

GSI應用於中央氣象局全球數值預報系統之初步研究

吳家苓¹ 陳雯美¹ 沈彥志¹ 吳婉淑²

¹中央氣象局氣象科技研究中心

²美國國家環境預報中心環境模擬中心

摘要

格點統計內插(Gridpoint Statistic Interpolation, GSI)是由美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)所發展之三維變分(three-dimensional variational, 3DVAR)分析系統,目前已取代原本的波譜統計內插(Spectral Statistical Interpolation, SSI)分析系統,正式作業。GSI 是建置在 SSI 分析系統的基礎上,但在網格空間進行分析且具備同化更多觀測資料種類的能力,包括同化一般傳統觀測資料、衛星資料、雷達資料、GPS掩星資料等。

本研究之主要目的為建置GSI 於現行中央氣象局全球數值預報系統(Global Forecast System, GFS)中,比較GSI與目前全球預報系統作業使用之SSI分析系統對預報系統的影響,未來計畫藉由GSI逐步同化新的觀測資料種類,期能供預報模式最佳的分析場,提升其預報成效。

關鍵字：格點統計內插(GSI)

一、前言

格點統計內插 (Gridpoint Statistical Interpolation, GSI)是目前美國國家環境預報(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)作業的三維變分分析系統。GSI系統建立在之前NCEP所使用的波譜統計內插分析(Spectral Statistical Interpolation, SSI)系統的基礎上,利用遞推濾波器(recursive filters)處理背景場誤差。因此,可以在有限的計算機資源下,於物理網格進行三維變分分析,使得原本在波譜空間定義的背景場誤差也可以直接在物理空間中定義。

變分同化的目的是找出一個最佳初始分析場,透過進行最小化疊代步驟過程找出在給定同化時窗內能同時逼近初始猜測值與觀測值之初始分析。此目的可透過最小化一個價值函數(cost function)來達成,藉由價值函數的極小化,來計算分析場與觀測場之間的差異大小,而插入的觀測資料則透過適當的權重來調整分析場 (Parrish and Derber, 1992)。首先定義一個價值函數如下:

$$J = \frac{1}{2} \left[(x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + (y_{obs} - Hx)^T R^{-1} (y_{obs} - Hx) \right]$$

x 為模式的預報分析場, x_b 為背景場; B 為背景場誤差的協方差矩陣 (background error covariance matrix); y_{obs} 為觀測場; H 為觀測運算子 (observation operator), 目的在將網格點的分析變數向量轉換成觀測變數向量及位置; R 為觀測誤差協方差矩陣 (observation error covariance matrix), 包括觀測儀器誤差及代表性誤差 (representativeness error)。

藉由逐步微調初始猜測值,使目標函數達到極小

化之後,使分析變數與背景變數的誤差在引進觀測資訊時有最佳的調整,此一透過變分最小化過程而得之 x 即為所欲尋求的最佳的估計分析,可得最貼近於背景猜測場與觀測資料之真實大氣狀態。分析變數的係數定義在網格點,分析變數有流函數(ψ)、速度位(χ)、溫度(T)、地表壓力(P_s)、溼度(q)等等。

GSI系統在處理背景誤差統計較SSI系統有更大的彈性,最主要的差異在GSI系統的背景場誤差在物理空間中定義可為非均勻性(inhomogeneity)與非均向性(anisotropy),可更接近於真實大氣的狀態。此外,經由實驗證明(Wu et al., 2002),在非熱帶地區於物理空間所處理的三維變分同化效率上,相較於波譜空間中有些微的改進,而在熱帶地區則有良好的改進。GSI系統可同化許多新觀測儀器或是新觀測參數,除了傳統觀測資料與SSI系統可同化之衛星觀測資料外,GSI系統亦可同化如: NOAA-18衛星所提供的衛星觀測資料、雷達觀測資料、AIRS所提供的輻射資料、福衛三號(FORMOSAT-3/COSMIC)所提供的折射角(bending angle)或折射率(refractivity)資料等等。

NCEP在2007年5月時已將全球預報模式作業之資料同化系統由SSI系統更改為GSI系統,此套系統可以作為全球或區域模式之資料同化分析系統。目前中央氣象局所使用之全球預報模式之資料同化系統仍為SSI系統,本研究主要目的即為引進GSI系統於中央氣象局之全球預報模式,期望增進全球預報模式的預報成果。

