

衛星探測反演資料初步校驗

張拱祿₁ 黃鴻榮₂ 王光華₁ 顏泰崇₁

¹中央氣象局氣象衛星中心

²美國威斯康辛大學太空科學及工程中心

摘要

衛星中心利用國際 TOVS 資料處理套裝軟體 ITPP 來處理繞極軌道氣象衛星 NOAA 系列觀測的 TOVS 資料已有一段時間。本文首次探討衛星中心作業反演的基本資料場(溫度與露點溫度)與傳統探空資料作統計分析比對，並就各月份天氣概況與各星期的偏差、標準偏差和均方根誤差做比較。資料顯示當有明顯天氣系統在研究範圍內出現或變化時，低層(1000~700hpa)的偏差會增大，初始猜測值常會掌握得不好。就反演的溫度以中高層(700~300hpa)的偏差最小，標準偏差只有 2 度的誤差。反演的露點溫度，標準偏差總是不理想，誤差在 5 度以上，但這無需氣餒，因為它有先天的局限，也是反演技術改善的空間所在。

一.前言

近十年來，衛星資料應用在研究領域和天氣預報與分析作業上佔有很重要的角色，尤其是在資訊與觀測稀少的洋面上或提供惡劣天氣事件早期預警有卓越的貢獻。相較於日本地球同步衛星 GMS 影像資料的廣泛使用，美國繞極軌道氣象衛星資料的應用就顯得稀少許多，主要在於它無法像 GMS 衛星能每小時密集觀測同一地區，對天氣系統提供連續守視的功能。但是繞極軌道氣象衛星所提供之大氣三維結構資訊，在時間和空間尺度上仍可觀測到中尺度現象，因此國外學者利用此衛星反演產品，進行中尺度天氣系統分析與數值預報的初始場研究已相當地普遍，更有先進者研究將亮度溫度輸入作為數值預報四維資料同化的參數，以求得更好初始場。如 Heinemann(1989)用 TOVS 反演值分析 Weddell Sea 地區(60°W 至 0°W)的中尺度渦旋，得到中尺度渦旋和冷心低壓相關結果，反演的溫度場可提供 ECMWF 分析在資料稀疏處；Eyre (1993)提出 1DVAR 反演技術，利用變分法將衛星觀測的亮度溫度和初始猜測值經變分運算後求得客觀的溫度、水汽剖面；Prangsma(1989)也用 TOVS 反演值分析 1989 年 6 月 7 日在法國西南部發生的颶線個案，他由反演的 1000 至 500hpa 厚度圖分析熱力渦旋，追蹤颶線個案。國內學者也急起直追作這方面研究，如陳與劉(1996)所作的 1995 年 5 月 12 日至 13 日梅雨鋒面豪雨個案分析，利用 TOVS 反演大氣溫、濕度探空剖面及分析梅雨鋒面系統的垂直溫度場、高度場的結構，發現同時間的傳統探空觀測分析無論在垂直溫度場或高度場的結構皆無法偵測出中尺度低壓系統的存在，證實傳統探空的不足；周等(1996)將衛星觀測值與數值模式同化分析的模擬

輻射值比較，分析其雲參數和溫度垂直剖面探討；李與陳等(1996)探討衛星資料與傳統探空資料在四維資料同化結果作分析。隨著科技進步，觀測儀器提升，輻射反演理論技術日趨完整，加上電腦處理能力增強，衛星資料不僅廣泛應用在定性的天氣雲圖分析上，在量化的數據上所詮釋物理意義也漸為人所重視。

作業模式在分析與預報上常局限於傳輸與截止時間而遺漏一些寶貴資訊，繞極衛星觀測 TOVS 資料直接接收與反演的導出量正可以彌補在這時間與空間的不足，對大氣狀況提供早期的評估。尤其美國新一代同步氣象衛星 GOES-8，亦裝載有類似 HIRS/2 的輻射儀器，可探測大氣垂直剖面資訊，更能掌握及時天氣預報。衛星中心利用國際 TOVS 資料處理軟體 ITPP5.0(International TOVS Process Package)來處理繞極軌道氣象衛星 NOAA-12 與 NOAA-14 觀測的 TOVS 資料。這個 TOVS 資料反演流程，包括使用法國精心設計的 1761 個全球代表性氣候探空資料庫(3I)，利用氣候資料庫(根據經、緯度、季節時間自資料庫中取得)，或利用迴歸方法計算獲得(根據模式計算的 HIRS/2 及 MSU 模擬值與相對應的探空溫、濕度剖面作迴歸而得到迴歸係數)來求取反演的初始場溫、濕度垂直剖面及地表溫度的初始資料；引進 Aoki(1983)方法將 AVHRR 資料與 HIRS 視點(FOV)定位以獲得詳盡雲區資訊；以及利用 Smith(1991)同時物理反演技術作反演。衛星資料經 ITPP 軟體所產生的反演檔包含很多資訊，諸如 14 層標準層(1000~10hpa)的重力位高度和氣溫、5 層標準層(1000~300hpa)的露點溫度溫度、整層大氣總穩定指數、500hpa 舉升指數、臭氧總含量、可降水量、長波輻射通量、雲頂氣壓和雲頂氣溫、9 個標準層間的地轉風或梯度風等。衛星

