

AMSU-A 衛星資料對於中央氣象局 全球預報系統之影響分析

曹伶伶¹ 馮欽賜² 陳雯美¹ 沈彥志¹
氣象科技研究中心¹ 氣象資訊中心²
中央氣象局

摘要

格點統計內插 (GSI) 三維變分系統是由美國國家環境預報中心 (NCEP) 所研發，且目前已進行作業的同化系統。GSI能同化多種衛星觀測資料，衛星觀測能夠提供資料給一般傳統觀測無法涵蓋的區域，像是資料缺乏的海洋區、高空區，將這些資料納入同化系統中，能夠產生較好的模式初始場，進而提升全球預報系統的預報成效。在此研究中使用美國海洋及大氣總署發射的太陽同步衛星NOAA-15及NOAA-18，其上搭載的先進微波探測儀 (AMSU) 所觀測的資料。

本研究將AMSU-A所觀測的資料納入GSI同化系統當中，以探討其對於中央氣象局全球預報模式的影響。經實驗結果發現，加入AMSU-A觀測資料後，確實對預報表現有改善，而且較長時間的衛星偏差校正可更進一步改善衛星資料同化效果，推升預報表現。

關鍵字：格點統計內插(GSI)、先進微波探測儀(AMSU)

一、前言

良好的模式初始場對於提升數值預報模式的準確度有很大的助益，而資料同化技術能夠藉由調整猜測場和觀測值間的權重比例，產生較好的初始場。格點統計內插 (Gridpoint Statistic Interpolation, GSI) 為中央氣象局全球數值預報模式的下一代同化系統，其建置在波譜統計內插 (Spectral Statistical Interpolation, SSI) 的基礎上，在網格空間上進行分析，且相較於中央氣象局現行作業中的同化系統 SSI，GSI 能夠同化更多種類的觀測資料，除了傳統觀測資料外，還包括了衛星(radiance)、雷達、GPSRO 資料。吳等(2009)對 SSI 和 GSI 同化系統進行比較，研究顯示，在使用的同化資料為傳統觀測資料的情況下，GSI 在中央氣象局全球數值預報系統中的預報表現確實比 SSI 良好。

太陽同步衛星（繞極衛星）能對非極區地區做近均勻且週期性的觀測，每隔 12 小時會再次經過某特定地區附近，為缺乏傳統觀測資料的海洋、高空區提供了許多資訊，對於了解大氣垂直分佈特性有很大的幫助，將其納入同化系統中有助於產生較好的初始場，進而提升全球預報模式的預報準確度。但衛星觀測資料本身具有誤差，若誤差過大，反而會影響預報表現，因此衛星偏差校正不可或缺，將衛星資料正確調整才能使衛星資料有效的被利用（周和葉，2003）。目前 NCEP 的全球預報模式中

已使用了 AMSU、HIRS、MHS 等不同儀器的觀測資料，本研究主要探討 AMSU-A 衛星資料在 GSI 同化系統中偏差調整情況，及其對於中央氣象局全球預報模式之預報成效之影響。

二、觀測資料使用

(一) 觀測資料介紹

本文中實驗中同化系統使用的觀測資料有：傳統觀測資料、ECMWF 網格資料及衛星觀測資料。

傳統觀測資料包括了探空、地面、飛機、衛星反演風等觀測資料。因傳統觀測資料在時間及空間上解析度分布不均，由其在海洋、高空區的觀測少，因此再加入歐洲中期天氣預報(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 網格資料和衛星觀測資料以彌補此不足。

氣象局可接收到的 ECMWF 全球模式部分層場的 2.5x2.5 度之分析網格資料，目前氣象局全球模式使用其 200、500、700 和 850hPa 風速及 850hPa 溫度等，網格資料，做為資料同化時另外的補充資料。

關於衛星觀測資料，本研究中所使用的是由美國海洋及大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 發射的太陽同步衛星 NOAA-15 和 NOAA-18 其上所搭載的先進微波探測儀(Advanced Microwave Sounding Unit A, AMSU-A) 觀測而得，兩衛星繞行地球週期約為 100

