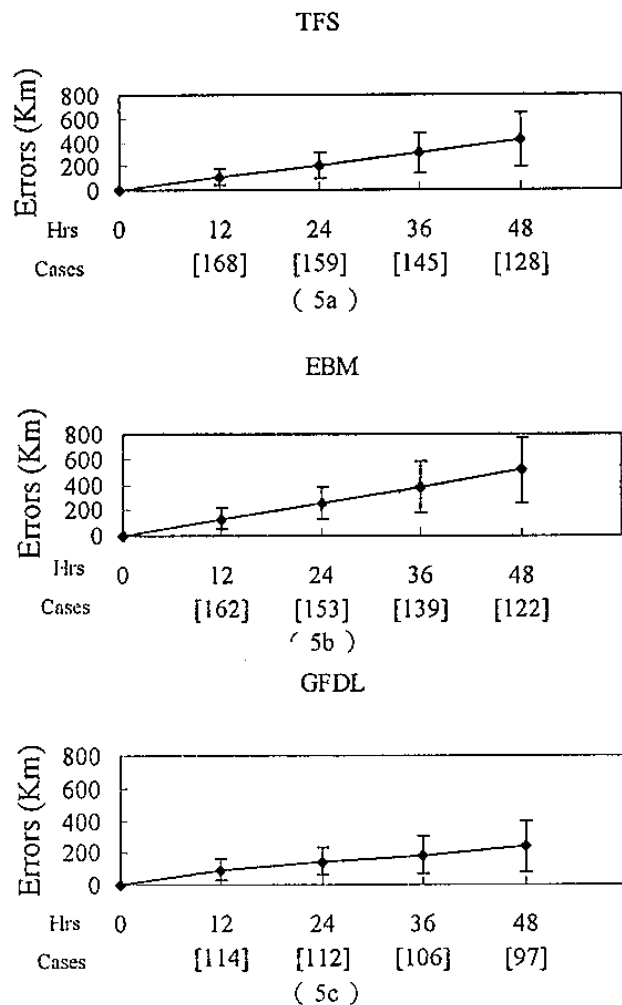


圖 5：1995 年颱風季節，（a）TFS、（b）EBM 及（c）GFDL 等颱風模式對西北太平洋颱風預報 inhomogeneous 個案的預報路徑誤差平均及標準差。（個案數目顯示在橫軸的預報時間下方之括號內）。

相對於 TFS 及 EBM 兩個颱風模式，GFDL 模式預報除較具準確性外，亦較具穩定性。

若僅針對 Gray，Helen，Janis，Kent 和 Rayn 5 個對台灣影響較大，有發布警報的颱風，將 GFDL 與 TFS 颱風模式和 CLIPER 做 homogeneous 的比較（如圖 7），其比較結果可看出 TFS 的路徑誤差與 CLIPER 相當，而 GFDL 的路徑預報則遠優於 CLIPER 及 TFS 的路徑預報。另外，我們亦將 GFDL、TFS 的路徑預報相對於 CLIPER 做預報技術的比較（如圖 8）。結果顯示在這 5 個個案的比較中，TFS 颱風模式相對於 CLIPER 並未顯示預報技術，而 GFDL 颱風模式則在 24 及 48 小時之預報分別優於 CLIPER 達 32 % 及 54 %。

圖 9 為 GFDL 與 NOGAPS、AVN（NMC 的 AViation 模式），中央氣象局 TFS 颱風模式及 GUAM 的官方預報做 homogeneous 的路徑誤差比較。這個比較結果顯示 GFDL 的路徑誤差在各預報時間均小於其它颱風模式及官方預報，而其差別尤其在預報末期更顯著。另外，針對 GFDL 的預報結果和美國海軍 NOGAPS 的預報做 homogeneous 的比較，其路徑誤差結果如表 2。對這些預報結果在統計上做分析比較，GFDL 在 24、36、48 和 72 小時的各個預報時間，其路徑預報優於 NOGAPS 之比例佔總個案之 63 %，66 %，68 % 及 63 %。在 95 % 的信心下，統計檢定亦顯示 GFDL 在 24、36、48 和 72 小時的各個預報時間，其路徑預報均較 NOGAPS 為優。

雖然現有的其它颱風數值模式並無強度預報之能力，而強度預報也是以模式預報颱風中較困難的部份，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。因此我們亦將 GFDL 和 GUAM 的官方強度預報結果做比較（圖 10）。結果顯示 GFDL 在強度上的誤差在預報初期（12 小時）即已存在，平均約為 20 Knots。但至預報結束前，其預報的強度誤差並沒有隨時間明顯增加；而 GUAM 的強度誤差卻隨時間做一近似線性的成長，以致到預報結束時，其誤差已和 GFDL 的誤差相當。此結果顯示 GFDL 對颱風