中心應用 Barnes 客觀分析法設計程式群，讀取此反演檔資料產生多項產品繪製成圖表，傳送到 WINS 系統，可做影像與圖表疊加，提供天氣分析與預報使用。產品如 HIRS/2 和 MSU 亮度溫度影像圖、標準層的各種氣象場(如等溫度圖、等高線圖、等溫線等高線疊加圖、風標圖、風向風速圖、等氣流線圖)、可降水量圖、臭氧總含量等值圖、長波輻射通量等值圖、總穩定指數圖、500 hPa 舉升指數圖、雲參數圖(雲頂氣壓、雲頂溫度)、與反演探空和觀測探空的疊加斜溫圖等。

本文為探討衛星反演資料的可靠性，首先校驗 HIRS/2 與 MSU 的 24 個頻道溫度校準係數是否合理，計算紅外窗區頻道 HIRS/2 頻道 8 與 AVHRR 頻道 4 的亮度溫度離散合理性如何；其次評估最基本反演資料中溫、濕度場與雷文送探空資料的異同。此研究結果將做為未來反演技術改進及反演資料應用的參考。

二. 資料的準備

衛星中心先後完成衛星反演軟體 ITPP-4.1 及 ITPP-5.0 版本分別在 VAX 電腦系統與 ALPHA 工作站的裝設、測試與上線作業。VAX 版本由於耗費作業時間過長(約 90 分鐘)，不利於即時天氣分析作業，且為因應未來作業—將作業系統工作轉移到 ALPHA 工作站，所以 ITPP-5.0 版本在 ALPHA 工作站上將是我們最後的作業版本。衛星反演作業流程可參考張(1996)或黃與顏(1996)的計畫報告。衛星中心為發展衛星反演資料與產品，曾定義此流程為五個步驟，一為資料接收(ingest)，二為前置處理(pre-processing)，三為反演(retrieval/inversion)，四為資料診斷(diagnostic)，五為產品呈現(product present)。第一步驟將衛星原始資料(HRPT)由天線和個人電腦工作站接收後，傳到 ALPHA 工作站處理解碼(decommutation/demultiplexing)並區隔出 AVHRR 與 TOVS 兩種資料，包括計算溫度校準係數，軌道要素等。第二步驟包括利用溫度校準計算亮度溫度，及 HIRS/2 每一視點的地理位置及太陽天頂角等資訊，也辨識視點雲區分量的影響與修正。而利用 AVHRR 資料增加對 HIRS 視點內雲資訊的判斷也加入此步驟中。第三步驟規畫輸入良好的初始資料，並利用同時物理反演法做反演。第四步驟驗證溫度校準係數合理與否，不合理的反演資料剔除，反演與實測探空溫濕度剖面的比對。第五步驟將反演資料的訊息繪製成圖形檔，傳送到 WINS 系統作產品展示，可以提供即時天氣預報，或儲存資料以作個案分析。由於將傳統探空資料視為背景真值，必須檢驗各個標準層的溫度與露點溫度是否合理，宜先剔除不合理者避免誤差加大。

計算 HIRS/2 與 MSU 等 24 個頻道亮度溫度並反演出氣溫、水汽垂直剖面及副產品等。為校驗反演資料收集反演方塊(反演方塊為 3×3 個 HIRS 視點，衛星直下方塊面積為 51×51 平方公里)臨近 50 公里內的實測探空剖面。傳統探空資料時間大多為 00Z

和 12Z，因此取反演資料時間在其前後 3 小時內作比對，並將實測探空視為“背景真值”作誤差的統計分析。反演資料時間從 85 年 4 月 1 日起到 85 年 11 月 30 日止，分別就氣溫、露點溫度兩項求出反演值與探空值、初始值與探空值的偏差(bias)、均方根誤差(rmse)與標準偏差(stdv)，比較其連續 7 天的資料差異。

三. 資料診斷與分析

應用上述 00Z 與 12Z 的前後 3 小時內反演探空資料作校驗，由圖 1 觀察所接收 NOAA-12 與 14 衛星資料時間，將僅限於對 NOAA-12 的分析，排除因不同衛星所造成的誤差。而收集反演方塊臨近 50 公里以內的傳統探空站(稱之 colocation 過程)，在每次掃瞄路徑上約有 10~40 個樣本，圖 2 顯示在 WINS 系統中 MESO-SCALE 範圍內有 137 個傳統探空站及其 50 公里的小圈圈，使我們能確認在空間上可具有相同的大氣狀況，但這也受到局部(local)地形影響或天氣系統來臨時因時間延遲效應而使得統計結果變得靈敏。

圖 3 分析 85 年 12 月 23 日 2204Z 衛星觀測資料，紅外窗區頻道 HIRS/2 頻道 8 和 AVHRR 頻道 4 亮度溫度的分佈圖，兩者離散集中在一直線上。又圖 4 顯示該日觀測路徑，兩者天氣型態的一致，證明溫度校準(calibration)在合理精確度內。衛星反演的初始猜測值利用前述(3)氣候資料庫與迴歸方法求得，分別就每個月狀況作一比較分析，圖中以每月之一、之二、之三、之四等四個星期表示之，敘述如下。

