

中央氣象局颱風路徑預報模式之預報檢討及近況

陳得松 黃康寧 葉天降

彭順台

中央氣象局

美國海軍研究院

摘要

中央氣象局颱風路徑預報模式(TFS)自 1997 年改進虛擬颱風渦旋結構初始化處理後，預報路徑之準確度有相當明顯改善。本文即針對中央氣象局颱風路徑預報模式，整理與校驗其 2000 年颱風季及 2001 年 5 月至 10 月間發生於西北太平洋及南海上的颱風正式作業之預測結果，與發展測試高解析度颱風路徑預報模式等相關研究。

在預測校驗分析方面，結果顯示中央氣象局颱風路徑預報模式對 2000、2001 年颱風季之 24/48/72 小時預測，和 CLIPER 比較顯示其有預測技術，而距離預測誤差為 148/306/520 公里、152/301/501 公里。由各個案誤差分析顯示，模式預測誤差主要為模式預測颱風之路徑有轉彎過慢、颱風匯入西風帶時移速過慢與偏北誤差、以及對發生於南海地區與強度較弱之颱風預測誤差較大等問題。

在進行提高中央氣象局颱風路徑預報模式水平解析度方面之研究，是同時發展粗/細網格為 45/15 公里之巢狀網格颱風路徑預報模式，與網格為 20 公里之單層颱風路徑預報模式，並由 1997 與 1998 兩年颱風中選取個案，經模式模擬與誤差分析比較兩者之優劣。結果顯示，巢狀網格颱風路徑預報模式在預報準確度及所需電腦資源方面，優於水平網格解析度為 20 公里之颱風路徑預報模式，似為中央氣象局發展高解析度颱風路徑預報模式之較佳選擇。而為進一步提昇模式之預測與計算速度，我們也引用動力初始化與納進法以改善模式初始場。此外，我們亦針對 1999 年 Sam 颱風進行增加輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試。結果證明，TFS 之預報路徑對初始場非常敏感，使用 NCEP 觀測資料組及 SSI 分析法可降低 TFS 路徑預報誤差，模式引進輻射值資料(radiance data)對路徑預報有正面效應。

一、前言

在氣象防颱方面，首在於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。以中央氣象局主觀預報而言，其 24 小時之平均預報誤差約為 178 公里(葉等 1998)，和颱風統計路徑預報法如 CLIPER 與 HURRAN 之預報誤差相近，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。

由於模式改進及電腦資源擴充，在兼顧作業時效及預報正確性的前提下，嚐試將中央氣象局颱風路徑預報模式之預報時程由 2 天延長至 3 天、以及處理多颱風同時植入的問題。經模擬、分析及評估後，於 1999 年將同時植入多颱風的處理技術與延長預報時程至 72 小時的功能正式擴充到中央氣象局之颱風路徑預報系統(TFS)中，落實於作業應用。

Bender(2000)指出不同全球模式之初始分析場，對區域模式之颱風路徑預報常產生極大差異；Aberson & Franklin(1998)也提到非傳統觀測資料如

投落送(dropsondes)資料對模式之颱風路徑預報常有正面助益。因此改變中央氣象局颱風路徑預報模式(TFS)之初始分析場對 TFS 預報結果之影響，也是我們的研究重點。

本文之目的主要包括整理、校驗 2000 年颱風季及 2001 年 5 月至 10 月間發生於西北太平洋上的颱風 TFS 模式作業預測之結果，與發展測試高解析度颱風路徑預報模式及應用輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試等三部份。於後第二節說明使用之模式與個案之選取，第三節是結果與討論，最後一節則是結論。

二、預報模式與個案選取

本文所使用之颱風路徑預報模式(Typhoon track Forecast System，簡稱 TFS)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預報模式，此模式目前所使用之物理參數化方法及虛擬颱風渦旋結構初始化之做法詳見葉(1999)。至於 TFS 模式所需要之初始場及側邊界值來自於中央氣象局全球波譜預報模式(GFS)之分析場及預報場，此外，TFS 模式為得較好之預報，加入了類似 DeMaria(1987)的修正法及不同權重之垂直渦旋結構

之兩種選項，並將預報時程從二天延長至三天(黃等 2000)。

在整理與校驗模式作業預測結果方面，研究進行的主要方式為針對 2000 年颱風季及 2001 年 5 月至 10 月間發生於西北太平洋上的颱風，選取其中生命期超過一天的颱風，校驗分析颱風路徑預報模式對其的颱風預測路徑。

