

微物理參數化方法於WRF模式之測試及評估

張美玉¹ 陶為國²

中央氣象局氣象資訊中心¹

NASA/Goddard Space Flight Center²

摘要

本文利用 NCAR 發展的新一代中尺度數值天氣預報模式 — WRF 模式 (The Weather Research and Forecasting Model) 加入 Goddard 微物理參數化方法, 與 WRF 模式現有微物理參數化方法 WSM3、WSM6 scheme 及中央氣象局現行作業區域預報模式 — NFS 模式, 針對 2005 年 8 月, 進行一個月個案之模擬測試, 探討不同微物理過程對 WRF 模式預報之影響, 及評估 NFS 模式及 WRF 模式於不同微物理方法下定量降水預報之表現。

一、前言

近年來由於豪大雨事件釀災及重創臺灣各地的個案頻繁, 因此定量降水預報為氣象單位刻不容緩的研發重點。由於雲、雨的發展與降水之發生存在著密不可分之關係, 而國內外研究趨勢亦顯示, 加入對雲、雨微物理發展過程模擬完整的微物理參數化方法於非靜力、高解析度之數值預報模式, 將對豪大雨等劇烈降水有較佳之模擬結果。因此, 本研究將利用 NCAR 發展的新一代中尺度數值天氣預報模式 — WRF 模式 (The Weather Research and Forecasting Model), 加入 Goddard 微物理參數化方法, 與 WRF 模式現有微物理參數化方法 WSM3、WSM6 scheme 及中央氣象局現行作業區域預報模式 — NFS 模式, 進行一個月個案 (2005 年 8 月) 之模擬測試, 以了解不同微物理過程對 WRF 模式預報之影響, 及評估 NFS 模式及 WRF 模式於不同微物理方法下定量降水預報之表現。

二、模式及微物理參數化方法概述

NFS 模式為中央氣象局現行作業之區域非靜力穩定 (nonhydrostatic) 模式, 模式包含三層巢狀網格 (RC/MC/HC), 其網域分布如圖 1。三層網域的網格間距分別為 45km、15km、5km; 各網域之垂直層數均為 30 層。模式在垂直方向採追隨地勢座標, 模式之輻射、積雲、邊界層及微物理參數化方法見表 1。

WRF 模式使用 WRFV2.0.3.1 版本, WRF 模式模擬採用與 NFS 模式相同巢狀網格設定及格點分布, 垂直層數為 31 層。

WRF 模式模擬將以美國 NCEP (National Center for Environmental Prediction) GFS 模式預報初始資料 (AVN) 為初始場, 針對 2005 年 8 月連續

一個月 (31 天), 進行每天兩次 (0000 UTC 和 1200 UTC), 每次 48 小時的預報模擬。NFS 模式則以中央氣象局現行作業流程進行模擬。

本文之 WRF 模式將選用 WRF-ARW 動力模組, 微物理參數化方法則分別採 WSM3、WSM6 scheme 及 Goddard scheme 進行模擬比較, 其餘物理參數法設定見表 2 說明。

WSM3 scheme (Hong et al, 1998) 包含三類水相的模擬: 水汽、雲水/雲冰、及雨/雪; 亦加入冰的沉澱作用及其他冰相參數化之修正 (Hong et al., 2004)。其中雲水/雲冰屬同一類水相之模擬, 當溫度小於或等於凝固點時, 行雲冰之模擬, 反之為雲水之模擬; 雨/雪亦然, 由溫度決定此類水相為雨或雪之模擬。

WSM6 scheme 包含六項不同的水相模擬: 水汽、雲水、雲冰、雨、雪、霰 (graupel) 及其各自的物理過程。其多數物理過程類似 Lin et al. (1983), 在飽和調整方面, 依 Dudhia (1989) 及 Hong et al. (1998) 方法, 對冰及水分別有其調整過程。

Goddard scheme (Tao and Simpson (1989, 1993) 及 Tao et al., (2003 a and b) 有六項水相之模擬, 為水汽、雲水、雲冰、雨、雪和雹 (hail) 或霰 (graupel)。此參數法包含三十餘項微物理過程, 亦加入飽和調整 (Tao et al., 1989) 及水相收支保守修正, 其所有微物理過程 (除溶化、蒸發、昇華外) 均在同一個熱力狀態下作計算, 以確保所有過程於同一狀態下發生。而對於雹 (hail) 或霰 (graupel) 之選擇, 則取決於雲系統發展的型態及地域。一般而言, 對熱帶雲系, 霰 (graupel) 較具代表性; 反之, 對中緯度之雲系, 雹 (hail) 較具代表 (Tao et al., 1995)。本文將採用雹 (hail) 的選項進行模式之模擬與校驗。

