

出國報告（出國類別：實習）

臺美氣象先進資料同化與預報模式
系統發展技術合作協議 -
系集調整卡爾曼濾波(**Ensemble
Adjustment Kalman Filter**)同化系統

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：江琇瑛 技士

派赴國家：美國

出國期間：101 年 4 月 12 日至 101 年 7 月 14 日

報告日期：101 年 9 月

摘要

系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter ; EAKF) 為美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research ; NCAR) 資料同化研究平台 (Data Assimilation Research Testbed ; DART) 近年來發展的最新資料同化系統。它是一種系集同化分析方法，與傳統變分資料同化最大差異在於模式的背景場誤差 (Background Error) 會隨時間變動，不是一固定值，係利用同化新的觀測資料後，先進行短時系集預報，將所得的系集預報場當作下一時步之系集模式背景場，而後依各系集成員背景場之間的相關特性，計算出新的背景場誤差，使背景場誤差特徵架構與實際大氣狀態有關聯，以提升同化觀測資料能力，降低預報誤差。

EAKF 同化系統已移植至本局高速電腦中，並且完成多次實驗個案測試與分析，已能在本局高速電腦中穩定運行。為了進一步有效評估本局 EAKF 同化效益，本次赴美實習，主要學習 EAFK 系集同化系統對觀測資料之處理，如觀測資料型態與宣告之設定、觀測資料之品質控制 (Quality Control ; QC) 和觀測運算因子流程等，並將歐洲中期氣象預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ; ECMWF) 全球模式之預報場作為觀測資料，稱為 EC BOGUS 資料，植入於 EAKF 系集同化系統中作同化，改善部分地區無觀測資料更新模式背景場之問題，以提高模式預報表現與準確度。

關鍵詞：系集調整卡爾曼濾波(EAKF)；系集同化

目次

一、目的	.....	1
二、過程	.....	3
三、心得	.....	5
四、建議	.....	16
附圖	.....	18

一、目的

由於臺灣地區緊鄰全球最大的陸塊-歐亞大陸和全球最大的海洋-太平洋，並處於颱風主要生成與移動路徑區域，再加上地勢陡峭，造成天氣系統複雜且變化多端。為了能有效掌握臺灣局部地區的天氣變化，中尺度天氣預報模式技術一直是本局短期預報發展的重要項目。然而在天氣預報模式中，預報結果仰賴於模式初始場，而資料同化系統在改善初始場分析扮演重要角色，它影響數值模式預報結果的準確性，故資料同化技術的強化逐漸受到國際上多個單位與學術機構的重視，同時也是本局極力發展的重要項目之一。

系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter ; EAKF) 為美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research ; NCAR) 資料同化研究平台 (Data Assimilation Research Testbed ; DART) 近年來發展的最近資料同化系統。它是一種系集同化分析方法，背景場誤差會隨時間更新，使背景場誤差特徵架構接近於實際大氣狀態，進而提升同化觀測資料能力，改善數值模式預報能力。此方法近年來被積極研究與討論，也逐漸在不同的作業中心開始進行測試與作業，為中央氣象局(以下簡稱本局)資料同化技術發展的重要項目之一。透過與 NCAR 的合作，職奉派赴美參與本項工作的發展、上線作業的建置、測試與更新等，期能強化本局數值預報作業之資料同化技術，進而提升本局數值預報之作業效率。

此行赴美的主要目的是將歐洲中期氣象預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ; ECMWF) 資料，植入系集調整卡爾曼濾波 (Ensemble Adjustment Kalman Filter system, EAKF) 系統作同化。ECMWF 中心之預報準確度於國際間是眾所皆知的，故使用 ECMWF 全球模式之預報場作為觀測資料，稱為 EC BOGUS 資料，植入於 EAKF 系集同化系統中作同化。EC BOGUS 資料水平分布均勻，主要改善部分地區無觀測資料更新模式背影場，尤其在海上區域。因此，透過與 NCAR 的合作，參與本項工作的測試與調整等，預期提升本局數值預報作業之資料同化效能，提高模式預報表現與準確度。

為更進一步提升 EC BOGUS 資料於 EAKF 同化系統之運用，以增加模式預

報效益，故針對 EC BGOSU 資料進行不同使用策略之實驗測試，如該資料之處理方式、EAKF 系統之控制參數調整等，不同實驗之預報評估結果將於本報告中說明。

二、過程

本次實習時間為 101 年 4 月 12 日至 101 年 7 月 14 日，與 NCAR 劉輝博士研究 EAKF 資料同化系統。此次行程與研究內容如下：

日期	地點與相關工作內容
101/04/12	臺北 → 洛杉磯 → 丹佛 (Denver) → 搭乘巴士至波爾德市 (Boulder)
101/04/13	至美國國家大氣科學研究中心(NCAR)報到
100/04/16~100/04/30	<ol style="list-style-type: none"> 1、固定觀測資料數量，探討不同 CPU 數量其 EAKF 的計算效率。在實驗中，資料量為 18000，經由 3 次的時間測試時間，結果是時間遞減率隨 CPU 個數增加而減小。即使用大量 CPU 個數是「無法」有效減少 EAKF 同化時間計算。故如何運用觀測資料執行 EAKF 是一很重要的課題。 2、了解 3DVAR 與 EAKF 兩者系統於不同觀測資料之 QC 流程和觀測運算因子流程的差異，並與 NCAR 學者討論，而後進階修改 EAKF 觀測資料處理程式「cwb_obs_process」中之溫度、氣壓、飽和水氣壓之極限範圍設定、探空資料之選取層面設定、水氣場與其誤差之計算。 3、了解 EAKF 系統觀測資料型態與宣告之設定。
101/05/01~101/05/31	<ol style="list-style-type: none"> 1、完成更新 EAKF 同化系統版本，並了解到此新版本主要在 filter 流程中，在計算相關係數時，修正對分母為 0 時的判別檢查項目。 2、更新 EAKF 觀測資料處理程式中之探空資料在垂直層面上之選取，500mb 以下者其間距為 25mb，500mb 之上者其間距為 12.5mb。 3、了解觀測資料型態與宣告之設定，同時將了解到的宣告資訊，將 EC BOGUS 資料植入於 EAKF 同化系統中。 4、執行民國 100 年 6 月和 12 月各 2 星期個案，並分析與探討 EC BOGUS (2.5 度 x2.5 度資料) 對 EAKF 的作用。 5、額外再執行只有 5 度 x5 度的 EC BOGUS 資料之實驗，分析此對 EAKF 的影響，並與 2.5 度 x2.5 度 EC BOGUS 資料之結果作比較。

	<p>6、閱讀 SKEB 相關論文，了解其原理，並進階了解 NCAR 學者劉輝博士對 SKEB 之參數設定原理，並利用此數值設定，作民國 100 年 6 月和 12 月各 2 星期個案，並與 2.5 度 x2.5 度 EC BOGUS 資料之結果作比較。</p>
101/06/01~101/06/30	<p>1、利用「obs_common_subset」程式重新診斷 2.5 度 x2.5 度 EC bogus 資料對 EAKF 作用。此程式目的是將相同觀測資料取出，故在診斷時是比較相同的觀測資料。</p> <p>2、進行針對 EC BOGUS 之 localization 控制參數之實驗，在此 localization 值由 0.1 弧度減小至 0.05 弧度，目的是減少 EC BOGUS 影響範圍，分析此對 EC BOGUS 同化表現之影響。</p> <p>3、進行 EAKF 系統之 inflation 控制參數之實驗，在此實驗其 inflation 值由 0.6 放大致 0.8，目的是強制增加系集放大作用，分析有同化 EC Bogus 資料系統下，對系集離散度作用為何。</p> <p>4、進行放大 EC BOGUS 觀測誤差之實驗，分析不同 EC BOGUS 觀測誤差值對 EAKF 同化效能之影響。</p> <p>5、參加 6/25~6/29 之民國 101 年 WRF Summer Workshop，網址為： http://www.mmm.ucar.edu/events/2012_wrfusers/agenda.php</p> <p>6、參加 6/18~6/22 之 CWB 與 NCAR 之 Mid-term Project Review 會議</p>
101/07/01~101/07/11	<p>1、進行 SKEB 實驗，目的是增加模式預報 6 小時的不確定性，分析有同化 EC Bogus 資料系統下，對系集離散度作用為何。</p> <p>2、針對 EC BOGUS 資料之 Localization 控制參數，進行民國 100 年 12 月 05 日~12 月 8 日之短時間同化實驗測試，目的分析不同 EC BOGUS 資料之同化範圍對系集離散度之影響。</p>
101/07/12~101/07/14	<p>波爾德市 → 丹佛 → 洛杉磯 → 返回臺北</p>

三、心得

此次研究主要學習 EAFK 系集同化系統對觀測資料處理之流程架構，並將歐洲中期氣象預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF) 全球模式之預報場作為觀測資料，稱為 EC BOGUS 資料，植入於 EAKF 系集同化系統中作同化，同時針對該資料進一步調整 EAKF 同化系統之控制參數，進行不同實驗測試，配合診斷系統作詳細的分析。在與 NCAR 劉輝博士討論及協助下，得以完成植入 EC BOGUS 資料和調整 EAKF 參數測試實驗等工作項目，順利達成任務，也藉此學習到 EAKF 同化流程程序、診斷資料、概念釐清等寶貴經驗，獲益良多。茲就此次赴美的工作內容與心得，分述如下：

(一) EAKF 資料同化系統概述與流程

資料同化是將選取時間內的觀測資料，結合模式背景場(預報場)，應用機率密度函數 (Probability Density Function) 之統計觀念，分析並改善模式背景場，進一步提升數值模式預報準確率，其經資料同化後的模式背景場另稱為分析場 (Analysis)。

EAKF 是一種系集同化分析方法，它與傳統變分資料同化最大差異在於背景場誤差 (Background Error) 的更新。在傳統變分資料同化中，背景場誤差採用觀測法或 NMC (National Meteorological Center) 等統計方法求得，透過係數調整決定其值，故使用的背景場誤差為一固定值。反之，EAKF 的背景場誤差會隨時間變動，係利用同化新的觀測資料後，進行短時系集預報計算出新的背景場誤差，故背景場誤差與天氣型態有關聯，使得背景場誤差更接近於實際大氣狀態，進而提升同化觀測資料能力，降低預報誤差，提升數值模式預報能力。

本局 EAKF 資料同化系統流程(圖 1)如下：

- (a) 利用 NCEP (National Center for Environmental Prediction) 全球模式產生初始場和邊界場。
- (b) 利用 WRFVAR 產出隨機 (random) 模式初始場功能，擷取 NCEP CV3 之背景場誤差結構，加入隨機亂數，產生 N 組擾動初始場。利用 N 組擾

動初始場更新步驟(a)的邊界場，以得到 N 組擾動邊界場。

- (c) 經由 6 小時 WRF 模式短時系集預報($x_m^f, m=1, \dots, N$)當作模式背景場。
- (d) 將 N 組模式背景場成員與觀測資料(y^o, σ_o)進行 EAKF 系集資料同化，得到 N 組系集分析場($x_m^a, m=1, \dots, N$)和系集平均分析場($\overline{x^a}$)。
- (e) 利用系集平均分析場更新步驟(a)的邊界場，進行系集平均的 72 小時 WRF 模式預報。
- (f) 由 EAKF 分析後的 N 組系集分析場，更新步驟(b)對應的擾動邊界場，進行系集 6 小時 WRF 模式短時預報，以提供下一時刻之 N 組背景場，進行 EAKF 系集資料同化。