在模式空間解析度方面，除正式作業模式的水平網隔間距設為 45 公里外，中央氣象局於 1999 年引進富士通(Fujitsu)VPP5000 型超級電腦，其運算速度及記憶體容量皆優於原有電腦，因此 TFS 另外設計測試水平網隔解析度為 20 公里之模式版本以及含粗/細網格隔距分別為 45/15 公里之巢狀網格模式版本，並由此對歷史個案做模擬預報，比較兩種版本所需運算時間、記憶體空間及預測結果，以提供中央氣象局發展高解析度颱風路徑預報模式之參考。另外，嘗試在虛擬颱風渦旋初始化過程中加入動力初始化(dynamic initialization)及納進(nudging)法，以得到結構較佳且與環境場達成動力與物理平衡之虛擬颱風渦旋，並以巢狀網格模式做為預報模式。以上版本均對 1997 年賀伯(Herb)颱風、1998 年瑞伯(Zeb)颱風及芭比絲(Babs)等三颱風共 15 個個案做測試。

而對 1999 年 8 月 Sam 颱風，TFS 之預報有明顯之偏北誤差，此模式在 8 月 19 日 12UTC、20 日 00UTC 之 48/72 小時路徑誤差分別達到 431/1024 及 615/1174 公里，我們亦針對 Sam 颱風進行增加輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試。在正式作業中，TFS 擁有自己的客觀分析流程，其初始場乃內差自中央氣象局全球預報模式(GFS, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$)，並在此初始場颱風所在區域植入虛擬渦旋，GFS 與 TFS 之客觀分析皆屬最佳內差客觀分析法(Optimal Interpolation scheme)，一些已證明對模式預報有正面助益(Deber & Wu 1998)之非傳統觀測資料如輻射觀測資料(radiance data)皆未引進於 GFS 與 TFS 兩模式中。為研究不同初始場對 TFS 路徑預報之影響，我們在氣象局 GFS 中採用 NCEP 之觀測資料及 Spectral Statistical-interpolation Analysis System (簡稱 SSI, Parrish and Derber 1992)，為進行此模擬，GFS 由氣象局儲存之 16 日 06UTC 初始場，開始 6 小時 update cycle 預報至 19 日 12UTC，其間並以 NCEP SSI 取代 OI 分析法。NCEP 與氣象局所儲存觀測資料，在傳統觀測資料方面是相似的，但 NCEP 資料組包含了更多非傳統觀測資料，如衛星觀測資料 SATOB、SSM/I 及輻射觀測資料(radiance data)；舉例來說，圖 1 為 19 日 12UTC SSI 分析中所使用之輻射觀測資料(radiance data)於東亞及西北太平洋之分佈情形，雖然陸地上之輻射觀測資料(radiance data)垂直層數不多，但在無傳統觀測站分佈之洋面上，輻射觀測資料(radiance data)數量可觀且垂直層數頗多。表一為三組所進行之模擬測試，CWBO 與 TFS 作業版相同，NCEPO

及 NOR 皆採用 NCEP 觀測資料組及 SSI 分析法，但 NOR 中未含輻射觀測資料(radiance data)。

三、結果分析與討論

校驗 2000 年颱風季及 2001 年 5 月至 10 月間發生於西北太平洋上的颱風 TFS 模式作業預測之結果，校驗 2000 年 TFS 模式作業預測之結果顯示，中央氣象局颱風路徑預報模式(TFS) 對 2000 年中的 21 個颱風、2001 年 5 月至 10 月的 20 個颱風所做的颱風路徑預報，其距離預報誤差分別為 148/306/520 公里(見圖 2)、152/301/501 公里(見圖 3)，較統計預報方法 CLIPER 預測(189/408/597 公里、156/345/564 公里)為優，分別約優 22/25/13 %、3/15/13%，顯現預測技術。而 TFS 的預測結果，其第三天的預測誤差增幅有比第二天的誤差增幅增大的現象。分析路徑預測偏差則顯示，TFS 有明顯偏北誤差，且偏差值隨預報時間增長而加大。在不同區域之分佈上，颱風在較低緯度向西或西北行進時，TFS 對此一類型颱風的預報路徑有提早北偏之情形，而當颱風移入南海繼續往西或西北進入中國大陸時，TFS 的預報路徑仍過早偏北。至於轉向匯入西風帶的颱風，TFS 則有轉彎過慢及轉向後移速偏慢的情形。對於轉彎過慢及偏北誤差之個案，誤差產生的主要原因可能是 TFS 對颱風的結構及強度掌握不足，以致與北方槽脊系統間之交互作用過弱，無法引導颱風快速移動。除此之外，初始場資料的正確與否亦對 TFS 的預測誤差有很大影響。

自 1994 年 TFS 正式作業以來，經校驗分析，TFS 比較不易掌握較弱颱風的動向。由以上推測，TFS 2000 年、2001 年發生在西北太平洋上的颱風之颱風路徑預測平均距離誤差數值較前幾年稍大，但相對於統計方法 CLIPER 仍顯現出預報技術，其表現亦不遜於中央氣象局主觀預報(CWB)，因此這年的颱風中或存在著客觀模式及主觀預報皆不易掌握的特性。

