

背景誤差的改進對於氣象局區域模式 掩星觀測資料同化的影響

陳文柔 陳盈臻 蔡金成 洪景山
中央氣象局氣象資訊中心

摘 要

台美共同合作之福爾摩沙七號掩星觀測任務，又稱 FORMOSAT-7/COSMIC-2 (F7/C2)，其 6 顆氣象衛星已於 2019 年 6 月順利發射，每日可提供全球約 4000~6000 筆的掩星資料，而在氣象局區域模式中每日包含 400~600 筆，如何將這些掩星觀測所得之大氣剖線資料有效地納入模式中，需要更縝密的研究與評估。掩星觀測資料為現今區域模式中唯一在垂直方向上擁有高解析度的大氣剖線觀測，為評估福衛七號掩星在資料同化中扮演的角色，藉由單觀測點實驗發現模式高層的靜態背景誤差協方差(Background error covariance, 簡稱 BEC)中的控制變數，在鄰近層數間有不合理的負相關，此為 BEC 在解算過程中遭遇之數值解問題，可透過調整背景誤差的垂直相關來加以改進。以改進後的靜態 BEC 對福衛七號掩星資料進行同化，結果顯示對於綜觀天氣預報與颱風個案皆有正面影響。

一、前言

台美共同合作之福爾摩沙七號掩星觀測任務，又稱 FORMOSAT-7/COSMIC-2 (F7/C2)，旨為接續福衛三號的大氣觀測任務。福衛七號衛星群中包含 6 顆氣象衛星，其上搭載之全球衛星導航系統無線電訊號接收器，可接收來自於美國的 GPS 與俄國的 GLONASS 無線電訊號，藉由掩星方法(Radio Occultation, 簡稱 RO)，反演出大氣垂直剖線之折射率、乃至水氣、溫度等下游資料；並且因衛星傾角比起福衛三號更低，在熱帶與副熱帶地區可提供更多觀測，對地處副熱帶的台灣相對有利。

自 2019 年 6 月順利發射至今，目前每日可提供全球約 4000~6000 筆的掩星資料，而在氣象局區域模式中每日涵蓋 400~600 筆，其數量可說是相當可觀，如何在資料同化過程中有效運用掩星觀測，以改進模式的預報，此為福衛七號觀測應用的主要重點。

二、單觀測點實驗與BEC的調整

本研究使用WRF model，水平網格解析度為15公里，在東經118.5度、北緯21.34度以及模式第40層處，放置一個溫度增量(O-B)為6 °C的單點觀測，並且將觀測誤差設為2 °C，經由WRFDA 3DVAR得到分析增量。由分析增量的垂直剖面可見(圖1 a)，模式40層左右具

有約0.99度的暖分析增量，然而在鄰近的第30~35層以及第44~47層左右則有大約0.40~0.47度的冷分析增量，也就是說，同化單點觀測不僅帶來局地增量，也在鄰近的上、下層有負相關的增量極值，這明顯是不合乎常理的；除此之外，折射率為溫度以及水氣壓的函數，若同化單點折射率，在溫度增量上也可看見相似現象(圖1c)，而同化低層觀測點則無此情形(圖未示)。

造成上、下層溫度有負相關的原因來自於WRFDA中背景誤差(cv option=5)的控制變數—未平衡溫度(unbalanced temperature, Tu)模式高層，其鄰近層間的負相關(圖2 a)所導致，相對濕度也有類似的現象。

為改善此問題，進行背景誤差在垂直相關上的調整，背景誤差的產製使用CWB WRF M04版本2019年7月2日至31日00Z的預報，共30個樣本，以NMC方法計算24小時預報減去12小時預報的誤差，接著將產製出來的BEC中的控制變數—未平衡溫度(unbalanced temperature, Tu)以及相對濕度(RH)，進行垂直層上的敏感度測試，逐步調整將特定層數之上的鄰近層相關皆設為零，最後得到eta level 39層(0.1735)、約183百帕高為最佳門檻，也就是使得39層以上的垂直層彼此間無相關(圖2 b)。

