

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  
WRF3DVAR-WRF

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：江晉孝 技佐

派赴國家：美 國

出國期間：95年5月1日至10月27日

報告日期：95年12月

## 摘要

天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting Model; WRF)與 WRF 三維變分資料同化 (WRF 3 Dimension Variational analysis; WRF3DVAR) 為中央氣象局未來主要之區域預報模式與資料分析方法，配合本局新一代高速電腦運算系統之建置，期能提高作業效率與預報準確率。

WRF3DVAR 是使用疊代法在給定的價值函數  $J(x)$  下解得與大氣實際情況最接近的最佳估計方法，而背景場誤差統計在 WRF3DVAR 裡扮演重要角色為影響此方法的關鍵。本次實習，主要即在利用 NMC 方法算出 WRF 模式在夏季的背景場誤差，並以單點上給定之觀測資料實驗來探討其特性，另外也針對 GPS 可降水量 (precipitable water; PW) 資料對模式降水預報的影響做了測試實驗，初步瞭解其效益及未來仍有須改善之處。另外學習使用 WRFVAR\_VERIFY 校驗系統，對各模擬結果進行在觀測點上的校驗。

**關鍵詞：**天氣研究與預報模式(WRF); 三維變分資料同化(3DVAR); 價值函數 (cost-function)

## 目次

一、目的	.....	3
二、過程	.....	4
三、心得	.....	8
四、建議	.....	15
附圖	.....	17

## 一、 目的

天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting Model; WRF)是近年來在國際上多個單位與學術機構致力發展研究的中尺度預報模式，更是未來國際上對於中尺度預報模式的重要溝通窗口，同時亦是本局未來中尺度天氣預報仰賴的主力。而三維變分資料同化系統(3 Dimension Variational analysis System; 3DVAR) 為利用疊代法來解給定的價值函數(cost-function)藉以客觀的最佳估計在分析時間點上的真實大氣狀態，並與天氣研究與預報模式相結合，配合本局新一代高速電腦運算系統，期能提高預報效能與準確率。

此行赴美實習的主要目的即在研習美國國家大氣科學研究中心 (National Center for Atmospheric Research; NCAR) 所發展的三維變分資料同化系統 (WRF3DVAR)，並將之與天氣預報與研究系統結合，進行系統之建置與預報結果評估與校驗之工作，同時亦針對 WRF3DVAR 背景場誤差以及 WRF3DVAR 校驗系統做初步瞭解與學習應用，另外也針對 GPS 可降水資料對 WRF3DVAR 與 WRF 模式之預報影響作分析與校驗。此系統之建置及使用經驗，以及個案預報所得之評估結果，於此報告中說明。

## 二、 過程

職此次赴美行程及工作內容說明如下表：

日期	地點與相關工作內容
95/5/1	台北→洛杉磯
95/5/1	洛杉磯→丹佛(於晚間8點抵達Denver)，郭永潤研究員前來接機
95/5/3	與NCAR-MMM郭英華博士、郭永潤、Dr. Huang、林慧娟、馬小新進行第一次CWB project Meeting，確定氣象局計畫之進度，林慧娟報告2005年7月海棠颱風個案Background Error Tuning 結果。
95/5/4~ 95/5/31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計算不同月份與不同預報長度的WRF背景場誤差，並將結果與郭永潤研究員討論是否正確，經檢查無誤。</li> <li>2. 利用WRF模式的背景場誤差統計(CV5)，做單點測試__遞迴濾波次數實驗，並瞭解單觀測點能影響的水平與垂直範圍。</li> <li>3. 計算背景場誤差分別將SOL_Method以FFTSN與Relax各計算1次，根據其結果，建議使用Relax。</li> <li>4. 測試namelist_3dvar中lat_stats_option設成TRUE或FLASE之影響，其中設TRUE為將氣壓平衡項的回歸係數設為隨緯度變化;FALSE則為將氣壓平衡項的回歸係數設為整個區域平均值，根據單點測試結果郭英華老師建議預報作業時使用FLASE。</li> <li>5. 在TACC_PC_CLUSTER與IBM_HPC計算WRF3DVAR在不同顆CPU下，所得到的差異為小數點後第9位。</li> <li>6. CWB Project Meeting(5/17)，NCAR希望拿到氣象局的AWS資料放入WRF3DVAR中，以及NFS夏季與冬季的背景場誤差統計。</li> <li>7. CWB Project Meting by Telephone with Dr. Terng(5/18)，討論計畫中未完成事宜以及未來工作重點事項。</li> </ol>
95/6/01~ 95/6/30	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鑑於WRF-NCL在繪單點資料測試的increment之不便性，改學習RIP4繪圖程式及相關技巧。</li> <li>2. 完成NFS+relocation夏季背景場誤差的計算(兩個domain)。</li> <li>3. 氣象局AWS資料已給林慧娟做測試。</li> <li>4. 持續進行單點測試實驗__U風場、溫度場，並發現CV5在水平與垂直方向上的特性、觀測值與背景誤差之間的權重關係、發現風導出溫度與溫度導出風的量級不相等此情況與利用NFS模式算出CV5的單點測試相符。</li> <li>5. 測試福衛三號GPS-RO資料加入WRF3DVAR，此時間資料量甚少。</li> <li>6. Background error程式研讀，發現程式中Recursive Filter需要給偶數才能計算，奇數一律除以2再取整數。</li> <li>7. CWB Project Meeting (6/7)，郭英華博士講解CV3為NCEP利用1年內選取49個個案，以48hr-24hr計算出背景場誤差，與WRF計算CV5目前用的NMC方法用24hr-12hr方法不同。</li> </ol>

	8. 郭英華博士報告 (6/8), 講解COSMIC GPSPW-decoder進度以及此資料有日夜變化特性。 9. OBS_FGGE_PROC更新版本(06/26), 可讀AMS (105個站) 與MESONET (43個站) 資料, 完成測試, 並通知局內同仁。 10. 發現obs_gts.3dvar中有" other" 名稱的資料, 經確認為海溫 (BATHY)資料。 11. 參加2006 WRF Summer Workshop(6/19~6/22), 此為研討會網頁路徑 <a href="http://www.mmm.ucar.edu/events/2006wrfusers/">http://www.mmm.ucar.edu/events/2006wrfusers/</a> 。
95/7/1~95/7/31	1. 研讀NMC方法與Recursive Filter相關論文。 2. 與NOAA ERSL 謝元富博士用Mail討論背景場誤差相關問題。 3. 與Dale Barker討論單點測試結果, 但Dale僅作過Bin_Type=5的實驗因此建議職測試, 但對於Bin_Type=1單點測試結果, 雖在MMM-VAR例行會議上提出討論, 但因大家皆無做過類似實驗因此Dale並無特別具體建議。 4. 根據Dale建議測試Bin_Type=5, 做此測試需先將WRFVAR的程式修改, 並重新compile才能執行, 剛開始Bin_Type=5的結果郭永潤研究員曾懷疑是否算錯, 但經檢查後發現無誤。 5. 與UC DAVIS陳淑華老師 (目前在中央大學任教) 討論, len_scale設定問題, 陳老師建議設1, 但設1的單點測試影響範圍卻相當大, 因此目前仍為測試值並無確切規律與依據。 6. 協助局裡WRF-Team計算未來WRF作業模式所需的夏季與冬季背景場誤差統計, 每個季節各有三個Domain。 7. 幫助解決局內WRF-Team在使用版本及流程上所出現的問題。 8. 7/24-7/28 參加 2006 WRF-ARW Summer Tutorial, 網址 <a href="http://www.mmm.ucar.edu/events/arw_tutorial_jul06/index.php">http://www.mmm.ucar.edu/events/arw_tutorial_jul06/index.php</a> 。
95/8/1~95/8/31	1. 學習WRFVAR-VERIFY之流程與原理, 並在局裡高速電腦 (IBM-HPC) 與TACC(PC-CLUSTER)成功架起此校驗系統, 並撰寫彈性的script, 使以後WRF3DVAR校驗能在觀測點上執行, 並修改繪圖程式。 2. 針對不同季節, 做len_scale=0.5與1的WRF3DVAR+WRF10天cycling的實驗, 並用WRFVAR-VERIFY校驗不同的尺度長度對各觀測資料的影響, 發現在夏季len_scale=0.5其對於各種觀測資料的均方根誤差皆小於len_scale=1;但在冬季則此兩種設定相差不大, 此為夏季與冬季大尺度系統不同所表現出的特徵。 3. 持續研讀背景場誤差相關論文。 4. 完成NFS冬季背景場誤差統計計算。 5. 有鑑於以往背景場誤差要分domain計算, NCAR在8月底發展可內差式的背景場誤差程式, 此程式經研讀後, 在namlist.3dvar中interpolate_stats設成TRUE, 且vert_evalue設成1, 則可以使較小domain要使用的背景差誤差經內差大domain的背景場誤差而得到,

	<p>但需注意Model Eta Level需與First Guess的half level相匹配，此版本已測試並研讀程式完畢但目前尚未在局內使用。</p> <p>6. 8/22 MMM-VAR例行會議，將在9月底發表新一版(2.1.2)的WPS(取代WRF SI)、WRFVAR、WRF。</p> <p>7. CWB Project Meeting(8/23)，確定計畫內GPS降水資料此項由職與郭永潤研究員、John Braun來執行。</p>
95/9/1~ 95/9/30	<p>1. 9/12前往NOAA ERSI與孟繁村博士、謝元富博士、鄧秀明博士Meeting討論相互的工作相關事宜，增廣見聞。</p> <p>2. 持續研讀背景差誤差相關論文書籍。</p> <p>3. COSMIC John Braun 做好Decoder部分，個案選取為2005年7月，而職則選取有海棠颱風的期間做6小時cycling積分與校驗工作，以12小時作校驗，發現GPS降水資料能增進約4%預報準確率，同時也修改了VERIFY的繪圖程式。</p> <p>4. 研讀Dale Baker的objective Tuning Background Error程式，並查閱相關統計書籍。</p> <p>5. CWB Project Meeting(9/22)，針對局裡NFS+WRF3DVAR+福衛3號GPSRO的預報結果，討論是否GLOBAL BOGUS影響了GPSRO的效益，以及GPSRO的點數多寡分布區域是在預報domain內，另外也討論objective Tuning BES的問題，以往Paper皆是調整variance尚無文獻討論調整len_scale;另外郭英華博士建議GPS降水資料作更細的(3hr)分析，並與觀測資料作比較。</p>
95/10/1~ 95/10/25	<p>1. 因局裡資料庫磁帶資料下載不易以及考慮校驗的客觀性，因此從NCAR資料庫抓取2005年7月的AVN fnl資料來做校驗前的觀測資料QC處理，使用6hr cycling run每個run預報72小時，並做兩層domain(45km、15km)運算，積分時間為7天，模式積分完後使用WRFVAR_VERIFY做3小時校驗，在兩個domain台灣島上54個站的GPS降水資料皆能有1.8%的助益。</p> <p>2. CWB Project Meeting(10/11)，討論GPSPW的decoder技術轉移事項，另外郭英華博士建議GPSPW實驗做模式第三層解析度5公里的預報，將模式降水分布與自動雨量站降水分布做比對看是否GPSPW在較細的解析度下有顯著的助益;林慧娟報告GPSRO在WRF模式的影響效益。討論下一年度的計畫事項，包含John Braun GPSPW decoder技術移轉、ZTD資料的同化，WRFVAR版本升級、BES Tuning、TC BOGUS資料改進、non-local GPS是否加入WRFVAR、雷達資料同化等等，已確定WPS、WRFVAR、WRF將會延期更新。</p> <p>3. 依據(10/11)開會郭英華博士建議，GPSPW實驗增做模式5公里解析度預報，並與雨量站資料作比對。</p> <p>4. 撰寫整理受訓期間相關工作報告。</p> <p>5. 資料與程式打包。</p>
95/10/25	丹佛→西雅圖

95/10/26凌晨	西雅圖→台北
95/10/27	抵達台北

### 三、心得

台灣地區因地勢陡峭且處於颱風侵襲路徑上，要掌握台灣的天氣實屬困難的挑戰，因此提升預報效能與準確率為目前首要工作；近年來 WRF 與 WRF3DVAR 為美國相關研究與作業單位投入大量人力與資源所發展的中尺度模式與資料同化系統，其高度可平行化處理與模組化的運算以及進步的物理與動力數值運算方法，可以大幅改進作業單位要求的時間性與準確率。

NCAR-MMM 發展早期的 MM5 模式至今日的 WRF 模式，投入相當高的人力與資源，並擁有寶貴的工作經驗，職此次赴美即參與此團隊的合作研究，並與相關頂尖科學家討論以及溝通協助下，得以完成 WRF3DVAR 背景場誤差的瞭解以及 GPSPW 實驗等工作項目，順利達成任務也藉此學習到許多修改程式、概念釐清的寶貴經驗，獲益良多。

此次研究針對 WRF3DVAR 背景場誤差特性做研究以及利用單點資料做敏感度測試，也學習 WRF3DVAR 的校驗軟體並移植架設在本局的高速電腦上，同時配合年度計畫項目完成了 GPS 可降水資料的實驗以及校驗，並在此期間幫助本局同仁解決 WRF3DVAR 相關事宜，對 WRF3DVAR 有了進一步的認識與瞭解，以下則為職此次赴美的工作內容與心得。