三、校驗方法

利用中央氣象局數值預報校驗系統(陳等, 1989), 校驗模式網格點上之平均誤差(Mean Error)及均方根誤差(Root Mean Square Error)以了解不同微物理參數法對模式預報之系統性偏差。此外, 利用公正預兆得分(ETS, Equitable Threat Score, Schaefer 1990)及偏離指數(Bias)進行模式之降水預報校驗。

ETS 評分的定義為:

$$ETS = \frac{C - E}{F + O - C - E}, \quad E = \frac{F * O}{T}$$

其中 F 為預報降水大於或等於某一門檻值(threshold)的次數, O 為觀測降水大於或等於某一門檻值的次數, C 為預報降水及觀測降水均大於或等於某一門檻值的次數, T 為校驗使用的所有樣本數。對第三網域(HC)之降水校驗採觀測站上之降水校驗; 觀測站上的降水預報值為測站四周最近的網格點之預報值依距離權重內差至測站而來。

ETS 評分可用來評估降水預報的技術得分(skill score), 當 $ETS > 0$, 代表有技術得分的預報(相較於隨機預報), $ETS = 1$ 為完美的預報, 而 $ETS < 0$ 則代表沒有技術得分的預報。

偏倚評分的定義為:

$$BIAS = \frac{F}{O}$$

偏倚評分為模式預測大於或等於某一降水門檻值的次數和實際觀測大於或等於某一降水門檻值的次數之比, 當 $BIAS > 1$, 代表過度預報(overprediction), $BIAS < 1$ 則代表不足預報(underprediction)。

四、校驗評估

(1) 高度場及溫度場之校驗:

由圖2高度場於第三網域(HC)之平均誤差(Mean Error)校驗顯示, WRF模式高度場的預報, 在500mb以下, 平均誤差為負值, 500mb以上, 平均誤差為正值; WSM3和WSM6 scheme 之誤差相近, Goddard scheme在高層(300 mb以上), 有較小之正偏差。NFS模式高度場之平均誤差型態與WRF模式結果相異, 其於中低層為正值, 在高層為負值。由高度場之均方根誤差(圖3)校驗顯示, WRF模式在中低層, WSM3、WSM6 scheme及Goddard scheme 之結果相近, Goddard scheme在高層有較小偏差。NFS模式模擬結果在低層之均方根誤差較WRF模式為大, 在中高層為小。

由圖4溫度場於第三網域(HC)之平均誤差校驗顯示, WSM3和WSM6 scheme 之結果相似, 在500~250mb間, Goddard scheme較WSM3及WSM6 scheme有較小之偏差, 在500mb以下, Goddard scheme 結果則與WSM3和WSM6 scheme結果相近。NFS模式在地表附近之溫度平均誤差為正, WRF模式為負; 其上之溫度平均誤差NFS模式為負, WRF模式為正。WRF模式和NFS模式在溫度的平均誤差預報之偏差型態相異, 在均方根誤差(圖5)校驗則顯示, 850 mb以下, NFS模式預報誤差較WRF模式偏差為大, 其上誤差較WRF模式為小。

(2) 降水預報校驗:

模式模擬 48 小時, 分為 0~12 小時、12~24 小時、24~36 小時、36~48 小時四個累積降水預報時段, 由於模式預報 48 小時中, 前 24 小時校驗結果比後 24 小時之結果為佳; 其中 24~36 小時及 36~48 小時時段之模擬結果類似於 12~24 小時結果, 但預報得分較差。本文限於篇幅, 將就 0~12 小時及 12~24 小時之校驗結果進行討論。

本文之降水校驗是就中央氣象局台灣地區 362 個自動雨量站(圖6)於 2005 年 8 月之實際觀測資料與模式預報值進行校驗。

由模式第三網域(HC) 0-12 hr 預報時段, 降水累積之平均值及平均誤差圖(圖7)顯示, WRF 模式對大雨個案降水量之預報相當接近於觀測值, 但預報之降水時間與實際觀測時間有 12 小時的延遲; 此外, 平均降水量之預報 Goddard scheme > WSM6 scheme > WSM3 scheme。而 NFS 模式對大雨個案之降水量預報則顯不足, 降水時間亦有延遲。