EAKF 與傳統 EnKF (Ensemble Kalman Filter) 雖然都是使用卡爾曼濾波 (Kalman Filter) 方法進行系集資料同化，但 EAKF 與傳統 EnKF 資料同化的過程並不相同。傳統 EnKF 同化得到之 N 組系集分析場 (圖 2(b))，是藉由隨機擾動「強迫」產出 N 組擾動觀測值，一對一隨機與 N 組背景場配對所計算出來的，如圖 2(a)所示，其中擾動觀測值主要依觀測值(y^o)與觀測誤差統計特性(σ_o)得到。而 EAKF 系集同化過程，首先經背景場和觀測值之機率密度分布，得到決定性分析場之機率密度分布，再由此分析場機率分布之統計特性，將各系集成員背景場作調整 (Adjustment) 過程 – 平移 (Mean Shifted) 與系集成員變異數調整 (Variance Adjusted)，進而得到 N 組系集分析場，如圖 3 所示。

(二) EAKF 資料同化系統控制參數概述

2.1、Standard Deviation of covariance inflation factor

系集成員背景場之離散程度，會因持續進行循環 (cycling) 資料同化流程，離散分布會變得愈來愈小，此將使 EAKF 同化效能逐漸降低，最後變為無法與觀測資料進行同化動作，即無同化觀測資料能力。為了避免此問題發生，在同化系統過程中，必需作「放大」(inflation) 項目，將系集成員背景場之離散程度再次增加，進一步提升資料同化效能，而 Standard Deviation of covariance inflation factor 就是控制放大倍率之重要控制變數。

EAKF 同化系統之「放大」過程，會依據「系集平均背景場與觀測值差異大

小」、「背景場誤差統計性質」與「觀測誤差統計性質」此 3 項內在因素，再加上外在因素 - 「Standard Deviation of covariance inflation factor 控制變數」，決定當時之放大倍率。當 Standard Deviation of covariance inflation factor 變數值設愈大時，表示放大倍率值也將愈大。

2.2、Localization

依據「模式網格點背景場」與「內插至觀測點上之背景場」，其兩者系集成員分布性質，經統計運算得到彼此間的相關特性，架構出背景場誤差結構特徵。不過利用系集成員進行相關計算過程時，會因系集成員數量不足，造成運算出的相關值有嚴重之誤差。例如圖 4 中的 P 點網格點(藍色圓點)和 O 點觀測點(紅色圓點)，二者實際上無相關，即相關值應為 0，但經由系集成員之統計運算，得到的相關值不一定為 0，有可能呈現 0.0 ~ 之些許相關值存在，原本無相關變為有相關關係，對於此問題稱為「相關雜訊」(noise) 現象。

如果相關雜訊過於嚴重，將破壞背景場誤差結構特性，進一步使預報準確率降低。為了儘量減化此問題的存在，故只取鄰近範圍作相關值運算，如圖 4 中 O 點觀測點(紅色圓點)之淺綠色範圍內的網格點(綠色圓點)，才會進行相關值計算流程，其中 Localization 變數就是控制相關範圍大小。

Localization 參數雖可減緩相關雜訊問題，但這也間接使得系集成員模擬出的背景場誤差結構特徵變得較不完整，因此如何選取 Localization 參數大小，使得相關雜訊問題有效降低，同時也能保有背景場誤差所該有的重要特徵，這是一項很重要之議題。

(三) 診斷/校驗系統概述

3.1、基本概述

本次實習之診斷/校驗系統，主要是在「觀測空間」(observation-space) 執行，即模式網格點之參數值需先作內插程序，將模式網格點參數值內插至觀測點上，而後再與觀測值進行診斷、校驗流程。

3.2、EAKF 同化效能診斷說明

在 2.1 節有提及，系集成員背景場之離散程度會影響 EAKF 同化效能，為了評估各實驗對 EAKF 同化效能之差異，必須要有定量數值之協助，以判斷觀測點上系集成員背景場之離散程度是否有過小之趨勢。因此透過 RMSE (Root Mean Square Error) 與 TotalSPRD (Total Ensemble Spread) 之比較結果，分析 EAKF 同化效能為何，另外也可透過 BIAS (Mean Error) 補助來了解系集平均背景值對觀測值之偏差情況。在此診斷係統中，RMSE、TotalSPRD 與 BIAS 之數學公式分別為：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\bar{x}^f - y^o)_n^2}, \quad TotalSPRD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\sigma_b^2 - \sigma_o^2)}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\bar{x}^f - y^o)_n$$

其中， \bar{x}^f 代表系集平均背景場。

y^o 代表觀測值。

σ_b^2 代表背景誤差統計特性，和變異數所代表之意思相同，由各個成員背景值和背景平均值的差異進行平均計算得到。

σ_o^2 代表觀測誤差統計特性，即為觀測值之變異數。

N 代表觀測數量。

當 TotalSPRD 與 RMSE 兩數值幾乎相似時，表示系集成員背景場之離散程度為最佳狀態；當 TotalSPRD 值明顯「小於」RMSE 值時，代表系集離散程度不足，將降低 EAKF 系統之同化效能。

3.3、預報結果校驗說明

執行預報結果校驗分析時，主要將觀測值當作真值 (true)，故與觀測值進行比對程序，因此透過 RMSE 評估 EAKF 控制變數對模式預報之準確率為何，同時可藉由 BIAS 了解預報結果與觀測值之間的偏差情況，其中模式預報結果是由系集平均分析場 (ensemble mean analysis) 經 72 小時預報之結果。在預報校驗系統中，RMSE 與 BIAS 之數學公式分別為：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f - y^o)^2}, \quad BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f - y^o)_n$$

其中， f 代表模式經預報 72 小時之結果。

y^o 代表觀測值；

N 代表觀測數量。

因此，當 RMSE 值愈趨近於 0 時，代表模式預報結果與觀測真值之間的差異愈小，即預報準確率愈高。

(四) 實驗設計

4.1、實驗設計說明

本次研究使用 WRF 模式進行實驗，其動力模組採用 WRF-ARW，使用單層巢狀網格架構，其水平解析度設定為 45km，網格點數為 222x128，投影法為藍伯特 (Lambert)，模式範圍如圖 5 所示，而垂直解析度設定為 45 層，模式頂為 30hPa。職選取 ECMWF 全球模式之 24 小時預報為觀測資料植入 EAKF 系集同化系統，該資料稱 EC BOGUS，期望藉此瞭解植入 ECMWF 資料對於 EAKF 及 WRF 模式效能之影響。此資料區域大小與解析度分別為 144x73 和 2.5°x2.5°，資料分布如圖 6 所示，1 日兩筆 00 及 12 時，層場內容為 850hPa 溫度與相對溼度，以及 850、700、500 與 200hPa 的風場。

職選取民國 100 年 6 月 1 日~14 日及 12 月 1 日~14 日，即夏、冬各 2 星期之個案，並採用「32 組」系集成員執行 WRF/EAKF 每 6 小時 cycling run，在個案期間選取 00UTC 和 12UTC 之 32 組系集平均分析場結果進行 72 小時預報。關於 EAKF 控制參數之主要設定為：Standard Deviation of covariance inflation factor (簡稱 sd) 設為 0.6、Localization 設為 0.1 (單位為弧度)。

在診斷/校驗流程中，職選用探空資料 (radiosondes) 作比對，因探空資料具有均勻的空間分布、在時間上資料量變化小、觀測值較精確…等優勢，其計算得到的 RMSE、BIAS、TotalSPRD 數值較具有代表性，其中主要診斷/校驗之氣象參數為溫度場、U 風場(x 方向風場)和 V 風場(y 方向風場)。故用此診斷/校驗系

統評估植入 ECMWF 資料對於 EAKF 同化系統和 WRF 模式效能之影響。

4.2、植入 ECMWF 資料 (EC BOGUS) 實驗診斷結果

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 7 所示，結果分析有同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (紅色虛線) 比無同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (藍色虛線) 小，表示 EC BOGUS 資料進入 EAKF 系集同化系統之同化流程，使系集成員離散分布變小，尤其風場結果特別明顯。進階由系集離散程度是否足夠之角度來看，從圖 7 中可看出 TotalSPRD 和 RMSE 此兩條曲線值之差異變得更大，表示系集離散度變得更不足夠。另外，在中高流層溫度場(圖 7(a))，也看出有同化 EC BOGUS 實驗的 RMSE (紅色實驗線) 比無同化 EC BOGUS 實驗的 RMSE (藍色實驗線) 大，即溫度場之系集 6 小時短時預報準確度降低。

在冬季個案剖面圖結果，如圖 8 所示，有同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (紅色虛線) 數值小於無同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (藍色虛線) 非常明顯，並且整層大氣皆有變小之現象。另外由 RMSE 曲線比較結果，得到藍色實驗線之 RMSE 值與紅色實驗線之 RMSE 幾乎無差異，表示同化 EC BOGUS 資料對系集短時預報準確度無正貢獻。此不論是溫度場(圖 8(a))、U 風場(圖 8(b))和 V 風場(圖 8(c))方面都有相同的結果。

統整上述結果，加入水平數量多且分布均勻之 EC BOGUS 資料，將使原本已不足夠之系集離散程度再次變得更小，尤其在冬季天氣系統特別顯著。然而過小之系集離散度可能無法得到準確的背景場誤差之相關特性，將進一步降低 EAKF 同化系統之效能。另外，對於夏季天氣個案中，系集 6 小時短時預報有趨向負效益之現象。總而言之，同化 EC BOGUS 資料反而不利於提升 EAKF 系統同化效能。

由此實驗也進階思考目前使用之 EAKF 系集同化系統控制參數可能不利於 EC BOGUS 資料之使用，故將進階調整重要控制參數如 Standard Deviation of covariance inflation factor 和 Localization，或是修改 EC BOGUS 資料觀測誤差，或是運用 WRF 模式中隨機動能後項散射法等不同使用策略，進一步探討 EC BOGUS 資料使用不同策略對 EAKF 系統同化之效能差異。

(五) 不同 EC BOGUS 資料使用策略之效能表現

5.1、隨機動能後項散射法(簡稱 SKEB)策略

天氣研究與預報模式 (Weather Research and Forecasting Model ; WRF) 之隨機動能後項散射法 (stochastic kinetic-energy backscatter ; SKEB) ，簡稱 SKEB 法，此方法係利用內部程式產制隨機數值並配合次網格渦度消散理論，在每次模式時間步時(time step)之物理過程加入隨機擾動值。探討 SKEB 方法於 EAKF 系集同化系統，目的是在增加系集成員預報 6 小時之模式不確定性的情況下，分析有無使用 EC BOGUS 資料對於 EAKF 同化效能之作用。

在此實驗中，重要 EAKF 控制參數仍使用原先設定，分別為：Standard Deviation of covariance inflation factor 設定 0.6，Localization 設定 0.1 弧度。

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 9 所示，結果分析有同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (紅色虛線) 一樣比無同化 EC BOGUS 實驗的 TotalSPRD (藍色虛線) 小，且仍是風場結果特別明顯。在系集預報結果中，由圖 9(b)、9(c)可得紅色實驗 RMSE 值小於藍色實驗，故對風場而言，系集 6 小時短時預報準確度為增加的，但由圖 9(a)可看出有同化 EC BOGUS 實驗的 RMSE (紅色實驗線) 比無同化 EC BOGUS 實驗的 RMSE (藍色實驗線) 大，即中對流層溫度場之系集預報 6 小時準確度有降低現象。

在冬季個案剖面圖結果，如圖 10 所示，可看出溫度場(圖 10(a))、U 風場(圖 10(b))和 V 風場(圖 10(c))之紅色實線 RSME 值小於藍色實線，即同化 EC BOGUS 資料有助於提升冬季系統之系集短時預報準確度。但同時看出，紅色虛線 TotalSPRD 值明顯小於藍色虛線，表示同化 EC BOGUS 資料仍使系集離散程度變小。

