

輔助資料在衛星遙測大氣垂直剖面上之應用

劉振榮

國立中央大學太空及遙測研究中心

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

在利用氣象衛星資料反演大氣垂直溫度及濕度剖面時，由於遙測頻道的選擇先天上受到吸收帶寬度及儀器設計技術之限制，因此一般無法具有良好的垂直向解析度，以至於反演結果除了無法掌握薄層逆溫之外，在近地面層以及對流層頂附近之結果，在與傳統探空資料相比較，統計上亦出現較顯著之誤差。本研究即為探討可能的輔助資料，如整點地面觀測資料及其它可取得之對流層頂資料，在應用於反演衛星觀測輻射值為大氣垂直剖面時所造成的改善效果，以為未來數值衛星資料於日常作業時之應用。

本研究選取 NOAA-10衛星在1989年 3月31日 1200Z所觀測得之東亞地區輻射值，並將其在不含及包含地面資料和對流層頂資料條件下反演得大氣垂直剖面，所得結果與傳統探空觀測得之大氣垂直剖面相互比較，顯示在輔助資料的協助下，所反演得之結果具有極為顯著之改善效果。

一、前言

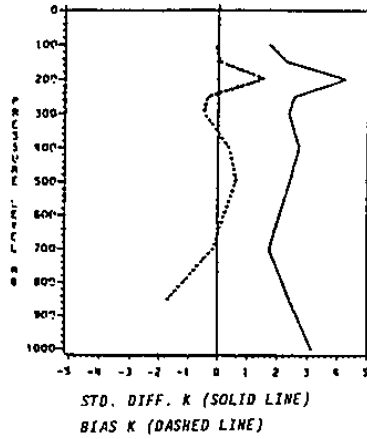
自從 TIROS-N衛星在1979年發射升空以後，其上所載之 TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder)遙測儀器系統之輻射觀測資料，即可提供全球發展大氣溫度與濕度剖面之遙測作業與應用，而其後所陸續發射NOAA系列繞極軌道衛星，亦均秉承一貫的功能，其被應用在大氣溫度剖面遙測的主要儀器系統包含HIRS(High-resolution Infrared Radiation Sounder)和 MSU (Microwave Sounding Unit)。

由TOVS資料所反演求得之大氣垂直溫度剖面，在1985年 LeMar shall曾將其與各種其它資料相比較，其中對傳統探空氣球觀測結果之比較(如圖 1)顯示，兩者在地面層及對流層頂附近會產生較大的誤差。在1986年，Yen 和Wang亦曾嘗試利用 ITPP (International TOVS Processing Package) 程式套求取台灣區之衛星遙測大氣垂直剖面值，其結果亦顯示在地面層及對流層頂處有極大的誤差 (見圖

2)。當然這是由於吸收帶寬度不足以容納太多的遙測頻道，以及輻射儀的設計技術上頻道較寬，造成遙測頻道在垂直向方面的解析度太差，以至於無法在溫度變化較大或不連續的此兩層處反演求得較佳的結果。對於地面層處的誤差，由於一般地面上有逐時的地面觀測，因此在反演大氣垂直溫度剖面時，可以將最接近衛星觀測時間之地面觀測資料輸入，如此即可大幅改善在近地面層處之誤差。而對於對流層頂處之誤差，以往一直未有任何研究設法改善，主要原因乃是一來相關正確值之對流層頂資料無法事先取得，一來是對流層頂處之誤差沒有地面層處之誤差來得強烈。不過近年來已有初步研究顯示，若能預先配合其他觀測儀器或頻道估算對流層頂資料，則對流層頂處之誤差改進，亦不是不可能之事 (見劉,1991a,1991b)。

本研究乃針對上述之大氣垂直剖面反演缺失，探討各種可能之反演輔助資料，並研究其改善反演

(a) TOVS VS RAOB TEMPERATURE



(b) TOVS VS RAOB TEMPERATURE

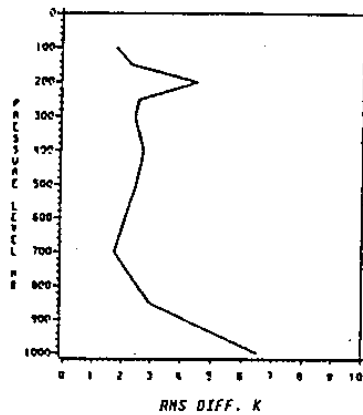


圖1：阿爾卑斯實驗(1982)結果與探空資料之統計比較(LeMarshall, 1985)

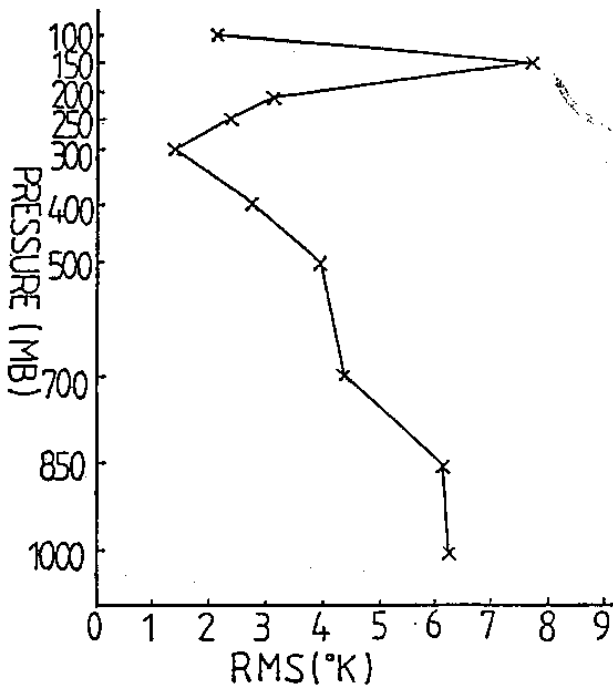


圖2：TOVS溫度剖面與探空剖面之均方根差(顏與王, 1986)

結果之情形，以為未來衛星遙測資料日常作業應用之參考。

二、大氣垂直剖面反演方法

在雲區的輻射傳遞方程乃如下式所示

$$I = \int_0^{P_{cld}} \tau dB + (1 - N\epsilon) \int_{P_{cld}}^{P_s} \tau dB + B(0) \quad (1)$$

其中 I 為衛星觀測得之輻射值， P_{cld} 為雲頂高度氣壓值， τ 為大氣穿透率， B 為蒲朗克函數值， N 為雲量， ϵ 為雲放射率， P_s 為地面氣壓值 $B(0)$ 表在大氣層頂處之蒲朗克輻射值。若有效雲量（實際雲量 N 和雲放射率之乘積）已知（計算方法見劉, 1990），則可重新定義大氣穿透率如下：

$$\begin{aligned} \tau^* &= \tau \quad P < P_{cld} \\ &= (1 - N\epsilon)\tau \quad P \geq P_{cld} \end{aligned}$$

因此(1)式可改寫為：

$$I = \int_0^{P_s} \tau^* dB + B(0) \quad (2)$$

(2)式之形式與晴空區之輻射傳遞方程完全一致，只不過其大氣穿透率已經過雲效應的修正，因此我們亦可將此式利用"同時物理反演法(見Smith et al., 1985)"來求取大氣垂直溫溼剖面，即我們以下式來表示：

$$\begin{aligned} \delta T_b &= \int_0^{P_s} \delta U \left[\frac{\partial T}{\partial P} \frac{\partial \tau^*(U)}{\partial U} \frac{\partial B(T)}{\partial T} \right] dP \\ &\quad - \int_0^{P_s} \delta T \left[\frac{\partial \tau^*(U)}{\partial P} \frac{\partial B(T)}{\partial B(T_b)} \frac{\partial T}{\partial T} \right] dP \\ &\quad + \delta T_s \frac{\partial B(T_s)/\partial T}{\partial B(T_b)/\partial T} \tau_s^* \end{aligned} \quad (3)$$