4 月份天氣，從月初至月中因鋒面一波波南下，華南地區與台灣不斷有雲雨產生，也易使得冷空氣南下，天氣屬於低溫多雨類型，由圖 5-a 分析顯示：(1) 初始場溫度以 500hPa 為參考層，以上的高度有低估效應，而 200hPa 差距最大，以下高度有高估現象，顯示對地表附近與對流層頂 200hPa 的資訊不足；露點溫度有整層高估 2~8 度現象，越低層偏差越大。(2) 圖 5-b、5-c 顯示反演場溫度除 700hPa 以下高度有負貢獻，其餘各層有改善，標準偏差和均方根誤差顯示中上層(700~300hPa)有最佳偏差值 2.5 度，露點溫度則普遍不理想，其偏差值在上層有低估，下層有高估，標準偏差顯示上層有 4~6 度，下層有 6~10 度的差距。

5 月份天氣，主要是受到鋒面及颱風或其外圍環流影響，上旬華南地區的不穩定大氣不斷有雲雨產生，東移影響台灣。下旬在南海和台灣間強盛西南風盛行，帶來充足水汽，使得鋒面上有中尺度對流雲胞產生，造成台灣地區顯著降雨。而中下旬各有颱風出現在本區的南方。資料分析顯示：(1) 初始場溫度與四月份相似，以 500 或 600hPa 為參考層，低層偏差仍大。露點溫度則較四月份偏差幅度小，600hPa 以上高度低估，以下高度高估。(2) 反演場溫度如四月份所述特性，但第三、第四個星期由於颱風及外圍環流影響，高層 200~100 hPa 的偏差值有逐漸增大，露

點溫度偏差在 600hpa 或 700hpa 以上高度有低估 1~2 度，其以下高度則高估，同樣第三、第四星期雖有上述特性，低層 1000hpa 的偏差在 0~2 度之間。

六月份天氣，受太平洋高壓勢力強且向西伸展至東經 110 度附近，台灣及華南地區在太平洋高壓勢力範圍內，而鋒面帶則北移至長江流域一帶活動，華南與台灣地區呈現夏季型天氣，高溫炎熱午後有雷陣雨。資料分析顯示：(1)初始場溫度如同前述，而參考層有時下降到 700hpa，低層偏差幅度在 2 度之內，露點溫度整層除低層 (1000~850hpa) 有 2 度以內高估，其餘各層都在 2 度內的低估。顯示猜測值尚合理。(2)反演場溫度從 1000hpa 到 350hpa 偏差值在正負 2 度以內，標準偏差分析從 700~200hpa 有 2.5 度偏差，700hpa 以下有負貢獻，也就是比初始猜測值差，露點溫度的偏差除第二個星期在 2 度範圍內，其他星期的中高層(700~300hpa)有 3 度的低估，標準偏差顯示 5~7 度的變化，比四、五月的幅度小，而中間層有較大誤差值。

7 月份天氣，上中旬副熱帶高壓勢力較往南伸，台灣到呂宋島東方海面皆在其範圍內，各地天氣炎熱，午後偶有局部雷陣雨，下旬副熱帶高壓北抬，出現相對性低壓區域，有利颱風形成。其中有 7 個颱風生成，影響本區天氣顯著的是下旬葛樂禮與賀伯颱風。資料分析顯示：(1)初始場溫度，中高層從 600~150hpa 之間有低估，低層 600~1000hpa 之間及 150hpa 以上有高估現象，露點溫度第一個星期與六月份的情形一樣，偏差在 2 度以內，爾後三個星期，其偏差除 850hpa 外，均低估 3 到 6 度之間，顯示颱風環流與其下沈氣流區域，使得露點溫度的猜測不易描述。(2)反演場溫度使得中間層有改善，上下兩端沒有改善而增加其少許誤差。標準偏差顯示中層有近 2 度偏差，而在對流層頂誤差仍大，主要是初始猜測溫度的誤差大所造成。露點溫度除第一個星期反演較猜測值更不好外，其餘各星期各層均有改善。

8 月份天氣，上旬受太平洋副熱帶高壓北移，颱風環流及熱帶低壓均影響到本區東半部。中旬鋒面在華中與東海一帶活動，下旬鋒面則南移到華南及台灣北部海面，北方高壓比中旬時增強且更往南移，顯示季節轉換在醞釀中。資料分析顯示：(1)初始場溫度與七月份類似，露點溫度也與七月份相同，但變動幅度較小。(2)反演場溫度的改善又較七月份好，中間層可達 1.8 度的偏差，露點溫度於偏差上顯示各層均低估，400hpa 以上高度，其反演值比初始猜測值還差。標準偏差除 850hpa 高度以下沒改善，其誤差幅度在 4~6 度間，在 500hpa 處誤差最大。

9 月天氣，上旬前半的鋒面與下旬陸續有東北季風、鋒面及薩恩颱風外圍影響，使得氣溫下降，也帶來雨量。中旬低緯度熱帶擾動很活躍，在琉球南方海面走走停停約一星期之久，其外圍下沉氣流與高壓的籠罩下，以及北方槽線偏北且偏東移動（北緯 30 度以北），造成中旬台灣地區天氣晴朗炎熱。下旬由於北方大陸冷高壓發展，呈現東北季風型。東亞主槽線

