

# 台灣區衛星遙測大氣垂直剖面反演方法之研究

劉振榮

國立中央大學太空及遙測研究中心

(中華民國七十九年二月三日收稿；七十九年三月三日定稿)

## 摘 要

本研究主要目的在於利用美國NOAA系列繞極軌道衛星在經過台灣區上空時所觀測得之TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) 輻射能量，來發展及建立一套適合於本地區之大氣垂直溫度及濕度剖面反演方法。雖然在美國威斯康辛大學的CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) 已發展出一套國際性TOVS資料處理程式集(簡稱ITPP, International TOVS Processing Package)，不過此套程式在應用於本地區時，所得之結果具有相當大的誤差。本研究的基本方法即經由對衛星遙測大氣垂直溫度及濕度剖面反演過程應用在本地區所可能產生誤差的幾個基本項目加以瞭解及改進(如地面資料的應用等)，並利用HIRS (High Resolution Infrared Radiation Sounder) 中第5, 7及20頻道計算雲量及雲高，代入有雲情況下之紅外線輻射傳遞方程，應用“同時物理反演法”(Smith et al., 1985)，並修訂TOVS各頻道應用在反演時所佔之權重，所得結果在與傳統探空氣球所觀測得之大氣垂直溫度及濕度剖面相比較，以及推求所得之各等壓面分析圖之相互比對，顯示本研究方法所得之結果初步已能達到國際上衛星遙測大氣垂直溫度及濕度剖面的誤差範圍，而比起原ITPP方法，本研究在所選取之個案中亦顯示了極為顯著的誤差改善。

關鍵詞：衛星遙測，反演方法，大氣垂直剖面

## 一、前 言

自從美國NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)之TIROS-N (Television and Infrared Observation Satellite) 繞極軌道衛星在1978年10月19日發射升空以後，利用衛星遙測全球大氣之垂直溫度及濕度剖面即正式進入日常作業工作範圍之內。我國在1981年1月28日正式完成氣象衛星的資料接收站之建站工作，也開始具備了與國際間同步處理氣象衛星資料的能力，但由於國內相關人力方面之限制，以至於遲遲至今衛星遙測大氣垂直溫

度及濕度剖面之日常作業工作，仍未能進入正式作業的階段。

NOAA系列繞極軌道氣象衛星乃是一個軌道近極之太陽同步衛星，其軌道周期大約為102分鐘，亦即每天約環繞地球14.1周。由於每天繞地球之周數並非整數，因此雖說對任何緯度每次衛星經過時之當地太陽時基本上並未改變，但其正下方軌道所經過之經度並非每天重複的。不過因為衛星上之輻射儀器乃是沿其軌道左右掃瞄，因此約略說來繞極軌道衛星仍是以每天固定當地太陽時觀測同一地區兩次。

在NOAA系列繞極軌道氣象衛星上裝載有多種輻射儀器，包括極精密高分辨率輻射計AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 以及TIROS作業垂直大氣剖面探測器TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder)。AVHRR除了製作可見光及紅外雲圖外，尚可用來估計行星反照率、長波輻射值、以及海面溫度及雲參數。TOVS的主要功能在遙測大氣中之垂直溫度和濕度剖面以及臭氧總含量，其中它又包含三種儀器，即高分辨率紅外輻射探測器HIRS/2 (High resolution Infrared Radiation Sounder)，微波探測器MSU (Microwave Sounding Unit)，以及平流層探測器SSU (Stratospheric Sounding Unit)。根據過去之遙測經驗，由於SSU之穩定度較差

，因此一般在作業上反演求取大氣垂直溫度及濕度剖面時，均捨棄SSU不用，僅由HIRS/2和MSU之輻射觀測值來反演推求當時之大氣垂直溫度及溼度剖面。表一即為TOVS中HIRS/2及MSU各頻道的主要特性及輻射強度觀測之目的，圖1則為TOVS各頻道在美國標準大氣情況下之權重函數。

目前在國際上被用來反演大氣垂直溫度及濕度剖面的主要方法為美國威斯康辛大學的CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studis) 所發展出來的ITPP (International TOVS Processing Package) 程式套，不過由於ITPP程式的編寫，主要是利用美國區附近的資料所發展出來的，而在北美區不論是地面整點觀測資料，或是反演

表一 TOVS(HIRS和MSU) 頻道之特性

HIRS 頻道序號	中心波動 ( $\text{cm}^{-1}$ )	主要吸收氣體	最大能量貢獻層 (mb)	輻射觀測之目的
1	668	$\text{CO}_2$	30	氣溫探測。第5,6,7頻道且用來計算視場中之雲量及雲高。
2	679	$\text{CO}_2$	60	
3	691	$\text{CO}_2$	100	
4	704	$\text{CO}_2$	400	
5	716	$\text{CO}_2$	600	
6	732	$\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$	800	
7	748	$\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$	900	
8	898	窗區	地表	地表溫度及雲偵測
9	1020	$\text{O}_3$	25	臭氧總含量
10	1217	$\text{H}_2\text{O}$	900	水汽探測。第12頻道且用來偵測雲量之存在與否。
11	1364	$\text{H}_2\text{O}$	700	
12	1484	$\text{H}_2\text{O}$	500	
13	2190	$\text{H}_2\text{O}$	1000	氣溫探測。
14	2213	$\text{H}_2\text{O}$	950	
15	2240	$\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$	700	
16	2276	$\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$	400	
17	2361	$\text{CO}_2$	5	
18	2512	窗區	地表	地表溫度。兩頻道合用亦可用來作反射陽光校正。
19	2671	窗區	地表	
20	14367	窗區	地表	雲偵測。
MSU 頻道序號	頻率 (GHz)	主要吸收氣體	最大能量貢獻層 (mb)	輻射觀測之目的。
1	50.31	窗區	地表	地表放射率及雲量減估計。
2	53.73	$\text{O}_2$	700	氣溫探測。
3	54.96	$\text{O}_2$	300	
4	57.95	$\text{O}_2$	90	