其中 T_b 是亮度溫度， U 是可降水量， δ 值代表實際剖面與某一已知參考剖面之差值。為了求取(3)式中之 δU ， δT 和 δT_s ，我們可選取任意的氣壓函數 $\phi(P)$ 使得

$$\delta q(P) = g \sum_{i=1}^L C_i q_0(P) \phi_i(P) \quad (4)$$

和

$$\delta T(P) = - \sum_{i=L+1}^K C_i \phi_i(P) \quad (5)$$

其中 L 為描述水汽剖面的基本函數之個數， $(K-L)$ 則為描述溫度剖面基本函數之個數， g 為重力加速度，而 $q(p)$ 則為水汽之混合比剖面。下標為 0 之值則代表已知之參考剖面值。(4)式乃是由氣體方程式和靜水方程式得來，因此

$$\delta U(P) = \sum_{i=1}^L C_i \int_0^P q_0(P) \phi_i(P) dp \quad (6)$$

設若令 $C_0 = \delta T_s$ ，且

$$A_{0,j} = \frac{\partial B(T_s)/\partial T}{\partial B(T_b)/\partial T} \tau_s^*$$

而在 $1 \leq i \leq L$ 時，

$$A_{i,j} = \int_0^P \left[\int_0^P q_0(P) \phi_i(P) dp \right] \frac{\partial T}{\partial P} \frac{\partial \tau^*(U)}{\partial U} \frac{B(T)/\partial T}{\partial B(T_b)/\partial T} dP$$

在 $L < i \leq K$ 時，

$$A_{i,j} = \int_0^P \phi_i(P) \frac{\partial \tau^*(U)}{\partial P} \frac{\partial B(T)/\partial T}{\partial B(T_b)/\partial T} dp$$

其中 j 代表所使用的頻道，則(3)式可改寫為：

$$\delta T_{bj} = \sum_{i=0}^k C_i A_{i,j} \quad (7)$$

若以矩陣方式表示，則(7)式可改寫為：

$$\delta \vec{T}_b = A \vec{C} \quad (8)$$

因此，以最小平方法即可求解得：

$$\vec{C} = (A^T A^{-1}) A^T \delta \vec{T}_b \quad (9)$$

其中 A 可由已知之參考剖面值求得， $\delta \vec{T}_b$ 為衛星觀測得之各遙測頻道亮度溫度與其由已知參考剖面求得之亮度溫度之差值。

在每一個 C_i 值均求得以後，將其代入 (5) 和 (6) 式，則 δT_s ， $\delta U(P)$ 和 $\delta T(P)$ 即可求得。再將此 δ 值加回已知各參考剖面值，則實際的地表溫度和

垂直溫溼剖面即可求得。

前述之基本函數，基本上只要選取任意的光滑函數即可，因為只要是光滑函數，即可對 (7) 式形成約束而求得穩定的解。目前一般研究中均選擇經驗正交函數或核函數做為基本函數，本研究乃選取 HIRS 中第 1, 3, 7 頻道及 MSU 中第 2, 3, 4 頻道之權重函數來做為反演溫度剖面之基本函數。另外並選取 HIRS 中第 7, 11, 12 頻道之權重函數來做為反演水汽剖面之基本函數。而在反演大氣垂直溫溼剖面時，HIRS 頻道中除了第 16 頻道以上之短波頻道以及第 8 和 9 頻道之衛星觀測輻射值不考慮之外，其餘各 HIRS 頻道及 MSU 中四個微波頻道之輻射觀測值均配合上地面溫度和混合比之整點觀測值，以及已知對流層頂高度溫度值等輔助資料來反演求得正確的大氣垂直溫溼剖面，因此形成了一個具有 20 個已知數和 10 個未知數之方程組。

三、輔助資料之應用

關於利用衛星遙測大氣垂直剖面準確度的研究，早期 Warkand Hillery (1969), Hanel and Conrath (1969) 分析 NIMBUS-3 之溫度剖面，Staelin et al. (1972) 分析 NIMBUS-5 NEMS 求取之溫溼剖面，發現衛星與探空剖面間的溫度差距約 1 至 4K，而以近地面與對流層頂處之差異最大。此外，Kapel and Horn (1975), Arnold et al. (1976), Smith et al. (1975) Weinreb (1977) 等分析 NIMBUS-5 資料；Moyer et al. (1978), Knight and Scoggins (1981), Scoggins et al. (1981), Cheng and Scoggins (1981) 等則分析 NIMBUS-6 資料，大致也有相同的結論。而 TOVS 資料的研究，Brodrick et al. (1981) 以統計分析處理 TIROS-N 與 NOAA-6 二衛星的溫溼剖面之全球整體性資料，Schlatter (1981), Gruber and Watkins (1982) 亦分析 TIROS-N 與 NOAA-6 資料，顯示在近地面與對流層頂，參數的 RMSE 值最大，在對流層中層 (700 至 300mb) 為最小，而 LeMarshall (1985) 將全世界共約 18 種不同 TOVS 反演系統的反演結果做統計評估，比較 1982 年歐洲阿爾卑斯山實驗 (ALPINE Experiment)、塔斯門海 (The Tasman Sea)，和美國區 (U.S.) 等三區資料，發現無論使用何種反演法，一致具有相同的準確性特性，亦即在中對流層內誤

差的RMSE皆約等於3k，而在對流層頂與近地面層變化較大，此因在中對流層內，衛星觀測頻道較多，垂直解析力較高，而在對流層頂與近地面的溫度梯度大，衛星遙測較難掌握其準確性的緣故。為避免反演後近地面層與對流層頂偏差較大的問題，本研究乃嘗試納入地面觀測之地表與對流層頂資料，包括地表溫度、水汽混合比與對流層頂溫度，以約制反演誤差。反演程序中用到輔助地面觀測資料之處有二：一為修正參考剖面，二為納入觀測資料中，以輔助求取擾動剖面 δT_e 、 δU 、 δT 。

本文主要為研究台灣區大氣垂直剖面的反演，乃採用東亞地區約四十個測站的探空與地面資料做為評估衛星反演準確度之憑藉。目前乃將取得之衛星觀測時間相近的各測站地面觀測資料中的溫度、露點溫度建檔，由於測站位置分佈還算均勻，為配合每一反演區域（3×3個HIRS/2 FOV，地面解析度約50公里），乃採用Barnes(1973)的氣象資料客觀分析法，將這不規則分佈的地面資料，內插成0.5度經緯度間隔之規則網格點溫度及露點溫度資料，每一反演區域選取與其最接近的網格點資料當作其地面資料。至於地面高度的取得，是由已建檔之低解析度（約111公里）或高解析度（約18公里）全球地形資料，根據反演區域的經緯度地理座標，自動取得其地面高度值。建立整體地面資料的優點，就是考慮到在海洋、沙漠等無觀測站的地方，或有測站但無法取得其觀測資料之處，例如軍事基地等，不必受限於沒有地面資料而致反演誤差大的困擾。當給定衛星觀測範圍後，即自動逐一以3×3個FOV為反演區域，視反演區域之經緯度座標，從客觀分析後的地面資料檔取得靠近的地面溫度、露點溫度，加上取得之地面高度，即完成自動化的反演程序。目前本研究是選取特定時間的測站觀測報告來測試，若考慮將這項程序變成例行的日常作業，可嘗試接收衛星飛過台灣上空的前一個地面逐時報告，就可以有整體地面資料應用在反演方法之中。至於對流層頂資料是以探空剖面中溫度轉折點處視為對流層頂所在，取其高度與溫度值為對流層頂高度值及對應的溫度值。在本研究中乃假設對流層頂資料為已知情況，探討反演方法中納入對流層頂資料的可行性，並進而將應用中壘特高頻雷達（VHF）觀測得之