分鐘，平均每 6 個小時能夠提供全球 12000 至 18000 筆亮溫資料。AMSU-A 共有 15 個頻道，每個頻道具有不同的權重函數。權重函數用來描述在不同高度上輻射強度的貢獻量，因此可以大致將權重函數峰值的發生位置作為各頻道的觀測高度（曾，1988）。本研究中的實驗測試對於頻道的使用選擇，參照 NCEP 的設定，NOAA-15 關掉 11 和 14 頻道，NOAA-18 關掉 9 和 11 頻道，這些頻道觀測的亮溫資料因品質不佳，未進入同化系統內。

(二) 衛星偏差校正

接收到的衛星觀測資料並不是全部都能使用，資料本身的誤差太大，反而會降低分析成效，所以使用前必須要經過品質控管(Quality Control, QC)步驟。若是觀測資料與猜測場差異太大，則QC不通過，此筆觀測資料不使用；反之，兩者差距在可容許的範圍內，則通過QC，此筆資料才能夠進到同化系統內進行同化。通常衛星觀測資料或多或少都會有所謂系統性偏差(bias)，可能由觀測儀器、觀測本身或是輻射模式誤差而造成，因此必須加以偏差校正(bias correction)，才能使觀測資料獲得最正確的利用。圖1(a)為衛星偏差校正前後觀測值與模擬觀測值差異 (observation minus simulated, o-g) 的亮溫分布示意圖，虛線為調整前的分布，實線為調整後的分布，在偏差校正後，亮溫分布的平均值幾乎零，且為高峰度(kurtosis)的高斯分布，代表系統性偏差已被有效調修，相較於偏差校正前，偏差校正後觀測資料與模擬觀測的差異較小，因此大部分的亮溫觀測都能進入同化系統中。圖1(b)為衛星偏差校正後，觀測與模擬觀測亮溫差異隨時間的變化圖，可看出此頻道在經過約3個月的時間，誤差才漸漸接近零。可知衛星偏差校正需要一段調整期(warm up)，將觀測資料的誤差修正，而每個頻道需要的調整期長短不一。

三、實驗設定

本次研究中實驗使用的預報模式為中央氣象局全球數值預報系統 (CWB-GFS)，水平解析度 T240，垂直層數採 σ 坐標共 30 層。現行作業版本的同化系統為 SSI 三維變分系統，使用的觀測資料有傳統觀測資料、ECMWF 網格資料及 NOAA-15 AMSU-A 衛星觀測資料。為了評估衛星資料衛星偏差校正情形及對於全球數值預報模式的預報表現影響，本研究共使用了 6 組實驗（如表一），各自使用不同的觀測資料、同化系統，以此進行分析。

SSI 系統，p30，設定與中央氣象局全球預報系統現行作業版本相同。

GSI 系統包含 pEC、pEC15、pEC18、pEC15/18 和 pEC15L。GSI 系統內有關 TLNMC (Tangent Linear Normal Mode Constraint) 初始化所使用的正模參數 (NVMODE_KEEP)，在此設定為 3。pEC 為未加入衛星觀測資料的實驗，pEC15、pEC18 和 pEC15/18 為 pEC 實驗的延伸，分別加入不同的衛星觀測資料組合，以分析衛星觀測資料對於預報成效的影響。以上 5 組實驗的測試時間為 2007 年 12 月 21 日 00Z 至 2008 年 2 月 29 日 12Z，每 6 小時一次資料同化，其中 00Z 及 12Z 會進行 5 天預報。此外，為了要了解拉長衛星偏差校正調整時間對預報表現的影響，另設計 pEC15L 實驗，其與 pEC15 的差異僅是將實驗的測試起始時間提前一個月，即實驗時間為 2007 年 11 月 20 日 00Z 至 2008 年 2 月 29 日 12Z。

四、實驗結果與分析

主要根據各實驗的五天預報與分析場所計算之距平相關得分 (Anomaly Correlation, AC) 和均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE) 來進行分析及探討對預報的影響。

首先比較各實驗分析場，將 NCEP 的分析場當作標準，計算各實驗與 NCEP 分析場間的距平相關，結果如圖 2 所示。由圖中可知，與 NCEP 的分析場相比，同樣使用 GSI 系統的 pEC15、pEC18、pEC15/18 及 pEC15L 實驗其曲線走勢相仿，而 pEC 的分析場卻與其他實驗差距很大，南半球高層更為明顯，因一般預報場距平相關的計算，是利用本身的分析場與預報場做計算，在觀測資料不足使分析場及預報場同時不好的情況下(都趨向模式的氣候場)，還是有可能計算出好的預報分數，為了避免此現象，本文中的實驗結果除了計算各實驗對自己本身分析場的預報分數，將另外以 NCEP 分析場當基準，進行計算、分析。