使用新產製的BEC再次進行單觀測點實驗，沿用同樣的實驗設定，在模式第40層放置溫度或是折射率單點，可見上、下層負相關的溫度增量有效地被移除(圖1 c,d)，僅留下觀測點自身周圍的增量，而這也是我們較期盼的結果。下節也將使用此新產製的BEC進行掩星資料同化，並進一步檢驗綜觀天氣與颱風個案的預報。

三、預報影響

以CWB WRF M04版本，進行綜觀天氣與颱風個案的預報實驗，為凸顯靜態BEC的改善，採用的資料同化方法為3DVAR，資料同化策略為部分循環更新(partial cycle)，也就是模式初始場皆來自於12小時前的全球NCEP 0.25度分析場冷啟動(cold start)，並每6小時進行一次循環更新(update cycle)，其中模式的初始猜測場(first guess)皆來自於WRF的6小時預報；在部分循環更新的架構下，可避免模式預報所累積的系統性誤差，另每6小時的循環更新也可避免來自冷啟動(cold start)之模式spin up問題。

實驗設計如表1所示，包含GTS、GTSRO以及GTSRO_nBE共3組實驗，第1組實驗僅同化GTS觀測，第2、3組實驗除了GTS外，再加上福衛七號掩星觀測資料；背景誤差部分，第1、2組實驗使用原有BEC，第3組實驗使用調整後的新BEC (nBE)，以GTS實驗為控制實驗組(CTRL)，比較新舊BEC之上福衛七號RO的同化效益，另外，為凸顯區域模式中福衛七號RO資料同化的效果，三組實驗皆未使用Blending方法，以除去全球尺度的流場波譜資訊(e.g. NCEP分析場)對區域模式的影響。

(一) 綜觀天氣

綜觀天氣預報的校驗期間為2020年5月18日至22日，以每日之00Z、12Z作為初始場，共10個預報樣本，模式解析度為15公里，校驗基準為NCEP GFS 0.25度分析場(已內插到WRF格點)，在1000~100百帕的特性

層上，逐層將模式區域的所有格點校驗結果取平均，可得預報誤差隨高度的變化。

各變數在第60小時預報的校驗如圖3所示，在BEC主要調整的高度，也就是200百帕以上，若將200~100百帕高度的結果平均，可以看見在相對濕度場，使用原有BEC之下，同化RO已能些微改善預報結果(藍與紅線)，使用新的BEC進行同化，差別並不顯著(橘與紅線)；在溫度場，使用原有BEC同化RO，結果呈現中性(藍與紅線)，然而在調整BEC之後，平均而言有0.01度的些微改進(橘與藍、紅線)；至於風場部分，雖未直接調整風場相關的控制變數，然而透過模式本身的熱力風關係，可建立質量場與風場的相關性，對於風場也有間接的影響。在V風場，使用原有BEC同化RO，比起GTS實驗些微改善0.01 m/s(紅與藍線)，而使用新的BEC，則好上加好，比起原BEC同化RO的結果再改善了0.02 m/s左右(橘與紅線)。而在200百帕以下，不管是RH、T、U、V，使用新的BEC皆可以增進RO資料同化的預報結果。

至於其他預報時，三組實驗則呈現有好有壞的情形，不過整體而言，本研究BEC的調整呈現中性至稍微正面的結果。另外由GTSRO與GTSRO_nBE兩組實驗可得知，雖本研究僅調整BEC的高層相關，然而差異並不侷限於高層分析場，而是會一併影響模式整層的預報。

(二) 颱風個案

在颱風個案的部分，挑選2019年10月的博羅伊(BUALOI)颱風，此颱風於10月19日12Z到達輕颱風門檻，並於10月22日06Z到達強度颱風等級，從發展到消散期間幾乎皆在海洋上發展。本研究的實驗期間為10月21日至24日，以每日00、06、12、18Z為初始場，每一組實驗共有16個預報樣本，將實驗結果與CWB最佳路徑進行校驗，結果如圖4所示，在原有BEC之下同化RO，路徑誤差相較於控制組—GTS實驗平均大了約15公里(紅與藍線)，而使用新的BEC同化RO，比起使用原有

BEC，可減少路徑誤差約3.4公里(紅與橘線)，主要的改進為改善cross track的誤差，使得預報結果更為靠近最佳路徑，圖5所示為初始場為10月22日12Z的預報結果，可看見三組實驗在空間上的分布特性。