二、實驗設計

本研究所使用的模式為中央氣象局全球數值預報

系統(CWB-GFS)。現行作業版本的水平解析度為T240，垂直採 σ 座標共30層，目前所使用的資料同化系統為自NCEP所引進之SSI三維變分系統。首先將GSI系統建置在CWB-GFS上，並做單點測試，比較SSI系統與GSI系統的差異。

為了比較GSI系統與SSI系統對中央氣象局全球數值預報系統的影響，本研究共執行兩組平行測試，一組採用目前作業使用的SSI系統，另一組則採用已建置完成之GSI系統進行資料同化。兩組實驗使用相同的觀測資料，包括探空、地面、飛機、衛星反掩風等傳統觀測資料。平行測試的期間為2007年12月21日00Z至2008年2月29日12Z，進行每天四次，6小時之資料同化(6小時update cycle)，並於每天0000UTC以及1200UTC進行兩次五天的預報。藉由模式五天預報及分析場計算之距平相關(Anomaly correlation, AC)以及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)，比較GSI系統與SSI系統對全球預報模式的影響。公式如下所示：

1. AC

$$AC = \frac{\frac{1}{N} \sum_N (F - C)(A - C)}{\sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_N (F - C)^2 \sum_N (A - C)^2}}$$

2. RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_N (F - A)^2}{N}}$$

其中F為模式預報值，C為氣候場，A為模式初始分析場，N為網格點數。

三、實驗結果

(一) 單點溫度觀測資料測試

利用GSI系統做不同地區之單點測試，由表一看出，將觀測值放在高度850hPa低緯(120°E, 20°N)與中緯(180°E, 45°N)的分析增量極值，因為GSI的背景場誤差協方差矩陣為緯度與高度的函數，表一的結果顯示，不同緯度有顯著的差異，低緯在溫度與風場分析增量較高緯小，表示模式在低緯區較相信初始猜測場，對於觀測資料較不信任。由單點觀測資料測試可看出背景場誤差協方差矩陣的特性。

圖一為GSI系統與SSI系統的單點溫度觀測資料測試，觀測資料位於120°E、20°N的850hPa等壓面上，觀測值與背景值差異(O-B)為1°C，觀測誤差為0.6°C。(a)為GSI系統於120°E之溫度初始分析場減去初始猜測場的垂直剖面圖，可看出最大溫度分析增量約為0.3°C，成同心圓向外擴散，(b)圖為120°E之溫度場影響風場之垂直剖面圖，風場在U分量的分析增量最大值約在高度700hPa($\sigma=0.7$)，值為0.14m/s。(c)為SSI系統於180°E之溫度分析場減去初始猜測場的垂直剖面

圖，可看出中心最大溫度分析增量約為0.6°C，成同心圓向外擴散，(d)圖為180°E溫度場影響風場之垂直剖面圖，風場在U分量的分析增量最大值約為0.18m/s。

由圖一溫度單點測試的結果，GSI與SSI背景場誤差的結構近似，均是以觀測資料為中心的同心圓結構，所引發的風場極值位於觀測資料的上方約750-700hPa等壓面上，以SSI的位置較低。結構上較明顯的差異在SSI的結果顯得有點變形，原因是測試是採用目前作業版本的設定，SSI包含了GSI所沒的弱約束(weak constrain)所致。在分析增量方面，GSI系統溫度的分析增量(analysis increment)小於SSI系統，約小0.3°C。而溫度場影響風場的分析增量差異較小。

GSI分析增量較小的情形也呈現在實際個案中，圖二(a)、(b)分別為GSI與SSI系統2007年12月21日00Z使用傳統觀測資料，模式高度(σ)為第九層之分析場減去背景場之分析增量。(a)圖中GSI系統分析增量的間距為0.5，值介於-3~-4.5°C，(b)圖中SSI系統分析增量的間距為1，值介於-4~-5°C，與單點溫度資料測試的結果一致，顯示GSI系統比SSI系統的分析增量略小。分析增量的大小可藉由調整分析變數的背景場誤差來調整，因為不論是SSI或GSI，背景場誤差均是由NMC方法計算得到，也就是用同一有效時間的48小時與24小時預報差統計計算的，此24小時的預報誤差如何應用到6小時資料同化所需的6小時預報誤差，是由一經驗調整控制，因此二系統均設計有調整背景場誤差振幅的控制參數，藉此參數可以在維持原有的結構下調整分析增量的極值，圖一及圖二的測試SSI部份已根據CWB-GFS做過測試調整的設定，GSI部份則先採用NCEP的設定，未來根據其對CWB-GFS預報的影響測試，做必要的調整。

