

衛星反演大氣溫濕度剖面與投落送觀測比較

章鶴群 鄭丞衡
第四組第四科 氣象衛星中心
中央氣象局

摘要

繞極軌道衛星搭載了許多紅外線和微波頻道的觀測儀器，如 NPP 上搭載的 Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) 和 Cross-track Infrared Sounder (CRIS)，NOAA 系列衛星搭載的 The Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A) 和 The Microwave Humidity Sounder (MHS) 等，這些儀器的多頻道觀測資料可以反演出大氣的溫度及濕度剖面。本研究想了解衛星反演的大氣溫濕剖面有何特性及準確性，於是與追風計畫的投落送觀測進行數據的比對，觀察其差異。

結果顯示，衛星資料的反演的溫度為平滑曲線，溫度隨高度增加而降低，到對流層頂的位置轉為隨溫度隨高度增加而降低，符合大氣垂直的變化的型態，而與投落送的實際觀測比較，平均溫度差距大約 2.5 度。在紅外線頻道及微波頻道包含了水氣的吸收帶，可以反演出代表濕度的露點溫度，但沒有那麼像溫度那麼精準，與投落送觀測比較，平均差距約為 5 度。

關鍵字：繞極軌道衛星、投落送

一、前言

氣象衛星是個用途十分廣泛的觀測儀器，除了一般熟知的地球同步衛星，能提供即時的可見光雲和紅外線雲圖外，還有搭載高光譜 (hyperspectral-resolution) 或微波 (Microwave) 儀器的繞極軌道衛星，可探測大氣溫度和溼度的垂直分布。利用全球定位系統 (Global Position System; GPS) 與低地球軌道 (Low Earth Orbit; LEO) 衛星的掩星 (Radio Occultation; RO) 觀測也可以反演出大氣的垂直溫溼度分布，張等人 2014 嘗試將此兩者可反演大氣垂直溫溼度之異質平台觀測合併使用，其反演成效不僅優於各單一系統之反演結果，更可以降低反演大氣垂直溫溼度時之不確定性。

衛星反演大氣剖面是以變分學為基礎的資料同化／反演方法 (周與葉 2003)，將價值函數求出極小值而得到最佳的大氣狀態 (曾 1997)，即所要求得的大氣垂直的溫度和濕度分布。

本研究將衛星高光譜或微波所反演的溫溼度場與投落送的觀測資料進行比較，以了解兩者之間的差異及衛星反演大氣剖面的特性，並且期望能夠結合兩種不同資料共同使用，以提高對颱風等據烈天氣的監測，甚至改善其預報。

二、資料來源

衛星資料取自中央氣象局所接收之 NOAA 系列衛星和 Metop 系列衛星所搭載的 AMSU-A (Advanced microwave sounding unit A) 和 MHS (The Microwave Humidity Sounder) 資料、NPP 衛星 ATMS (The Advanced Technology Microwave Sounder) 資料，為微波頻道資料，透過軟體 Microwave Integrated Retrieval System (MIRS) 反演出大氣溫濕度的垂直分布；AQUA 衛星所搭載的 AIRS、NPP 衛星所搭載的 CrIS (The Cross-track Infrared Sounder)，為高光譜頻道資料，透過軟體 HyperSpectral ReTrieVal (HSRTV)

Software，反演出大氣的剖面。高光譜資料是屬於紅外線頻道，特色是頻道數目極多並且包含整紅外線的波譜，而缺點是紅外線會被雲所阻礙，有雲時則雲下方的大氣無法反演出溫溼度。微波的特性即可以穿透雲層，比較不會受到雲的干擾，大部份的時候可以得到完整的大氣剖面，但與超光譜比起來頻道數目明顯少許多僅有 16 到 20 個頻道，其中包含 3 到 5 個水氣頻道。

由於繞極衛星一日僅經過台灣附近相同區域兩次，所以進行比較的衛星資料必須挑選最接近投落送觀測時間，及最接近投落送觀測且沒有雲的地點，這樣才能取得較多可用的資料進行比較。

三、 研究方法及研究結果

以 2015 年測試飛行資料來做說明，圖 1 是飛機飛行路線（藍色實線）及投落送投放的位置（紅點），這次測試只放 4 顆，是為了要測試接收資料的 4 個頻道是否能夠正常運作，由於不是觀測颱風，因此投放的時間和地點極大的彈性，經過協調後，選擇與衛星觀測接近的時間，且是天氣穩定晴朗的地點進行測試。圖 1 背景的綠色和藍色代表晴朗的陸地和海洋，白色的部份表示有雲。

