

交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

繞極及同步衛星資料之定位與分析 (三)
**Polar-orbit and Geostationary Satellite
Data Navigation and Analysis (III)**

計畫類別： 國內 國外

計畫編號：**CWB86-3M-03**

執行期間：民國85年7月1日至民國86年6月30日

計畫主持人：黃鴻榮

協同主持人：**William L. Smith**

顏泰崇

中華民國八十六年六月三十日

目 錄

	頁次
摘要	
一、前言	1
二、ITPP 軟體系統功能演進與改良	1
三、ITPP 反演的結果	4
四、ATOVS 軟體系統與未來衛星資料處理展望	5
五、總結和建議	5
六、參考文獻	6
圖	7
表	10

圖 表 次

圖一、溫度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。	7
圖二、相對濕度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。	7
圖三、500mb 衛星反演的溫度場。	7
圖四、衛星求得雲頂溫度場。	7
圖五、衛星反演得到的長波輻射通量。	8
圖六、衛星反演求得的大氣總可降水量。	8
圖七、衛星求得的大氣總穩定指數。	8
圖八、衛星反演計算得到的地轉風向與風速。	9
圖九、ATPP 衛星資料校準，定位與反演的作業流程圖。	10
表一、NOAA-12 衛星反演的大氣臭氧總量與成功兩站臭氧觀測的比較。	11
表二、與表一相同但是大氣臭氧總量是由 NOAA-14 求得。	12

摘要

本年終報告主要在於說明第三年計畫中更新繞極軌道衛星資料之定位與分析工作的進展及成果。進展部分在於報告利用 ITPP 軟體系統處理反演資料的理論、方法及程序上的更新與改良。其中包括了如何利用衛星中心現有的資源，反演初始資料如何求得，反應方法的應用與改良以及如何配合使用高解像輻射儀(AVHRR)資料來改善雲污染的反演產品。成果方面則在於說明反演產品在氣象預報應用的價值與精確度的分析與校驗。報告的最後也綜合三年來整個計畫的進度與各項完成的任務。同時也提出了將來如何繼續利用已建立的基礎去處理 1998 年即將昇空作業的“先進泰洛斯作業垂直探測器 ATOVS(Advanced TIROS Operational Vertical Sounder)”的觀測資料。對於衛星中心未來軟體系統的發展也作了一番前瞻性的綜合討論。

繞極及同步衛星資料之定位與分析三年計畫已如期完成。有關的軟體系統已順利的例行作業多時。反演理論及方法的改良也在不斷的更新，產品的校驗也有初步的結果。至於衛星反演產品的誤差，則須長期統計與分析才能瞭解產品的特性而繼續尋求改良之道。衛星中心仍須引進處理 ATOVS 資料的 ATPP 軟體系統以因應未來的挑戰。

一、前言

本年終報告主要在於說明第三年計畫中更新繞極軌道衛星資料之定位與分析工作的進展及成果。進展部分在於報告利用 ITPP 軟體系統處理反演資料的理論、方法及程序上的更新與改良。其中包括了如何利用衛星中心現有的資源，反演初始資料如何求得，反應方法的應用與改良以及如何配合使用高解像輻射儀(AVHRR)資料來改善雲污染的反演產品。成果方面則在於說明反演產品在氣象預報應用的價值與精確度的分析與校驗。報告的最後也綜合三年來整個計畫的進度與各項完成的任務。同時也提出了將來如何繼續利用已建立的基礎去處理 1998 年即將昇空作業的“先進泰洛斯作業垂直探測器 ATOVS(Advanced TIROS Operational Vertical Sounder)”的觀測資料。對於衛星中心未來軟體系統的發展也作了一番前瞻性的綜合討論。

二、ITPP 軟體系統功能演進與改良

ITPP(International TOVS Processing Package)軟體系統是美國威斯康辛大學在 1983 年發展出來去處理軌道衛星資料而獲取大氣中的溫度、水汽剖面、高度、風向、風速、大氣穩定指數、海面及地表溫度、臭氧總含量、可降水量、長波輻射通量、雲量、雲高度以及雲溫度等重要的氣象要素。以下將總括 ITPP 系統的各项功能：