在高解析度颱風預報模式方面，我們同時發展與測試水平網格解析度為 20 公里之颱風路徑預報模式及粗/細網格間距為 45/15 公里之巢狀網格颱風路徑預報模式，並對 1997 年賀伯(Herb)颱風、1998 年瑞伯(Zeb)颱風及芭比絲(Babs)等三颱風共 15 個個案做測試，測試結果顯示，水平網格解析度 20 公里之颱風路徑預報模式其 24、48 與 72 小時平均預測誤差為 87、189 與 319 公里，巢狀網格颱風路徑預報模式中粗及細網格模式之 24、48、與 72 小時平均預測誤差則各為 96、176、與 299 公里及 97、182、與 277 公里(見圖 4)。在 15 個個案測試中，12、24 小時預測以解析度 20 公里之颱風路徑預報模式之預測誤差稍小，但 36 至 72 小時預測則以巢狀網格颱風路徑預報模式之誤差稍小，但皆相近。我們進一步比較兩種模式所須運算時間及記憶體空間後發現，巢狀網格颱風路徑預報模式較解析度 20 公里之颱風路徑預報模式在電腦資源的使用上節省很多。綜合比

較上述兩種版本結果，巢狀網格颱風路徑預測模式似為中央氣象局發展高解析度颱風路徑預測模式之較佳選擇。

此外我們嘗試在虛擬颱風渦旋初始化過程中加入動力初始化(dynamic initialization)及納進(nudging)法,以得到結構較佳且與環境場達成動力與物理平衡之虛擬颱風渦旋,並對前述 15 個案做模擬測試,引進此初始化過程後之巢狀網格颱風模式,其粗及細網格模式之 24、48、與 72 小時平均預測誤差各為 112、151、與 220 公里及 105、150、與 263 公里,與未採用此初始化過程之巢狀網格颱風模式比較,除前 24 小時預測稍差外,36 至 72 小時預測則明顯改進(見圖 5)。而在颱風強度維持方面,引進此初始化過程後之巢狀網格颱風模式在預測過程中並未採用人工加熱法,颱風模式對 1997 年 10 月 13 日 12UTC 瑞伯(Zeb)颱風應用原有初始化過程及此初始化過程之巢狀網格颱風細網格模式海平面氣壓預報場,測試顯示其 00、24、48、72 小時海平面氣壓預報場各為 967/959、999/963、1000/987、999/981hpa,顯然採用新初始化過程之巢狀網格颱風模式對颱風強度維持方面有較佳之能力。

至於增加輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試,我們對 Sam 颱風期間 19 日 12UTC、20 日 00UTC 及 21 日 00UTC(圖 6)做路徑模擬,如圖 6a 所示,19 日 12UTC 之模擬結果,TFS 路徑預報對不同觀測資料組頗敏感,CWBO 組之 TFS 路徑預報在 24 小時後有明顯偏北誤差,模擬之颱風由台灣西邊沿東經 120 度北上,48/72 小時距離誤差為 431/1024 公里,對 NCEPO 組模擬結果,雖然模式仍無法正確預報颱風將於香港附近登陸,但 48/72 小時距離誤差可減為 349/744 公里。對此個案,NOGAPS、GFDL 及 JWA 區域模式也同樣呈現出偏北預報誤差現象。為釐清輻射值資料(radiance data)對模式預報之效應,除了不含輻射值資料(radiance data)外,NOR 組模擬之其餘條件皆與 NCEPO 組相同,由圖 6a 顯示,NOR 組模擬之預報路徑與 CWBO 組之 TFS 路徑預報相似,此結果表示,引進輻射值資料(radiance data)對 TFS 就 19 日 12UTC Sam 颱風之預報路徑非常重要。對 20 日 00UTC 之個案,圖 6b 顯示 CWBO 組之 TFS 路徑預報與圖 6a 相似,同樣於 12 小時後沿東經 120 度北上,其 48/72 小時距離誤差為 615/1174 公里,在使用 NCEP 觀測資料組及 SSI 分析法後,NCEPO 組模擬之 TFS 路徑預報誤差明顯減少,雖然模式仍無法避免 36 小時極大偏北預報誤差,但在 36 小時前之預報路徑則掌握得不錯,NCEPO 組之 TFS 路徑預報誤差為 300/675 公里;另一方面,不含輻射值資料(radiance data)之 NOR 組模擬,TFS 之路徑預報與 NCEPO 組模擬相近,但引進輻射值資料(radiance data)之 NCEPO 組模擬 TFS 路徑預報仍較 NOR 組模擬稍好。對 21 日 00UTC 之個案,圖 6c 顯示使用 CWB 或 NCEP 觀測資料組對 TFS 路徑預報所造成之差異不大,CWBO 組模擬中,TFS

