

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：100年6月7日至100年10月7日

報告日期：100年12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 DART 平台分析 EAKF 同化效益的診斷/校驗系統，並將此技術建置至本局超級電腦中。同時也針對 EAKF 同化系統的不同控制參數設定進行個案測試與分析，並配合建置在本局超級電腦中的診斷/校驗系統，評估同化效益與預報結果，以提供往後 EAKF 同化系統控制參數的使用策略，提升模式預報準確率。

**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	.....	2
三、心得	.....	5
四、建議	.....	15
附圖	.....	16

## 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。

本次赴美實習，主要針對 EAKF 同化系統的不同控制參數設定進行個案測試與分析，同時學習 DART 平台分析 EAKF 同化效益之觀測空間 (observation-space) 診斷/校驗系統，並將此技術建置至本局超級電腦中。藉此診斷/校驗系統對個案的評估結果作分析，了解不同控制參數設定對同化效益及預報的影響，以改善現行 EAKF 同化系統參數的使用策略，提升模式預報之準確率。

此診斷/校驗系統、EAKF 同化系統的主要參數設定，以及個案預報所得之評估結果，將於本報告中說明。

## 二、過程

本次實習時間為 2011 年 6 月 7 日至 2011 年 10 月 7 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
100/06/07	臺北 → 洛杉磯 → 丹佛 (Denver) → 搭乘巴士至波爾德市 (Boulder)
100/06/08	至美國國家大氣科學研究中心(NCAR)報到
100/06/09~100/06/27	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、了解 EAKF 同化時產生出的 obs_seq.final 之 IO 格式，此檔案包含觀測值、同化前與同化後之系集成員在觀測點上的值…等，此等資訊將用於診斷程序的計算。</li> <li>2、研讀 DART 平台之觀測空間(observation-space) 診斷系統的程式架構，包含 obs_seq.final 之 IO 讀取流程、診斷參數的計算過程，以及產出用於 NCL 繪圖檔案的 IO 架構設計。</li> <li>3、學習如何使用此等診斷參數，有效診斷 EAKF 同化效益。</li> <li>4、依診斷程式產出的檔案 IO 格式，進行設計 NCL 繪圖程式，其包含垂直剖面結果和時間序列結果，並建置在本局高速電腦，主要目的是將結果以圖示呈現，便於往後個案之診斷與校驗分析。</li> <li>5、每星期四上午 9:00~11:00 參加 DART 平台會議，以了解 EAKF 發展進況。</li> </ol>
100/06/28~100/07/01	參加 2011 年 GSI Community Tutorial，網址為： <a href="http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/tutorials/2011_2.php">http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/tutorials/2011_2.php</a>
100/07/03~100/07/29	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、藉由 EAKF 內插程式，將 WRF 模式之網格點上的預報結果內插至觀測點上，並配合 DART 平台診斷程式，撰寫 1 組程式化腳本 (Shell Script)，在本局高速電腦中建置校驗系統，配合 NCL 繪圖工具，以便往後校驗不同 EAKF 控制參數設定的預報結果。</li> <li>2、隨時向劉輝博士說明圖示結果，討論是否圖示呈現的內容過於複雜或是有不清楚的地方。修正至最後版本，劉輝博士覺得圖示表示方式明確，可作為診斷同化效益、校驗預報結果的工具。</li> </ol>

	<p>3、開始進行 EAKF 控制參數測試，首先進行 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數測試，它主要控制系集成員離散的放大倍率。實驗期間選用 2008 年 6 月和 2008 年 12 月各二星期。</p> <p>4、研讀 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數之相關論文 (L. Anderson 2007 和 2009)，並與劉輝博士討論其內容。</p> <p>5、參加氣象局線上會議，報告兩個月內的工作進度與初步結果。</p> <p>6、每星期四上午 9:00~11:00 參加 DART 平台會議，以了解 EAKF 發展進況。</p>
100/08/01~100/08/31	<p>1、整理並評估不同 Standard Deviation of covariance inflation factor 值(簡稱 sd 值)的同化效益、預報結果。此控制參數個案設計為：</p> <p>a)、sd = 0.6 ，為對照組。</p> <p>b)、sd = 0.8 和 sd = 1.0，為實驗組。</p> <p>目的是了解強迫增加系集成員離散的放大倍率，對 EAKF 同化效益和預報能力為何。</p> <p>2、就 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數測試分析結果與劉輝博士討論。</p> <p>3、由 sd 參數值的測試，分析出 sd 參數值設為 0.8 時，在 EAKF 同化和預報上，其整體方面之效率最好。故以此值接續進行 Localization 之 EAKF 控制參數測試，它主要控制觀測點(observation-space)周圍需進行同化之網格點(state-space)範圍。實驗期間仍選用 2008 年 6 月和 2008 年 12 月各 2 星期。</p> <p>4、整理並評估不同 Localization 值的同化效益、預報結果。此控制參數個案設計為：</p> <p>a)、Localization = 0.1 ，為對照組</p> <p>b)、Localization = 0.16 ，為實驗組</p> <p>此參數的單位為弧度，兩者實驗之 sd 值皆設為 0.8。目的是了解增加觀測點周圍同化範圍時，對同化效益和預報結果會造成多大之影響。</p> <p>5、參加 CWB Project Meeting (8/24)，與氣象局合作之 NCAR 相關人員，報告 3 個月內的工作進度與結果。</p> <p>6、每星期四上午 9:00~11:00 參加 DART 平台會議，以了解 EAKF 發展進況。</p>
100/09/01~100/09/30	<p>1、最後進行 Sampling Errors 之 EAKF 控制參數測試，</p>

	<p>它主要考慮到系集成員數量不足造成之統計量誤差，故會進一步對系集成員計算出來的統計值作修正。實驗期間仍選用 2008 年 6 月和 2008 年 12 月各二星期。</p> <p>2、同時進行了解 EAKF 同化系統流程，遇到不了解之地方，詢問劉輝博士，討論其含義為何。</p> <p>3、整理並評估不同 Sampling Error 參數值(簡稱 SE)的同化效益、預報結果。此控制參數個案設計為：</p> <p style="padding-left: 40px;">a)、Localization-0.1 + SE</p> <p style="padding-left: 40px;">b)、Localization-0.16 + SE</p> <p>此兩組實驗會與 Localization 參數值的結果作比較，目的是了解 SE 參數值是否對不同 Localization 範圍有不同的作用。</p> <p>4、將 Localization 與 Sampling Errors 控制參數測試分析結果與劉輝博士討論，並初步討論未來 EAKF 同化系統參數的使用策略。</p> <p>5、參加 CWB Project Meeting (9/21)，聆聽 NCAR 人員工作進度報告，並了解下星期氣象局人員來訪的流程與討論項目。</p> <p>6、每星期四上午 9：00~11：00 參加 DART 平台會議，以了解 EAKF 發展進況。</p>
100/10/03~100/10/06	<p>參加氣象局合作專案會議 (100/10/03~100/10/07)，氣象局人員來訪 NCAR，NCAR 相關人員報告工作進度、成果與待解決之問題，並進行討論。</p>
100/10/07~100/10/08	<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 DART (Data Assimilation Research Testbed) 對 EAKF (Ensemble Adjustment Kalman Filter) 同化系統的診斷流程架構，並建置在本局高速電腦中，同時針對 EAKF 同化系統的重要控制參數作個案測試，配合診斷系統作詳細的分析。在與 NCAR 人員劉輝博士討論及協助下，得以完成診斷系統建置和 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。以下為職此次赴美的工作內容與心得。

#### (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( $y^o, \sigma_o$ )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 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 EnKF 資料同化的過程並不相同。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( $\sigma_o$ )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 同化效益逐漸降低，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益，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)，此兩實際上無相關，即相關值要為 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。

## 2.3、Sampling Errors

關於上述之相關雜訊現象，即為「抽樣誤差 Sampling Errors」問題 - 由於系集成員數量不足，造成計算出的統計量有誤差。DART 平台為了進一步有效減化相關雜訊問題，應用「低階」模式運算，定義出不同系集成員數量所面臨的 Sampling Errors 情況，如圖 5 之曲線分布，其代表不同系集成員數量之相關值與相關修正值之關係。

所以，如果資料同化過程考慮 Sampling Errors 因素，則由系集成員統計得到之相關值(x 軸)，會依據對應之相關修正值(y 軸)，作「相乘」動作，即相關修正

值代表要對原本相關值作縮減之倍率。因此，當系集成員統計出之相關值愈小時，需作縮減之倍率將愈大，這可使原本有些許相關值（0.0 ~）趨向無相關狀態，以達到減少相關雜訊之目的。

不過，由於 EAKF 同化系統之 Sampling Errors 修正項是由「低階」模式統計定義出來，故對非線性且複雜模式，例如天氣研究與預報模式（Weather Research and Forecasting Model；WRF），其是否有等價之效應，必需透過實驗測試進行評估與了解。

### (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 同化效益診斷說明

在 2.1 節有提及，系集成員背景場之離散程度會影響 EAKF 同化效益，為了評估 EAKF 控制變數對 EAKF 同化效益之作用，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 同化效益為何，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。在此診斷系統中，RMSE、TotalSPRD 與 BIAS 之數學公式分別為：

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

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

其中， $\overline{x^f}$  代表系集平均背景場。

$y^o$  代表觀測值。

$\sigma_b^2$ 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。

$\sigma_o^2$ 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，即表示 EAKF 同化效益低。

### 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

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 6 所示，而垂直解析度設定為 45 層，模式頂為 30hPa。職選取 2008 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。

關於上述重要之 EAKF 控制參數，本局現行使用之設定為：Standard Deviation of covariance inflation factor (簡稱 sd) 設為 0.6、Localization 設為 0.1 (單位為弧度)、「無」作 Sampling Errors 修正。為了逐一了解這些控制參數之作用，職首先在 Localization 為 0.1 設定下進行 sd 參數值之測試，sd 參數值測試實驗設計為 sd-0.8 與 sd-1.0 兩項實驗，目的是了解強迫增加系集成員離散的放大倍率，對 EAKF 同化效益和預報能力為何。而後由 sd 值實驗結果評估出效益最好的 sd 值作基準，繼續進行 Localization 與 Sampling Errors 參數測試，對於 Localization 參數測試實驗設計為 0.16，目的是了解增大觀測點周圍同化範圍對同化效益與預報結果之影響；對於 Sampling Errors 修正項測試則設計為主要搭配不同 Localization 參數值 (0.1 和 0.16) 進行實驗，目的是了解 Sampling Errors 修正項是否對不同 Localization 範圍有不同的作用。

在診斷/校驗流程中，職選用探空資料 (radiosondes) 作比對，此是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)。

## (五)、EAKF 實驗結果分析與評估

### 5.1、Standard Deviation of covariance inflation factor (簡稱 sd) 實驗結果

此實驗是在 Localization 設為 0.1、「無」作 Sampling Errors 修正的設定下進行 sd 參數值測試 - sd-0.6、sd-0.8 和 sd-1.0。進行分析結果時，以 sd-0.6 實驗作為對照組(control)，評估 sd-0.8 和 sd-1.0 實驗之同化效益與預報能力。

#### (1) 同化效益診斷評估

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 7 所示，結果分析出 sd 參數值設愈大時，TotalSPRD (藍色實線) 分布愈近似於 RMSE (紅色實線) 分布，即代表愈有效率地改進系集成員背景場離散程度，使 EAKF 同化為正效益，尤其在氣壓

500mb 層面以下，修正趨勢特別明顯，此不論是 U 風場(圖 7(a))、V 風場(圖 7(b)) 和溫度場(圖 7(c))方面都有相同的結果。

在冬季個案診斷剖面圖分析中，如圖 8 所示，其結果與夏季個案大致相同，當 sd 參數值設定愈大時，愈能增加系集成員背景場離散程度，進而改善冬季期間系集成員離散程度不足的現象，以達到提升 EAKF 同化效益。

## (2) 預報校驗評估

首先探討夏季個案剖面圖結果，在溫度場方面，如圖 9 所示，第 12 小時、24 小時預報之 RMSE 分析顯示，不論 sd-0.8 實驗(藍色實線) 或 sd-1.0 實驗(綠色點直線)，其結果與 sd-0.6 實驗(紅色實線) 比對，RMSE 值整體上皆較小，即結果都有正效益；但在第 48 小時預報後，sd-0.8 實驗仍有正效益，sd-1.0 實驗反而偏向負效益趨勢，尤其第 72 小時預報更為顯著。在 U 風場方面，如圖 10 所示，sd-0.8 實驗與 sd-1.0 實驗皆有顯著改進，尤其在氣壓 500mb 層面以上，此至第 48 小時預報仍有較好之表現。在 V 風場方面，如圖 11 所示，在第 12 小時預報，高層有些正效益，但至第 24 小時預報結果差異不大，表現略佳。

在冬季個案剖面圖結果，在溫度場方面，如圖 12 所示，sd-0.8 實驗與 sd-1.0 實驗在第 12 小時預報皆有明顯地正效益，尤其在氣壓 400mb ~ 500mb 層面，但至第 48 小時預報，與 sd-0.6 實驗結果差異不大。在 U 風場方面，如圖 13 所示，其結果與夏季個案大致相同，在高層 (400mb 以上) 有顯著改善，並至第 48 小時預報仍有較好之表現。在 V 風場方面，其結果與 U 風場相似，只是改善幅度不像 U 風場那麼顯著。

爲了進一步有效了解 sd-0.8 實驗與 sd-1.0 實驗對預報效率之差異，故將夏季個案與冬季期間之第 12、24、36、48、60、72 小時預報時作 RMSE 平均，並與 sd-0.6 實驗比較，由 RMSE 減少之百分比評估此兩 sd 參數值對預報能力之改善趨勢，如圖 15、圖 16 所示，其中圖 15 爲夏季個案、圖 16 爲冬季個案。然而在圖中，「正值」代表 RMSE 是減少的，故值愈大代表預報改善愈顯著。由此兩圖中之各參數曲線分布，分析出 sd-1.0 實驗在第 12~36 小時預報時表現結果比 sd-0.8 實驗結果好，但在第 48 小時預報時之後，預報效率明顯降低，變爲 sd-1.0 實驗結果比 sd-0.8 實驗差，並有趨向負效益趨勢。