四、結論

福衛七號掩星觀測為目前氣象局區域模式中唯一擁有的垂直高解析度觀測系統。在溫度與折射率的單觀測點實驗中，發現了原有靜態BEC在控制變數Tu和RH的高層鄰近負相關所造成的不合理分析增量，加以調整後得到新的BEC，並以新的BEC進行福衛七號RO資料同化與預報實驗。

在綜觀天氣預報的第60小時校驗中，原有BEC之下同化RO，可得中性至稍好的結果，而以調整後的BEC同化RO，則可好上加好，在各變數上進一步獲得微小的改進。在颱風個案博羅伊(BUALOI)的預報校驗中，以原有BEC之下同化RO得稍差的結果，而以調整後的BEC同化RO，雖仍未優於控制實驗組GTS，然而比起未調整之前，平均仍可減少約3.4 km的預報誤差。

截至目前為止，福衛七號資料同化對於預報的影響仍有進步的空間，除了調整背景誤差以外，未來仍須針對福衛七號的資料品管(QC)程序以及觀測誤差進行檢視，以期獲得最佳的預報結果。

參考文獻

國家太空中心－福爾摩沙衛星七號任務簡介

Retrieved Aug 31, 2020, from
https://www.nspo.narl.org.tw/inprogress.php?c=20021502&ln=zh_TW

表 1. 實驗設計

Name	BEC	Obs assimilated
GTS	WRFDA CV5 ori	GTS
GTSRO	WRFDA CV5 ori	GTS+FS7 RO
GTSRO_nBE	WRFDA CV5 new	GTS+FS7 RO

