

福衛七號掩星資料前處理對區域資料同化系統之影響

陳盈臻¹ 陳文柔¹ 張保亮¹ 洪景山²
氣象資訊中心¹ 氣象科技研究中心¹
中央氣象局

摘要

由台美合作之福爾摩沙衛星七號(FORMOSAT-7, 以下簡稱福衛七號)衛星已於 2019 年 6 月 25 日升空, 每日至少可提供 4000 筆以上的全球中低緯度氣象觀測資訊, 其六顆衛星軌道佈署也於 2021 年 2 月完成。中央氣象局全球與區域模式分別針對福衛七號掩星資料同化進行研究, 其成果皆顯示同化福衛七號掩星資料有較佳的預報表現(Lien et al. 2021, 陳 et al. 2020)。福衛七號掩星資料也已經納入全球與區域模式預報作業中。

福衛七號掩星觀測均勻分布於中低緯度區域, 能提共更多熱帶地區的氣象資訊, 並彌補海上觀測資料缺乏的問題, 此外福衛七號訊號穿透力較強, 因此能提供更多低層大氣的觀測資訊。然而低層大氣的水氣變化劇烈, 增加訊號反演的不確定性, 突顯出資料前處理的困難性。為了使福衛七號掩星資料在低層大氣中發揮最大效益, 同時評估目前的資料前處理對區域模式的影響, 本研究將透過全循環(full cycle)同化策略, 在 15 公里網域下, 以 hybrid 3DnVAR(混和式三維系集變分法)同化系統, 探討不同的資料 QC 方法對掩星觀測資料之敏感性, 並嘗試用統計方式提出新的資料篩選門檻, 以針對福衛七號掩星觀測資料前處理程序進行優化。後續也將推展至高解析度 3 公里網域, 搭配 dual-resolution hybrid 3DnVAR(雙解析度混和式三維系集變分法)同化系統, 以評估同化福衛七號掩星資料對高解析度網域的影響, 期望進一步發揮福衛七號掩星資料在區域模式的應用效益。

關鍵字：福衛七號、掩星、資料同化

一、前言

福爾摩沙衛星七號(FORMOSAT-7, 以下簡稱福衛七號)氣象衛星群已於 2019 年 6 月順利發射, 共含有 6 顆子衛星, 為福衛三號的接續任務, 其六顆衛星也於 2021 年 2 月完成軌道佈署。福衛七號可以接收來自美國 GPS 及俄國 GLONASS 的導航衛星訊號, 訊號在行經大氣時收到溫度及濕度影響會產生偏折, 藉由掩星技術可以反演出大氣垂直剖面的變化, 如偏折角、折射率、溫度、水氣等資訊。

因福衛七號其仰角比福衛三號更低, 每日至少可提供 4000 筆以上的全球中低緯度氣象觀測資訊,

與福衛三號時期相比, 觀測數量大幅增加。在氣象局區域模式的網域之中, 每日可接收約 150~200 筆福衛七號掩星剖面資料, 福衛七號資料其垂直高解析度、水平分布廣泛的特性, 可以彌補高空觀測與洋面觀測不足的現況, 因此很適合應用在台灣的氣象區域模式之中。

福衛七號發射之後, 中央氣象局全球與區域模式隨即分別針對福衛七號掩星資料同化進行影響評估之研究, 陳等人(2020)與 Lien et al. (2021)的成果皆顯示同化福衛七號掩星資料有較佳的預報表現, 圖一是 2020 年 8 月 15 日至 2020 年 9 月 7 日共 93 個個案所統計的模式預報表現, 對比於 NCEP 的分析場,

有同化福衛七號掩星資料的預報 RMSE 比沒有同化福衛七號的預報小，也因此福衛七號掩星資料已經納入全球與區域模式預報作業中，其中全球模式是同化偏折角資訊，而區域模式則是同化折射率資訊。

福衛七號掩星觀測均勻分布於中低緯度區域，能提供更多熱帶地區的氣象資訊，並彌補海上觀測資料缺乏的問題，此外福衛七號訊號穿透力比福衛三號更強，所以能反演出更多低層大氣的觀測資訊，然而低層大氣的水氣變化劇烈，增加訊號反演的不確定性，突顯出資料前處理的困難性。在福衛三號時期，衛星的硬軟體不比現今，因此低層資料數量和高層相比本來就偏少許多，而且訊號從高層大氣往低層進行反演時誤差持續累積，造成低層的資料品質往往不如高層，所以一般低層資料的使用會比高層保守許多，過去常見的作法是在某個高度門檻以下的資料就不使用，或是針對低層資料設計許多前處理方法，以進行資料的品質管控(Quality Control, QC)，甚至是在同化時特意增加低層資料的觀測誤差，以降低低層資料在同化過程中的影響。