在東經 125 度至 135 度間，槽後盛行西北向氣流，不但使颱風在台灣東方海面外轉向，也導致冷空氣一波波南下。資料分析顯示：(1)初始場溫度於第一、第二星期和八月份溫度剖面相似但幅度較大些，第三、第四星期猜測值在 500hpa 以下高度有高估現象，越接近地面偏差越大。露點溫度第四星期因樣本數目少，偏差幅度大，其餘各星期偏差均在 2 度以內，均有高估現象。(2)反演場溫度於第一、第二星期如八月份所敘述，第三、四星期 1000 到 400hpa 其偏差與標準偏差等有明顯增大，反演有少許改善。露點溫度也有類似情形。原因可能是下旬的颱風環流與鋒面南下，導致計算的初始猜測值不佳而影響反演值。同樣此種天氣型態也影響到十月份的反演結果。

10 月天氣，大陸冷高壓發展不強，且由於南方勢力仍強，高空槽線偏北移動，冷空氣南下勢力弱，使得本區氣溫較氣候值稍高。資料分析計算的樣本數目比其他月份來得少。統計結果卻相當特殊，值得懷疑求證。(1)初始場溫度高估 6 到 14 度的偏差，露點溫度也有高估 13 到 20 度的偏差。(2)反演場溫度雖有改善初始場溫度，但其偏差仍大，均方根誤差同樣有此結果，標準偏差由於去除平均偏差值做計算，除第四星期較好外，其餘各星期反演溫度均不如初使猜測值。露點溫度雖有改善，但偏差仍大。整體言本月份初始猜測值不好而影響到反演的精確。

11 月天氣，主要以鋒面及東北季風為主，上旬副熱帶高壓強盛，冷空氣不易南下，華南、台灣有較高於往常的氣溫，中旬副熱帶高壓減退而有一波波冷空氣南下但勢力不強，下旬北方冷高壓勢力發展，月底有較強冷氣團南下，使各地氣溫明顯下降。分析資料顯示：(1)初始場溫度以 500hpa 為參考層，其以上高度有低估現象，在 200hpa 達到最大，其以下高度則有高估，於 1000hpa 處達到最大，露點溫度偏差是普遍高估，於第三、四星期 1000hpa 有最大高估值，顯示鋒面南下時，初始猜測值沒掌握好。(2)反演場溫度有改善，仍以 500hpa 為參考層，在其上高度仍低估、有正貢獻，其下高度有高估、負貢獻，在 700~300 hpa 之間有 2 度之內的偏差，標準偏差除第一個星期較大外，其餘各星期 500~300hpa 之間有 2.5 度的偏差，反演尚可。露點溫度在 700~300hpa 之間有 2 度以內偏差，標準偏差有 6 到 8 度的誤差，可說也有改善。

四.結論與展望

綜合前述可歸納出六點現象：1.初始猜測的溫濕度場對於反演結果常具有決定性關鍵，當猜測值掌握得好，反演結果就佳；反之則不理想。2.以現在的反演技術，其精確度在溫度上有 2 度之誤差；濕度有 30~40% 之誤差，露點溫度誤差亦在 5 度以上。3.當天氣醞釀轉換時，南北氣團屬性差異大，初始猜測值常掌握不好，可從 4 月、8 月下旬，9 月、10 月得到低層溫度誤差可達 4~6 度，甚至 10 度以上，同時也會影響到中層精確度。4.若該天氣系統持續一段時日，氣團屬性相近，各地的大氣狀況較一致，則可

得到較好的反演結果與統計分析。如5月、6月、7月、8月上旬，11月上旬等可做佐證。5.颶風季節裡，低平流層150~100hpa之間，初始場溫度常會有高估現象。6.在對流層頂200~150hpa之間，初始場溫度在資料分析時間裡總是有低估現象存在。比較TOVS資料中HIRS/2與MSU頻道特性，顯示其權重函數最大氣壓層(代表該層氣溫)並沒有200hpa，導致初始場溫度猜測不佳。地面層的初始溫、濕度常有高估或低估現象，易受天氣系統影響而敏銳。本研究初次校驗是以特定標準面(level)反演基本資料作統計分析，發現以特定標準面詮釋的物理意義不如層(layer)來得好，因為反演積分代表的是層而不是標準面，另外建議校驗的對象是層裡的虛溫和厚度以取代標準面的氣溫與濕度或露點溫度。這與相關學者們在這方面研究，發現在給定初始值、地面層與對流層值將對其反演結果影響很大不謀而合。

雖然反演溫度與濕度的精度有所限制，衛星反演副產品仍可提供大氣相關的訊息(如整層大氣總穩定指數、500hpa舉升指數、臭氧總含量、可降水量、長波輻射通量、雲頂氣壓和雲頂氣溫、9個標準層間的地轉風或梯度風等)，而這些資料有時也能適切反應本區的天氣狀況。因此校驗衛星反演副產品將是未來的目標之一，也希望大家能充分地使用這些產品，評估其誤差的範圍與來源的可能性，以期反演值能真正對天氣預報作業或數值預報作業有所幫助。未來在改善反演，將加在對反演的成敗扮演重要角色—初始值，諸如地面值、對流層值的改進上、蒐集本土化氣候資料作適合本區的迴歸係數，以及引入即時的數值預報場作為衛星資料反演的初始場。仍有很多工作要努力，如對反演程序、方法的修改，衛星反演產品的改善以及品質控制與校驗等工作，都有待進一步的探討與改進。