統整上述結果，在 SKEB 方法使用策略中，EC BOGUS 資料是有助於提升系集 6 小時短時預報準確度，尤其在風場方面。但進階以系集離散程度是否足夠之角度來看，值入 EC BOGUS 資料仍使集離散程度不足。這項實驗結果探討出，即使藉由 SKEB 方法增加系集預報 6 小時準確度，以增加系集的離散程度，但當 EAKF 系統同化水平數量多且分布均勻的觀測資料，如 EC BOGUS 資料，會有減弱系集離散大小之趨勢，故對於如何運用 EC BOGUS 資料，將深入調整該系

統控制參數，Localization 和 Standard Deviation of covariance inflation factor，分析其對 EAKF 系統同化 EC BOGUS 資料之效能差異。

5.2、調整 Localization 控制參數策略

由 2.2 章節敘述可得知，Localization 值代表觀測資料影響周圍網格點之範圍，目的是為了減緩相關雜訊問題，但同時也可能使系集成員模擬出的背景場誤差結構特徵變得不完整。不過對於水平數量多且分布均勻之 EC BOGUS 資料，過大的 Localization 範圍似乎讓某一網格點有過多的 EC BOGUS 資料之資訊，造成在同化中有些負擔，如一網格點被相似觀測資料同化許多次，在此情況下，同化分析的分析增量(increment)可能無變化，但在網格上之系集成員卻因經多次的同化流程，一次一次使該系集離散度變小，使系集離散不足。

原本 Localization 設定值 0.1 弧度，代表觀測資料影響周圍網格點之範圍大約半徑 600 公里，在此實驗中，Localization 設定值調整為 0.05 弧度，影響範圍縮減為半徑 300 公里，如圖 11 所示。另外 Standard Deviation of covariance inflation factor 控制參數仍用原先設定值 0.6，主要先探討不同 Localization 大小之作用。

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 12 所示，此圖進階分兩方面分析，其一是比較綠色曲線和紅色曲線，目的探討 0.1 弧度與 0.05 弧度的 Localization 之結果差異，另一個是比較綠色曲線和藍色曲線，目的是了解 Localization 減少為 0.05 弧度，EC BOGUS 資料對 EAKF 同化效能為何。先由綠色與藍色曲線比較結果得知，有同化 EC BOGUS 實驗之 RMSE (綠色曲線) 比無同化 EC BOGUS 實驗 (紅色曲線) 小，其中以風場最明顯，代表 EC BOGUS 使用 0.05 弧度的 Localization 範圍，可提升系集短時預報。但在系集離散程度上，在圖 12 中有同化 EC BOGUS 實驗之 TotalSPRD (綠色曲線) 仍小於無同化 EC BOGUS 實驗 (藍色曲線)，系集成員離散分布仍偏小。

關於系集離散度，進一步了解綠色與紅色曲線比較結果，得知使用 0.05 弧度實驗之 TotalSPRD (綠色曲線) 明顯大於使用 0.1 弧度之 TotalSPRD (紅色曲線)，另外在溫度場(圖 12(a))之 RMSE 曲線，也可看出使用 0.05 弧度實驗之 RMSE 小於使用 0.1 弧度實驗之 RMSE，系集短時預報為正貢獻。

在冬季個案剖面圖結果，如圖 13 所示，該結果與夏季結果相同，使用 0.05 弧度的 Localization 仍提升系集成員離散度，且整層對流層皆有此現象，另外也提升系集成員 6 小時預報準確度。此不論是溫度場(圖 13(a))、U 風場(圖 13(b)) 和 V 風場(圖 13(c))方面都有相同的結果。

統整上述結果，將 Localization 由 0.1 弧度調整至 0.05 弧度，明顯有助於 EC BOGUS 資料提升 EAKF 同化效能，因系集成員離散程度增加且系集 6 小時預報準確度提升。該結果也顯示出使用水平數量多且分布均勻之觀測資料，使用過大之 Localization 範圍，反而減弱該觀測資料之優勢，降低 EAKF 同化效能。對於 EAKF 如何處理該類資料，將是未來需面對並討論之重要議題。

5.3、調整 Standard Deviation of covariance inflation factor (簡稱 sd) 參數策略

由 2.1 章節敘述可得知，控制參數 sd 目的是為了避免 EAKF 系統因持續進行循環 (cycling) 資料同化流程進階導致系集離散分布愈來愈小之現象，故作系集「放大」(inflation) 作用，當 sd 值愈大時，放大倍率將增加。另外由 5.2 章節得知使用 Localization 為 0.05 弧度同化 EC BOGUS 資料可提升 EAKF 系統同化效能，因此持續延用 Localization 為 0.05 弧度之設定，進階調整 sd 控制參數，由 0.6 變為 0.8，在強制增加系集放大倍率作用之設定下，探討有無使用 EC BOGUS 資料對於 EAKF 同化效能為何。

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 14 所示，由圖中可看出有同化 EC BOGUS 實驗之 RMSE 值(紅色實線)較小，而 TotalSPRD 值(紅色虛線)仍偏小，參數 sd 調整實驗比較結果與 5.2 章節圖 12 中綠色曲線和藍色曲線比較結果雷同，即系集預報 6 小時準確度為增加，但系集離散分布仍為變小之現象。冬季個案診斷剖面圖，如圖 15 所示，也有相同之結果，使用 sd-0.6 和 sd-0.8 兩者控制參數設定對 EAKF 同化效能無太大差異。

統整此策略實驗結果，分析出將 sd 值增加至 0.8，加強系集分布放大作用，但仍無法有效改善同化 EC BOGUS 資料使系集離散度變小之問題，調整 sd 控制參數不能像 Localization 實驗一樣，在系集散程有很大之改變。至於為何將 sd 數值放大仍無法增大系集成員分布，關於該問題是否需進階了解 EAKF 系統放大作用流程，仍有待觀察。

5.4、調整 EC BOGUS 資料觀測誤差值策略

探討 Standard Deviation of covariance inflation factor 和 Localization 兩者控制參數對 EAKF 同化效能之影響後，進階以觀測資料在同化流程之權重的角度分析同化效能的差異，故調整 EC BOGUS 觀測誤差進行實驗。由美國 NCAR 單位學者之建議，將 EC BOGUS 觀測誤差放大 1.7 倍作測試。在實驗中，sd 值和 Localization 兩者參數仍分別設定為 0.8 和 0.05 弧度。

在冬季個案剖面圖結果，如圖 16 所示，圖中主要比較紅色曲線(無改變 EC BOGUS 資料誤差)和綠色曲線(放大 EC BOGUS 資料誤差至 1.7 倍)，以了解放大 EC BOGUS 觀測誤差的結果，由圖中得到綠色曲線的 TotalSPRD 無明顯差異，即觀測誤差權重對系集離散程度無太大作用。但 RMSE 曲線上，溫度場(圖 16(a))之綠色曲線有變大的現象，故將 EC BOGUS 觀測誤差增加，反而使系集 6 小時預報準確度降低。

5.5、整體評估與結果

經過隨機動能後項散射法(SKEB)、Standard Deviation of covariance inflation factor、Localization 和放大觀測誤差實驗，由此實驗中了解到「Localization」控制參數是主要影響 EC BOGUS 資料如何用於 EAKF 同化系統中，此參數不論是在系集離散程度或是系集短時預報準確度上皆有很大之影響，並推測 Localization 參數對水平數量多且分布均勻之觀測資料特別重要。

(六)、系集平均之 72 小時預報效益表現

由「Localization」控制參數實驗了解 EC BOGUS 資料之 Localization 範圍設定為 0.05 弧度，使 EAKF 系統同化效能為「正」貢獻，故進階分析該策略同化後得到的系集平均，對 72 小時之預報效益為何。為了主要有效了解該實驗對預報效益之表現，故將夏季個案與冬季個案期間之第 12、24、36、48、60 及 72 小時預報時作 RMSE 平均，與無同化 EC BOGUS 實驗比較。由 RMSE 減少之百分比評估有無同化 EC BOGUS 實驗對預報能力之改善趨勢，如圖 17 所示，在圖中「正值」代表 RMSE 是減少的，故值愈大代表預報改善愈顯著。

首先探討夏季個案校驗結果，如圖 17(a)所示，由此圖分析出溫度場、U 風場和 V 場風的曲線值皆為正，即同化 EC BOGUS 資料將提升系集平均 (ensemble mean) 預報效益，且至第 72 小時預報仍有此現象。在冬季個案校驗結果，如圖 17(b)所示，三者參數曲線在前半期為「正」效益，但在第 60~72 小時預報後期，溫度場之系集平均預報有偏向「負」效益之趨勢，顯然地冬季個案的系集平均預報表現比夏季個案略差。

統整「Localization」策略實驗之預報效益結果，EC BOGUS 資料運用 Localization 為 0.05 弧度之策略進行 EAKF 同化，整體上可改善系集平均預報準確度，尤其對於夏季天氣系統特別顯著。

四、建議

WRF 模式是美國主要發展中的中尺度預報模式，也為國際間許多單位使用，除了應用較為進步的數值計算方式以及模組結構化的架構之外，它亦同時提供作業上，以及研究上多樣化的物理選項可供不同的用途。本局經多次與美國國家大氣研究中心(NCAR)共同合作天氣預報模式與資料同化系統，已在高速電腦中完成 WRF 模式與 EAKF 資料同化系統建置，並且完成多次實驗個案測試與分析，EAKF 資料同化系統已能在本局高速電腦中穩定運行。但是 EAKF 同化系統內部仍有許多尚待瞭解與探索地方以進行調整。對於未來之工作方向，職提出以下幾點建議：

(一) 同化觀測資料之使用策略

由本次實習，主要評估植入 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts；歐洲中期氣象預報中心) 資料 (稱為 EC BOGUS) 進行同化後對 EAKF 系統之同化效能影響，經由多次之控制參數調整與其它策略等實驗，以提升 EC BOGUS 資料之運用。由實驗結果得知同化 EC BOGUS 資料可提升預報準確度，對模式預報能力是有進步空間，但此主要是針對綜觀個案得到之初步結果，故將進階進行不同颱風個案之參數測試研究，進一步分析 EAKF 系統同化 EC BOGUS 資料對颱風路徑之影響，期望能有效改善颱風路徑預報誤差。

(二) EAKF 同化流程架構之瞭解

經由「Localization」策略之實驗，得到調整 EC BOGUS 資料之 Localization 控制參數，對系集離散度有明顯之差異，Localization 設定變小使系集離散程度增加。Localization 參數代表觀測資料之同化影響範圍，它也代表某一網格點被觀測資料同化的次數將增加，這可能使網格上之系集成員因經多次的同化流程，逐漸地使該網格點上之系集離散度變小。然而 EAKF 系統為了防止系集離散分布有過小之問題，因此執行「系集放大作用」(inflation)，但由實驗得知其系集放大作用仍不及因同化流程造成系集離散變小之現象，因為由增加放大因子(由 sd-0.6 設為 sd-0.8)實驗得知，增加放大倍率仍不能有效改善系集離散度不足之問題。

系集離散程度除了受到「Localization」同化範圍之影響，EAKF 內部系統裡

之 inflation 作用也是重要角色之一，故對於網格與觀測資料之間之同化過程，或是系集 inflation 放大作用架構，或是兩者間之交互作用等是未來需進一步探討之課題。