圖二是 2020 年 8 月 15 日至 2020 年 9 月 7 日期間，掩星資料在 QC 過程中所統計的資料剔除率。從統計可以明顯看到資料從 6 公里開始被明顯剔除，越往低層資料剔除的比例越高，雖然和沒有同化掩星資料的預報表現相比，有同化掩星資料的預報表現較佳，但是數值模式的解析度越來越高，需要仰賴更多的資料來提升模式的同化表現，而且福衛七號搭載最先進的軟硬體設備，其低層資料可能比福衛三號更有價值，為了使福衛七號掩星資料在低層大氣中發揮最大效益，需要針對目前的掩星資料前處理方法進行修訂。

二、實驗設計

本研究為 2020 年的實驗延伸，2020 年的實驗係以全循環(Full Cycle)的同化策略進行福衛七號掩星資料同化，從 2020/08/15 12 UTC 至 2020/09/07 06 UTC 維持 6 小時循環更新，即為本次實驗的控制組(control run, CTRL)。本研究採用 2020 年的實驗前期結果當作模式全循環的暖身階段，也就是以

2020/08/15 12 UTC 至 2020/08/20 18 UTC 皆來自於之前的實驗結果，但是從 2020/08/21 00 UTC 開始每次循環皆抽換 ROQC 方法進行同化以更新模式背景場，並得到新的分析場，接著預報 6 小時做為下一次循環的模式背景場，如此連續循環至 2020/08/25 06 UTC，使 RO 資料同化的影響得以累積。模式解析度為 15 公里，每一趟都有預報至 120 小時，新實驗的同化流程請見圖三。

目前所使用的掩星前處理總共有 5 種方法，依照前處理的功能可以分成兩大類型，分別是避免模式與觀測表現差異過大的 gross error check、error percent check(qc_pcmt)、折射率垂直變化(qc_dndz、qc_dndz2)以及根據大量觀測與背景場差異統計出之高度、緯度與溫度函數來當作 QC 門檻的 necp-gsi regional innovation check(qc_gsi)。Gross error check 是避免模式與觀測差異過大的基本同化前處理程序，所以本研究主要是針對另外四種方法進行探討。又因為控制組的前處理是四種方法都有使用，為了分辨不同前處理對掩星資料同化的影響，本實驗以每組實驗關掉單一前處理程序的方式來進行測試，實驗設計如下表：

實驗名稱	實驗意義
all qc	全部前處理皆使用
no gsi	只關掉 qc_gsi
no dndz	只關掉 qc_dndz
no dndz2	只關掉 qc_dndz2
no pcmt	只關掉 qc_pcmt

三、結果

圖四是關掉單一前處理方法後所統計的資料剩餘量，可以看到在 8 公里以下開始有明顯的變化，其中 no dndz2 的資料剩餘量明顯比其他方法多，其次是 4 公里以下的 no gsi。qc_dndz 和 qc_dndz2 主要是在確認折射率的垂直變化，理論上折射率會隨著高度遞減而增加，但是當中間有水氣形成干擾時，會造成折射率的反演結果有不穩定的現象，因此折射率曲線會有震盪出現，在目前所使用的折射率垂直門檻，一

階門檻為 $dndz < 50 \text{ km}^{-1}$ 而二階門檻則是 $d^2N/dz^2 > 100 \text{ km}^{-1}$ ，這個門檻是為了預防訊號在低層出現超折射現象所設，然而前面已說明訊號對於水氣的干擾特別敏感，由於福衛七號設備精度提升許多，所以雖然訊號可以穿透至更低層的位置，同時資料的垂直解析度也增加許多，但資料本身受到雜訊擾動的特徵也就更加明顯。所以當資料模式的解析度都提高時，這個前處理方法可能不太合適。