### (3) 整體評估與結果

雖然增加 sd 值，有助於改善系集背景場之離散程度 (ensemble spread)，以提升資料同化效益，但對於系集平均預報 (ensemble mean forecast) 而言，得到的效率並非等價線性的。由 sd-0.8 實驗與 sd-0.6 實驗比較，了解到 sd-0.8 的結果是有明顯「正」效益；但如果以 sd-1.0 與 sd-0.8 兩者實驗作比較，其兩者間的差異沒有像 sd-0.8 與 sd-0.6 間的差異那麼顯著，並且 sd-1.0 實驗到後期預報時結果並非正效益，故 sd 值之增加對改善預報能力是有局限的。

而後進行 Localization 與 Sampling Errors 實驗，因為在診斷與校驗分析結果中，整體上 sd-0.8 實驗結果的表現效益最佳，故以 sd-0.8 為基準進行測試。

## 5.2、Localization 與 Sampling Errors 實驗結果

此實驗是在 sd 為 0.8 (由 5.1 節結果決定之) 進行 Localization 與 Sampling Errors 修正作用之實驗測試 - sd-0.8+H10、sd-0.8+H16 和 sd-0.8+H16+SE，其中 H10 代表 Localization 為 0.1、H16 代表 Localization 為 0.16、SE 代表有加入 Sampling Errors 修正項。進行分析結果時，以 sd-0.8+H10 實驗作為對照組 (control)，評估 sd-0.8+H16 和 sd-0.8+H16+SE 實驗之同化效益與預報能力。

### (1) 同化效益診斷評估

首先探討夏季個案診斷剖面圖，如圖 17 所示，結果分析出 Localization 增大至 0.16 時 (sd-0.8+H16 實驗)，TotalSPRD (藍色實線) 分布反而更偏離 RMSE (紅色實線) 分布，TotalSPRD 值比 RMSE 值小的現象變得更加明顯，顯示系集成員背景場離散程度變得更加不足夠，進而降低 EAKF 同化效益。但如果 Localization-0.16 設定有再進一步考慮 Sampling Errors 修正項 (sd-0.8+H16+SE 實驗)，其 TotalSPRD 值與 RMSE 值之間的差異將再次變小，修正系集成員背景場離散程度，再度提升 EAKF 同化效益。此結果不論是 U 風場(圖 17(a))、V 風場(圖 17(b))和溫度場(圖 17(c))方面都有相同的結果。

在冬季個案診斷剖面圖分析中，如圖 18 所示，其結果與夏季個案大致相同，當 Localization 設為 0.16 時，使原本在冬季期間系集成員離散程度不足的現象變

得更加嚴重，降低 EAKF 資料同化能力，但經由 Sampling Errors 的修正作用，改善了 Localization-0.16 所造成系集成員離散程度不足之問題，再次提升 EAKF 同化效益。

## (2) 預報校驗評估

首先探討夏季個案剖面圖結果，在溫度場方面，如圖 19 所示，Localization-0.16 實驗（紅色實線）結果明顯地比 Localization-0.1 實驗差（綠色點直線），此現象至第 72 小時預報時都可明顯地看出；但如果考慮 Sampling Errors 修正作用（藍色實線），雖然結果也為負效益，但其變差之趨勢不像 Localization-0.16 實驗那麼顯著，即表示有對溫度場預報準確度進行改善作用。在 U 風場方面，如圖 20 所示，中高對流層中明顯地 Localization-0.16 實驗表現最差，尤其在氣壓 200mb~300mb 層，此結果同樣至第 72 小時預報時仍可看出；經 Sampling Errors 修正項同樣有得到改善作用。在 V 風場方面，如圖 21 所示，其結果與 U 風場相似，只是至 48 小時預報時，Localization-0.16 變差幅度不像 U 風場那麼顯著。

在冬季個案剖面圖結果，在溫度場方面，如圖 22 所示，Localization-0.16 實驗也和夏季個案一樣，預報結果為負效益，不過其變差之趨勢沒有像夏季個案那麼明顯；對於 Sampling Errors 修正項實驗，因得到相關雜訊修正作用，故預報結果沒有變差現象，但和 Localization-0.1 實驗也無太大差異，表現略佳。對 U 風場(圖 23)和 V 風場(圖 24)而言，也同樣得到與溫度場相似之結果。

爲了進一步有效了解 Localization-0.16 實驗與 Localization-0.16+Sampling Errors 實驗對預報效率之差異，故將夏季個案與冬季期間之第 12、24、36、48、60、72 小時預報時作 RMSE 平均，並與 Localization-0.1 實驗比較，如圖 25、圖 26 所示，其中圖 25 爲夏季個案、圖 26 爲冬季個案，在圖中「正值」代表 RMSE 是減少的，且值愈大代表預報改善愈顯著。由此兩圖更能明顯地表示出 Localization-0.16 設定使預報準確度變差之現象，尤其夏季個案特別顯著；同時也了解加入 Sampling Errors 修正項後明顯地對 Localization-0.16 設定有改善作用，這修正作使得夏季個案結果有大幅度改進，再次提升模式預報能力。

### (3) 整體評估與結果

當 Localization 範圍增大時，可提供較完整的背景場誤差結構，但相對地相關雜訊問題也會變得更嚴重。由實驗結果顯示，Localization 增大所造成的相關雜訊，將嚴重地影響 EAKF 同化效益，並且使系集平均預報準確率大幅度降低，Localization 參數設定明顯地影響著模式預報能力，尤其針對夏季期間，因不穩定天氣系統顯著，相關雜訊問題會比冬季期間嚴重，使夏季期間預報結果之變差趨勢比冬季期間明顯。

有考慮 Sampling Errors 修正作用後，明顯地有助於減少相關雜訊問題，以改進模式預報結果；但當 Localization 之相關雜訊過於嚴重，如 Localization-0.16 夏季期間實驗，Sampling Errors 是無法完全改善相關雜訊問題，因此如何選取 Localization 範圍是很重要的項目。

#### 5.3、Sampling Errors 修正項對不同 Localization 範圍之作用

由 5.2 節了解到 Sampling Errors 修正項對 Localization-0.16 有明顯地改善作用，但此趨勢是否對任一 Localization 範圍有相同結果，故職對 Sampling Errors 修正項額外進行 Localization-0.1+Sampling Errors 實驗，並與 Localization-0.16 + Sampling Errors 實驗作比較。

圖 27 為經使用和不使用 Sampling Errors 修正項之預報結果比較後，各預報時 RMSE 值減少的百分比(%)之平均結果，其中右半部皆為 Localization-0.16，左半部皆為 Localization-0.1，上半部皆為夏季個案，下半部皆為冬季個案。由圖 27 結果分析出，在 Localization-0.1 時(圖 27(b)、(d))，Sampling Errors 不但對預報結果無修正作用，反而使預報結果變差，尤其是夏季個案，此效率明顯地和 Localization-1.6 實驗(圖 27(a)、(c))相反。

故當 Localization 範圍小時，不該有的 noise 相對較少，使 Sampling Errors 參數無法有效率地發揮作用，並且此參數是由「低階」模式定義出來，加入此作用後，可能會破壞背景誤差主要的結構特徵，使預報能力降低。因此 Sampling Errors 修正項對 Localization 範圍大時，才會真正地發揮它應有的效率。

#### 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) 控制參數之使用策略

由本次實習，評估出有效調整 EAKF 同化系統控制參數，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，故希望進階藉由控制參數使用策略之改進及調整，再次進行不同颱風個案之參數測試研究，進一步分析 EAKF 參數對颱風路徑之影響，期望能有效改善颱風路徑預報誤差。

##### (二) 同化觀測資料之使用策略

近年來本局 EAKF 同化系統已成功同化 GPSRO(GPS radio occultation)觀測資料，經初步測試與分析，對預報準確率有正面效益。此資料來自福爾摩沙衛星三號掩星，它可以改善海上觀測資料不足的區域，提供颱風在太平洋海面上的大氣狀態。目前同仁對於 EAKF 同化 GPSRO 資料方法仍瞭解不夠深，未來應持續研究與改進 GPSRO 資料，分析如何提升 EAKF 系統效益。

另外本局作業 WRF3DVAR 資料同化系統，值入 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts；歐洲中期氣象預報中心)資料進行同化後，對模式預報場有正面改善。目前 EAKF 系統無同化 ECMWF 資料，故未來應在 EAKF 中值入 ECMWF 資料，進行個案分析，探討此資料對 EAKF 同化系統之效率為何。

附圖

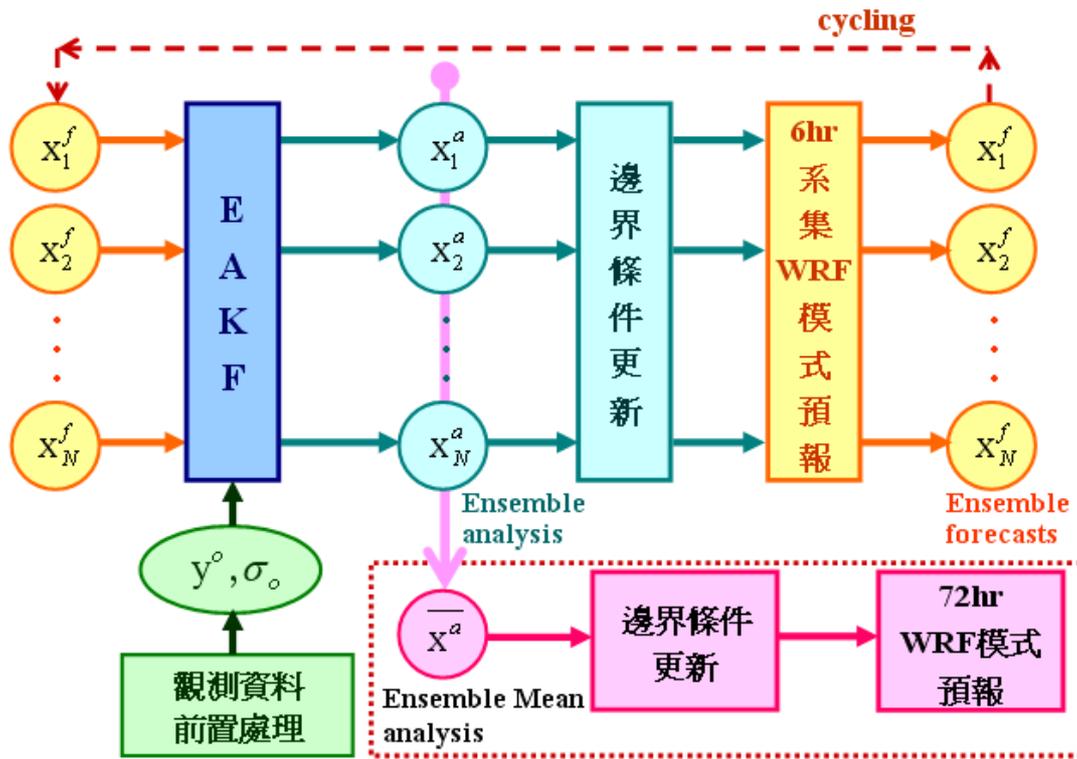


圖 1：中央氣象局 WRF/EAKF cycling run 示意圖。其中， $x_m^f$  ( $m=1, \dots, N$ ) 代表  $N$  組系集背景場(預報場)， $x_m^a$  ( $m=1, \dots, N$ ) 代表  $N$  組系集分析場 (Ensemble analysis)， $\bar{x}^a$  代表系集平均分析場 (Ensemble Mean analysis)， $y^o$  代表觀測值， $\sigma_o$  代表觀測誤差統計特性。

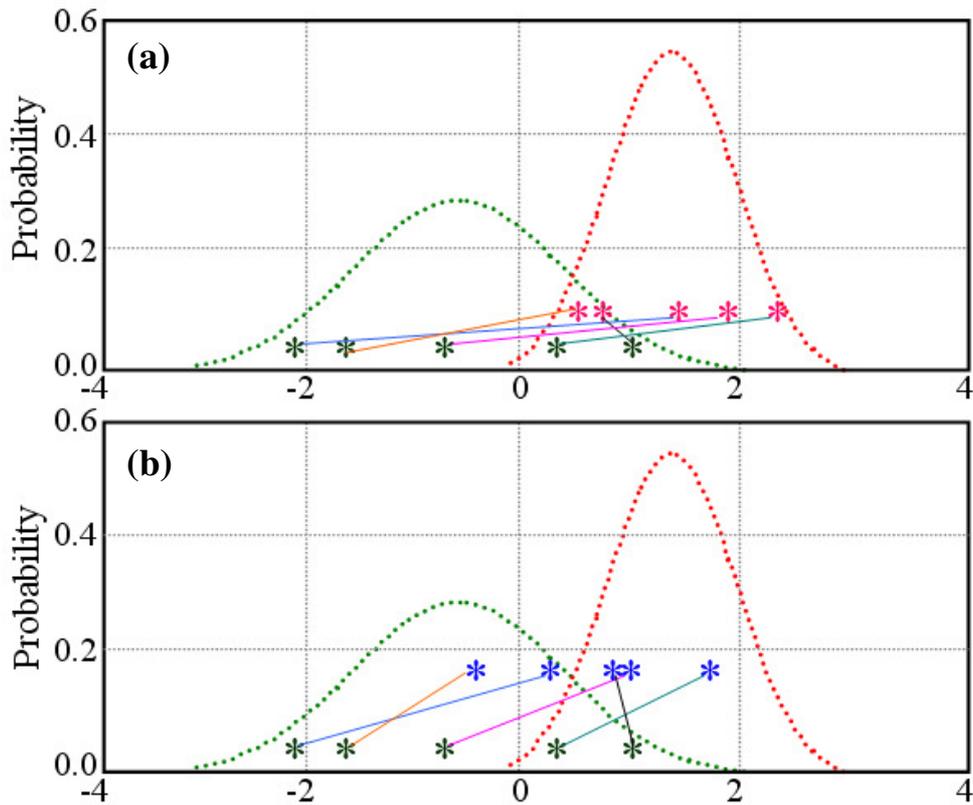


圖 2：EnKF 同化系統之示意圖，其中綠色 \* 代表系集背景場，紅色 \* 代表系集擾動觀測值，藍色 \* 代表系集分析場。(a) 為系集擾動觀測值與系集背景場隨機配對過程；(b) 為系集背景場經 EnKF 資料同化後之系集分析場對應結果。圖片參考於：