對流層頂高度值所估算得之溫度資料於反演方法中，以研究實際應用本方法之反演結果改進效果。

四、個案分析

為探討輔助資料對反演結果之影響，本研究選取 NOAA-10衛星於1989年3月31日1200Z時所觀測得之TOVS輻射資料做為本研究的個案分析。經探空及衛星觀測資料在時間與空間上相互配合後（由於反演區域約50公里大小，故若衛星掃描在測站周圍0.5度經緯度範圍內，即視為同點觀測），選出東亞地區共36個測站的探空剖面資料及地面資料，做為衛星反演各測站上空大氣垂直剖面之比較標準。而反演方法使用原始ITPP程式，Modified ITPP I和Modified ITPP II三種反演系統（其分別詳見劉，1991）。

圖3至圖20為ITPP、Modified ITPP I及Modified ITPP II三種反演系統於不加地面資料，或只加地面資料，及加地面及對流層頂資料後，利用衛星資料反演各等壓面之溫度與探空資料相互比較後之統計分析。表一至表六則為各標準氣壓面以不同反演系統反演後之誤差統計數值。由此統計圖表可以看出於加入地面及對流層頂資料後，在應用修改過的ITPP反演台灣區附近大氣垂直剖面，其反演誤差有明顯地改善。

圖3至圖8分別代表溫度反演之偏差值(Bias)

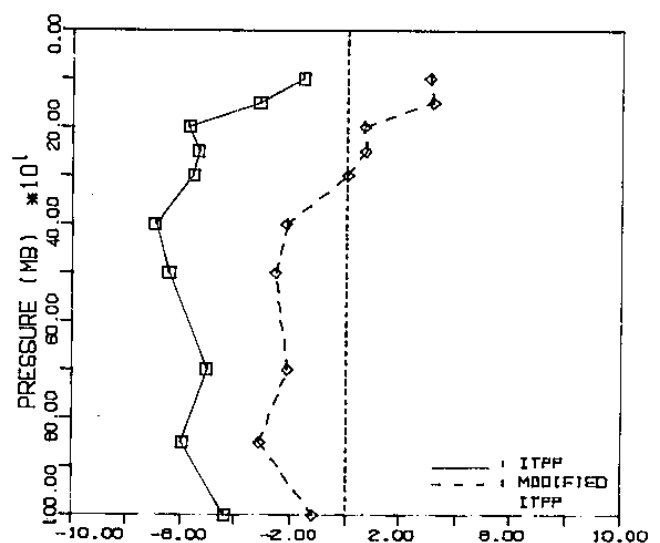


圖3：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之溫度剖面與探空觀測溫度剖面間之平均偏差(BIAS)

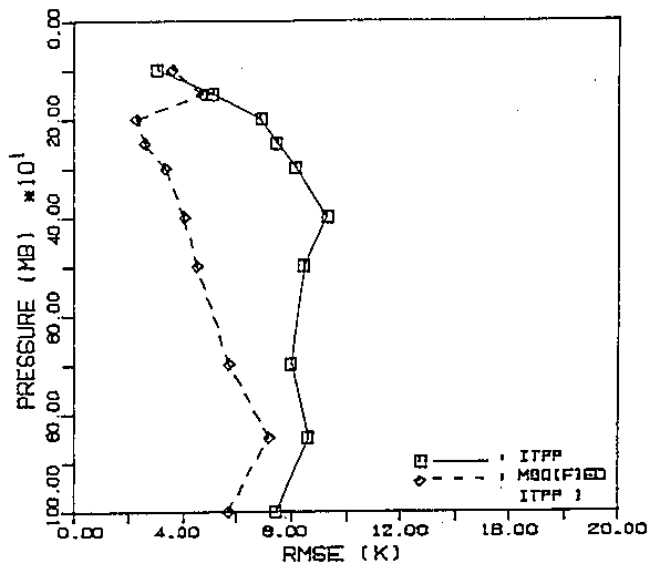


圖4：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之溫度剖面與探空觀測溫度剖面間之均方根差 (RMSE)

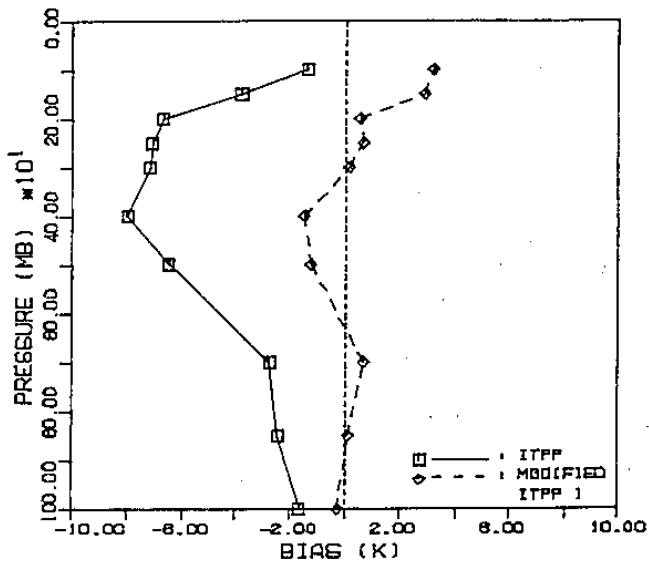


圖5：同圖3，但已加入地面資料

與均方根差 (Root Mean Square Error, RMSE)。以原版 ITPP 反演時，整個大氣剖面各氣壓層溫度之偏差值皆小於零，顯見 ITPP 反演偏冷。其在不加地面資料時，平均均方根差為 7.23K，平均偏差為 -5.0K，加入地面資料後，地面層附近之 RMSE 由約 7 至 8K 降為 2 至 4K 左右，而 Bias 亦由約 -5K 之偏差降為 -2.4K 以下，明顯地，地面資料之加入增進了地面層附近之反演結果，但較高層之大氣仍維持高誤差。由於地面資料之加入，整體平均之 RMSE 降為 6.61K，Bias 降為 -4.75k。若於加入地面資料之同時又加入對流層頂資料，將圖 7、圖 8 與圖 5 及圖

6 比較，於對流層頂資料加入後，ITPP 之反演似乎沒有明顯的改善，但表一和表二指出，對流層頂附近 100mb 及 150mb 處的確約有 0.5K 之些微改善。整體來說，以 ITPP 做溫度反演，雖然加入對流層頂資料後，對於高層大氣 (100mb、150 mb) 只有些微改善 (約 0.5K)，而加入地面資料後致使地面層附近 (1000mb 至 700mb) 約有 4.5K 之明顯增進，但地面層與對流層頂雖改善，中氣層仍有過高之偏差值，