表二和表三為各實驗之海平面與 500hPa 高度場 5 天預報距平相關得分，表二為對實驗本身分析場校驗，表三對 NCEP 分析場進行校驗，將 2007 年 12 月 21 日至 31 日 10 天當作調整期，因此只看 2008 年一、二月的預報得分。

(一) SSI 與 GSI 同化系統比較

利用 p30 和 pEC15 實驗比較不同同化系統對於 CWB-GFS 預報成效的影響，兩者使用的觀測資料相同，惟有同化系統不同，p30 使用 SSI，pEC15 使用 GSI。在北半球以實驗本身分析場計算，除了一月的 500hPa 高度場的距平相關 pEC15 略差 p30 實驗 0.0023，其餘的表現都比 p30 好，與 NCEP 分析場校驗的結果無論是一、二月 pEC15 都比 p30 好；南

半球部分，以實驗本身的分析場校驗，pEC15 都比 p30 差，但到了二月份差異較小，以 NCEP 分析場校驗則是 pEC15 一月份較 p30 略差，但到了二月份較好。由於觀測資料和模式間需要時間調整，看二月份的預報表現較為合適。由溫度的均方根誤差（圖 3），也可看出在北半球不同高度上 GSI 都較 SSI 的誤差小；南半球則是在高層的部分誤差較大。由實驗結果可看出，GSI 系統的預報表現比 SSI 系統良好。

(二) 衛星觀測資料對預報成效之影響

GSI系統較SSI系統能同化更多種資料，本節以 pEC當作對照組，利用pEC15、pEC18、pEC15/18來比較在GSI系統加入不同衛星觀測資料對CWB-GFS預報成效的影響。

對實驗本身分析場作校驗的情況下（表二），加入衛星觀測資料的實驗 pEC15、pEC18 及 pEC15/18，北半球的距平相關在一、二月都比pEC高，500hPa一月份約好0.003，二月份約好0.01；但南半球預報表現與使用實驗本身分析場作校驗的結果有極大的不同，在一月份較pEC差，二月份才追上pEC。在溫度均方根誤差上（圖4），南北半球4組實驗的誤差都差不多。

再以NCEP分析場當基礎作校正（表三），北半球的距平相關依舊是加入衛星資料的實驗預報表現都較pEC好；南半球在一月時較pEC略差，二月份則是較pEC好。在使用不同分析場作校驗，在南半球卻有極不同的表現，推測是因為pEC分析場較差（圖 2），而造成即使預報場較差也有好的預報分數。在溫度均方根誤差上（圖4），在南北半球、不同高度，加入衛星資料的實驗誤差都比未加的pEC小。

由以上結果，可知加入衛星資料對於預報成效確實有提升，北半球在一月份就可以明顯看出改進，南半球則是一月份較差，在二月改進較明顯，可能是由於南半球的衛星觀測資料使用需要較長時間調整的緣故。

(三) 調整期對預報成效之影響

由於衛星觀測資料必須一調整期才能夠獲得較好的使用效率，進而提升模式預報成效。在本節利用 pEC15 及 pEC15L 來比較不同長度的調整期對於 CWB-GFS 預報成效的影響。

由表二，以實驗本身的分析場作校驗，北半球調整期延長1個月的pEC15L其距平相關都較pEC15略佳，二月份較明顯；南半球 pEC15L 一月份較pEC15 略佳，但二月份卻略差。溫度距平相關部分（圖 3），兩實驗的誤差在各高度上都差不多。以 NCEP 分析場作校驗（表三），情況相同，pEC15L

在南半球一月略差於 pEC15。溫度均方根誤差，兩實驗在 100hPa 差距較大，pEC15L 誤差較小，其餘高度上的誤差差不多。

由以上結果，拉長調整期除了在二月份較差外，其餘對於預報成效有正向的影響。

(四) 衛星偏差校正

AMSU-A具有15頻道，為了瞭解衛星資料的偏差校正調整情況，將在各頻道的觀測資料與猜測場差異量(observation minus first guess, o-g)畫出，進行分析。

