

掩星資料應用於先進資料同化系統之影響評估

陳盈臻 林沛練
國立中央大學大氣科學系

摘要

本研究依據「福衛七號執行計畫 (2011-2018)」規劃，結合交通部中央氣象局、國家實驗研究院颱風洪水研究中心合作發展無線電掩星技術(Global Positioning System Radio Occultation, 簡稱GPSRO)資料運用與系統性評估技術，並建構由局地系集轉換卡爾曼濾波器(The Local Ensemble Transform Kalman Filter, 簡稱LETKF)以及三維變分資料同化系統(Three-Dimensional Variational Data Assimilation system, 簡稱3DVAR)所合成的混成分析方法(Hybrid Analysis Scheme)，針對2012年6月梅雨強降水個案，分別使用福衛七號第一組星系(低緯度)及第二組星系(低緯度加全球均勻分布)之掩星模擬資料進行資料同化的觀測模擬實驗(Observation System Simulation Experiments, 簡稱OSSE)。本研究以15 km解析度模擬真實大氣做為OSSE實驗之natural run，並在45km解析度使用Hybrid同化系統進行OSSE之control run和assimilation run，以了解福衛七號第二組掩星觀測星系的觀測效益，並藉以評估Hybrid資料同化系統運用於福衛七號兩組星系之掩星資料對劇烈天氣系統預報效能的影響。

關鍵字：資料同化、掩星資料

一、前言

GPSRO (Global Positioning System Radio Occultation)係利用小型低軌道(low-earth-orbit, 簡稱LEO)的衛星接收全球定位系統(Global Positioning System, 簡稱GPS)訊號，經由無線電掩星(Radio Occultation, 簡稱RO)技術來估計電磁波穿過大氣圈時的偏折角(bending angle)，再據反演原理以算出大氣折射率(refractivity)的分布。GPSRO技術具有高垂直解析度，不需校驗，且平均分布於全球等特性。福衛三號(FORMOSAT-3/COSMIC)及後續計畫福衛七號之氣象研究目標主要在充分使用GPSRO觀測資料於預報模式，藉以了解其對區域天氣預報及全球分析或預報改善之程度。由於福衛七號尚未發射，我們無法取得福衛七號的掩星資料進行研究評估，而觀測模擬實驗(Observation System Simulation Experiments, 簡稱OSSE)具有可以針對同化及預報實驗的需求，產生所需的特定觀測資料的特性，因此我們希望藉由OSSE實驗來評估福衛七號掩星資料對天氣預報之影響。

二、方法

本研究之OSSE實驗設流程如圖1所示，首先以MM5模式以15公里解析度的的模擬結果當作Natural run，再將Natural run降解析度至45公里後做為WRF模式的初始條件與邊界條件，此模擬結果訂為control run。在同化實驗中，觀測資料由Natural run提供，我們藉由ray tracing模式產生福衛七號的掩星資料，另

由Natural run結果差分出GTS資料，提供給LETKF及Hybrid同化系統使用。本研究選定2012年6月11日的梅雨作為實驗個案。在梅雨實驗中，我們將著重討論2012年6月10日06UTC至2012年6月11日06UTC的24小時降水，以及下一個24小時2012年6月11日06UTC至2012年6月12日06UTC的降水。

經過比較Control Run在不同初始模擬時間和Natural Run結果之差異，最後梅雨實驗設計選定由MM5模式以2012年6月7日00 UTC作為Natural run的初始時間，模擬時間為2012年6月7日00 UTC至2012年6月15日00 UTC，其中我們將MM5於2012年6月7日12 UTC的Natural run結果取出，當作WRF實驗的初始條件與邊界條件，再轉至WRF模式模擬至2012年6月15日00 UTC的實驗設為Control Run。Natural Run和Control Run的設計流程如圖2所示。