(二) 五天預報統計分析

圖三為CWB-GFS使用GSI與SSI兩個不同資料同化系統之五天預報的距平相關，實心圓點虛線代表SSI系統，十字實線為GSI系統，(a)圖為2008年1月北半球500hPa高度場的五天預報的距平相關，由圖中可看出GSI系統的AC比SSI系統高0.01左右，因為在1月底GSI系統突然有下滑的趨勢，故由(b)圖中2008年2月的五天預報可看出，在二月份的AC表現上，GSI系統平均上仍較SSI系統好約0.007。在南半球的表現上，由(c)圖2008年一月份可看出GSI系統在500hPa的AC表現上約比SSI系統高約0.03，2008年二月由(d)圖中看出，南半球的五天預報亦有0.02的改進。

圖四為GSI系統與SSI系統不同高度之五天預報的均方根誤差，十字實線為SSI系統，空心圓點虛線代表GSI系統。由(a)圖中可看出GSI系統在北半球由地面到200hPa溫度場的RMSE皆小於SSI系統，平均約小0.1°C。而(b)圖中南半球在900hPa以下，GSI系統與SSI溫度場的RMSE差異不大，從800hPa以上，GSI系統的RMSE約比SSI系統小約0.3°C，表示GSI系統對於南半

球中高層溫度場的預報誤差較小。(c)圖為熱帶地區溫度場的五天預報誤差，GSI系統的RMSE從地面到高層皆小於SSI系統，約小 0.2°C 。因為熱帶主要分析氣流線，(d)圖為風場U分量的RMSE，亦可從圖中發現GSI系統在熱帶風場上的RMSE較SSI系統小約 0.3m/s 。

由圖二、三可知GSI系統在南、北半球的五天預報皆比SSI系統好，南半球改進的程度較北半球明顯。由RMSE亦可看出GSI系統的五天預報誤差較小，表示GSI系統的五天預報能力較SSI系統好。

四、結論

本研究之主要目的為建置GSI系統於現行中央氣象局全球數值預報系統中，比較GSI系統與目前全球預報系統作業使用之SSI系統對預報系統的影響。GSI系統為目前模式資料同化之變分方法的新主流，因此，建置GSI系統於氣象局全球數值預報模式是刻不容緩的。實驗結果可由模式的五天預報看出，目前GSI系統的表現比SSI系統佳，在北半球的AC-score約好0.01，南半球約好0.02。

目前GSI系統的分析增量小於SSI系統，由於分析增量較小，會使得模式的初始猜測場與分析場相似，因此，調整分析變數的係數為吾人接下來所要研究的方向。藉由調整分析變數係數改變背景場誤差的權重，並得到一組最佳組合。未來在這基礎上，藉由GSI系統逐步同化不同的觀測資料，提供預報模式最佳的分析場，進而提升中央氣象局全球預報模式其預報之成效。

參考文獻

- Parrish, D. F., and J. C. Derber, 1992: The National Meteorological Center's spectral statistical-interpolation analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1747-1763.
- Wu, W.-S., R. J. Purser, and D. F. Parrish, 2002: Three-dimension variational analysis with spatially in homogeneous covariances. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2905-2916.
- NCEP GSI線上網站：
<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/index.php>

表一、GSI 系統觀測值放在高度 850hPa 低緯(120°E,20°N)與中緯(180°E,45°N)之溫度測試的最大增益量。

GSI	Lev=850hPa, O-B=1°C, 觀測誤差為 0.6°C。	
	(120°E,20°N)	(180°E,45°N)
T	0.3	0.6
U	0.14	0.4
V	0.16	0.4