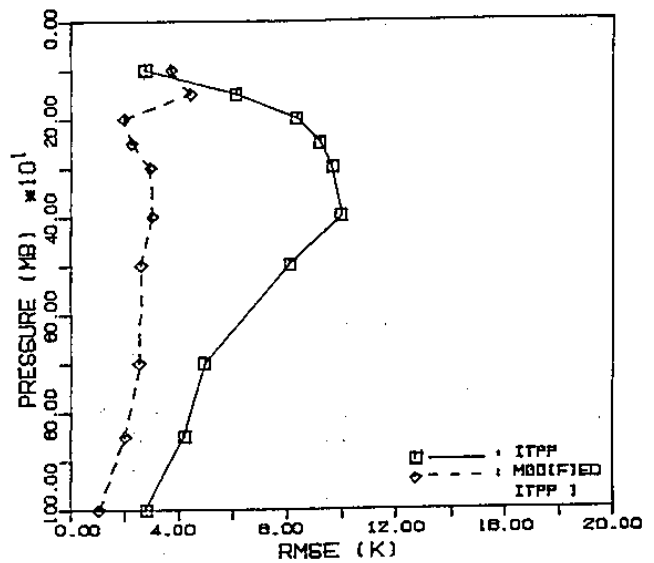


圖6：同圖4，但已加入地面資料

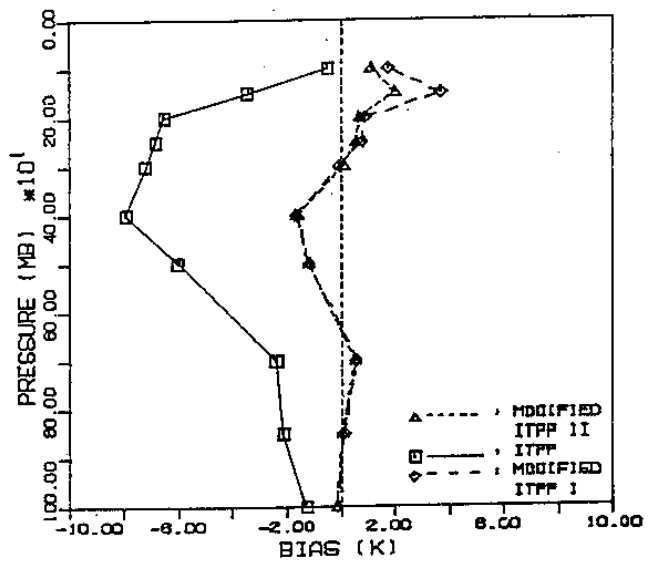


圖7：同圖3，但已加入地面與對流層頂資料

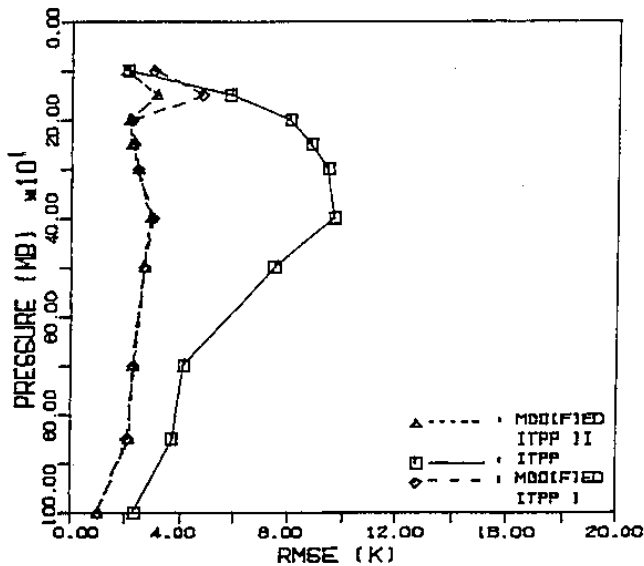


圖8：同圖4，但已加入地面與對流層頂資料

致使平均RMSE為 6.13K，平均偏差為-4.42K。

而 Modified ITPP I 之反演情形，由圖5及圖 6可知，加入地面資料後，Modified ITPP I 之反演結果明顯地不只在地面層附近有所改善，其除了在 100mb與 150mb稍高外，整體均呈現良好的準確度，平均RMSE為2.7K。不似ITPP各層之反演皆偏冷，Modified ITPP I在中、低大氣偏冷，300mb以上則偏暖，故平均偏差值為0.5K。對流層頂通常位於 100mb至70mb之間，Modified ITPP I在加入

地面與對流層頂資料後，與只加入地面資料的情況比較，前者於 100mb處約有1K之改善，但 150mb處卻反而變壞，RMSE由 4.43K升至 4.75K，而Bias由 2.90K升至 3.71K。整體來說，Modified ITPP I 在加入地面與對流層頂資料後，除 150mb處結果稍差外，平均RMSE為 2.54K，平均Bias為 0.48K，大致仍具有相當令人滿意的結果。

圖7及圖8為加入地面與對流層頂資料後，ITPP、Modified ITPP I及Modified ITPP II三者Bias與RMSE之比較。Modified ITPP II不只在對流層頂有良好的反演結果，在 150mb處亦有明顯地改善，平均比不加對流層頂資料約有1.4K之改善，同時由表一及表二可看出改善的情形不只在對流層頂附近，而是由對流層頂延伸至地面層。其溫度平均RMSE為 2.25K，平均Bias為 0.21K，顯示出本研究在修改ITPP後，Modified ITPP II於加入地面與對流層頂觀測資料後，在大氣垂直溫度剖面反演上之增進至為明顯。

一般說來，衛星輻射觀測值在反演水汽含量方面，在與傳統探空資料比較後效果並不太好，除因水汽本身隨時間、空間作多變性的分佈外，水汽頻道的難以選擇以及最大權重函數值之高度層之難以界定（見曾慶存，1974），均使得水汽含量反演結

表一：1989年3月31日TOVS資料溫度反演結果與探空資料間之偏差(單位K)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	-4.39	-1.19	-1.63	-0.27	-1.27	-0.15	-0.17
850	-5.70	-2.88	-2.44	0.13	-2.13	0.11	0.07
700	-5.09	-2.13	-2.75	0.68	-2.40	0.56	0.51
500	-6.46	-2.59	-6.48	-1.24	-6.03	-1.18	-1.19
400	-6.96	-2.18	-8.01	-1.47	-7.92	-1.68	-1.61
300	-5.58	0.05	-7.18	0.16	-7.20	-0.06	0.12
250	-5.38	0.73	-7.12	0.66	-6.82	0.80	0.56
200	-5.72	0.66	-6.72	0.55	-6.51	0.90	0.67
150	-3.18	3.17	-3.80	2.90	-3.44	3.71	2.00
100	-1.60	3.05	-1.36	3.22	-0.48	1.75	1.10
平均	-5.00	-0.33	-4.75	0.53	-4.42	0.48	0.21

表二：1989年3月31日TOVS資料溫度反演結果與探空資料間之平方根差(單位K)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	7.41	5.66	2.77	1.04	2.32	1.01	1.01
850	8.60	7.14	4.20	2.02	3.67	2.06	2.07
700	7.98	5.68	4.93	2.53	4.11	2.25	2.28
500	8.46	4.50	8.10	2.60	7.45	2.63	2.63
400	9.27	4.02	10.00	3.01	9.67	2.95	2.85
300	8.14	3.34	9.65	2.94	9.42	2.38	2.37
250	7.41	2.58	9.24	2.24	8.80	2.27	2.17
200	6.83	2.27	8.35	1.95	8.03	2.15	2.08
150	5.08	4.71	6.10	4.43	5.78	4.75	3.07
100	3.07	3.61	2.76	3.71	2.02	2.94	1.94
平均	7.23	4.35	6.61	2.65	6.13	2.54	2.25

果形成與探空水汽觀測值間有較大的偏差。圖 9至圖14為衛星反演後，露點溫度與傳統探空露點溫度剖面比較後之Bias與RMSE，表三和表四則為各等壓面之誤差統計數值。由圖表可看出，ITPP於加入地面資料後，地面層 1000mb及850mb 之露點溫度有明顯的改進，而對流層頂資料之加入對水汽含量之反演結果影響不大，因為水汽集中在 300mb以下，

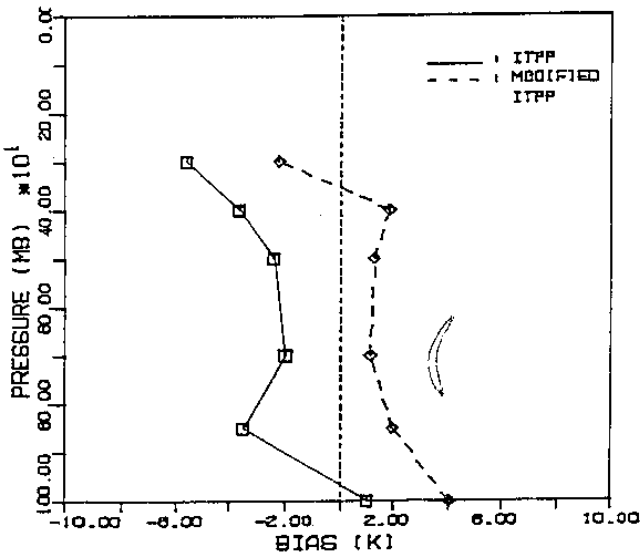


圖9：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之露點溫度剖面與探空觀測露點溫度剖面間之平均偏差(BIAS)