五.致謝

本研究承蒙中央氣象局氣象衛星中心王文隆先生在繪圖上全力協助與提供寶貴意見及郭思良小姐之繪打，在此一併致謝。

六.參考文獻

李尚武，陳斐美，1996：衛星資料與傳統探空資料在四維資料同化結果之比較。天氣分析與預報研討會(84)論文彙編，246-250頁。

周鑑本，李尚武，吳石吉，1996：衛星觀測輻射值與數值模式同化分析之模擬輻射值的比較。天氣分析與預報研討會(84)論文彙編，259-268頁。

柳中明，顏泰崇，沈秀蓉，1988：梅雨季TOVS遙測資料處理。中央氣象局研究報告第304號，303-318頁。

陳萬金，劉振榮，1996：衛星探空反演應用在1995年5月12日至13日梅雨鋒面豪雨個案之分析。天氣分析與預報研討會(84)論文彙編，176-185頁。

張拱祿，1996：繞極氣象衛星垂直探測作業(TOVS)的衛星產品應用之可行性研究。中央氣象局八十五年度研究報告CW85-1A-04。

黃鴻榮，顏泰崇，William L. Smith，1996：繞極及同步氣象衛星資料定位與分析(二)Polar-Orbit and Geostationary Satellite Data Navigation and Analysis(II)中央氣象局八十五年度委託研究計畫報告。CWB85-3M-04。

劉振榮，1990：臺灣區衛星遙測大氣垂直剖面反演方法之研究。大氣科學，十八期，一號，1-19頁。

劉振榮，朱曙光，顏泰崇，1991：利用地面及對流層頂資料以改善衛星遙測大氣垂直剖面。CWB78-01-12，78頁

劉振榮，陳萬金，1992：同時物理反演法在TAMEX期間反演結果之分析。大氣科學，二十期，二號，135-152頁。

Heinemann,G,1988 : On the use of TOVS data for studies of meso-scale vortices in the Weddell sea (Antarctic). Tech. Proc. Fifth International TOVS Study Conference, 184-200.

Prangsma, G.J.,1988 : A squall line over southwestern France : 7 June 1987. Description of the synoptic situation preceding the afternoon event. The TOVS Northern hemisphere case study. Tech. Proc Fifth International TOVS Study Conference, 303-312.

Rodgers, C. D., 1987 : A general error analysis for profile retrievals。 RSMJ 87 , Advances in remote sensing retrieval methods , a Deepak Publishing ,Hampton,Va.

Smith, W. L., 1992 : Future space-based sounding observations for weather analysis and forecasting. Adv. Space Res., vol.12, no. 7, p.175-178.

Yen, T. C., and H. S. Wang, 1986 : An preliminary study of TOVS retrieval in Taiwan. The Tech. Proc. of the Third TOVS Study Conference. p332-338. Igls, Austria, ed. W. P. Menzel. Report of CIMSS, Univ. of WI-Madison.