由圖8預報時段 0-12 hr 之公正預兆得分(ETS)及偏離指數(Bias)可見, WRF 模式降水預報在偏離指數得分方面, 當平均降水 10mm 以下, WRF 模式三個參數法之結果甚接近; 平均降水 10mm 以上, Goddard scheme > WSM6 scheme > WSM3。NFS 模式在平均降水 40mm 以下, 偏離指數較大, 平均降水 50mm 以上, 偏離指數較小; 即有小雨預報偏大, 大雨預報不足的現象。在 ETS 得分方面, WRF 模式所有降水門檻之 ETS 得分平均值 WSM3、WSM6、Goddard scheme 分別為 0.263、0.263、0.255, 三者相近; NFS 模式為 0.119。

由模式 12-24 hr 預報之降水累積平均值及平均誤差(圖9)發現, 12-24 hr 預報時段有較佳之預報成績; 對於降水時間的預報, 有較 0-12 hr 預報為佳的掌握; 對降水量的預報則發現, 大雨的預報值偏大, 中雨相當, 小雨稍不足; NFS 模式降水量的預報則是大雨不足, 中小雨偏大。

由圖10預報時段 12-24 hr 之公正預兆得分及偏離指數值亦驗證, ETS 及 Bias 均有較 0-12 hr

預報為佳的得分，對 30mm 以上的平均降水，WRF 模式預報之 ETS 得分皆接近或大於 0.3，而降水量及降水驅勢均顯示，Goddard scheme>WSM6 scheme>WSM3 scheme；其中 WSM6 scheme 有較佳 ETS 得分。此外，NFS 模式在此預報時段亦有較佳表現，但依然有大雨預報不足，中小雨預報偏大的現象。

五、結論

由以上模擬及校驗評估可得知，在高度場和溫度場的預報，WRF 模式和 NFS 模式有相反型態的系統誤差。其中 WRF 模式三個參數化法的模擬結果相近，但 Goddard scheme 在高層(300mb)有較小的平均誤差及均方根誤差。

由降水預報校驗發現，WRF 模式之降水預報得分(ETS 及 Bias)均較 NFS 模式為佳；相較於 NFS 模式對中小雨預報偏大，大雨預報不足的現象，WRF 模式對中小雨的預報偏小，對大雨則預報偏強。其中，WSM6 scheme 有最佳的 ETS 得分，Goddard scheme 之降水量預報較 WSM6 scheme 為強，WSM3 scheme 則最弱。整體而言，WRF 模式之降水預報值較接近於實際值，對於豪大雨個案之降水預報，尤有明顯之改進。因此，對於豪大雨個案之定量降水預報，將可提供較佳之預報參考及指引。

六、誌謝

感謝中央氣象局資訊中心洪景山博士及潘琦小姐於診斷校驗方法及校驗軟體之協助及提供。

七、參考文獻

- 陳雯美、林松錦和蔡清彥：中央氣象局全球數值天氣預報系統 1988~1989 預報校驗評估。《氣象學報》，35，263~279。
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.
- Hong, S.-Y., H.-M. H. Juang, and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2621-2639.
- Hong, S.-Y., J. Dudhia, and S. -H. Chen, 2004: A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation Implementation, *Mon. Wea. Rev.*, 132, 103-120.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.
- Schaefer, J.T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*,

5, 570-575.

- Tao, W.-K., and J. Simpson, 1989: Modeling study of a tropical squall-type convective line. *J. Atmos. Sci.*, 46, 177-202.
- Tao, W.-K., and J. Simpson, 1993: The Goddard Cumulus Ensemble Model. Part I: Model description. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 4, 19-54.
- Tao, W.-K., J. Scala, B. Ferrier and J. Simpson, 1995: The effects of melting processes on the development of a tropical and a midlatitude squall line, *J. Atmos. Sci.*, 52, 1934-1948.
- Tao et al., 2003a: Microphysics, Radiation and Surface Processes in a Non-hydrostatic Model, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 97-137.
- Tao, W.-K., D. Starr, A. Hou, P. Newman, and Y. Sud, 2003b: Summary of cumulus parameterization workshop, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 1055-1062.