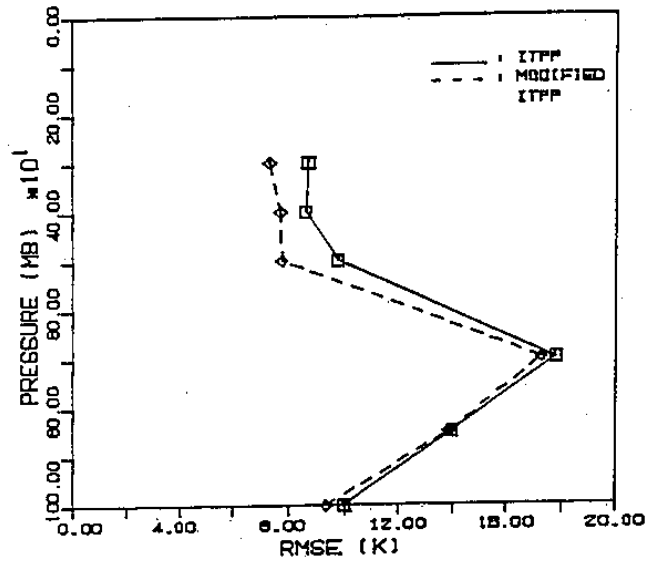


圖10：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之露點溫度剖面與探空觀測露點溫度剖面間之均方根差(RMSE)

因此對流層頂資料之加入與否，對水汽含量之反演可說毫無影響。平均說來，ITPP反演結果之Bias反比Modified ITPP I佳，因為ITPP之平均偏差值為-2.0K(只加地面資料),Modified ITPP I之平均偏差值則約2.5K。不過以RMSE來看，則Modified ITPP I有明顯的改善，其平均 RMSE約為7.8K，而ITPP則高達10.4K。若比較地面資料加入與否對Modified

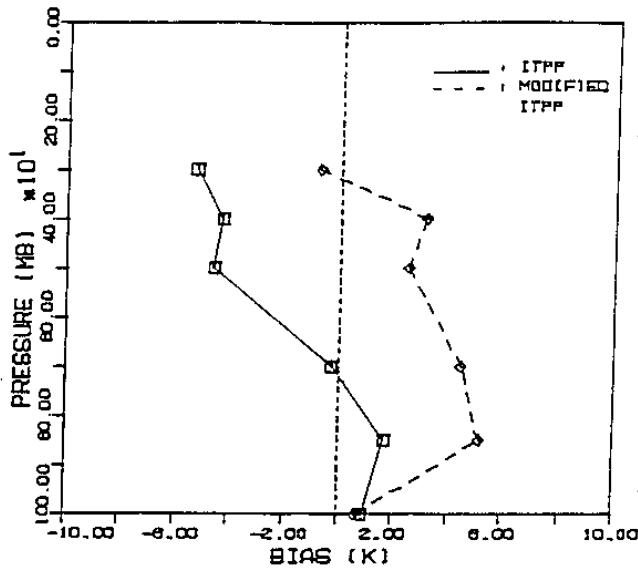


圖11：同圖9，但已加入地面資料

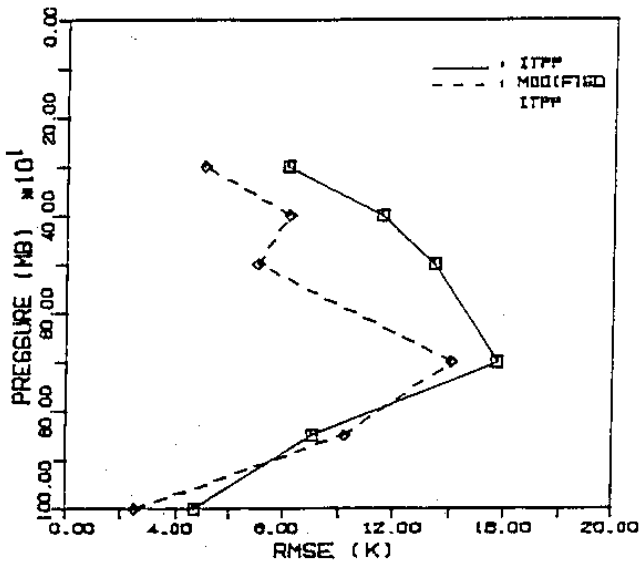


圖12：同圖10，但已加入地面資料

ITPP I 反演水汽含量之影響，可由RMSE觀察。當不加地面資料時，RMSE約為10.53K，加入地面資料後，RMSE降低為 7.8K，而加入對流層頂資料後，RMSE仍維持7.7K，故對流層頂資料加入與否對水汽含量反演之影響可不予考慮。

關於衛星反演等壓面之高度值，其與探空比較後之統計結果展示於圖15至圖20及表五和表六。由於高度值之計算是採靜力平衡，故高度值之誤差會由底層逐漸往上累加，圖中可顯見高度偏差值及RMSE值愈向高層其值愈大。比較ITPP與 Modified ITPP II 在加入對流層頂與地面資料後，在高度值

求取方面的結果，除了在 700mb層處ITPP結果有稍佳的RMSE以外，其餘 Modified ITPP II 均有較佳的反演結果。ITPP之平均RMSE為182.19公尺，Modified ITPP II 則只有74.68公尺，ITPP之平均偏差為-118.23公尺，而Modified ITPP II 則只有 27.37公尺，因此 Modified ITPP II 改善情形至為明顯。若比較 Modified ITPP I 與僅加入地面觀測資料後之改善情形，不加地面資料的平均偏差約 -6.9 公尺，但RMSE卻高達 120.3公尺，加入地面資料後，高層處的誤差不似先前累積之劇烈，而低層之高度誤差沒有明顯之改變，由於高層大氣之改善，故RMSE降為