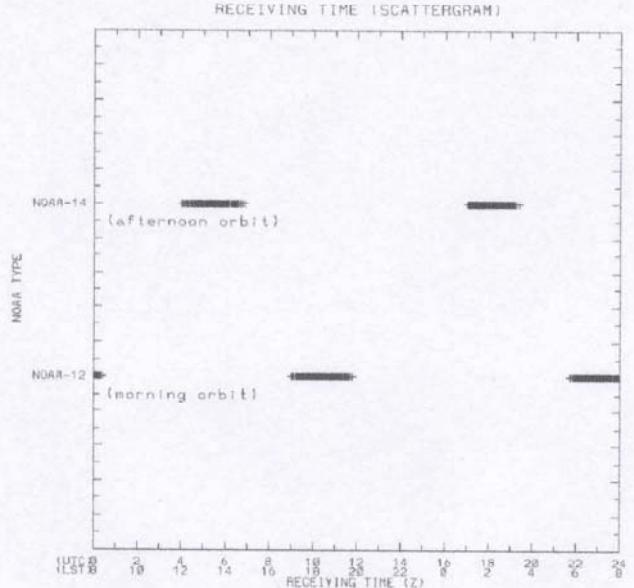


圖1

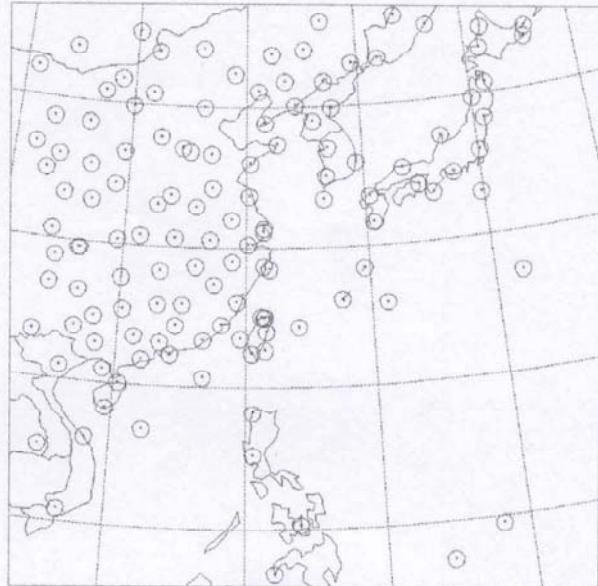


圖2

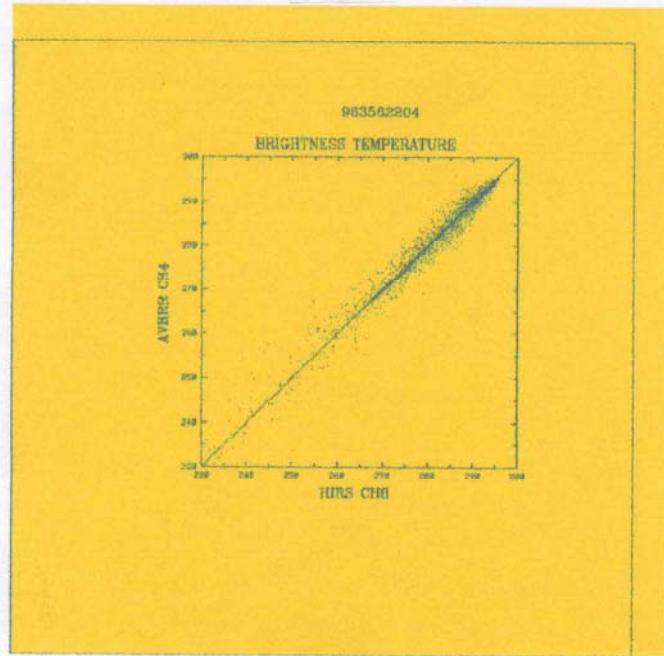


圖3

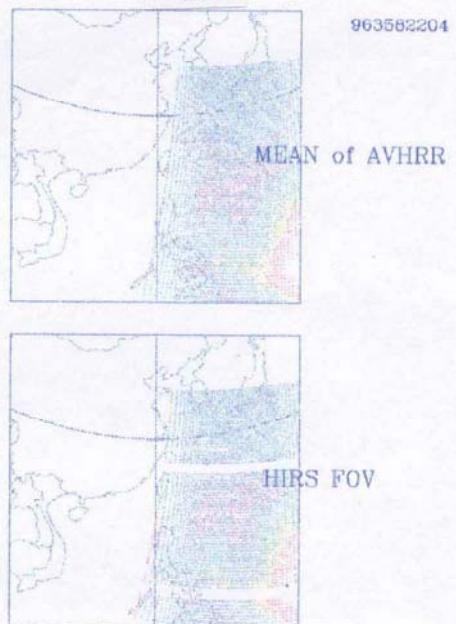


圖4

圖1 衛星資料接收時間分布圖。

圖2 傳統探空站與其50km範圍內的分布圖