#### (一) 個案研究與測試的軟體版本

WRF-ARW MODEL	( V 2.1.2 01/30/2006 )
WRFVAR	( V 2.1.2 CWB-PROJECT WEBSITE 06/26/2006 )
WRFVAR	( V 2.1.2 CWB-PROJECT WEBSITE 08/23/2006 )
WRFSI	( V 2.1.2 02/16/2006 )
NETCDF	( netcdf - 3.6.0 - p1_64 )
RIP4	
NCARG	
GrADS	(V1.8.sl11)

#### (二) 個案介紹

使用 WRF3DVAR 與天氣研究與預報模式已是中央氣象局未來主要預報模式之趨勢，早期在 WRF3DVAR 中所選用的背景場誤差統計值為 NCEP 全球模式所計算出的統計值 (CV3)，由於背景場誤差並非由區域預報模式長時間積分預報所產生，使得區域模式的特性較不易顯現，因此建立一組 WRF 模式本身的背景場誤差即為首要工作。

職選取 2005 年 7 月 01 日~2005 年 7 月 31 日為個案，模式使用二層巢狀網格，預報區域大小與解析度分別為(d01:222x128, 45km, d02:184x196, 15km; 圖 1)，垂直方向使用  $\sigma$  座標共 31 層，模式頂設為 50hPa。

以 AVN 資料為模式背景場，利用 WRF3DVAR+CV3+WRF 做 6 小時 cycling run (圖 2)，每一個 run 預報 72 小時，以求得 WRF 模式 1 個月的預報資料；並運用 NMC 方法(Parrich and Derber 1992)將每個 run 的 24 小時預報減去下一個 run 的 12 小時預報進而得出 WRF 模式在 2005 年 7 月的背景場誤差統計值 (CV5)，並

以這個誤差統計值做一系列的實驗。

### (三) WRF3DVAR 概述

資料同化結合特定時間內的所有大氣資訊，並估計有效時間內的大氣狀態。而資料同化所使用的資訊包含：背景場或首次猜測值（預報）、預報的誤差等；近年來，氣象界不斷努力的發展資料同化系統以取代 Cressman、Optimum Interpolation(OI)等傳統方法，其中變分資料同化(VAR)之運用為目前最廣泛被使用之系統之一。

中央氣象局目前規劃以 WRF3DVAR 系統取代 OI，並期能與現行作業模式(NFS)以及未來預報模式(WRF)作結合；WRF3DVAR 主要的概念與目的為利用疊代法來解給定的價值函數(cost-function)藉以客觀的最佳估計在分析時間點上的真實大氣狀態，而價值函數可表示為：

$$J(x) = j^b + j^o = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(y - y^o)^T (E + F)^{-1}(y - y^o) \quad (1)$$

利用疊代法可以求出(1)式的解答並找出將 $J(x)$ 極小化的分析值 $x$ ，上式中 $x = x^a$ 為在分析時間上的值，而 $J(x)$ 為估計真實大氣狀態可由背景場 $x^b$ 與觀測值 $y^o$ 等訊息求得；而如何估計個別資料之權重則決定於其誤差估計：B(背景場誤差的協方差矩陣)、E(觀測誤差的協方差矩陣)、F(代表性誤差的協方差矩陣)，此處的代表性誤差則定義為利用非線性觀測算子H將格點分析值 $x$ 轉換到觀測點 $y = Hx$ 做比較後對觀測不準確度的估計，而此誤差亦與解析度息息相關，(1)式中假定觀測與背景誤差之協方差為平均誤差為零的高斯密度函數亦即常態分布。

WRF3DVAR 之流程可分為：

- (a) 設定所需計算單元及記憶體區域大小
- (b) 讀取 namelist.3dvar 各項資料以及 namelist.input 的時間與解析度訊息
- (c) 讀取背景場( $x^b$ )
- (d) 讀取背景場誤差的組成因子(特徵值、特徵向量、特徵尺度長度、平衡回歸係數)
- (e) 讀入觀測值( $y^o$ )
- (f) 計算觀測值與背景場的誤差檢驗( $y^o - y^b$ )
- (g) 極小化價值函數(minimize cost function)
- (h) 計算分析場
- (i) 計算診斷量
- (j) 輸出分析場及分析增量
- (k) 釋放記憶體空間

變分資料同化雖經常被認為是最佳化估計，但仍有一些假定的約束，諸如：不完善的觀測以及背景場、變分方法中考慮線性的動力與物理過程，這些皆限制了變分資料同化在高度非線性天氣系統中的準確性。

## (四) Background Error Calculation

### 4.1 控制變數與物理變數之轉換

在 WRF3DVAR 中物理變數(u、v、t、p、q)之間的誤差關連極為重要，因此必須以沒有誤差相關以及只剩空間相關的控制變數來表示，目前 WRF3DVAR 內採用的控制變數為速度位( $\chi$ )、流函數( $\psi$ )、比濕(q)、不平衡質量變數( $\Phi_u$ )、地面氣壓( $p_{sfc}$ )。

因 WRF3DVAR 以背景場誤差的協方差來衡量背景場中各因子的誤差，若以已知較準確的觀測及背景場為基準，WRF3DVAR 將濾除具有相對較高誤差的資料。目前 WRF3DVAR 中使用的為氣候背景場誤差統計，而使用的為 NMC 方法 (Parrich and Derber 1992)。

NMC 方法假設背景場誤差近似於平均預報差異的統計值，例如可選取長達 1 個月以上的模式 24 小時預報與 12 小時預報序列，其公式如下：

$$B = \overline{(x^b - x^t)(x^b - x^t)^T} = \overline{x^t x'^T} \approx \overline{(x^{T+24} - x^{T+12})(x^{T+24} - x^{T+12})^T} \quad (2)$$

(2)式中，上橫線代表時間或空間的平均、 $x^t$  為實際大氣狀態、 $x'$  為背景場誤差。此平均預報差異統計分成三個階段(a)計算背景場誤差垂直分量的特徵值與特徵向量(b)計算用來過濾平衡質量增量的回歸係數 (c) 以遞迴濾波計算水平背景場誤差以及估計特徵尺度長度。

### 4.2 遞迴濾波(Recursive Filter)

在 WRF3DVAR 中利用遞迴濾波 (Recursive Filter) 計算水平背景場誤差的協方差，而利用經驗正交函數 (EOF) 計算垂直背景場誤差的協方差。

首先簡介遞迴濾波的概念：

$$\text{由左至右的平滑： } B_j = \alpha B_{j-1} + (1-\alpha)A_j \quad (3)$$

$$\text{而由右至左的平滑： } C_j = \alpha C_{j+1} + (1-\alpha)B_j \quad (4)$$

其中 j 為網格點  $1 \leq j \leq J$ 、A 為初始函數，每個方向平滑過程中皆保持零相位變化，且在邊界  $j=1, J$  處需要明確定義，因此採用 (Hayden ad Purser 1995) 之方法，使靠近邊界觀測值的反應近似於遠離邊界觀測值的反應。

### 4.3 計算水平背景場誤差的協方差

控制變數的轉換首先必須確定  $B = UU^T$  此關係式成立，且背景場誤差的協方差之水平分量  $B_h = U_h U_h^T$  在 WRF3DVAR 中是以遞迴濾波表示，首先假設遞迴濾波

在無因次空間上執行，此無因次空間為  $\hat{v} = P_x^{1/2} v$ ， $P_x^{1/2}$  為比例因數，而模式背景

場誤差的協方差為 B 與無因次空間的背景場誤差的協方差  $\hat{B}$  之關係式：

$$B = P_x^{-1/2} \hat{B} P_x^{-1/2} \quad (5)$$

在無因次空間水平轉換  $U_h$  可以用遞迴濾波器  $\hat{R}$  表示

$$x' = \sigma_b P_x^{-1/2} \hat{R} P_x^{-1/2} v \quad (6)$$

計算流程：

- (a) 給定無因次空間的特徵相關尺度
- (b) 給定使用遞迴濾波計算背景場誤差的協方差之水平分量的近似次數(N)
- (c) 計算遞迴濾波的權重係數值( $\alpha$ )
- (d) 將  $v$  與  $P_x^{-1/2}$  相乘
- (e) 執行  $N/2$  次的二維遞迴濾波
- (f) 乘上  $P_x^{-1/2}$  從無因次空間轉成模式空間
- (g) 運用模式空間背景場誤差之標準差  $\sigma_b$  當作比例以完成近似

#### 4.4 計算垂直背景場誤差的協方差

WRF3DVAR 中是以經驗正交函數(EOF)方法來計算垂直背景場誤差之協方差，設正定對稱矩陣  $B_v = \varepsilon_b \varepsilon_b^T$  為垂直背景場誤差的協方差矩陣，其中  $\varepsilon_b = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k)$  為模式  $k$  層的背景場誤差，因此對此矩陣進行特徵分解：

$$B_v = P^{-1} E \wedge E^T P^{-1} = P^{-1} \hat{B}_v P^{-1} \quad (7)$$

(7)式中  $P$  為內積，矩陣  $E$  的縱列為  $\hat{B}$  的  $k$  個特徵向量  $e(m)$ ，依據正交關係  $EE^T = I$ 。而對角線矩陣( $\wedge$ )則包含  $k$  個特徵值  $\lambda(m)$ ，因此可用來利用投影到正交垂直模  $m$  上的控制變數分析增量值轉換成模式各層數的變數值。

使用背景場誤差有幾項先天性的限制：(1)若為 cold-start 則背景場來源與預報模式將有差異 (2) 在 cold-start 中解析度不同以及全球分析背景場中有額外的觀測資料加入(3)運用 NMC 方法計算出的背景場誤差為氣候估計的近似值。

#### (五) 單觀測點測試 (Single Observation Test)

為了能清楚瞭解單一觀測點在 WRF3DVAR 中所能呈現的影響與特性，職選擇利用單點上給定觀測資料來做一連串測試實驗，並利用直接與間接的模擬觀測資料，藉由 WRF3DVAR 輸出與輸入之差值(增量值)作分析，而 WRF3DVAR 系統提供了計算模式背景場誤差統計的軟體介面(GEN\_BE)，此軟體程式能利用 NMC 方法或系集方法計算模式長時間模式預報的背景場誤差，並能彈性選取要計算的時間長度。

## 5.1 遞迴濾波的特性實驗

遞迴濾波的次數決定資料分布的平滑程度與型態，為了要瞭解遞迴濾波在 WRF3DVAR 中所表現的分布型態，職在 CWB-WRF 模式第一層預報範圍(222x128)中的高度 850hPa 處放入一個溫度增量值( $t=1^{\circ}\text{K}$ ), 並利用不同濾波次數來看其增量值分布以及其所導出的 u 風場增量值強度, (圖 3-1)為利用濾波次數 2、4、6 之結果, 我們可以看出在濾波次數為 6 的時候溫度分布較為廣泛且所導出的風場亦較強, 而我們亦可得知濾波次數較小時溫度分布的範圍些許呈現菱形狀, 而濾波次數較高時則呈現圓形分布, 此結果與 Wu(2002)的結論相符, 此結果表示遞迴濾波次數越高則資料分布呈現常態分布的趨勢越明顯, 另外我們亦可由垂直剖面(圖 3-2)看出溫度影響範圍隨遞迴次數的增加使資料在空間上傳播的情形。

## 5.2 單點測試- 溫度場

此小節職將單點上給定之溫度增量值( $t=1^{\circ}\text{K}$ )放在不同垂直高度上做實驗, 其高度分別為 200hPa, 500hPa, 850hPa, 也分別對觀測資料的誤差做  $0.01^{\circ}\text{K}$  與  $1^{\circ}\text{K}$  做實驗, 其中氣壓平衡項的迴歸係數皆採取區域平均值而不隨著緯度變化, 由(圖 4:a-1)垂直剖面, 當單點溫度在 200hPa 且觀測誤差設為  $0.01^{\circ}\text{K}$  時, 其正位溫垂直影響深度約 200hPa, 其上下皆有一強的負位溫值, 極值最強可達到  $-0.1^{\circ}\text{K}$ , 而溫度所導出的強風場梯度值約在 300hPa 以上, 風場極值則出現在頂層而非在溫度源附近, 整個風場垂直結構呈現三對偶極; 若職將觀測誤差增大為  $1^{\circ}\text{K}$ , 則由(圖 4:a-2)發現位溫的影響範圍以及風場的強度都減弱但極值仍然發生在高層。

溫度源在 500hPa 觀測誤差為  $0.01^{\circ}\text{K}$  時(圖 4:b-1), 正位溫值可垂直影響 300hPa, 強風梯度仍然維持在高層而非在溫度源附近, 風場垂直結構呈現兩對偶極, 整體分布呈現對稱趨勢, 而觀測誤差為  $1^{\circ}\text{K}$  時(圖 4:b-2), 位溫場與風場強度分布亦減弱; 當溫度源在 850hPa (圖 4c), 我們可以發現正位溫值的垂直影響可從 550hPa 到地面, 其上則全為負位溫值, 風場極值出現在溫度源附近與 200hPa 及 500hPa 有些許不同, 而若觀測誤差調大則可以得到與溫度源在 200hPa 及 500hPa 相似的結果, 亦即位溫場與風場強度及分布皆減弱。

由此實驗可以得知, 當氣壓平衡項的迴歸係數設為區域平均時, 無論溫度源放在何高度, 其位溫分布與 u 風場分布皆呈現對稱情形, 而觀測誤差大小則決定了背景場誤差與觀測值相互的權重關係, 當觀測誤差較大則表示越相信背景場誤差, 因此所得到的位溫場及風場增量值與範圍就較小, 同時我們亦可由此實驗得知溫度源與所導出的風場為同一個量級。