風強度預報的能力仍屬有限，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。

五、討論

1995 年所預報的颱風路徑結果中，GFDL 的預報誤差相較於 CLIPER、中央氣象局 TFS 等模式的路徑誤差約減少 35%，且 GFDL 的颱風路徑預報誤差也遠低於關島和台灣的官方預報，其改進超過 30%。若針對 GFDL 和中央氣象局 TFS 模式之比較（圖 11 及 12），可看出在 24 和 48 小時的預報中，GFDL 路徑預報優於 TFS 之比例分別佔總個案之 69% 及 81%。這些結果顯示 GFDL 的預報結果之優於 TFS 並非只是由於某些特定較好的個案預報所造成。統計檢定亦顯示，在 95% 的信心下，GFDL 在 24、36 及 48 小時的各個預報時間，其路徑預報均較 TFS 為優。

在此 16 個颱風預報個案中，我們亦針對 Faye 和 Rayn 兩個颱風做細部的探討。所有 GFDL 颱風模式對於 Faye 颱風的路徑預報和觀測的最佳路徑比較（圖 13）顯示，Faye 颱風的路徑只有在最初期的預報中（預報 1，2，3，4）較不一致，且有偏北及提早轉向的趨勢，但之後對颱風的路徑有很好的掌握。就 Faye 颱風此個案所做 GFDL 和 NOGAPS 的路徑誤差比較，GFDL 約減少 55%，且在接近韓國南端時也準確地預報出 Faye 的加速和轉向，但 NOGAPS 則仍預報 Faye 會持續向西北西移動。綜合而言，GFDL 颱風模式對於 Faye 颱風的路徑預報是相當成功的。

另外，GFDL 颱風模式對於 Rayn 颱風之預報結果便較不如，這可能與南海的觀測資料較缺乏有關。在做 Rayn 颱風之預報時，正值 NMC 在測試新的客觀分析方法（加入衛星資料做資料同化），因而在 1995 年 9 月 18 日 1200 UTC 後有兩組（新/舊）初始場。比較此二個不同初始資料所獲得之預報結果（圖未展示），可看出使用新的分析方法的初始

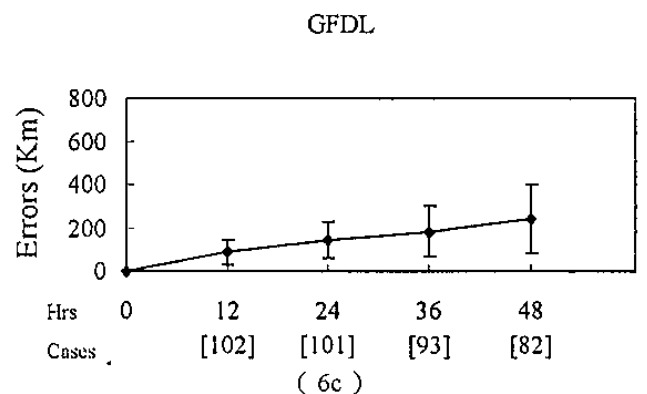
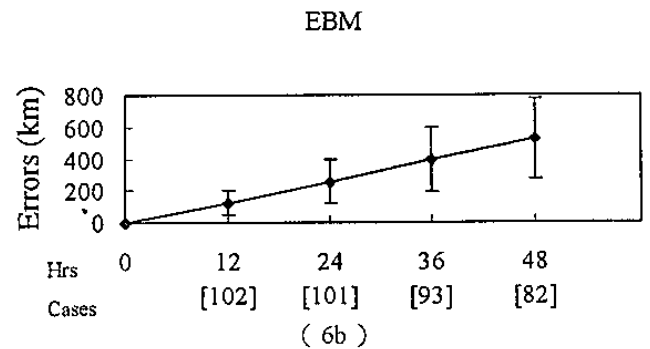
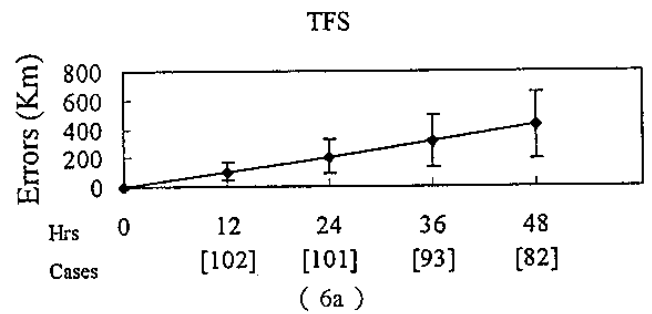