圖3 比較紅外窗區頻道中,HIRS/2頻道8和AVHRR頻道4亮度溫度的分佈圖。

圖4 比較上述兩紅外窗區頻道所形成的圖像。上圖是由Aoki方法求得HIRS視點內，所有AVHRR觀測的亮度溫度總合平均圖。下圖是HIRS觀測的亮度溫度圖。

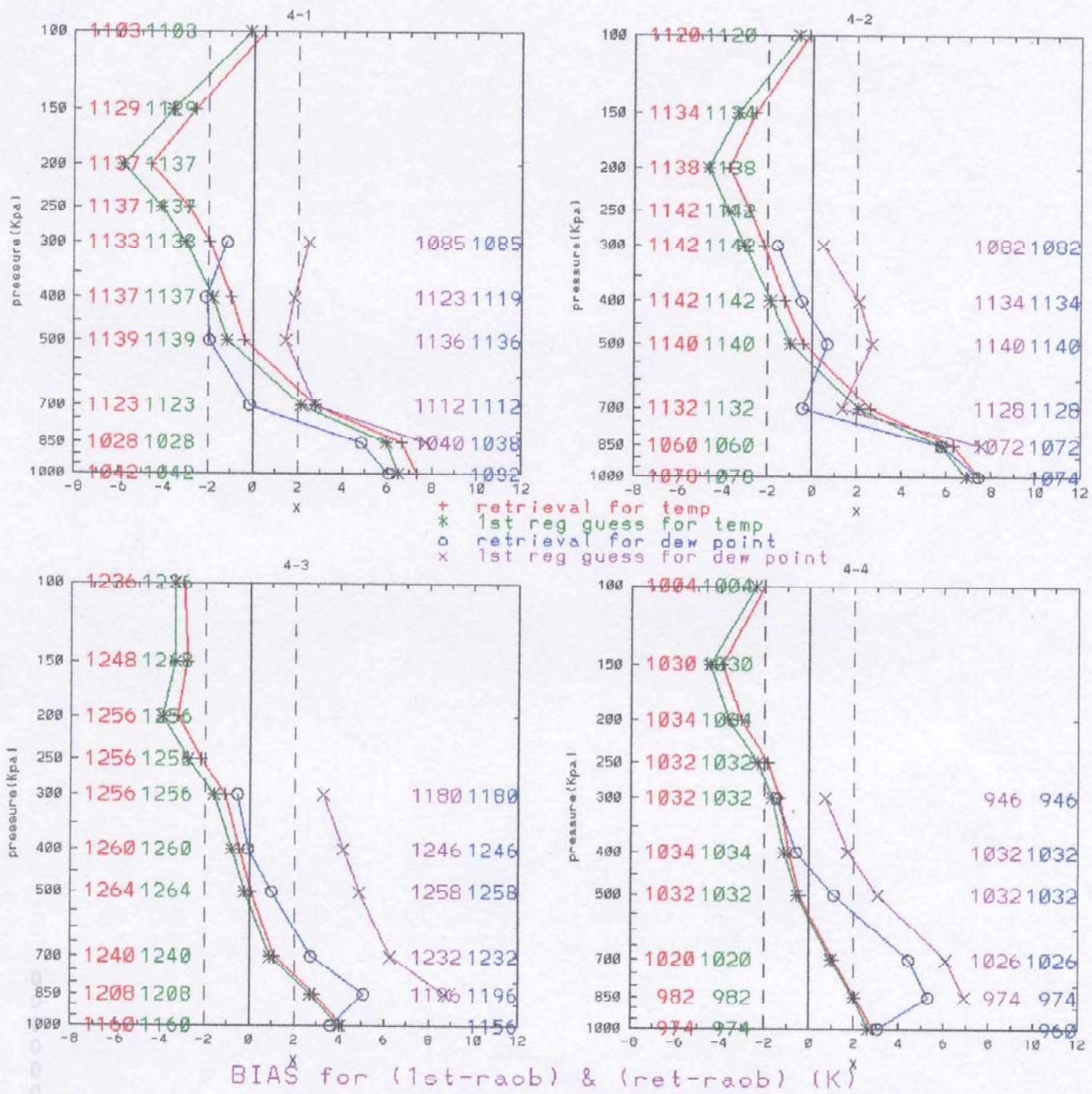


圖5-a 四月份 初始猜測值偏差與反演值偏差。左上圖為第一個星期，右上圖為第二個星期，左下圖為第一個星期，右下圖為第一個星期。