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

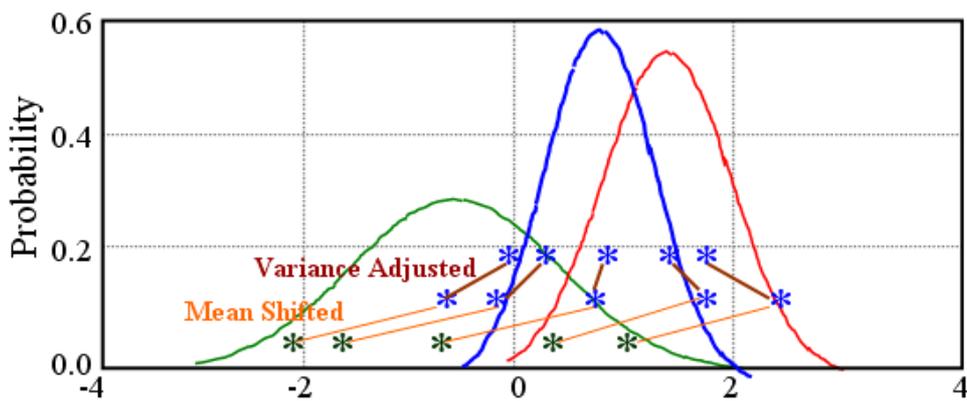


圖 3：EAKF 同化系統之示意圖。其中綠色 \* 代表系集背景場，藍色 \* 代表經調整過程之分析場；綠色實線代表背景場機率密度分布，紅色實線代表觀測值機率密度分布，藍色實線代表分析場機率密度分布。圖片參考於：

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

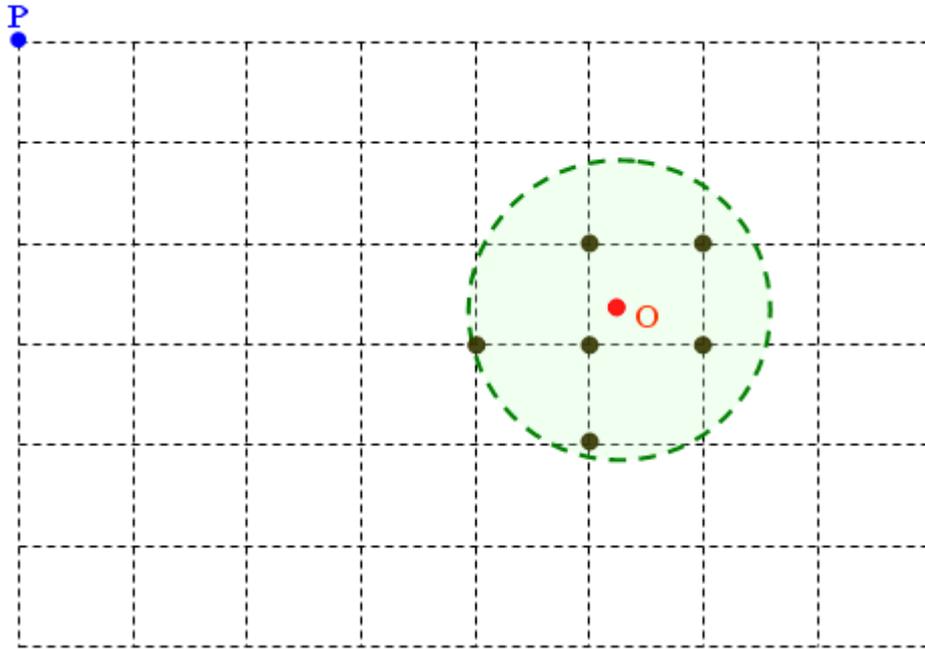


圖 4：Localization 控制參數平面網格示意圖。其中淺綠色範圍代表 Localization 設定之相關範圍，綠色圓點代表淺綠色相關範圍內之網格點，紅色圓點代表觀測點，藍色圓點代表某一遠處網格點。

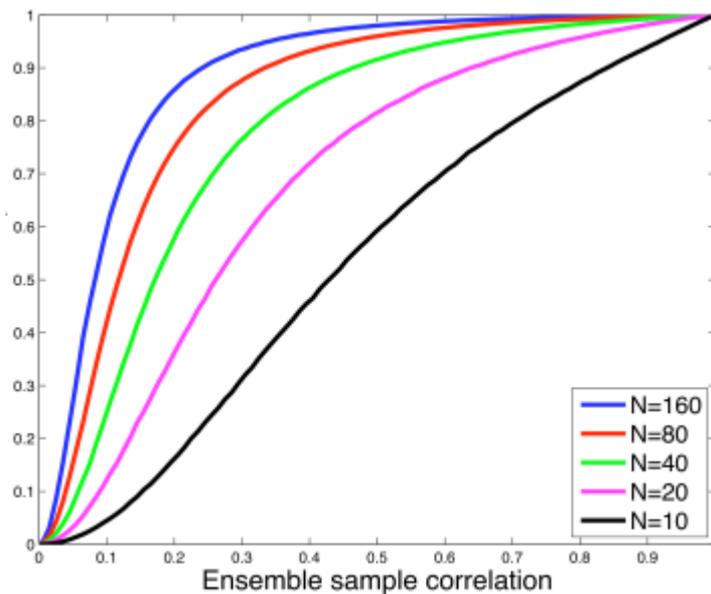


圖 5：應用低階模式分析出不同系集成員數量，相關值與相關修正值之曲線分布，其中 x 軸代表相關值，y 軸代表相關修正值(對相關值作縮減之倍率)，N 代表系集成員數量。圖片來源：

[http://www.image.ucar.edu/pub/DART/2010/2010\\_Bergen\\_JLA\\_talk.pdf](http://www.image.ucar.edu/pub/DART/2010/2010_Bergen_JLA_talk.pdf)

## Domain of CWB WRF

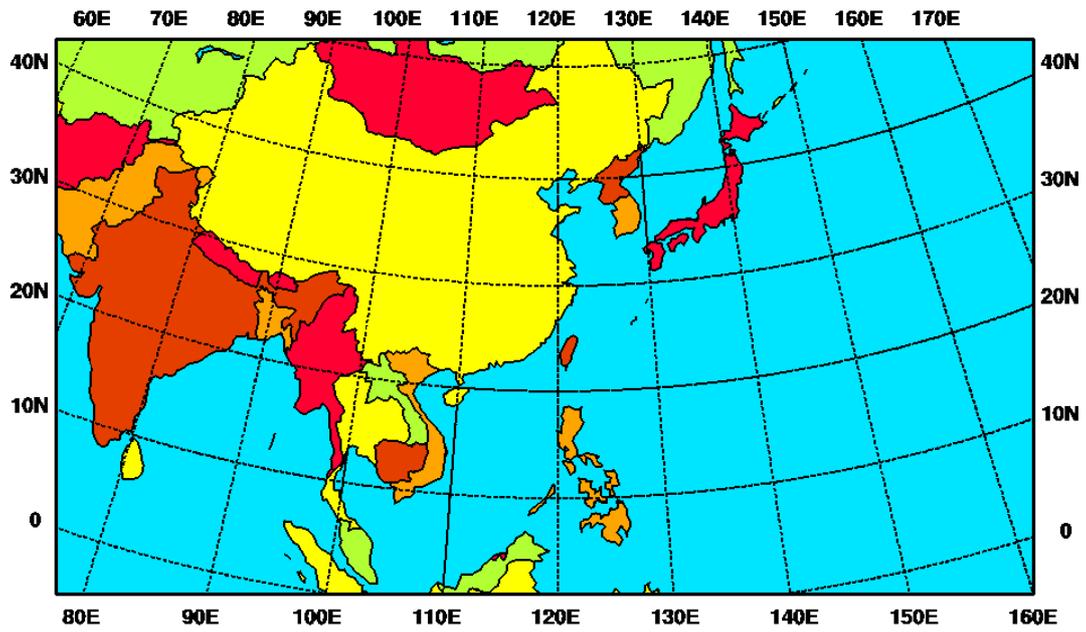


圖 6：中央氣象局 WRF 模式預報網格點範圍，網格數為 222 x 128，格點解析度為 45 km，投影法為藍伯特 (Lambert)。

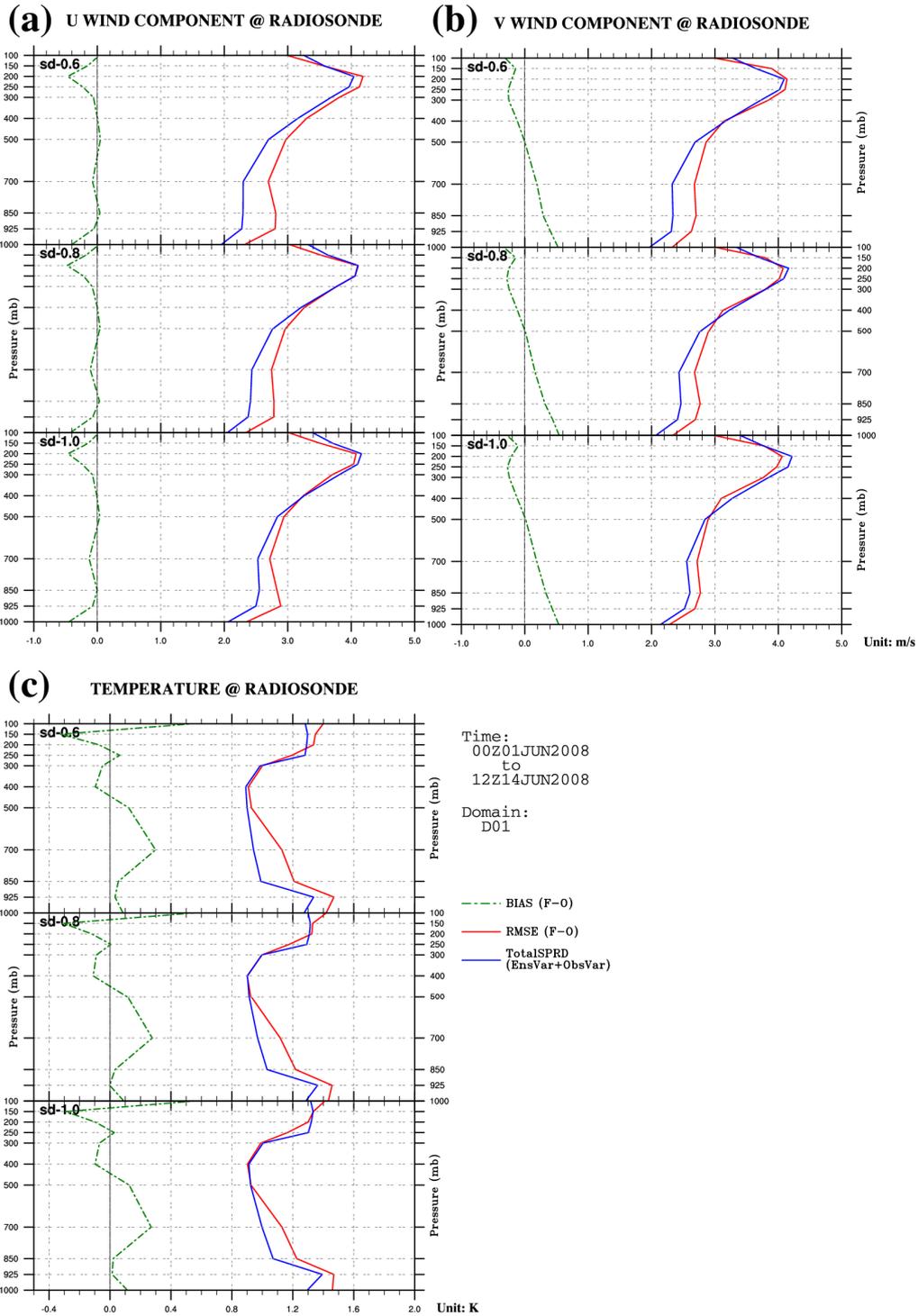


圖 7：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值實驗測試之 (a) U 風場，(b) V 風場，(c) 溫度場 垂直診斷參數分布圖，由上至下分別為 sd-0.6、sd-0.8、sd-1.0 診斷結果。其中紅色實線為 RMSE，藍色實線為 TotalSPRD，綠色點直線為 BIAS。