## 5.3 單點測試- u 風場

藉由上一節的實驗, 將單點人工模擬溫度資料, 換成 u 風場資料(1m/s), 並探討不同觀測誤差時的結果導出位溫場增量值的情形, 這裡職將觀測誤差最小取到  $0.001\text{m/s}$  與最大取到  $1\text{m/s}$ , 藉以瞭解觀測值與背景場誤差的相互權重關係, 由(圖 5a)的結果, 在觀測誤差為  $0.001\text{m/s}$  時, u 風場極值位於 850hPa 且其值接近於  $1\text{m/s}$ , 最強風場梯度值亦在此 u 風場源周圍, 風場增量值在垂直方向上可

達到 300hPa，而其所導出的位溫增量值則呈現三對偶極分布，但位溫增量值的量級卻比 u 風場少一個量級；若由較大觀測誤差（圖 5b）我們可以得知 u 風場增量值為 0.5m/s，梯度仍然在風場源附近但不似（圖 5a）強，其所導出的位溫增量值雖仍呈現三對偶極，但強度亦較微弱，同樣的位溫增量仍然比 u 風場增量小一個量級。

此實驗更明確顯示出背景場誤差與觀測之間的權重相互關係，當觀測誤差很小（0.001m/s）時，此時背景場誤差的權重幾乎微乎其微，因此 u 風場增量值趨近於輸入所給的量值；若觀測誤差提高至 1m/s 則表示背景場誤差與觀測資料的權重近乎相同，因此 u 風場增量值為 0.5m/s。

上述實驗皆將氣壓平衡項的迴歸係數採取區域平均值，因此可得到風場與位溫場增量值分布對稱的結果，若職將此係數改成隨著緯度變化，則由（圖 6）的結果，u 風場及值與分布並無太大改變，但位溫場增量值因氣壓平衡項隨著緯度變化，進而呈現不對稱分布情形。

#### 5.4 單點測試- GPS Refractivity

上述實驗皆是以直接觀測因子為假的觀測資料，現在以間接觀測因子（折射率）來做實驗，分別在不同高度放入折射率，並分析其對溫度與壓力的影響，（圖 7a）當折射率資料放在 200hPa 時，溫度增量值在折射率源處有最大梯度值，且垂直方向上呈現一對偶極，在折射源附近亦有強的負溫度增量值約  $-0.03^{\circ}\text{K}$ ，若看壓力增量值我們可發現在低層有正壓力增量極值約 0.06hPa，而由圖中亦可看出溫度的水平影響範圍大於壓力的水平影響範圍。

當折射率源在 500hPa 與 200hPa 所能得到的負溫度增量極值僅為  $0.01^{\circ}\text{K}$  與  $0.005^{\circ}\text{K}$ ，正壓力增量極值則分別為 0.028hPa 與 0.008hPa，且溫度與壓力的水平分布範圍也隨折射率源放的位置越低而越窄，由此實驗，可以得知折射率資料在高層影響較顯著。

我們由水平剖面圖來看在不同高度的折射率源所得到的溫度壓力增量值的分布情況，由（圖 8-1、8-2、8-3）當折射率源在 200hPa 時，可清楚看到溫度增量值在高層的水平影響可達約 50 個經度，且隨著高度降低分布範圍亦隨之遞減，然而壓力增量值則隨高度降低無太大變化；折射率源在 500hPa 與 850hPa 時，皆在點源附近有較大分布值與範圍，但其分布範圍與將點源放在 200hPa 處相距甚大。

#### （六）尺度長度的測試與調整

上述實驗中，職均將 namelist.3dvar 中控制變數（ $\chi, \psi, \Phi_u, P_{sfc}, q$ ）的尺度長度倍數設為 1，但由實驗結果我們可以發現單點觀測資料影響的垂直與水平範圍有過大的趨勢，此節職將測試不同尺度長度倍數對單點的影響分布。

根據遞迴濾波實驗，我們得知在次數為 6 時，資料分布型態趨近於常態分配，因此在濾波次數為 6 前提下，職在 850hPa 處放入一個溫度源，且分別調整特徵尺度長度倍數為 0.75、0.5、0.25 並試著瞭解其位溫增量值與風場增量值在

水平與垂直面上的變化，(圖 9-1) 可清楚得知風場及位溫場增量值隨著尺度長度減小其分布的範圍亦隨之減小，尤其在 0.25 時其位溫增量值影響範圍已小於 5 個經度，而由 (圖 9-2) 垂直剖面可更清楚看到位溫增量的變化以及風場增量偶極的分布範圍隨著尺度長度減小而更收斂。

## 小結

本文利用 WF3DVAR 中的計算背景場誤差軟件 (GEN\_BE)，計算出一個月的 WRF 模式背景場誤差，並做一系列實驗與測試，試由此實驗結果探討背景場誤差的特性以及調整相關的控制變量，藉以瞭解其使用上之限制及仍須深入研究之處。

藉由上述實驗，我們初步瞭解(1)濾波次數的多寡決定了資料分布的特性(2)不同的觀測資料所產生的增量值之差別，如：放入溫度源產生的風場量級與放入風場產生位溫場量級之差別(3)氣壓平衡項的迴歸係數是否隨著緯度變化扮演的角色及其所造成位溫分布的對稱與否(4)控制變數 ( $\chi, \psi, \Phi_u, P_{sfc}, q$ ) 的尺度長度大小之選定與應用，仍須做更多實驗與分析。

## (七) GPSPW 實驗與分析

針對 Ground base GPS 可降水資料，對於模式預報降水的影響作實驗與分析，個案選取為 2005 年海棠颱風，選取時間為 2005 年 7 月 14 日 00Z~2005 年 7 月 20 日 12Z，在此期間內全台灣每天約有 54 個 GPSPW 站提供每半小時一筆的降水資料可供 WRF3DVAR 作同化分析，而實驗的組別則分為所有觀測資料加入 GPSPW、所有資料沒有加入 GPSPW 以及只加入 GPSPW 等 3 組，以每 6 小時 cycling 做 72 小時預報，並以 NCEP FNL 分析資料作為客觀的校驗標準，WRFVAR\_VERIFY 校驗時間以 3 小時為間距；另外也計算颱風登陸前 24 小時以及出海後 24 小時模式在模式第 3 層 (解析度 5km) 的每 3 小時累積降水預報與自動雨量站每 3 小時累積雨量的定性與定量分析比對，同時也繪出不同實驗設定的颱風路徑誤差以及中心氣壓的強弱。

### 7.1 三小時校驗結果與颱風路徑

由圖(10-1)與圖(10-2)的每 3 小時校驗結果，我們知道不論是在 RMS 或是 BIAS 的結果，有加入 GPSPW 資料能使模式預報時間的前 6 小時誤差降低，此降低誤差情形一直持續到預報 6 小時仍可清楚呈現，但之後影響就較不顯著，此現象表示了 GPSPW 能在短時預報有些許助益；若從長時間預報的 RMS 來看，GPSPW 資料在 domain1 以及 domain2 大約能增進 1.8% 的準確率。

在颱風路徑與颱風強度方面，(圖 11-1)為海棠颱風登陸前 24 小時 (2005071706UTC) 模式預報路徑與觀測路徑比較示意圖，顯示加入 GPSPW 資料後並沒有顯著改善，中心氣壓方面，有無加入 GPSPW 資料均無法使颱風中心氣壓降至與觀測資料一樣低，而中心氣壓值隨預報時間的變動，發現是否加入 GPSPW 對於中心氣壓並無太大改善；對於颱風路徑預報，發現加入 GPSPW 資料後對於路徑誤差有些微改進，但幅度並不明顯，(圖 11-2)為海棠颱風出海時刻

(2005071812UTC)模式預報路徑與觀測路徑比較示意圖，顯示 GPSPW 資料在出海時刻對於中心氣壓預報以及路徑誤差有顯著的改善。

## 7.2 降水校驗

為了瞭解 GPSPW 資料對於海棠颱風侵台期間 WRF 模式模擬降水的助益，職採用模式 5 公里解析度預報的過去 3 小時累積降水與自動雨量站過去 3 小時累積降水做比對，(圖 12-1)為颱風登陸前 24 小時(2005071706UTC)WRF 模式預報過去 3 小時累積降水與自動雨量站過去 3 小時累積降水圖，由圖發現有加入 GPSPW 資料的預報降水較沒有加入 GPSPW 資料來的強，將兩張圖相減後，可以清楚發現 GPSPW 增進了颱風環流的強度，若兩個實驗與自動雨量站觀測資料做比對，雖然在累積降水的量值不盡相同，但分布的狀態卻能有效掌握，尤其是加入 GPSPW 資料後其降雨極值能有效提升；(圖 12-2)為颱風出海時(2005071812UTC)的每 3 小時累積雨量分布，模式預報的降水分布較不理想，此與颱風路徑預報準確度以及地形解析度有直接關係，由此實驗仍可得知 GPSPW 資料對於降水分布以及強度有正面助益。

## 7.3 小結

降水校驗分析與颱風路徑息息相關，若能將模式預報路徑誤差降低、提高模式地形解析度、發展校驗得分系統等將會是為來重要課題，然而台灣地區目前僅五十幾個測站有 GPSPW 資料，相對於模式預報的區域範圍資料仍尚嫌不足，目前此一個案雖僅得到 1.8%正面效益，但未來若能有更多的資料進入 WRF3DVAR 同化系統中，並多幾個實驗測試，相信應能對提高模式降水預報準確度以及縮小颱風路徑預報誤差有不錯的助益。

## 四、建議事項

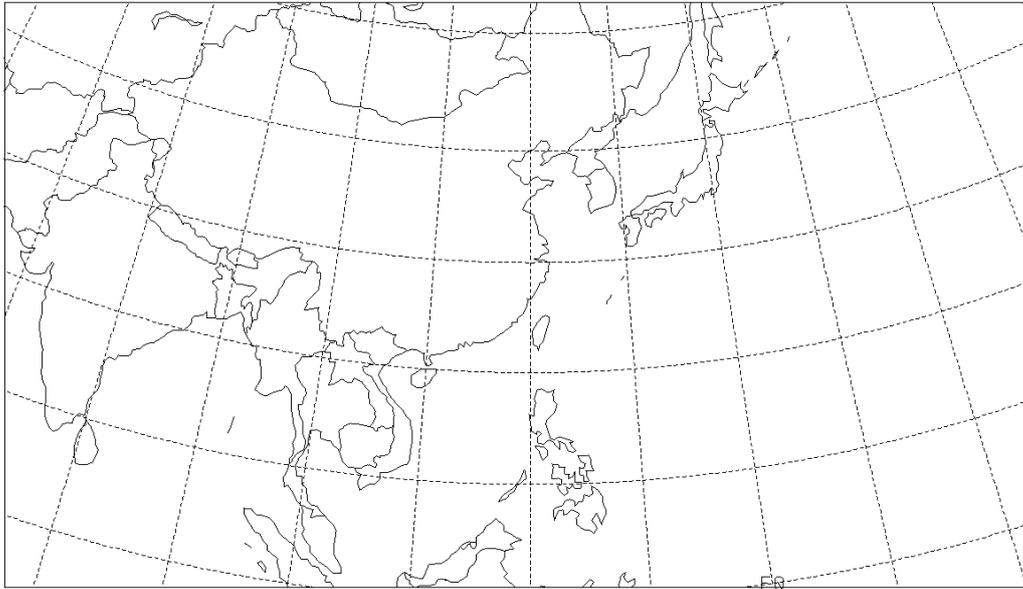
WRF model 是近期美國正在發展中的中尺度預報模式也為國際間許多單位使用，除了應用較為進步的數值計算方式以及模組結構化的架構之外，它亦同時提供作業上以及研究上多樣化的物理選項可供不同的用途，而其效能，也有多篇國際上發表的論文予以肯定。WRF3DVAR 目前為本局未來倚重的資料同化變分系統，其內部仍有許多尚待瞭解與探索之處。對於未來之工作方向，職有以下幾點建議：

(一)WRF3DVAR 之持續瞭解與研究—三維資料同化系統目前已能處理多數觀測資料，且連結 WRF 模式預報能獲得不錯的預報效果，未來 GPSPW、ZTD、以及雷達等資料加入 WRF3DVAR 中應能更加提升效益。

(二)背景場誤差的使用與瞭解—目前背景場誤差雖建議由區域模式預報所計算得出，但如何應用在作業上仍屬一大課題，另外尺度長度調整、客觀調整背景場誤差、計算背景場誤差方法的選用與瞭解仍須詳細研究。

(三) Verification—模式的校驗永遠是明瞭模式預報行為之有效工具，目前所使用的校驗方法，著重於對時間空間上的正確性做校驗，有時常會低估模式的預報能力，如何將模式的預報技術做有效的呈現，也可做為不同模式之預報評估，仍為一個值得努力的方向。校驗是了解模式預報的工具，藉由校驗評分，可以給預報員對該模式有一信心度的參考，同時也可做為改進的參考，因此，發展方便好用公平的校驗工具，提供各種模式使用，並且持續對作業模式之效驗評分進行評估，便是很重要的工作之一。