圖 6：1995 年颱風季節，(a) TFS、(b) EBM 及 (c) GFDL 等颱風模式對西北太平洋颱風預報 homogeneous 個案的預報路徑誤差平均及標準差。（個案數目顯示在橫軸的預報時間下方之括號內）。

場所得之颱風預報路徑在較初期的預報有顯著的改善；其可能原因是由於 Rayn 颱風在南海形成，而南海的觀測資料較為稀少，因此加入衛星資料做資料同化，可提供該處較好的環境分析場，這個結果非常值得將來做更深入的探討。

圖 14 為 GFDL 颱風模式對於 Rayn 颱風所有的路徑預報和最佳路徑的比較。由 Rayn 颱風在第 5，6，7 及 8 的預報中可看出，路徑預報結果逐漸向觀測的最佳路徑修改，這些路徑誤差雖在每 12 小

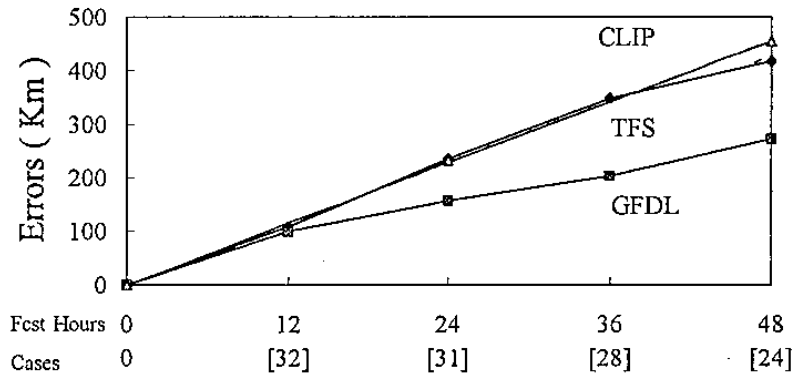


圖 7：1995 年颱風季節，GFDL、CLIPER 和 TFS 等颱風模式對 5 個接近台灣地區有發布警報的颱風個案（Gray，Helen，Janis，Kent 和 Rayn）做 homogeneous 的預報路徑誤差比較。（個案數目顯示在橫軸的預報時間下方之括號內）。

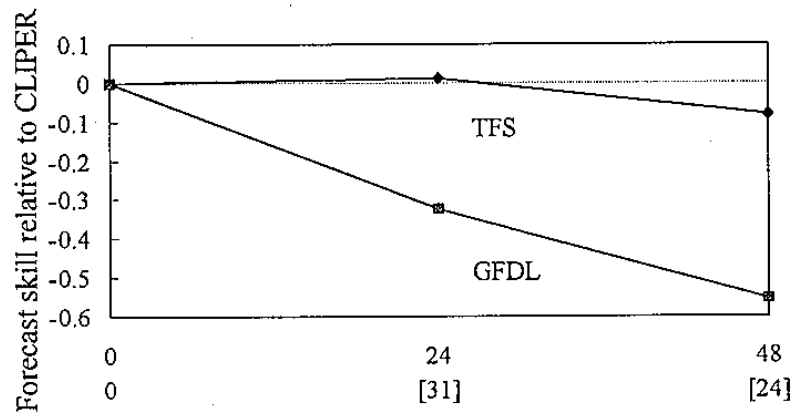


圖 8：1995 年颱風季節，GFDL、TFS 和 EBM 颱風模式及 CWB 的官方預報對 1995 年 5 個接近台灣地區有發布警報的颱風個案（Gray，Helen，Janis，Kent 和 Rayn）做 homogeneous 的路徑誤差相對於 CLIPER 的預報能力比較。（個案數目顯示在橫軸的預報時間下方之括號內）。

時 100 公里的誤差範圍內，但由於台灣面積狹小，無論颱風登陸不登陸，這些誤差已影響到台灣地區的民生經濟。Rayn 颱風這個個案正突顯現階段 GFDL 颱風預報模式之極限及未來仍需改進之必要性。

綜合而言，由圖 1、3、7 及 9 中可發現對較短時間的預報，各模式的預報結果相差不多，但隨時間的增加，GFDL 模式在路徑誤差上的改善則越顯著。這是由於颱風運動主要受環境流場的影響，在短時間的預報中，各模式對整個大環境的綜觀天氣都具一定的掌握能力，而隨時間的增長，模式對環境場的預報及本身的穩定性，都會影響預報的結果。GFDL 對較長時間的預報其路徑誤差遠小於其它預報，除顯示出此模式對整個環境場有不錯的掌