圖3和圖4為梅雨在MM5和WRF的domain設定，MM5在梅雨個案的domain 1為242x148，domain 2為664x382，domain 3為151x181。解析度分別為45km、15km及5km。垂直座標為45層eta座標。domain 1提供mm5 to wrf的初始條件與邊界條件，domain 2作為Natural run並提供OSSE實驗的觀測資料，domain 3則作為台灣地區的降水驗證。WRF在梅雨個案的domain1為222x128，domain2為184x196，domain3為151x181。解析度分別為45km、15km及5km。垂直座標為45層eta座標。

為了要模擬GPSRO資料且符合實際觀測之理論，我們使用二維射線追蹤模式(ray tracing model)，主要是利用模式氣象場(如：氣壓、溫度和水汽)的三維分

布，計算模式大氣中各網格點的折射率及其梯度，再給定近地點的位置、高度和射線的方位角，即可決定射線穿越模式大氣的軌跡，並以幾何方式由射線之偏折量求得偏折角，再利用 Abel transform 的逆變換，將模式偏折角轉換成非局地的大氣折射率，此接近於GPS掩星觀測到的大氣折射率。

建構WRF 3DVAR以及LETKF所合成的Hybrid系統，亦是本研究的一目標。WRF 3DVAR為NCAR所設計於WRF模式加入的三維變分資料同化系統，並以MM5 3DVAR系統為基礎來建構，和MM5 3DVAR使用共同的觀測算子。此系統可以同化多種觀測資料以求出模式最佳初始場，進而改善預報準確度。局地系集轉換卡爾曼濾波器(Local Ensemble Transform Kalman Filter, LETKF)屬於系集平方根濾波器(Ensemble Square Root Filter, EnSRF)的一種，此類型的濾波器定義系集擾動為誤差協方差的平方根，且不需在觀測資料中加入隨機擾動，避免了額外的取樣誤差，在計算上也相對穩定。LETKF更進一步應用了協方差局地化概念，及分析場乃由特定區域內之觀測及背景資訊所獲得，且假設觀測間彼此獨立，背景場誤差之相關性隨距離而遞減。以背景系集空間分布作為分析增量及擾動更新之空間基礎，在極小化分析誤差協方差的條件下，得到用以應用於背景系集之最佳線性組合來更新系集平均與系集擾動(張，2013)。

本研究的Hybrid系統由兩個部份構成，第一部份為LETKF，負責產生系集預報成員，本研究共使用40個系集成員，依據各成員的變數場得到一組背景誤差協方差，因為背景誤差協方差隨時間會更新，所以這組以系集組成的背景誤差協方差具備flow-dependent的特性。第二部份為3DVAR，和單純的變分同化系統不一樣的地方即在於這個部份所使用的背景誤差協方差包含了第一部份所提供的背景誤差協方差。圖5為我們建構的Hybrid流程，梅兩個案的Hybrid實驗設計流程如圖6所示，LETKF從2012年6月7日12 UTC開始做12小時的Spin up，在2012年6月8日00 UTC至2012年6月10日00 UTC期間內，每六小時當作一個同化窗區，共進行9次Hybrid同化，除了第一次的Hybrid使用系集平均當做初始猜測(first guess, 簡稱fg)，其他都是以每次同化後的6小時預報當作fg。最後一次做Hybrid為2012年6月10日00 UTC，接著做72小時預報，取其中兩個24小時累積雨量時段做分析比較，第一個時段為2012年6月10日06 UTC至2012年6月11日06 UTC，第二個時段為2012年6月11日06 UTC至2012年6月12日06 UTC。

三、結果

2012年6月梅兩個案OSSE利用MM5模擬的Natural Run、WRF模擬的Control Run以及Hybrid同化GPSRO的Phase one(PHI)和Phase two(PHII)的實驗結果如圖7所示，分別是(a)Natural Run、(b)Control Run、(c)PHI以及(d)PHII。圖中顯示2012年6月10日06UTC至2012年6月11日06UTC期間內共24小時的累積雨量。Control Run的兩量和Natural Run在中部較為相似，但是Control Run南部山區雨量明顯較窄且強度不足。相較之下，有同化GPSRO的hybrid結果卻明顯表現較佳，PHI對於降雨的強度掌握比PHII好，但是從降水的分布情況來看，PHII的分布跟atural Run較為相似。