附圖

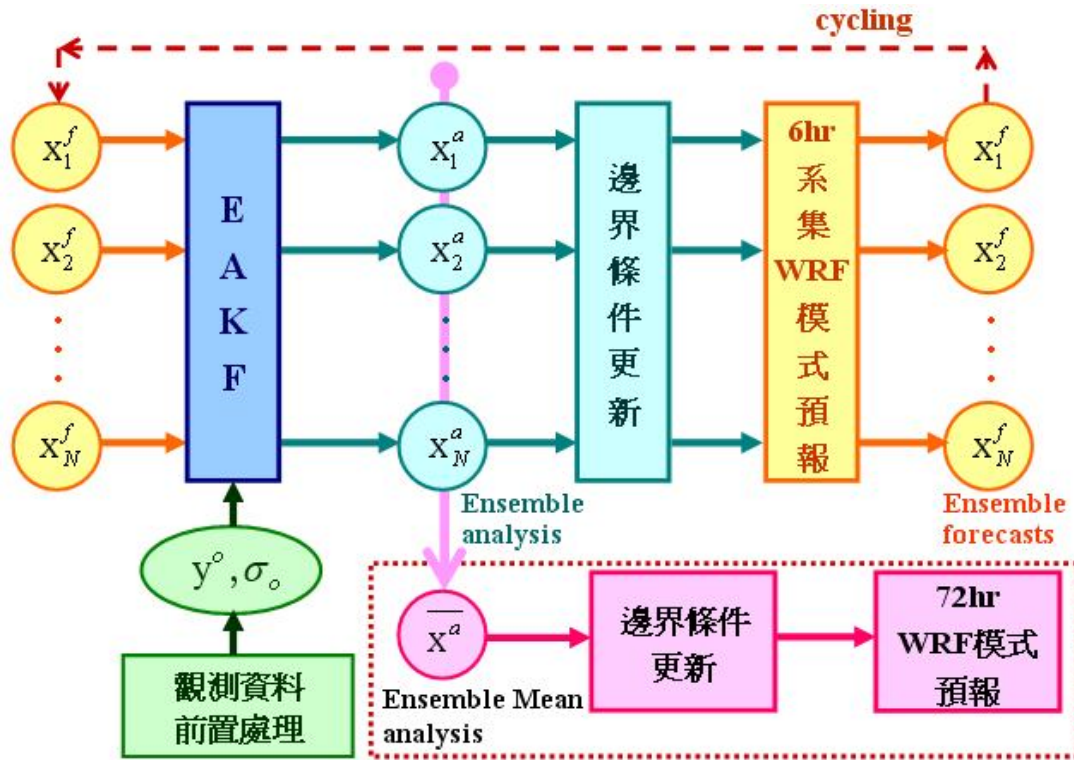


圖 1：中央氣象局 WRF/EAKF cycling run 示意圖。其中， x_m^f ($m=1, \dots, N$) 代表 N 組系集背景場(預報場)， x_m^a ($m=1, \dots, N$) 代表 N 組系集分析場 (Ensemble analysis)， $\overline{x^a}$ 代表系集平均分析場 (Ensemble Mean analysis)， y^o 代表觀測值， σ_o 代表觀測誤差統計特性。

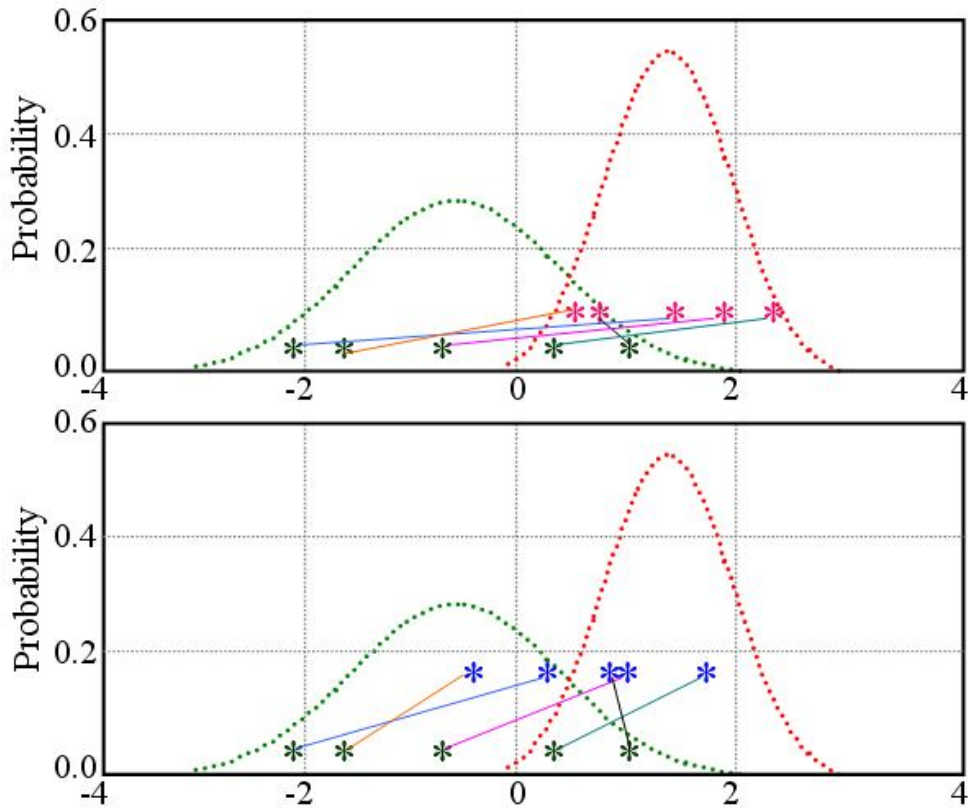


圖 2：傳統 EnKF 同化系統之示意圖，其中綠色 * 代表系集背景場，紅色 * 代表系集擾動觀測值，藍色 * 代表系集分析場。(a) 為系集擾動觀測值與系集背景場隨機配對過程；(b) 為系集背景場經 EnKF 資料同化後之系集分析場對應結果。圖片參考於：

<https://proxy.subversion.ucar.edu/DAReS/DART/trunk/tutorial/section6/tutorial6.pdf>

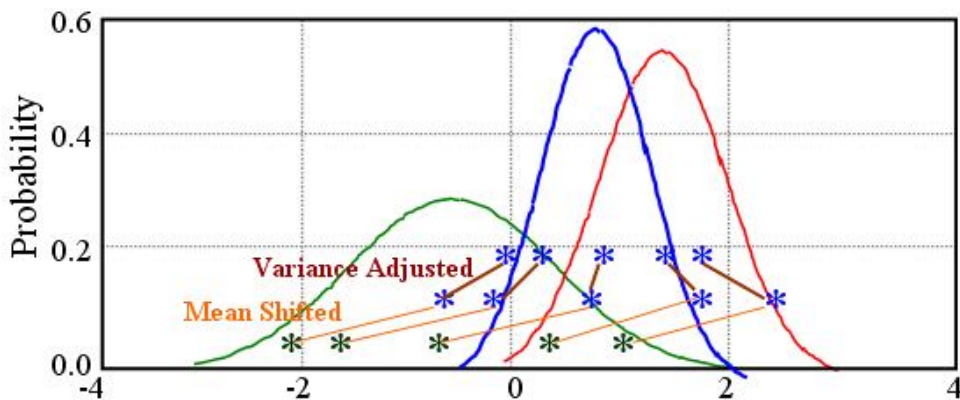


圖 3：EAKF 同化系統之示意圖。其中綠色 * 代表系集背景場，藍色 * 代表經調整過程之分析場；綠色實線代表背景場機率密度分布，紅色實線代表觀測值機率密度分布，藍色實線代表分析場機率密度分布。圖片參考於：

<https://proxy.subversion.ucar.edu/DAReS/DART/trunk/tutorial/section1/tutorial1.pdf>

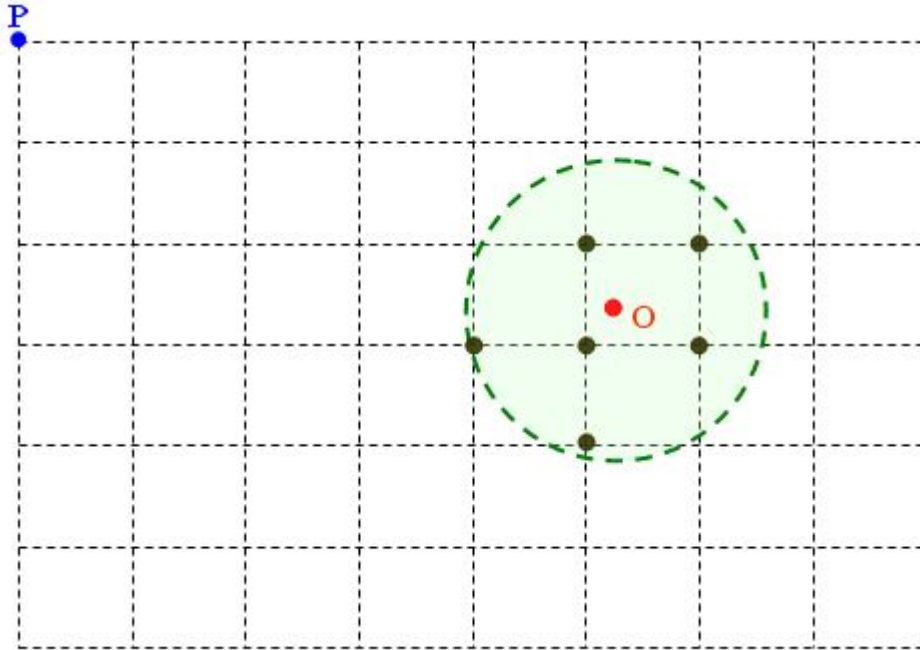


圖 4：Localization 控制參數平面網格示意圖。其中淺綠色範圍代表 Localization 設定之相關範圍，綠色圓點代表淺綠色相關範圍內之網格點，紅色圓點代表觀測點，藍色圓點代表某一遠處網格點。