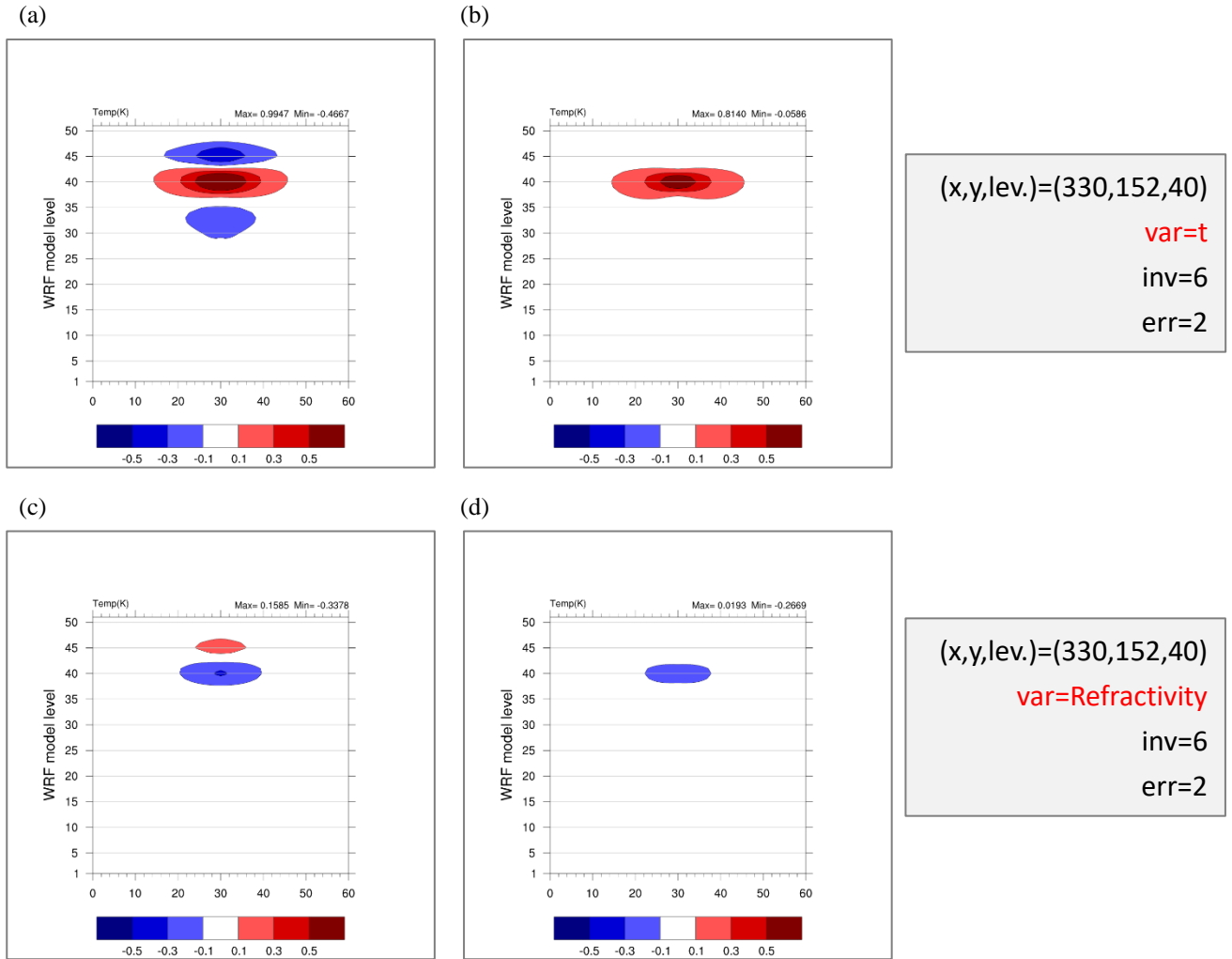


圖 1. 單觀測點實驗分析增量，(a)、(c)分別為使用原有靜態BEC同化溫度及折射率；(b)、(d)為使用調整後BEC的同化結果

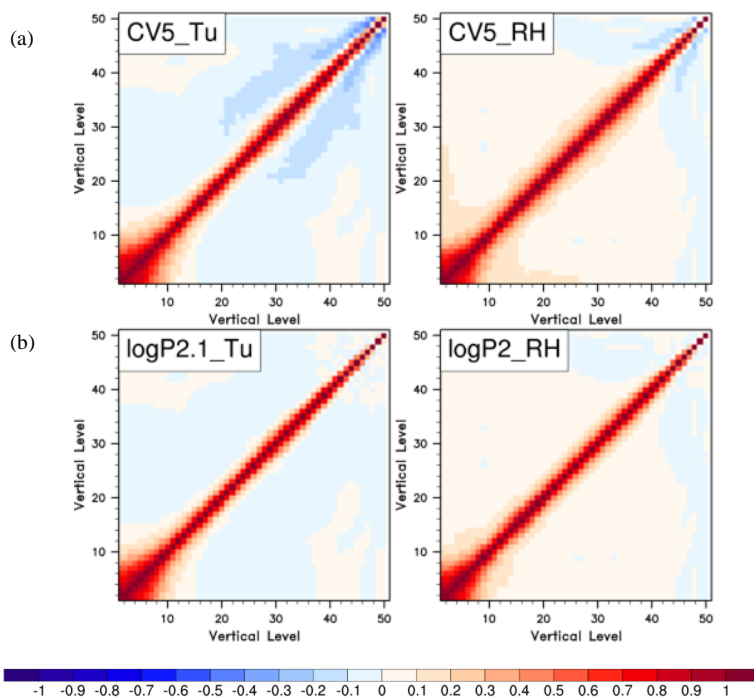


圖2.(a)控制變數垂直層相關，(a)為原有CV5 BEC，(b)為調整後，可發現高層負相關被有效移除