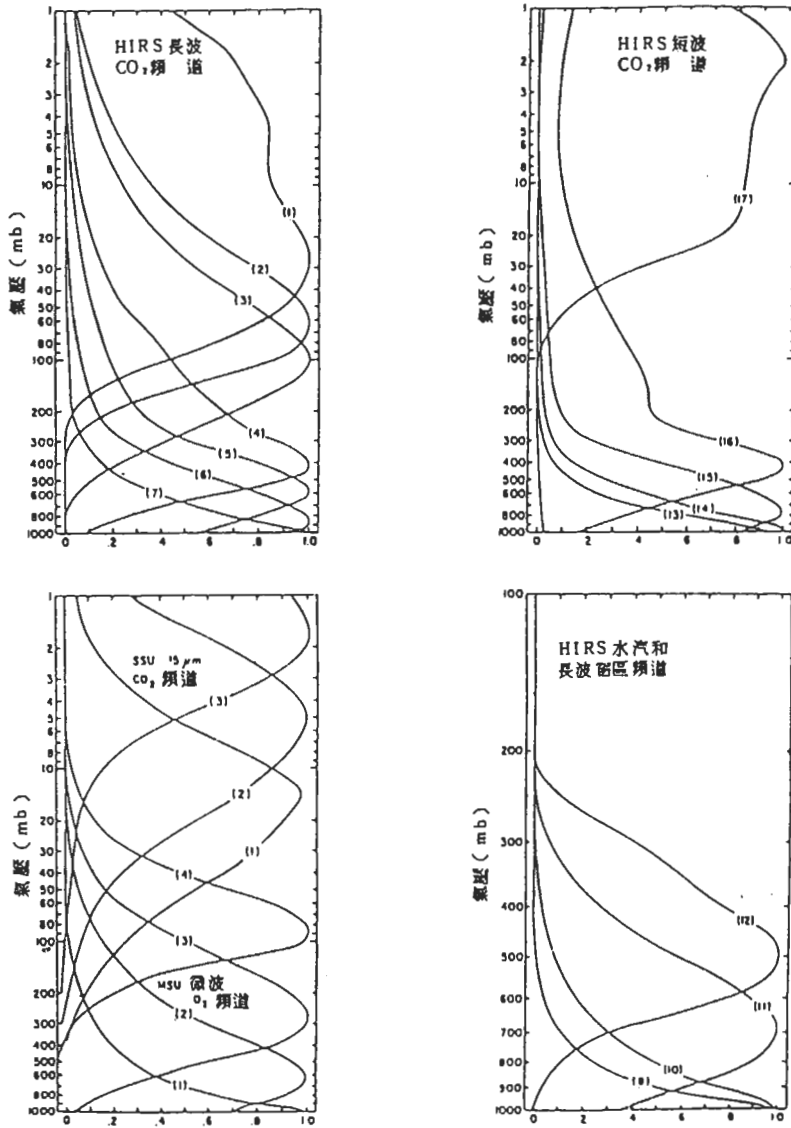


圖1 TOVS 各頻道在美國標準大氣情況下之權重函數

初始值(first guess) 的提供，均有非常良好的配合，因此可以有較佳的反演結果。反觀台灣區，不但各項條件難以配合，且因ITPP 中之相關係數均以北美區為標準所求得，因此反演結果在本地區則未能有滿意的結果(見柳等，1988; Yen and Wang,1986)。本研究之主要目的除了深入研究ITPP 程式套外，並嘗試將台灣附近東南亞區之整點地面觀測資料納入反演程式中，且探討TOVS 各頻道在反演過程中在

台灣區所能扮演角色之份量，調整其輻射觀測值在反演時所佔之比重，完成一套改良式ITPP(Modified ITPP)，以求得台灣區最佳之衛星遙測大氣垂直溫度及濕度剖面。

## 二、雲量、雲高之計算

由於在反演大氣垂直溫濕剖面的過程中，往往

無可避免的常會有雲在衛星觀測視場中存在，因此如何有效地解決雲的污染問題，將影響反演結果的準確至鉅。在本研究中，乃採用Wisconsin所發展出之計算雲量雲高之方法，其基本步驟如下：

- (1) 先檢驗HIRS第20頻道(可見光，波長為0.79微米)，若其反射率小於0.25，則代表無雲，否則視為有雲，繼續以下步驟。
- (2) 應用HIRS第7頻道，先由初猜值(first guess)計算其晴空輻射值 $R_{clr}(7)$ ，若 $R(7) - R_{clr}(7) < -1.0$ ，則表示有雲，繼續以下之步驟，否則視為晴空。
- (3) 選擇某一氣壓層(連續由地面至約100mb)，假設其為雲頂高度氣壓值 $P_{cld}$ ，若 $P_{cld}$ 為正確值，由雲區輻射傳遞方程式可知：

$$R(I) - R_{clr}(I) = -N \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(I) dB(I), \quad I = 5, 7$$

其中 $R(I)$ 為第 $I$ 頻道之衛星觀測值， $P_s$ 為地面氣壓值， $N$ 為視場內之雲量， $\tau(I)$ 和 $B(I)$ 分別代表大氣穿透率和蒲朗克輻射值。因此設

$$\begin{aligned} TM1 &= [R(7) - R_{clr}(7)] \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(5) dB(5) \\ &= -N \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(5) dB(5) \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(7) dB(7) \\ TM2 &= [R(5) - R_{clr}(5)] \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(7) dB(7) \\ &= -N \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(7) dB(7) \int_{P_s}^{P_{cld}} \tau(5) dB(5) \end{aligned}$$

並計算 $FM = |TM1 - TM2|$

若在由地面至約100mb中，若某一氣壓層能使 $FM$ 值達最小，則可設此氣壓層為真正的雲頂氣壓值 $P_{cld}$ ，並據以求得雲量 $N$ 。即由 $P_{cld}$ 計算

$$R_{cld}(7) = \int_{P_{cld}}^0 \tau(7) dB(7) + B(0)$$

其中 $B(0)$ 表示在大氣層頂處之蒲朗克輻射值

。因此雲量 $N$ 即可由下式求得：

$$N = \frac{R(7) - R_{clr}(7)}{R_{cld}(7) - R_{clr}(7)}$$

- (4) 在反演過程中，每求得一新的大氣垂直剖面值，即可再重覆前述之步驟以求得新的雲參數值。

### 三、大氣垂直溫濕剖面反演方法

在雲區的輻射傳遞方程乃如下式所示

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

而由前述之方法，其實即已求得所謂有效雲量(實際雲量 $N$ 和雲放射率之乘積)，因此如若我們重新定義大氣穿透率如下：

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

則(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”來求取大氣垂直溫溼剖面，即我們可以下式來表示：

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

其中 $T_b$ 是亮度溫度， $U$ 是可降水量， $\delta$ 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 $\delta U$ ， $\delta T$ 和 $\delta T_s$ ，我們可選取任意的氣壓函數 $\phi(P)$ 使得

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

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

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

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

而在  $1 \leq i \leq L$  時,

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

在  $L < i \leq K$  時,

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

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  $\delta T_s$ ,  $\delta U(P)$  和  $\delta T(P)$  即可求得。再將此  $\delta$  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。

#### 四、基本函數及頻道之選擇

前節所提到之基本函數, 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, 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 19 個已知數和 10 個未知數之方程組。

#### 五、個案分析

在此我們選取 NOAA-10 衛星在 1989 年 3 月 31 日 1200Z 時所觀測得之 TOVS 輻射資料來做為本研究的個案分析, 圖 2 即為當時 AVHRR 所拍攝得之紅外線雲圖。圖 3 為應用 ITPP 程式套所反演求得在板橋探空測站之垂直溫度及露點曲線與當時之探空觀測曲線之比較。大體來說除了在對流層頂處有較大的溫度誤差外, 其餘各氣壓層均具有相當程度的一致性。而在本研究中, 我們除了深入瞭解 ITPP 程式內容, 並略作修正外, 並適度調整 TOVS 各頻道在反演時所佔之比重, 其主要方法乃利用 MSU 第一頻道所觀測得之亮度溫度與初猜剖面經由輻射傳遞方程所計算得之亮度溫度之差值來做為判斷是否受降水散射影響之指標, 亦即若此差值大於 5K 以上, 則表示 MSU 頻道有受降水散射之影響, 此時令 MSU 頻道之輻射觀測值在反演時所佔比重幾乎為零(十的九次方分之一), 否則即維持原來之反演所佔比重(即為雜訊溫度  $NE\Delta T$  的倒數, 所以雜訊愈小, 反演所佔比重愈大)。在此, 我們稱之為修正後 ITPP(Modified ITPP), 圖 4 即為與圖 3 相同, 在板橋探空測站附近應用 Modified ITPP 反演所得之垂直溫度及露點曲線與探空觀測曲線之比較, 由圖上可知應用 Modified ITPP, 除了在對流層頂高度處之溫度值有極為明顯的改善外, 鄰近對流層頂之氣壓層溫度值在與探空資料相較下, 卻反而有變差之趨勢, 不過仍然在可容忍的誤差範圍內。由於在板橋探空站附近乃為晴空區域, 因此 MSU 各頻道依賴比重的降低, 相對地即代表 Modified ITPP 使用頻道的減少, 以至於使得反演結果較 ITPP 的方法較差, 而 Modified ITPP 在對流層頂反演溫度值的改善, 則因 MSU 沒有在對流