圖 2 是衛星觀測點與投落送觀測點的相對位置，紅色點是投落送的位置，灰色點是 MetopA 經過台灣附近的觀測點衛星的觀測點，藍色點是與投落送最接近的衛星觀測點。

圖 3 的 4 張圖是 METOPA 的 AMSU 加上 MHS 反演出的大氣溫度溼剖面與觀測的投落送繪在斜溫圖上，表現出兩者的特性及差異。衛星資料反演的溫溼度是個平滑的曲線，溫度的反演接近觀測，而濕度的反演跟投落送的觀測有很大的不同，投落送觀測的露點溫度是一個不平滑的折線，而衛星反演的露點是平滑的曲線，不過反演的曲線仍然

與投落送的觀測有一致的趨勢。圖 4 是利用 Metop 所搭載的 AIRS 所反演的結果，結果與 AMSU 的反演十分相似，由於 AIRS 是紅外線頻道，所以沒有辦法完全穿透大氣，只能反演出中高層的溫度和露點，溫度曲線十分貼齊投落送的觀測，相較於 Metop 的 AMSU 觀測反演的結果，AIRS 更接近投落送觀測。

以上為定性的比較衛星反演溫濕度的差異，接著以定量的方式，用統計的方法比較投落送與衛星反演之間的差異，以高度做為區分，分別計算地面到 850 百帕、850~500 百帕、500~300 百帕及 300 百帕以上的均方根誤差（Root Mean Square Error）。圖 5 和圖 6 分別是 MetopA 的 AMSU+MHS 和 AIRS 的分析溫度的結果，發現 AMSU+MHS 反演的溫度（圖 5 左）十分良好，沒有明顯隨高度的差異，誤差均在 1.5 度上下，僅有 1 筆資料超過 2 度，AIRS 反演的效果（圖 5 右）則又略勝一籌，均方根誤差都能夠在 1.5 度以下，唯一遺憾是受到雲的干擾，並沒有辦法反演出 850 百帕以下的溫度。圖 6 是溼度（露點溫度）的分析，很明顯的比溫度的誤差大，均方根誤差都在 2.5 度以上，MHS 資料反演的露點溫度（圖 6 左）因為水氣吸收的頻道較少的緣故反演無法如同溫度那樣的精確，而且誤差明顯隨高度增加，特別是大於 300hpa 的均方根誤差暴增到 10 度，因為愈高層水氣量少，愈不容易精準反演。圖 8 是 AIRS 反演的結果，跟溫度反演一樣的沒有辦法反演出低層的資料，誤差隨高度增加但是沒有像微波頻道增加的快速，這是因為高光譜資料有較多的水氣頻道資訊。

圖 7 探討不同衛星的溫度反演結果，大部份的誤差都可以落在 1 度以內，但是也有少數幾個衛星的誤差偏高，CrIS 最明顯，均方根誤差超過 2 度，原因是每顆衛星掃描的時間不同，CrIS 距離投落送投放的時間較久，才造成稍大的誤差。圖 8 是不同衛星反

演露點溫的誤差統計，各衛星的差異不大，均在 5 度到 6 度之間。

四、 討論與未來展望

在天氣系統無很大變化的情況下，衛星反演得到的溫度垂直剖面仍很接近 dropsonde 的觀測。微波頻道 (AMSU-A 和 MHS) 並不會受到雲的影響，可以完整反演出整層大氣的溫濕度剖面，而高光譜頻道的衛星資料雖然更接近投落送的觀測，但是容易受到雲層的干擾，低層的大氣沒有反演資料。

對於衛星資料所反演的溫濕度有初步了解之後，對於資料的應用就可以更廣泛，資料同化於預報系統的初始場可改善預報結果；應

用於天氣分析，可用於大氣穩定度的判斷，也可以用次天氣系統的診斷，例如颱風或鋒面的垂直結構分析研究等。

參考文獻

張凱威、劉千義、任玄、劉振榮、林唐煌、葉南慶，2014：結合 GPS 掩星與低軌道繞極衛星之異質平台觀測於大氣溫溼度反演。*航測及遙測學刊*，**18**，205-215。