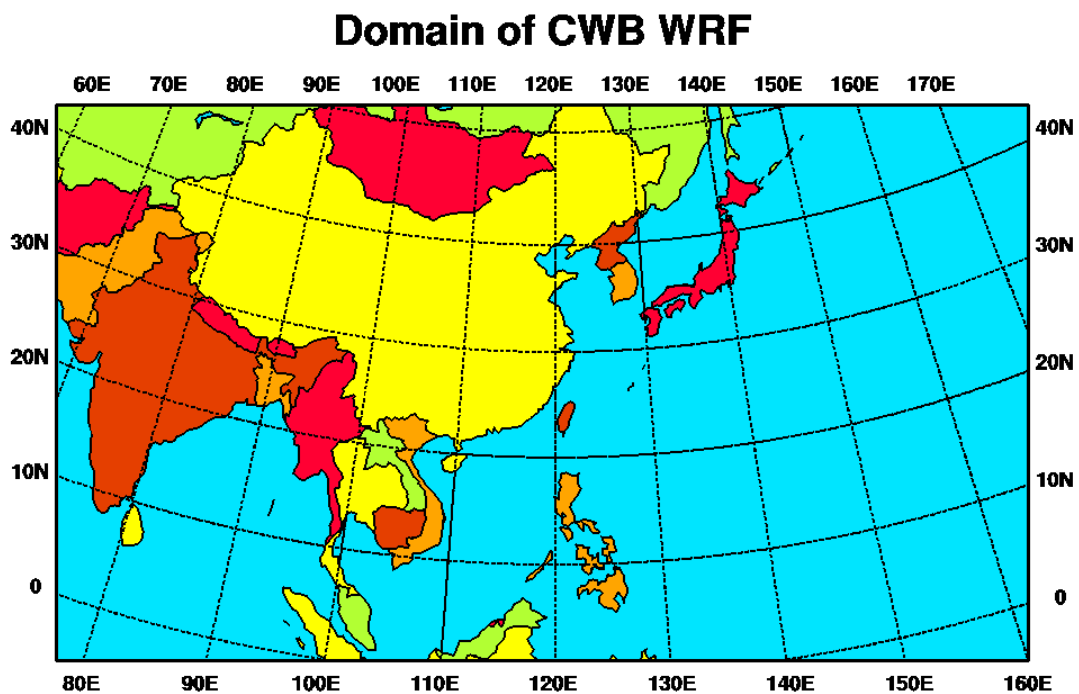


圖 5：中央氣象局 WRF 模式預報網格點範圍，網格數為 222 x 128，格點解析度為 45 km，投影法為藍伯特 (Lambert)。

GFSBOGUS_TEMPERATURE

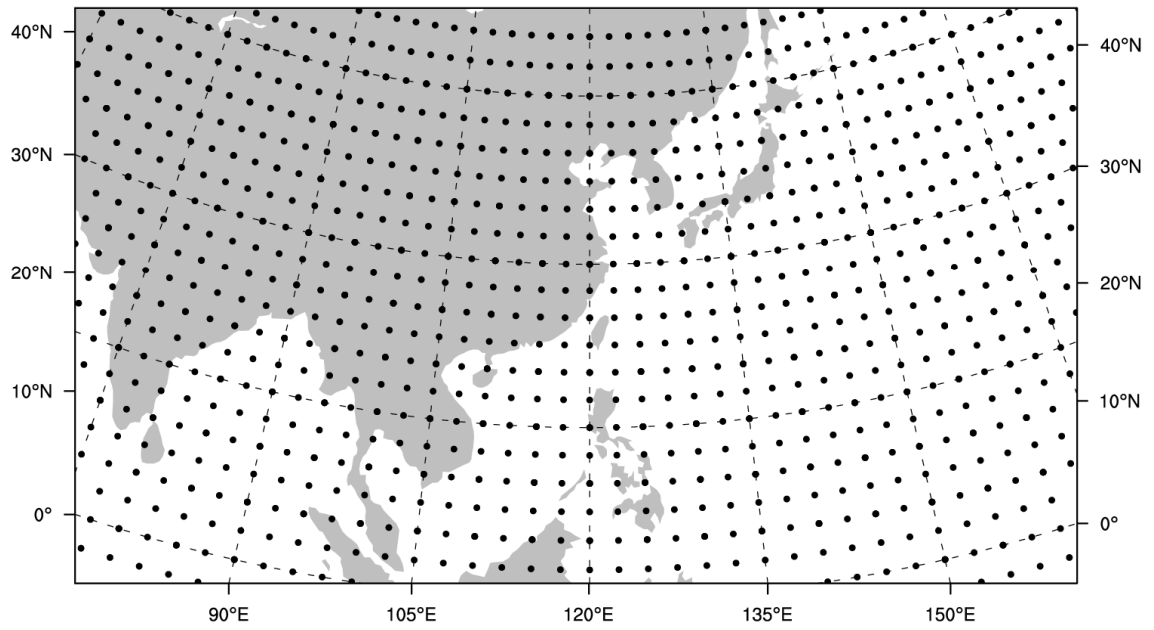


圖 6：EC BOGUS 資料之水平分布範圍，其中資料區域大小與解析度為 144x73 和 2.5°x2.5°。

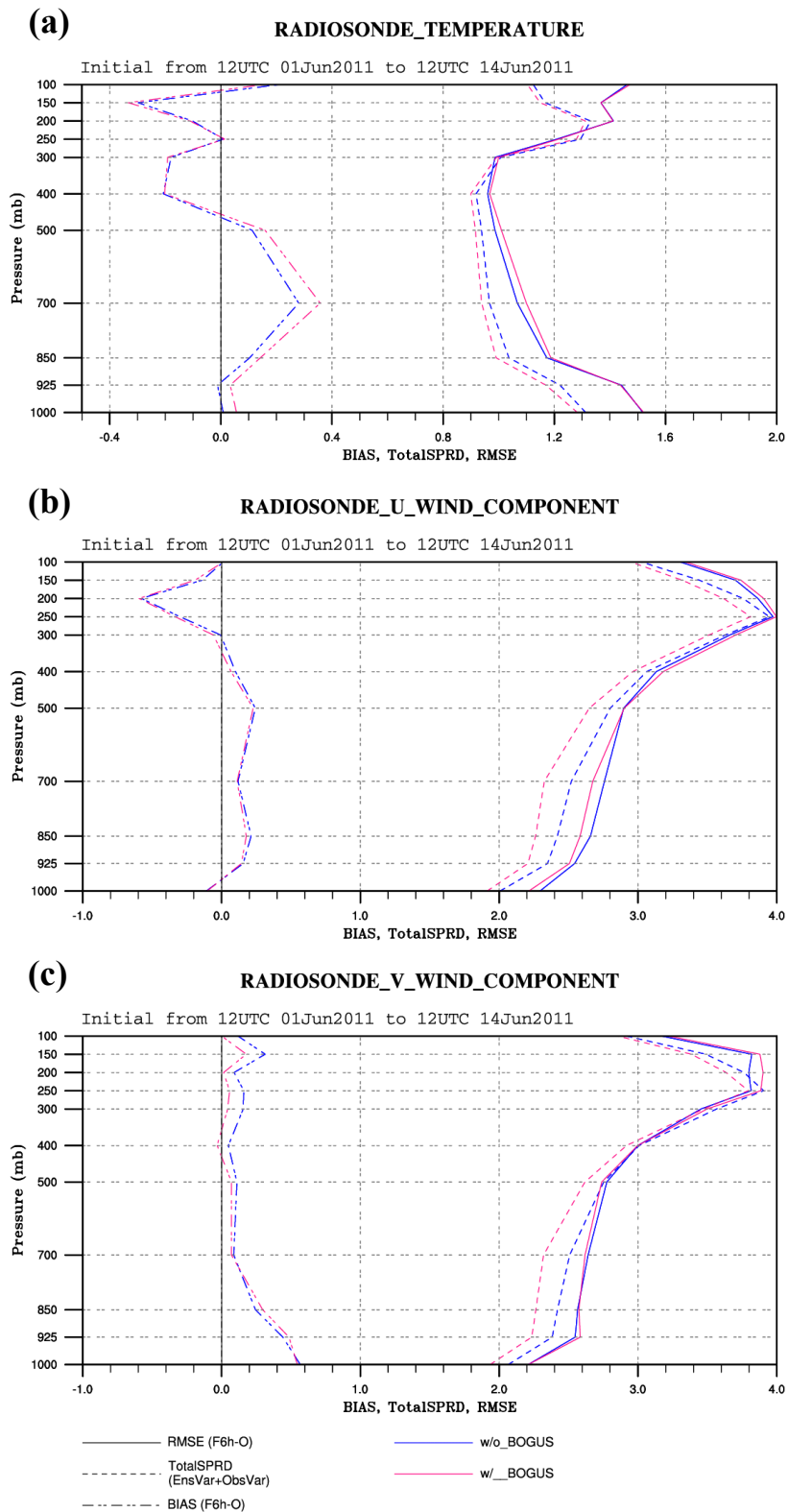


圖 7：民國 100 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) 值入 2.5 度 x2.5 度 EC BOGUS 資料實驗測試之 (a) 溫度場，(b) U 風場，(c) V 風場 垂直診斷參數分布圖。其中紅色線為有 EC BOGUS 實驗，藍色線為無 EC BOGUS 實驗；實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD，點實線為 BIAS。

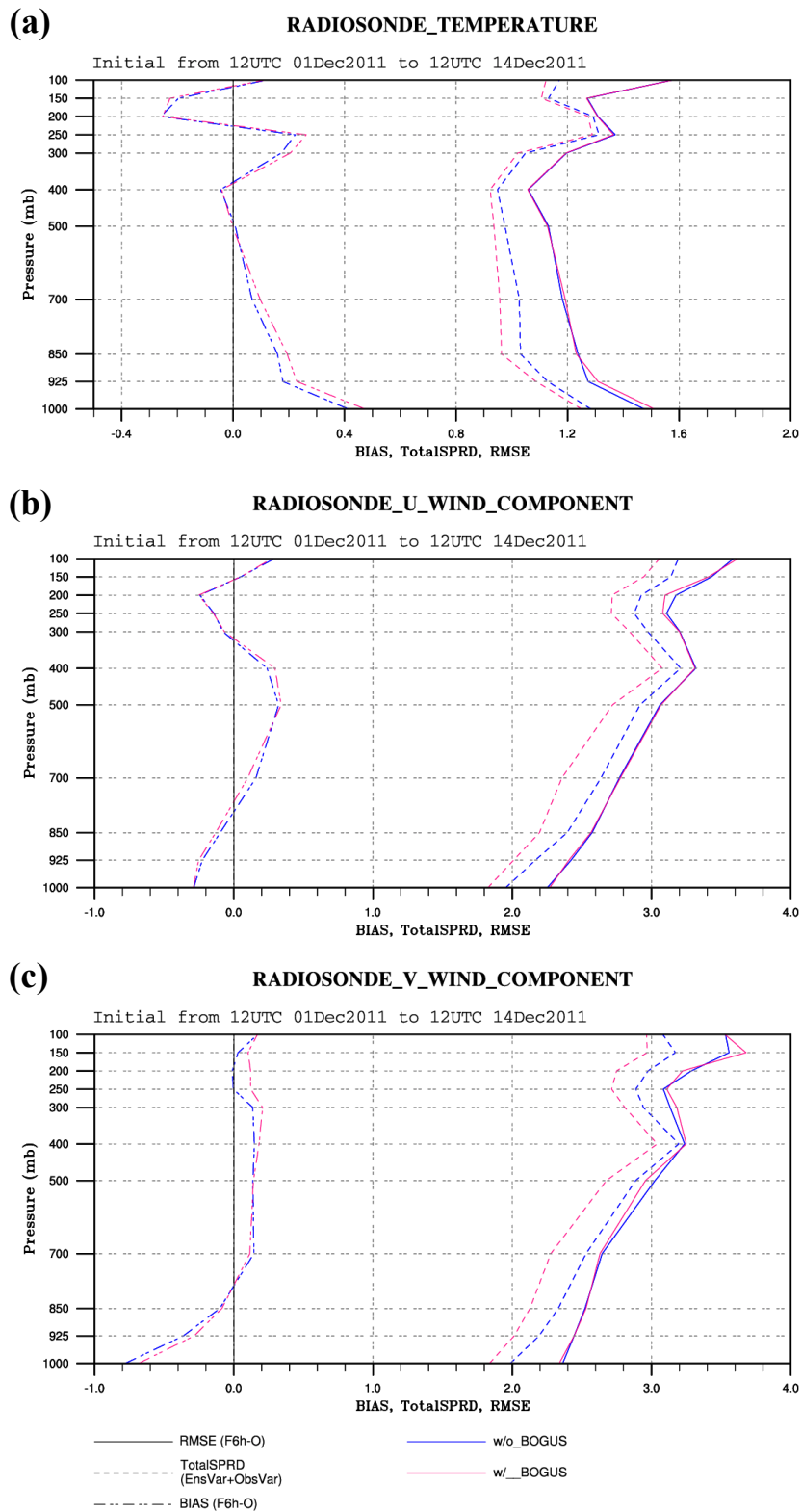


圖 8: 同圖 7, 但為民國 100 年 12 月 1 日~14 日 (冬季期間) 值入 2.5 度 x 2.5 度 EC BOGUS 資料實驗測試之診斷結果。