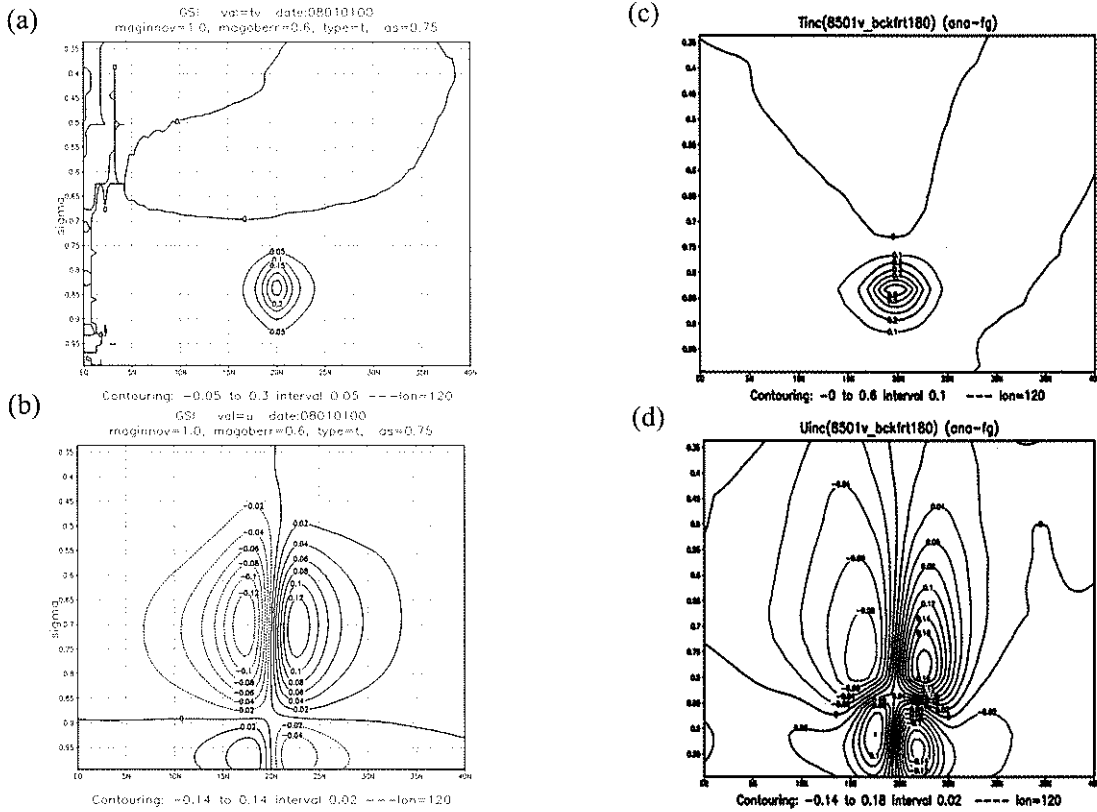


圖 1、GSI 系統與 SSI 系統之溫度單點測試，觀測值放在 850hPa (120°E,20°N)的位置，觀測值與背景值差異(O-B)為 1°C，觀測誤差為 0.6°C。(a)、(b)分別為 GSI 系統溫度、風場 U 分量的分析增量垂直剖面圖。(c)、(d)分別為 SSI 系統溫度、風場 U 分量的分析增量垂直剖面圖。