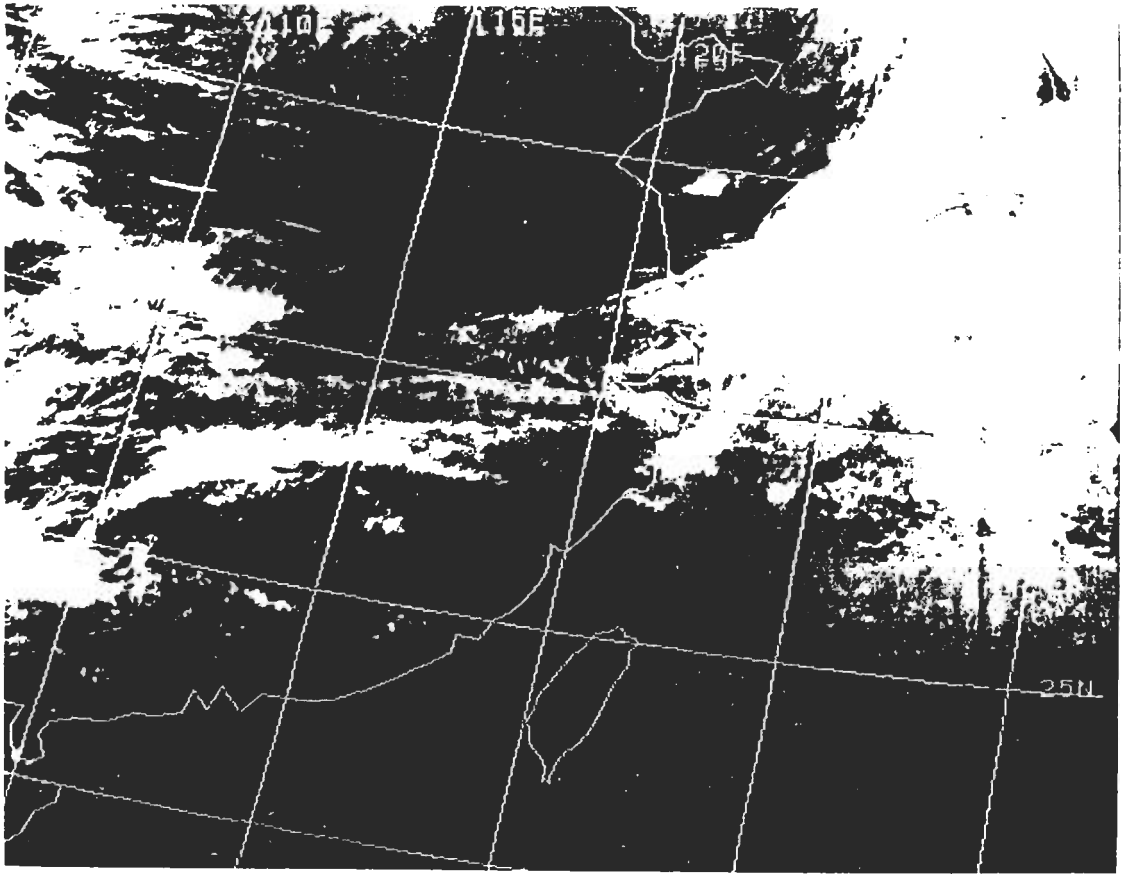


圖2 1989年3月31日1200Z時AVHRR所拍攝得之紅外線雲圖

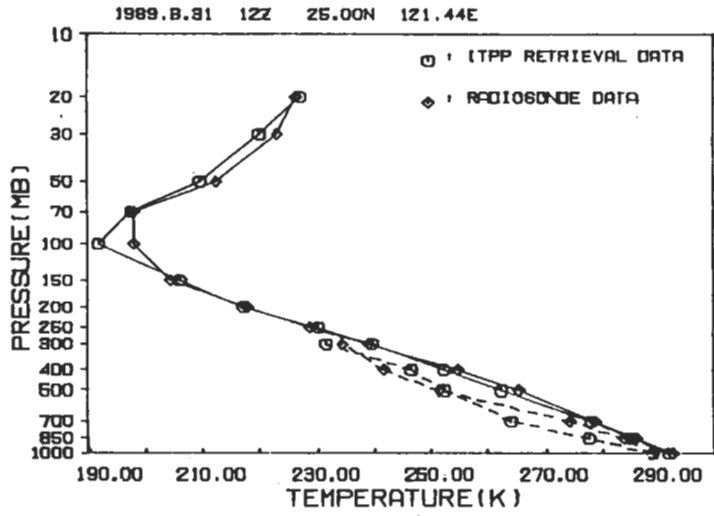


圖3 1989年3月31日1200Z板橋地區ITPP反演所得之大氣垂直溫度及露點曲線與傳統探空曲線之比較

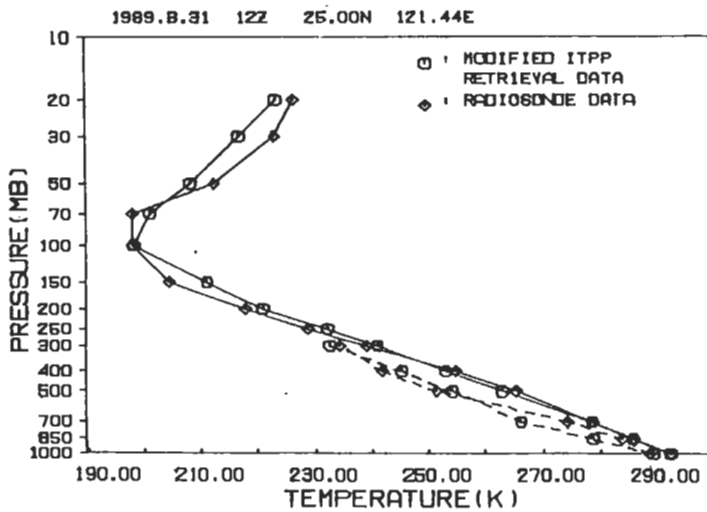


圖4 與圖3相同，但反演方法為本研究結果Modified ITPP

層頂附近具輻射強度極大值的頻道，因此HIRS/2在此高度值具權重函數極大值的頻道則反演依賴性相對地增大，使得在對流層頂處之反演結果變佳。

一般說來，雲區附近之氣象資料乃為氣象人員最有興趣的區域，而由於紅外線的不透雲性，因此使得雲區附近之氣象資料反而不易由衛星紅外線頻道觀測輻射值反演求得。目前處理雲區之衛星反演垂直大氣溫度及濕度剖面，均在裂雲區應用適宜之濾雲方法以求得當地之晴空輻射值，再反演求得。因此濾雲法的優劣，就決定了雲區附近衛星反演大氣資料的好壞。本研究乃是利用第二節所述之方法，先求得視場中之雲高及雲量，再代入裂雲情況下之輻射傳遞方程式。亦即僅利用衛星觀測到之多頻道輻射值，並不再設法求得相對晴空值，因此可減少求得晴空值所造成之誤差，增進反演結果之準確度，不過也因此形成雲高及雲量計算準確度的重要性。雲區反演大氣垂直資料的最佳頻道，眾所周知乃是利用微波頻道。由於微波的高度透雲性，使得雲區與晴空區對微波來說沒有兩樣。不過由於微波頻道對地面放射率的多變性(如海、陸具有極大不同的放射率)，以及降水中雨滴對微波頻道的強烈影響，在在均影響利用微波頻道反演大氣垂直溫度及濕度剖面的準確性。在ITPP程式套中，均假設雲區下無降水，而以求得之表面溫度和MSU第一