圖8為梅兩個案在2012年6月11日06UTC至2012年6月12日06UTC期間內共24小時的累積雨量，分別是a)Natural Run、(b)Control Run、(c)PHI以及(d)PHII。所有的結果與Natural Run來比都明顯偏強，Control Run在中部的降水範圍明顯偏大且降雨強度過強，中南部的山區降水極值也有過強的表現且位置也不對。同化GPSRO的PHI資料對中部的降水分布和強度都比Control Run好，強度都明顯較弱，較接近Natural Run，但是南部山區依然有過強的降水情況。單純同化PHII的結果顯示其南部山區的降水強度和分布最接近Natural Run，但是在中部有明顯錯誤的降水極值出現，且區域不小，整個北部都有過量降雨的情形出現。綜合這兩天的初步結果比較，顯示Hybrid加入GPSRO的資料在降水極值的分布可能有一定的掌握程度，但是降雨整體強度及分布範圍的掌握能力可能較為不足，需要更進一步的探討與分析。

四、圖表

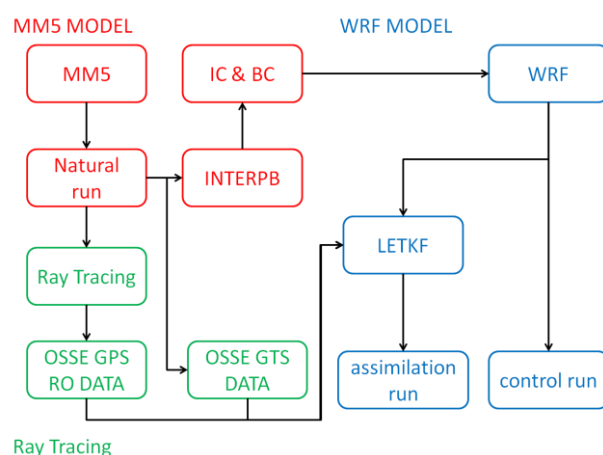


圖 1. OSSE 實驗設計流程。

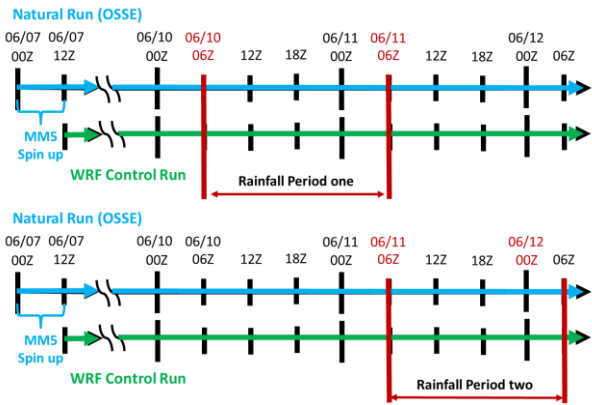


圖2. 梅雨個案的Natural Run和Control Run設定流程。

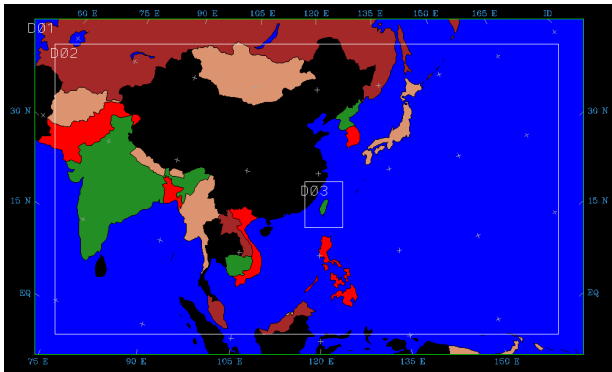


圖3. MM5 在梅雨個案的domain 設定。domain 1 為242x148，domain 2 為664x382，domain 3 為151x181。解析度分別為45km、15km 及 5km。垂直座標為45 層eta 座標。domain 1 提供mm5 to wrf 的初始條件與邊界條件，domain 2 作為 Nature run 並提供 OSSE 實驗的觀測資料，domain 3 則作為台灣地區的降水驗證。