周鑑本、葉天降，2003：AMSU 觀測的偏差修正及其在一維變分資料反演的運用。*大氣科學*，**31**，55-74。

曾忠一，1997：氣象資料同化。國立編譯館主編，渤海堂出版，584 頁。

圖表

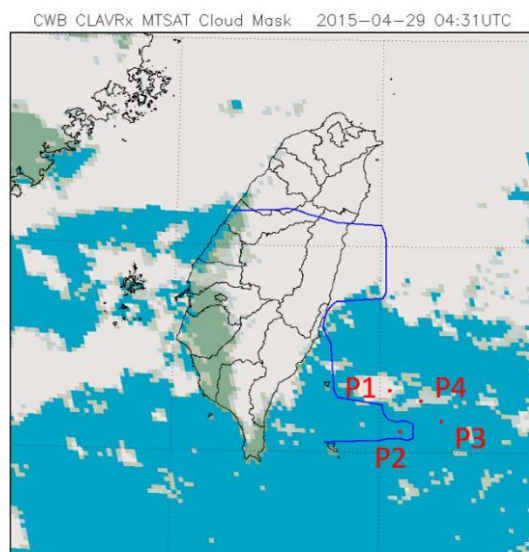


圖 1、2015 年 4 月 29 日的飛行路線及投落送投放位置

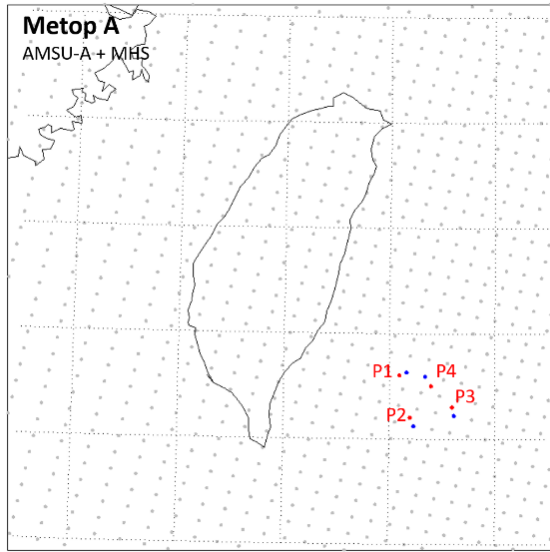