圖5為pEC15第1、7和13頻道在平行測試期間衛星偏差校正o-g值的平均分布圖，虛線為調整前的分布，實線為調整後的分布。AMSU-A的15個頻道大致可分為4種情況，(1) 權重函數峰值接近地表，主要目的為探測地表特性：第1-4和15頻道，如圖5(a)所示，在偏差校正後o-g平均值接近於零(0.4707)，但整體分布的峰度(kurtosis)小；(2) 權重函數峰值在600~150hPa之間：5~8頻道，以頻道7為例，在衛星偏差校正後，平均值幾乎為零(小數點後5位)，且峰度較高，此為調整較好的情況，能有較多的觀測資料進入到同化系統；(3) 權重函數峰值在150~10hPa之間：9~12頻道，需要較長時間校正，調整後分布平均值能接近零；(4) 權重函數峰值高於5hPa：頻道13、14，則是一直無法將平均值調整為零，經過校正後平均值反而變大，為調整較差的情況，可能是由於權重函數峰值位置過高，模式無法將衛星資料校正回來，此頻道觀測資料幾乎不會進入至同化系統內。

而各頻道偏差校正的好壞會影響預報成效，圖6(a)為p30、pEC15和pEC15L在北半球100hPa的一天預報溫度均方根誤差隨時間的變化圖；(b)、(c)分別為pEC15及pEC15L在經過衛星偏差校正後，第9頻道觀測與猜測場差異(o-g)每6小時觀測平均隨時間變化圖。溫度均方根誤差在1月21日後漸漸變小，在此時間o-g值也漸漸接近零；在2月16日到2月20日之間溫度均方根誤差變大，o-g值也變大。另外比較pEC15和pEC15L之o-g值，pEC15L的o-g值較pEC15接近於零，從溫度均方根誤差也可看出pEC15L的誤差較pEC15小，顯示較長的調整期有助於衛星偏差校正，且衛星資料偏差校正較好，觀測與猜測場差異小的情況，對於預報表現也有正向影響。

五、結論與討論

本研究主要在探討 AMSU-A 衛星資料使用於 GSI 三維變分系統對於中央氣象局全球數值預報系統之影響，由實驗結果可知，在相同的資料使用量

下，GSI 系統表現比 SSI 系統佳，北半球有明顯的預報得分改進，在南半球兩者則較為中性。針對加入 AMSU-A 衛星資料的影響分析，其對預報分數有提升，二月比一月改進較多，以 500hPa 的 AC 得分為例，加入衛星資料後二月份的北半球可提升 0.01，南半球可提升 0.013。另外，實驗結果也發現，拉長衛星偏差校正調整期，可使衛星偏差校正後的觀測與猜測場差異值變更小，有助於衛星資料更正確的同化，進而提升預報成效。

本研究只針對 NOAA-15 及 NOAA-18 衛星的 AMSU-A 觀測資料進行分析，尚有 AMSU-B、HIRS、MHS 等儀器的觀測資料能使用，日後需設計實驗進一步作測試，找出對於中央氣象局全球預報

系統的最佳使用組合，進而提升預報準確度。

參考文獻

- 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學，渤海堂出版社，p.340-347。
- 周鑑本、葉天降，2003：AMSU 觀測的偏差修正及其在一維變分資料反演的運用，大氣科學，vol. 31 no. 1，p.55-75。
- 吳家苓、陳雯美、沈彥志、吳婉淑，2009：GSI 應用於中央氣象局全球數值預報系統之初步研究，天氣分析與預報研討會。

表一 各實驗觀測資料使用情況

實驗名稱	同化系統	觀測資料			
		傳統觀測資料	ECMWF	NOAA-15 AMSU-A	NOAA-18 AMSU-A
p30	SSI	✓	✓	✓	×
pEC	GSI	✓	✓	×	×
pEC15	GSI	✓	✓	✓	×
pEC18	GSI	✓	✓	×	✓
pEC15/18	GSI	✓	✓	✓	✓
pEC15L	GSI	✓	✓	✓	×