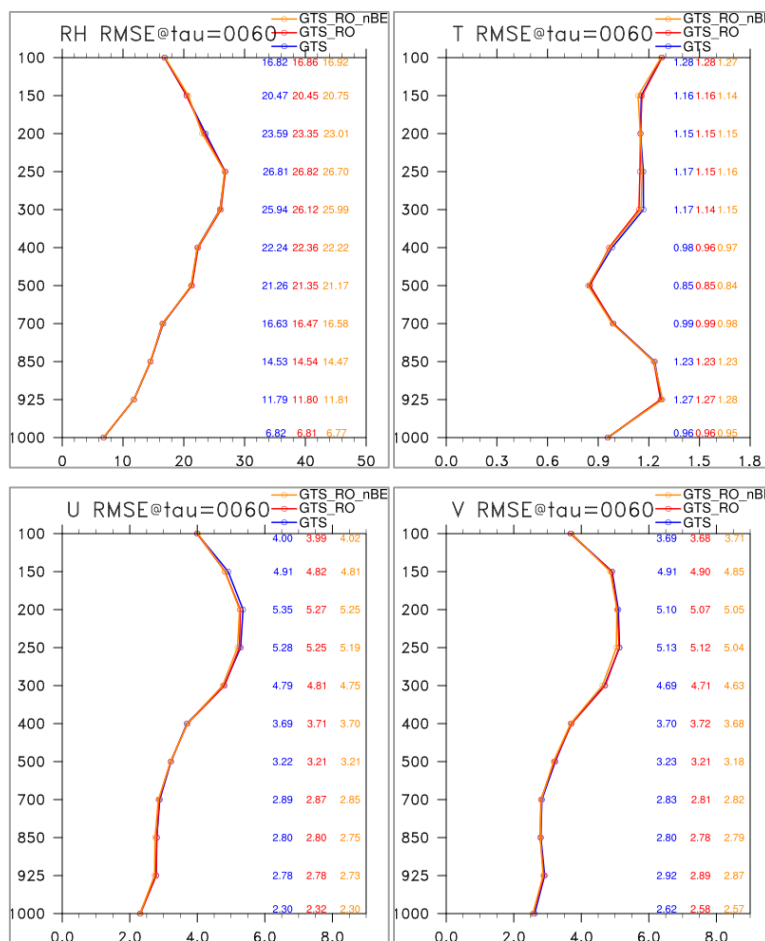


圖3. RH、T、U、V的模式區域綜觀校驗，校驗期間為2020年5月18至22日00、12Z，共10個預報樣本

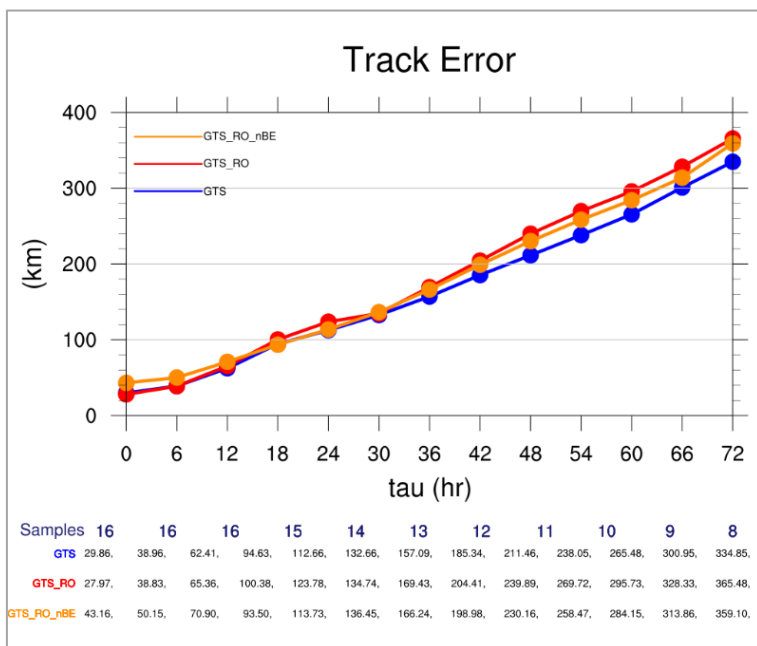


圖4. 0~72小時颱風路徑預報誤差

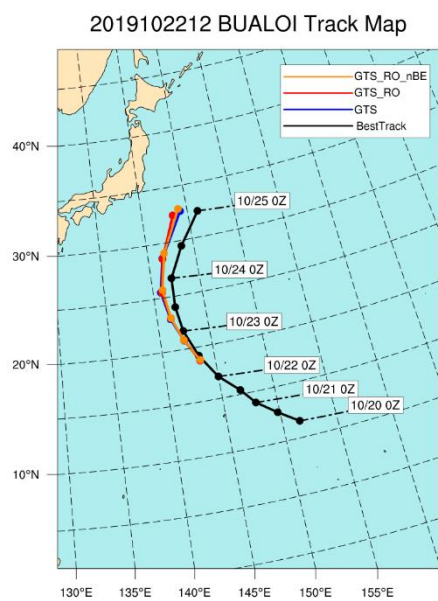


圖5. 颱風路徑預報，初始場為10月22日12Z