由於預報轉北過快而產生極大偏北誤差之現象已緩和許多,其 48 小時距離誤差為 534 公里,NCEPO 組之 TFS 路徑預報仍較 CWBO 組稍好,其 48 小時距離誤差為 371 公里,而不含輻射值資料(radiance data)之 NOR 組模擬,TFS 之路徑預報又與 NCEPO 組模擬相近,此結果再次證明,TFS 之預報路徑對初始場非常敏感,使用 NCEP 觀測資料組及 SSI 分析法可降低 TFS 路徑預報誤差,模式引進輻射值資料(radiance data)對路徑預報有正面效應。

四、結語

本文之目的主要包括整理、校驗 2000 年颱風季及 2001 年 5 月至 10 月間發生於西北太平洋上的颱風 TFS 模式作業預測之結果,與發展測試高解析度颱風路徑預報模式及應用輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試等三部份。

在 TFS 模式作業預測之結果校驗分析方面,中央氣象局颱風路徑預報模式在 2000、2001 年颱風季之 24/48/72 小時誤差分別為 148/306/520、152/301/501 公里,預測誤差皆較統計預報方法 CLIPER(189/408/597 公里、156/345/564 公里)為小。綜合而言,TFS 颱風路徑預測相對於 CLIPER 而言有預測技術,唯第三天的預測,其預測誤差增幅有比第二天的誤差增幅增大的現象,值得針對模式中影響較大尺度環境運動方面做改進。而由預測誤差之分析,可得到颱風路徑預報模式有預測颱風轉彎過慢、匯入西風帶時移速過慢與偏北誤差及對發生於南海地區與強度較弱之颱風預測誤差較大等問題。而在預測誤差上,似乎也有一致性,當一預測誤差大時,往往連續預測之誤差也大,因此若能設法分辨何時模式預測結果較可信,捨棄較不可信之預測,則更能發揮模式預測之參考價值。

在提高中央氣象局颱風路徑預報模式之水平解析度測試方面,我們同時發展測試水平網格解析度為 20 公里之颱風路徑預報模式及粗與細網格間距分別為 45 與 15 公里之巢狀網格颱風路徑預報模式,並對 1997 與 1998 兩年 3 個颱風共 15 個案做測試,結果顯示前 24 小時颱風路徑預測以解析度 20 公里之颱風路徑預報模式之誤差稍小,但隨後 36 至 72 小時預測則以巢狀網格颱風路徑預報模式較佳。我們進一步比較兩種模式所須運算時間及記憶體空間後發現,巢狀網格颱風路徑預報模式較解析度 20 公里之颱風路徑預報模式節省較多電腦資源,唯在平行化處理方面則以單一網格模式較簡單。綜合比較上述兩種版本高解析度颱風路徑預報模式之預測誤差及所需電腦資源,我們認為如果平行化處理能力已建立,則巢狀網格颱風路徑預報模式似為中央氣象局發展高解析度颱風路徑預報模式之較佳選擇。

在改進虛擬渦旋初始化處理程序方面,本年度之研究主要引進動力初始化(dynamic initialization)及納進(nudging)法,以得到結構較佳且與環境場達成動

力與物理平衡之虛擬颱風渦旋。同樣以上述 15 個案做測試，採用新初始化過程後之巢狀網格颱風模式預測與未採用新初始化過程之巢狀網格颱風模式預測比較，除前 24 小時預測誤差稍大外，36 至 72 小時預測則誤差有所改進。同時引用此新初始化過程後之巢狀網格颱風模式在預測過程也較能維持颱風強度，值得進一步以更多個案做模擬比較研究以得到較完整之資訊，供引進於作業應用之依據。

至於增加輻射觀測資料(radiance data)對預報影響之模擬測試，我們對 Sam 颱風期間 19 日 12UTC、20 日 00UTC 及 21 日 00UTC 做路徑模擬，結果證明，TFS 之預報路徑對初始場非常敏感，使用 NCEP 觀測資料組及 SSI 分析法可降低 TFS 路徑預報誤差，模式引進輻射值資料(radiance data)對路徑預報有正面效應。

參考文獻

- 葉天降，1999：中央氣象局颱風數值預報模式誤差分析與其改善之研究(I)。國科會研究報告 NSC88-2625-Z-052-010，27 頁。
- 黃康寧、陳得松、葉天降與彭順台，2000：1999 年中央氣象局颱風路徑數值預報模式之表現與檢討。89 年天氣分析與預報研討會論文集編，394-399。
- DeMaria, M., 1987: Tropical cyclone track prediction with a barotropical spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2346-2357.
- Aberson, S. D., and J. L. Franklin, 1999: Impact on hurricane track and intensity forecasts of GPS dropwindsonde observations from the first-season flights of the NOAA Gulfstream-IV jet aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 421-427..
- Bender, M. A., J. Heming, R. Stocker, 2000: Comparison of the performance of the GFDL hurricane model, using the AVN, UKMET and NOGAPS analysis. Preprints of the 24th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Amer. Meteor. Soc., Fort Lauderdale, 392-393.
- Derber, J. C., and W.-S. Wu, 1998: The use of TOES cloud-cleared radiances in the NCEP's SSI analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2287-2299.
- Parrish, D. F., and J. C. Derber, 1992: The National Meteorological Center's Spectral Statistical-interpolation Analysis System. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1747-1763.