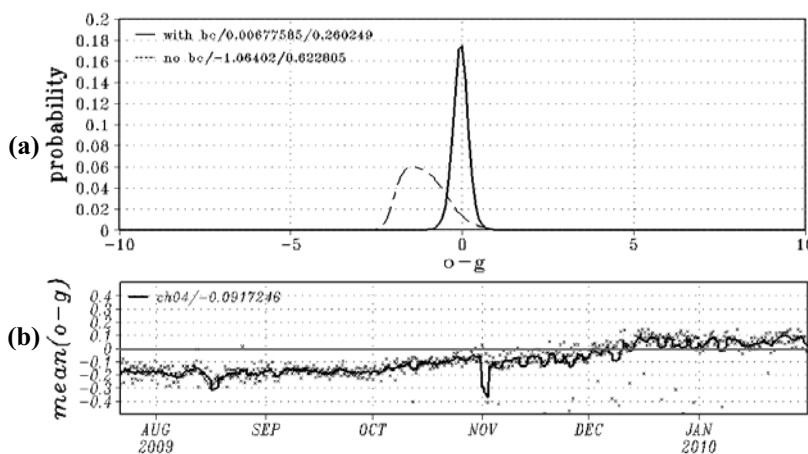


圖 1

(a) 衛星偏差校正前後觀測與模擬觀測亮溫差異(o-g)之分布圖。實線為校正後的分布，虛線為校正前的分布。橫軸為亮溫差異的大小，縱軸為發生機率。(b) 偏差校正後衛星觀測與模擬觀測亮溫差異隨時間變化圖。每個點為每六小時所接收到的資料 o-g 值的平均值，實線為取前 3 後 4 個點做位移平均(running means)的結果。

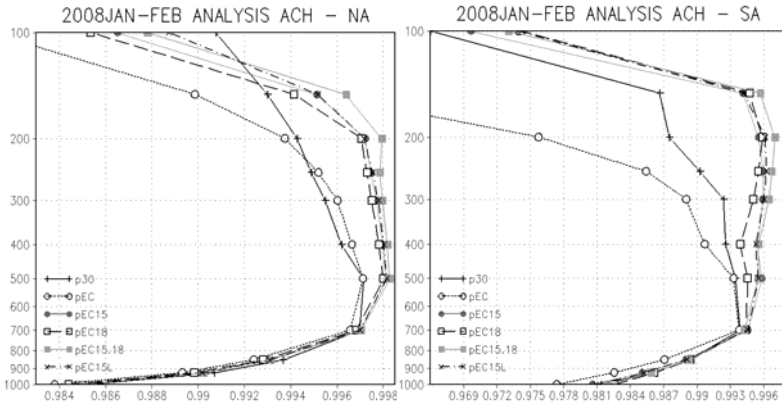


圖 2
實驗期間內各實驗分析場與 NCEP 分析場距平相關(Anomaly Correlation)隨氣壓的變化。十字實線為 p30，空心圓點線為 pEC，實心圓實線 pEC15，空心方塊虛線為 pEC18，實心方塊實線為 pEC15/18，乘號點虛線為 pEC15L。左圖代表北半球，右圖代表南半球。

表二 各實驗之海平面與 500hPa 高度場 5 天預報對實驗本身分析場校驗的距平相關得分。

5 day	NA				SA			
	SLP		500 hPa		SLP		500 hPa	
	Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb
p30	0.7915	0.7510	0.8271	0.7831	0.7667	0.7486	0.8139	0.8010
pEC	0.7846	0.7468	0.8218	0.7879	0.7636	0.7324	0.8089	0.7876
pEC15	0.7947	0.7581	0.8248	0.7977	0.7572	0.7485	0.8018	0.8000
pEC18	0.7940	0.7583	0.8256	0.7966	0.7528	0.7469	0.8022	0.8010
pEC15/18	0.7983	0.7584	0.8280	0.7976	0.7480	0.7437	0.7975	0.7966
pEC15L	0.7982	0.7588	0.8307	0.7988	0.7588	0.7420	0.8041	0.7930

表三 各實驗海平面與 500hPa 高度場 5 天預報對 NCEP 分析場校驗的距平相關得分。

5day	NA				SA			
	SLP		500 hPa		SLP		500 hPa	
	Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb	Jan	Feb
p30	0.7767	0.7385	0.8162	0.7766	0.7364	0.7267	0.8031	0.7908
pEC	0.7694	0.7341	0.8106	0.7800	0.7376	0.7131	0.7965	0.7735
pEC15	0.7803	0.7455	0.8214	0.7944	0.7324	0.7302	0.7958	0.7917
pEC18	0.7792	0.7463	0.8211	0.7915	0.7333	0.7278	0.7937	0.7913
pEC15/18	0.7842	0.7464	0.8255	0.7943	0.7272	0.7273	0.7924	0.7892
pEC15L	0.7839	0.7462	0.8274	0.7955	0.7339	0.7233	0.7971	0.7845