- (1) 資料的校準—將紅外線，可見光及微波數據資料轉換成能量及反射量等單位作為反演資料的基本元素。校準的精度隨衛星的位置，角度，季節，年紀以及儀器穩定性都有關係。
- (2) 資料的定位—利用軌道各項參數如高度，角度，太陽位置等去正確的判定衛星上不同儀器視場的正確地理位置。定位的精確度將大大的影響資料的應用與整合(Colocation)。
- (3) 輻射方程模式—利用理論上建立的輻射模式去正確的模擬觀測下某儀器在不同頻道，不同角度，不同視場大小等的量度。它是反演軟體中基本的計算模式。
- (4) 資料雜訊(Noise)的模擬與處理—觀測中的資料常常帶有很多的雜訊，利用水平多視場資料的平均來降低雜訊或利用模擬的雜訊作為反演的權重 (Noise Scaling) 。
- (5) 極高解像輻射儀 AVHRR 與 TOVS 資料的同位—利用 AVHRR

高水平解像力的能力來求取雲對 HIRS/2 視場觀測的影響。輔助反演時晴空與雲的辨認，可以有效的提高雲污染下反演的精度。

- (6) 反演模式—是整個 ITPP 軟體系統的核心，能將輸入的各項 TOVS 的紅外線與微波資料轉換成大氣的剖面溫度與濕度等資料。
- (7) 反演初始資料的求取—是反演過程中第一步驟，對於最後反演結果有著關鍵性的影響，需要利用大量氣候資料分類，品質管制才能有效的得到較佳的初始值。

以下將討論這七項功能的演進與最新資料的消息與更新：

- (1) 資料校準—最新校準係數可以在全球網路(internet)網址：
<http://psbsgil.nesdis.noaa.gov:8080/EBB/m1/niccal.html>
上得到 NOAA-12 及 NOAA-14 的校準係數，其中 POES calibration control monitoring (http://psbsgil.nesdis.noaa.gov:8080/ISB/CALIB/home.html) 告知使用者 NOAA-12 及 NOAA-14 最近的校準情形。
- (2) 資料定位—最新 NOAA 衛星軌道資料可以利用網址：
<http://arwen.gkss.de/NOAA-SAA/>
其中第六章(chapter 6) 內 Appendix F 提供七個軟體程式可以用來預測衛星軌道參數 (TBUS part 5)。至於 TBUS 即時最新資料 (NOAA9 ; 10 ; 11 ; 12 及 14) 也可在網址上
<http://psbsgil.nesdis.noaa.gov.8080/EBB/m1/nic4.html>
中 Polar orbiting NOAA-nn series 中 Orbital Elements Two_Line 或 TBUS Bulletins 上找到。
- (3) 輻射方程模式—由於光譜學最新的研究與進步，波譜吸收理論進步許多，尤其是水汽吸收連續性部份更是大大的改進了。衛星中心應加強與國外學術研究及作業單位的聯繫，繼續引進最新輻射傳遞模式，改進計算輻射能量的精度。
- (4) 資料雜訊的處理—隨著衛星軌道的變更，系統的老化，資料傳輸及處理的變化，衛星中心需要長期監視衛星訊號的品質，量定雜訊的大小才能提高資料應用的效率。
- (5) AVHRR 資料的同位—利用 1 km AVHRR 的水平解像力去定義 HIRS/2 視場中雲的狀態是反演中非常關鍵的一項工作。其中同位是把 AVHRR 所有落在 HIRS/2 視場裡透過統計分佈來辨認雲的分佈，雲量或者是完全晴空。當雲的參數可以正確得到後利用 NSTAR 的計算可以求得“晴空輻射量”，進一步的可以求得晴空下的反演。
- (6) 反演模式—反演理論與方法是處理軌道探空剖面輻射頻道資料

