

應用 AVHRR 資料在 HIRS/2 視場雲量估算之研究

劉振榮

陳萬金

國立中央大學太空及遙測研究中心
及國立中央大學大氣物理研究所

(中華民國八十一年十二月八日收稿；中華民國八十二年二月十六日定稿)

摘 要

利用衛星觀測的輻射資料反演大氣垂直溫濕剖面是氣象衛星除了提供衛星雲圖以外，另一項主要的貢獻。而在溫濕剖面的反演過程中，反演單元視場內由於雲的存在所產生的問題是最難以解決的，而這也是造成衛星資料反演結果在和傳統探空比較上最主要的誤差來源之一。本研究的目的即是利用 AVHRR 高解析度的輻射觀測資料來估算 HIRS/2 視場內的雲參數，以供未來更準確反演雲區大氣垂直溫濕剖面之用。研究中使用 Aoki (1980) 所提出 HIRS/2 和 AVHRR 視場幾何位置對應的方法，並選用大量晴空和完全雲遮蓋的視場樣本，分別建立 AVHRR 第四頻道與 HIRS/2 第八頻道輻射強度的線性迴歸關係式，再配合 HIRS/2 的輻射強度觀測值以求得 HIRS/2 裂雲視場中的有效雲量。

在研究結果的驗證上，本研究將估算得之 HIRS/2 視場的有效雲量值分為六類，並以相對應位置的 AVHRR 視場所偵測到的有效雲量為參考值，以誤差矩陣的形式來評估 HIRS/2 反演有效雲量分類的準確度。由十二個個案的資料顯示，不論冬季或夏季的個別個案以及綜合的個案，其誤差矩陣在主軸上顯示之準確率均在 83% 至 89% 之間，變化不大，代表本研究方法的結果極為穩定，足供未來衛星資料在裂雲區反演大氣垂直溫濕剖面時之應用。

關鍵詞：衛星遙測，雲量估算

一、前 言

自從美國國家海洋暨大氣總署 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 在 1978 年發射第一顆載有作業用垂直探測輻射儀之 TIROS-N (Television and Infrared Observation Satellite)/NOAA 系列衛星升空以來，全球性大氣垂直溫濕剖面反演便進入了作業階段。經由氣象衛星輻射儀觀測到的多頻道輻射強度值，便可反演出三度空間的溫濕度分佈情形，這正是氣象衛星除了提供紅外線及可見光雲圖外，另一項重要的貢獻。衛星反演的大氣垂直溫濕剖面 and 傳統的探空比較，基本上有四項差異：第一，衛星輻射觀測值是觀測視場 (FOV; Field of View) 涵蓋面積內地面及各層大氣放射出之輻射的平均輻射強度值（例如在衛星正下方，HIRS/2

(High-resolution Infrared Radiation Sounder) 視場的輻射觀測值是其視場涵蓋面積，238平方公里，內的平均輻射強度值），因此利用衛星輻射觀測值所反演的探空值正是這面積內的平均垂直溫溼剖面。而傳統的探空觀測值是探空儀隨氣球上升時，所觀測到各氣壓層上某一定點的溫溼度值，其並非是各氣壓層上某一範圍內的溫溼度平均值。又因為探空氣球上升時受到水平風場的吹送，所以探空儀所觀測到的垂直溫溼剖面，事實上並非在同一個地理經緯度上。第二，衛星反演值之水平解析度一般均較傳統觀測值為佳，但是在垂直方面因受限於輻射儀本身光譜解析度的限制，所以垂直解析度不如傳統探空觀測值。第三，衛星的輻射觀測值是由同一組輻射儀觀測的，所以其觀測誤差值具一致性；但是傳統的探空觀測值在不同測站卻是由不同組儀器所觀測的，所以其觀測誤差值相當不一致。第四，衛星輻射值觀測的時間相當短暫（對一個 HIRS/2 的視場而言，約 0.1 秒），但是傳統的探空值其觀測時間相對上卻是相當的漫長（一般而言，傳統探空的觀測時間約需一個半至二個小時）。除了以上四個基本差別外，對於廣大的洋面及人煙稀少的沙漠、極圈等地區，由於缺少傳統探空觀測，所以衛星的探空反演值是唯一的，這對於這些地區天氣型態的預報及氣候變遷的研究是相當重要的。除此之外，衛星反演的垂直溫溼剖面亦可運用在中尺度天氣現象的分析與預報上，也可運用在數值預報模式中。由於衛星反演的探空單元，其解析度約為 75 公里 \times 75 公里（即 3 \times 3 個 HIRS/2 FOV），依照 Orlanski (1975) 的分類這是屬於 meso - β 尺度（20-200 公里），所以應用衛星反演的探空值，便可分析及預報中尺度的天氣現象，而傳統的探空觀測值只能分析綜觀尺度 (synoptic scale) 的天氣現象，這一點是衛星反演值所特有的，也是傳統的探空觀測所做不到的。CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Service) 曾經應用衛星反演的探空值在北美地區即時中尺度天氣分析與預報上，結果獲得良好的成效 (Smith, 1983)。

雖然衛星反演的探空資料有許多方面的貢獻，但反演值本身仍有二個主要缺點存在，一即衛星反演值的垂直解析度不夠理想，另一則為雲對衛星反演值所造成的影響，目前尚無令人滿意的改善結果。對於第一個缺點，美國 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 目前正計劃更新 TIROS-N/NOAA 系列衛星上的微波探測單元 MSU (Microwave Sounder Unit) 為高級微波探測單元 AMSU (Advanced Microwave Sounder Unit)，高級微波探測單元的水平和垂直解析度將較目前的微波探測單元大為改善，所以這個缺點未來將可獲得改善。至於第二缺點，由於雲的存在對衛星的紅外頻道輻射觀測值造成很複雜的影響，因此在求解輻射傳遞方程以反演垂直溫溼剖面時，必須將雲所造成的效應考慮進去。因此反演法中對雲參數如雲高、雲頂溫度和有效雲量（即雲量和雲放射率的乘積）的估算結果，將對最後的反演結果造成很大的影響。Smith 等人 (1985) 以同時物理反演法 (simultaneous physical retrieval method) 求解有雲時的輻射傳遞方程，而同時反演出地表溫度和大氣垂直溫溼剖面，並以 ALPEX (Alpine Experiment) 期間 TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) 的衛星觀測資料（這些觀測資料是由國際輻射委員會的 TOVS 工作小組 (International Radiation Commission's TOVS working Group) 選擇用來做各種反演法比較之用）做測試，測試結果證實了同時物理反演法所得到的垂直溫溼剖面較其他方法得到的結果更為準確。這主要是同時物理反演法運用了所有的衛星觀測頻道輻射值，一起同時反演出地表溫度和大氣垂直溫溼剖面值，排除了在反演過程中待求之大氣參數值間互相依賴的矛盾性；而在疊代法反演中 (Chahine, 1970; Smith 等人, 1983; Susskind 等人, 1984) 因為在求溫度垂直剖面時，必須假設水汽垂直剖面是已知的，而在求水汽垂直剖面時，亦必須假設溫度垂直剖面是已知的，因此造成反演過程中待求大氣參數值之互應已知的先決條件，以至

於降低了反演果的準確度。儘管同時物理反演法有諸多較其他反演法的優點存在，但其仍有三個主要的缺點存在。第一，衛星輻射儀的觀測噪音誤差(noise error)仍然過大。第二，求解有雲時的輻射傳遞方程容易遭遇到病態的逆矩陣(ill-conditioned inverse matrix)，此時解將很不穩定。第三，雲參數的求取過度地依賴初始垂直猜測剖面。對於第一個缺點，一般採用 3×3 陣列的視場為一探空反演單元，取其權重平均的頻道輻射觀測值進行反演，以便降低儀器的噪音誤差，改善後的噪音誤差理論上只有原來噪音誤差的三分之一。對於第二個缺點，可採用逆矩陣的平滑解(smoothness solution)，即加入適當的約束條件，使解能穩定下來。對於第三個缺點，Huang (1986)曾經嘗試將有效雲量及雲高視為變數，推導出含有效雲量及雲高變化的輻射傳遞方程，並以同時物理反演法同時求出有效雲量、雲高、地表溫度及大氣垂直溫濕剖面，但因有效雲量變數比其他變數小一個數量級，所以有效雲量對誤差相當敏感，所以不容易得到一個可靠的有效雲量值。而雲參數估算的精度，將顯著影響垂直溫濕剖面反演結果的準確度，一般衛星資料反演結果與探空資料相比較其均方根誤差有隨反演單元中有效雲量增多而變大的趨勢(劉與陳，1992)。

改進雲參數的求取方法是提升大氣垂直溫濕剖面反演精度的重點之一，自從Aoki (1980)提出HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀視場的幾何位置相對應關係後，利用AVHRR的輻射資料求取HIRS/2視場的雲參數，便成為改進大氣垂直溫濕剖面精確度的可行方法之一。這是因為AVHRR視場的解析度(在衛星正下方為1.1公里)較HIRS/2視場的解析度(在衛星正下方為17.4公里)高出很多，在同一地理位置上一個HIRS/2的視場可容有300至450個AVHRR的視場(依不同的掃描角度而有所變化)，所以利用多光譜的AVHRR輻射資料能精確地求得HIRS/2視場內的有效雲量。

在反演大氣垂直溫濕剖面的過程中，對於均勻的晴空視場而言，衛星頻道所觀測到的輻射強度值是由來自地表及地表上各層大氣的輻射貢獻，所以可直接反演出地表溫度及地表上的垂直溫濕剖面。另外對於均勻的完全雲遮蓋視場而言，衛星頻道所觀測到的輻射強度值是由來自雲頂及雲頂以上各層大氣的輻射貢獻，所以也可直接反演出雲頂溫度及雲頂以上的垂直溫濕剖面。但是對於不均勻的部份雲遮蓋視場而言，因為其是由一部份的晴空區及一部份的密雲區所組成，所以必須先計算該視場內所佔的有效雲量，然後才能反演出地表、雲頂溫度及各層大氣的垂直溫濕剖面。不過由於HIRS/2輻射儀受限於本身較低的解析度，所以很難採用鄰近周圍晴空和密雲視場的輻射值來求取裂雲視場內的有效雲量。因此若要改善裂雲視場中垂直溫濕剖面反演值的精確度，則必須設法發展較精確的雲參數求取法。本研究就是針對此需求，利用高解析度的AVHRR多光譜輻射資料來求取解析度較低的HIRS/2裂雲視場內的有效雲量，因為AVHRR的解析度較高，所以較容易在HIRS/2裂雲視場中找出AVHRR的晴空視場及完全雲遮蓋的視場，而若能預知在晴空情況下HIRS/2視場和AVHRR視場輻射強度的關係式，那麼便能藉由該關係式求得HIRS/2裂雲視場中晴空部份的輻射強度值。同理，若能預先求出完全雲遮蓋情況下HIRS/2視場和AVHRR視場輻射強度的關係式，那麼亦能藉由該關係式求得HIRS/2裂雲視場中完全雲遮蓋部份的輻射值。如此再加上已知的HIRS/2裂雲視場輻射觀測值便能求得裂雲視場內的有效雲量。而由於HIRS/2輻射儀第八頻道和AVHRR輻射儀第四頻道之光譜波長範圍很接近，且其光譜反應函數均算標準，亦即均接近方波(如圖1所示)，因此其頻道輻射強度值彼此間的相關性應該很高，所以本研究即分別收集了大量完全晴空及完全雲遮蓋下HIRS/2第八頻道的輻射強度值和AVHRR第四頻道的輻射強度值，以此建立這兩個頻道晴空輻射強度