握外，更顯示出此模式在預報上的持續性和穩定性。另外，研究（Wu and Kurihara 1996）指出，颱風渦旋本身與環境環流之間亦有非線性之交互作用，並足以影響颱風之移動。由此觀點顯示，GFDL 颱風模式較佳之初使化及 bogusing 方法亦有助於其路徑預報。唯到底是何種原因（資料本身、模式之細節、或是兩者）造成 GFDL 颱風模式之預報結果顯然優於其他模式，乃是一項亟待研究的重要課題。如何做一個有代表性的颱風模式比較實驗（typhoon model intercomparisons），也是一個值得深思的問題。

又在此研究中，我們比較所有 GFDL 模式的預報結果發現，GFDL 的颱風預報之個案表現良否和此模式對大尺度環境流場模擬好壞有很大的關係，即 GFDL 模式對颱風預報較準確時，其對大尺

WESTERN PACIFIC TYPHOON PREDICTION (1995)

NUMBER OF CASES: (68,68,64,55)

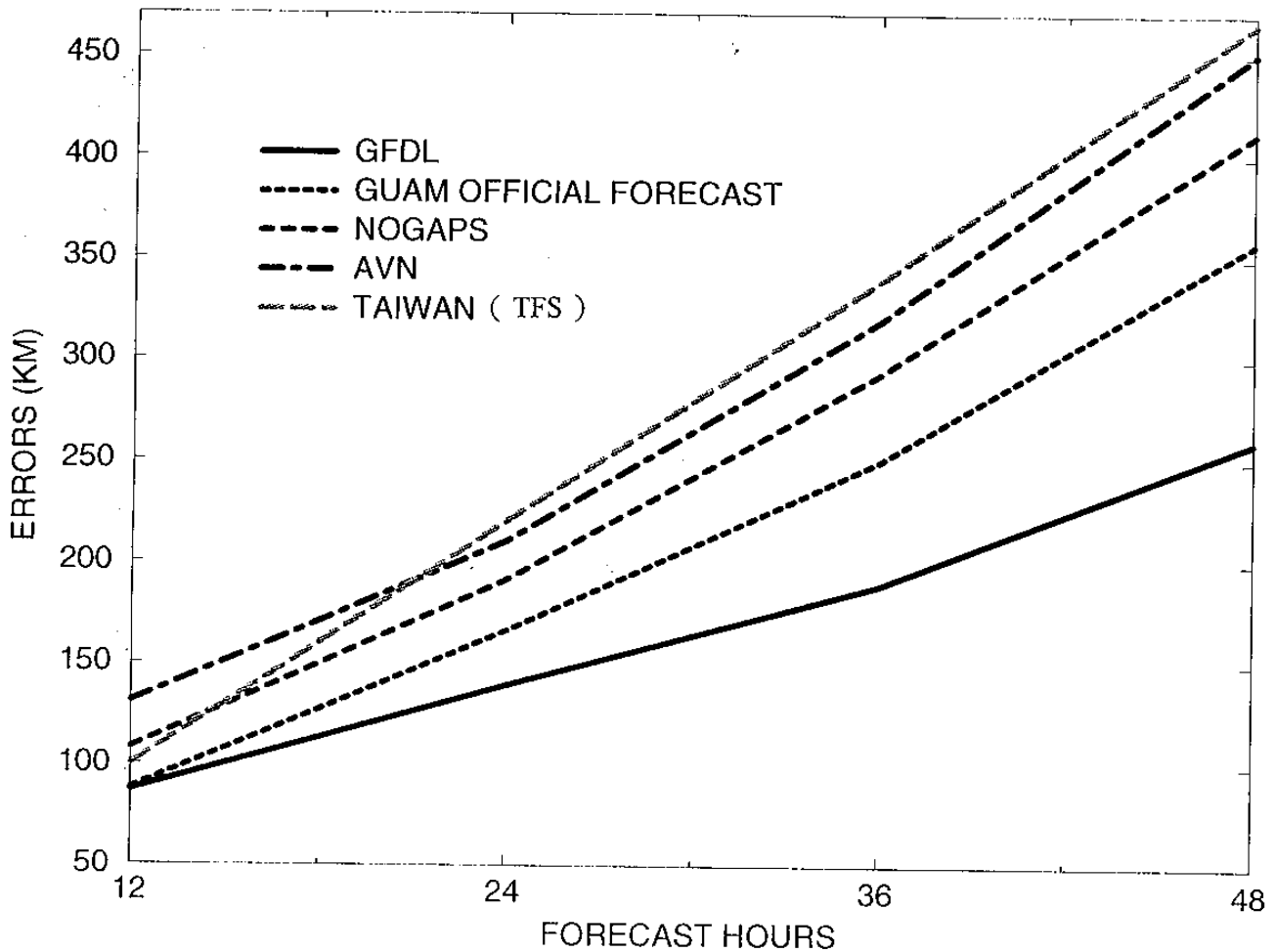


圖9：1995年颱風季節，GFDL、NOGAPS、AVN、TFS等颱風模式及GUAM的官方預報對西北太平洋颱風預報 homogeneous 個案的預報路徑誤差比較。