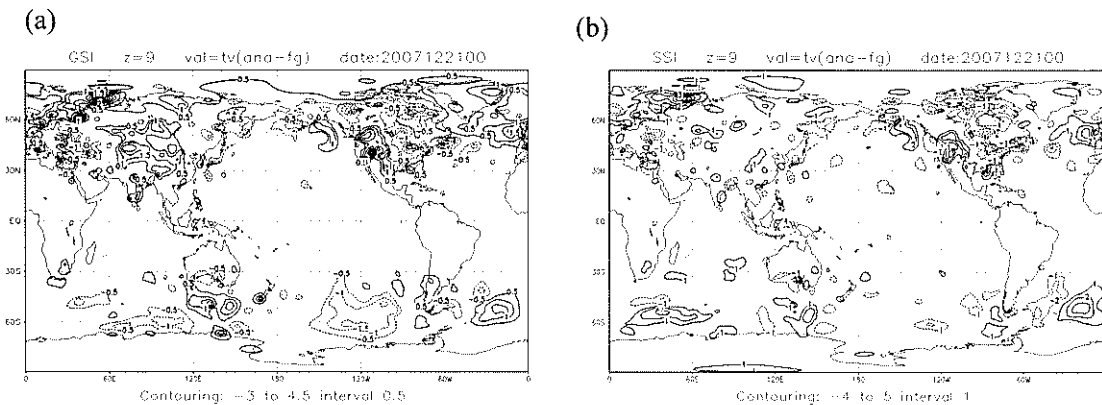


圖 2、(a)與(b)分別為 GSI 與 SSI 系統 2007 年 12 月 21 日 00Z 之分析場減去背景場之分析增量。

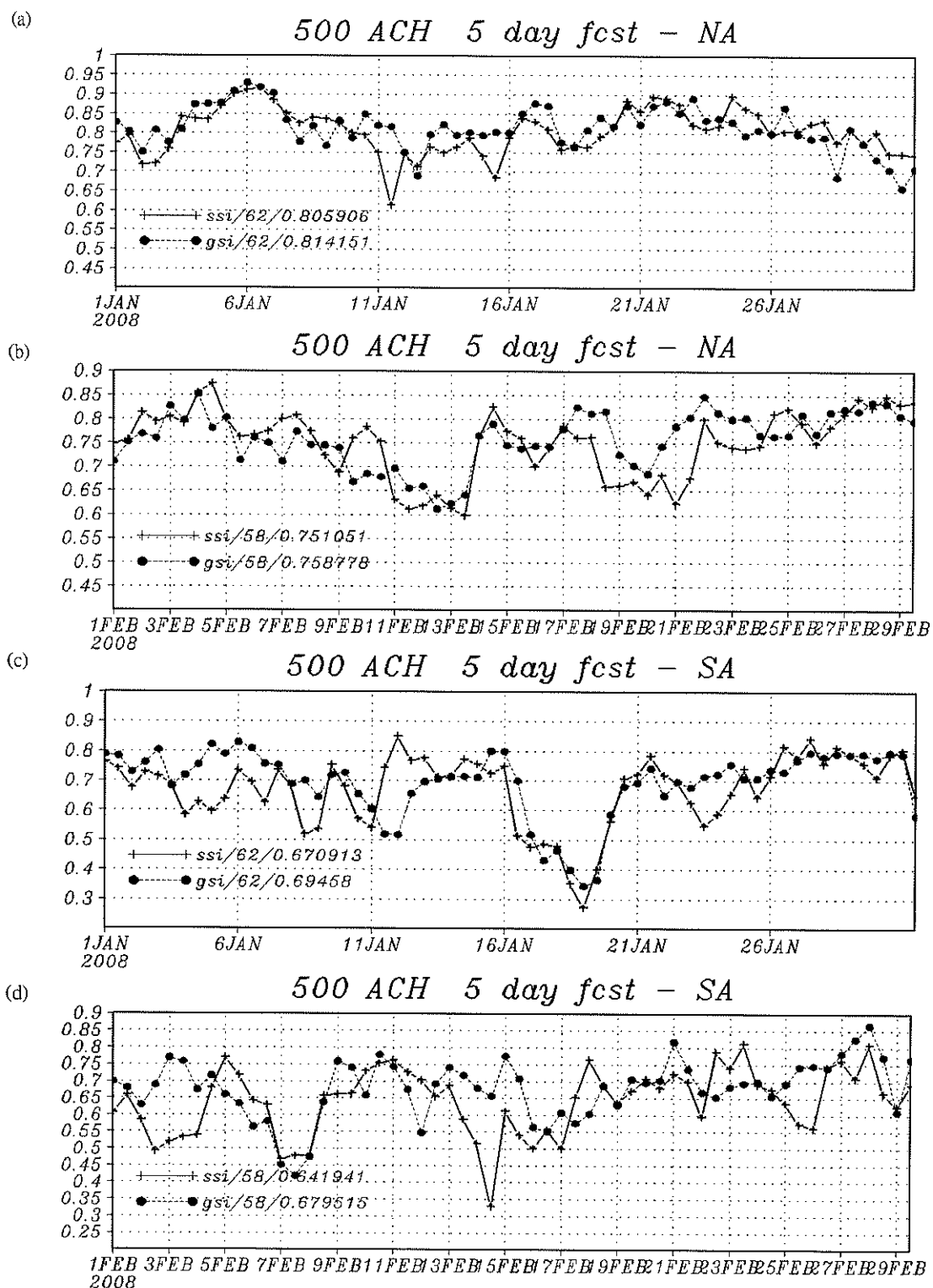
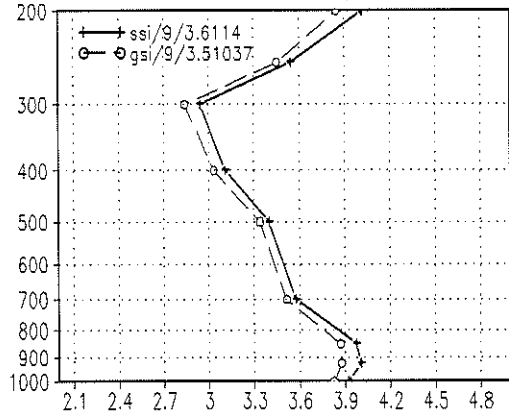
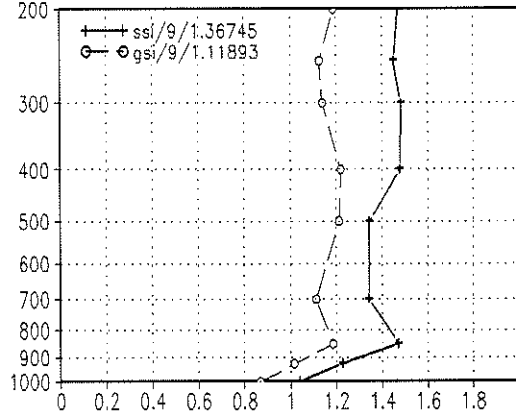