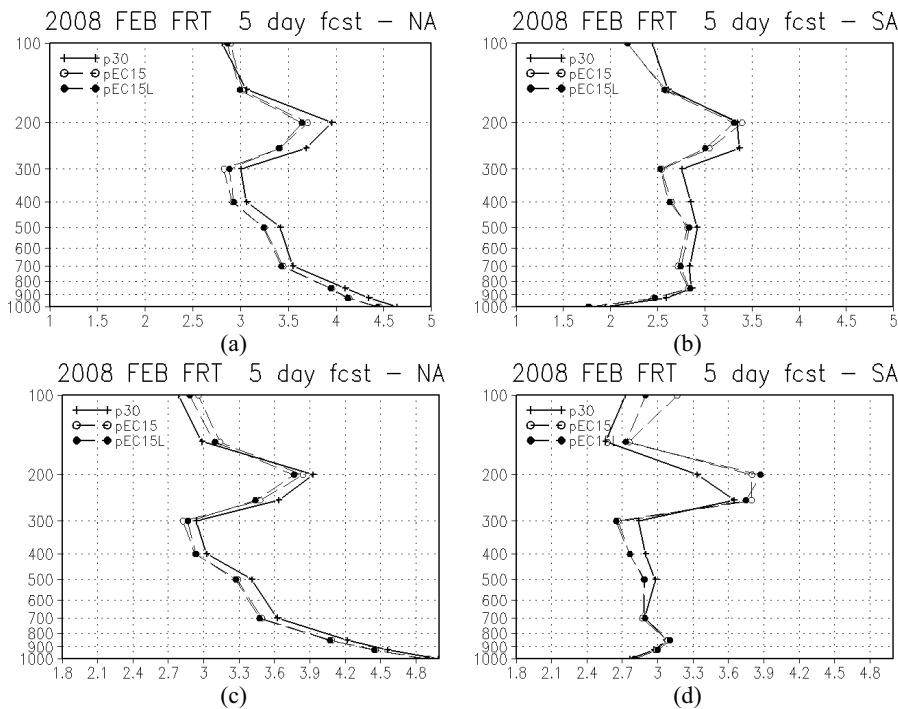


圖 3
p30、pEC15 及 pEC15L 二月份 5 天預報溫度的均分根誤差 (Root Mean Square Error of Temperature) 隨氣壓的變化。十字實線為 p30，空心圓虛線為 pEC15，實心圓虛線為 pEC15L。(a)-(b)為對實驗本身分析場作校驗，(c)-(d)為對 NCEP 分析場作校驗。

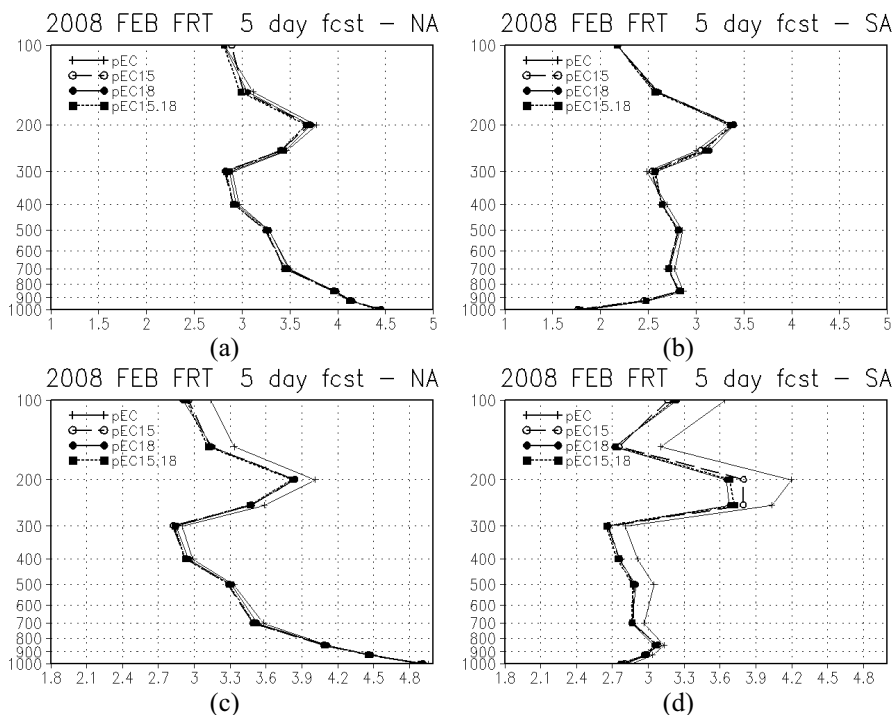


圖 4
pEC、pEC15、pEC18 及 pEC15/18 二月份 5 天預報溫度均分根誤差(Root Mean Square Error of Temperature)隨氣壓的變化。十字實線為 pEC，空心圓需線為 pEC15，實心圓實線為 pEC18，實心方塊點線為 pEC15/18。圖片配置如圖 3。