度的環境流場也有較好的表現。換句話說，GFDL模式對於較初期的預報或對於颱風形成位置較缺乏觀測資料之預報亦較無法掌握。由此顯示出若要提高颱風預報的能力，除對模式本身的改良外，更多的觀測資料以及更好的分析方法是必要的。

Fcst Hr	Case #	GFDL	NOGAPS
24小時	106	169 Km	219 Km
36小時	98	191 Km	279 Km
48小時	84	242 Km	384 Km
72小時	60	469 Km	629 Km

表2：1995年颱風季節，GFDL和NOGAPS颱風模式對西北太平洋颱風預報 homogeneous 的24、36、48和72小時預報路徑誤差比較。

六、結語

在1995年之颱風季節中，我們對西北太平洋22個颱風做122個案的真時GFDL颱風模式預報，並將這些預報結果提供給氣象局做其預報之參考。GFDL颱風模式的預報路徑的結果相較於CLIPER、中央氣象局的TFS和EBM、及美國的AVN與NOGAPS等模式的預報均較出色。其中GFDL模式對於西北太平洋的颱風的路徑誤差平均減少35%。另外GFDL的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%。由這些預報結果顯示，GFDL颱風預報模式對於西北太平洋的颱風路徑具有相當好的預報能力，在

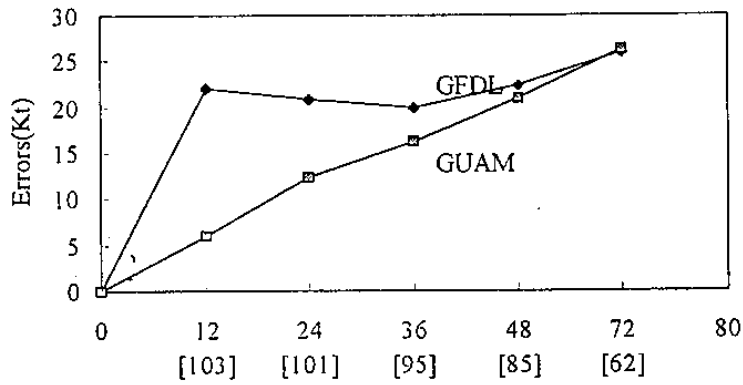


圖 10：1995 年颱風季節，GFDL 和 GUAM 的官方預報對西北太平洋颱風做 homogeneous 的強度預報誤差比較。(個案數目顯示在橫軸的預報時間下方之括號內)。