表 1 NFS 模式架構及物理參數法

NFS 非靜力預報模式	
架構	垂直 30 層差分模式
	解析度 45 km / 15 km / 5 km
物理	積雲參數法： modified Kuo
	邊界層參數法： TKE - ϵ
	輻射參數法： Harshvardhan et al.
	微物理參數法： 簡單凝結及蒸發作用

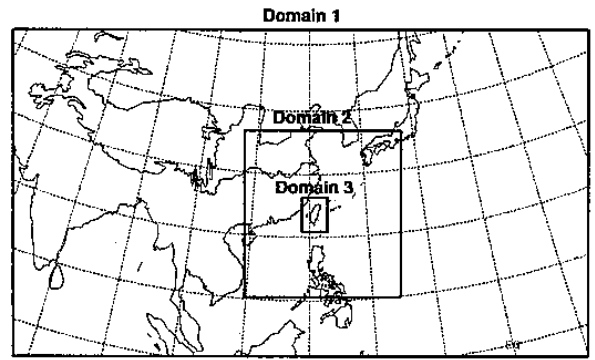


表 2 WRF 模式架構及物理參數法

WRF 預報模式	
架構	垂直 31 層差分模式
	解析度 45 km / 15 km / 5 km WRF-ARW 動力模組
物理	積雲參數法： modified Kain-Fritsch scheme
	邊界層參數法： YSU scheme
	地表參數法： Noah LSM
	輻射參數法
	短波輻射： Dudhia scheme (MM5 scheme)
	長波輻射： RRTM scheme
	微物理參數法
(1) WSM3 scheme (2) WSM6 scheme (3) Goddard scheme	

圖 1 WRF 模式網格設計。第一層網域(Domain 1, RC)的解析度為 45 公里, 第二層網域(Domain 2, MC)的解析度為 15 公里, 第三層網域(Domain 3, HC)的解析度為 5 公里。

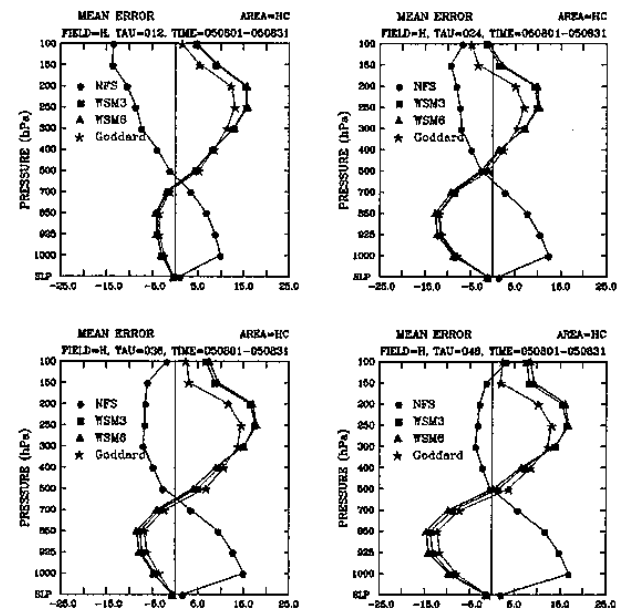


圖 2 高度場第三網域(HC)之平均誤差(Mean Error)

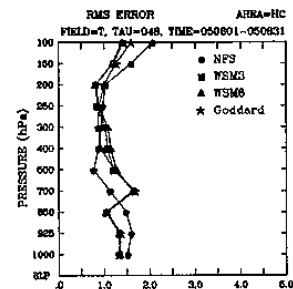
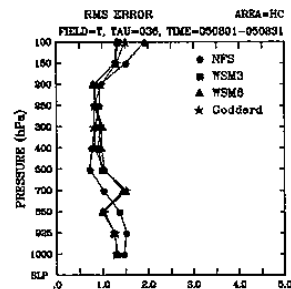
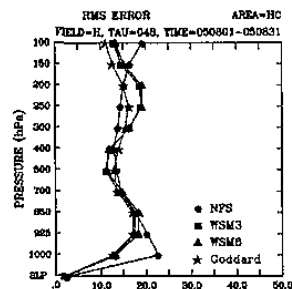
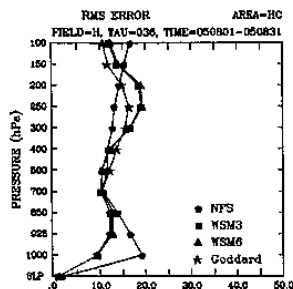
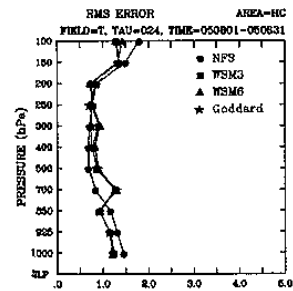
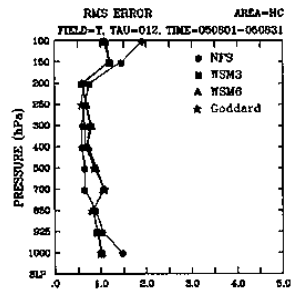
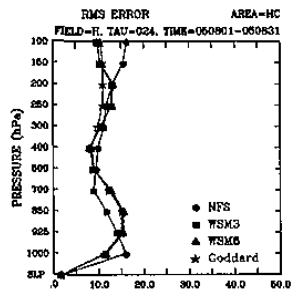
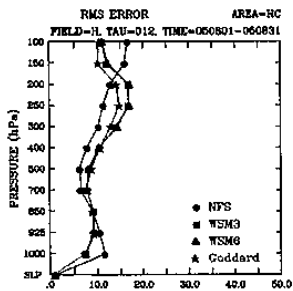