的迴歸關係式及雲區輻射強度的迴歸關係式，然後再利用這兩個關係式以求取HIRS/2裂雲視場中的晴空輻射強度、雲區輻射強度以及其有效雲量。

表1 AVHRR 五個頻道的波長範圍、地面分辨率和觀測目的。

頻道序號	波長範圍 (微米)	種類	分辨率 (公里)	觀測目的 (主要為雲圖)
1	0.58 ~ 0.68	可見光	1.1	雲分布
2	0.72 ~ 1.10	近紅外	1.1	水陸分布及未溶化冰雪
3	3.55 ~ 3.93	紅外	1.1	海面溫度及雲頂溫度
4	10.3 ~ 11.3	紅外	1.1	海面溫度及雲頂溫度
5	11.5 ~ 12.5	紅外	1.1	海面溫度及雲頂溫度

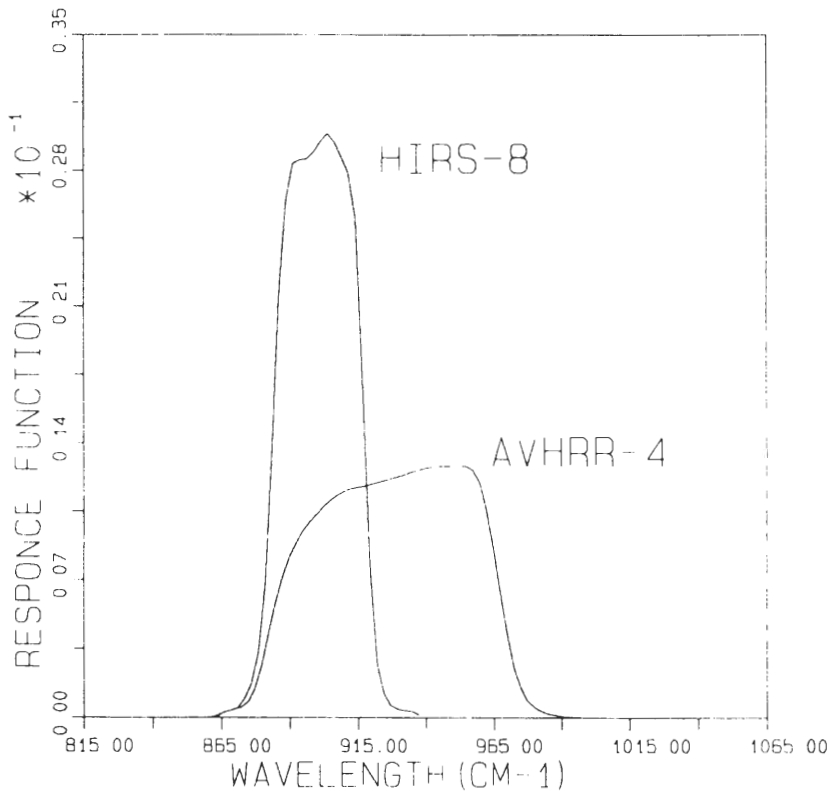


圖1 HIRS/2第八頻道和AVHRR第四頻道的波長範圍及其儀器反應函數。

二、資料蒐集與處理過程

本研究所使用的資料是中央氣象局衛星接收站所接收 NOAA-11 衛星上 AVHRR 及 HIRS/2 兩種輻射儀所觀測的光譜輻射資料。AVHRR 輻射儀共有五個光譜頻道，其頻道特性如表1所示；

HIRS/2 輻射儀共有二十個光譜頻道，其頻道特性則可參考過去已發表之論文（劉，1990）。研究中使用 AVHRR 第一頻道（可見光頻道）、第二頻道（近紅線頻道）及第四頻道（紅外線頻道）之輻射觀測資料做為將 AVHRR 視場分類為晴空、完全雲遮蓋及部份雲遮蓋等三類視場的根據。另外由 AVHRR 第四頻道及 HIRS/2 第八頻道輻射資料中分別選取大量晴空及完全雲遮蓋時的輻射強度值，以便建立晴空及完全雲遮蓋時兩種輻射強度的迴歸關係式。由於這兩種頻道資料都屬於窗區頻道，因此可以用來偵測雲的存在，並進而求取 HIRS/2 裂雲視場中的有效雲量。

AVHRR 的原始影像資料必須先經過幾何定位和輻射校正兩個處理過程才能運用至各種氣象參數的求取，幾何定位就是要確定 AVHRR 影像上任何一個視場的地理位置，而輻射校正就是要確定任何一個視場的輻射強度值。影像上任何一個視場地理位置是由已知的衛星的軌道參數（衛星高度、衛星運動周期、衛星軌道傾斜角 (orbital inclination)、衛星昇交點赤經 (right ascension)、及昇交點時刻）按照衛星軌道運動原理以及各種輻射儀掃描特性計算出來的（詳細原理說明以及實際計算步驟請參閱曾忠一，大氣衛星遙測學第五章，雲圖的定位，1988）。輻射校正是先求取各頻道的校正係數（線性校正中的斜率與截距），然後再以輻射頻道所得的計數 (counter) 換算為反射率或輻射強度值。

HIRS/2 的輻射資料在取得時已經經過中央氣象局衛星接收站的前處理，即已知每個 HIRS/2 掃描視場的經緯度及亮度溫度值，雖然不知道其處理的詳細過程，但相信幾何定位及輻射校正的原理是一樣的。在資料處理過程中發現中央氣象局衛星接收站所接收的 HIRS/2 輻射資料設定在八十條掃描線以內，70 條掃描線 56 個掃描點，而登錄的 AVHRR 輻射資料設定為 1024 條掃描線，每條掃描線 1024 個掃描點（原有 2048 個掃描點），所以對於每次全部接收到的 AVHRR 及 HIRS/2 輻射資料，真正能配合使用的只有 780 個 HIRS/2 視場（原有 4480 個）的範圍。另外在對 AVHRR 輻射資料的處理過程中，發現在衛星降交（由北往南運動）的飛行型態所做的觀測，其五個頻道的資料檔案中所登錄的輻射資料起始接收時間有二種不同的值，第一、第三和第五頻道是一種起始接收時間，而第二和第四頻道又是另外一種起始接收時間。而光憑衛星軌道參數計算出任何一個掃描點的地理經緯度，實在無法驗證計算結果的對錯，最好的驗證方法就是將經緯線及海岸線套合在原始影像上，只要不是所有的原始影像都為雲所遮蓋，就可輕易地判斷出幾何定位是否正確，也可分辨出那一種資料起始接收時間是正確的。本研究於是挑選一個較晴朗的影像做幾何定位，經實際套合並比較後發現第一、第三和第五頻道的資料起始接收時間是正確的，而第二和第四頻道的資料起始接收時間是錯誤的，它比正確的時間快了 160 秒左右。而已知衛星在地面上投影的速度為每秒 6.6 公里，所以 160 秒的時間誤差將造成在衛星前進方向約 1100 公里的誤差，如此將使得整個原始影像約偏移了三度經度和十度緯度。對於衛星昇交的型態，一般並沒有像衛星降交型態的錯誤發生，其五個頻道所登錄的資料起始接收時間都是一致且正確的，這可由圖 2 中經緯線及海岸線套合在 AVHRR 原始影像上台灣西部海岸線與影像約略相吻合的情形看出來。雖說對整體而言套合的情形是良好的，不過仍有些地方存在著些微的差距，例如台灣西北部海岸線的位置和影像上的海岸線位置仍相差約有四條掃描線之距（約 5 公里），造成這個誤差的可能原因之一是衛星軌道參數的預報值不夠精確，因為衛星昇交赤經是由某一時刻衛星軌道預報值按照衛星固定的西退經距速率值計算出來的。而 TIROS-N/NOAA 系列衛星的軌道參數預報值都由 NESS (National Earth Satellite Service) 事先計算出來，然後經由地球同步衛星或電傳打字機送到世界各地的衛星接收站。由於該資料是預報值，所以有其有

效期，一般其有效期約略是三天，若衛星接收站未能在預報有效期內更新其軌道參數預報值，則會產生幾何定位上的誤差，嚴重的話甚至連衛星天線都追蹤不到衛星正確的位置，也就是說接收不到衛星傳送下來的訊號。另外一個造成誤差的可能原因是衛星影像在做幾何定位時都假設地球和衛星的運動軌道是正圓形，但事實上地球和衛星軌道都是橢圓形，所以在這樣的假設之下也會造成一些誤差。

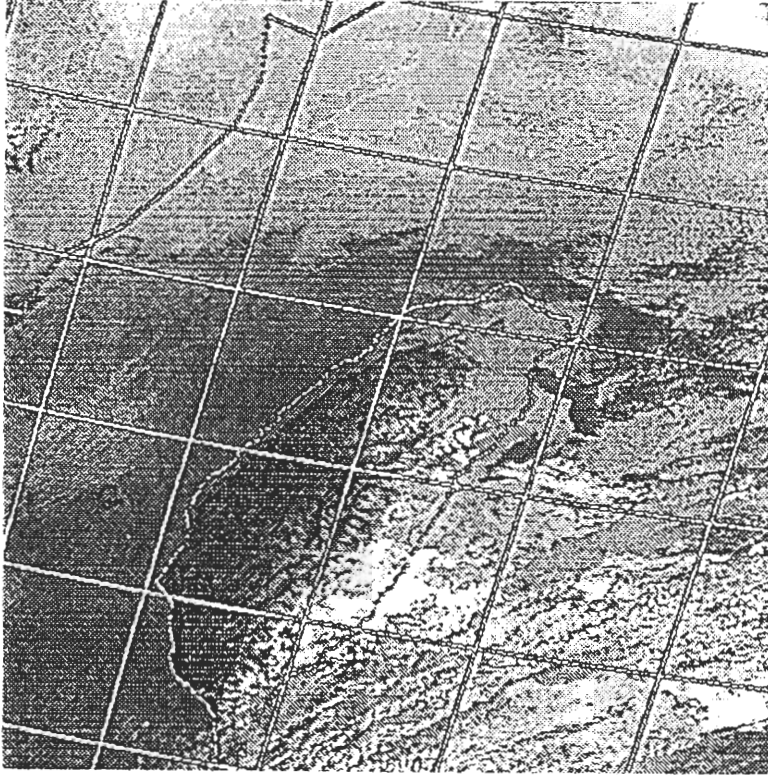


圖2 1991年1月22日05 Z通過台灣地區的NOAA-11衛星在昇交軌道上所拍攝的AVHRR第一頻道可見光影像，此影像已做過幾何校正並套合上經緯及海岸線。

由上述處理氣象衛星資料所遭遇的問題與經驗可知，不論在實作上或研究上只要有關幾何定位，就必須先將經緯線和海岸線套合在原始的影像上才能真正地確定影像幾何定位是否正確。不過對於氣象衛星資料的應用，一般適當的幾何精確度即可滿足所需，因為對許多氣象參數而言，它並不是某一定點的數值，而是某一平面範圍內的平均值。例如衛星資料反演的垂直溫濕剖面，即是代表其反演單元之中心點周圍35公里內的平均垂直溫濕剖面，因此影像的地理位置和真正的地理位置相差5公里並不太影響其代表性。