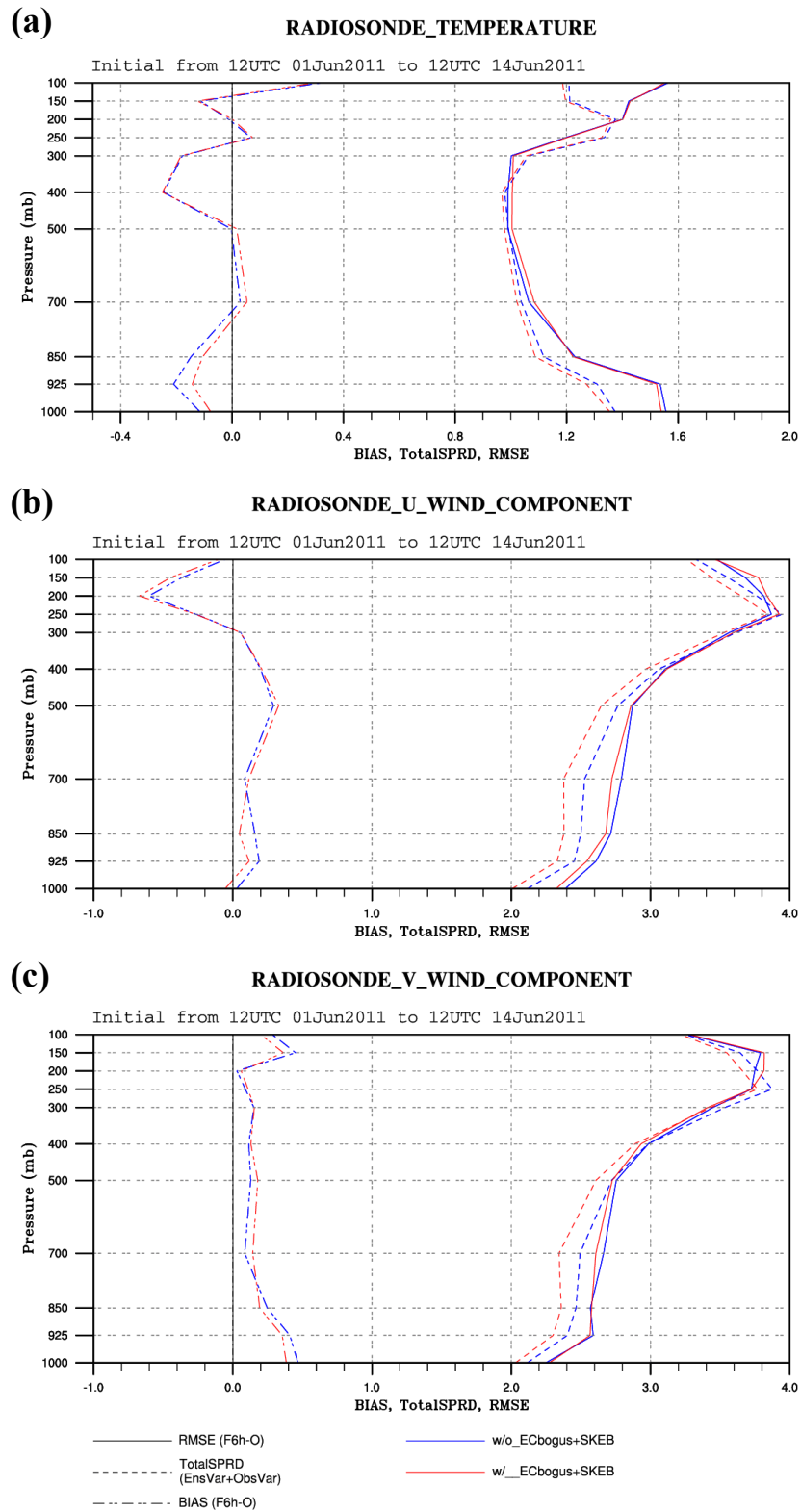


圖 9：民國 100 年 6 月 1 日~14 日（夏季期間）使用隨機動能後項散射法（SKEB）實驗測試之 (a) 溫度場，(b) U 風場，(c) V 風場 垂直診斷參數分布圖。其中紅色線為有 EC BOGUS 實驗，藍色線為無 EC BOGUS 實驗；實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD，點實線為 BIAS。

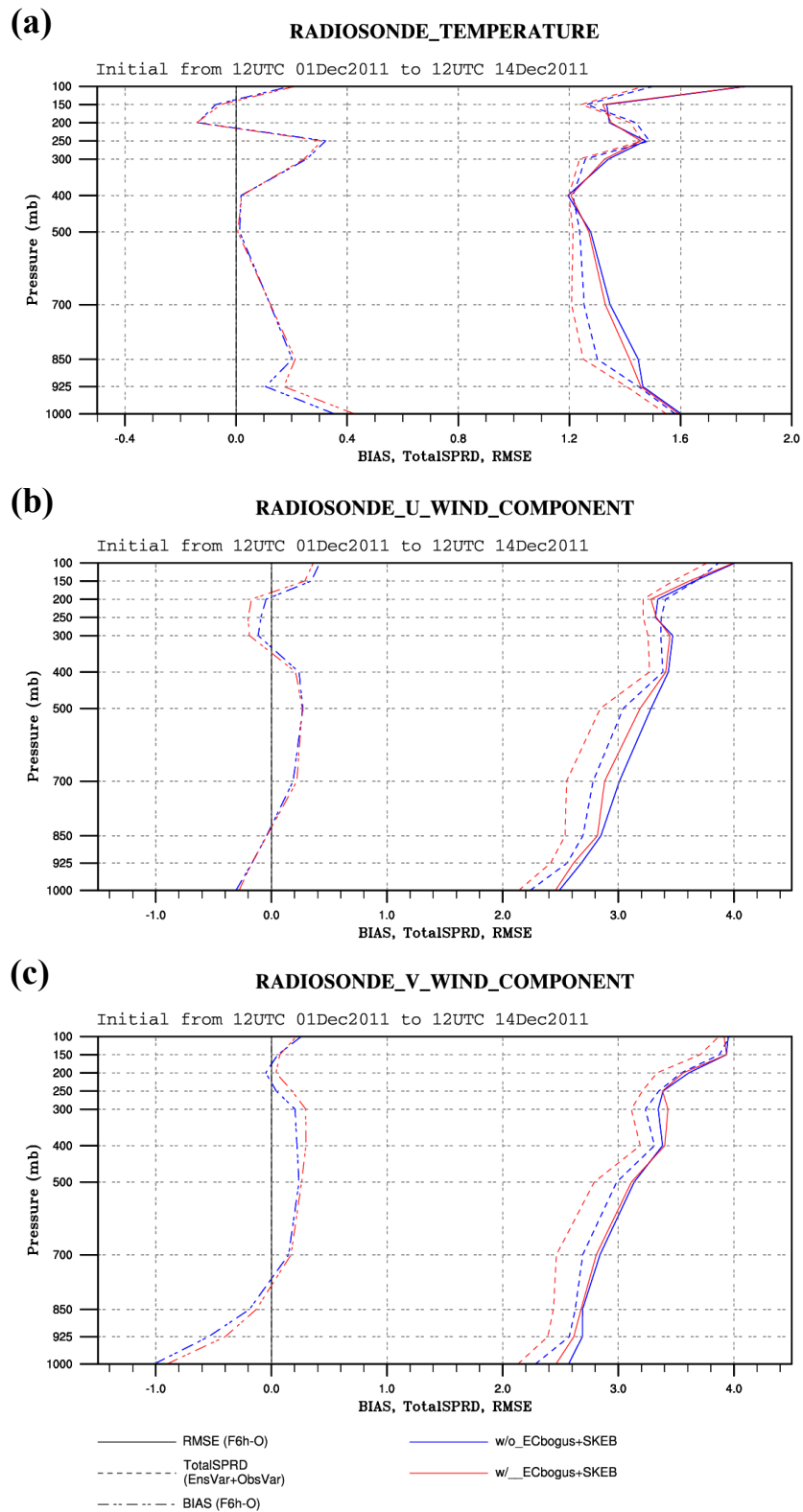


圖 10：同圖 9，但為民國 100 年 12 月 1 日~14 日（冬季期間）使用隨機動能後項散射法 (SKEB) 實驗測試之診斷結果。

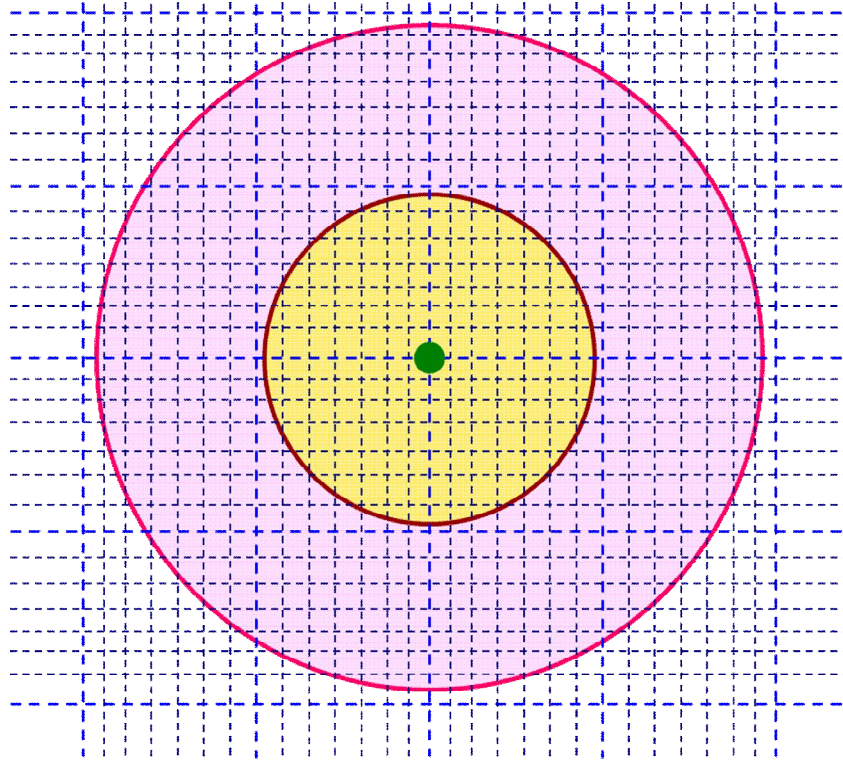


圖 11：Localization 影響範圍簡單示意圖。其中綠色點代表 EC BOGUS 所在位置，藍色虛線代表模式網格(網格距離 45 公里，粉紅色圓代表 Localization 為 0.1 弧度之影響範圍，淡黃色圓代表 Localization 為 0.05 弧度之影響範圍。