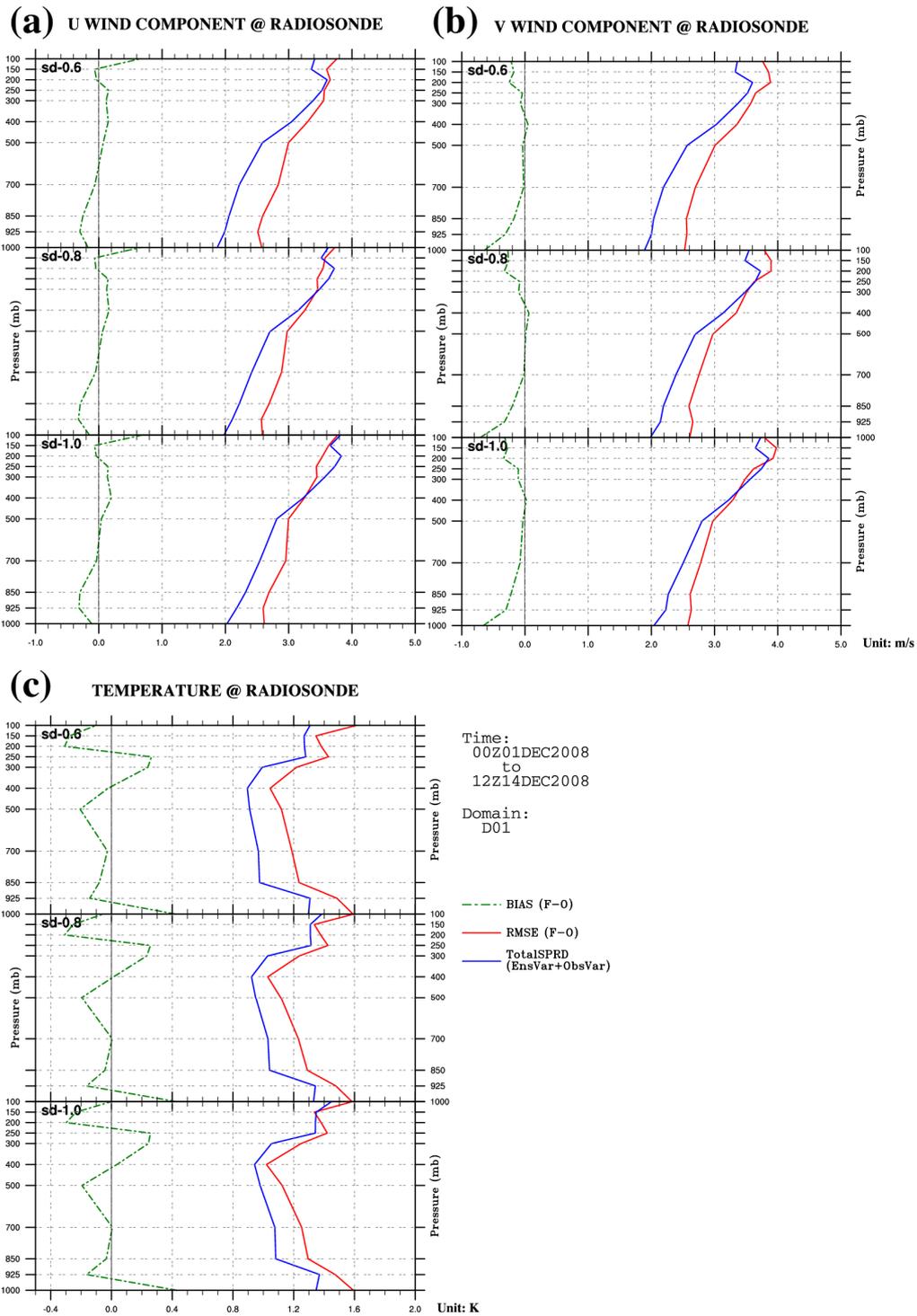
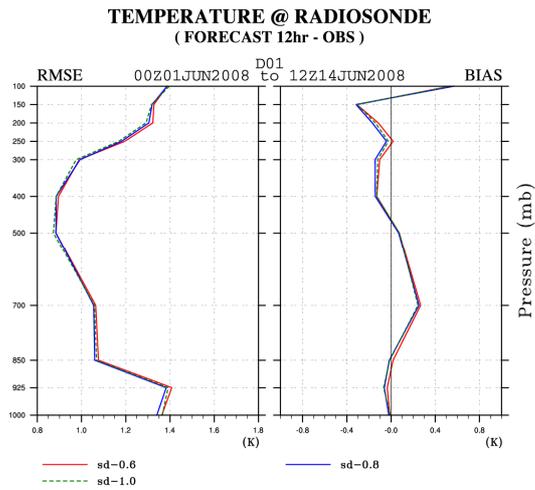
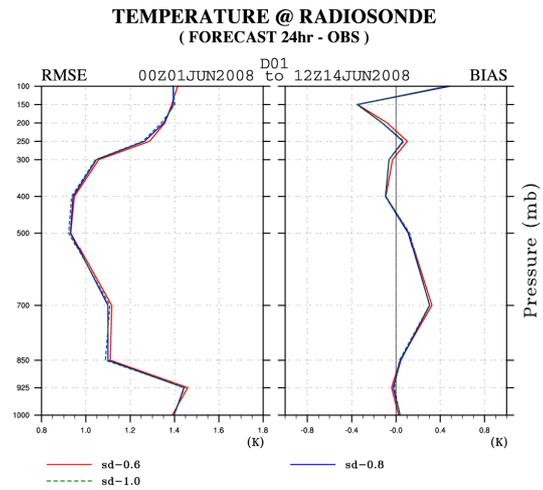


圖 8：同圖 7，但為 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值實驗測試之診斷結果。

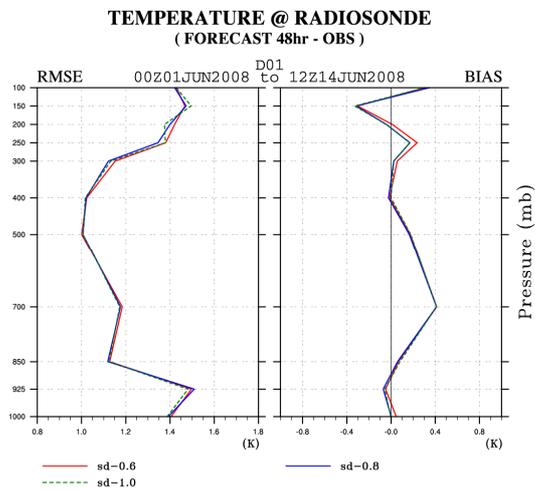
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

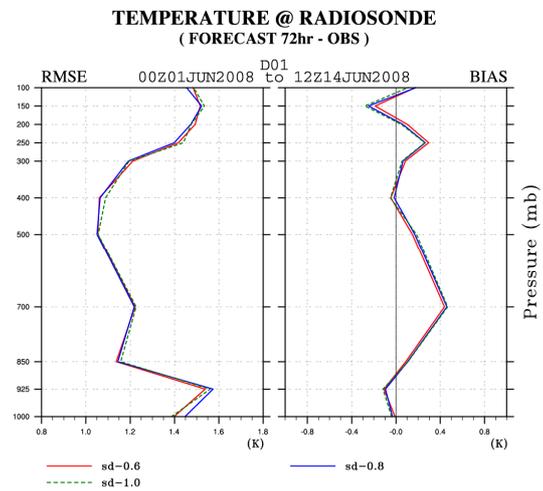
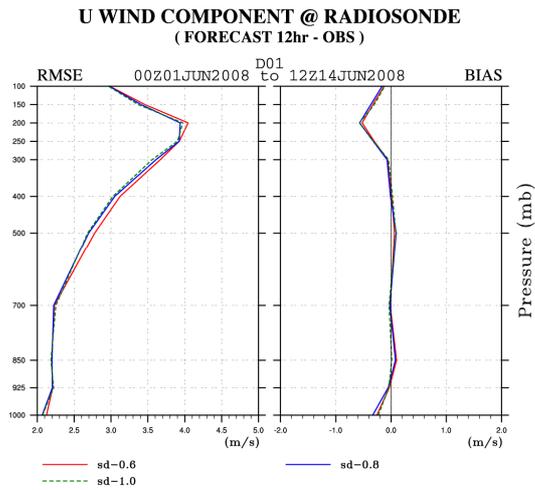
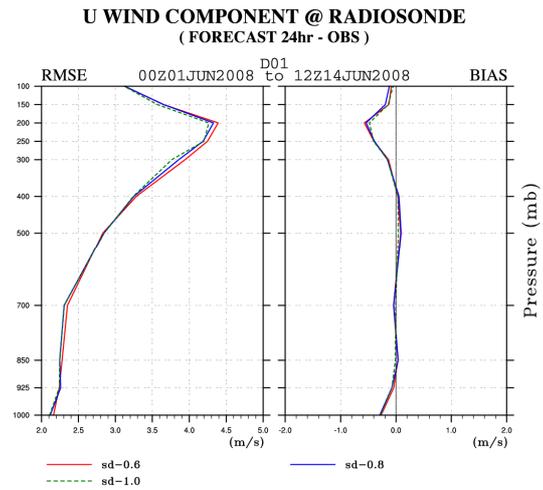


圖 9：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值實驗測試之第 (a) 12hr，(b) 24hr，(c) 48hr，(d) 72hr 預報時溫度場校驗結果，由左至右分別為 RMSE、BIAS 垂直分布圖。其中紅色實線為 sd-0.6 實驗，藍色實線為 sd-0.8 實驗，綠色點直線為 sd-1.0 實驗。

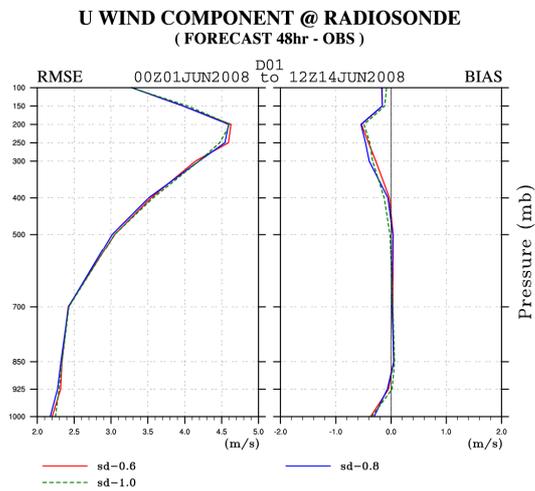
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

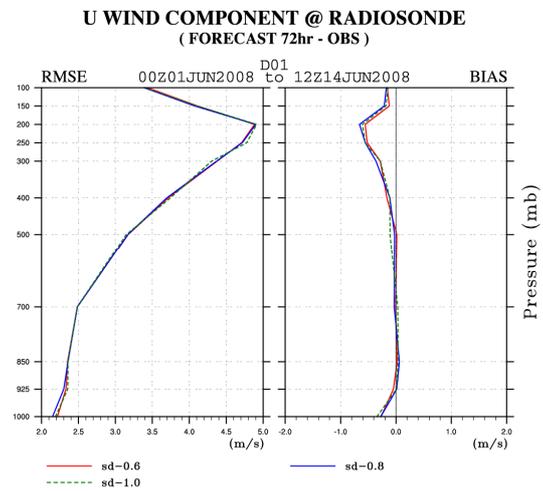
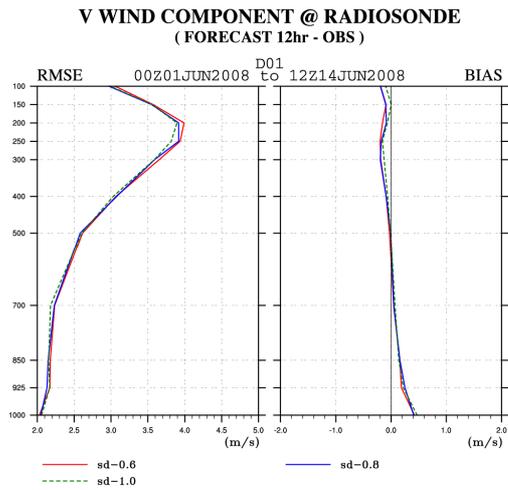
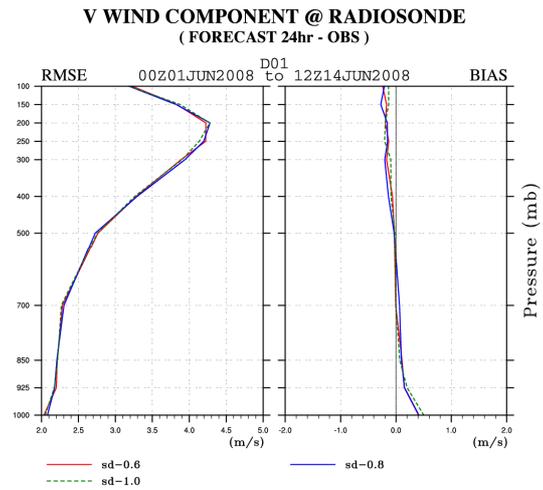


圖 10：同圖 9，但為 U 風場預報校驗結果。

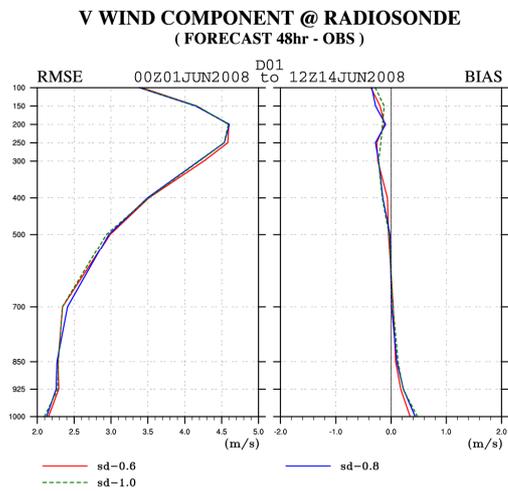
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