圖 3-CWB-GFS 使用 GSI 與 SSI 不同系統五天預報的距平相關(Anomaly correlation, AC), 實心圓點虛線代表 SSI 系統, 十字實線為 GSI 系統。(a)、(b)分別為北半球一月與二月的五天預報。(c)、(d)分別為南半球一月與二月的五天預報。

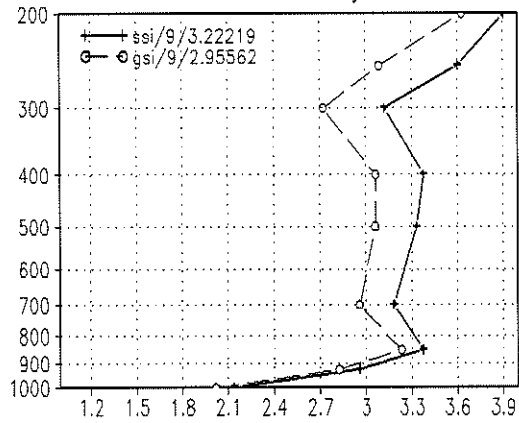
(a) 2008 Jan FRT 5 day fcst - NA



(c) 2008 Jan FRT 5 day fcst - TP



(b) 2008 Jan FRT 5 day fcst - SA



(d) 2008 Jan FRU 5 day fcst - TP

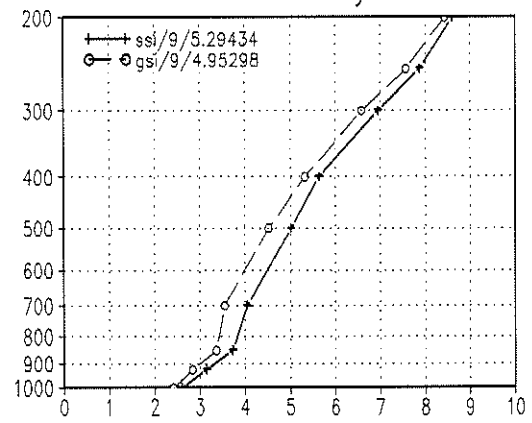


圖 4、GSI 系統與 SSI 系統不同高度之五天預報的均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)，十字實線為 SSI 系統，空心圓點虛線代表 GSI 系統。(a)、(b)分別為北、南半球溫度場不同高度的 RMSE；(c)、(d)分別為熱帶地區溫度場、風場 U 分量不同高度的 RMSE。