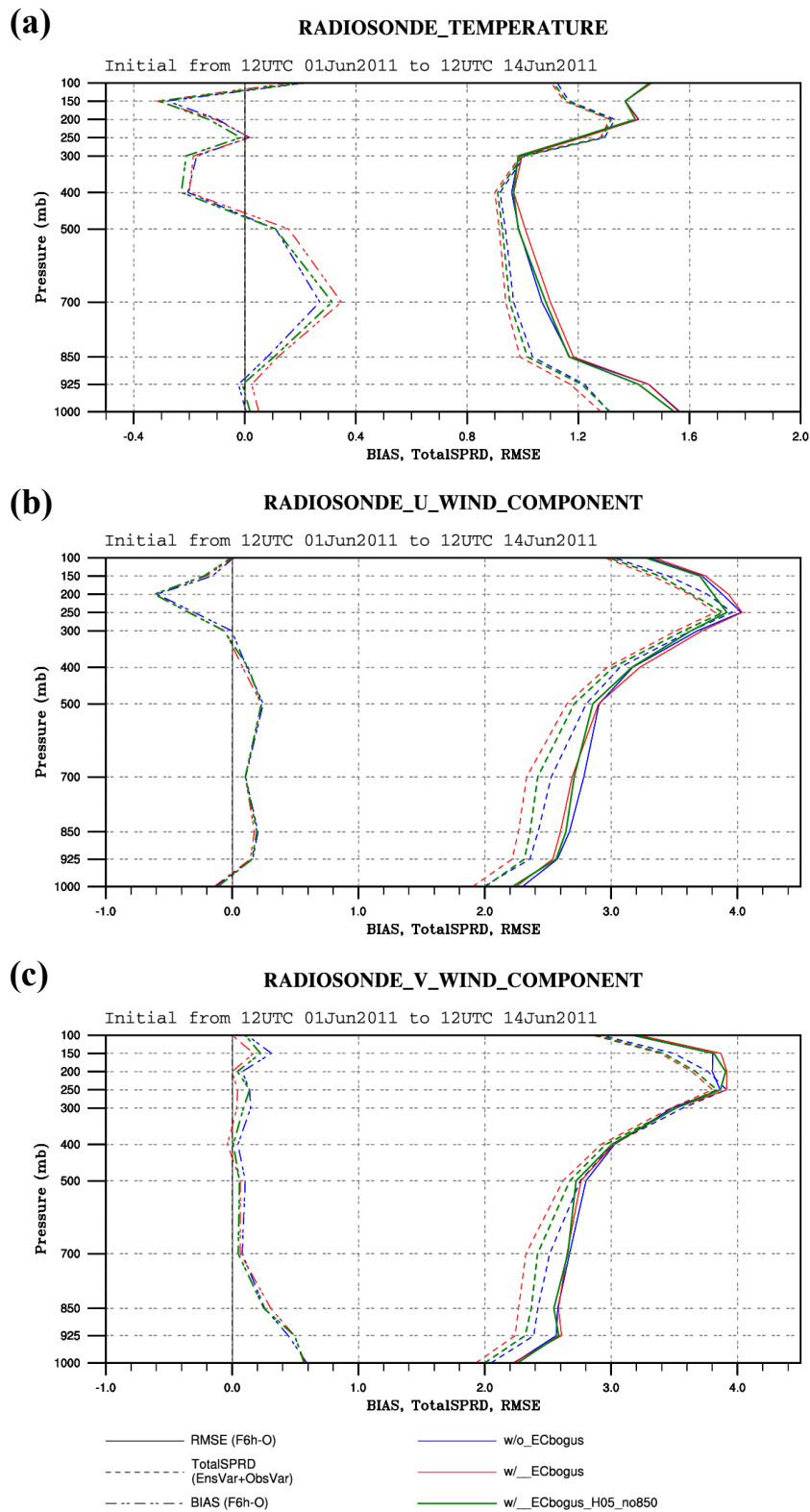


圖 12：民國 100 年 6 月 1 日~14 日 (夏季期間) 不同 Localization 大小設定實驗測試之 (a) 溫度場，(b) U 風場，(c) V 風場 垂直診斷參數分布圖。其中藍色線為無 EC BOGUS 實驗、紅色線與綠色線皆為有 EC BOGUS，但紅色線 Localization 為 0.1 弧度，綠色線 Localization 為 0.05 弧度；實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD，點實線為 BIAS。

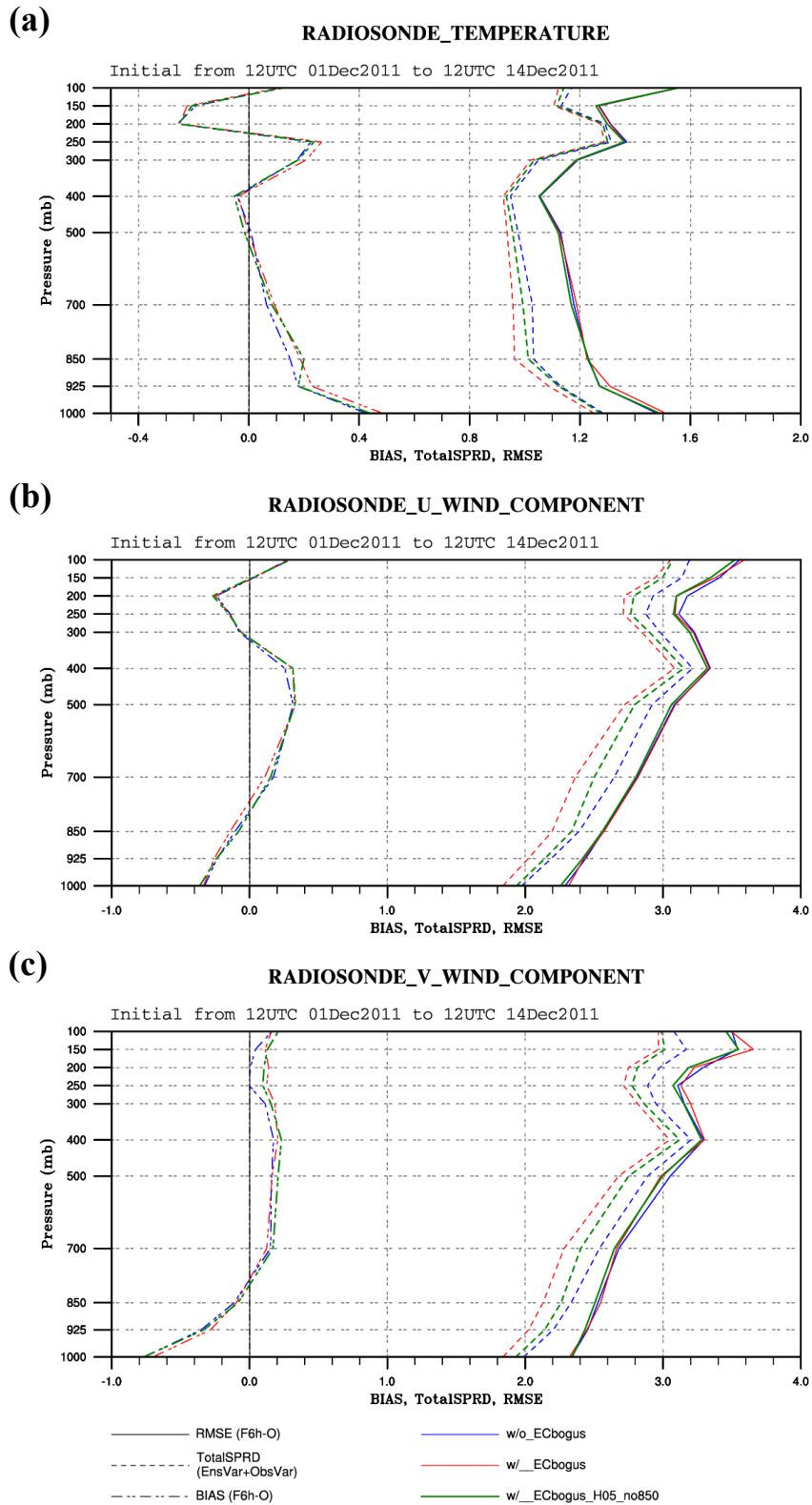


圖 13：同圖 12，但為民國 100 年 12 月 1 日~14 日 (冬季期間) 不同 Localization 大小設定實驗測試之診斷結果。

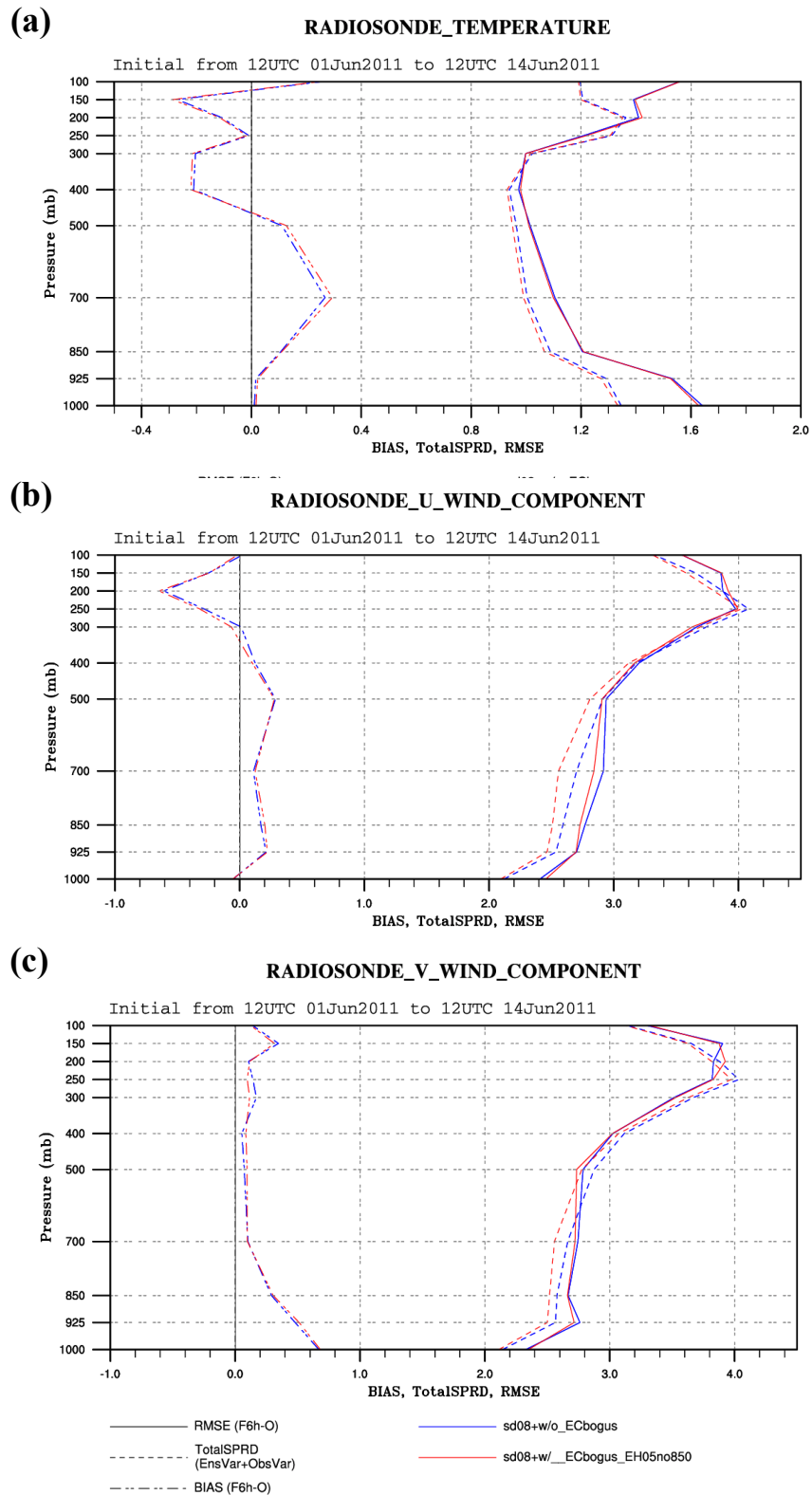


圖 14：民國 100 年 6 月 1 日~14 日 (夏季期間) 使用 Standard Deviation of covariance inflation factor 為 0.8 實驗測試之 (a) 溫度場，(b) U 風場，(c) V 風場 垂直診斷參數分布圖。其中紅色線為有 EC BOGUS 實驗，藍色線為無 EC BOGUS 實驗；實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD，點實線為 BIAS。