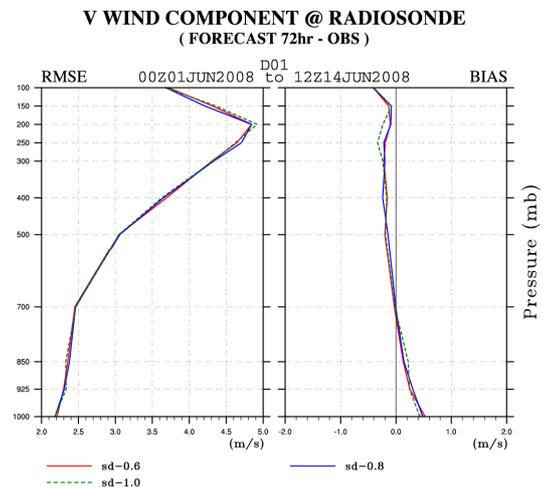
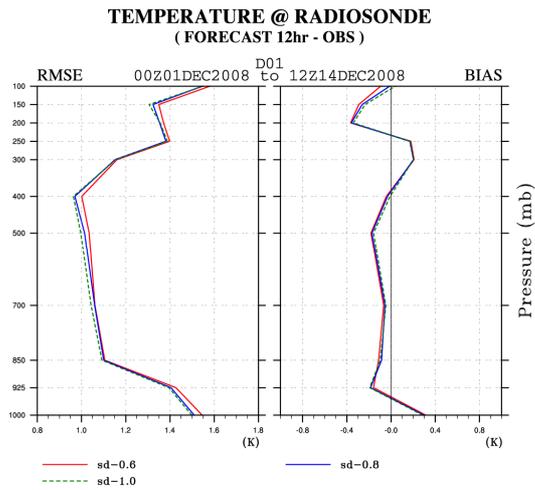
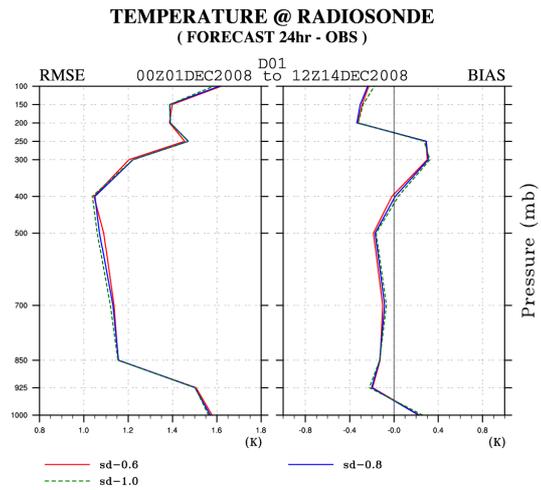


圖 11：同圖 9，但為 V 風場預報校驗結果。

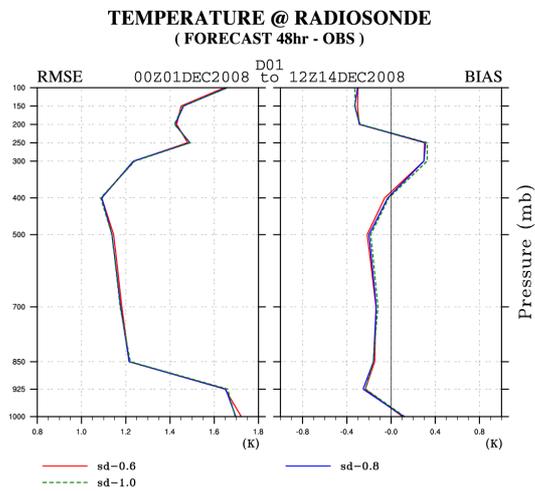
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

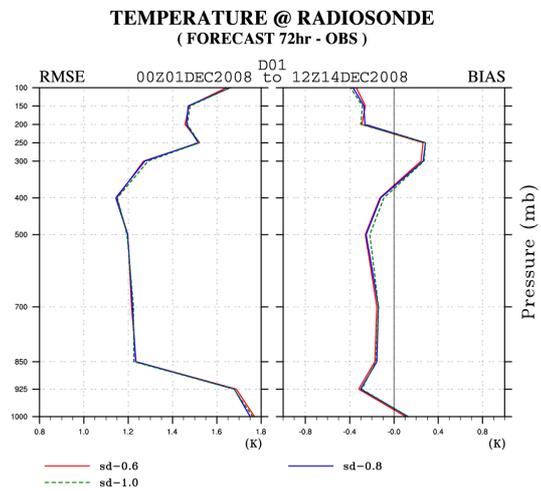
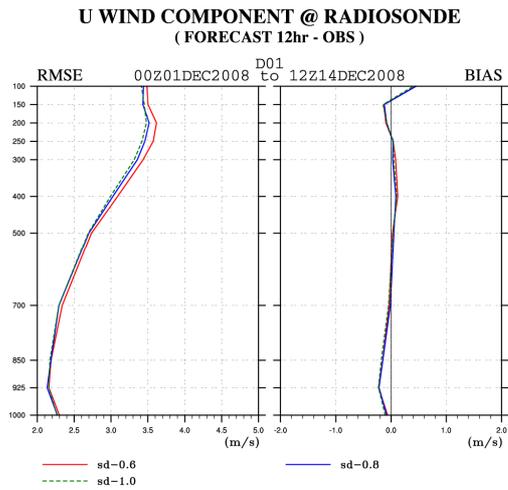
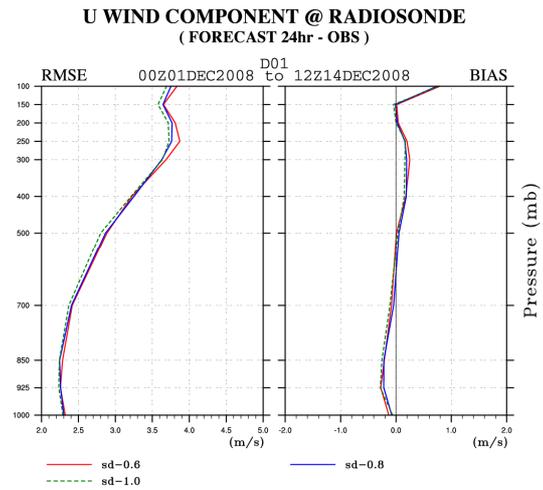


圖 12: 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值實驗測試之第 (a) 12hr , (b) 24hr , (c) 48hr , (d) 72hr 預報時溫度場校驗結果, 由左至右分別為 RMSE、BIAS 垂直分布圖。其中紅色實線為 sd-0.6 實驗, 藍色實線為 sd-0.8 實驗, 綠色點直線為 sd-1.0 實驗。

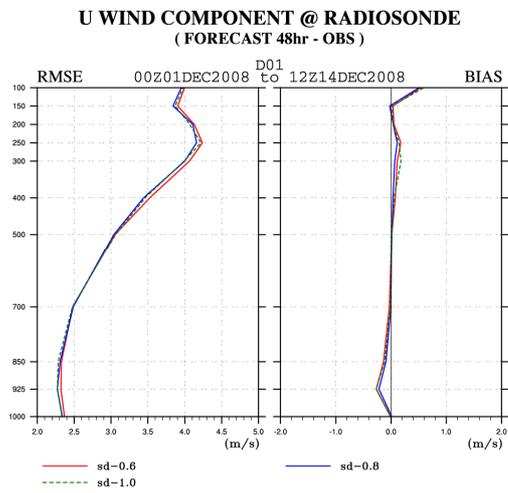
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

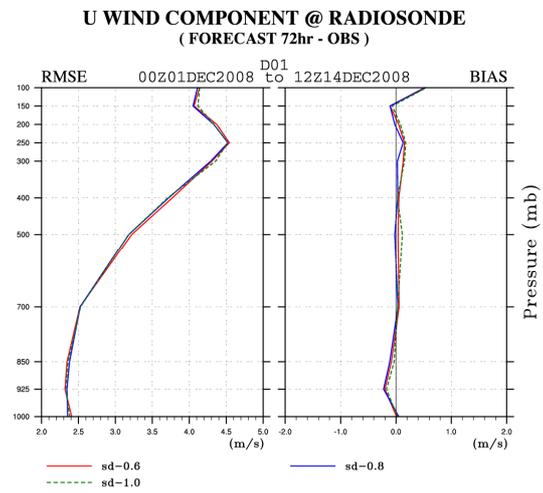
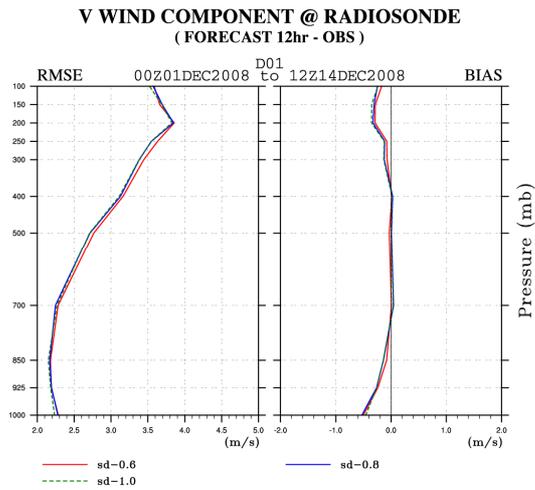
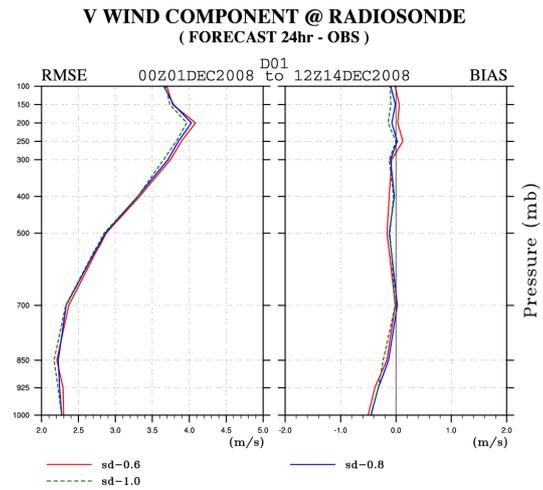


圖 13：同圖 12，但為 U 風場預報校驗結果。

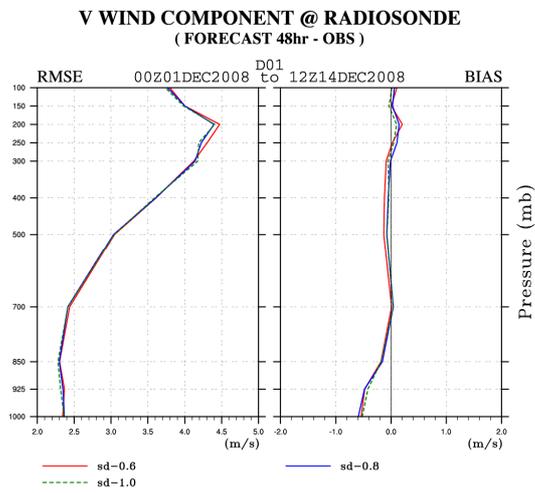
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

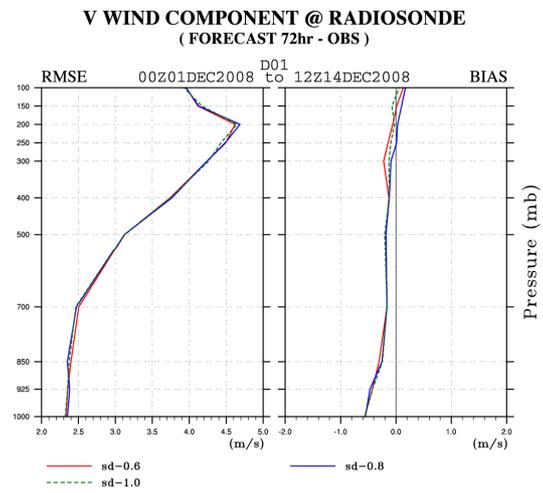


圖 14：同圖 12，但為 V 風場預報校驗結果。

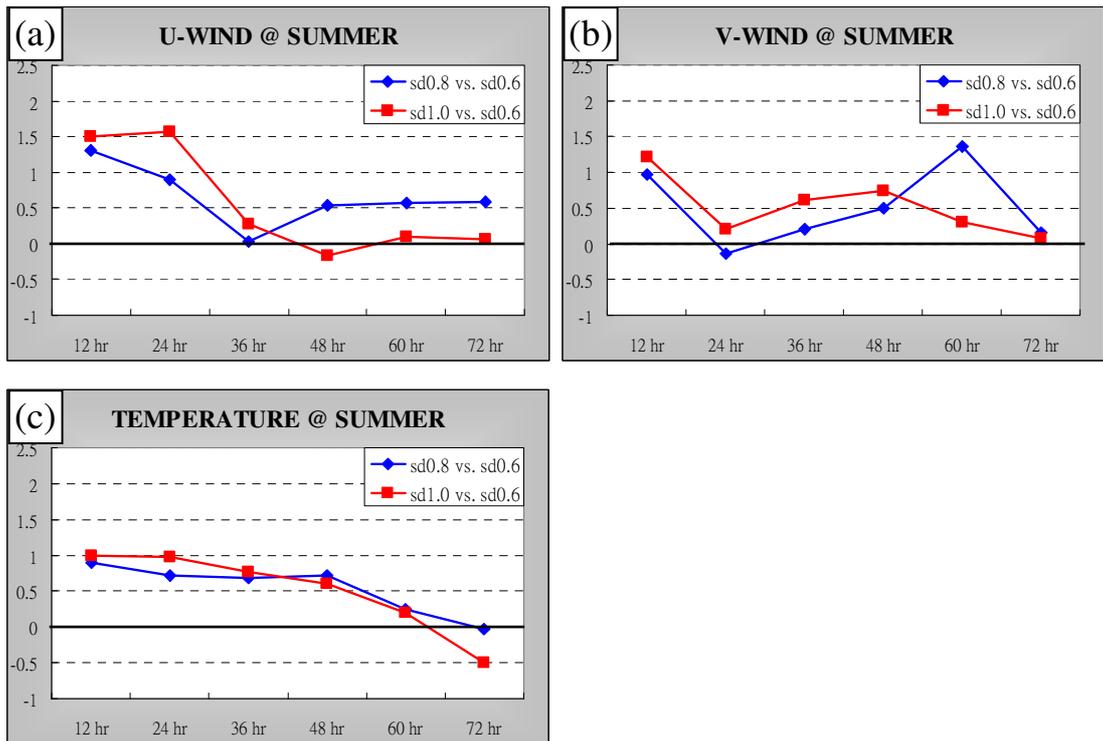


圖 15：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) (a) U 風場，(b) V 風場，(c) 溫度場 之各預報時 RMSE 值減少的百分比(%) 之平均結果。其中藍色實線為 sd-0.8 實驗與 sd-0.6 比較的結果，紅色實線為 sd-1.0 實驗與 sd-0.6 比較的結果。在圖中「正值」代為 RMSE 值減少，為正效益。