頻道輻射觀測值計算代表MSU所有頻道之地表放射率，並據以反演大氣垂直溫度及濕度剖面。因此若視場中有降水或地表溫度準確度不足，均會大為降低反演所得之溫度剖面。由於在求取表面溫度時均應用美國區為標準所求得之係數，因此應用在東亞區可能準確度不夠，且降水之研判仍無納入，因此本研究乃降低MSU各頻道在雲區反演時所佔之依賴比重。圖5即為應用ITPP方法在日本九州附近(測站號碼47807)所反演求得之大氣垂直溫度及露點剖面與當時當地之傳統探空剖面之比較，由圖中可看出在大氣頂層以下，衛星反演剖面具有明顯的偏冷現象，而大氣層頂以上則具偏暖的現象。圖6則為應用本研究方法所得之結果，明顯地具有極為優異的改善現象，此時由本研究所計算得之視場雲量為41%，雲高在850mb左右。

圖7至圖9分別代表500mb定壓面層之等高線分佈圖，其中圖7代表傳統探空曲線所觀測得者，圖8為未使用地面資料之ITPP反演結果，圖9則為加入地面觀測資料以及反演依賴比重調整後之Modified ITPP反演結果，由500mb定壓面層(圖7至圖9)之比較，可明顯看出本研究結果相對於原始ITPP程式套有較佳的改善。圖10和圖11則為各定壓面層之ITPP與Modified ITPP反演高度值在與探空資料相比較之統計結果，統計樣本數為36個探空測站，

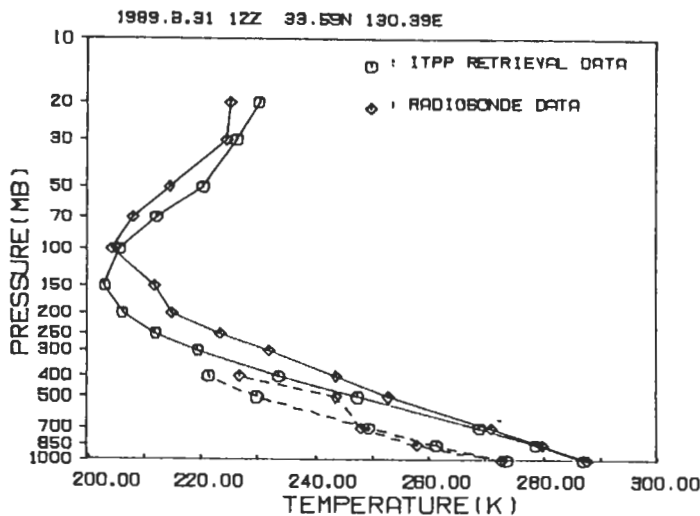


圖5 與圖3相同，但觀測地點為日本九州附近(測站編號為47807)