(a) Domain 1 222x128 resolution: 45km



(b) Domain 2 184x196 resolution: 15km

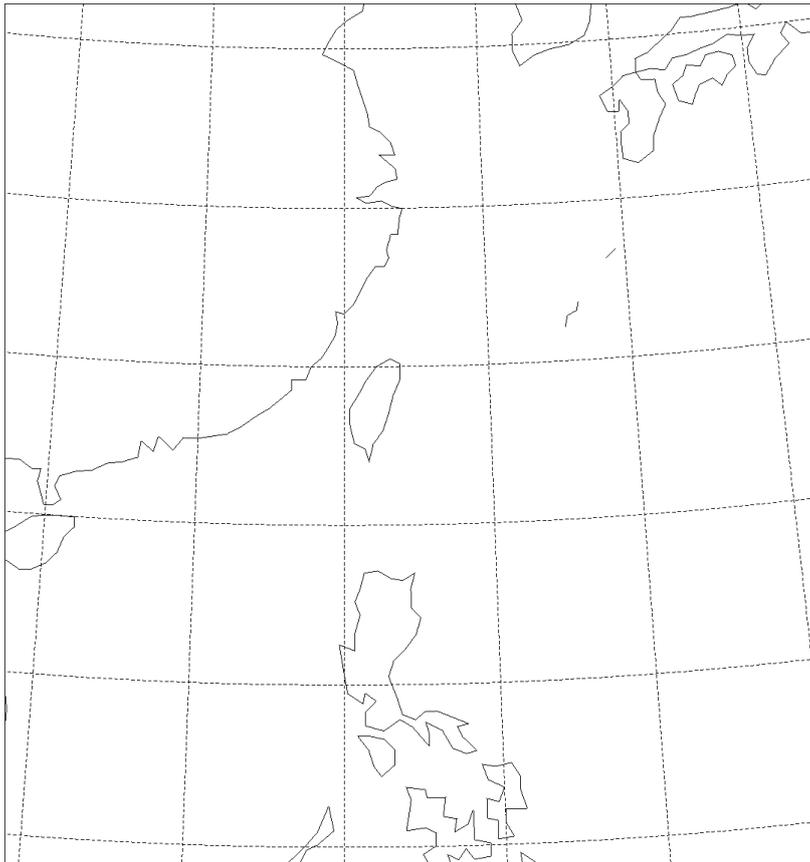


圖 1：中央氣象局 WRF 模式的預報網格大小與解析度，(a)222x128；解析度 45km，  
(b)184x196；解析度 15km。

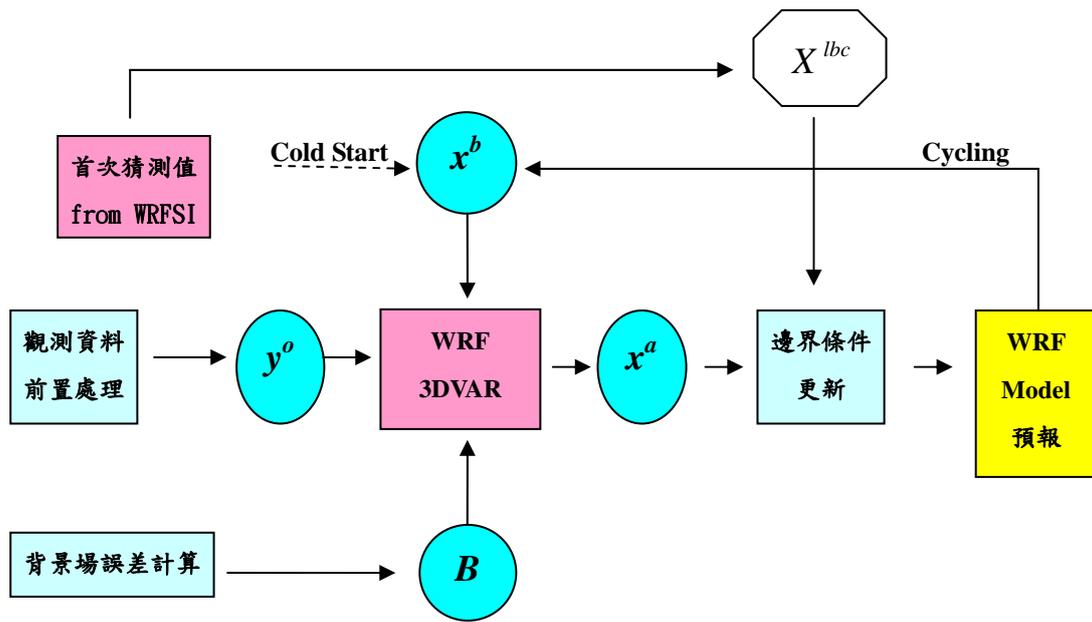
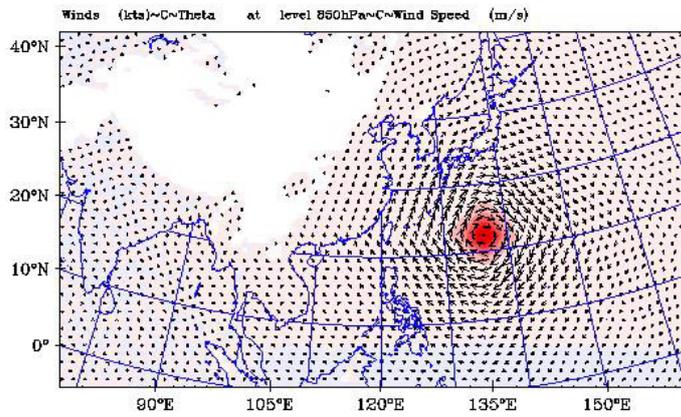
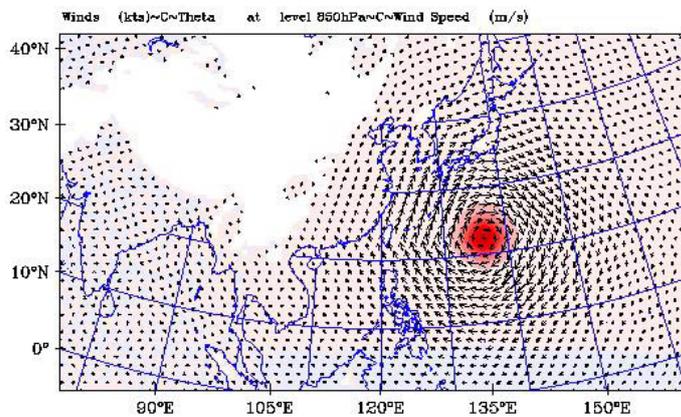


圖 2：WRF3DVAR+WRF Model 之 Cycling 流程

(a) RF = 2

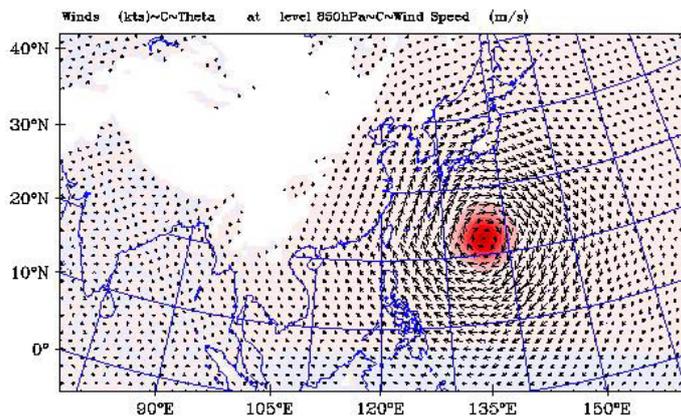


(b) RF = 4



Wind Speed Contours\*BB

(c) RF = 6



Wind Speed Contours\*BB

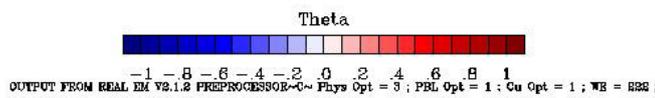
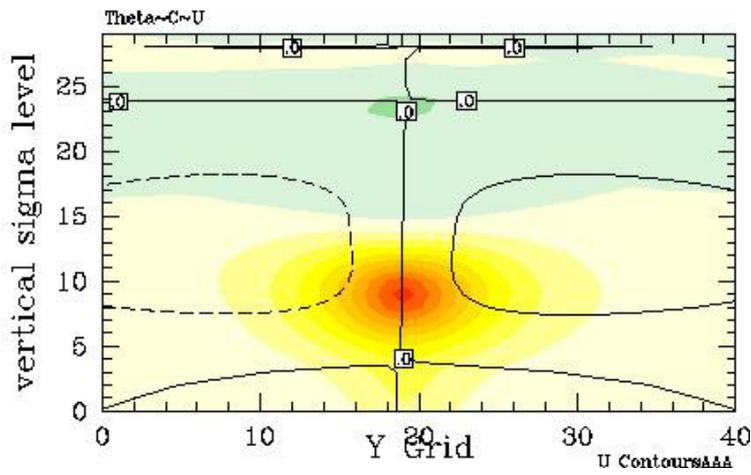
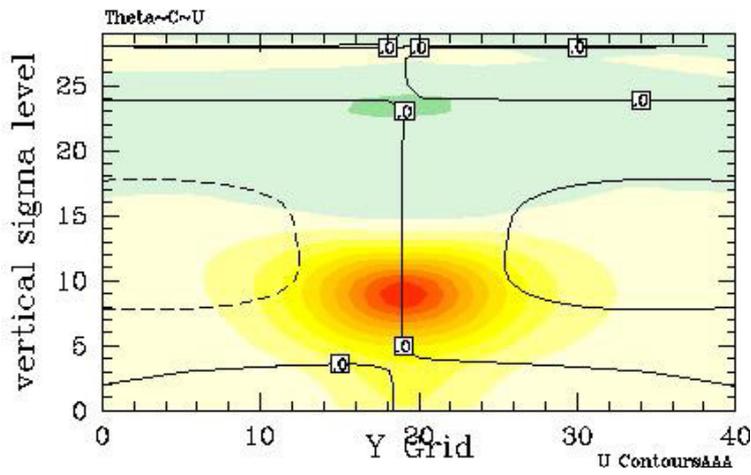


圖 3-1：(a)濾波次數為 2，(b)濾波次數為 4，(c)濾波次數為 6，箭頭為由溫度所導出的風場增量值，陰影則為位溫場增量值強度分布。

(a)  $RF = 2$



(b)  $RF = 4$



(c)  $RF = 6$

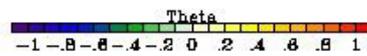
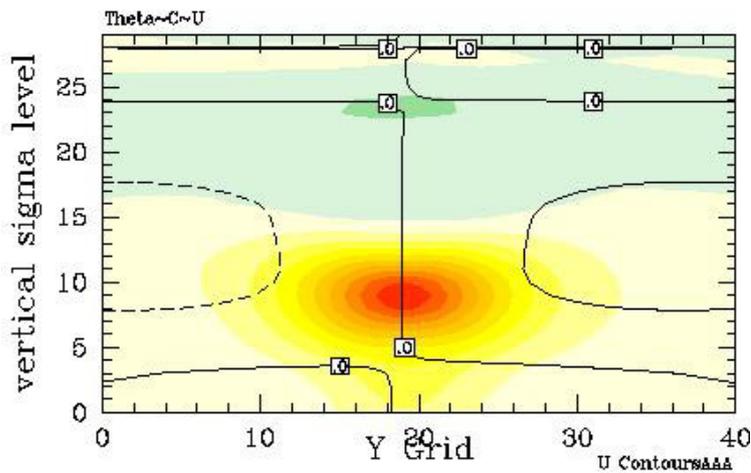
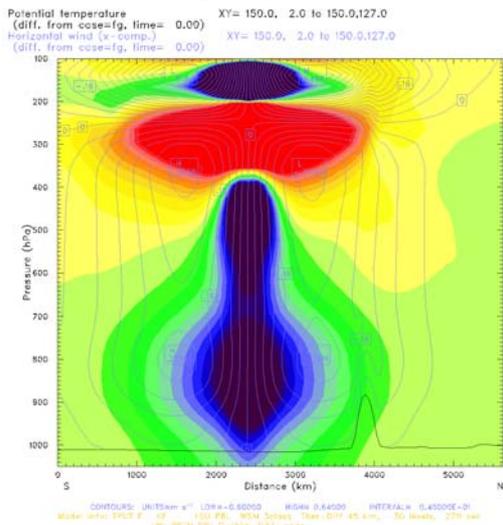
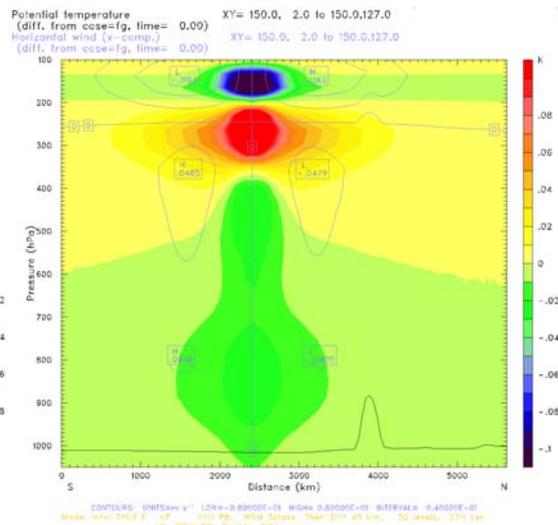