圖 3 高度場於第三網域(HC)之均方根誤差(Root Mean Square Error)

圖 5 溫度場於第三網域(HC)之均方根誤差(Root Mean Square Error)

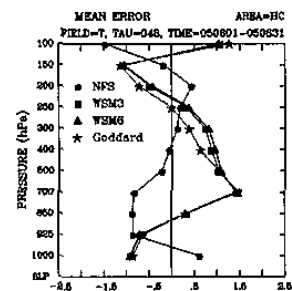
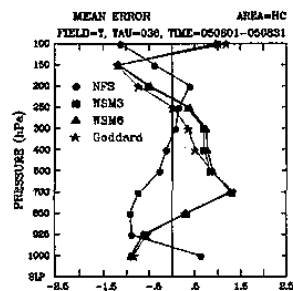
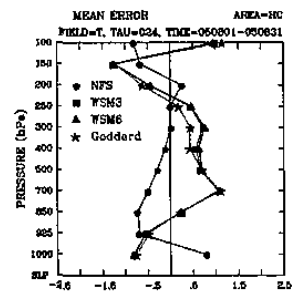
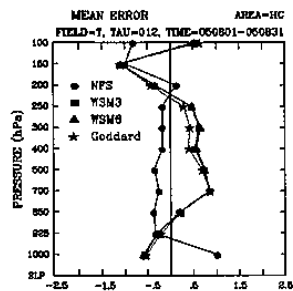


圖 4 溫度場於第三網域(HC)之平均誤差(Mean Error)