的核心。但是由於反演的過程不是唯一的，也就是說衛星反演求解有其理論上先天性的限制。不同的反演方程不管是統計法、物理法或者是統計與物理的混合法都可能得到不相同的解。因而反演程序中使用到的各項數值方法，權重函數的計算，矩陣處理等，都需要十分小心。加上 1998 年初即將發射新的 NOAA 衛星 (NOAA-K)，它攜帶改良型的 HIRS/2 與全新的微波觀測輻射儀所組成的 ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder)。因而新的反演模式也隨其而發展出來了。下一段將詳細描述下一個 ITPP 版本去處理 ATOVS 資料的反演模式。更詳細的細節可見 Hung 等，1997。

非線性 ATOVS 反演方法是建立在統計及物理同時反演溫度、濕度剖面及其它各項地表、雲及微波放射率等的基礎上。它的輸入是紅外線及微波頻道輻射能量。初始場的求取是利用回歸方法(與 ITPP5.0 相同)。在晴空下的輻射傳遞方法寫成變分法是

$$\delta T_b = K_s \delta T_s + K_e \delta \varepsilon + \int_0^p K_r \delta T(p) dp + \int_0^p K_q \delta Q(p) dp \quad (1)$$

其中 δ 代表相對於初始值的差異。 T_b 是 ATOVS 紅外線與微波亮度溫度； δT_s ； $\delta \varepsilon$ ； $\delta T(p)$ 與 $\delta Q(p)$ 分別代表要求取的未知數如地表皮溫度，微波地表放射率；溫度與濕度的剖面。 K 是各未知數的權重函數，物理上是指頻道亮度溫度相對於各未知數變化時的改變。利用混合式的牛頓交互反演方法由 Levenberg(1994)及 Marquardt(1963)發展出來，其中是使用 "inverse Hessian" 及 "Steepest descent" 則可以得到下列的解

$$Y_{n+1} = Y_n - [\nabla^2 \chi_n^2 + \gamma I]^{-1} \nabla \chi_n^2 \quad (2)$$

其中 Y 代表所有未知數的解，例如 δT_s ； $\delta \varepsilon$ ； $\delta T(p)$ 與 $\delta Q(p)$ ； γ 是經驗參數用來控制收斂的程度（是此方法中很重要的一個要素）； χ^2 是 "Cost-function" 要被拿來做最小化的 (minimizes)。n 及 n+1 是反演過程中的現在或者下一個階段。數學上講來是當 γ 趨近零時，反演的解是屬於 "inverse Hessian" 類，當 γ 趨近於無限大時，則解是 "Steepest descent" 類。在任何一個階段 n， γ 是會被調整到適當的值使其解趨向於上述的其中一類。這個方法對於初始場不是很好時，也可得到收斂的解。在 ITPP5.0 中的反演方法也利用到 γ ，但是 γ 是固定的。初始的 γ 值若沒有選好則反演的解會發散而無法收斂。這一點是此新反演法最大的優點，衛星中心應採用此法，相信可以改散反演產品的品質，提高反演的精確度。

這個反演方法利用到下列的準則作為發散與收斂的判定，

- (i) 當 χ^2 增大(發散解)，增加 γ 並且不能更改 Y_n (解維持不變)。

(ii) 當 χ^2 減小 (收斂解), 減小 γ 並且更新 Y_n (解改變了)。
其中 χ^2 是定義為

$$\chi^2 = (T_b - F(Y_n))^T (K_n S^{-1} K_n^T + S_b^{-1})^{-1} (T_b - F(Y_n)) \quad (3)$$

(3)式裡 F 代表 ATOVS 的紅外線或微波的輻射傳遞方程, S 是代表 ATOVS 雜訊 (noise) 的矩陣, S_b 是初始場的誤差矩陣。

重新整理(1)式並利用(2)式的關係, 可以得到重複反演求解的最後步驟,

$$\delta Y_{n+1} = (K_n^T S^{-1} K_n + S_b^{-1} + \gamma)^{-1} \{K_n^T S^{-1} [(T_b - F(Y_n)) + K_n \delta Y_n] + \gamma \delta Y_n\} \quad (4)$$