三、研究方法

(一) HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀視場的幾何對應關係

HIRS/2 和 AVHRR 兩種輻射儀雖然都是裝載在 TIROS-N/NOAA 系列衛星上，但其掃描參數（如表 2 所示）和掃描型態（HIRS/2 輻射儀的掃描形態為從衛星前進的左邊向右邊掃描，而 AVHRR 輻射儀的掃描形態恰巧相反，為由衛星前進的右邊向左邊掃描，如圖 3 所示）都不一樣。若要配合應用這兩種輻射儀的輻射資料，則最基本的工作就是要計算出這兩種輻射儀掃描視場相對應的幾何位置關係。Aoki (1980) 首先提出一套用來計算兩種輻射儀視場的幾何位置相對應關係的方法，其即為以衛星前進的方向為縱軸（Y 軸），再取某一條垂直於縱軸的直線為橫軸（X 軸），然後按照 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀的掃描參數及掃描形態分別計算出其某個視場所代表的 X, Y 座標及涵蓋範圍，而這兩種輻射儀視場的交集便是彼此相對應的幾何位置。因為 HIRS/2 的解析度較低，其掃描視場的水平涵蓋範圍較 AVHRR 掃描視場的水平涵蓋範圍大得多，所以在一個 HIRS/2 視場內（如圖 3 中較大的橢圓所示）可容有許多 AVHRR 視場（如圖 3 中較小的橢圓所示）。在配合應用這兩種輻射資料時就是取 HIRS/2 大橢圓內的輻射值與所有包含在大橢圓內的 AVHRR 小橢圓的平均輻射值做比較及求其關係式。

表 2 HIRS/2 和 AVHRR 兩種輻射儀的掃描參數。

輻射儀	HIRS/2	AVHRR
完成一條掃描線所需時間（秒）	6.4	1/6
光學視角（度）	1.25	0.00745
間躍角度（度）	1.8	0.0541
最大掃描角（度）	±49.5	±55.4
解析度（公里）（衛星正下方）	17.4	1.1
頻道數（個）	20	4(NOAA - 10), 5(NOAA - 11)

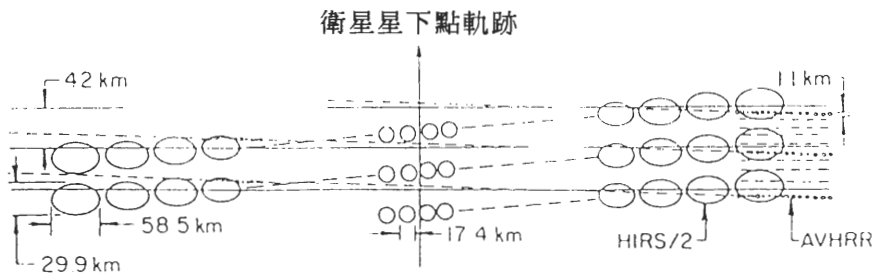


圖 3 HIRS/2（大橢圓）和 AVHRR（小橢圓）兩種輻射儀的掃描型態。

(二) HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的訂正

HIRS/2 和 AVHRR 是兩種不同的掃描輻射儀，雖然彼此的掃描型態相反，但理論上其掃描線的中心軸應該是重疊在一起的。不過由於衛星在太空運行中 HIRS/2 和 AVHRR 兩種輻射儀不斷地轉動以便對地球及外太空進行掃描，而輻射儀在轉動時會因受到摩擦力的影響，使得轉動軸受到磨損，長期累積下來便使得 HIRS/2 和 AVHRR 兩種輻射儀的相對位置產生偏移，因而導至其掃描線的中心軸會有所偏差以致無法重疊在一起。圖 4 即描述 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀

掃描線中心軸偏差的情形，即HIRS/2掃描線的中心軸 $C'_1C'_2$ 和AVHRR掃描線的中心軸 C_1C_2 並不重疊在一起而有所偏差。這種相對偏差在計算HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀視場的幾何對應關係前必須先加以訂正，否則將會產生系統性的誤差。而所謂相對偏差的訂正，簡單地說就是以HIRS/2的掃描影像為基準，再將整個AVHRR掃描影像做平面平移，以使得HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀掃描線中心軸重疊在一起。亦即將圖4中整個AVHRR掃描線的範圍 $A_1A_2A_3A_4$ 平移至 $A'_1A'_2A'_3A'_4$ ，也就是將原來的掃描線的X座標值 I 修正為 $I + \delta I$ ，原來的掃描視點的Y座標值 J 修正為 $J + \delta J$ 。

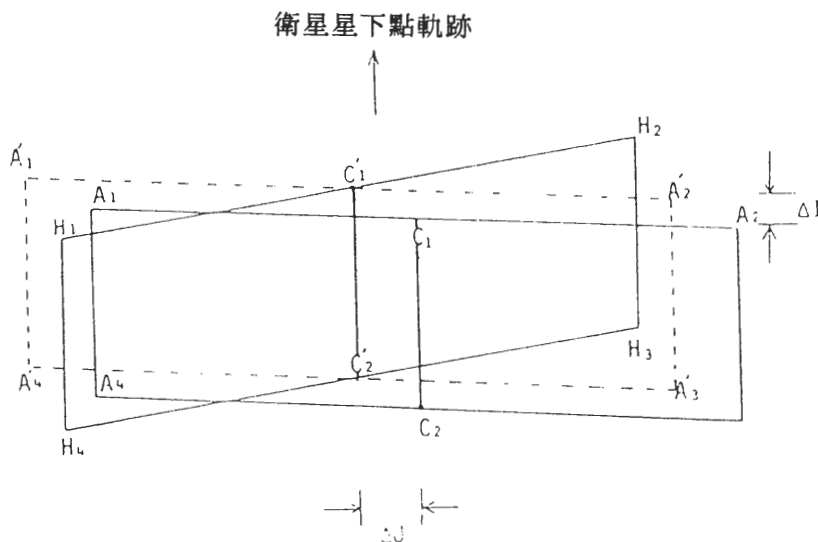


圖4 AVHRR掃描範圍($A_1A_2A_3A_4$)相對於HIRS/2掃描範圍($H_1H_2H_3H_4$)的偏差， $A'_1A'_2A'_3A'_4$ 是AVHRR沒有偏差的掃描範圍。

由於衛星和地球都是旋轉的星體，所以在計算Y座標時除了考慮衛星在地面投影速度所行走的距離之外，也必須計及地球本身旋轉所造成Y軸方向距離的變化。圖5中 θ_A 是AVHRR掃描線和X軸的夾角， θ_{AH} 是HIRS/2掃描線和AVHRR掃描線的夾角，圖上實線是假設地球靜止不動時的情形，而虛線則是考慮地球旋轉時掃描線的位置。此外如前所述HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的現象也將造成 θ_A 與 θ_{AH} 的改變。因此，HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀掃描線中心軸完整的相對偏差訂正就是要求出 ΔI 、 ΔJ 、 θ_A 和 θ_{AH} 這四個掃描參數訂正值。

假設HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀掃描線中心軸沒有任何相對的偏差，那麼其如下式中的變異數 σ 應該有極小值

$$\sigma = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [\bar{T}_A(l) - T_H(l)]^2$$

其中 L 是一條HIRS/2掃描線上的掃描視場的個數($L = 56$)， l 是掃描視場的序號， T_H 是HIRS/2視場內的亮度溫度， \bar{T}_A 是相對應於HIRS/2視場內所有AVHRR視場的平均亮度溫度。因此在實際做法上，只要找出一組滿足最小 σ 值(或 σ 值在某一小值範圍內，如0.12 K)的掃

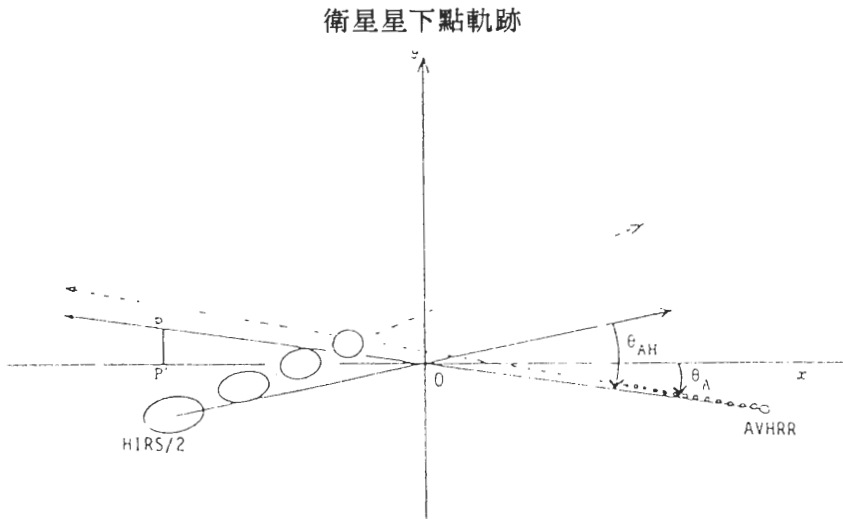


圖5 θ_{AH} 與 θ_A 的定義和 HIRS/2 與 AVHRR 輻射儀掃描鏡旋轉軸不一致的掃描型態（實線）及地球自轉所形成的偏移現象（虛線）。

描參數訂正值，那麼就可將此訂正值應用至求取 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀視場的幾何相對應關係上。

（三）AVHRR 視場的分類與其視場內的有效雲量

AVHRR 視場的分類是本研究在應用其輻射資料時需事先處理的工作之一，例如若被分類為晴空視場，則可據以推得地表參數（如海面或地面之表面溫度、反射率和植被指數(vegetation index)等），另外若被分類為完全雲遮蓋視場，也可據以推得雲參數（如雲頂溫度、光學厚度(optical thickness)和液態水含量(liquid water content)等），而若分類為部份雲遮蓋視場，也能據以求得有效雲量。AVHRR 輻射儀共有五個頻道，因此可利用其不同頻道對視場內目標物觀測時所產生不同的光譜特性來加以分類。本研究針對 AVHRR 視場內有效雲量的多寡，將 AVHRR 視場分類為晴空視場（有效雲量 N 為 0.0）、部份雲遮蓋視場（有效雲量 N 在 0.0 與 1.0 之間）和完全雲遮蓋視場（有效雲量 N 為 1.0）等三大類。一般晴空視場的特性是可見光頻道反射率低，紅外線頻道亮度溫度高；而完全雲遮蓋視場的特性是可見光頻道反射率高，紅外線頻道亮度溫度低；若為部份雲遮蓋視場則其可見光頻道反射率及紅外線頻道亮度溫度均介於前兩者之間。AVHRR 第一頻道的可見光反射率，事實上是雙向反射率（bi-directional reflectance），它隨著太陽入射方向、衛星觀測方向及物體表面反射特性而改變，因此不能當成物體表面真正的反射率。Saunders 和 Kriebel (1988) 將雙向反射率除以太陽天頂角的餘弦定義為正規化的反射率(normalized reflectance)，並用來近似物體表面真正的反射率，即

$$S = R / \cos\theta$$

其中 S 是正規化的反射率， R 是 AVHRR 第一頻道的雙向反射率， θ 是太陽天頂角。每一個 AVHRR 視場的太陽天頂角可由已知視場所在的經緯度和其掃描時的地方標準時(local standard time)經由球面三角學的公式計算求得。Saunders 和 Kriebel 另外定義一個 Q 值做為分類 AVHRR 視場的