Code	Observations	GFS Analysis	Forecast
CWBO	CWB data set	OI with vortex bogussing	GFS provides the first guess and boundary conditions for TFS.
NCEPO	NCEP data set	SSI with vortex bogussing	TFS.
NOR	NCEP data set, except radiances were excluded	SSI with vortex bogussing	TFS OI analysis (radiances not be used) and 72h track forecast

表 1 . Comparison of three sets of simulations.

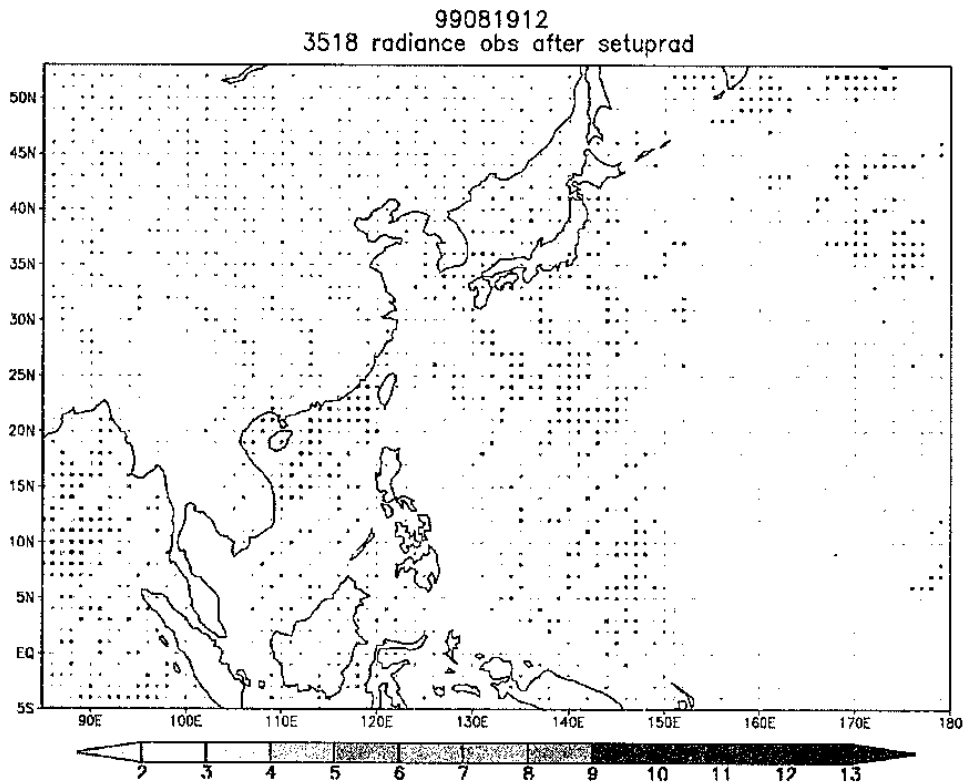


圖 1. Distribution of the radiance used in the analysis at 12UTC 19 August 1999. Different gray levels indicate the number of levels of the radiance at that location.