圖一與圖二顯示了利用這個新方法反演得到溫度與濕度剖面的均方差。當與目前利用 TOVS 反演求得剖面資料比較後, 顯而易見的是精確度是改善許多了。

- (7) 反演初始資料的求取—衛星反演初始資料的求取是精確反演的基本工作。它關鍵性的決定最後衛星反演產品的好壞, 尤其是在季節變化時, 回歸係數若是沒有更新則會影響初始值的品質。例如, 使用過去 5 到 10 年內春季 (3~5 月) 的探空資料去建立溫、濕度的回歸關係去求取 4 月份的衛星反演初始場, 同樣的道理利用冬季 (12~2 月) 的歷史探空回歸係數去求取 1 月份衛星反演的初始值。總而言之, 對於歷史探空資料長期的收集與更新將可大大的提昇初始場的品質進而改進反演產品的精確度。

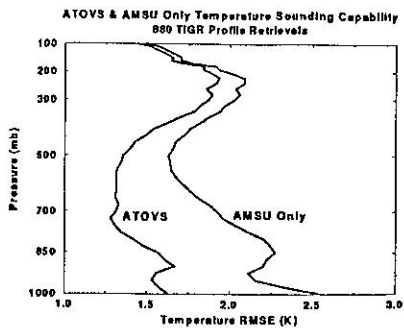
三、ITPP 反演的結果

張曾在 1997 年利用 ITPP5.0 版本例行的去求取 NOAA-12 及 NOAA-14 衛星反演的各項產品, 並作了初步的校驗而得到一些反演品質的定量。其中重要的結論包括 1、初始場對反演結果具有決定的關鍵。2、TOVS 的反演溫度與濕度誤差大約為 2 度與 30~40%。3、天氣變換時影響初始值的精確進而影響到最終的反演精度。4、天氣狀態持續時可以得到較佳的反演結果。5、颱風季節裡, 低平流層間初始溫度有高估現象。6、對流層頂初始溫度有低估現象。至於其他反演得到的重要副產品, 大氣穩定指數、可降水量、雲高、雲量、雲頂溫度、臭氧總含量、長波輻射通量、地轉及梯度風向風速則仍然需要經過多年的分析與校驗才能全盤性的得到整體而有實用性的品質管制。

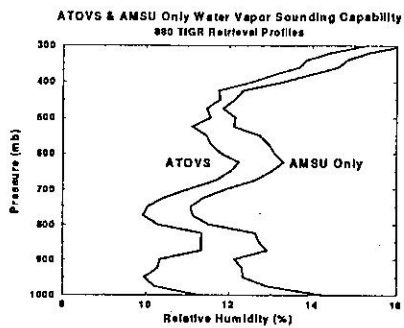
表一與表二乃為 NOAA-12 與 NOAA-14 在台北與成功兩地衛星反演的臭氧總量與地面觀測所得的比較。(楊, 1997) 以台北為例, 反演誤差約為 1~5%, 成功一地則為 0.3~7.3%。雖然樣本資料不多, 但初步資料顯示衛星反演的臭氧總量可以用來監視空氣污染變化的一項重要工具。圖三至圖八分別列出衛星反演的產品如 500mb 的溫度場, 雲溫度的分佈, 長波輻射通量, 可降水量, 大氣總穩定指數以及地轉風向與風速。