決定因子，即

$$Q = S_2/S_1$$

其中 S_1 是 AVHRR 第一頻道（可見光）的正規化反射率， S_2 是 AVHRR 第二頻道（近紅外線）的正規化反射率。因為在雲區近紅外線頻道的反射率僅略小於可見光頻道的反射率，所以 Q 值將很接近 1.0。而在晴空的水面上，由於空氣分子和各種氣溶膠對可見光波長比對近紅外波長有較顯著的後向散射 (backward scattering)，所以 Q 值皆小於 1.0。至於在有植物生長的陸地上，近紅外波長的反射率則因顯著地比可見光波長反射率大，所以 Q 值皆大於 1.0。Saunders 和 Kriebel 曾利用 Q 值在英格蘭三島地區做分類測試，根據他們測試的結果證實了 Q 值能成功地區分出雲、海和陸地的視場，因此本研究亦應用此 Q 值做為 AVHRR 視場分類的決定因子之一。

利用可見光及紅外線兩頻道做分類時，最主的困難是如何決定適當的可見光反射率閾值及紅外亮度溫度閾值。一般均採用長期的氣候統計值當成閾值，但是要建立一組隨季節及隨地區變化的閾值不但需應用到為數極為龐大的衛星資料，而且並不是短期內可達成的。而由於本研究區缺少可見光反射率和紅外亮度溫度的氣候統計值，所以對於判斷晴空和雲區的可見光反射率和紅外亮度溫度閾值很難下正確的決定。因此本研究乃採用監督式分類法 (supervised classification)，將欲分析的第一頻道可見光及第四頻道紅外線影像雲圖顯示在螢幕上，以人工方式選取出晴空區、雲區和陸地的樣本，並求出樣本的平均值和標準差，然後再以這兩個參數決定出各種所需的閾值（包括可見光反射率閾值、紅外亮度溫度閾值以及 Q 值的閾值）。即在晴空亮度溫度閾值方面，首先求樣本中第四頻道紅外亮度溫度的平均值 μ 及標準差 σ ，再以樣本的 $\mu - \sigma$ 當成初始閾值去除亮度溫度小於初始閾值的視場，如此即可儘量避免不屬於真正晴空的視場併入統計樣本中。然後再以新的樣本求其平均值及標準差，並以之當成紅外亮度溫度的閾值。同理，在新的樣本中由其第一和第二頻道的反射率，即可求得可見光反射率和 Q 值的閾值。而在雲區和陸地的各種閾值，也是應用同樣的方法來求取。各種閾值求出後，任何一個視場即可按此分為晴空、部份雲遮蓋和完全雲遮蓋等三大類。若為晴空視場則其有效雲量為 0.0，若為完全雲遮蓋視場則其有效雲量為 1.0，而部份雲遮蓋視場的有效雲量 N 則可由視場本身的輻射強度值 R 、周圍晴空視場的輻射強度值 R_{clr} 及完全雲遮蓋視場的輻射強度值 R_{cld} 求得，其方法如下

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

(四) HIRS/2 視場內的有效雲量

HIRS/2 視場內有效雲量的計算，在晴空及完全雲遮蓋視場方面，基本上和 AVHRR 的情形是完全相同，但在部份雲遮蓋視場方面，卻有不同的處理方法。由於 AVHRR 視場的解析度高，因此不但較容易出現晴空或完全雲遮蓋視場，而且因兩相鄰視場的距離平均僅約一至二公里，所以對相鄰的兩個晴空視場或相鄰的兩個完全雲遮蓋視場，其輻射強度值差別亦不會太大，因此在求部份雲遮蓋視場內的有效雲量時，其所需的晴空及完全雲遮蓋視場的輻射強度值，便可用鄰近晴空及完全雲遮蓋視場的輻射強度值來代表，且預期不會有明顯的誤差。但是對於 HIRS/2 視場而言情況就不一樣了，因為其解析度較低，其兩相鄰視場的平均距離約三十至四十公里，所以對相鄰的兩個晴空視場或相鄰的兩個完全雲遮蓋視場，其輻射強度值可能會有較大的變化。例如在陸地上兩個相鄰的晴空視場，將會因視場內不同的地表高度或地表覆蓋物而使其輻射強度值產生明顯的不同。另外對相鄰的兩個完全雲遮蓋視場，除非是雲頂平坦均勻的

層雲，否則要其輻射強度值相近是很困難的，尤其對局部對流旺盛的積雲視場，將因雲高的不同而使得其輻射強度值具有顯著的變化。所以在使用鄰近視場法(Smith, 1968; McMillin, 1978)求取HIRS/2之部份雲遮蓋視場內的有效雲量，其最主要的缺點就是不只很難在其附近找到完全晴空及完全雲遮蓋的視場，而且縱使僥倖可以找到，也很難以之代替待求視場地區的完全晴空及完全雲遮蓋視場的輻射強度值。本研究即是針對此缺點，利用高解析度的 AVHRR 輻射資料來求取較粗解析度之 HIRS/2 裂雲視場內的有效雲量，其詳細的步驟如下：

A. 首先找出大量完全晴空的 HIRS/2 視場，並由其二十個頻道中取出第八頻道的輻射強度值，然後利用 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀視場的幾何對應關係式，求出對應於 HIRS/2 視場內所有 AVHRR 視場之第四頻道的平均輻射強度值。利用這些配對的資料組（即一個 HIRS/2 第八頻道的輻射強度值配對一個 AVHRR 第四頻道的平均輻射強度值）做統計線性迴歸分析，便可求出 HIRS/2 晴空輻射強度與 AVHRR 晴空輻射強度之間的相關式。同理，也可找出大量完全雲遮蓋視場的配對資料組求出 HIRS/2 完全雲遮蓋時視場輻射強度與 AVHRR 完全雲遮蓋時視場輻射強度之間的相關式。

B. 在 HIRS/2 裂雲視場中，先於其內之 AVHRR 視場中計算出 AVHRR 晴空和完全雲遮蓋視場的平均輻射強度值，再按照已知晴空及完全雲遮蓋時 HIRS/2 和 AVHRR 視場輻射強度值之間的關係式，求出 HIRS/2 部份雲遮蓋視場中晴空部份及雲區部份的輻射強度值。

C. 按照(4)式，便可求出 HIRS/2 部份雲遮蓋視場的有效雲量，不過其中 R 、 R_{clr} 和 R_{cld} 分別是 HIRS/2 視場之輻射強度觀測值、由 AVHRR 晴空輻射強度值推求得之 HIRS/2 晴空輻射強度值以及由 AVHRR 完全雲遮蓋區輻射強度值推求得之 HIRS/2 完全雲遮蓋視場輻射強度值。

四、結果分析與討論

(一) HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的訂正

Aoki (1983) 曾經利用長期（自 1979 年 8 月至 1980 年 5 月）NOAA-6 及 NOAA-7 衛星上 HIRS/2 第八頻道的輻射強度值和相對應位置的 AVHRR 第四頻道平均輻射強度值做 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的修正，其研究結果所得到的四個平均掃描參數訂正值 ΔI 、 ΔJ 、 θ_A 及 θ_{AH} 如表 3 所示。而本研究應用 Aoki (1980) 所提出 HIRS/2 與 AVHRR 視場位置匹配

表3 Aoki (1983) 利用 NOAA-6 和 NOAA-7 衛星的輻射資料所得到的四個掃描參數平均訂正值，其中 ΔI 及 ΔJ 的定義如圖 4 所示， θ_A 及 θ_{AH} 的定義如圖 5 所示。

氣象衛星	ΔI (條)	ΔJ (個)	θ_A (度)	θ_{AH} (度)
NOAA-6	-3.36	-3.33	0.07	0.023
NOAA-7	-1.99	-0.426	0.03	-0.261

的方法，使用 NOAA-11 衛星上 HIRS/2 第八頻道的亮度溫度值和相對應位置的 AVHRR 第四頻道平均亮度溫度值求取 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的四個掃描參數訂正值。由於所使用的 AVHRR 輻射資料其每條掃描線只有 1024 個掃描點，所以只能找出 30 個相對應的 HIRS/2 視場。因此每條 HIRS/2 掃描線只能取出 30 個亮度溫度值和 30 個相對應位置的

AVHRR 平均亮度溫度值做 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差的訂正，即(1)式中的 L 不再是 56 而是 30。由於(1)式為四個掃描參數的函數，且因一般掃描參數的偏差量不會很大，所以本研究在此假設 ΔI 之變化在 ± 9 條掃描線以內， ΔJ 之變化亦在 ± 9 個視場以內，而 θ_A 和 θ_{AH} 之變化則皆在 ± 5 度以內。分別變動這四個量，然後求出不同的變異數 σ 值，而其中最小的 σ 所對應的四個量，就是待求的四個掃描參數訂正值。不過由於四個掃描參數中有許多的相對極小值，亦即有些 σ 值與極小 σ 值極為接近，所以很難決定出真正的掃描參數訂正值。此外，由於衛星觀測的輻射強度值均有噪音誤差存在，所以實際上只要所求的變異數極小值在噪音誤差內即可滿足掃描線中心軸重合的要求。本研究以 AVHRR 輻射儀噪音等值溫度差 (noise equivalent temperature difference) 0.12 K 當成收斂條件，即只要變異數 σ 小於 0.12 K，則當時的四個掃描參數變量，就可當成所求的四個掃描參數修正量，而最後即以均合乎收斂條件的所有掃描參修正量的平均值當做待求的掃描參數修正量。表 4 即是利用 1991 年 1 月 22 日 05 Z (個案 A) NOAA-11 衛星所觀測的 HIRS/2 與 AVHRR 輻射資料，所求出相對於 HIRS/2 各掃描線的四個掃描參數修正量。由表上可發現每條 HIRS/2 掃描線上的四個掃描參數修正量都不一樣。此外，

表 4 利用 1991 年 1 月 22 日 05 Z (個案 A) 的衛星輻射資料，對逐條的 HIRS/2 掃描線做 HIRS/2 與 AVHRR 兩種輻射儀掃描線中心軸相對偏差訂正時，所得到的掃描參數修正量。

HIRS/2 掃描線	ΔI (條)	ΔJ (個)	θ_A (度)	θ_{AH} (度)
1	-0.0001	-0.8431	0.0002	0.0986
2	0.8124	-2.3548	-0.0080	-0.0312
3	-2.9995	3.1165	0.0004	-0.5328
4	-4.2537	-0.8254	0.0688	-0.2990
5	-3.2004	-2.1872	0.0713	-0.4955
6	-1.5501	-2.7850	0.0098	-1.1652
7	-1.5673	-0.5674	0.3722	-0.6864
8	2.4858	-2.4199	0.0003	-0.2367
9	0.6288	0.6830	0.0000	0.1275
10	-0.0030	-0.0004	0.0001	0.3955
11	-1.7369	-1.1837	0.0003	0.6737
12	1.2769	-1.8250	0.0007	-0.3284
13	-0.0005	-3.9990	0.0004	-0.6656
14	-5.0105	5.8315	0.1006	0.0786
15	-0.2221	-1.4974	0.0000	-0.1240
16	-0.0002	-2.6100	0.0001	-0.6124
17	-3.1614	0.6000	0.0003	-0.1396
18	6.2986	-0.0001	0.0004	1.2374
19	-3.4117	2.3207	0.0002	0.3886
20	-1.0005	-3.9990	-0.0010	0.0259
21	-0.0081	-1.6108	0.0002	-0.1524
22	-0.2688	-0.9300	0.0901	-1.2068