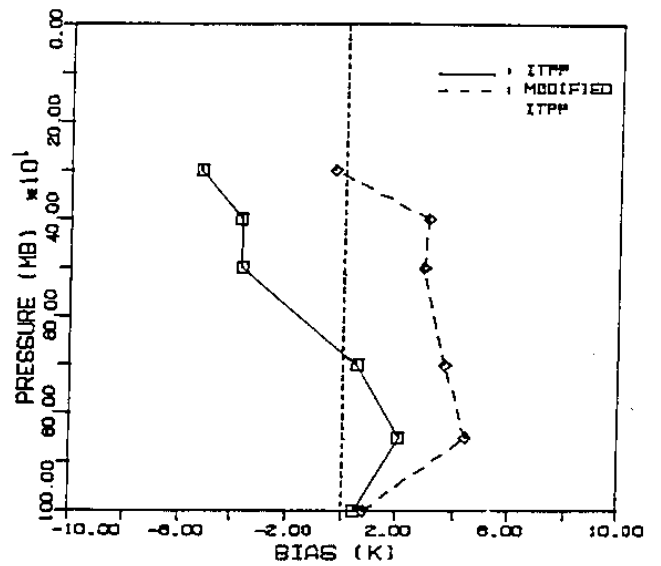


圖13：同圖9，但已加入地面與對流層頂資料

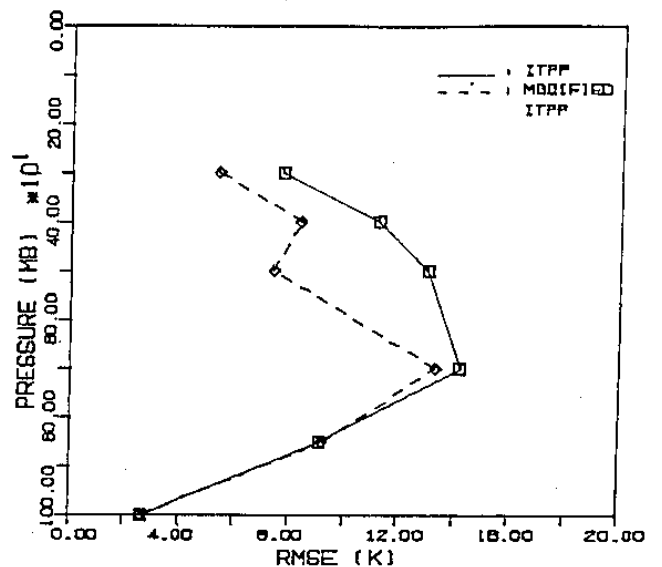


圖14：同圖10，但已加入地面與對流層頂資料

表三：1989年3月31日 TOVS資料露點溫度反演結果與探空資料間之偏差(單位K)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	1.03	4.02	0.94	0.68	0.47	0.79	0.80
850	-3.52	1.95	1.69	5.15	2.04	4.38	4.39
700	-2.00	1.12	-0.21	4.48	0.51	3.66	3.68
500	-2.42	1.28	-4.64	2.50	-3.70	2.86	2.83
400	-3.65	1.83	-4.34	3.15	-3.75	3.01	2.78
300	-5.62	-2.21	-5.28	-0.72	-5.27	-0.34	-0.40
平均	-2.70	1.33	-1.97	2.54	-1.62	2.39	2.35

表四：1989年3月31日 TOVS資料露點溫度反演結果與探空資料間之平方根差(單位K)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	9.98	9.33	4.67	2.46	2.65	2.62	2.62
850	13.97	13.86	9.03	10.20	9.12	9.23	9.21
700	17.81	17.29	15.71	14.04	14.24	13.34	13.30
500	9.78	7.74	13.42	6.98	13.01	7.39	7.33
400	8.61	7.69	11.52	8.17	11.24	8.38	8.25
300	8.70	7.29	8.11	4.96	7.71	5.35	5.34
平均	11.48	10.53	10.41	7.80	9.66	7.72	7.68

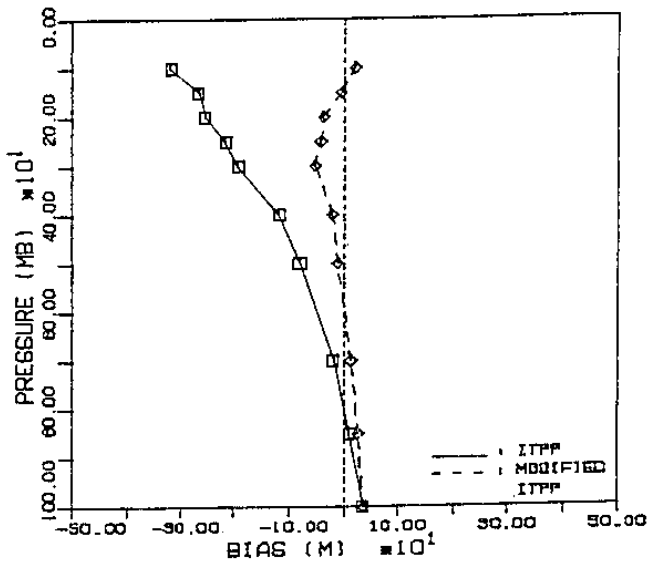


圖15：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之各等壓面高度值與探空觀測值間之平均偏差 (BIAS)

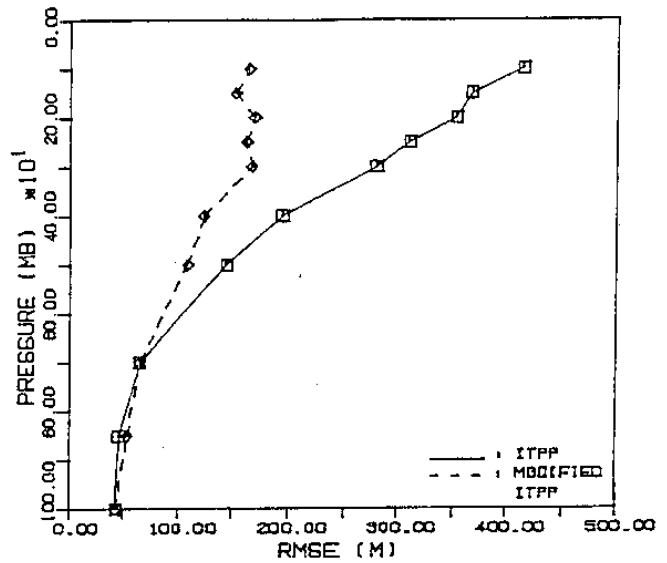


圖16：1989年3月31日12Z不加地面資料情況下，TOVS反演之各等壓面高度值與探空觀測值間之均方根差 (RMSE)

表五：1989年3月31日TOVS資料高度反演結果與探空資料間之偏差(單位公尺)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	35.38	35.38	35.91	35.91	33.63	33.07	33.07
850	11.14	26.08	25.97	36.94	25.52	34.63	34.60
700	-19.05	13.41	11.74	40.94	13.32	38.03	37.60
500	-80.56	-11.39	-42.61	33.39	-32.68	32.90	32.07
400	-118.83	-21.31	-83.70	26.61	-74.70	21.76	21.17
300	-192.38	-52.27	-171.18	3.97	-163.19	-2.80	-2.33
250	-217.17	-41.28	-205.45	13.67	-187.03	13.97	14.27
200	-253.36	-36.53	-251.12	17.67	-230.29	20.07	18.90
150	-265.94	-3.42	-268.97	41.48	-269.39	41.70	32.73
100	-317.39	22.39	-312.88	70.91	-297.52	75.87	51.63
平均	-141.82	-6.90	-126.23	32.15	-118.23	30.92	27.37

74.69 公尺，但不加地面資料時，高度之偏差有時偏高有時偏低，加入地面資料後，偏差值偏高，所以偏差值平均為 32.15公尺。以上之結果分析可證明在高度值反演方面，與溫度、露點溫度之反演一樣，本研究以 Modified ITPP在加入地面及對流層頂資料後，有極為明顯的誤差改善。由以上定壓面層之比較，亦可明顯看出本研究結果相對原始ITPP程式套有較佳的改善，而加入對流層頂與地面觀測

資料後，較不使用這些輔助資料更接近實際的探空等高線圖。

再以1990年 5月14日 1200Z板橋探空測站所觀測得之探空剖面與Modified ITPP II在有無輔助資料下所反演得之大氣垂直剖面相比較，由表七至表九可知加上地面及對流層頂等輔助資料，確實具有加強改善的作用，值得未來反演大氣垂直剖面之應用，因為此時所加入之對流層頂資料乃是中壢特高