圖 3-2：不同遞迴濾波次數在垂直剖面上分布之型態，橫軸為所選取的南北距離 (km)，縱軸為模式垂直高度，陰影為位溫場增量值分布情形。

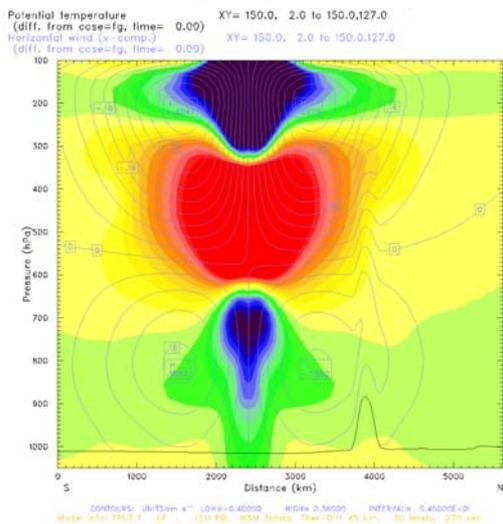
(a-1) 200hPa\_obs\_err = 0.01 °K



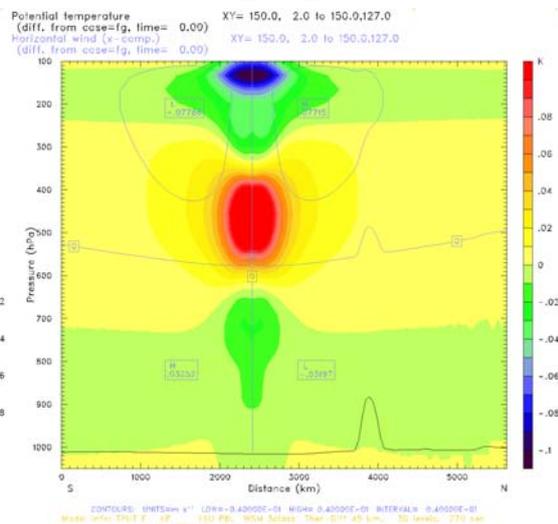
(a-2) 200hPa\_obs\_err = 1 °K



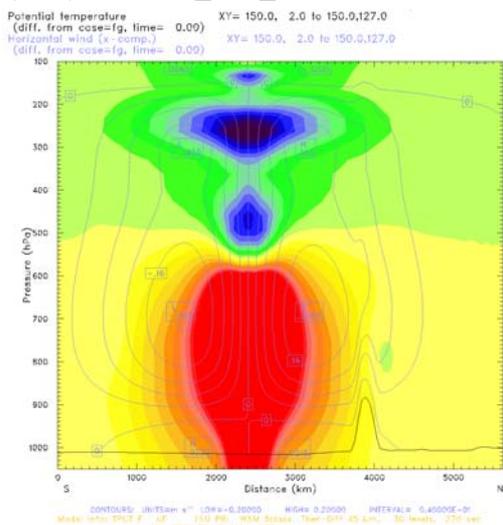
(b-1) 500hPa\_obs\_err = 0.01 °K



(b-2) 500hPa\_obs\_err = 1 °K



(c-1) 850hPa\_obs\_err = 0.01 °K



(c-2) 850hPa\_obs\_err = 1 °K

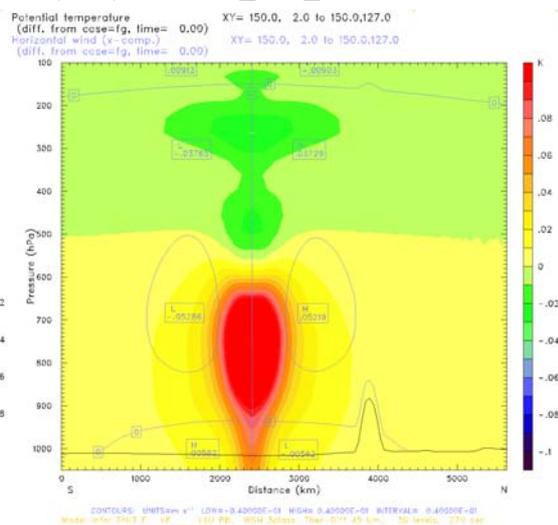
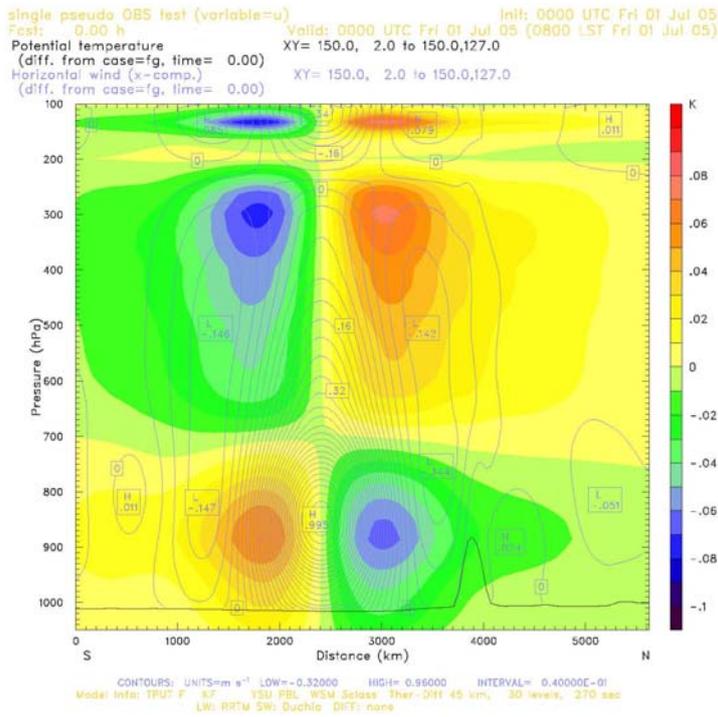


圖 4：不同高度(a)200hPa，(b)500hPa，(c)850hPa 上，單點模擬溫度資料(t)之位溫(陰影)增量值與u風場增量值(實線)的分布，obs\_err為觀測資料之誤差值。

(a) obs\_err = 0.001m/s @ 850hPa



(b) obs\_err = 1m/s @ 850hPa

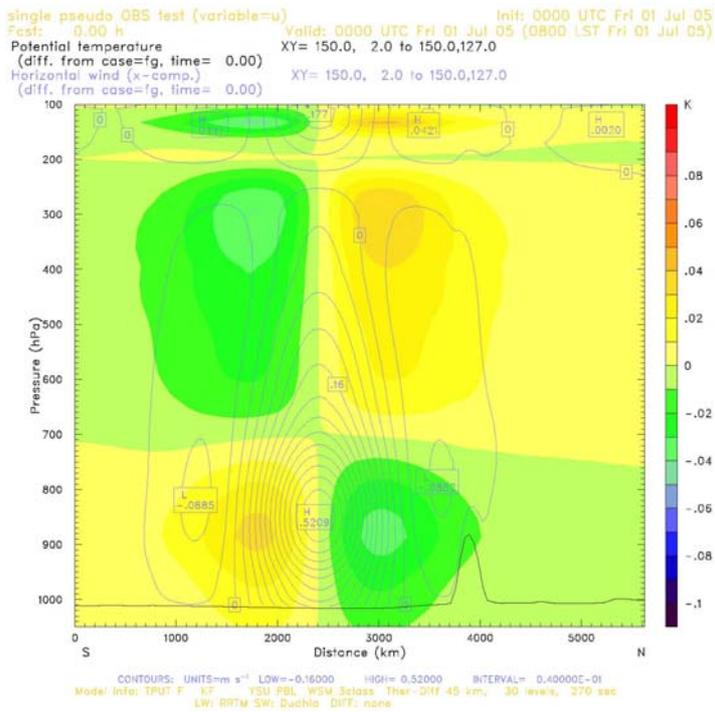
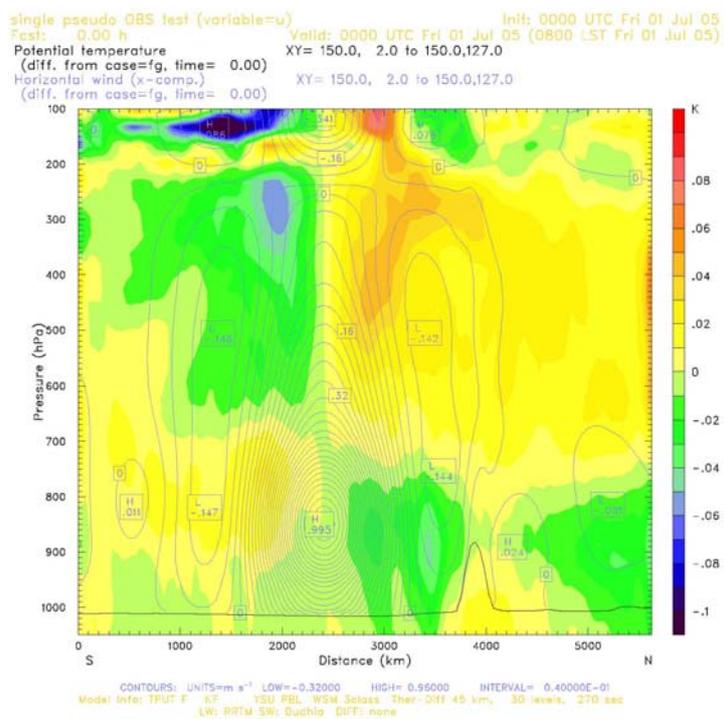


圖 5: 氣壓平衡項迴歸係數採取區域平均，單點模擬 u 風場資料在 850hPa 在不同觀測誤差(a)0.001m/s，(b)1m/s 的分布狀態。

(a) obs\_err = 0.001m/s @ 850hPa



(b) obs\_err = 1m/s @ 850hPa

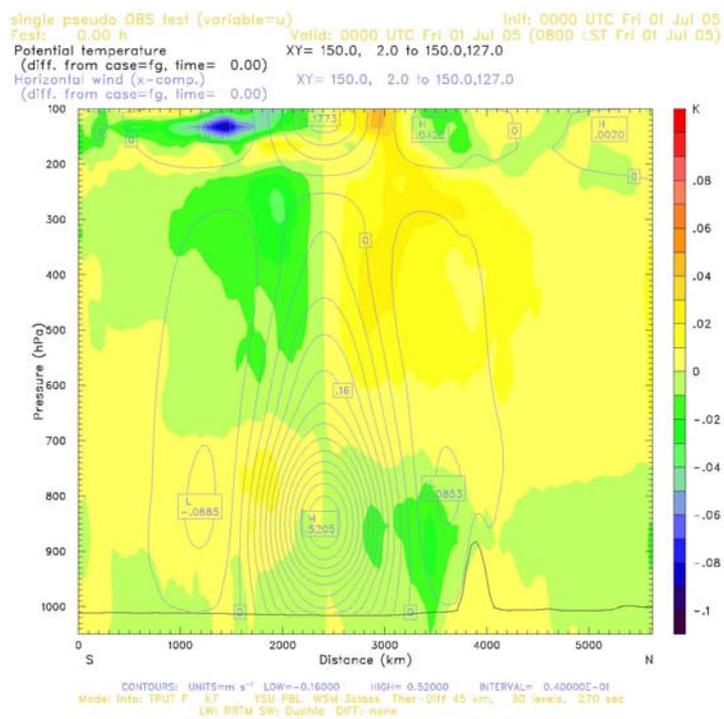
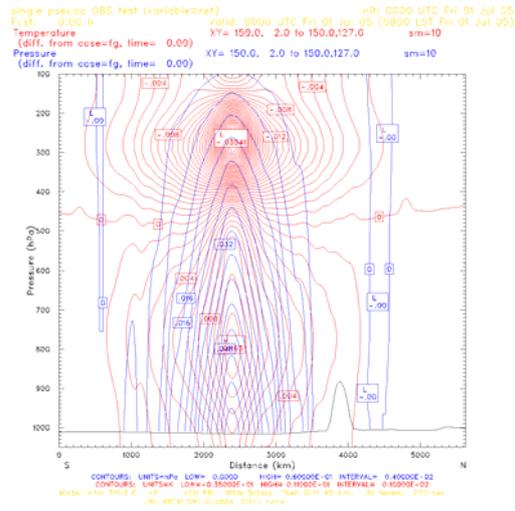
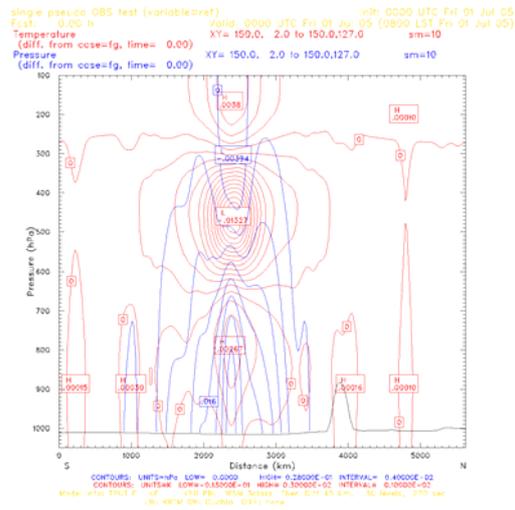