研究結果亦發現平均掃描參數修正量會隨時間的不同而有振盪變化的趨勢。表 5 所示即為不同衛星觀測時間所得之平均掃描參數修正量，顯示這種修正量是隨機變化的。因此若要精確地對

HIRS/2與AVHRR這兩種輻射儀的輻射觀測資料做位置上的匹配，則必須隨時隨地對四個掃描參數加以修正，但在實際的應用上並不需要如此地大費周章，因為這四個掃描參數變化均不太大，因此縱使假設HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀掃描線中心軸重疊在一起，也不會因此而造成明顯的誤差，以亮度溫度270 K為例，表5所列之四個掃描參數修正量，修正前後HIRS/2視場內AVHRR的平均亮度溫度相差均在0.26 K以內。況且本研究在反演HIRS/2裂雲視場中的晴空輻射強度時，只要求能從密雲的縫隙中找出一個或以上的AVHRR晴空視場即可滿足所需，對於AVHRR晴空視場的地理位置偏差數條掃描線和數個掃描視場影響並不大，重要的是只要晴空的AVHRR視場落在HIRS/2的視場中即可。雖然四個掃描參數的修正對結果影響很小，但本研究為求精確起見，在求HIRS/2與AVHRR兩種輻射儀視場的幾何對應關係時，均根據以上的研究結果，以其平均掃描修正量來修正兩種輻射儀的幾何對應關係。將來若因應作業迅速的要求，可用某一時間內的平均修正值來取代。

表5 利用六個不同日期的衛星觀測輻射資料所求得之平均掃描參數修正量。

日期	ΔI (條)	ΔJ (個)	θ_A	θ_{AH} (度)
1991年1月22日05Z	0.250	-1.277	-0.169	0.027
1991年1月23日07Z	2.370	-0.915	-0.274	0.000
1991年2月07日06Z	0.946	-1.286	-0.233	0.014
1991年7月29日05Z	-0.164	-1.051	-0.243	0.034
1991年7月29日07Z	1.862	-0.943	-0.171	0.000
1991年7月30日05Z	0.300	-1.278	-0.127	0.002

表6 十二個衛星觀測資料的日期。

個案A	1991年1月22日05Z
個案B	1991年7月29日07Z
個案C	1991年2月07日06Z
個案D	1991年2月08日05Z
個案E	1991年6月24日05Z
個案F	1991年6月24日07Z
個案G	1991年6月25日05Z
個案H	1991年6月25日06Z
個案I	1991年7月28日07Z
個案J	1991年7月29日05Z
個案K	1991年7月30日05Z
個案L	1991年7月30日06Z

(二) 可見光反射率、紅外線亮度溫度和Q值之閾值的決定

分類AVHRR視場為各種特定型態所需的各種閾值將會隨著時間和地點的不同而有所改變，但是對某一局部地區而言，各種閾值的大小應該介於冬天及夏天的各種閾值之間。本研究為了解台灣附近地區內各種閾值的變化範圍，因此特別挑選了十二個代表冬天夏天二種極端氣

候的個案（十二個個案資料的日期如表6所示），然後由這些個案資料中求出研究區內各種閾值的動態範圍。圖6為個案A之AVHRR輻射儀掃描視場所涵蓋的地理經緯度範圍，由圖中可看出掃描的範圍包括了整個台灣及少部份的大陸東南地區及菲律賓北部。表7為使用個案A中AVHRR輻射儀第一、第二和第四頻道等三種輻射資料，以監督式分類法所求得海面晴空視場的

表7 個案A之海面晴空樣本之各種統計值及閾值。 $TB4$ 代表AVHRR第四頻道的亮度溫度， Q 代表 Q 值， $AL1$ 代表第一頻道的可見光反射率，其中第一列的 $TB4$ 是第四頻道亮度溫度的初始樣本，第二列 $TB4'$ 才是決定第四頻道亮度溫度閾值的真正樣本。

	數目(個)	平均	標準差	極小值	極大值	閾值
$TB4$	9000	293.018 K	0.505 K	287.302 K	293.983 K	292.513 K
$TB4'$	7608	293.181 K	0.338 K	292.679 K	293.983 K	292.843 K
Q	5957	0.513	0.033	0.447	0.629	0.546
$AL1$	5957	0.051	0.008	0.049	0.146	0.059

表8 同表7，但為完全雲遮蓋樣本之各種統計值。

項目	數目(個)	平均	標準差	極小值	極大值
$TB4$	7000	281.163 K	1.027 K	279.176 K	285.447 K
$TB4'$	6203	281.368 K	0.902 K	280.166 K	285.447 K
Q	5190	0.775	0.011	0.701	0.813
$AL1$	5190	0.558	0.075	0.282	0.880

表9 同表7，但為地表晴空樣本之各種統計值及閾值。

項目	數目(個)	平均	標準差	極小值	極大值	閾值
$TB4$	3360	297.533 K	2.197 K	288.217 K	303.113 K	295.366 K
$TB4'$	2792	298.298 K	1.383 K	295.698 K	303.113 K	296.915 K
Q	2398	1.355	0.277	0.843	2.339	1.078
$AL1$	2398	0.075	0.017	0.036	0.138	0.093

各種統計量（包括極大值、極小值、平均值和標準差值和各種閾值（包括可見光反射率、紅外線亮度溫度以及 Q 值之閾值））。表中 $TB4$ 代表AVHRR第四頻道的紅外亮度溫度， Q 代表 Q 值， $AL1$ 代表第一頻道的可見光反射率。由於監督式分類法在選取訓練區(training area)時，可能因人為的誤判而將非晴空視場歸類為晴空視場，所以此處採二階段閾值處理；即先由訓練區樣本決定一個初始閾值，然後再從通過初始閾值篩選的樣本決定出一個真正的閾值。表中第一列 $TB4$ 即是由螢幕判讀出一塊包含9000個晴空視場的訓練區所求出AVHRR第四頻道紅外線亮度溫度的各項統計值和初始閾值，其中訓練區樣本中的極大值為293.983 K，極小值為287.302 K，兩者相差6.681 K。而對一個小區域而言，同一種類之海面晴空樣本其亮度溫度理論上相差

應該在 3 K 之內，可見訓練區樣本中有一些是異類（如海洋中的小島），因此必須用一個初始閾值去除這些異類，本研究即以平均值減去一個標準差當成初始閾值。表中第二列 $TB4'$ 是通過初始閾值篩選後之樣本的統計量及真正的閾值，由篩選後樣本中的極大值和極小值可看出，亮度溫度相差只有 1.304 K，顯示這 7608 個樣本是屬於同一類的。另外本研究中對 Q 值和可見光反射率，則以平均值加上一個標準差當成閾值。因此海面晴空視場的判斷條件即為紅外亮度溫度大於紅外亮度溫度閾值且 Q 值小於 Q 閾值，以及可見光反射率小於可見光反射率閾值。表 8 為相同個案中完全雲遮蓋樣本之各種統計值。由表上可見第一列中亮度溫度的極大和極小值相差達 6.271 K，而第二列中亮度溫度的極大和極小值相差也達 5.281 K。顯然對雲類而言，其本身亮度溫度的變化本質上就很大，這可能是雲類樣本中，雲所在的高度不同所造成的結果，因為雲高時，其亮度溫度就低；反之，雲低時，其亮度溫度就高。而由表上第四列中亦可發現可見光反射率的變化也是很大，變化範圍由 28.294 % 至 88.040 %。但第三列中 Q 值的變化卻是很小，由 0.701 至 0.813。由於完全雲遮蓋樣本和晴空海面樣本之各種統計特徵不一樣，所以判斷雲區視場的條件必須和判斷晴空海面視場的條件不同。一般而言，雲的可見光反射率大都大於 15.0 %， Q 值大都小於 1.0，所以可將紅外亮度溫度小於海面晴空紅外亮度溫度閾值， Q 值大於海面晴空 Q 閾值但小於 1.0，以及可見光反射率大於海面晴空可見光反射率閾值的視場歸類為完全雲遮蓋視場。表 9 則為相同個案中地表晴空樣本之各種統計值及各種閾值。表中第一列之亮度溫度的極大和極小值相差達 14.896 K，而第二列中亮度溫度的極大和極小值相差也達 7.415 K。顯然對地表類而言，其本身亮度溫度的變化相當大，這可能是地表類樣本中，地表地物種類繁多，且地物所在的高度也不同所造成的結果，尤其是地形高度變化急遽的地區，因為以絕熱遞減率計算，若高度相差 1 公里，則溫度就相差 6.0 K。再由表上可發現第三列中的 Q 值範圍由 0.843 至 2.339。對地表晴空視場而言，其 Q 值大都大於 1.0，因此若判斷為地表，但其 Q 值小於 1.0 的視場，則可能是地表中河川或湖泊所造成的結果。由於河川和湖泊所佔地表面積的比例還是比較小，所以 Q 的平均值為 1.355，仍大於 1.0。第四列中地表的可見光反射率和晴空海面一樣，變化並不大，變化範圍由 3.623 % 至 13.859 %。由以上分析可知地表晴空視場判斷的條件為紅外亮度溫度大於紅外亮度溫度閾值且 Q 值大於 Q 閾值，以及可見光反射率小於可見光反射率閾值。

（三）兩種輻射儀輻射強度的關係式及 HIRS/2 視場內的有效雲量

圖 7 是 HIRS/2 視場的第八頻道輻射強度及相對應的 AVHRR 第四頻道平均輻射強度的分佈圖，圖中顯示彼此的相關性很高，因此可藉由已知的 AVHRR 輻射強度，求取相對應的 HIRS/2

表 10 應用個案 A 中全部視場或僅為晴空或僅為完全雲遮蓋視場時 HIRS/2 輻射強度和 AVHRR 輻射強度關係式 $R_H = A_0 + A_1 R_A$ 的係數及其統計參數。表中平均變異數的單位為 $mW - cm/m^2 - sr$ 。

視場	數目(個)	截距 A_0	斜率 A_1	相關係數	平均變異數
全部	780	-1.4767	1.0495	0.9919	0.0019
晴空	54	-17.6215	1.2128	0.9508	0.0154
完全雲遮蓋	247	1.5477	1.0208	0.9971	0.0004