參考文獻：

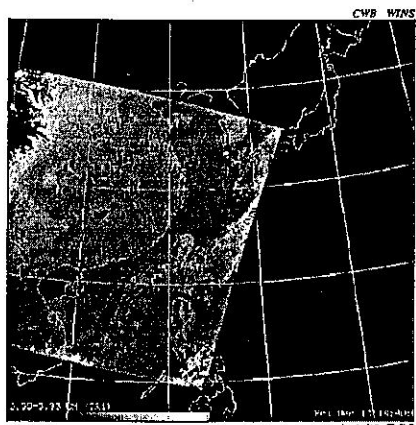
- 顏泰崇，黃鴻榮，王光華，張拱祿，1996：中央氣象局衛星資料反演大氣垂直剖面系統之理論基礎。天氣分析與預報暨海象測報研討會（84），151-156頁
- 張拱祿，黃鴻榮，王光華，顏泰崇，1997：衛星探測反演資料初步校驗。天氣分析與預報研討會（86），139-142頁
- 楊傳琮，1997：NOAA 衛星 TOVS 反演臭氧全量值和地面觀測之比較。天氣分析與預報研討會（86），151-156頁
- Huang,H.-L., W.L.Smith, M.S.Whipple, Bormin Huang, S.J.Nieman,and H.M.Woolf, 1997: Expected Performance Evaluation of ATOVS Sounding Products ---A preliminary study of ATPP Retrieval Algorithm. 9th ITSC, IGLS, Austria,20-26 Feb. 1997.
- Huang,H.-L., W.L.Smith and M.S.Whipple,1997: Atmospheric profile retrievals using grating and interferometer infrared and microwave measurements. Winter Topical Meeting -Fourier Transform Spectroscopy. Feb. 9-14 1997.
- Nieman,S., T.achtor, W.P.Menzel, W.L.Smith, H.M.Woolf, F.Nagle,and H.-L.Huang,1997: Utilization of AApp within ATPP-1. 9th ITSC, IGLS, Austria,20-26 Feb. 1997.



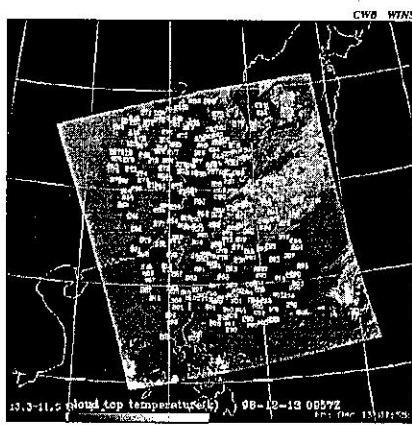
圖一



圖二

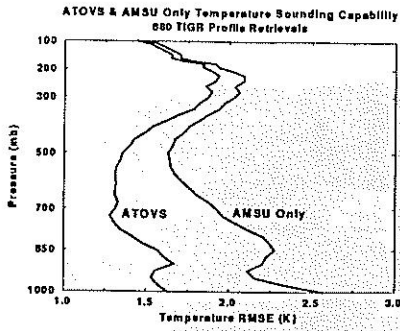


圖三

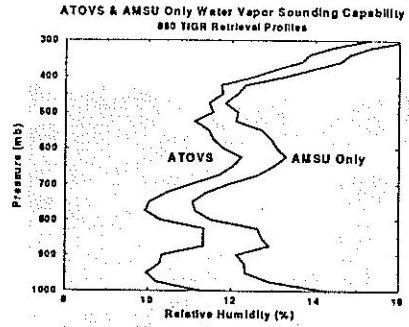


圖四

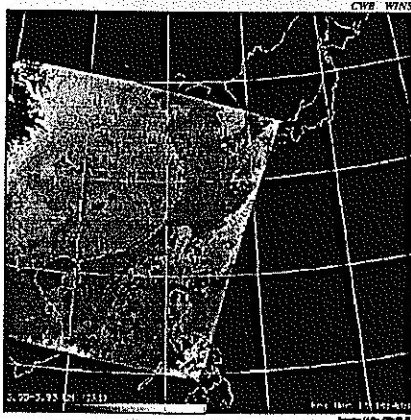
- 圖一、溫度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。
- 圖二、相對濕度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。
- 圖三、500mb 衛星反演的溫度場。
- 圖四、衛星求得雲頂溫度場。