圖 2、Metop A 衛星資料觀測的資料點（灰色點），投落送觀測（紅點），及最接近投落送觀測的衛星資料（藍點）。

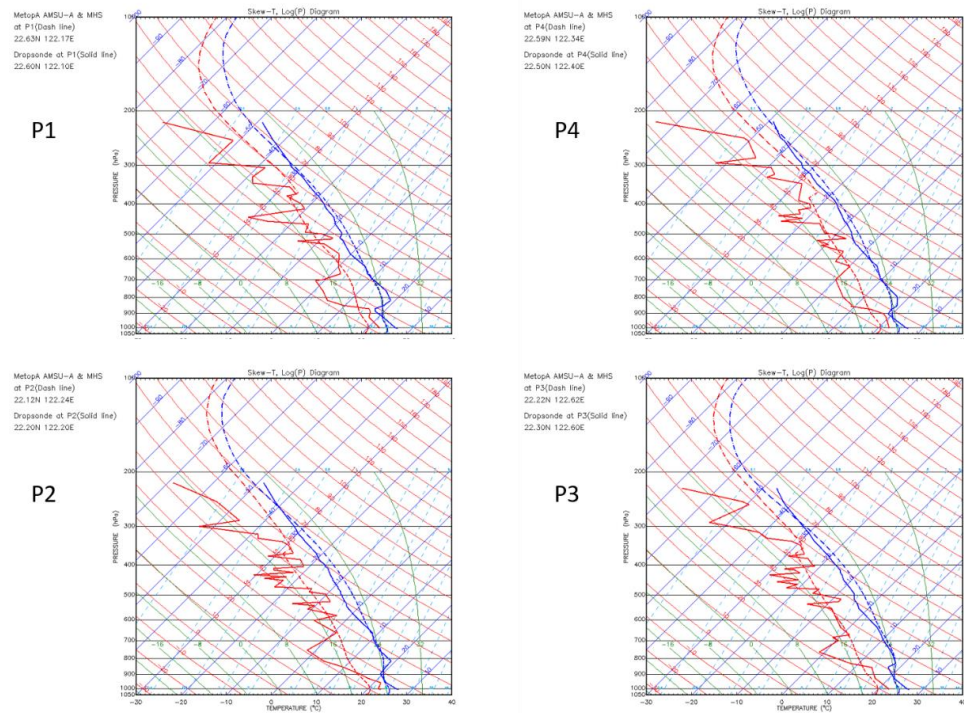


圖 3、Metop 衛星反演的溫度（藍色虛線）及露點溫度（紅色虛線），及投落送觀測的溫度（藍色實線）及露點溫度（紅色實線）

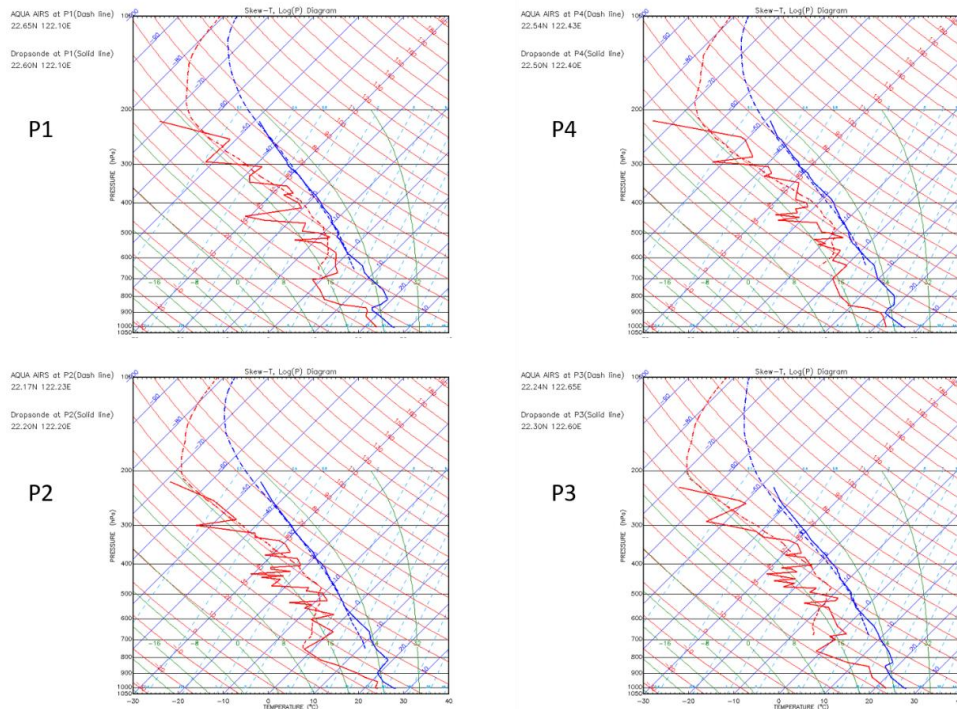


圖 4、AIRS 反演的溫度和露點溫度，其餘同圖 3。

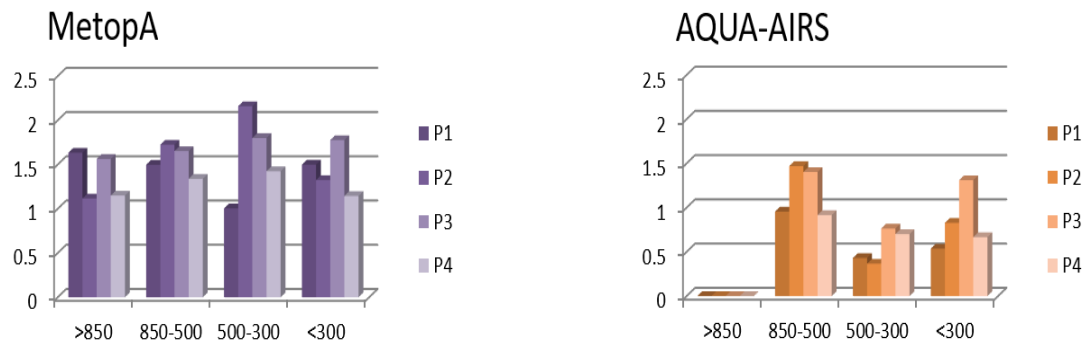