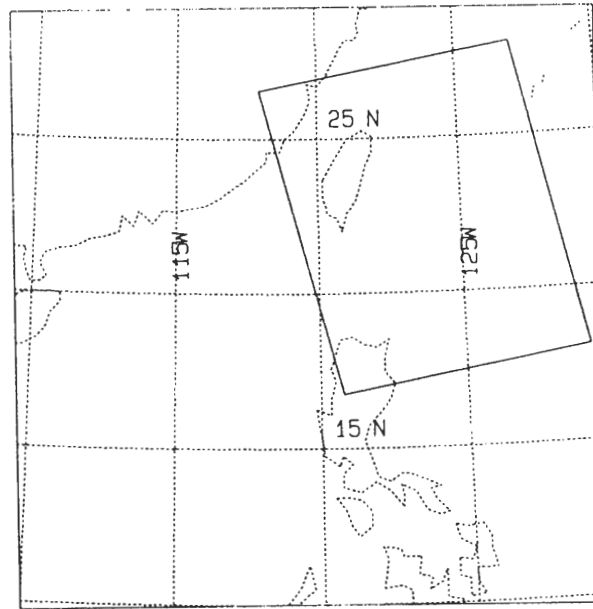


圖6 1991年1月22日05 Z (個案A) 通過台灣地區NOAA-11衛星上AVHRR輻射儀掃描線所涵蓋的經緯度範圍。

表11 有效雲量之分類表，其中C代表AVHRR的有效雲量，D代表HIRS/2的有效雲量。

有效雲量	≤ 0.05	0.05 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 0.75	0.75 ~ 0.95	≥ 0.95
AVHRR	C1	C2	C3	C4	C5	C6
HIRS/2	D1	D2	D3	D4	D5	D6

表12 個案A，以AVHRR視場所偵測到的有效雲量為參改值，評估HIRS/2視場有效雲量分類準確度的誤差矩陣。

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D1	54	0	0	0	0	0
D2	0	49	1	0	0	0
D3	0	12	36	1	0	0
D4	0	0	27	98	6	0
D5	0	0	0	46	203	0
D6	0	0	0	0	0	247

輻射強度值，尤其對部份雲遮蓋的HIRS/2視場，若可求得該視場晴空部份和密雲部份的輻射強度值，即可進而求得該視場的有效雲量，而這些量是單由HIRS/2資料所難以準確求得的。不過

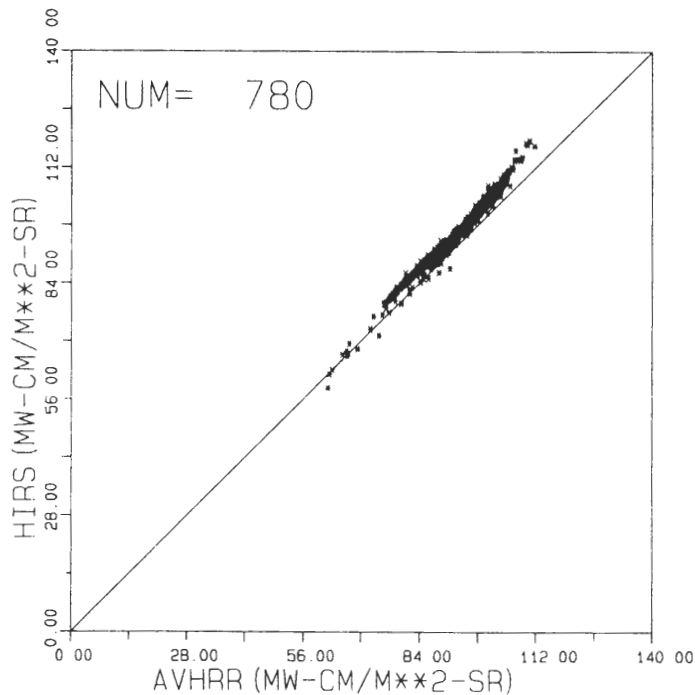


圖7 個案A中，HIRS/2視場的第八頻道輻射強度及相對應的AVHRR第四頻道平均輻射強度的分佈圖。

由圖7中可看出隨著輻射強度的增加，HIRS/2對AVHRR的分佈點有愈來愈偏離直線的趨勢，這個現象顯示HIRS/2輻射強度對AVHRR輻射強度並非是單純的線性關係，而是變化緩和的曲線關係。因此若要利用其線性關係，必須限制在某特定範圍內，以避免HIRS/2的輻射觀測值和迴歸推算值產生過大的偏差。本研究基於這個考量，乃將不同種類的均勻視場（例如晴空和完全雲遮蓋）分開處理，分別求其關係式。圖8及9分別是圖7中僅為晴空及僅為完全雲遮蓋HIRS/2視場的第八頻道輻射強度及相對應的AVHRR第四頻道平均輻射強度的分佈圖，表10則列出了在應用全部視場或僅晴空或僅完全雲遮蓋視場時HIRS/2輻射強度和AVHRR輻射強度關係式的線性迴歸係數、相關係數和平均變異數。由表中相關係數皆大於0.95顯示HIRS/2第八頻道輻射強度和AVHRR第四頻道平均輻射強度近似完全正相關。另外也發現僅為晴空視場的相關係數比全部視場的相關係數為小，其斜率比全部視場的值較偏離完全正相關，顯示其線性相關性較差，但儘管如此，其平均變異數也只有 $0.0154 \text{ mW} - \text{cm}/\text{m}^2 - \text{sr}$ ，比起大於 $100 \text{ mW} - \text{cm}/\text{m}^2 - \text{sr}$ 的晴空輻射強度，算是相當的小，所以其線性關係仍是可用的。另外一方面僅為完全雲遮蓋視場的相關係數比全部視場的相關係數來得大，其斜率比全部視場的值更接近完全正相關，其平均變異數更只有 $0.0004 \text{ mW} - \text{cm}/\text{m}^2 - \text{sr}$ 。圖10是個案A中由HIRS/2視場內所有AVHRR視場所偵測到的有效雲量和由本研究方法所求得的HIRS/2視場內有效雲量的分佈圖。整體而言，由圖上樣本的分佈可看出兩種方法所求得之有效雲量變化的趨勢是一致的，唯本研究方法所求得的有效雲量似乎比AVHRR視場所偵測到的有效雲量高估了一些。若再將有效雲量細分為六類，如表11所示，並以AVHRR視場所偵測到的有效雲量為參考值，則可利用誤差矩陣(error matrix)

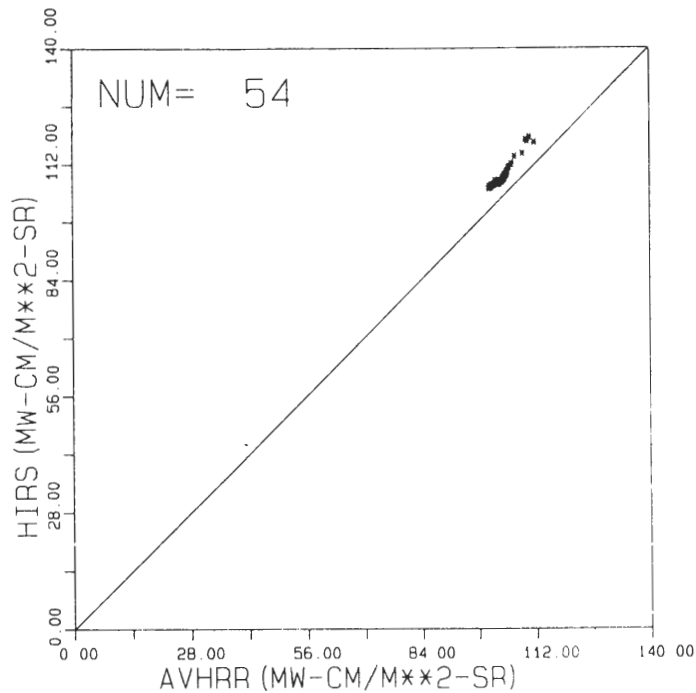


圖8 同圖7，但為晴空視場之結果。

來評估在應用本研究方法所估算得的 HIRS/2 視場有效雲量分類的準確度。表 12 即為個案 A 之有效雲量誤差矩陣，由此矩陣可求得估算結果的整體精度 (overall accuracy)，即誤差矩陣主軸上的元素總和和此個案總數的比值，因此個案 A 的估算整體精度即為 0.881。除了主軸上的元素外，其他的元素皆分佈在主軸線上下的斜線上，由此可見本研究之有效雲量估算方法是可行的。另外發現 AVHRR 視場的有效雲量在 0.75 以下有低估的趨勢，而 0.75 以上則有高估的趨勢。個案 A 是冬天的觀測資料，而為了比較季節的變化對分類結果所造成的影響，因此本研究另挑選一個夏天的個案（個案 B；觀測時間為 1991 年 7 月 29 日 07 Z），亦分析其統計特性並和個案 A 做比較。圖 11 是個案 B 中 AVHRR 輻射儀掃描視場所涵蓋的經緯度範圍，包括整個海南島、大陸西南部和越南等地區。表 13 是其海面晴空樣本之各種統計值及各種閾值，而在與表 7 比較可看出個案 B 的 $TB4'$ 平均值比個案 A 的 $TB4'$ 平均值小 1.27 K，表面上看起來這是不合理的，因為理論上夏天的海面溫度應該比冬天的海面溫度來得高。不過由於個案 A 之海面有暖洋流黑潮通過，而且 $TB4'$ 是 AVHRR 第四頻道的亮度溫度，因此必須經過水汽對該頻道吸收的訂正，才是真正的海面溫度，而水汽訂正量的大小，端視水汽含量的多寡而定。一般夏天海面上的水汽含量相當豐沛，比冬天海面上的水汽含量大得多，所以考慮水汽的訂正後，夏天的海面溫度即可能會比冬天的海面溫度來得高。此外再比較兩表中之 Q 和 $AL1$ 的平均值和閾值，可發現其變化很小，顯然這二個量受季節的影響不大。表 14 是個案 B 地表晴空樣本之各種統計值及各種閾值，若與表 9 比較亦可發現個案 B 的 $TB4'$ 平均值亦比個案 A 的 $TB4'$ 平均值小 3.87 K，此現象可能是因為 $TB4'$ 是窗區頻道的亮度溫度，因此地表的覆蓋物和高度會顯著地影響 $TB4'$ 的大小，使得夏季的 $TB4'$ 反而比冬季的 $TB4'$ 小。當然不同緯度地點與天氣狀況亦可能是影響的原因之