24h FORECAST ERRORS IN WEST PACIFIC (KM) 1995

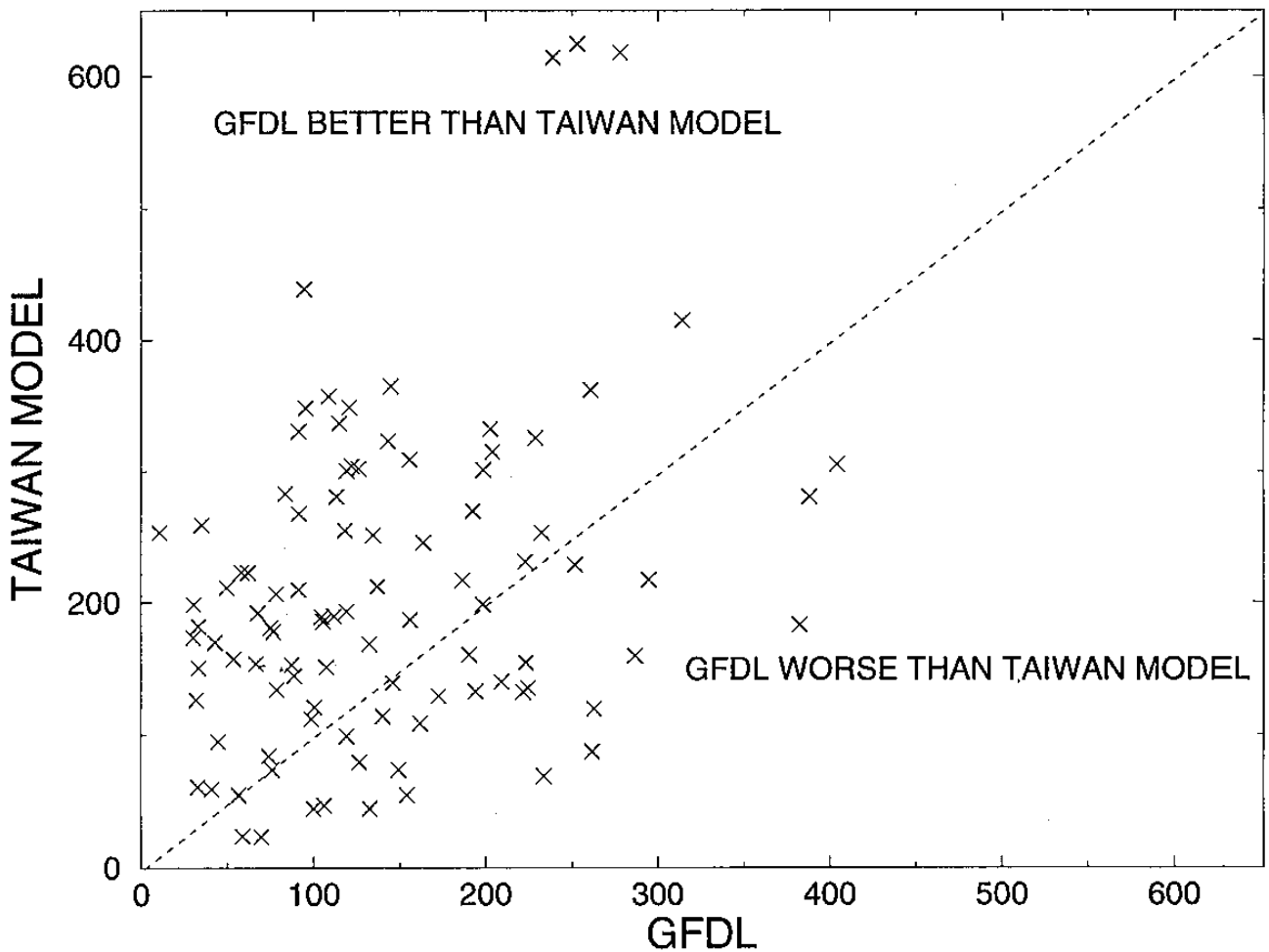


圖 11：1995 年颱風季節，西北太平洋 GFDL 和 TFS 颱風模式所有 24 小時路徑預報路徑誤差比較。虛線上方代表 GFDL 預報優於 TFS，下方則 TFS 預報優於 GFDL。