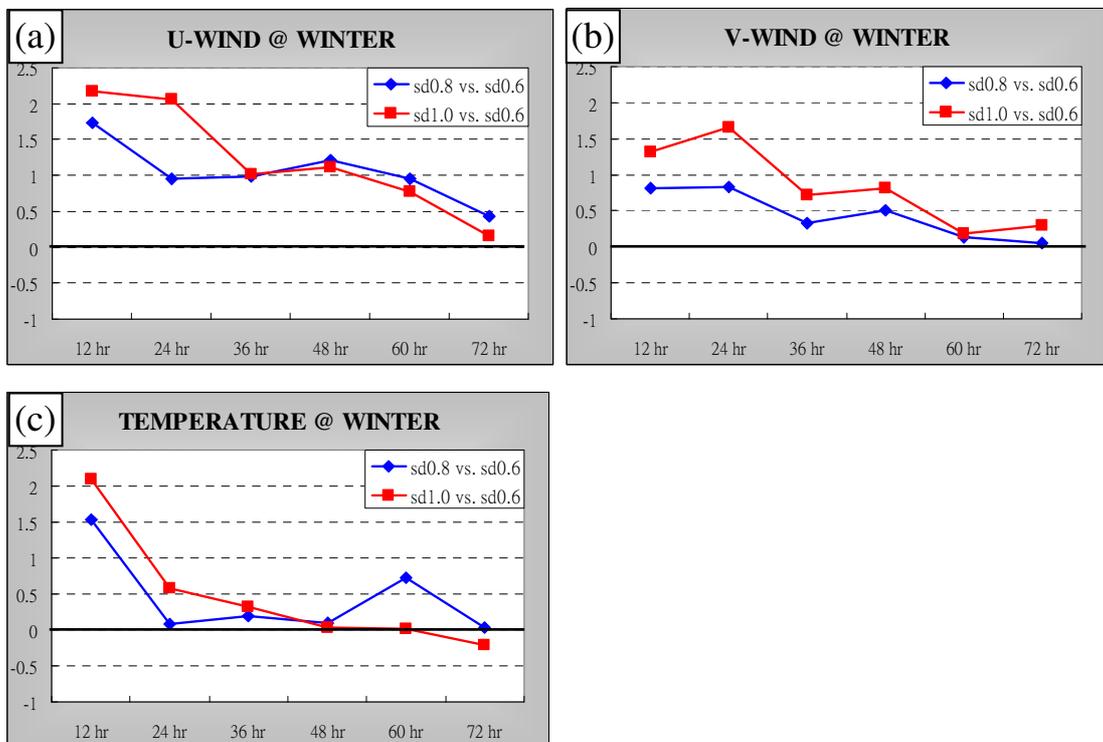


圖 16：同圖 15，但為 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) 結果。

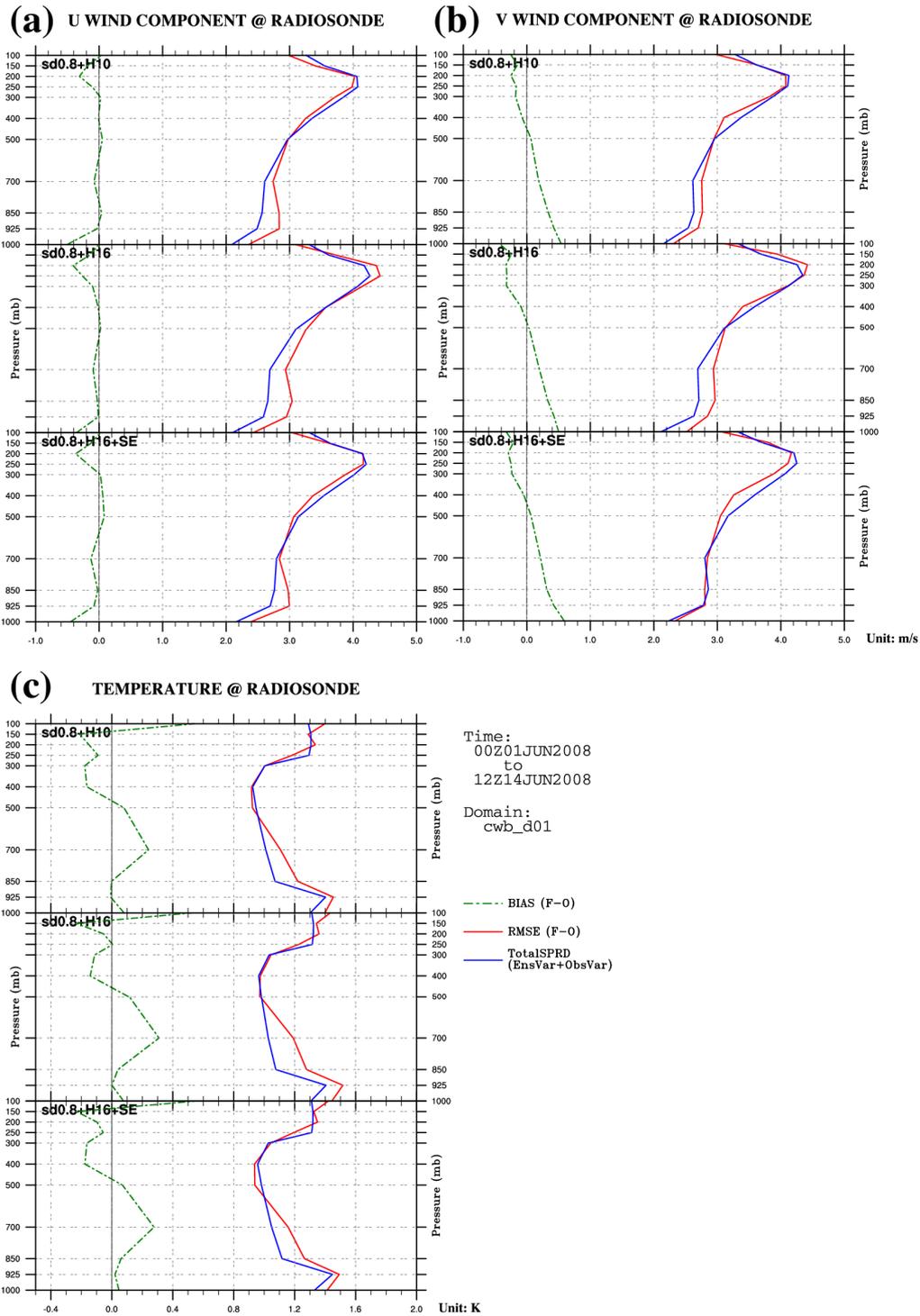


圖 17：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) Localization 與 Sampling Errors 參數值實驗測試之 (a) U 風場，(b) V 風場，(c) 溫度場 垂直診斷參數分布圖，由上至下分別為 Localization-0.1(簡稱 H10)、Localization-0.16(簡稱 H16)、Localization-0.16+加入 Sampling Errors(簡稱 SE) 修正項之診斷結果，而實驗裡的 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值皆設為 0.8。其中紅色實線為 RMSE，藍色實線為 TotalSPRD，綠色點直線為 BIAS。

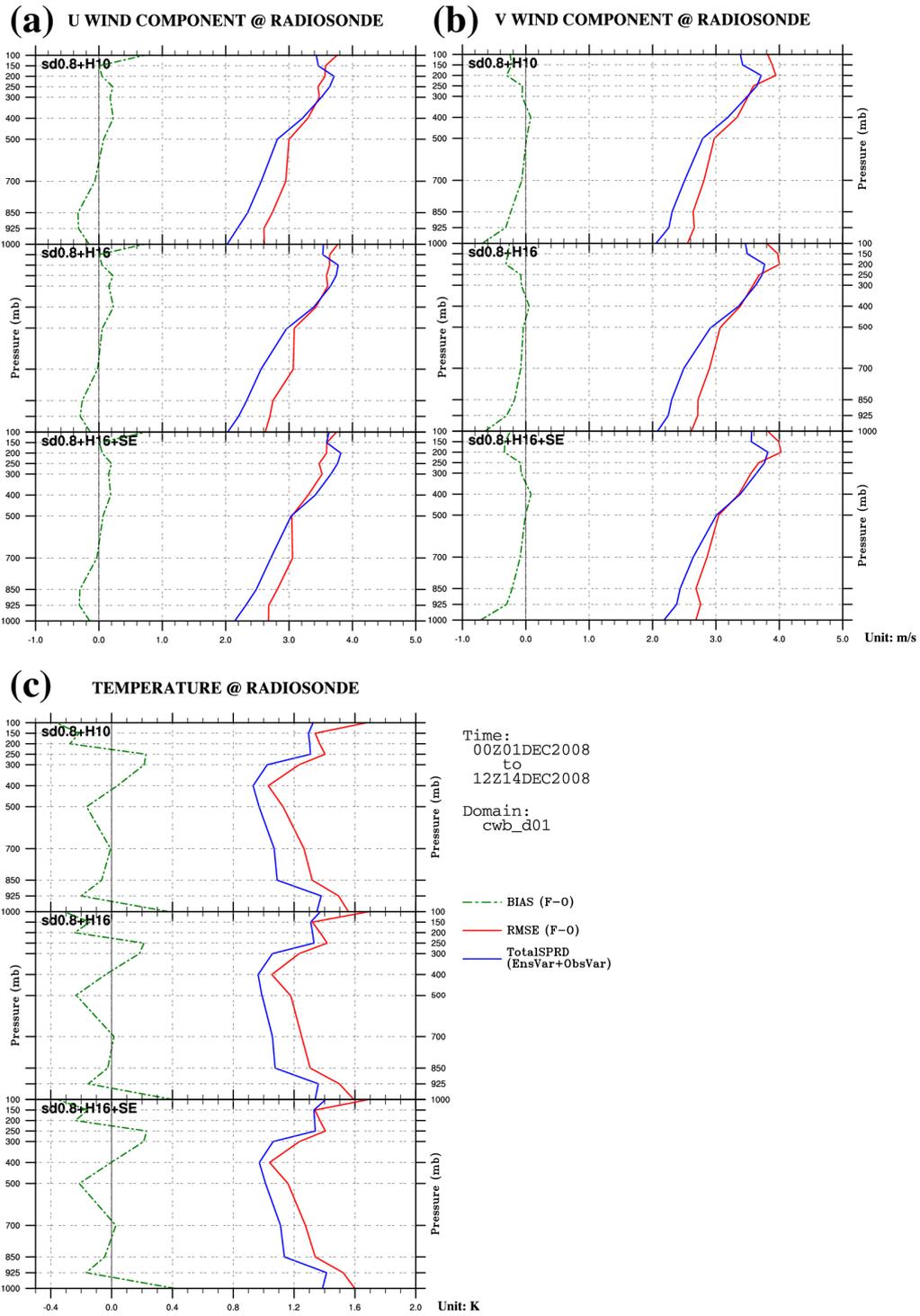
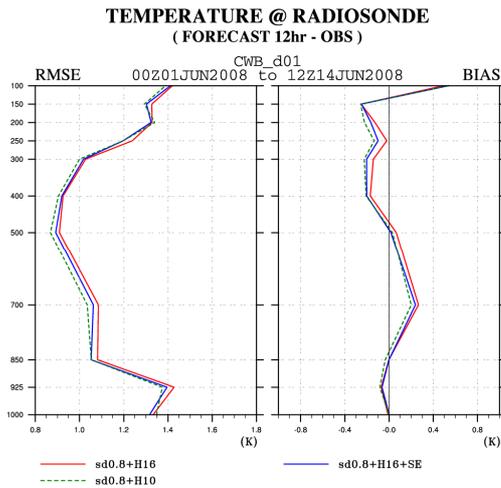
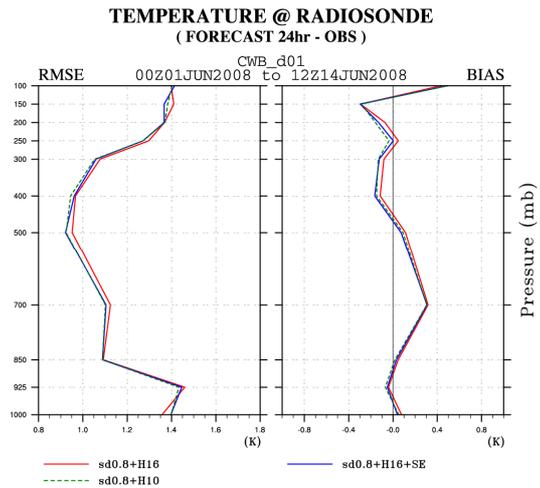


圖 18: 同圖 17, 但為 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) Localization 與 Sampling Errors 參數值實驗測試之診斷結果。

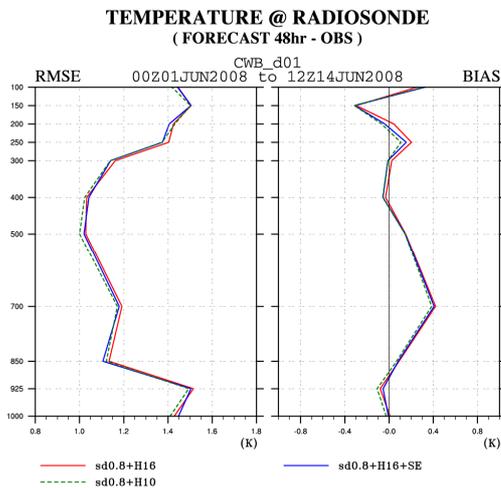
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