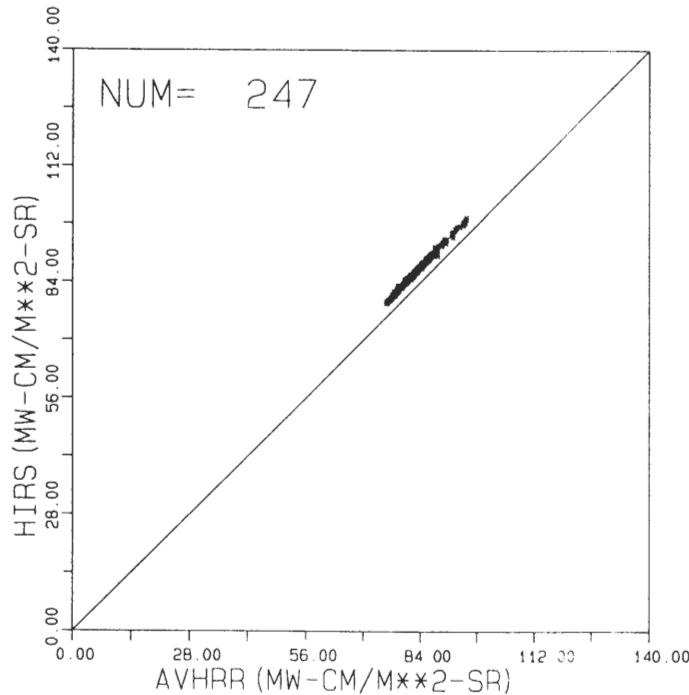


圖9 同圖7，但為完全雲遮蓋視場之結果。

一，因為由個案A當天00 Z的天氣圖（圖12）發現該地區位於弱高壓區的邊緣，天氣有漸為好轉的趨勢；而由個案B當天00 Z的天氣圖（圖13）可發現該地區北方有一道冷鋒由其西北向東南前進，受到冷鋒接近的影響該地區天氣狀況較差，許多地面測站皆有霧的報告。霧的存在會降低亮度溫度的值，但卻不易由晴空視場中區別出來，所以也可能造成夏季的 $TB4'$ 反而比冬季的 $TB4'$ 小的情形。由此可見若僅用一個頻道的輻射資料是很難做好分類的工作。另外在此個案中 Q 的平均值和閾值明顯地比個案A的值來得大，但兩者的 Q 值都比1.0大，顯示樣本都是陸表視場特徵。而比較兩個案之AL1的平均值和閾值顯示變化很小，此代表正規化的反射率受季節的影響不大。圖14是個案B之HIRS/2的第八頻道輻射強度及相對應的AVHRR第四頻道平均輻射強度在全部視場時的分佈圖，其變化範圍由20至110 $mW - cm/m^2 - sr$ ，比個案A變化範圍由60至110 $mW - cm/m^2 - sr$ 來得大，但分佈的情形和個案A一樣，有隨著輻射強度的增加而分佈點愈來愈偏離直線的趨勢。圖15是僅為晴空視場時的分佈圖，其分佈點集中在兩個位置，由表13及表14可分辨出輻射強度較小的一端是海面晴空視場，而輻射強度較大的一端是地表晴空視場，和個案A比較可發現其海面晴空和地表晴空的輻射強度都比較小，這正好和表7、表9及表13、表14亮度溫度的統計值相吻合。圖16是僅為完全雲遮蓋視場時的分佈圖，其變化範圍由20至80 $mW - cm/m^2 - sr$ ，比個案A變化範圍由75至93 $mW - cm/m^2 - sr$ 來得寬，這是因為夏季積雲對流旺盛，高低層雲溫度相差較大，而冬季對流較弱，高低層雲頂溫度相差較小的原因。表15是個案B中HIRS/2在全部、僅為晴空和僅為完全雲遮蓋視場時，HIRS/2輻射強度和AVHRR輻射強度關係式的線性迴歸係數、相關係數和平均變異數，由表中可看出全部視場和僅為完全雲遮蓋視場的相關係數和個案A的值很接近，而僅為晴空視場樣本的相關係數比

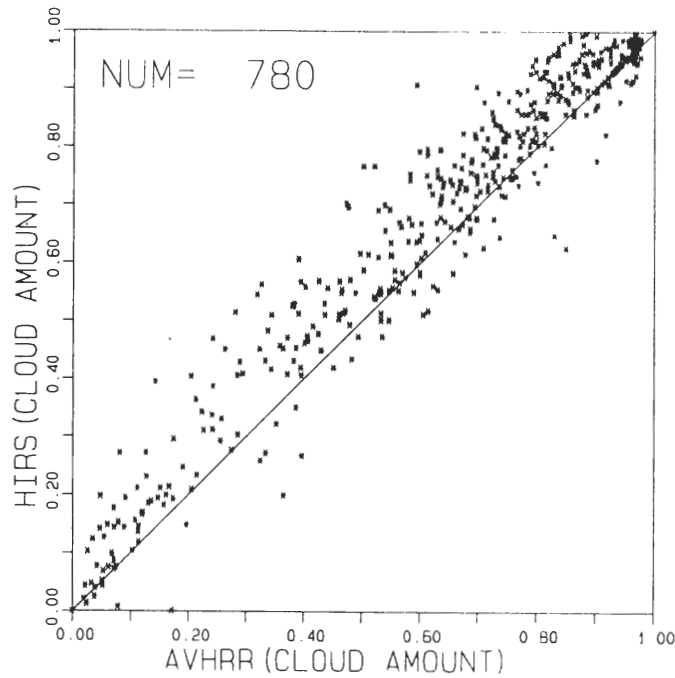


圖 10 個案 A 中由 HIRS/2 視場內所有 AVHRR 視場所偵測到的有效雲量和由本研究方法所求得之 HIRS/2 視場內有效雲量的分佈圖。

表 13 同表 7，但為個案 B 之海面晴空樣本之各種統計值及閾值。

項目	數目(個)	平均	標準差	極小值	極大值	閾值
<i>TB4</i>	2499	291.825 K	0.360 K	289.826 K	292.496 K	291.465 K
<i>TB4'</i>	2228	291.916 K	0.249 K	291.614 K	292.496 K	291.666 K
<i>Q</i>	1383	0.491	0.004	0.490	0.541	0.495
<i>AL1</i>	1383	0.049	0.0015	0.044	0.077	0.051

表 14 同表 9，但為個案 B 之地表晴空樣本之各種統計值及閾值。

項目	數目(個)	平均	標準差	極小值	極大值	閾值
<i>TB4</i>	5777	294.174 K	0.971 K	288.009 K	296.384 K	293.203 K
<i>TB4'</i>	5123	294.428 K	0.643 K	293.372 K	296.384 K	293.785 K
<i>Q</i>	4628	1.813	0.587	0.481	3.456	2.400
<i>AL1</i>	4628	0.080	0.025	0.042	0.373	0.106

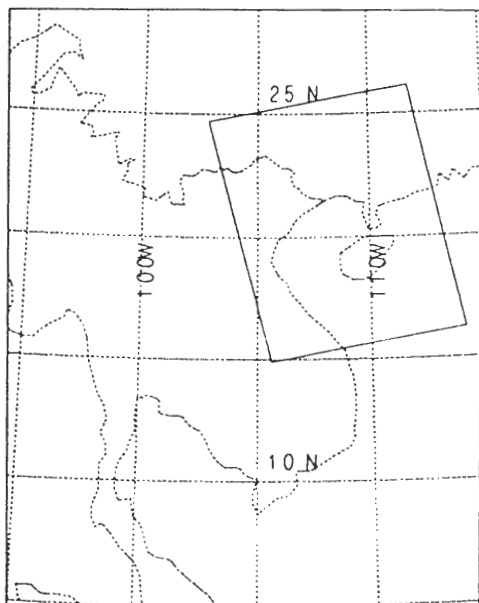


圖 11 1991 年 7 月 29 日 07 Z (個案 B) AVHRR 輻射儀掃描線所涵蓋的經緯度範圍。

表 15 同表 10，但為個案 B 之結果。

視場	數目(個)	截距 A_0	斜率 A_1	相關係數	平均變異數
全部	689	-0.8601	1.0380	0.9931	0.0081
晴空	14	2.6842	1.0159	0.9935	0.0177
完全雲遮蓋	174	1.7684	0.9933	0.9911	0.0233

表 16 同表 12，但為個案 B 之結果。

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D1	14	0	0	0	0	0
D2	0	73	8	0	0	0
D3	0	13	93	32	0	0
D4	0	1	19	92	27	0
D5	0	0	0	15	128	0
D6	0	0	0	0	0	174