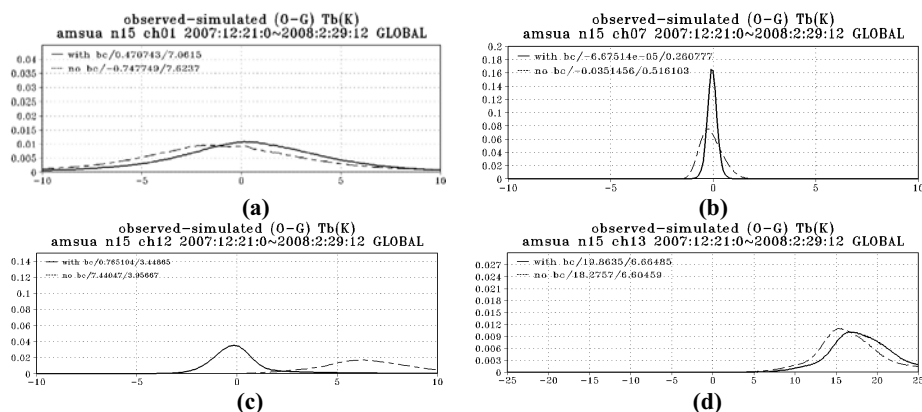


圖 5
pEC15 實驗在平測試期間衛星偏差校正前後觀測與猜測場差異(o-g 值)平均的分布圖。(a) 頻道 1，(b)為頻道 7，(c)為頻道 12，(d)為頻道 13，虛線為未校正前之分布，實線為校正後的分布。縱軸為發生機率，橫軸為 o-g 值大小。圖標後第一個數字為 o-g 的平均值，第二個數字代表分布的標準差。

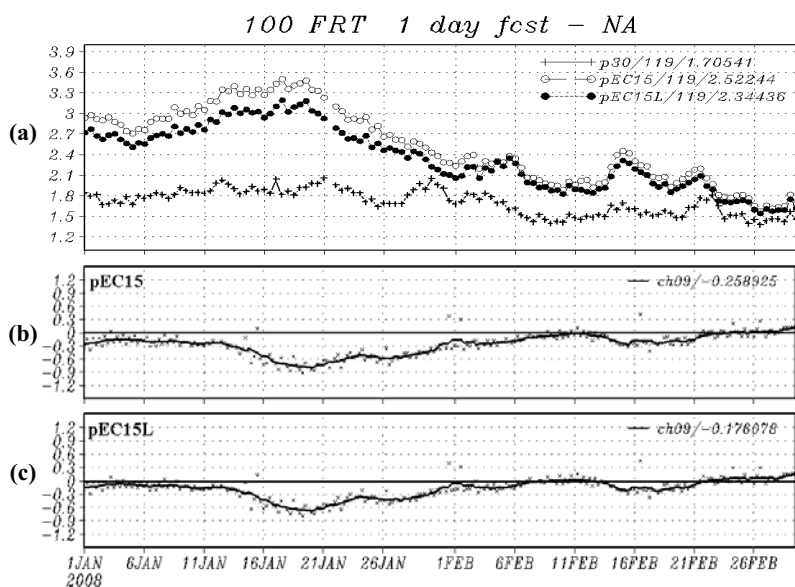


圖 6
(a) 為 p30、pEC15 和 pEC15L 在北半球 100hPa 的 1 天預報溫度均方根誤差隨時間的變化圖。十字實線為 p30，空心圓虛線為 pEC15，實心圓點線為 pEC15L；(b)、(c)分別為 pEC15 及 pEC15L 再經過衛星偏差校正後，第 9 頻道 o-g 值每六小時觀測平均隨時間變化圖，其中乘號為實際的平均值，實線部分為取前四後三個點作位移平均(running means)的結果。