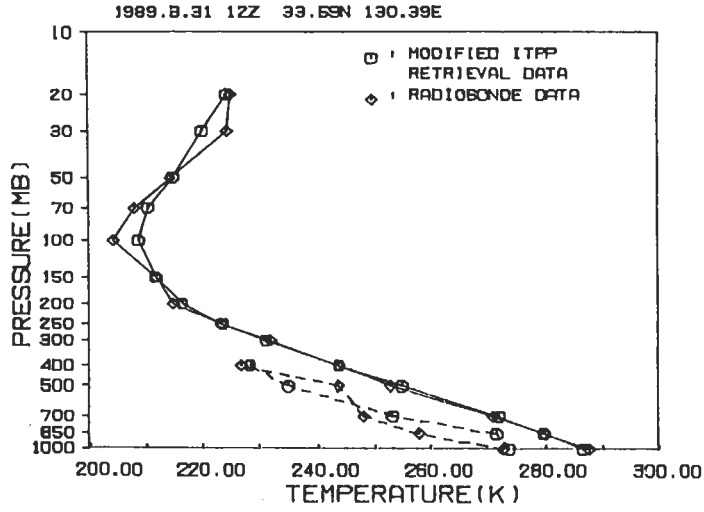


圖6 與圖5相同，但反演方法為Modified ITPP

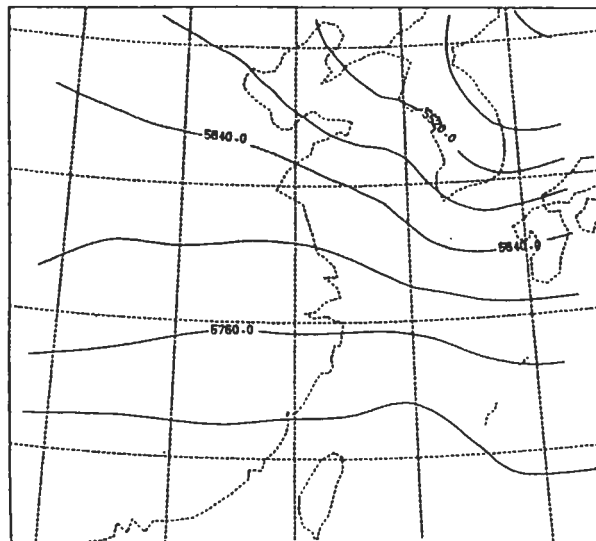


圖7 1989年3月31日1200Z傳統探空觀測得之500mb等高線圖

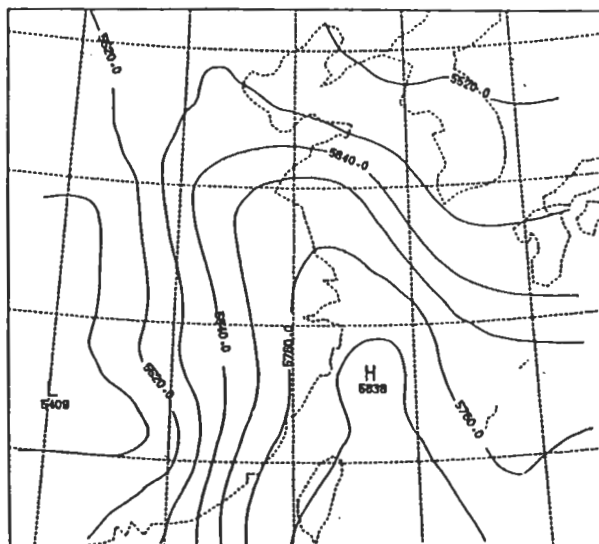


圖8 同圖7，但為ITPP之反演結果

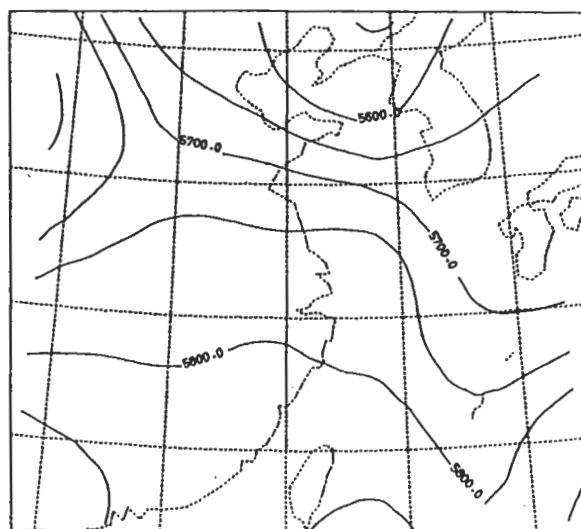


圖9 同圖7，但為Modified ITPP之反演結果

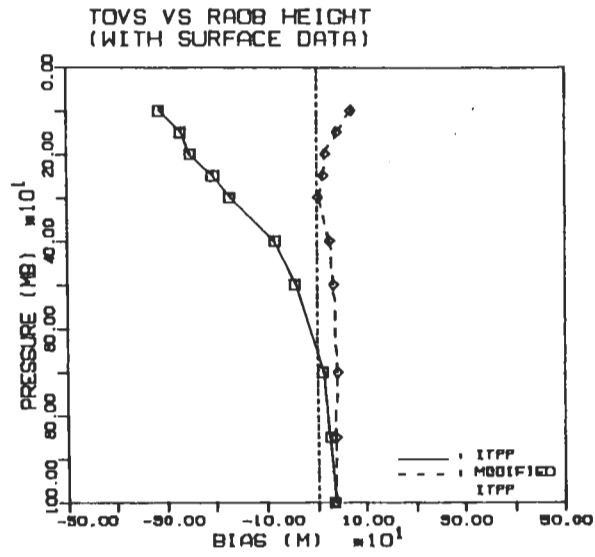


圖10 1989年12月31日1200Z ITPP 和Modified ITPP 反演所得各定壓面層高度值與傳統探空觀測高度值比較後之統計結果偏差值 (Bias)

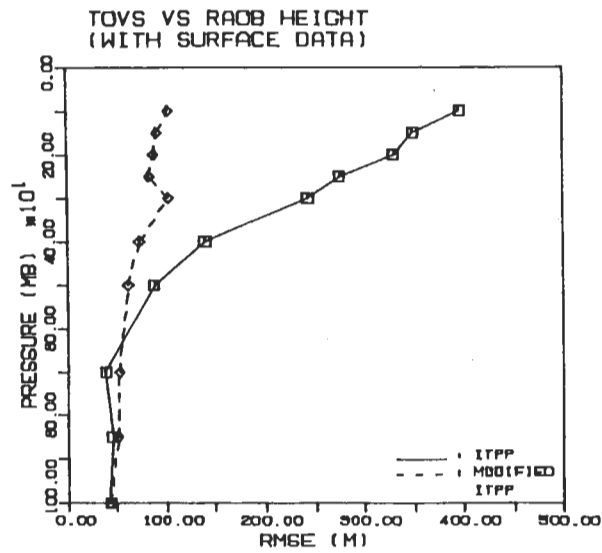


圖11 與圖10 相同，但為均方根差值(RMSE)

圖10 為偏差值(Bias)，圖11 為均方根差(Root Mean Square Error, RMSE)。為了方便比較，此時ITPP 反演結果我們亦加入了地面資料。由此二圖即可證明在高度值求取方面，本研究具有極為顯著的誤差改善。除了700mb 層處ITPP 結果有稍佳的RMSE 以外，其餘Modified ITPP 均有較佳的反演結果。表二和表三則分別為各定壓面層ITPP 和Modified ITPP 反演

表三 同表二，但為RMSE 值

(單位：公尺)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	42.39	42.39
850	45.11	51.15
700	38.10	52.43
500	87.84	61.19
400	139.27	72.77
300	242.97	102.42
250	275.41	83.14
200	330.77	87.71
150	349.37	91.33
100	396.12	102.39
平均	194.74	74.69

表二 1989年3月31日1200Z 衛星反演所得高度值與探空觀測高度值之偏差值

(單位：公尺)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	35.91	35.91
850	25.97	36.94
700	11.47	40.94
500	-42.61	33.39
400	-83.70	26.61
300	-171.18	3.97
250	-205.45	13.67
200	-251.12	17.67
150	-268.97	41.48
100	-312.88	70.91
平均	-126.23	32.15

結果與傳統探空觀測值比較後之偏差值和RMSE 值，由表上可知Modified ITPP 之偏差平均約為32.2 公尺，ITPP 則為-126.2 公尺，Modified ITPP 之RMSE 平均約為74.7 公尺，ITPP 則為194.7 公尺，因此改善情形極為明顯。