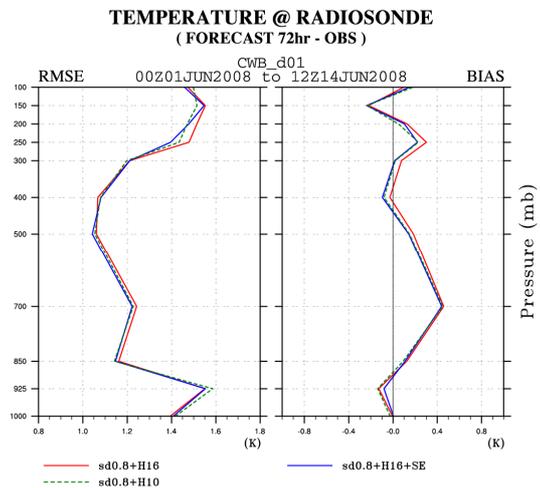
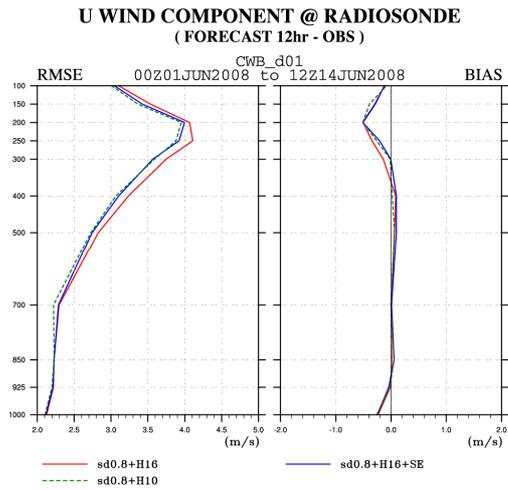
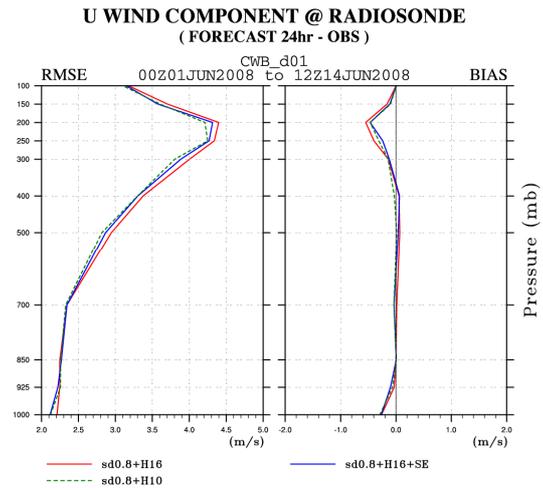


圖 19：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) Localization 與 Sampling Errors 參數值實驗測試之第 (a) 12hr，(b) 24hr，(c) 48hr，(d) 72hr 預報時溫度場校驗結果，由左至右分別為 RMSE、BIAS 垂直分布圖。其中紅色實線為 Localization-0.16(簡稱 H16) 實驗，藍色實線為 Localization-0.16+加入 Sampling Errors(簡稱 SE) 修正項之實驗，綠色點直線為 Localization-0.1(簡稱 H10) 實驗，而實驗裡的 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值皆設為 0.8。

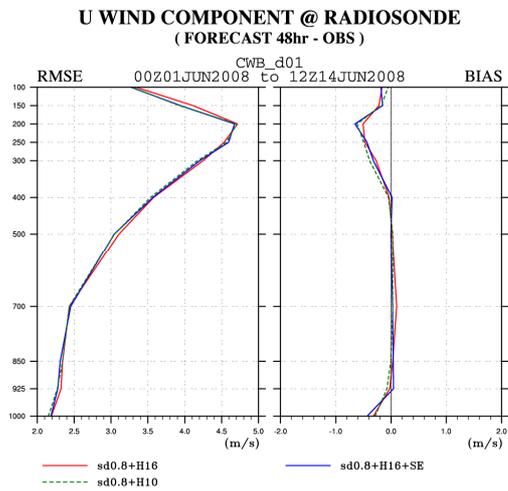
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

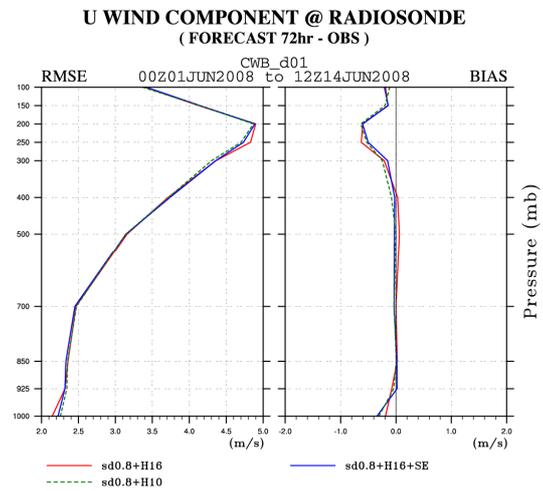
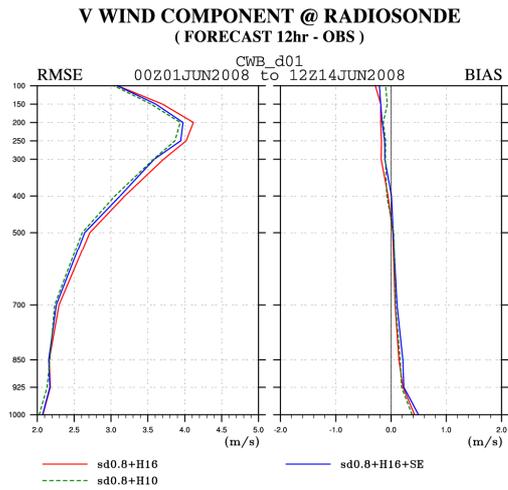
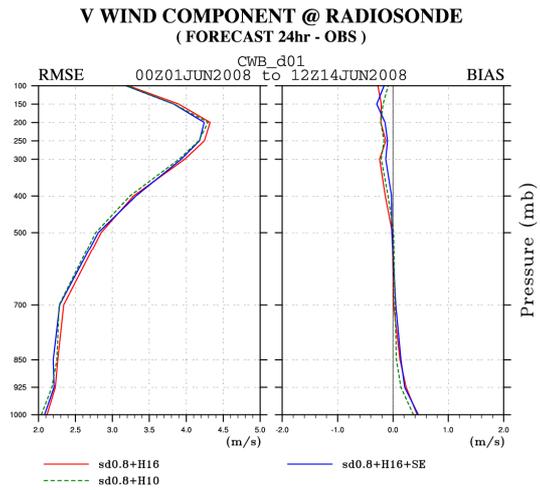


圖 20：同圖 19，但為 U 風場預報校驗結果。

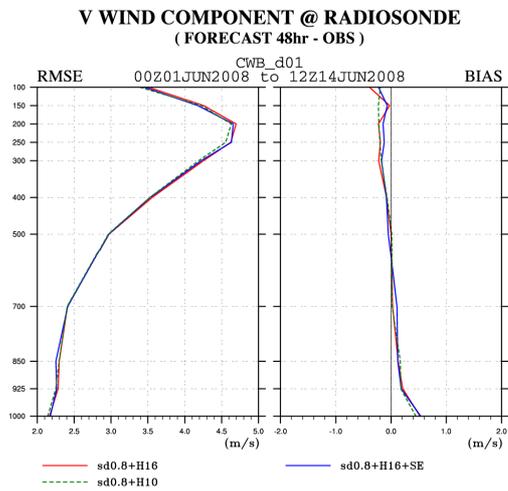
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

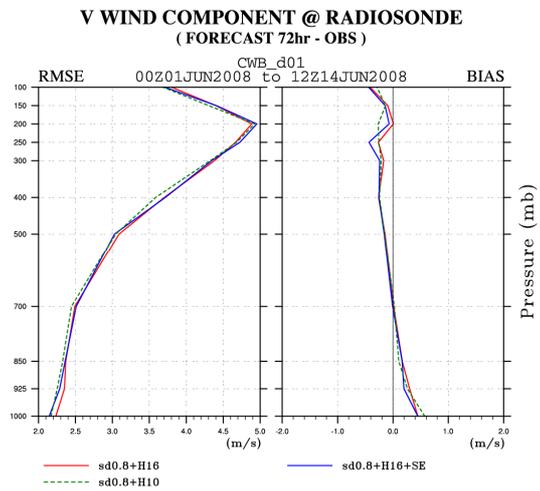
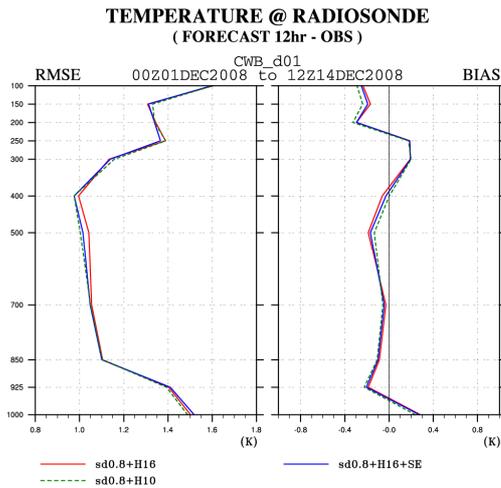
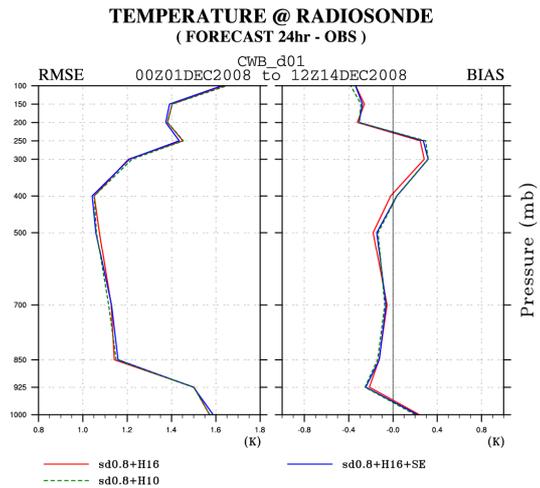


圖 21：同圖 19，但為 V 風場預報校驗結果。

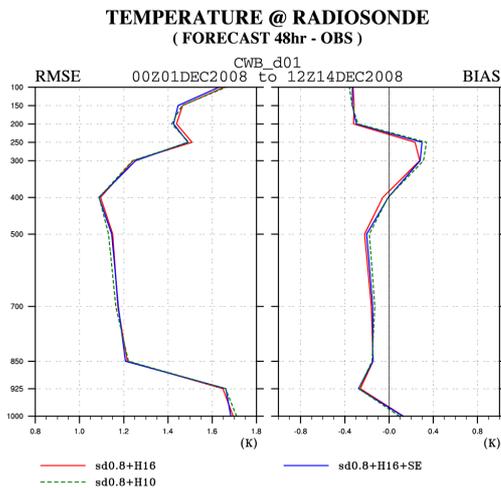
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

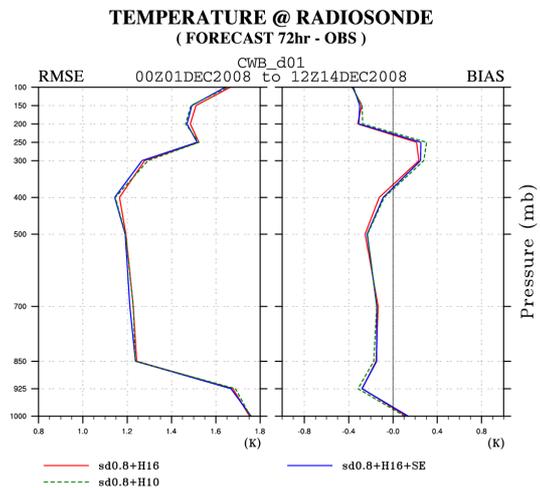
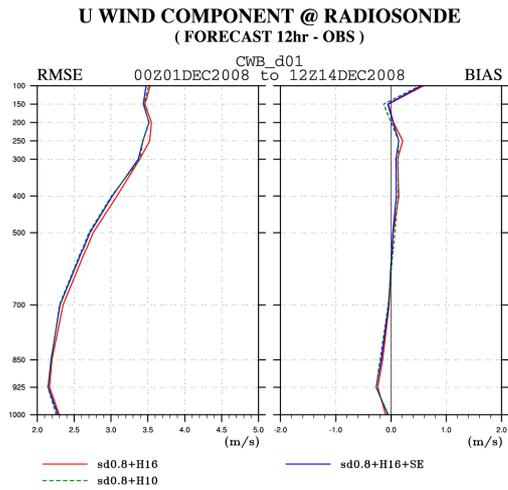
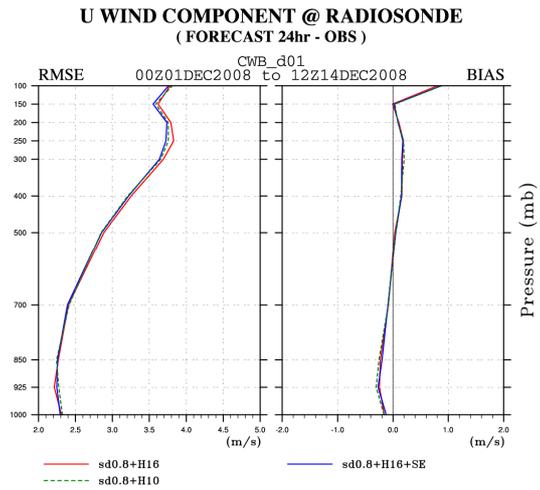


圖 22: 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) Localization 與 Sampling Errors 參數值實驗測試之第 (a) 12hr , (b) 24hr , (c) 48hr , (d) 72hr 預報時溫度場校驗結果, 由左至右分別為 RMSE、BIAS 垂直分布圖。其中紅色實線為 Localization-0.16(簡稱 H16) 實驗, 藍色實線為 Localization-0.16+加入 Sampling Errors(簡稱 SE) 修正項之實驗, 綠色點直線為 Localization-0.1(簡稱 H10) 實驗, 而實驗裡的 Standard Deviation of covariance inflation factor 參數值皆設為 0.8。

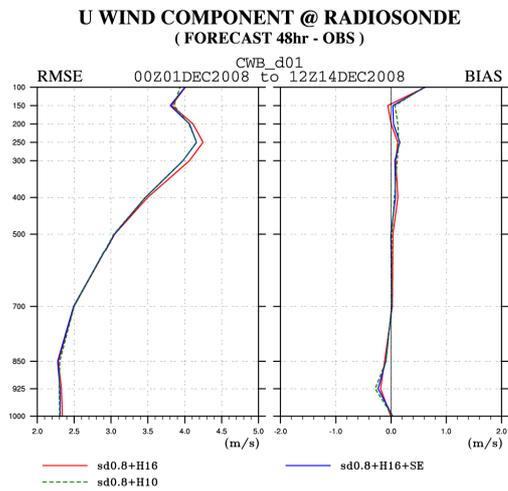
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