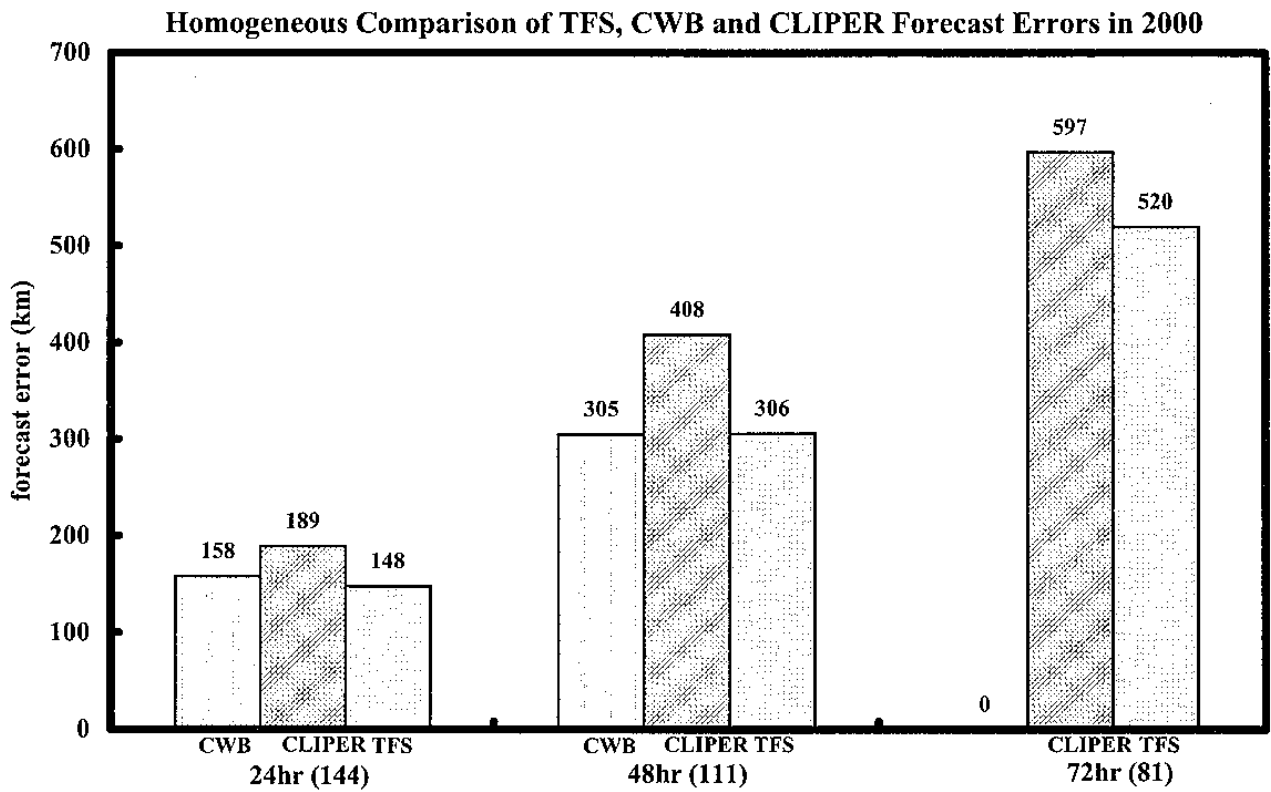


圖 2. TFS、CWB 及 CLIPER 對 2000 年相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差。橫軸括弧內為颱風個案數。