圖12 至圖14 則分別為500mb 定壓面層之溫度場分佈情形，圖12 代表傳統探空曲線所觀測得之溫度場，圖13 為未使用地面資料之ITPP 反演結果，圖

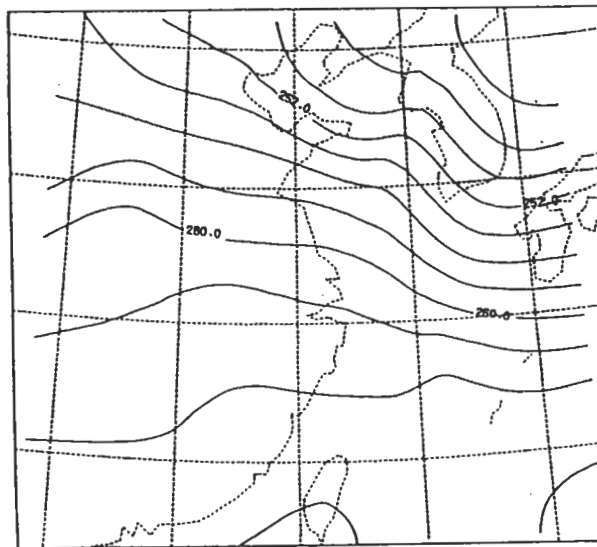


圖12 1989年3月31日1200Z 傳統探空觀測得之500mb 等溫線圖

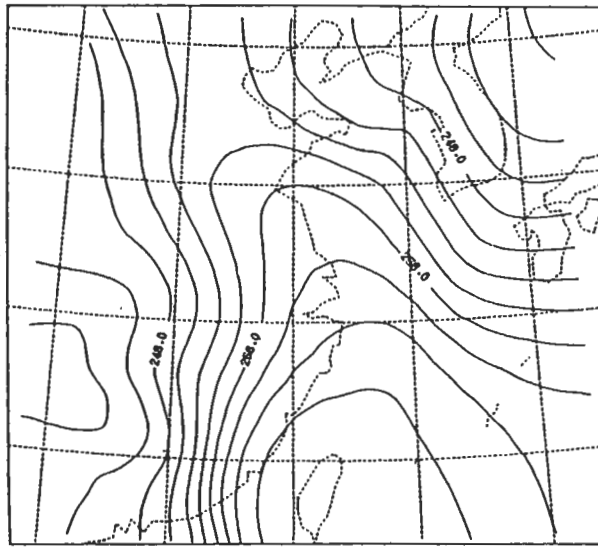


圖13 同圖12，但為ITPP之反演結果

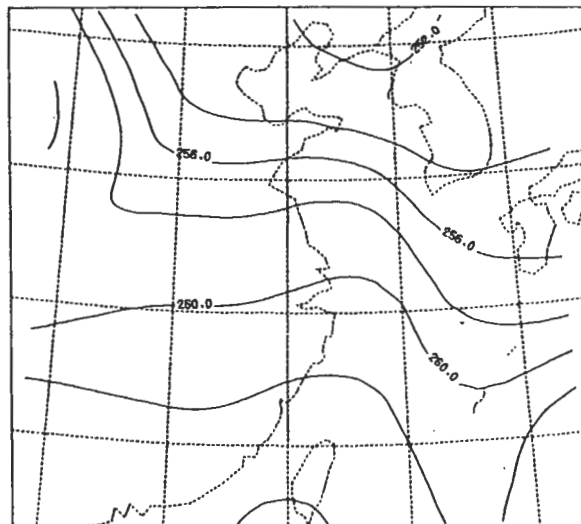


圖14 同圖12，但為Modified ITPP之反演結果



14 則為加入地面資料之 Modified ITPP 反演結果。同等高線圖一樣，Modified ITPP 之反演溫度場分佈，在與傳統探空資料比較後，亦可看出較 ITPP 反演結果有較良好的改善。圖15 和圖16 亦分別代表兩種方法在與傳統探空資料所得結果相比較後之統計結果，圖15 為各等壓面溫度之偏差值，圖16 則為

RMSE，由圖上亦可明顯看出本研究結果的強烈改善情形，此時本研究方法在各定壓層之溫度偏差平均在0.5K 左右，ITPP 反演結果則為-4.8K。而本研究方法所得結果之RMSE 平均為2.7K，ITPP 反演結果之RMSE 則平均約為6.7K。表四及表五則分別為其各定壓層之溫度偏差值和RMSE 值。

表四 同表二，但為溫度之偏差值

(單位：K)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	-1.63	-0.27
850	-2.73	-0.17
700	-2.75	0.68
500	-6.48	-1.24
400	-8.01	-1.47
300	-7.18	0.16
250	-7.12	0.66
200	-6.72	0.55
150	-3.80	2.90
100	-1.36	3.22
平均	-4.78	0.50

表五 同表四，但為RMSE 值

(單位：K)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	2.77	1.04
850	4.56	2.57
700	4.93	2.53
500	8.10	2.60
400	10.00	3.01
300	9.65	2.94
250	9.24	2.24
200	8.35	1.95
150	6.10	4.43
100	2.76	3.71
平均	6.65	2.70

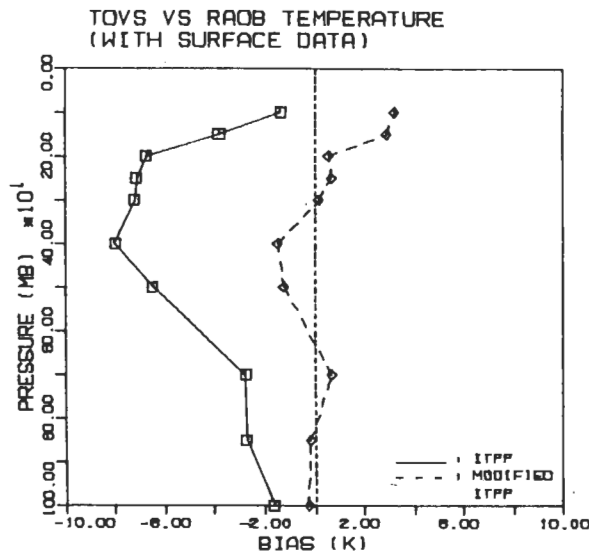


圖15 1989年12月31日1200Z ITPP 和Modified ITPP 反演所得各定壓面層溫度值與傳統探空觀測溫度值比較後之統計結果偏差值(Bias)

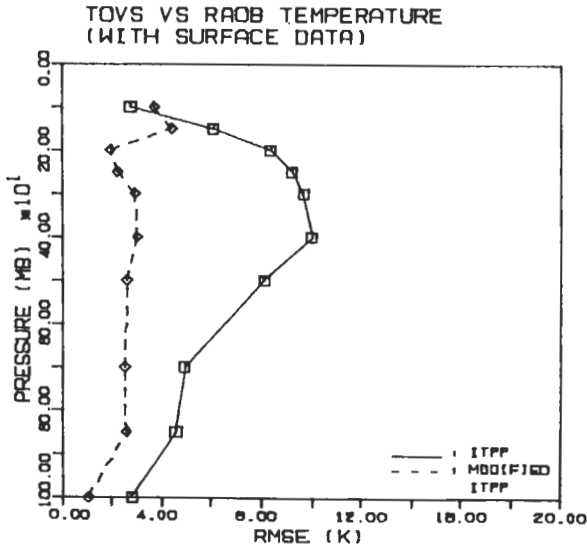


圖16 與圖15相同，但為均方根差值(RMSE)

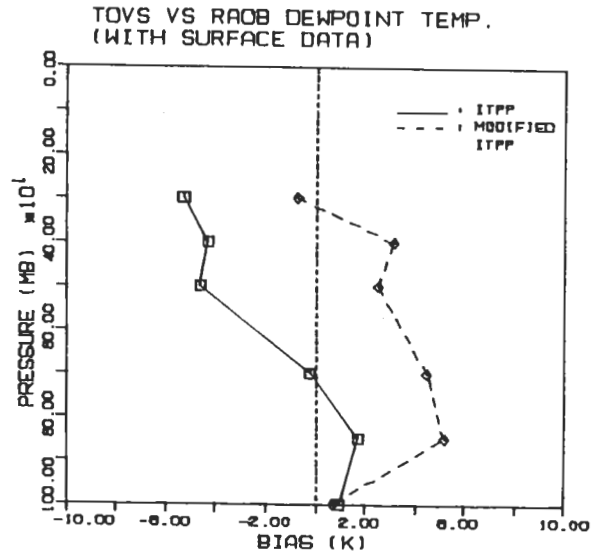


圖17 1989年12月31日1200Z ITPP和Modified ITPP反演所得各定壓面層露點溫度值與傳統探空觀測露點溫度值比較後之統計結果偏差值(Bias)

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比較後效果並不太好，此乃因除了水汽本身隨時間空間分佈的多變性外，水汽頻道的難以選擇以及其最大權重函數值高度層的難以界定，均使得水汽含量反演結果形成與傳統探空水汽觀測值有較大的偏差。圖17和圖18分別代表由ITPP和Modified ITPP反演所得之露點剖面值與傳統探空觀測各定壓層(至300mb)露點之比較統計值，圖17為各定壓層露點偏差值，平均來說ITPP反演結果反比Modified ITPP為佳，ITPP之平均偏差值約為-2.0K，Modified ITPP之平均偏差值則約為2.5K。不過以RMSE來看，則Modified ITPP有明顯的改善，其平均RMSE約為7.8K，ITPP之平均RMSE則高達10.4K。表六及表七則為各定壓層之露點偏差值和RMSE值。