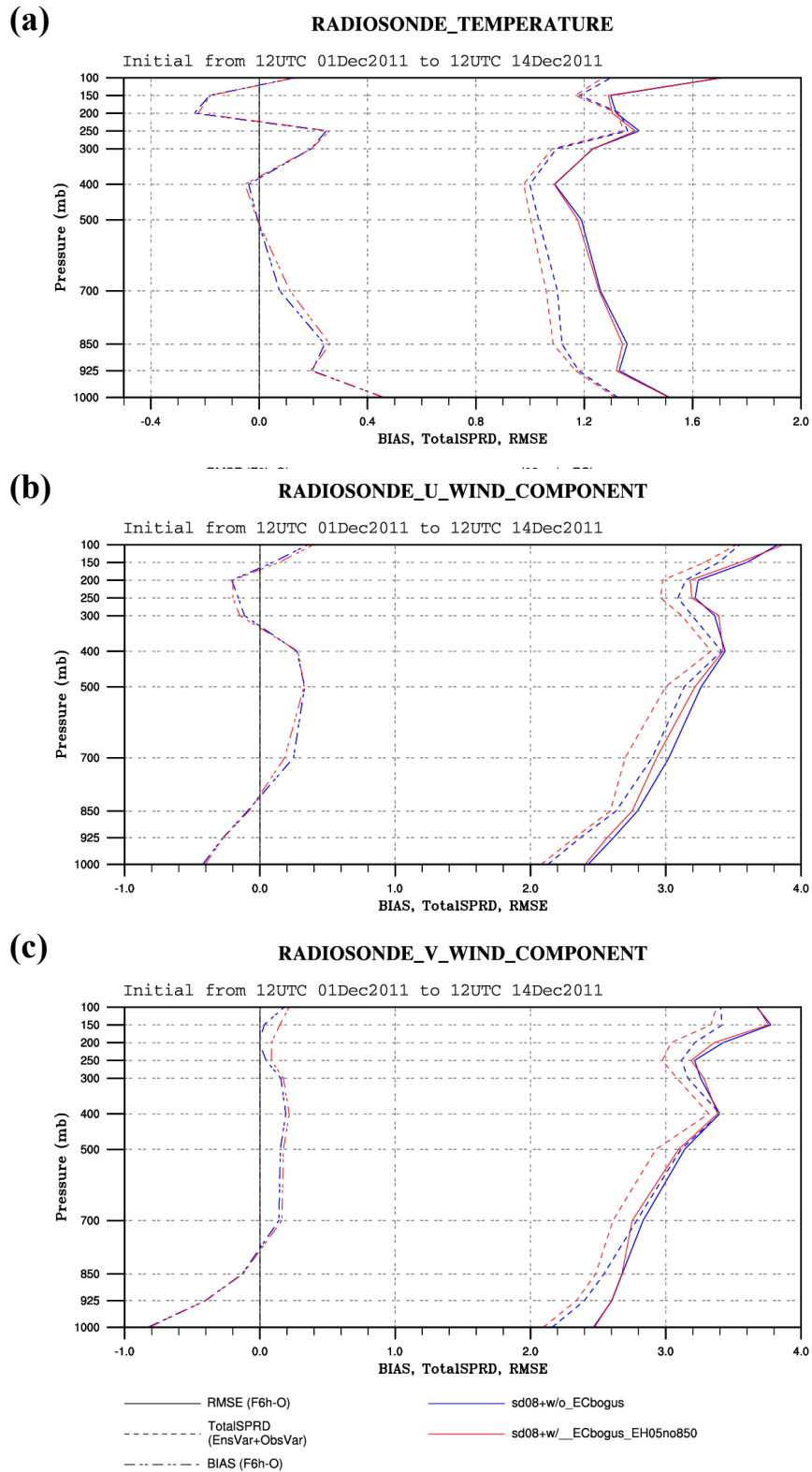


圖 15：同圖 14，但為民國 100 年 12 月 1 日~14 日 (冬季期間) 使用 Standard Deviation of covariance inflation factor 為 0.8 實驗測試之診斷結果。

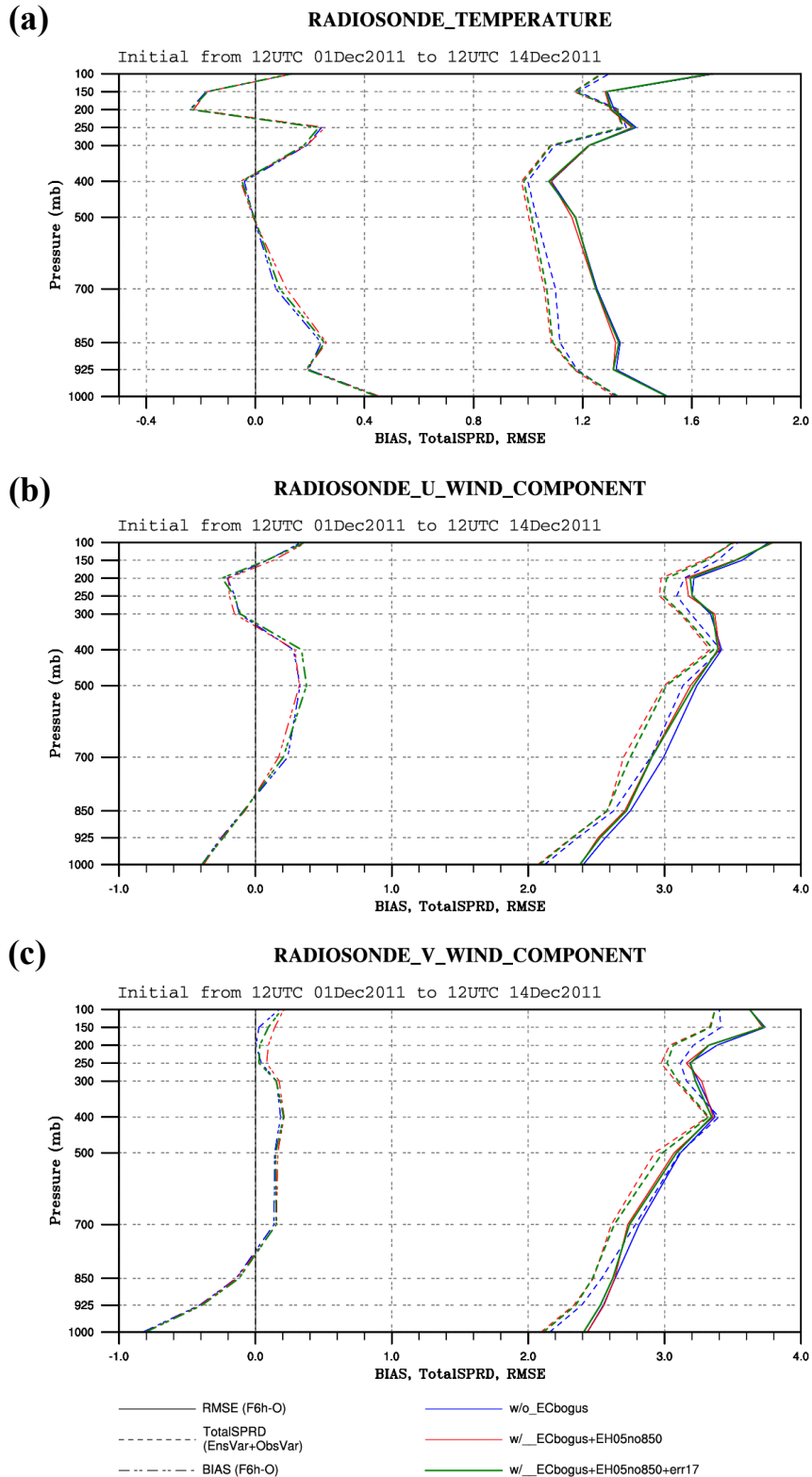


圖 16：民國 100 年 12 月 1 日~14 日 (冬季期間) 放大 EC BOGUS 資料觀測誤差實驗測試之 (a) 溫度場，(b) U 風場，(c) V 風場 垂直診斷參數分布圖。其中藍色線為無 EC BOGUS 實驗、紅色線與綠色線皆為有 EC BOGUS，但綠色線之 EC BOGUS 觀測誤差為放大 1.7 倍；實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD，點實線為 BIAS。

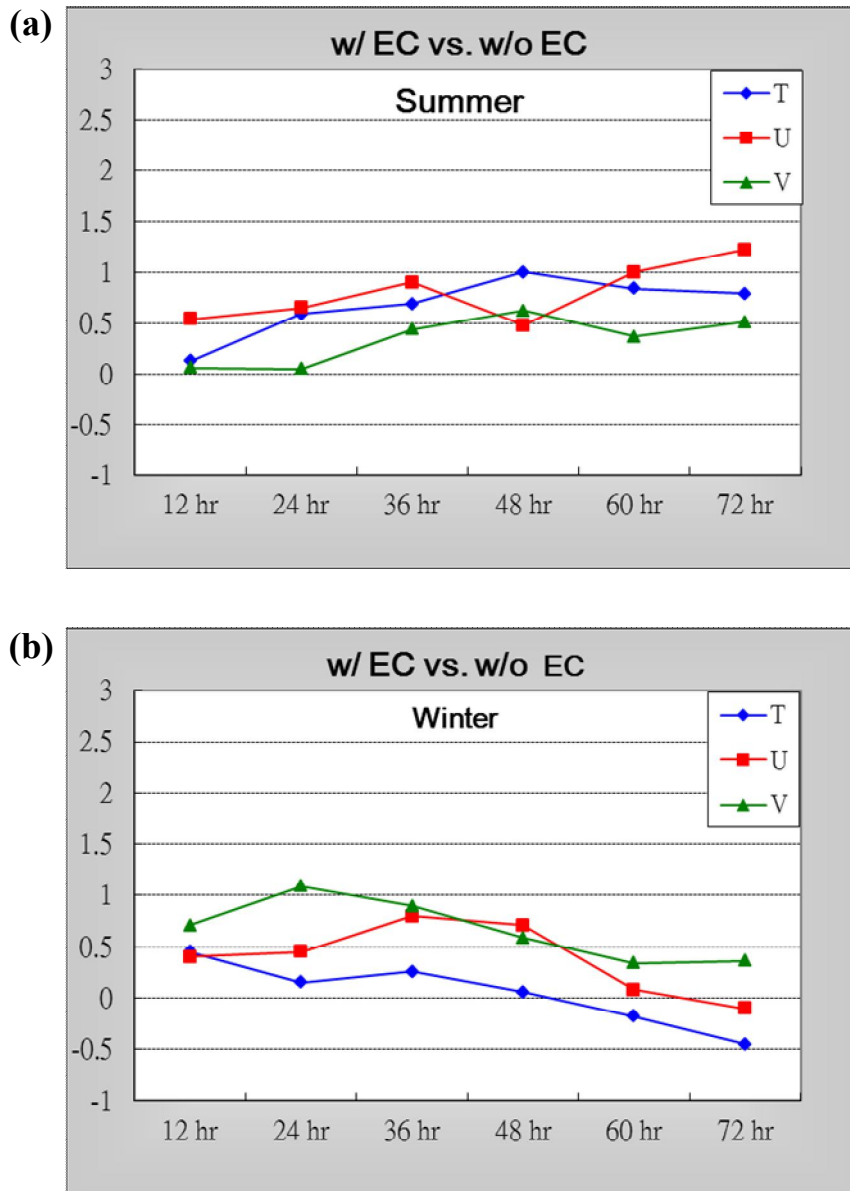


圖 17:(a) 民國 100 年 6 月 1 日~14 日 (夏季期間), (b) 民國 100 年 12 月 1 日~14 日 (冬季期間) 之各預報時 RMSE 值減少的百分比(%)之平均結果。其中藍色實線為溫度場, 紅色實線為 U 風場, 綠色實線為 V 風場。在圖中「正值」代為 RMSE 值減少, 為正效益。