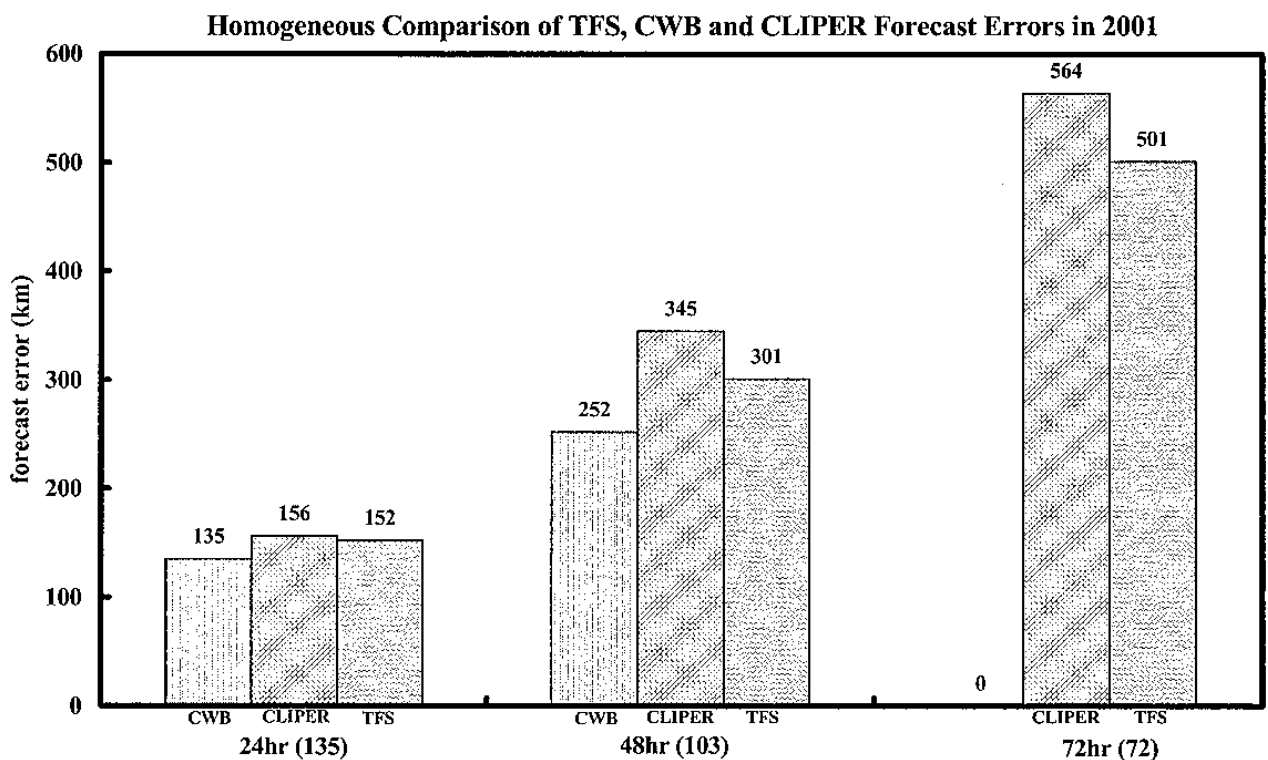


圖 3. TFS、CWB 及 CLIPER 對 2001 年 5 至 10 月相同個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差。橫軸括弧內為颱風個案數。

Performance of Typhoon track Forecast System with difference resolutions

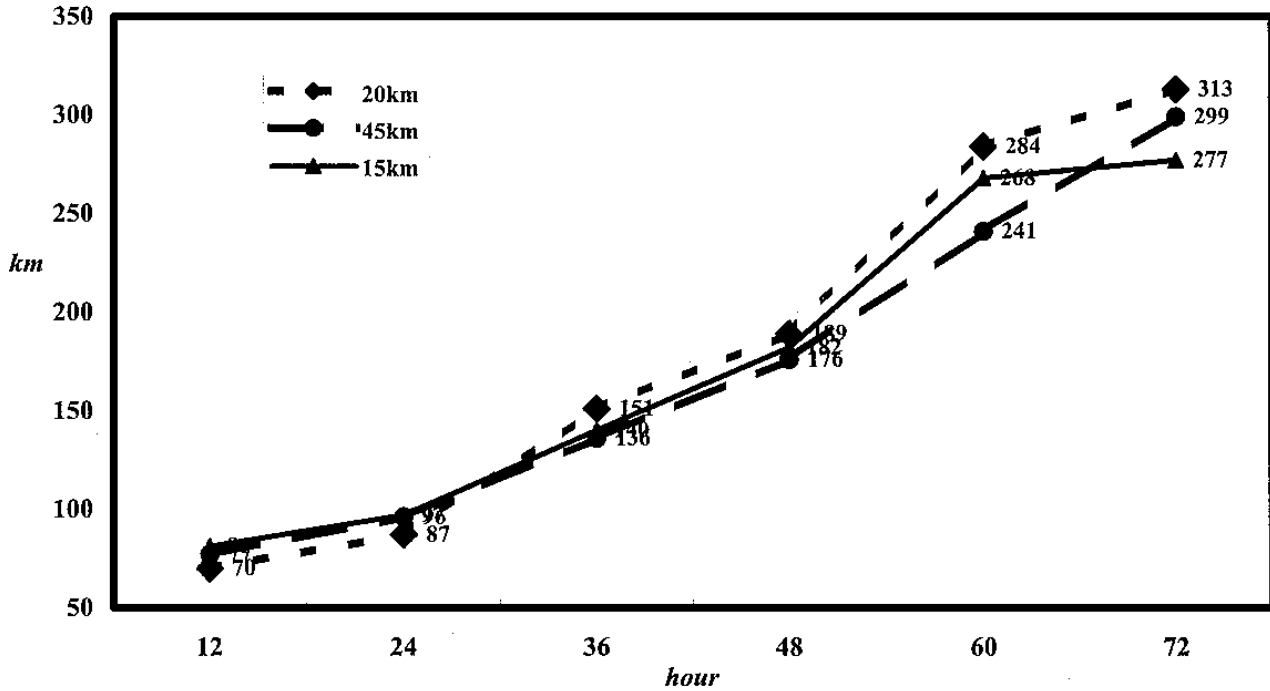


圖 4. 不同解析度 (20、45、15 公里) TFS 之颱風路徑預報誤差。

Performance comparisons of Typhoon Forecast System with different initialization scheme