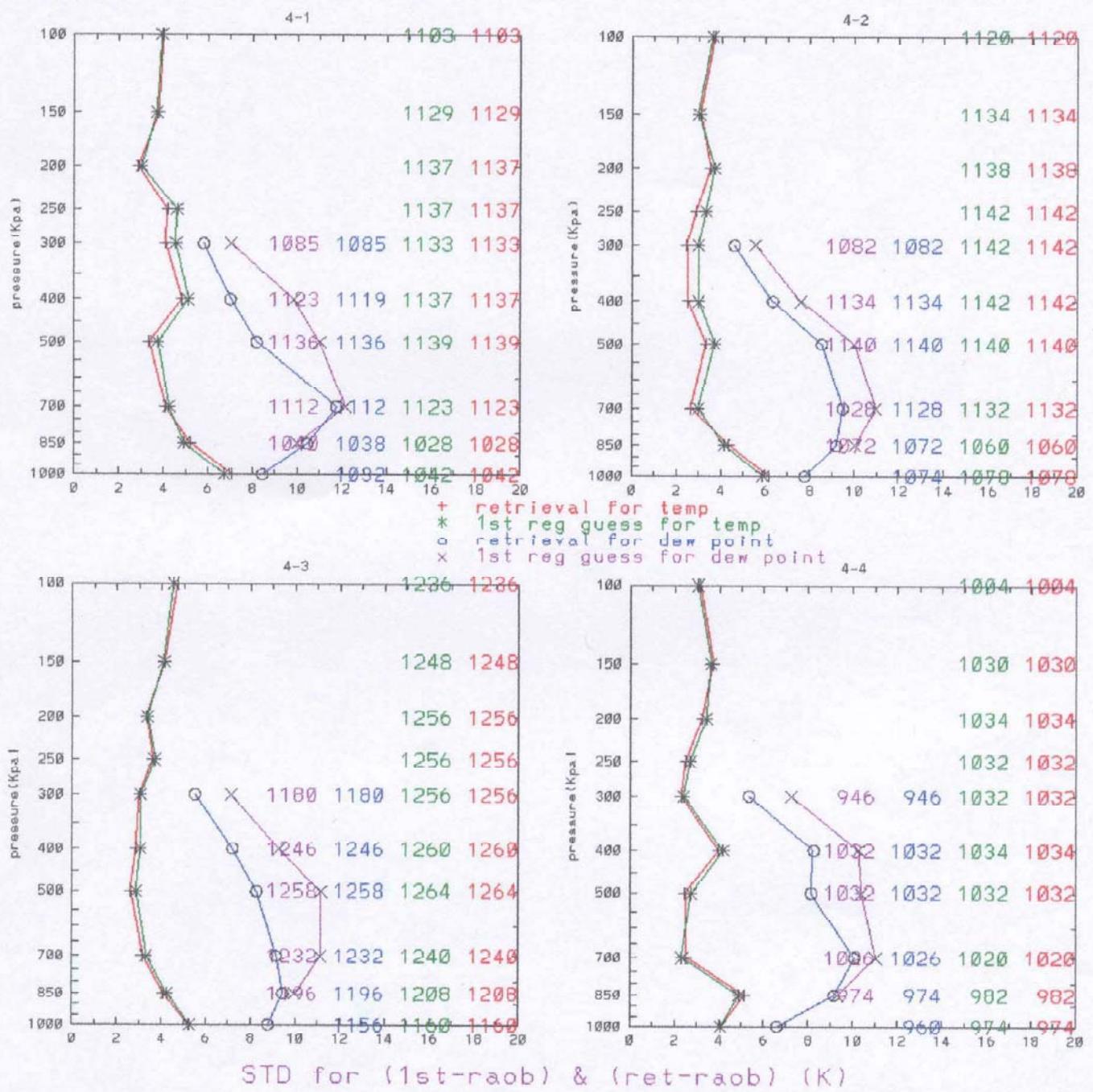


圖5-b 四月份 初始猜測值標準偏差與反演值標準偏差。左上圖為第一個星期，右上圖為第二個星期，左下圖為第一個星期，右下圖為第一個星期。

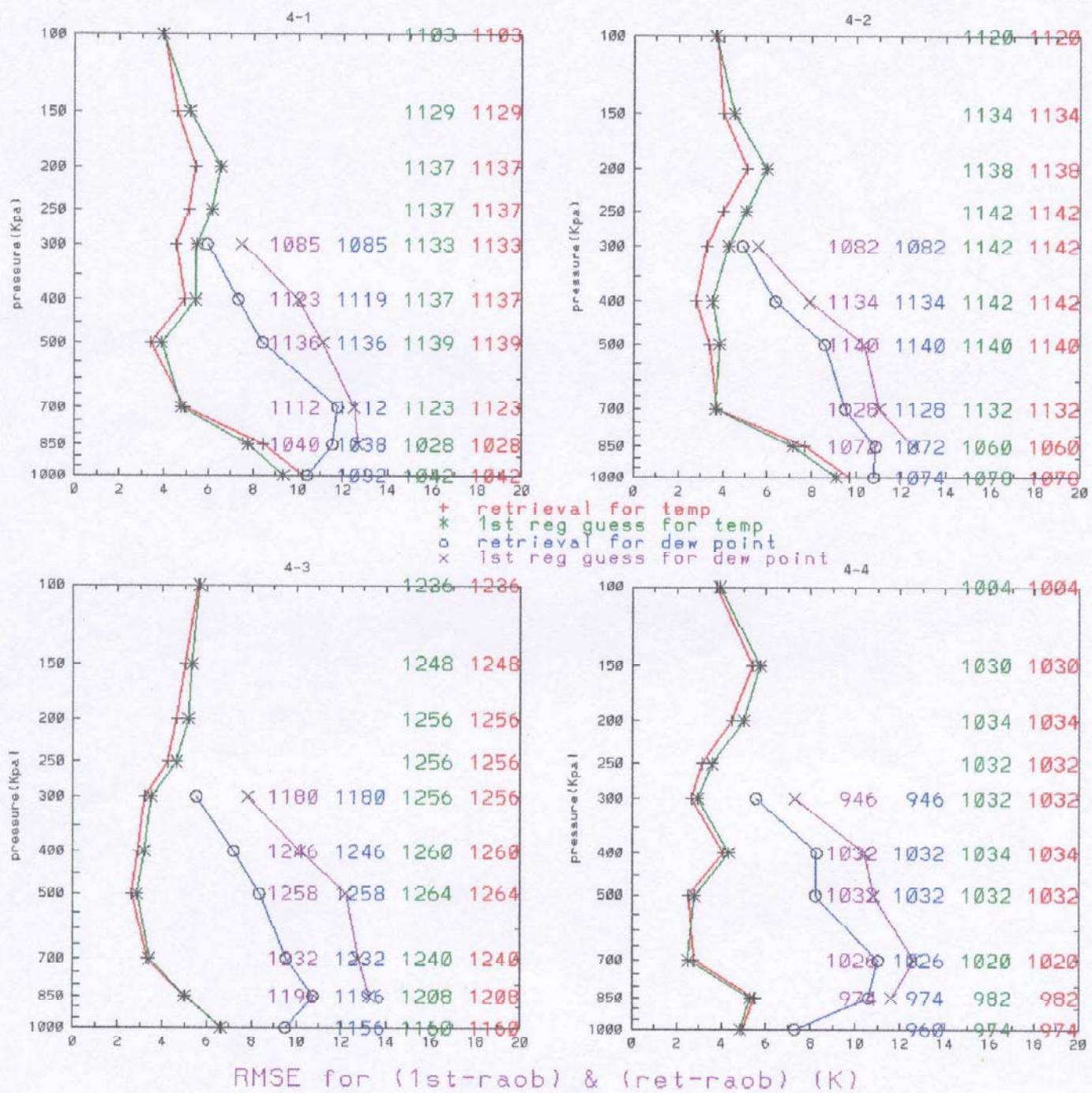


圖5-c 四月份 初始猜測值均方根誤差與反演值均方根誤差。左上圖為第一個星期，右上圖為第二個星期，左下圖為第一個星期，右下圖為第一個星期。