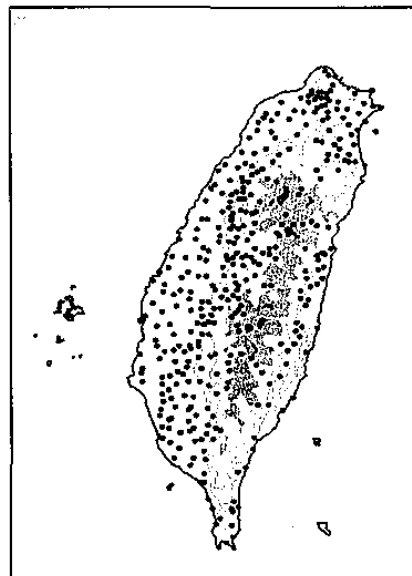


圖 6 台灣地區自動雨量站分布圖

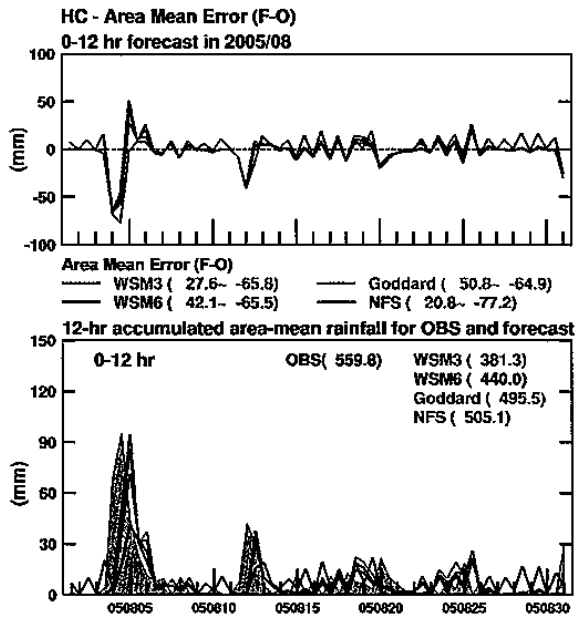


圖 7 台灣地區 2005 年 8 月觀測資料與模式第三網域 (HC) 0-12 hr 預報時段, 降水累積之平均值及平均誤差

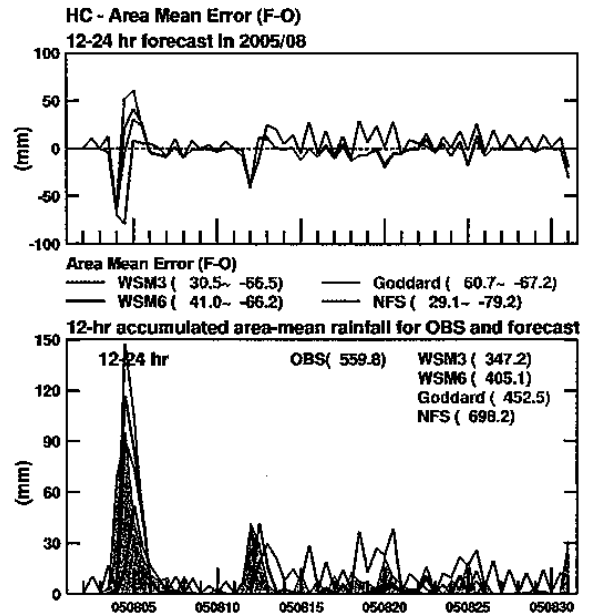


圖 9 台灣地區 2005 年 8 月觀測資料與模式第三網域 (HC) 12-24 hr 預報時段, 降水累積之平均值及平均誤差

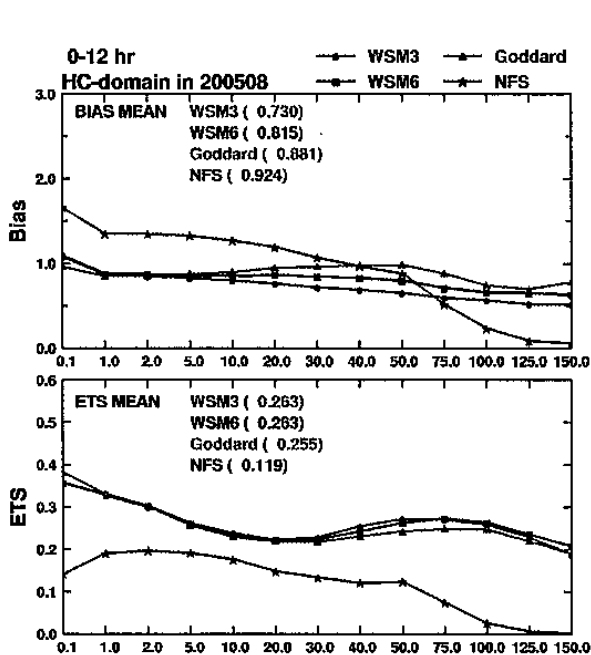


圖 8 台灣地區 2005 年 8 月觀測資料與模式第三網域 (HC) 0-12 hr 預報時段, 公正預兆得分(ETS) 及偏離指數(Bias)

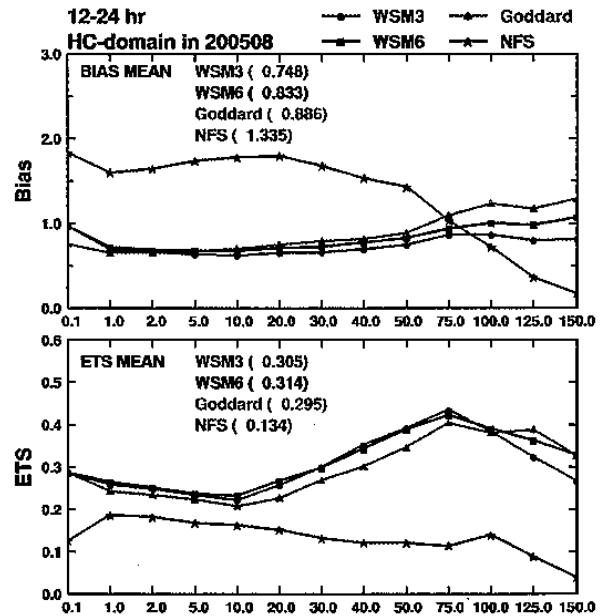


圖 10 台灣地區 2005 年 8 月觀測資料與模式第三網域 (HC) 12-24 hr 預報時段, 公正預兆得分(ETS)及偏離指數(Bias)