若再以1989年3月30日1200Z之個案來看，圖19和20分別代表各等壓面高度值之統計結果。統計樣本數為32個探空測站，圖19為ITPP和Modified ITPP反演求得之多等壓面高度值與探空觀測所之高度值比較之統計偏差值，圖上明顯看出本研究之改善情況與前一個案非常一致。圖20則為其RMSE表示圖，亦與前一個案類似，顯示本研究所得之結果

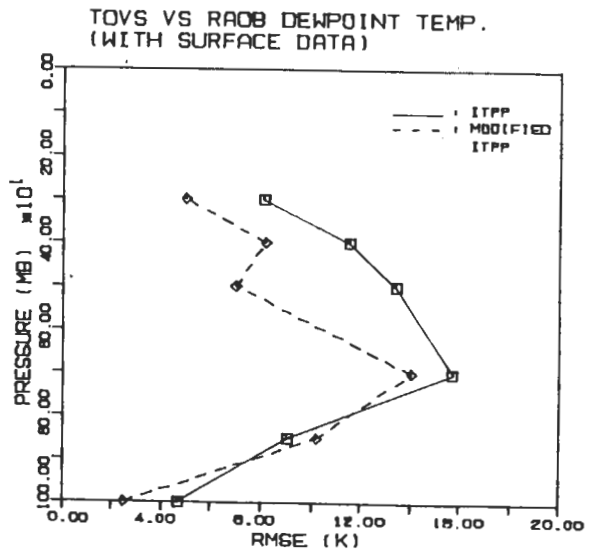


圖18 與圖17相同，但為均方根差值(RMSE)

表六 同表二，但為露點之偏差值

(單位: K)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	0.94	0.68
850	1.69	5.15
700	-0.21	4.48
500	-4.64	2.50
400	-4.34	3.15
300	-5.28	-0.72
平均	-1.97	2.54

表七 同表六，但為RMSE值

(單位: K)

反演方法 氣壓(mb)	ITPP	Modified ITPP
1000	4.67	2.46
850	9.03	10.20
700	15.71	14.04
500	13.42	6.98
400	11.52	8.18
300	8.11	4.96
平均	10.41	7.80

TOVS VS RAOB HEIGHT  
(WITH SURFACE DATA)

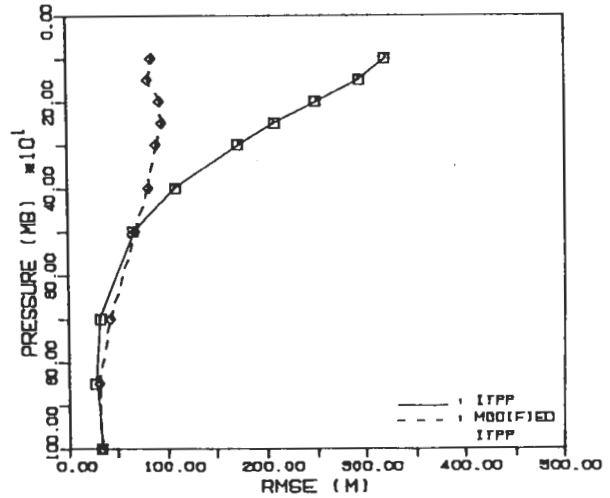


圖20 與圖19相同，但為均方根差值(RMSE)

改善，確實已具有相當的代表性。再以溫度反演結果來看，圖21和22分別代表ITPP和Modified ITPP反演之溫度剖面在與探空觀測溫度剖面比較所得之偏差值和RMSE統計圖，與前一個案相同，改善情形亦極為顯著。此外露點之統計比較圖分別亦表明在圖23和圖24上，亦與前一個案具類似之情形。綜

TOVS VS RAOB HEIGHT  
(WITH SURFACE DATA)

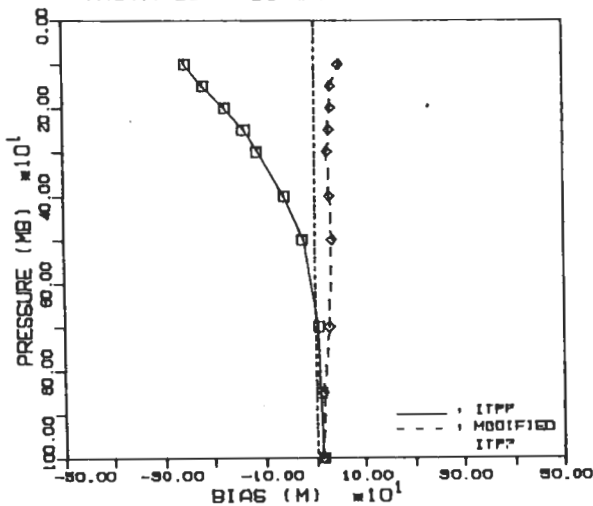


圖19 1989年12月30日1200Z ITPP和Modified ITPP反演所得各定壓面層高度值與傳統探空觀測高度值比較後之統計結果偏差值(Bias)

TOVS VS RAOB TEMPERATURE  
(WITH SURFACE DATA)

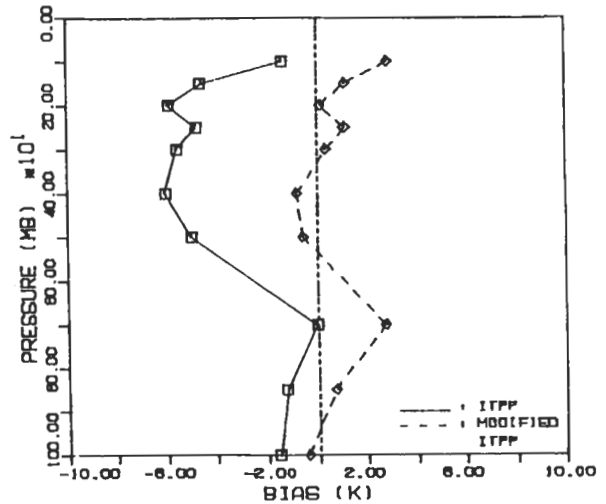


圖21 與圖19相同，但為溫度之統計偏差值(Bias)

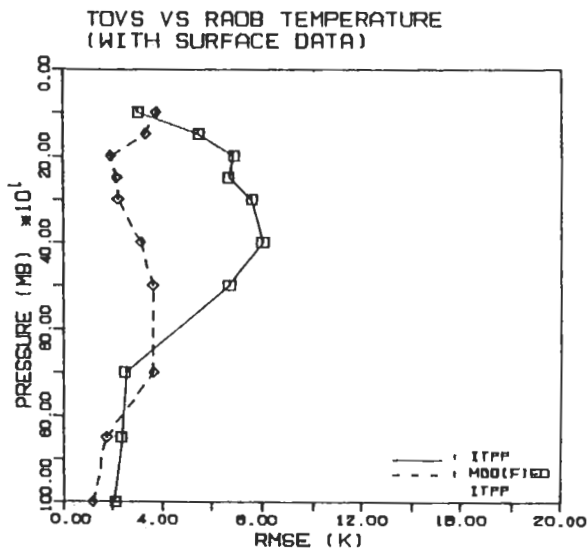


圖22 與圖20 相同，但為溫度之統計均方差值 (RMSE)