48h FORECAST ERRORS IN WEST PACIFIC (KM) 1995

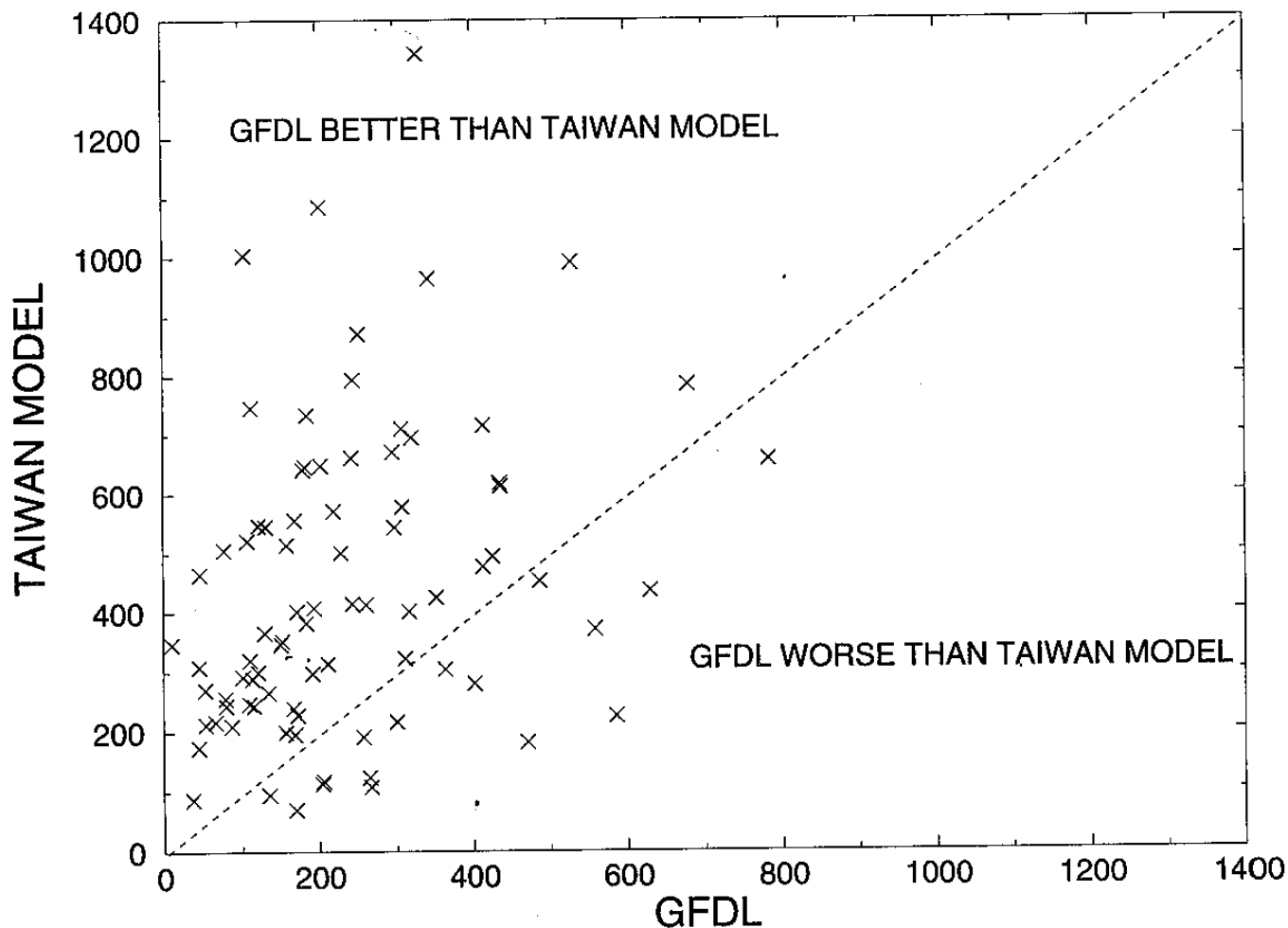


圖 12：1995 年颱風季節，西北太平洋 GFDL 和 TFS 颱風模式所有 48 小時路徑預報路徑誤差比較。虛線上方代表 GFDL 預報優於 TFS，下方則 TFS 預報優於 GFDL。

1995 年的實際颱風預報比較中，無任何其他模式能出其左右。

透過這樣的測試，我們更加肯定 GFDL 颱風模式用來預測西太平洋颱風路徑之能力。我們亦認為此模式預報結果對於臺灣地區颱風預報是具有參考價值。除了 GFDL 颱風模式的一些長處（如其多重巢狀可移動網格之設計及資料初使化與 bogusing 方法）可供本地現有颱風模式學習外，我們認為更多 GFDL 颱風模式之測試、以及針對此模式建立在臺灣之需要性及可行性做長遠的規畫是有必要的。

致謝

本文作者感謝中央氣象局謝信良局長的支持，GFDL 的 Dr. Yoshio Kurihara 和 Mr. Morris Bender 及 NMC 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 NMC 的 C90 上進行。作者亦感謝中央氣象局的陳得松先生與黃康寧小姐所提供的氣象局之預報資料，及台灣大學大氣科學系的卓瑜甄小姐在本文編輯上之熱心幫忙。本研究是在中央氣象局計畫 CWB-85-2M-07 支助下完成。

9507 18/00 HURRICANE FAYE (OBSERVED: 28)