圖 6: 氣壓平衡項迴歸係數隨著緯度變化，單點模擬 u 風場資料在 850hPa 在不同觀測誤差(a)0.001m/s，(b)1m/s 的分布狀態。

(a) 200hPa



(b) 500hPa



(c) 850hPa

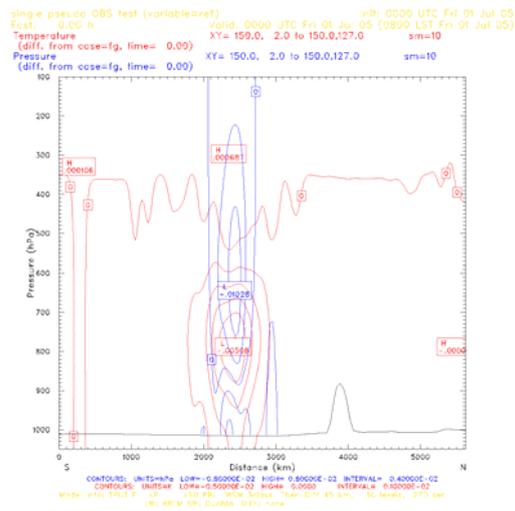
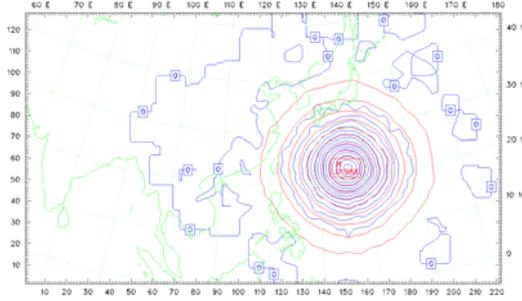


圖 7: 單點模擬折射率資料測試之垂直剖面圖 (a)200hPa, (b)500hPa, (c)850hPa, 紅線為溫度, 藍線為壓力。

(a)

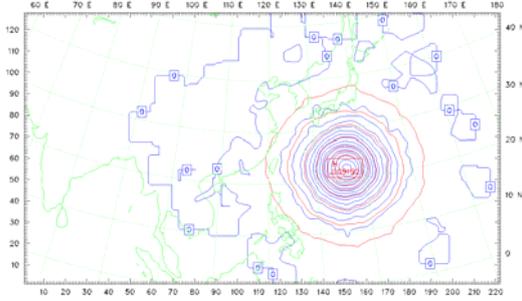
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 Temperature      at pressure = 850 hPa  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.1000E-02 HIGH= 0.1000E-01 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.2000 HIGH= 0.6000E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model info: TRU3 F 02 130 PB, WCM 30sec, Twp 011 45 km, 30 levels, 270 sec  
 LW: RR1M SW: Dushla DIFF: none

(b)

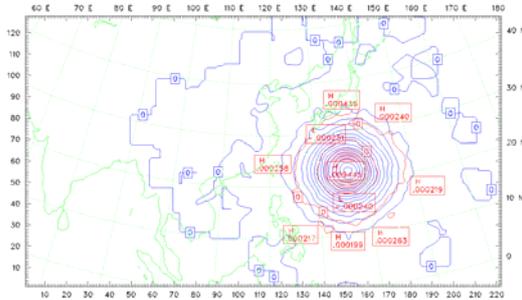
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 Temperature      at pressure = 700 hPa  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.1000E-02 HIGH= 0.9000E-02 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.2000 HIGH= 0.6000E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model info: TRU3 F 02 130 PB, WCM 30sec, Twp 011 45 km, 30 levels, 270 sec  
 LW: RR1M SW: Dushla DIFF: none

(c)

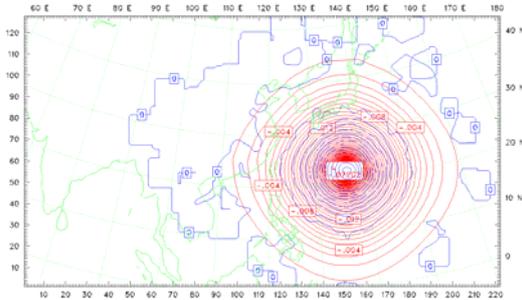
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 Temperature      at pressure = 500 hPa  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.0000 HIGH= 0.9000E-02 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.2000 HIGH= 0.6000E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model info: TRU3 F 02 130 PB, WCM 30sec, Twp 011 45 km, 30 levels, 270 sec  
 LW: RR1M SW: Dushla DIFF: none

(d)

single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 Temperature      at pressure = 200 hPa  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)

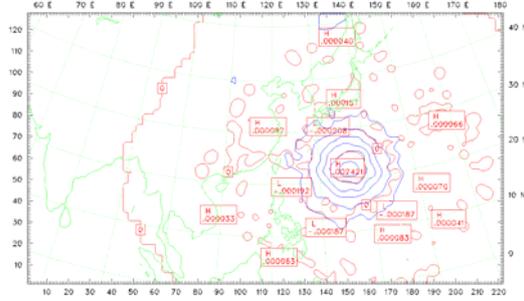


CONTOURS: UNITS=C LOW= -0.7200E-01 HIGH= 0.2000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.2000 HIGH= 0.6000E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model info: TRU3 F 02 130 PB, WCM 30sec, Twp 011 45 km, 30 levels, 270 sec  
 LW: RR1M SW: Dushla DIFF: none

圖 8-1: 單點模擬折射率在 200hPa 時之各層水平剖面圖(a)850hPa, (b)700hPa, (c)500hPa, (d)200hPa, 紅線為溫度, 藍線為壓力。

(a)

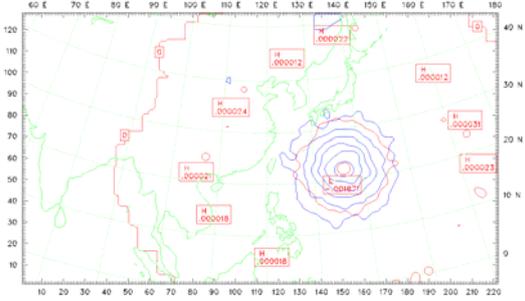
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 850 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=k LOW= 0.0000 HIGH= 0.2000E-02 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.3400E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model: nls: 1703 F: 02      130 PB: 02M 30sec: True D11: 45 km: 30 levels: 278 sec  
 UN: 087M SW: Ducthis D17: none

(b)

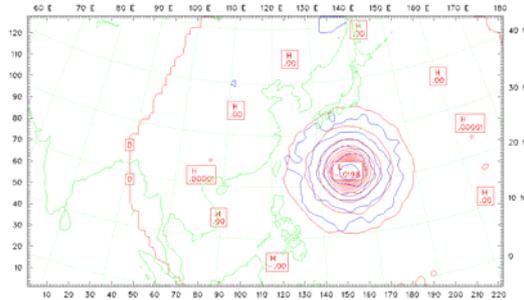
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 700 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=k LOW= -0.1000E-02 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.3400E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model: nls: 1703 F: 02      130 PB: 02M 30sec: True D11: 45 km: 30 levels: 278 sec  
 UN: 087M SW: Ducthis D17: none

(c)

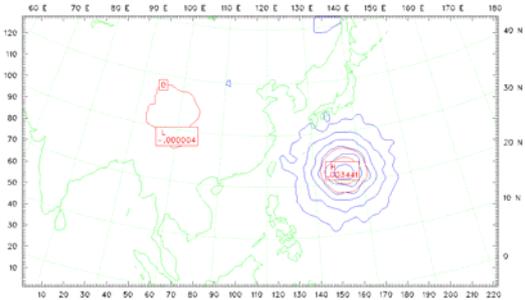
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 500 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=k LOW= -0.1000E-01 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.3400E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model: nls: 1703 F: 02      130 PB: 02M 30sec: True D11: 45 km: 30 levels: 278 sec  
 UN: 087M SW: Ducthis D17: none

(d)

single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 200 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)

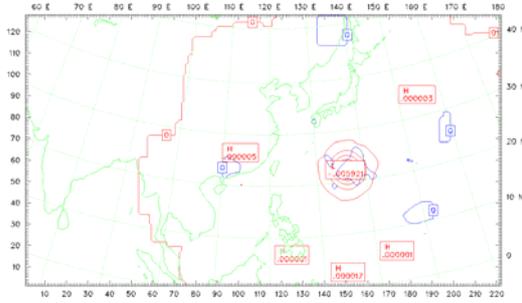


CONTOURS: UNITS=k LOW= 0.0000 HIGH= 0.3000E-02 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.3400E-01 INTERVAL= 0.4000E-01  
 Model: nls: 1703 F: 02      130 PB: 02M 30sec: True D11: 45 km: 30 levels: 278 sec  
 UN: 087M SW: Ducthis D17: none

圖 8-2: 單點模擬折射率在 500hPa 時之各層水平剖面圖(a)850hPa, (b)700hPa, (c)500hPa, (d)200hPa, 紅線為溫度, 藍線為壓力。

(a)

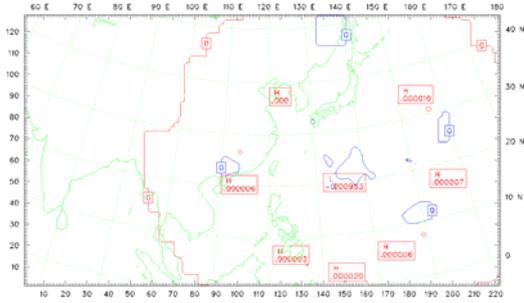
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 850 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW=-0.5000E-02 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.4000E+01 INTERVAL= 0.4000E+01  
 Model info: TRIP F    120 PB    90M 30sec    Time: 011 40 km    30 levels    270 sec  
 UN: 987M SW: Dushla    DIFF: none

(b)

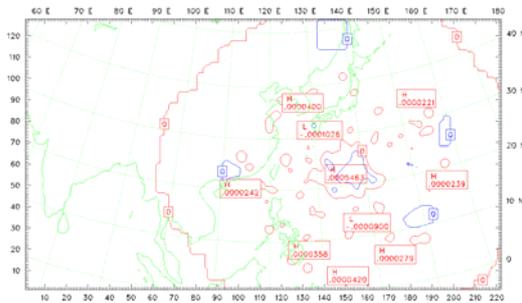
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 700 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.0000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.4000E+01 INTERVAL= 0.4000E+01  
 Model info: TRIP F    120 PB    90M 30sec    Time: 011 40 km    30 levels    270 sec  
 UN: 987M SW: Dushla    DIFF: none

(c)

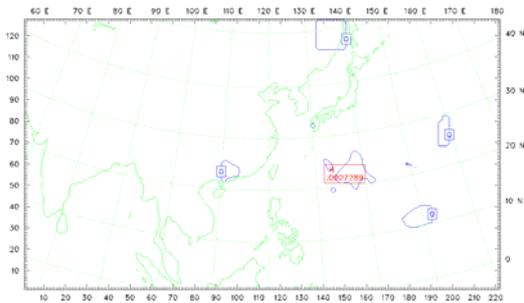
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 500 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.0000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.4000E+01 INTERVAL= 0.4000E+01  
 Model info: TRIP F    120 PB    90M 30sec    Time: 011 40 km    30 levels    270 sec  
 UN: 987M SW: Dushla    DIFF: none

(d)

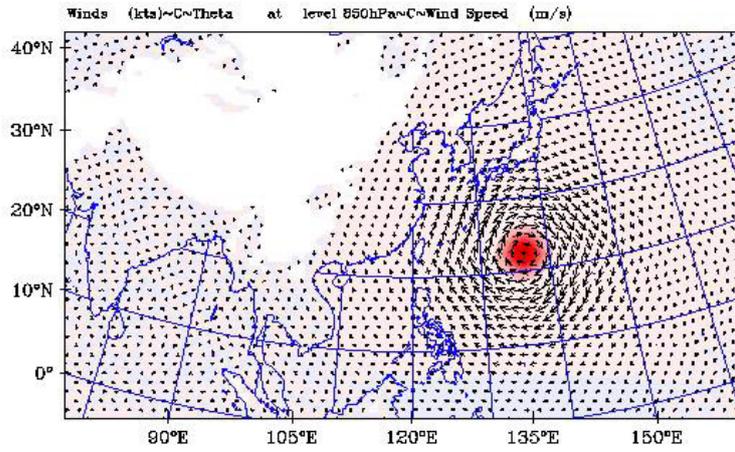
single pseudo OBS test (variable=ref)      init: 0000 UTC Fri 01 Jul 05  
 Fast: 0.00 h      Valid: 0000 UTC Fri 01 Jul 05 (0800 LST Fri 01 Jul 05)  
 Saa-level pressure      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)  
 at pressure = 200 hPa  
 Temperature      sm= 6  
 (diff. from cose=fg, time= 0.00)



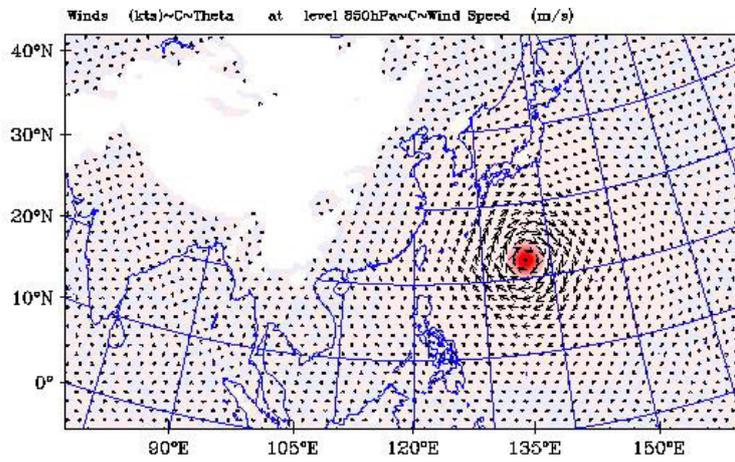
CONTOURS: UNITS=C LOW= 0.1000E-02 HIGH= 0.1000E-02 INTERVAL= 0.1000E-02  
 CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 0.0000 HIGH= 0.4000E+01 INTERVAL= 0.4000E+01  
 Model info: TRIP F    120 PB    90M 30sec    Time: 011 40 km    30 levels    270 sec  
 UN: 987M SW: Dushla    DIFF: none