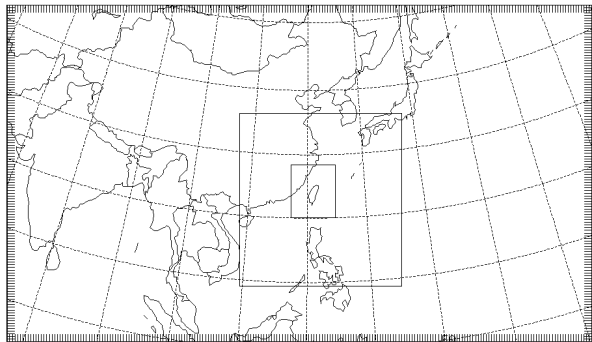


圖4. WRF在梅雨個案的domain 設定。domain 1 為222x128，domain 2 為184x196，domain 3 為151x181。解析度分別為45km、15km 及 5km。垂直座標為45層eta座標。

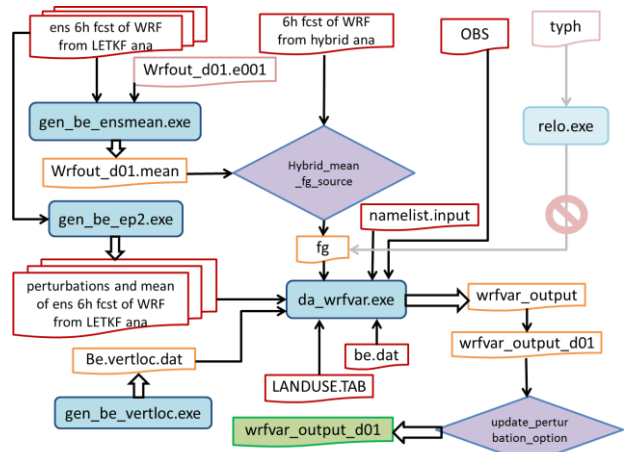


圖5. 本計畫使用的Hybrid流程圖。

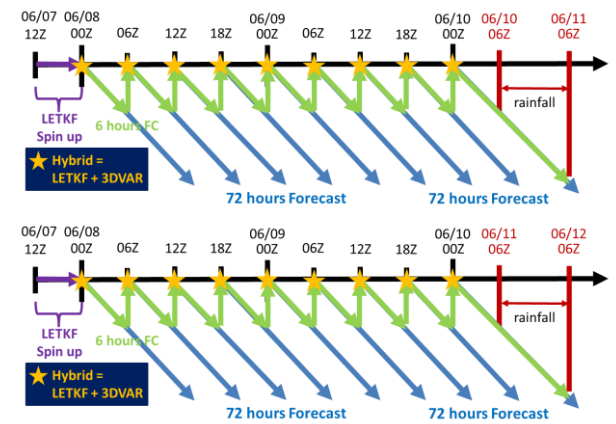
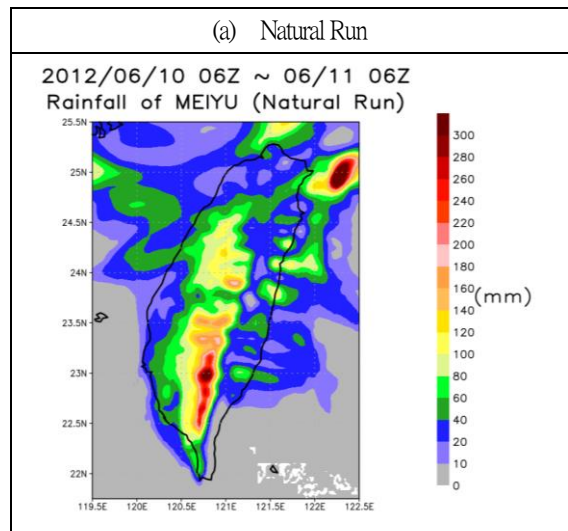