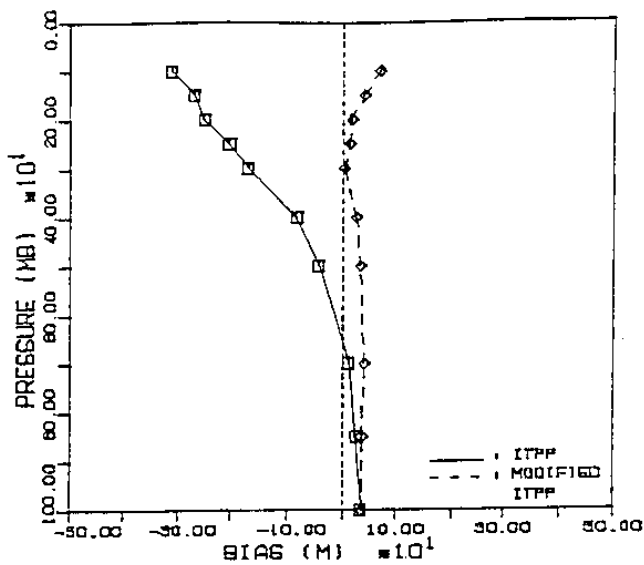


圖17：同圖15，但已加入地面資料

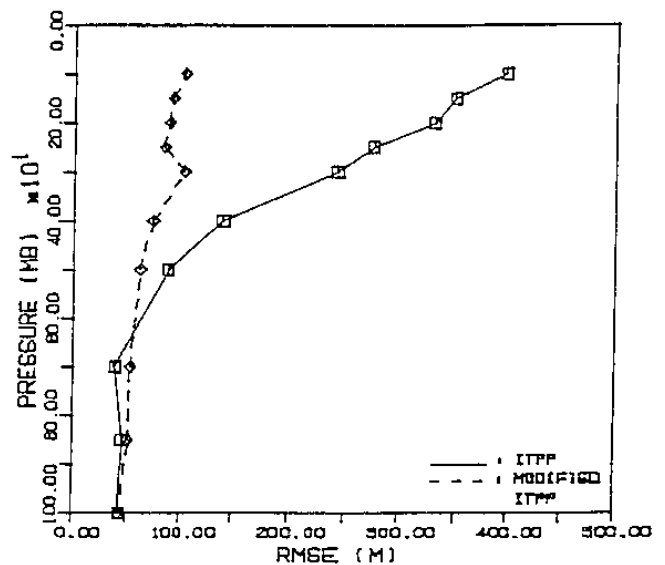


圖18：同圖16，但已加入地面資料

表六：1989年3月31日TOVS資料高度反演結果與探空資料間之平方根差(單位公尺)

輔助資料 反演方法 氣壓(MB)	不加地面資料		加入地面資料		加入地面與對流層頂資料		
	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	ITPP	MODIFIED ITPP I	MODIFIED ITPP II
1000	41.88	41.88	42.38	42.39	40.29	39.91	39.91
850	45.46	53.17	45.11	51.15	45.31	50.45	50.55
700	64.76	64.36	38.10	52.43	32.86	49.63	49.65
500	143.93	108.29	87.84	61.19	74.18	62.00	62.28
400	194.02	123.59	139.27	72.77	118.89	69.45	69.96
300	280.01	166.57	242.97	102.42	224.73	101.21	100.92
250	309.63	161.10	275.41	83.14	248.47	83.81	84.03
200	353.40	168.71	330.77	87.71	301.00	89.03	91.37
150	367.66	152.03	349.37	91.33	350.72	92.79	96.75
100	413.55	163.11	396.12	102.39	385.52	104.63	101.34
平均	221.43	120.28	194.74	74.69	182.19	74.29	74.68

頻雷達在同一時間所觀測得者。

五、結論

本研究發展出一套利用對流層頂資料和地面觀測資料等輔助資料於衛星反演大氣垂直溫濕剖面方法中，其所得的結果在與實際探空資料相比較後，較之以往在台灣區之研究結果，具有相當明顯的改善。不過由於若應用 VHF 雷達回波資料來推求對流

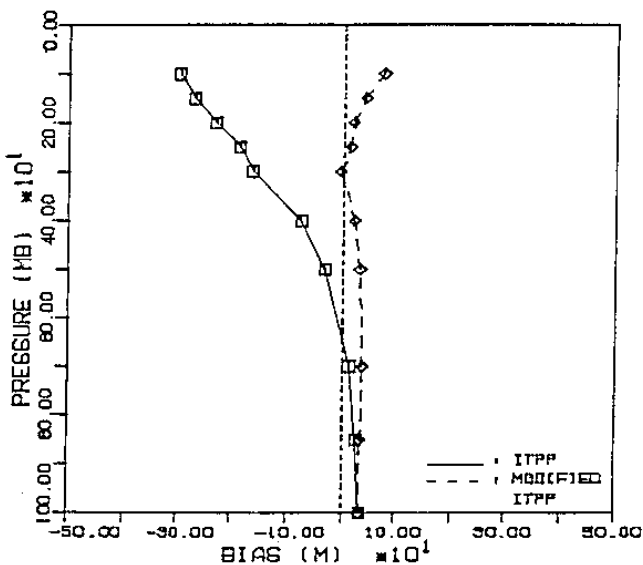


圖19：同圖15，但已加入地面與對流層頂資料

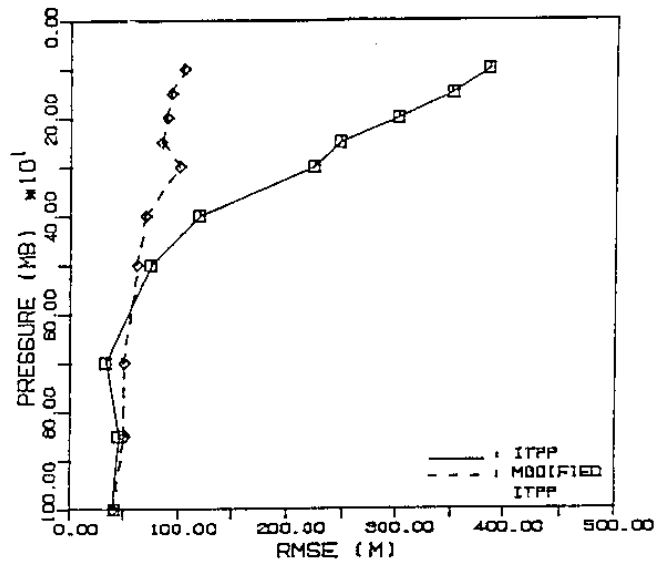


圖20：同圖16，但已加入地面與對流層頂資料

層頂資料其觀測範圍僅限於較小的區域，因此在全球衛星反演大氣垂直溫濕剖面的實用性上就不是那麼明顯。不過由於HIRS頻道 9具有遙測臭氣總含量的能力，而Hung與 Liu在1988年曾研究發現臭氣總含量之大小與對流層頂高度具有極大之相關（見圖 21），因此由本研究之結果證明，若應用本研究之類似方法，即先由HIRS頻道 9計算視場內之臭氣總含

表七：1990年5月14日12Z板橋測站於加入VHF雷達觀測資料後，溫度反演結果與探空資料比較後之偏差值

參數 觀測資料 氣壓(mb)	溫度(K)		
	無地面資料	加地面資料	加地面與對流層頂資料
1000	-15.12	0.91	0.97
850	-9.32	-1.18	-1.12
700	-7.13	0.02	0.14
500	-99	-99	-99
400	-3.96	-2.86	-2.49
300	0.87	-0.31	0.15
250	-99	-99	-99
200	4.04	2.08	0.47
150	5.01	3.40	1.12
100	2.62	2.72	-0.22
70	0.39	0.96	1.50

表八：同表七，但為露點溫度之偏差值

參數 觀測資料 氣壓(mb)	露點溫度(K)		
	無地面資料	加地面資料	加地面與對流層頂資料
1000	-13.53	0.51	0.52
850	-5.13	2.42	2.47
700	-7.41	1.54	1.73
500	-99	-99	-99
400	-0.21	-0.75	-0.53
300	-1.17	1.36	1.22

量，並據以推求對流層頂高度及溫度，則對全球性之衛星反演大氣垂直溫濕剖面的結果預期會有相當的改善。

雖說在結果分析中，本研究具有相當令人滿意的結果，不過由於統計樣本太少，因此未來仍需做更多次的誤差比較以便做更進一步的證明和改進。此外，由於東亞區地面地勢高度值的建立仍未臻完善，而本研究在進行中曾發現地面高度值的誤差亦影響反演結果的準確性，因此未來仍需系統性地研究改進地面資料值輸入。而由於濾雲方法的優劣，