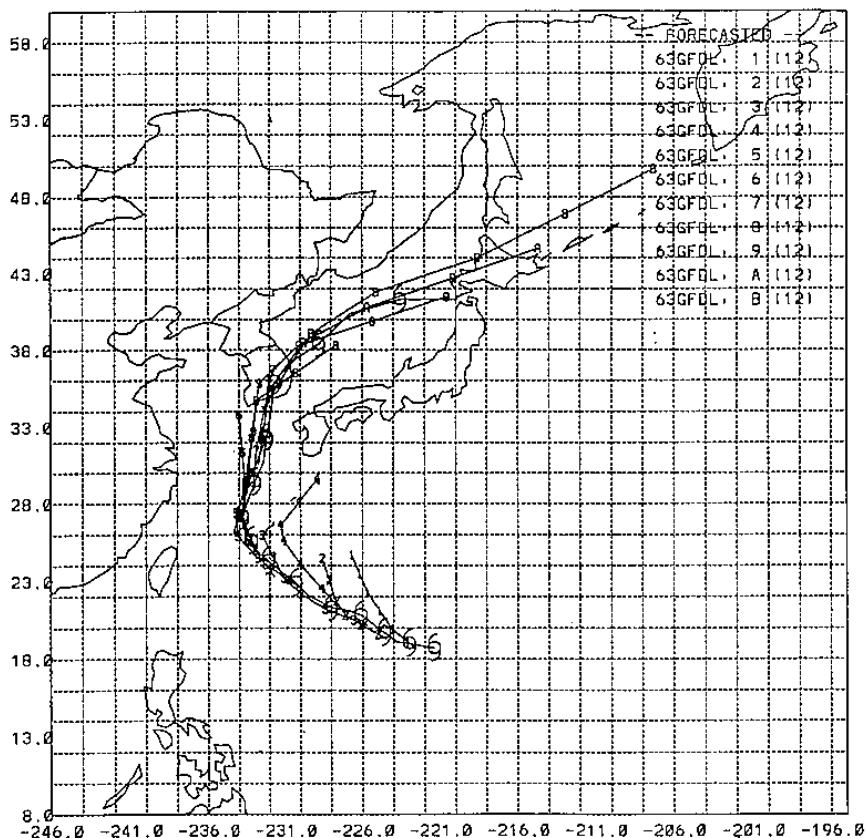


圖 13：1995 年 Faye 颱風從 7 月 18 日 00 UTC 至 7 月 23 日 00 UTC 的所有 GFDL 模式 72 小時路徑預報圖及觀測最佳路徑圖（以颱風符號代表，每 12 小時顯示一次）。1, 2, 3... 代表 GFDL 模式預報的時間順序。

9509 17/00 HURRICANE RYAN (OBSERVED: 31)

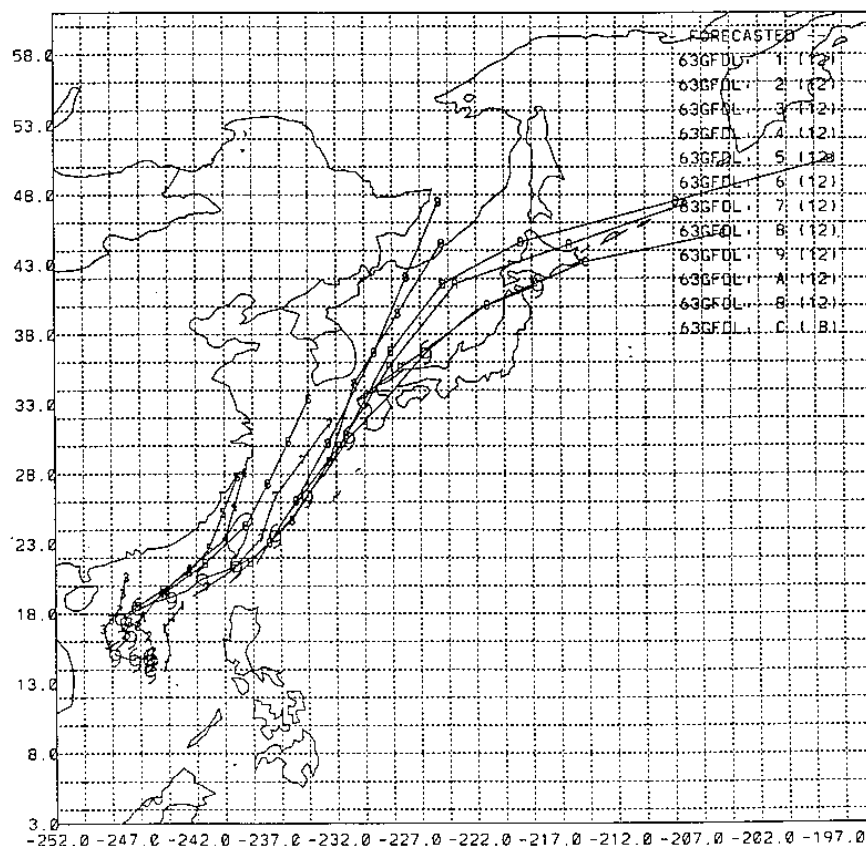


圖 14：1995 年 Rayn 颱風從 9 月 17 日 00 UTC 至 9 月 22 日 12 UTC 的所有 GFDL 模式 72 小時路徑預報圖及觀測最佳路徑圖（以颱風符號代表，每 12 小時顯示一次）。1, 2, 3... 代表 GFDL 模式預報的時間順序。

參考文獻

- 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 Conference 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, R. E. Tuleya, and R. J. Ross, 1990: Prediction experiments of Hurricane Gloria (1985) using a multiply nested moveable mesh model. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 2185-2198.
- _____, M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2030-2045.
- _____, _____, and R. E. Tuleya, 1995: Performance evaluation of the GFDL hurricane prediction system in the 1994 hurricane season. *21st Conf. on Hurricanes*, 41-43.
- _____, _____, _____, 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.
- _____, 1994 : Tropical storm development and decay: Sensitivity to surface boundary conditions. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 291-304
- Wu, C.-C., 1994: Typhoon prediction using GFDL hurricane model. Proc., Conference on Weather Analysis and forecasting. Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan. 67.
- _____, and Y. Kurihara, 1996: A numerical study of the feedback mechanisms of hurricane-environment interaction on hurricane movement from the potential vorticity perspective. Accepted for publication in *J. Atmos. Sci.*