再來就是比較 QC 前後之觀測與背景場 OmB 的 RMSE 差異。圖五顯示在 QC 前，各實驗組的 OmB 差異很小，但是 QC 後 no gsi 的 OmB RMSE 明顯較其他實驗組大，表示 QC 後的觀測比其他實驗組的觀測還要遠離背景場，而同化後的觀測與分析場差異 OmA RMSE 也同樣明顯比其他組大，表示 qc_gsi 這個前處理方法確實有效，相較之下，其他組實驗的影響反而差異不大。

四、結論

本研究係以全循環的同化策略，進行掩星資料前處理方法的敏感度實驗，實驗前期以 2020/08/15 12 UTC 至 2020/09/07 06 UTC 的 6 小時循環更新當作全循環同化的暖身區間，後續以 2020/08/21 00 UTC 至 2020/08/25 06 UTC 共 18 個個案來進行同化分析與預報表現之比較。

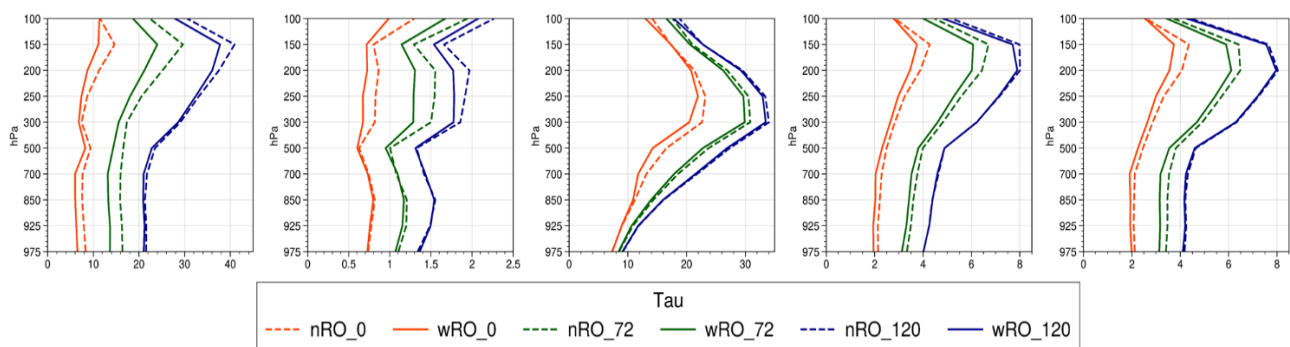
從同化前後之 OmB 及 OmA 的結果來看，目前

的前處理方法除了 qc_gsi 方法，其他的 QC 方法在同化前後的影響差異不明顯，而數量上以 qc_dndz2 的影響較為顯著，但是其他前處理方法所造成的剔除量還是很大，可能的原因是目前的前處理方法有重複剔除資料的情況發生。另外，從預報的綜觀校驗結果來看，這幾個實驗的平均表現都非常相似，很可能就是受到資料重複剔除的影響。然而以數量來說，資料的剔除率仍然偏大，未來將嘗試建立新的前處理方法，期望能夠增加資料的使用率並同時維持相當的預報表現，並以更多的實驗個案進行評估。

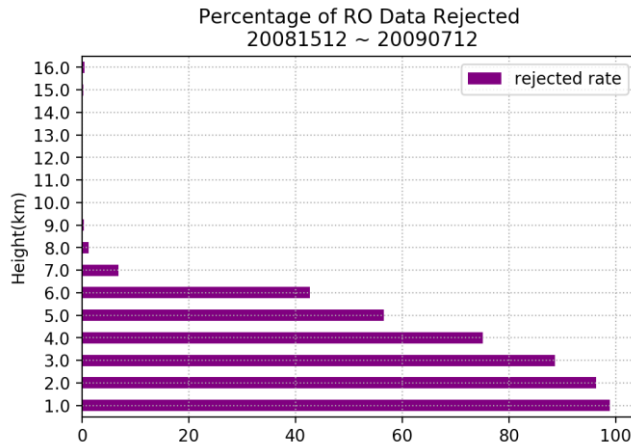
參考文獻

陳盈臻、陳文柔、洪景山、張保亮，2020：福衛七號掩星資料同化於氣象局區域模式之影響與評估。109 年天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台灣台北。