表九：同表七，但為高度之偏差值

參數 觀測資料 氣壓(mb)	高度(公尺)		
	無地面資料	加地面資料	加地面與對流層頂資料
1000	20	20	20
850	6	30	30
700	-42	29	30
500	-99	-99	-99
400	-155	-10	-5
300	-167	-22	-14
250	-99	-99	-99
200	-134	-10	-15
150	-97	12	-9
100	-60	40	-3
70	-47	57	12

亦明顯地會對反演結果造成具大的影響，因此利用可見光或AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 資料來求取雲參數或研究其它更有效的濾雲方法(見Aoki,1983;Liu et al., 1988)，亦將是未來在研究衛星遙測大氣垂直溫濕剖面的重點工作之一。

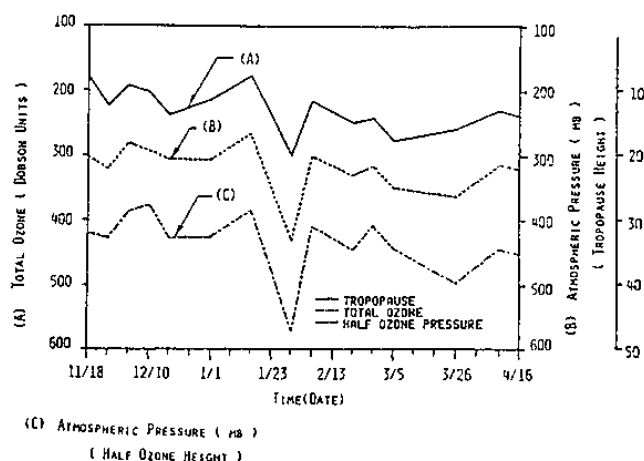


圖21：臭氧含量與對流層頂高度關係圖(Hung與Liu, 1988)

參考文獻

1. 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,Vol.18,No.1,1-19

2. 劉振榮, 1991a: 應用VHF雷達及衛星觀測資料反演台灣區之大氣垂直溫度剖面。國科會研究成果報告, NSC79-0202-M008-14, 106頁。
3. 劉振榮, 朱曙光, 顏泰崇, 1991b: 利用地面及對流層頂資料以改善衛星遙測大氣垂直剖面。交通部中央氣象局專題研究計畫成果報告, CWB78-01-12, 79頁。
4. 曾慶存, 1974: 大氣紅外遙測原理。北京科學出版社。
5. Aoki, T., 1983: Clear Radiance Retrieval of HIRS Channels with the Use of AVHRR Data. Meteor. Satellite Center, Tokyo, Japan.
6. Arnold, J. E., J. R. Scoggins and H. E. Fuelberg, 1976: Comparison between Nimbus-5 THIR and ITPR Temperatures and Derived Winds with Rawinsonde Data Detained in the AVE II Experiment. NASA, Contractor Report CR-2757.
7. Brodrick, H. J., C. Walkins and A. Gruber, 1981: Statistical and Synoptic Evaluations of TIROS-N and NOAA-6 Retrievals. NOAA Technical Report NESS 86, Washington, D. C.
8. Chen, N.-M. and J. R. Scoggins, 1981: Comparative between Nimbus-6 Satellite and Rawinsonde Soundings for Several Geographical Areas. NASA Reference Publication 1973.
9. Gruber, A. and C. D. Watkins, 1982: Statistical Assessment of the Quality of TIROS-N and NOAA-6 Satellite Soundings. Mon. Wea. Rev., 110, 867-876.
10. Hanel, R. and B. J. Conrath, 1969: Interferometer Experiment on Nimbus 3: Preliminary Results. Sci., Vol. 165, 1258-1260.
11. Hung, R. J. and J. M. Liu, 1988: Satellite Remote Sensing and Ozone Sonde Observation of Ozone Vertical Profile and Severe Storm Development. Int. J. Remote Sensing, Vol. 9, No. 3, 469-475.
12. Kapel, A. F. and L. H. Horn, 1975: Nimbus-5 Satellite Sounding in a Strongly Baroclinic Region. Meteorological Applications of Satellite Indirect Soundings, Project Report, NOAA Grant 04-4-158-2, Dept. of Meteorology, Univ. of Wisconsin Madison, 1-19.
13. Knight, K. S. and J. R. Scoggins, 1981: Atmospheric Structure Determined From Satellite Data. NASA Reference Publication 1071.
14. LeMarshall, J. F., 1985: An Intercomparison of Temperature and Moisture Field Retrieved from TIROS Operational Vertical Sounder Data. The Technical Proceeding of The Second International TOVS Study Conference, CIMSS., 188-198.
15. Liu, G. -R., W. L. Smith and T. H. Achtor, 1988: The Use of Visible Data in VAS Temperature Soundings. J. of Applied Meteor., Vol. 27, No. 1, 1309-1321.
16. Moyer, V., J. R. Scoggins, N. Chou and G. S. Wilson, 1978: Atmospheric Structure Deduced from Routine Nimbus-6 Satellite Data. Mon. Wea. Rev., 106, 1340-1352
17. Schlatter, I. W., 1981: An assessment of Operational TIROS-N Temperature Retrievals Over the United States. MWR, 109, 110-119.
18. Scoggins, J. R., W. E. Carle, K. Knight, V. Moyer and N.-M. Cheng, 1981: A Comparative Analysis of Rawinsonde and Nimbus-6 and TIROS-N Satellite Profile Data. NASA Reference Publication 1070.
19. Smith, W. L., H. M. Woolf, H. E. Fleming and W. C. Shen, 1975: Nimbus-5 Sounder Data Processing System, Part II: Results. NOAA Tech. Memo. NESS 57, NESDIS/NOAA, Washington, D. C.
20. Smith, W. L., H. M. Woolf, C. M. Hayden, and A. J. Schreiner, 1985: The Simultaneous Retrieval Export Package. The Technical Proceeding of the Second International TOVS Study Conference, February 18-22, 224-253.
21. Staelin, D. H., F. F. Baroth, J. C. Blinn III and E. J. Johnston, 1972: The Nimbus-E Microwave Spectrometer (NEMS) Experiment.

- The Nimbus-5 User's Guide, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md., 141-157
22. Wark, D. Q. and D. T. Hilleary, 1969: Atmospheric Temperature :Successful Test of Remote Probing. Sci., Vol. 165, 1256-1258.
23. Weinreb, M. P., 1977: Sensitivity of Satellite Retrievals of Temperature to Errors in Estimates of Tropo-Spheric Water Vapor. J. Appl. Meteor., 16, 605-613.
24. Yen, T. C. and H-J. S. Wang, 1986: A Preliminary Study of TOVS Retrieval in Taiwan, R.O.C., The Technical Proceedings of the Third International TOVS Study Conference, August 13-19, 1986, 332-338.

The Use of the Ancillary Data in Deriving Vertical Soundings from Satellite Remote Sensing Data

Gin-Rong Liu

Center for Space and Remote Sensing Research
Institute of Atmospheric Physics
National Central University

ABSTRACT

In applying satellite remote sensing data to invert atmospheric vertical profiles, because channel selection is limited by the width of gas absorption line and the instrument technique, the vertical resolution of sounding channels are usually poor. Therefore, not only thin layer temperature inversion is not detected, but also large error are shown in surface and tropopause retrieval results when compared with radiosonde data. The purpose of this paper is to study the possible ancillary data, such as surface and tropopause observations, applied in sounding retrieval algorithm to improve its estimations.

This study use the NOAA-10 TOVS data observed at 1200 Z March 31, 1989 over East Asia area to retrieve the soundings. The retrieval results of included and not-included ancillary data in different retrieval algorithms are compared with traditional radiosonde observations. The comparisons revealed improvement in the accuracy if ancillary data are used.