圖 8-3: 單點模擬折射率在 850hPa 時之各層水平剖面圖(a)850hPa, (b)700hPa, (c)500hPa, (d)200hPa, 紅線為溫度, 藍線為壓力。

(a) len\_scale = 0.75



(b) len\_scale = 0.5



(c) len\_scale = 0.25

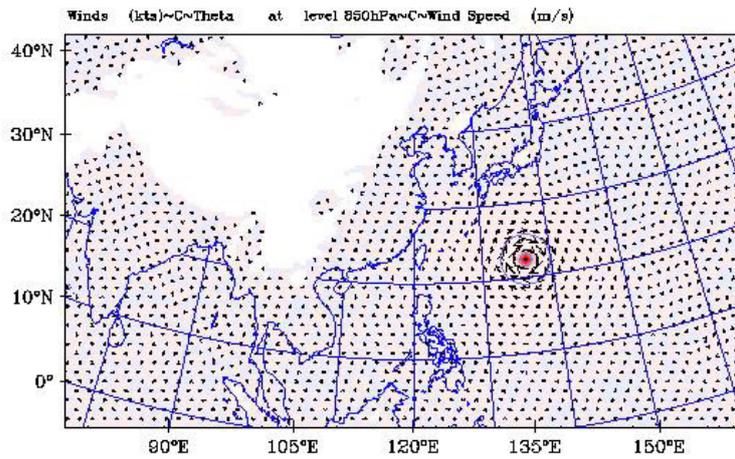
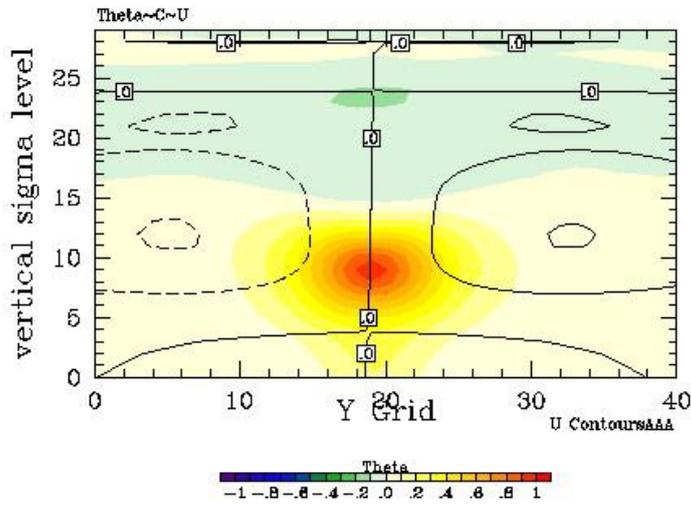
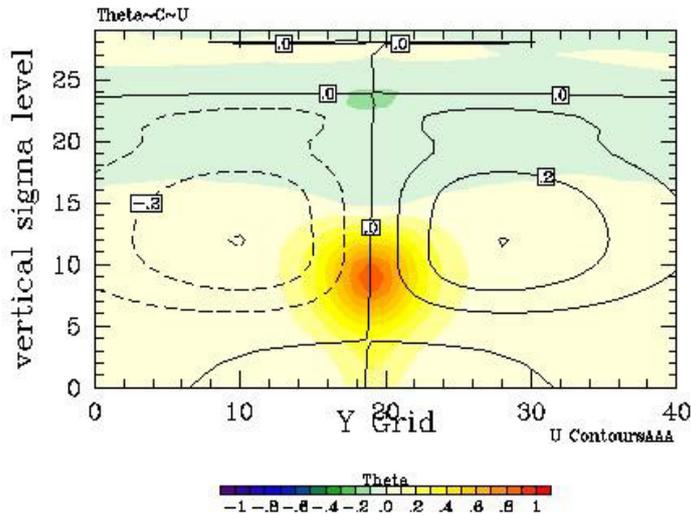


圖 9-1: 不同尺度長度倍數(a)0.75, (b)0.5, (c)0.25 在水平面上呈現的分布, 陰影為位溫場增量值分布情形, 箭頭為由溫度所導出的風場增量值。

(a) len\_scale = 0.75



(b) len\_scale = 0.5



(c) len\_scale = 0.25

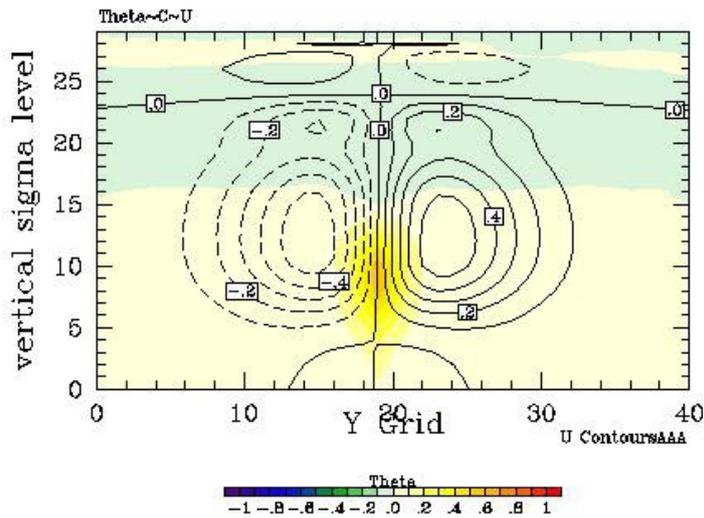
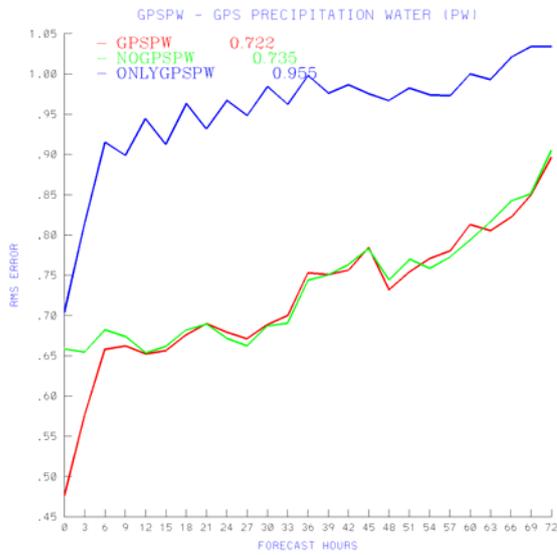


圖 9-2: 不同尺度長度倍數(a)0.75, (b)0.5, (c)0.25 在垂直面上呈現的分布, 橫軸為所選取的南北距離, 縱軸為模式垂直高度, 陰影為位溫場增量值分布情形。

(a) RMS



(b) BIAS

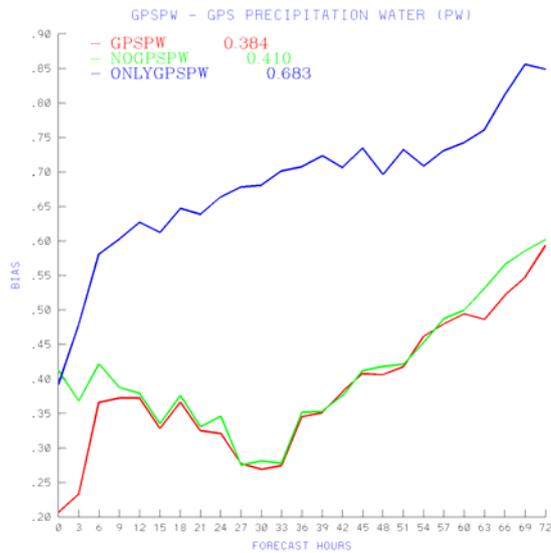
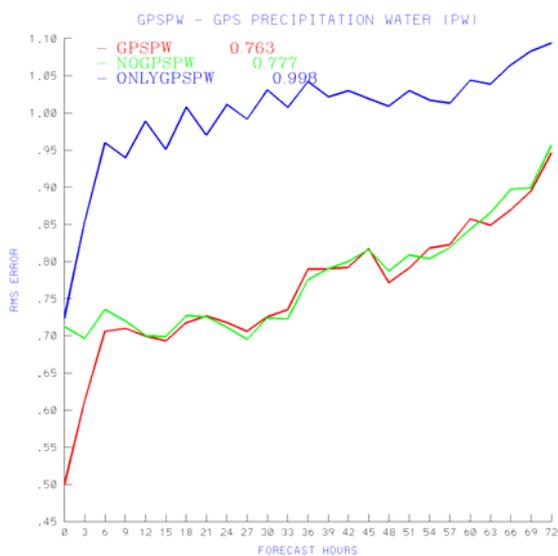


圖 10-1: Domain-1 之不同實驗所表示的(a)方均根誤差，(b)Bias，藍色：只有 GPSPW 資料，綠色：所有資料但不含 GPSPW，紅色：所有資料包含 GPSPW。

(a) RMS



(b) BIAS

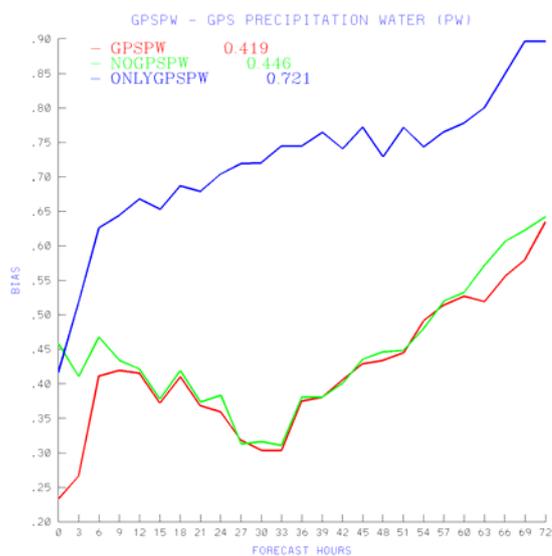
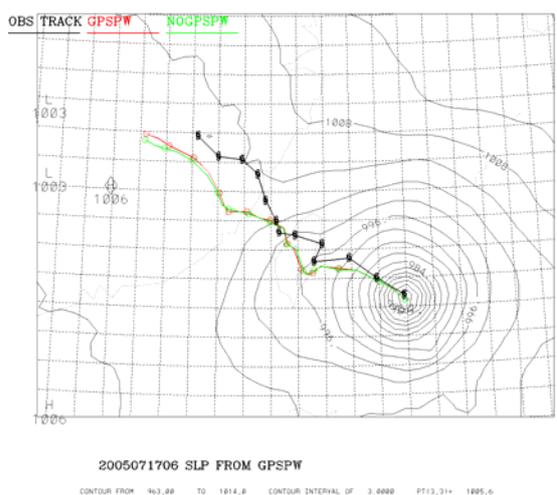
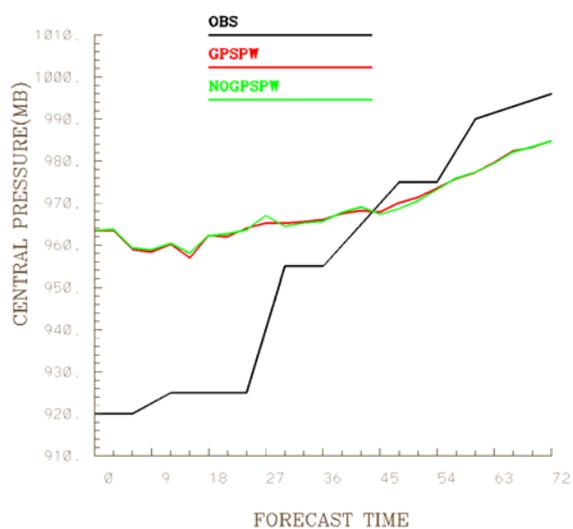


圖 10-2: Domain-2 之不同實驗所表示的(a)方均根誤差，(b)Bias，藍色：只有 GPSPW 資料，綠色：所有資料但不含 GPSPW，紅色：所有資料包含 GPSPW。