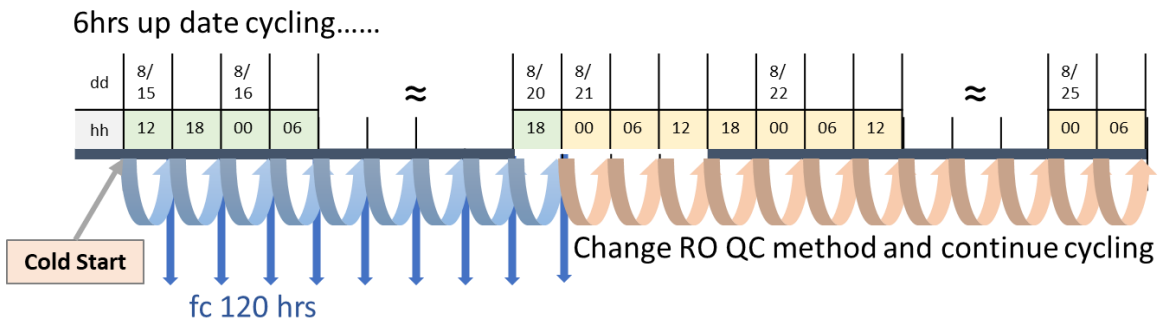
Lien, G.-Y., C.-H. Lin, Z.-M. Huang, W.-H. Teng, J.-H. Chen, C.-C. Lin, H.-H. Ho, J.-Y. Huang, J.-S. Hong, C.-P. Cheng and C.-Y. Huang, 2021: Assimilation Impact of Early FORMOSAT-7/COSMIC-2 GNSS Radio Occultation Data with Taiwan's CWB Global Forecast System. *Mon. Wea. Rev.*, **149**, 2171–2191, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0267.1>



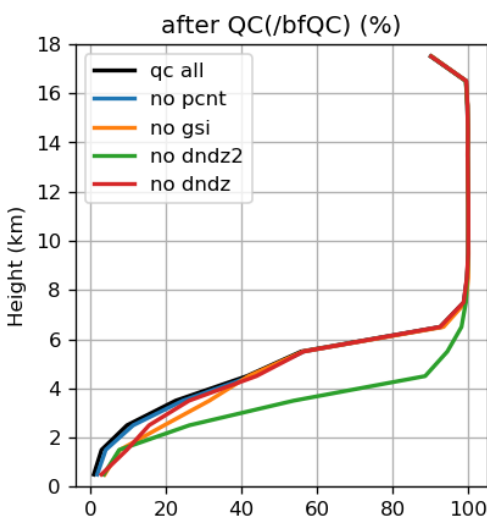
圖一、2020 年 8 月 15 日至 2020 年 9 月 7 日共 93 個個案所統計的模式預報表現，上排為 ME，下排為 RMSE。實線是有同化福衛七號掩星資料的實驗，虛線則是沒有同化福衛七號掩星資料的實驗。



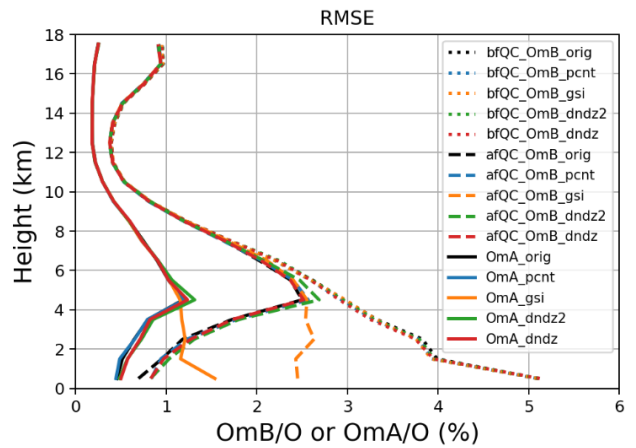
圖二、2020年8月15日至2020年9月7日實驗期間，有同化掩星資料的實驗組其掩星資料在經過前處理程序所剔除的剩餘資料數量比例。



圖三、為了比較不同掩星資料前處理方法之影響所設計的全循環資料同化策略。



圖四、統計2020年8月21日00Z至2020年8月25日06Z期間，單獨關掉某一種掩星資料前處理方法的掩星資料剩餘量比較。



圖五、統計2020年8月21日00Z至2020年8月25日06Z期間，QC前後之觀測與背景場(OmB)以及觀測與分析場(OmA)之間的統計 RMSE。