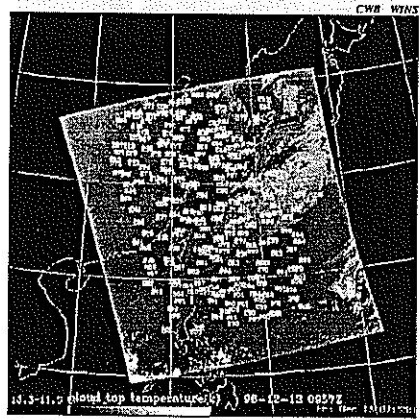
圖一



圖二

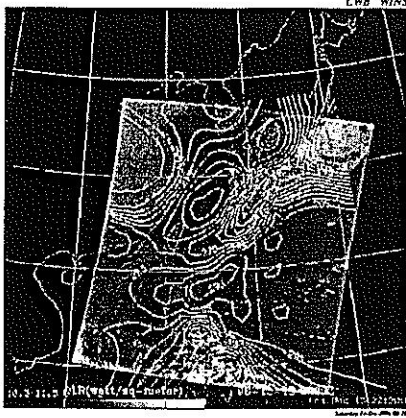


圖三

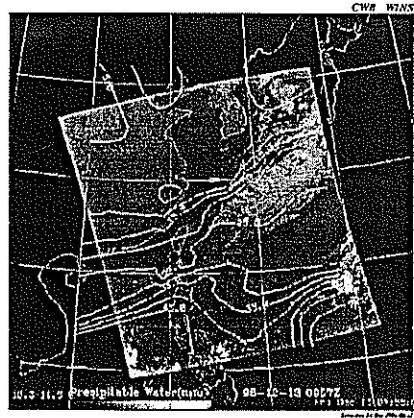


圖四

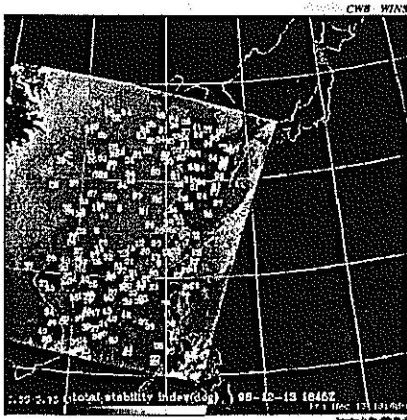
- 圖一、溫度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。
- 圖二、相對濕度剖面均方差 AMSU 與 ATOVS 的反演結果。
- 圖三、500mb 衛星反演的溫度場。
- 圖四、衛星求得雲頂溫度場。