(a) 颱風路徑



(b) 颱風中心氣壓



(c) 颱風路徑誤差

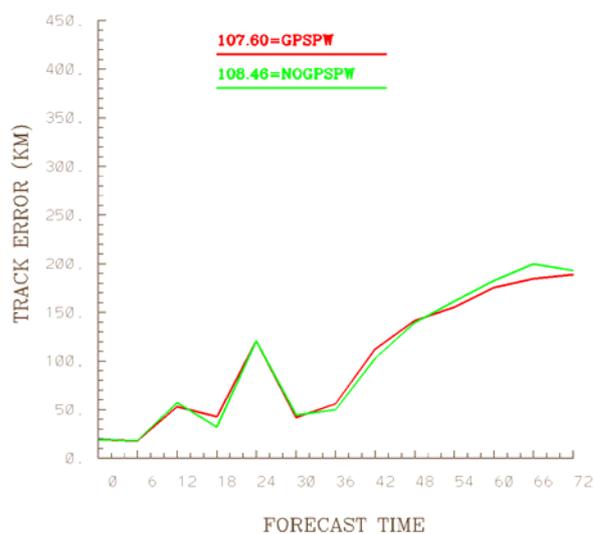
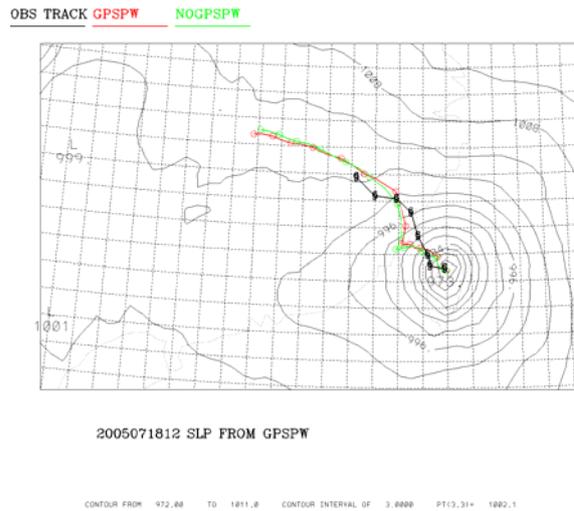
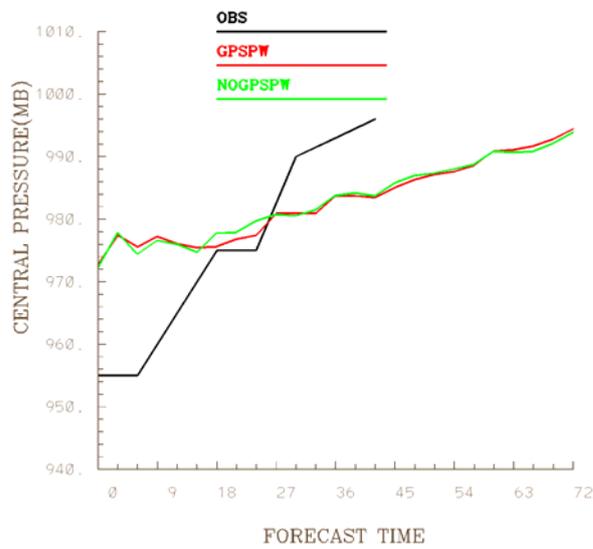


圖 11-1: 颱風登陸前 24 小時(2005071706), domain-1 不同實驗的(a) 颱風路徑, (b) 颱風中心氣壓, (c) 預報 72 小時颱風路徑誤差。

(a) 颱風路徑



(b) 颱風中心氣壓



(c) 颱風路徑誤差

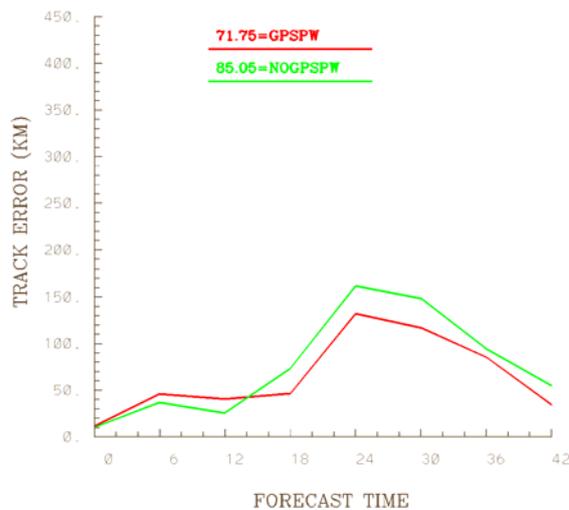
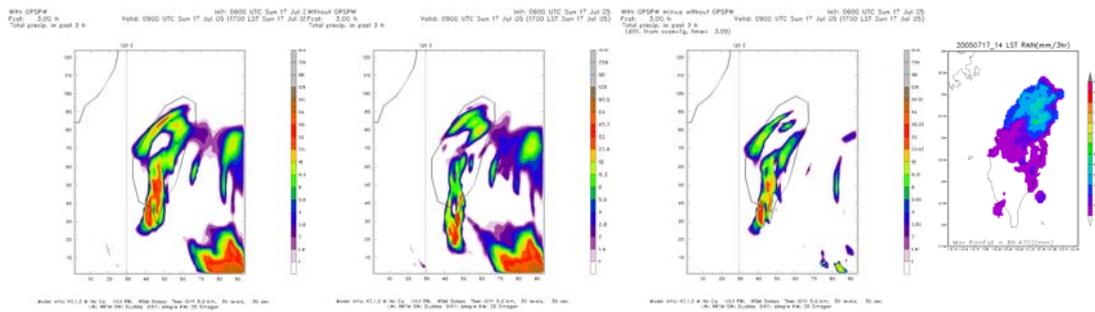
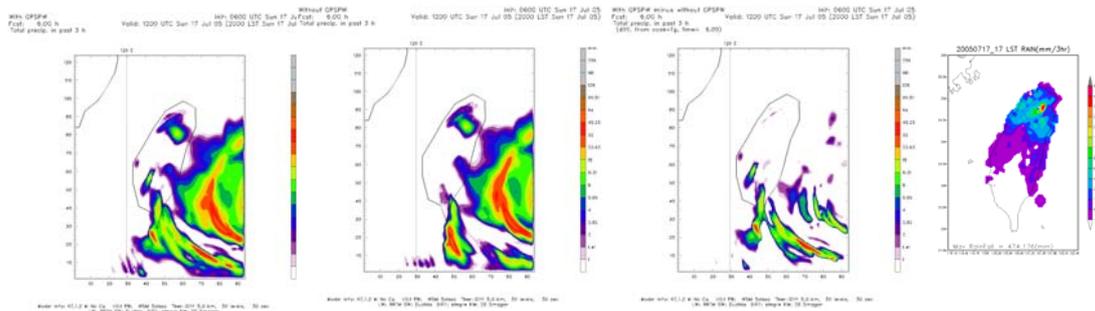


圖 11-2: 颱風出海時(2005071812UTC), domain-1 不同實驗的(a) 颱風路徑, (b) 颱風中心氣壓, (c) 預報 72 小時颱風路徑誤差。

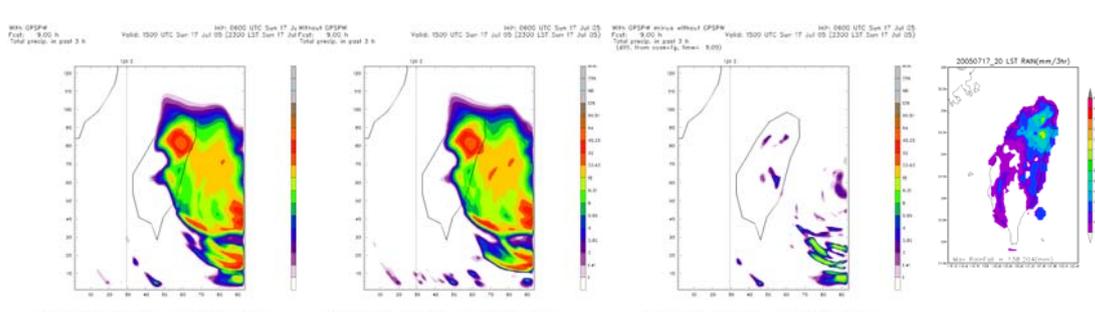
(a) 0~3hr



(b) 3~6hr



(c) 6~9hr



(d) 9~12hr

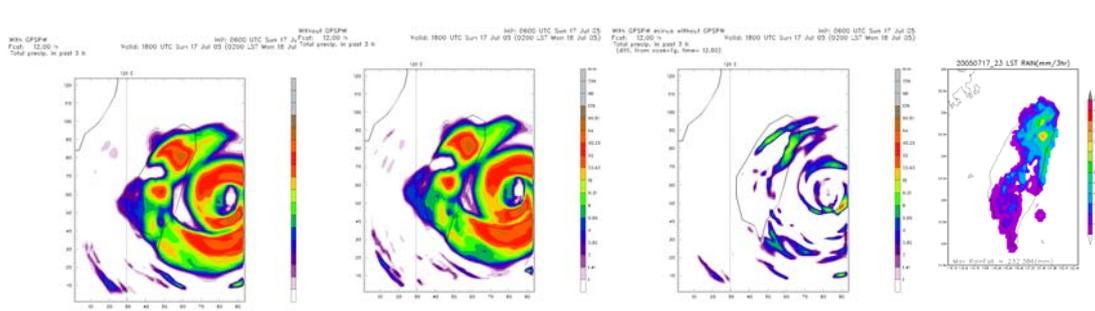
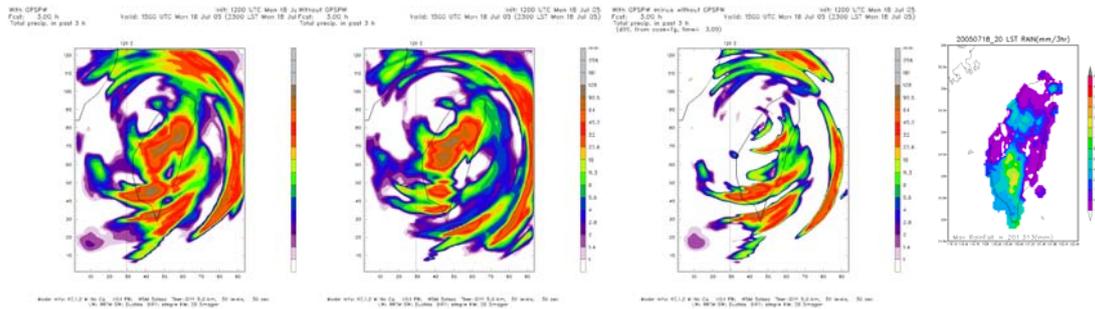
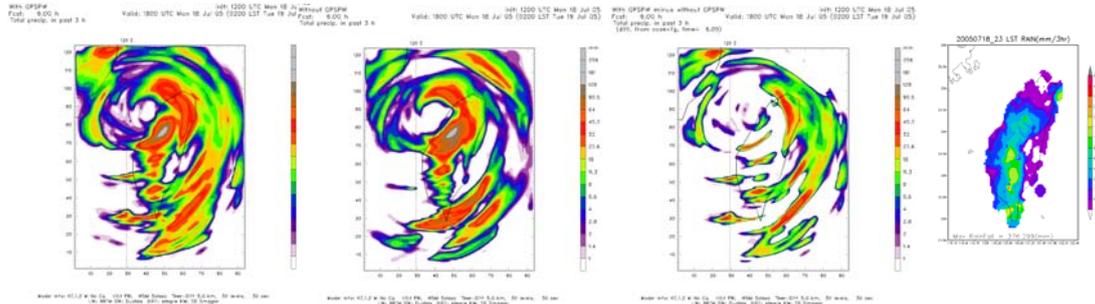


圖 12-1: 颱風登陸前 24 小時(2005071706UTC)模式預報 3 小時累積降水與自動雨量站 3 小時累積降水的分布，上圖中由左至右為所有資料含 GPSPW、所有資料不含 GPSPW、所有資料含 GPSPW 減去所有資料不含 GPSPW、自動雨量站資料，(a) 0~3hr 累積降水，(b) 3~6hr 累積降水，(c) 6~9hr 累積降水，(d) 9~12hr 累積降水。

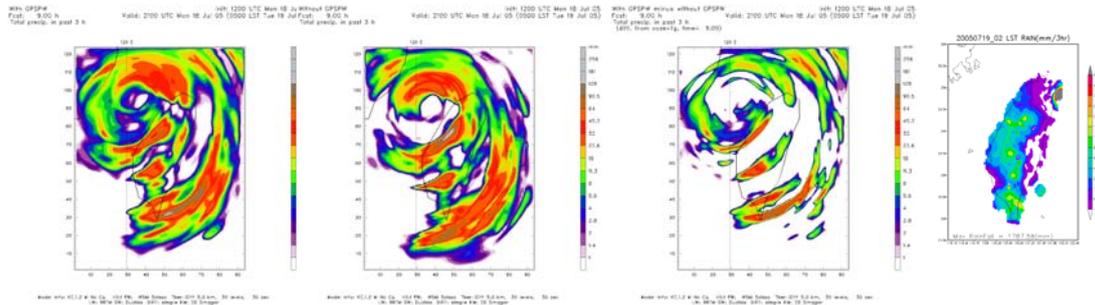
(a) 0~3hr



(b) 3~6hr



(c) 6~9hr



(d) 9~12hr

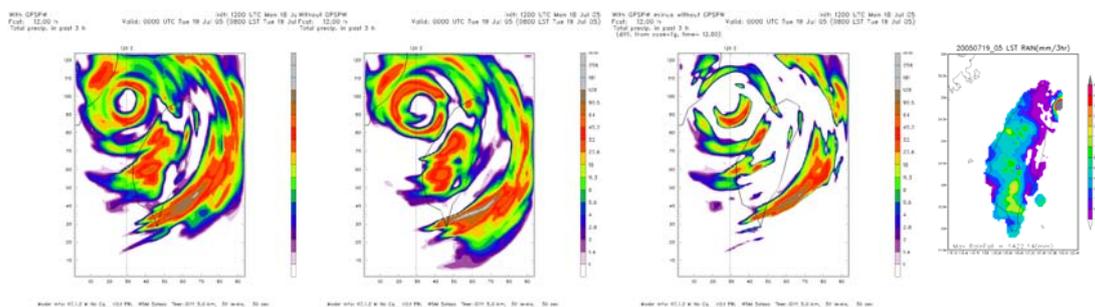


圖 12-2: 颱風出海時(2005071812UTC)模式預報 3 小時累積降水與自動雨量站 3 小時累積降水的分布，上圖中由左至右為所有資料含 GPSPW、所有資料不含 GPSPW、所有資料含 GPSPW 減去所有資料不含 GPSPW、自動雨量站資料，(a) 0~3hr 累積降水，(b) 3~6hr 累積降水，(c) 6~9hr 累積降水，(d) 9~12hr 累積降水。