圖6. 梅雨個案的Hybrid實驗設計流程。星號代表有做Hybrid的時間點，共取兩個24小時累積雨量時段做分析，第一個時段為2012年6月10日06UTC至2012年6月11日06UTC(上圖)，第二個時段為2012年6月11日06UTC至2012年6月12日06UTC(下圖)。



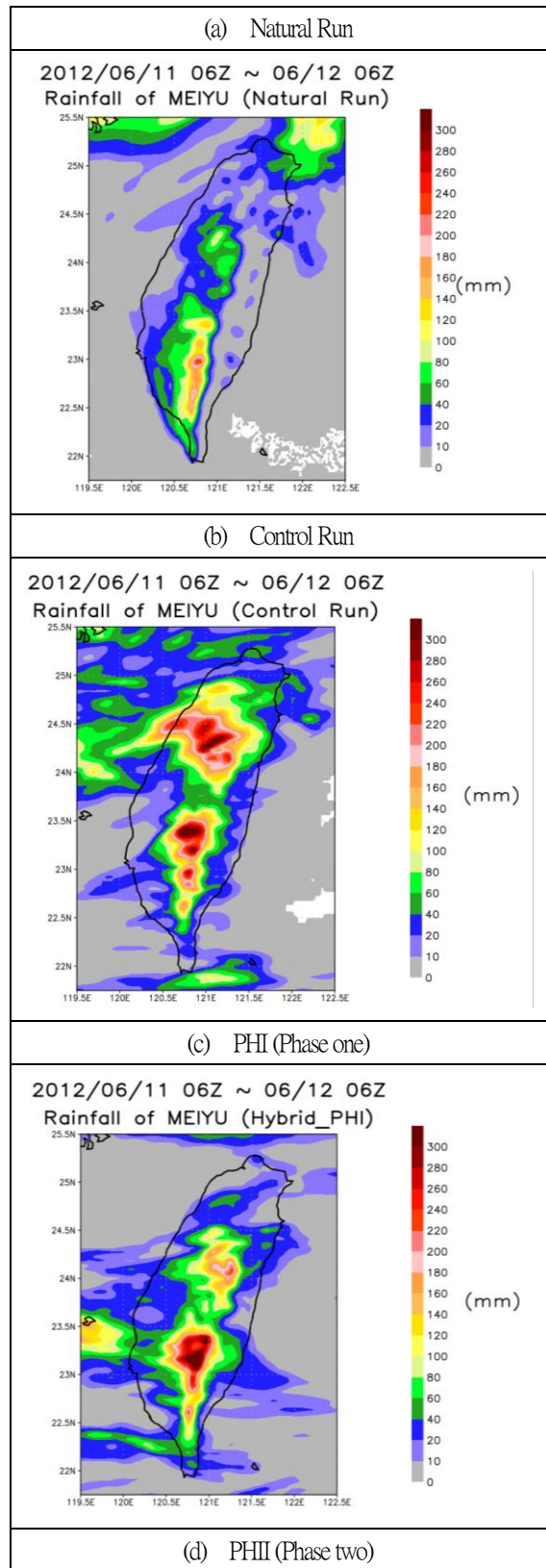
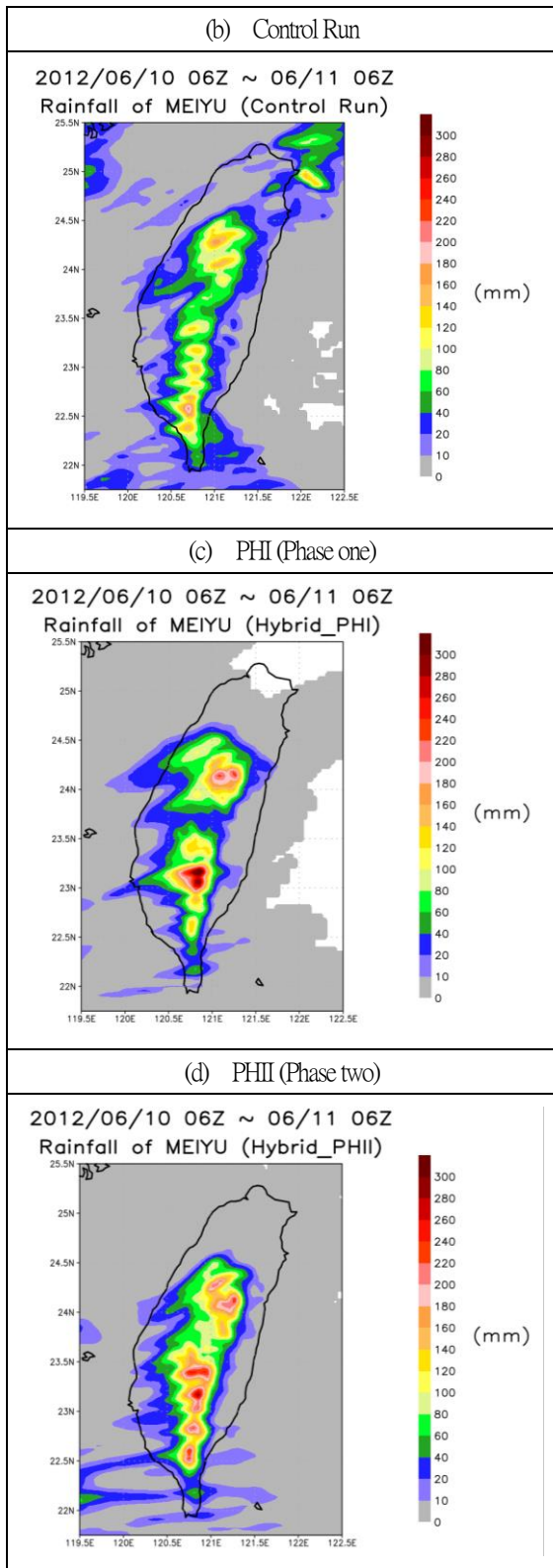