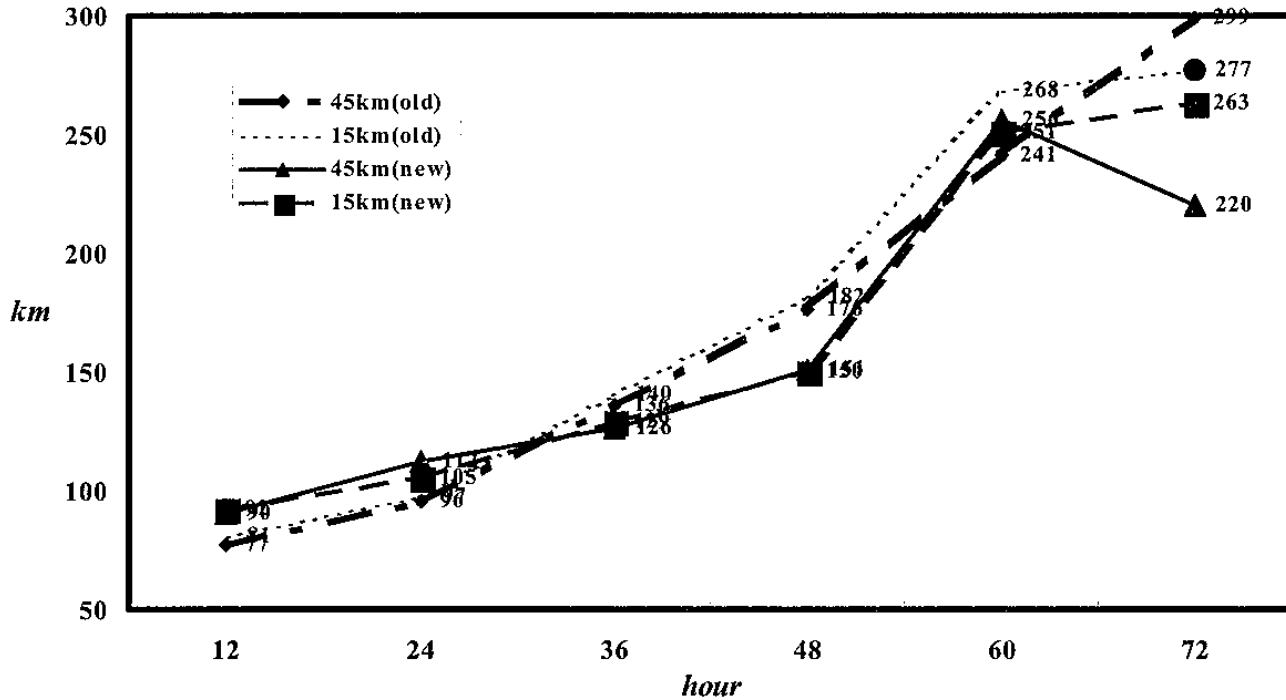


圖 5. TFS 使用不同颱風環流初始化過程之颱風路徑預報誤差。

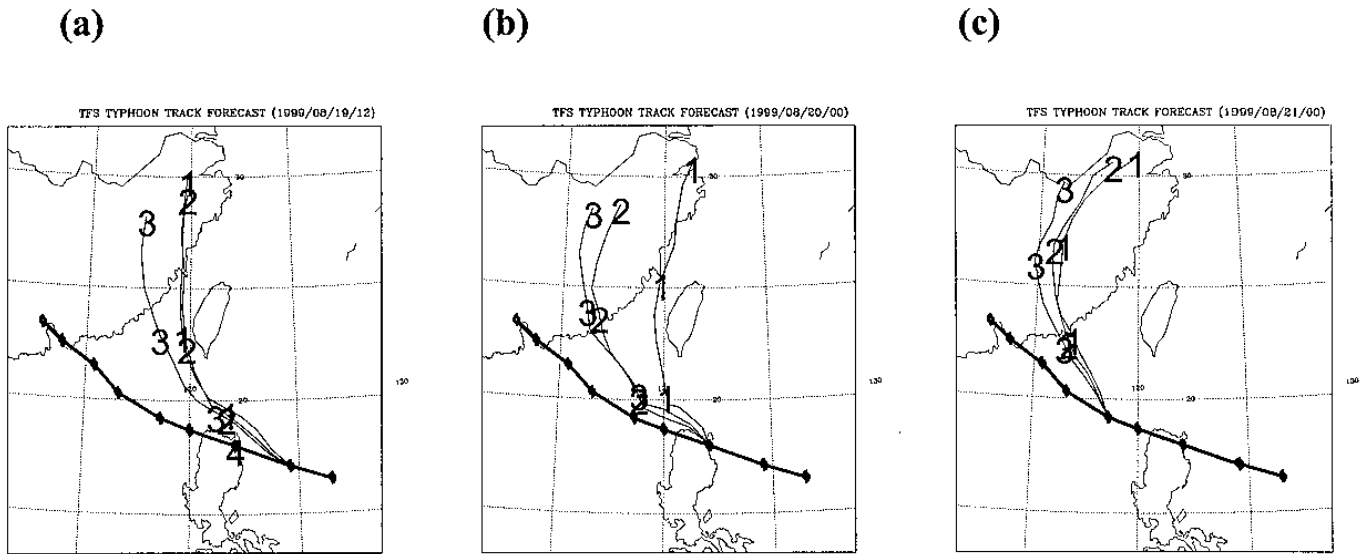


Figure 6. The tracks of typhoon Sam predicted by simulation CWBO (symbols '1'), NOR (symbols '2'), and NCEPO (symbols '3') at initial time (a) 12UTC 19, (b) 00UTC 20 and (c) 00UTC 21. The intervals of symbols are 24h. The observed tracks are coarse lines with typhoon symbols.