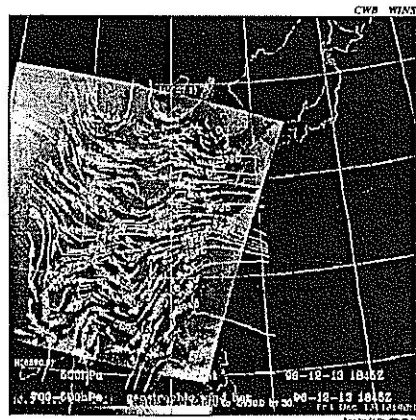
圖五



圖六



圖七



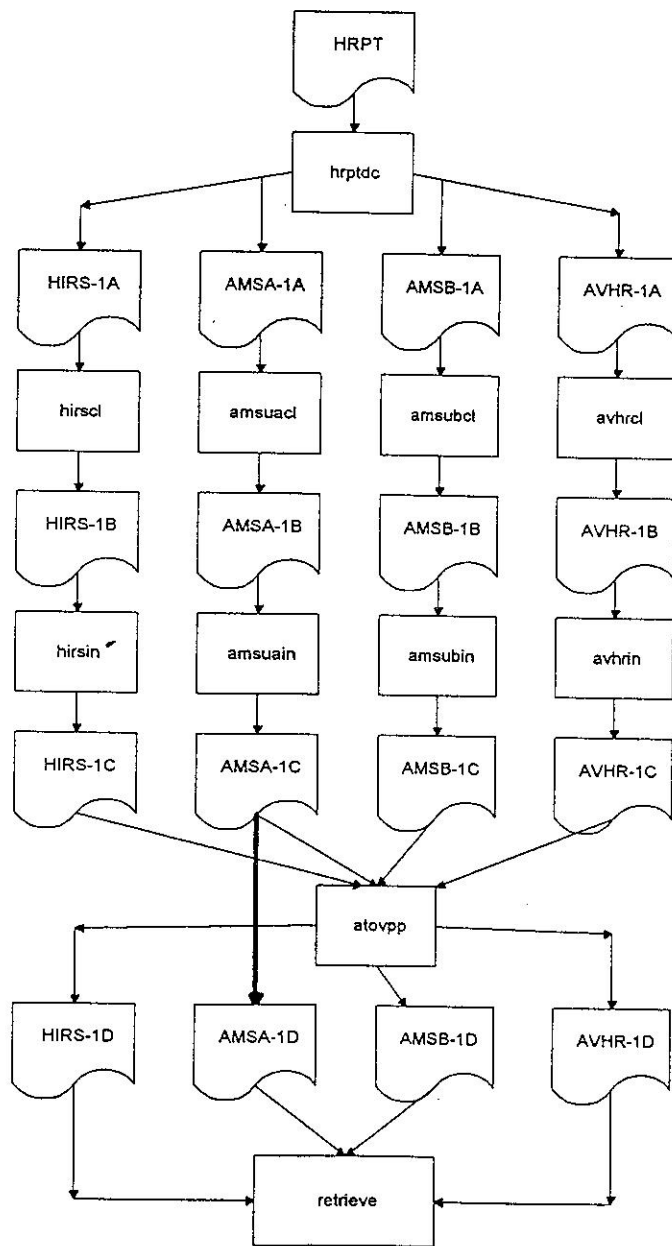
圖八

圖五、衛星反演得到的長波輻射通量。

圖六、衛星反演求得的大氣總可降水量。

圖七、衛星求得的大氣總穩定指數。

圖八、衛星反演計算得到的地轉風向與風速。



圖九

圖九、ATPP 衛星資料校準，定位與反演的作業流程圖。

NOAA-12	台北 LAT : LON 25.2 : 121.52			成功 LAT : LON 23.1 : 121.37		
Date	Observed	Retrieval	% of Error	Observed	Retrieval	% of Error
961542300Z	277.7±1.0	281.4	1.3	279.7±1.4	280.6	0.3
961552238Z	274.1±1.0	286.6	4.6	283.1±0.8	272.2	- 3.9
961812311Z	269.9±1.2	258.0	- 4.4			
961822250Z	268.4±0.7	258.7	- 3.6			
961962244Z	272.4±1.6	266.6	- 2.1	254.3±0.9	264.2	3.9
962322258Z	262.2±1.0	256.2	- 2.3	253.9±0.8	254.1	0.1
962332236Z	265.8±1.2	261.6	- 1.6	262.8±0.6	252.3	- 4.0
962372249Z	276.5±1.5	266.5	- 3.6	236.9±1.0	246.6	4.1
962382226Z	272.0±1.6	257.7	- 5.3	265.7±0.3	249.0	- 6.3
962502304Z				261.6±0.4	248.1	- 5.0

表一

表一、NOAA-12 衛星反演的大氣臭氧總量與成功兩站臭氧觀測的比較。

NOAA-14	台北 LAT : LON 25.2 : 121.52			成功 LAT : LON 23.1 : 121.37		
Date	Observed	Retrieval	% of Error	Observed	Retrieval	% of Error
961950530Z				273.6±1.0	270.0	- 1.3
962030544Z	275.8±1.5	281.7	2.1			
962050521Z	289.1±1.3	295.6	2.2			
962232255Z	276.1±2.4	271.0	- 1.8			
962310541Z	283.1±1.8	280.4	- 1.0	262.1±1.6	277.5	5.9
962320528Z	270.9±1.5	279.6	3.2			
962330519Z	279.3±1.9	282.4	1.1			
962390543Z	284.1±1.9	280.9	- 1.1	264.0±2.0	283.4	7.3
962590537Z	270.2±1.8	261.7	3.1	258.0±1.9	260.6	1.0
962610516Z	278.2±1.6	279.0	0.3	255.8±2.1	266.9	4.3

表二

表二、與表一相同但是大氣臭氧總量是由 NOAA-14 求得。