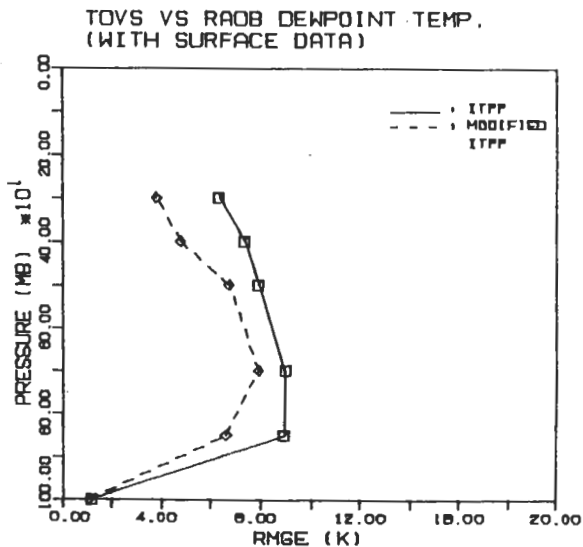


圖24 與圖20 相同，但為露點溫度之統計均方差值 (RMSE)

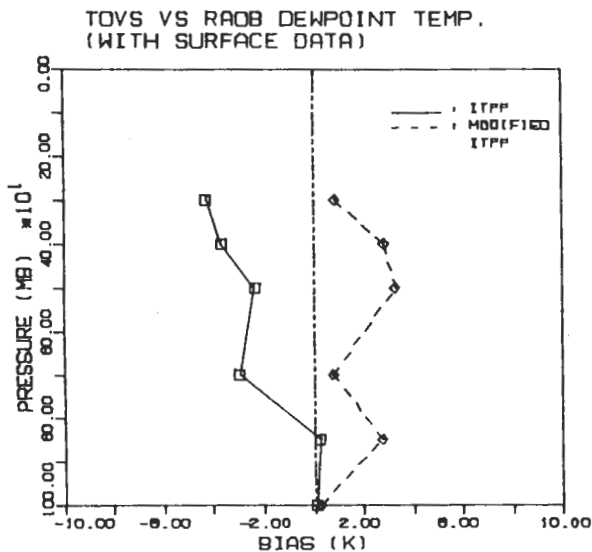


圖23 與圖19 相同，但為露點溫度之統計偏差值 (Bias)

此現象，可以說已明確顯示本研究結果已具有相當明顯的改進衛星遙測大氣垂直溫度及濕度剖面的效果。

### 六、結 論

本研究在檢測及試驗ITPP 程式套應用在台灣區附近後，亦即測試在台灣區附近NOAA 衛星觀測得之TOVS 頻道輻射值反演成大氣垂直溫度及露點剖面後，將程式套做適當之修正。主要之修正重點在TOVS 各輻射觀測頻道應用於反演時所佔依賴性之比重，以及將最接近衛星觀測時間之地面整點觀測報告納入反演方法中。應用本研究方法，在與實際探空資料相比較後，明顯地較ITPP 方法具有更小的誤差，尤其當應用在裂雲區時，本研究方法之結果，較之ITPP 方法更是具有強烈的改善效果。

由於在裂雲區求取視場中雲量及雲高的準確度時，會大大影響反演結果的精度，因此進一步改善雲區中雲參數的求取方法，將是現在或未來研究衛星遙測大氣垂直溫濕剖面的重點。利用可見光或

AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 資料來計算視場中之雲參數為一可靠與可行之方法(見劉, 1988; Coakley and Bretherton, 1982; Aoki, 1983; Liu et al., 1988), 但由於台灣區尚未正式進入衛星資料收錄日常作業的階段, 因此相關資料的取得以及配合相當困難, 以至於我們仍未能做類似的研究, 不過未來當衛星資料接收日常作業化後, AVHRR 與 TOVS 資料之配合應用, 將為衛星反演大氣垂直溫濕剖面之研究重點之一。

在密雲區由於紅外線的不透雲性, 因此反演密雲區大氣垂直剖面之希望, 全數寄託在微波頻道的應用上。尤其未來即將發射升空之 NO AA 衛星, 主要頻道即為高等微波探測器 AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit), 而由本研究已瞭解微波頻道在雲區反演大氣垂直剖面的困擾, 因此深入研究微波的特性, 以及雲區降水和地表放射率對應用微波頻道反演大氣參數的影響, 亦為未來刻不容緩的研究重點。

## 誌 謝

本研究在研究期間, 承蒙本中心唐莎莉講師在衛星資料處理方面之協助, 研究生黃白萍的資料分析與繪圖, 中心助理郭宗華幫忙研究結果之資料處理, 以及譚美玲, 薛玉如小姐在打字上之支援, 在此一併深致謝意。本研究為國科會專題研究計劃, 編號 NSC78-0202-M008-08 支持下完成。

## 參考文獻

- 柳中明, 1988: 梅雨期東南亞區 TOVS/NESDIS 分析結果之統計特徵。大氣科學, Vol. 16, No. 1, 75-94。
- 劉振榮, 1988: 利用可見光資料計算雲量以改進衛星遙測之大氣溫濕剖面。天氣分析與預報研討會論文彙編, 203-210。
- Aoki, T., 1983: Clear Radiance Retrieval of HIRS Channels with the Use of AVHRR Data. *Meteorol. Satellite Center, Tokyo, Japan.*
- Coakley, J.A., F.P. Bretherton, 1982: Cloud Cover from High-Resolution Scanner Data: Detecting and Allowing for Partially Filled Fields of View. *J. Geophys. Res.*, 87, 4917-4932.
- 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. 12, 1309-1321.
- Smith, W.L., H.M. Woolf, C.M. Hayden, and A.J. Schreiner, 1985: The Simultaneous Retrieval Export Package. *The Technical Proceedings of the Second International TOVS Study Conference, February 18-22, 1985, 224-253.*
- Yen, T.C., 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.*



Algorithm of Atmospheric Sounding Retrieval  
from Satellite Remote Sensing in Taiwan Area

Gin-Rong Liu

Center for Space and Remote Sensing Research  
National Central University

(manuscript received February 3 1990; in final form March 3 1990)

**Abstract**

The purpose of this study is to develop and construct an atmospheric temperature and moisture retrieval procedure, suitable for the operational application in Taiwan area, from the radiances observed by TOVS (Tiros Operational Vertical Sounder) housed in the US NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) series polar orbital satellite. Although an ITPP (International TOVS Processing Package) had developed by CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) of University of Wisconsin-Madison, the results in applying this package in Taiwan area are very poor. The basic method of this research is to understand the error sources of a vertical sounding retrieval procedure applied in this area and to improve them (such as the use of surface data). And using HIRS' (High Resolution Infrared Radiation Sounder) channel 5, 7 and 20 to estimate the cloud amount and height. Thereafter, substituting the cloud amount and height into the cloudy infrared radiative transfer equation and applying the "simultaneous physical retrieval method" (Smith et al., 1985), which corrected by suitable inverse weight for every TOVS channels to determine the vertical temperature and moisture profiles. The results obtained from this study are compared with the radiosonde observations. The intercomparisons reveal the improvement in the accuracy of this algorithm.

**Key words:** Satellite Remote Sensing, Retrieval method, Sounding