圖7. 梅雨個案在2012年6月10日06UTC至2012年6月11日06UTC期間內24小時的累積雨量比較，不同結果代表同化的資料不同：(a)MM5模擬的Natural Run、(b)WRF模擬的Control Run、(c)Hybrid同化GPSRO的Phase one(PHI)、(d) Hybrid同化GPSRO的Phase two(PHII)。

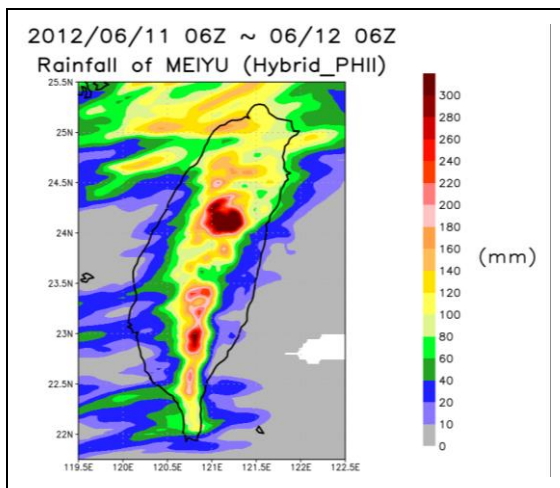


圖8. 梅雨個案在2012年6月11日06UTC至2012年6月12日06UTC期間內24小時的累積雨量比較，不同結果代表同化的資料不同：(a)MM5模擬的Natural Run、(b)WRF模擬的Control Run、(c)Hybrid同化GPSRO的Phase one(PHI)、(d)Hybrid同化GPSRO的Phase two(PHII)。

五、參考文獻

張楚琄, 2013: “利用系集資料同化系統估算區域大氣化學耦合模式中 trace 物種之排放與吸收：以 CO₂ 為例”, 國立中央大學, 大氣物理研究所, 碩士論文, 15 頁