圖 5，衛星反演溫度的均方根誤差，左圖為 Metop A 的 AMSU，右圖為 AQUA 的 AIRS。

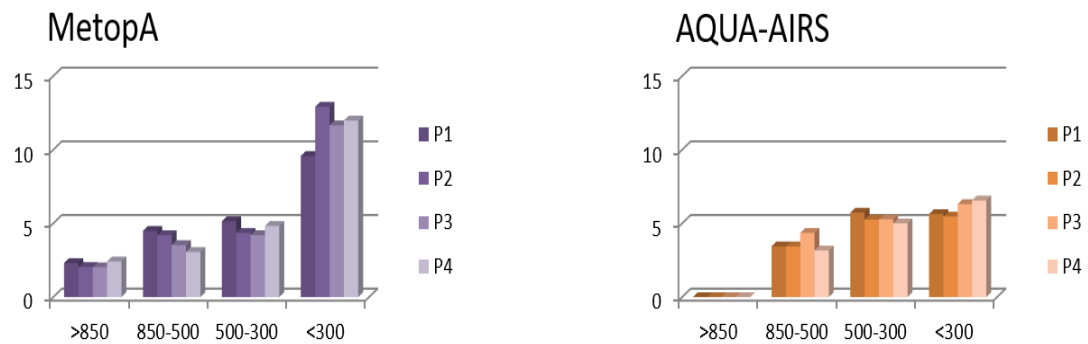


圖 6，衛星反演露點溫度的均方根誤差，其餘同圖 5。

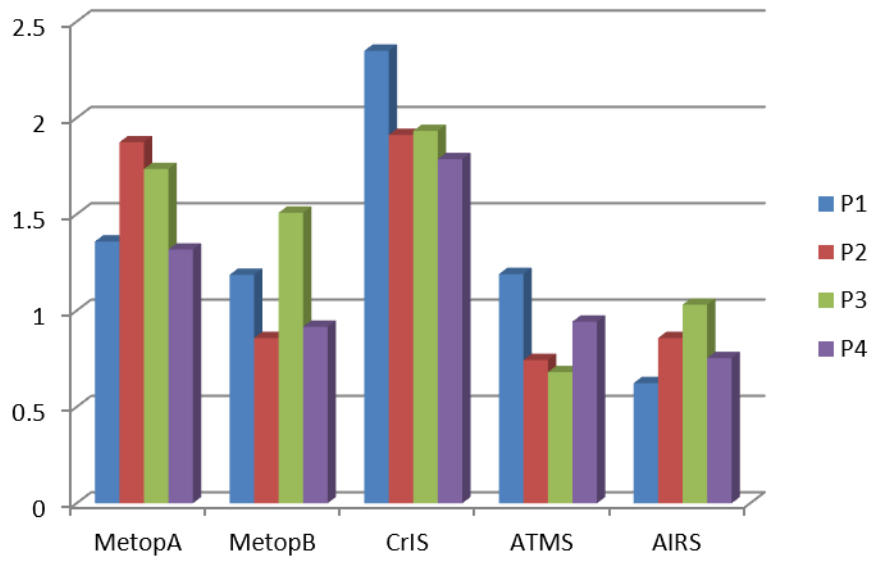


圖 7、各衛星反演溫度的均方根誤差。

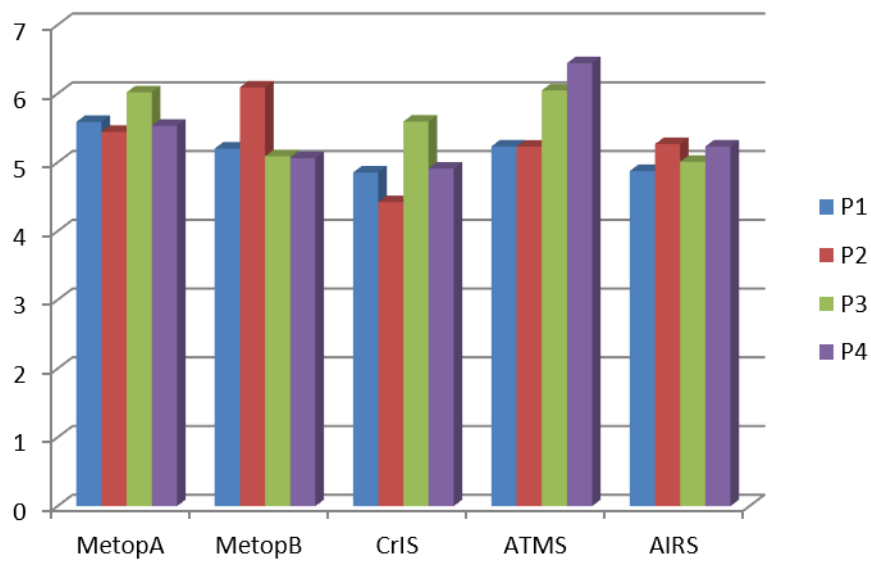


圖 8、各衛星反演溫度的均方根誤差。