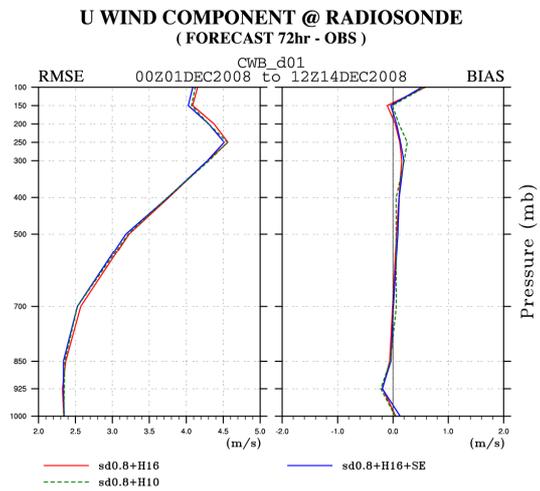
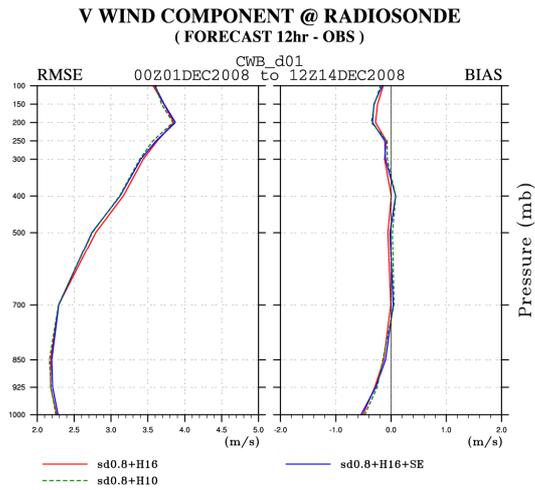
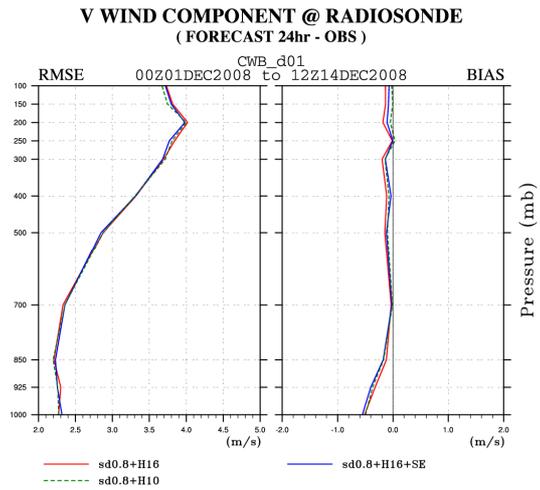


圖 23：同圖 22，但為 U 風場預報校驗結果。

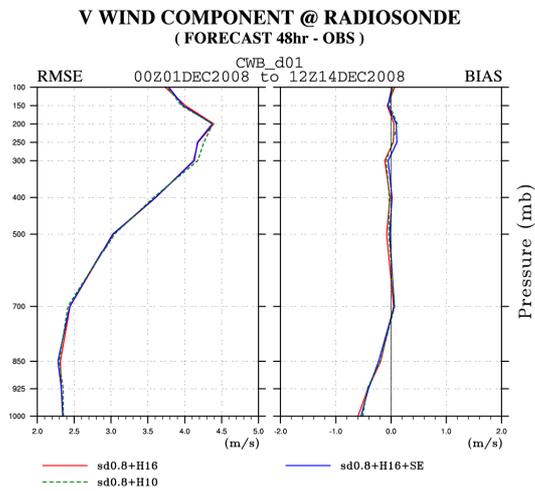
(a) 12hr 預報



(b) 24hr 預報



(c) 48hr 預報



(d) 72hr 預報

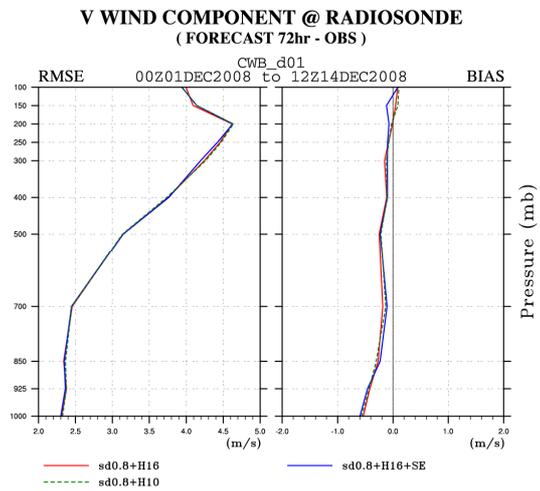


圖 24：同圖 22，但為 V 風場預報校驗結果。

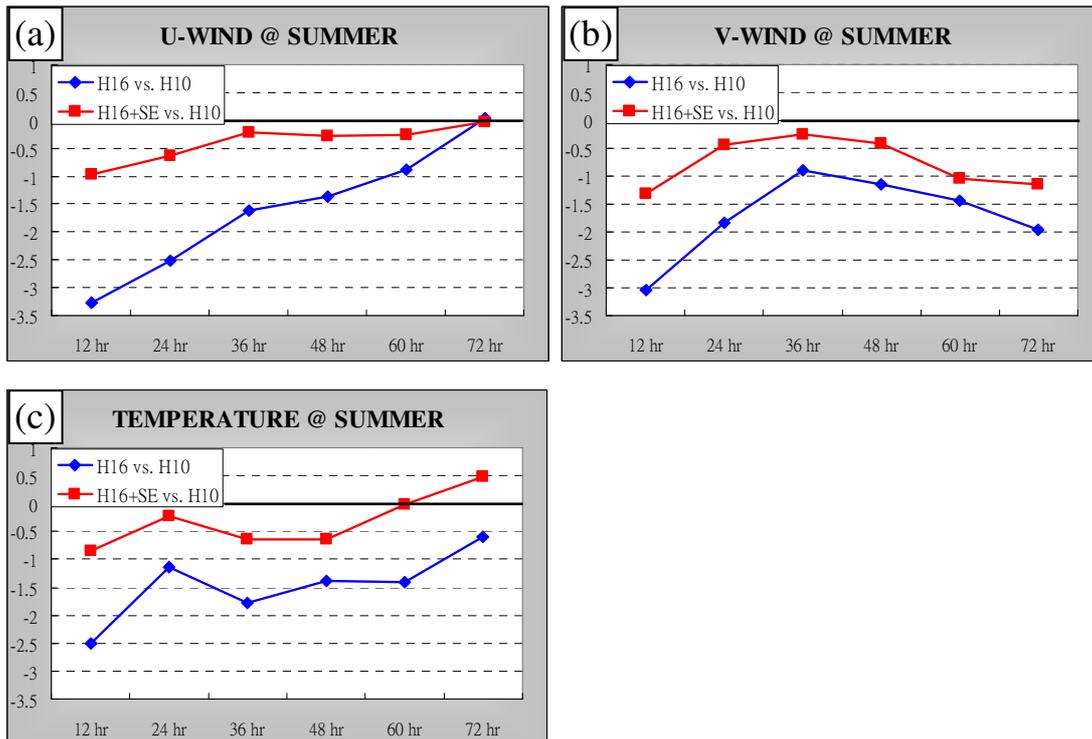


圖 25：2008 年 6 月 1 日~14 日(夏季期間) (a) U 風場，(b) V 風場，(c) 溫度場 之各預報時 RMSE 值減少的百分比(%) 之平均結果。其中藍色實線為 Localization-0.16 (H16) 與 Localization-0.1 (H10) 比較的結果，紅色實線為 Localization-0.16+Sampling Errors (H16+SE) 與 Localization-0.1 (H10) 比較的結果。在圖中「正值」代為 RMSE 值減少，為正效益。

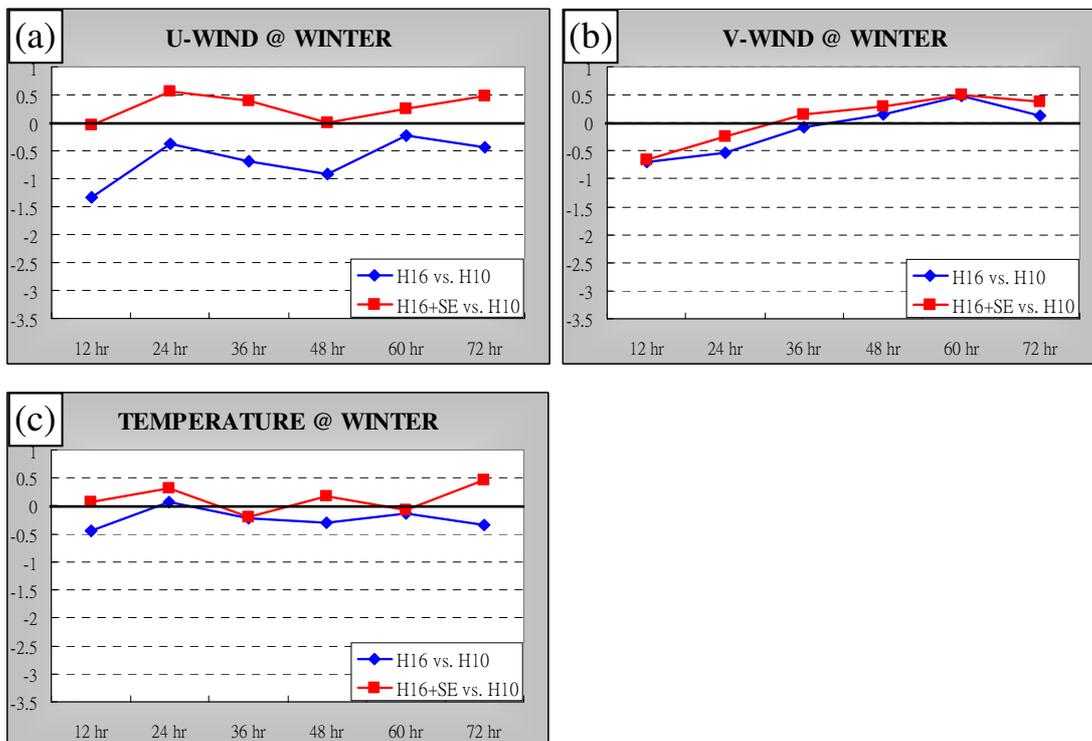


圖 26：同圖 25，但為 2008 年 12 月 1 日~14 日(冬季期間) 結果。

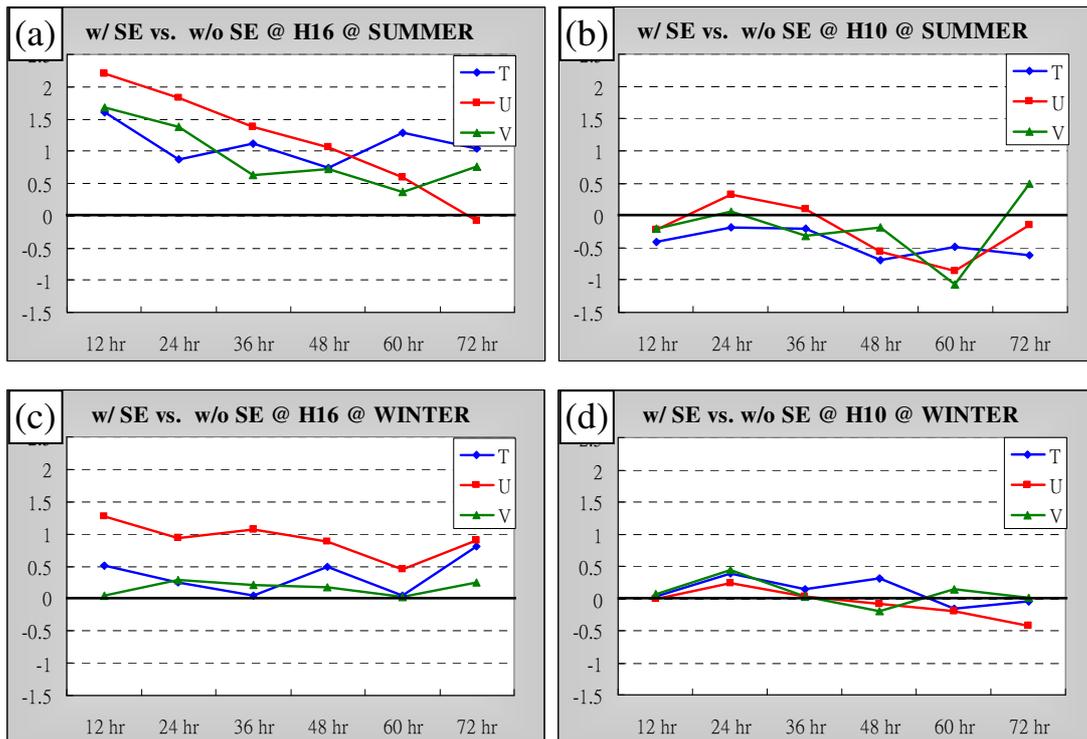


圖 27：(a) 2008 年 6 月 1 日 ~ 14 日 (夏季期間) 之 Localization-0.16 (H16)、(b) Localization-0.1 (H10) 與 (c) 2008 年 12 月 1 日 ~ 14 日 (冬季期間) 之 Localization-0.16、(d) Localization-0.1，經使用(w/)和不使用(w/o) Sampling Errors (SE) 修正項之比較後，其各預報時 RMSE 值減少的百分比(%) 之平均結果。其中藍色實線為溫度場(T)，紅色實線為 U 風場(U)，綠色實線為 V 風場(V)。在圖中「正值」代為 RMSE 值減少，為正效益。