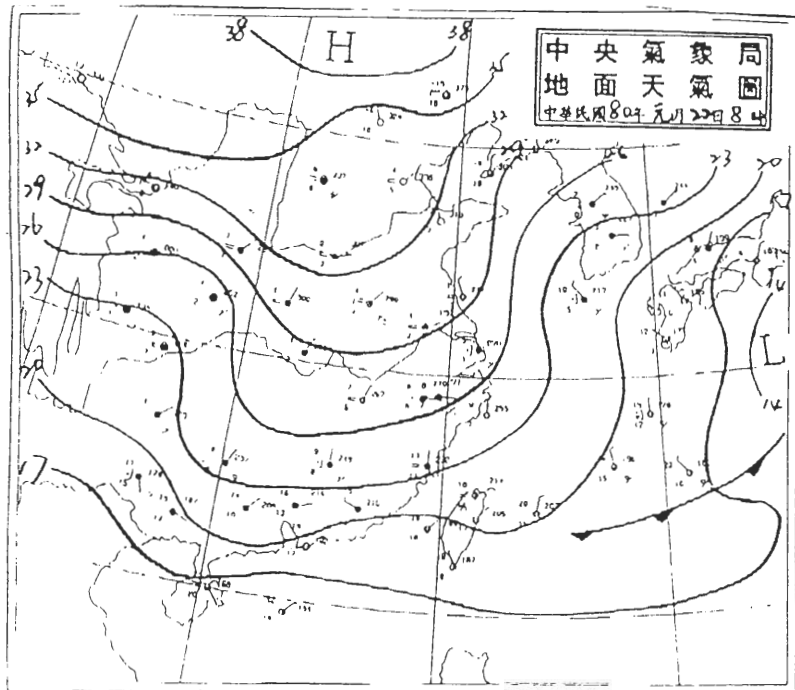


圖12 1991年1月22日00 Z東亞地區地面天氣圖（資料來源：中央氣象局）。

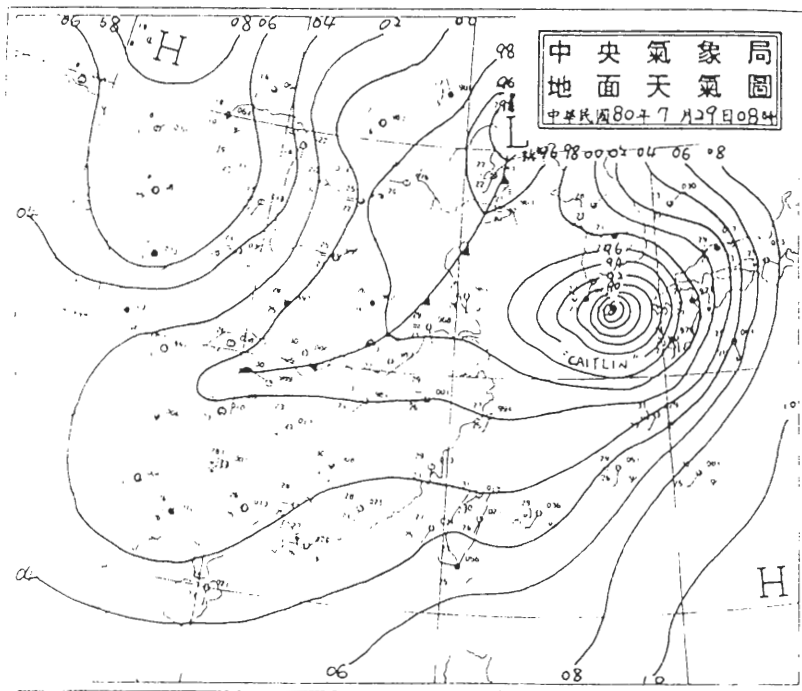


圖13 1991年7月29日00 Z東亞地區地面天氣圖（資料來源：中央氣象局）。

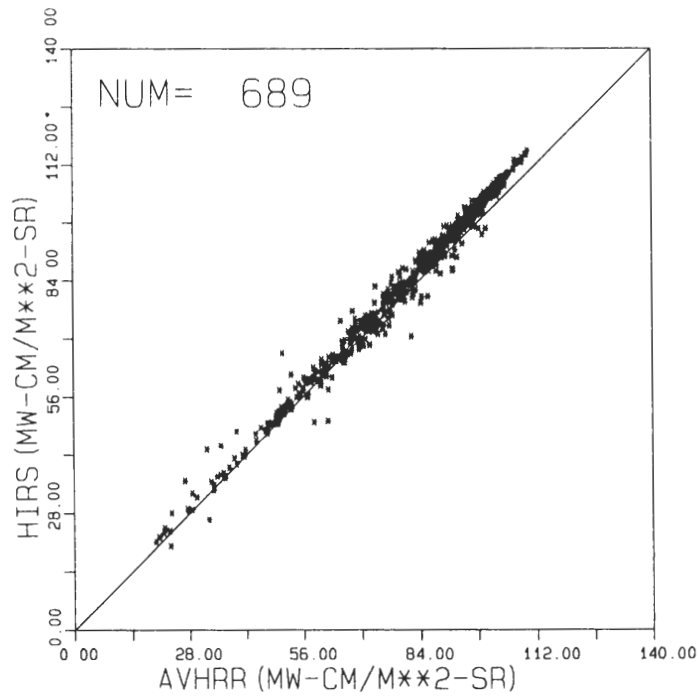


圖 14 同圖 7，但為個案 B 之結果。

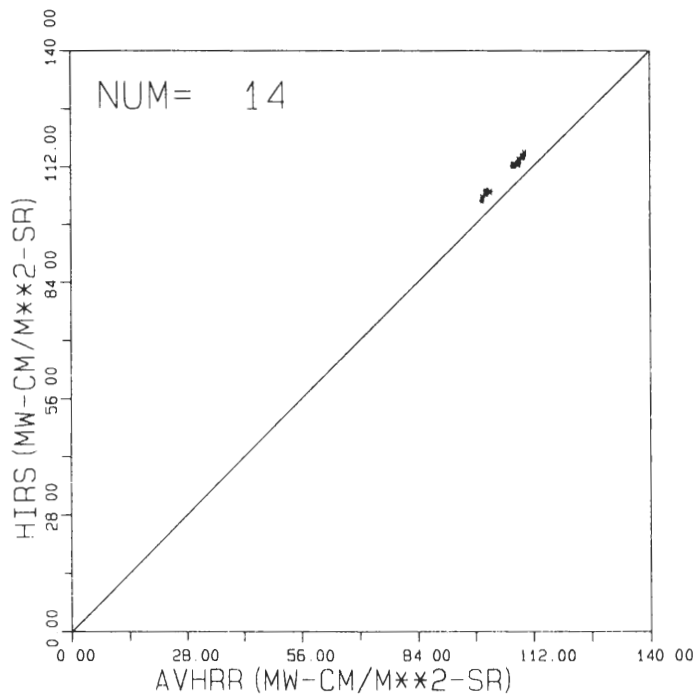


圖 15 同圖 14，但為晴空視場之結果。

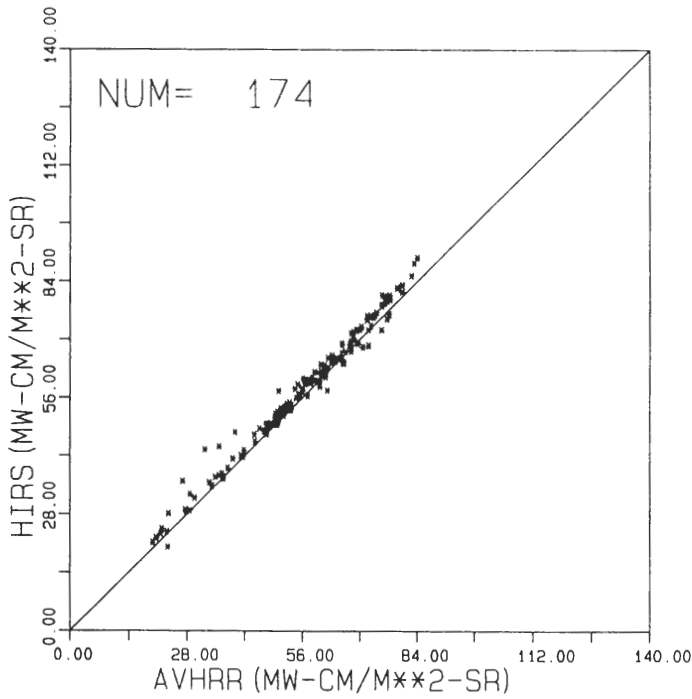


圖 16 同圖 14，但為完全雲遮蓋視場之結果。

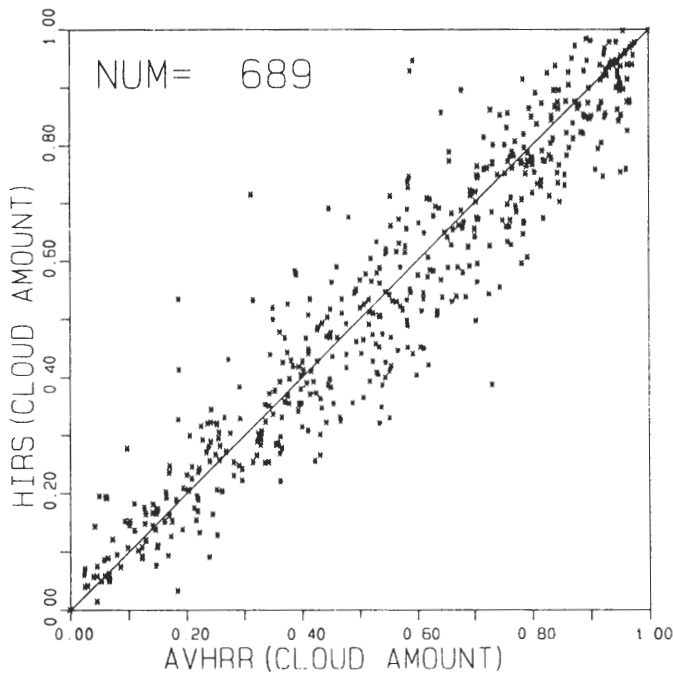


圖 17 同圖 10，但為個案 B 之結果。

個案A的值高，斜率也較接近1.0。圖17是個案B中由HIRS/2視場內所有AVHRR視場所偵測到的有效雲量和由本研究方法所求得的HIRS/2視場內有效雲量的分佈圖。由圖上可看出兩種方法所求得之有效雲量的分佈對稱於圖中右上左下的對角線，顯示兩種方法所求得有效雲量的值大小是一致的。表16是個案B的誤差矩陣，其整體精度為0.833比個案A較差些，但所有的元素仍皆分佈在主軸線及其上下的斜線上。

由以上兩個個案的研究可得到一個概略的結論，即在應用AVHRR資料求取HIRS/2裂雲視場的有效雲量時，季節的不同並不太會影響其結果。為了確定結論的可靠性，於是使用大量涵蓋各個季節及各個地區的輻射觀測資料來加以驗證。其他個案的觀測地區及天氣概況如下：個案C, D的觀測時間為自1991年2月7日06 Z至1991年2月8日05 Z，而觀測地區則和個案A相當，由於觀測地區位於高壓外圍環流內所以天氣較為晴朗。個案E, F, G, H觀測時間為自1991年6月24日05 Z至1991年6月25日06 Z，由於該期間內正值梅雨鋒面滯留於日本九州、台灣和海南島間，所以一般天氣狀況較差，觀測範圍內有較多的雲雨區及較少的晴空區。其中個案E, G觀測範圍在北緯20度至30度，東經130度至140度之間，即位於台灣東部及日本南部的海洋上；個案F, H的觀測地區和個案B相當。個案B, I, J, K, L觀測時間為自1991年7月28日07 Z至1991年7月30日05 Z，由於該期間內卡琳（CAITLIN）颱風正由台灣東北部移往日本和韓國地區，受到颱風外圍環流影響，天氣狀況較為差，觀測範圍內幾為雲雨所籠罩。個案I, L的觀測地區和個案B相當，而個案J, K的觀測地區則和個案A相似。表17即是綜合十二個個案資料（如表6所示）HIRS/2在全部、僅為晴空和僅為完全雲遮蓋視場時，HIRS/2輻射強度和AVHRR輻射強度關係式的線性迴歸係數、相關係數和平均變異數。由表中可看出不論是全部視場、僅為晴空或僅為完全雲遮蓋視場的相關係數皆因樣本數目的大量增加而顯著地提昇。綜合全部視場資料的斜率和單一個案的斜率相差在0.0075至0.019之間，而僅為晴空視場的斜率和單一個案的斜率相差在0.0784至0.1185之間，另僅為完全雲遮蓋視場的斜率和單一個案的斜率則相差在0.0202至0.0275之間，由此可見僅為完全雲遮蓋視場的相關性及穩定性是較好的，而僅為晴空視場的相關性及穩定性卻是相對上較差的。圖18、19和20是綜合十二個個案資料HIRS/2的第八頻道輻射強度及相對應的AVHRR第四頻道平均輻射強度分別在全部、僅為晴空和僅為完全雲遮蓋視場時的分佈圖，其分佈的型態和單一個案很類似，只不過輻射強度的變化範圍較單一個案的值為寬。圖18中可發現當輻射強度值在15至90 $mW - cm/m^2 - sr$ 之間時HIRS/2的第八頻道輻射強度和AVHRR第四頻道平均輻射強度很接近，但大於90 $mW - cm/m^2 - sr$ 以上時HIRS/2的第八頻道輻射強度就明顯地比AVHRR第四頻道平均輻射強度大，且輻射強度值愈大二者相差就愈大，這現象和由單一個案所得的結果是一樣的，由此可見兩個頻道輻射強度的關係性和季節並無太大相關，而是與其輻射強度值本身大小的相關性較大。圖21是綜合十二個個案資料由HIRS/2視場內所有AVHRR視場所偵測到的有效雲量和由本研究方法所求得的HIRS/2視場內有效雲量的分佈圖。就整體而言，兩種方法所求得之有效雲量相當對稱於圖中右上左下的對角線，即兩種方法所求得有效雲量值是很相當的，而少數偏離對角線較遠的樣本，則可能是本研究對AVHRR視場的分類不夠精細所造成的誤差，例如對薄卷雲的視場可能歸類為晴空視場，亦可能是由於HIRS/2視場與AVHRR視場幾何定位誤差所造成的偏離。表18是綜合十二個個案資料的誤差矩陣，其整體精度為0.888，和個案A或個案B的值差別不大，這顯示誤差矩陣的整體精度隨各個季節及各個地區的變化很有限。

表17 同表10，但為綜合十二個個案之結果。

視場	數目(個)	截距 A_0	斜率 A_1	相關係數	平均變異數
全部	8423	-1.7191	1.0570	0.9962	0.0006
晴空	1815	-9.0179	1.1344	0.9643	0.0005
完全雲遮蓋	2215	-0.5738	1.0410	0.9976	0.0013

表18 同表12，但為綜合十二個個案之結果。

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D1	1815	0	0	0	0	0
D2	0	832	81	1	0	0
D3	0	198	634	88	1	0
D4	0	13	209	693	112	0
D5	0	0	10	232	1289	0
D6	0	0	0	0	0	2215

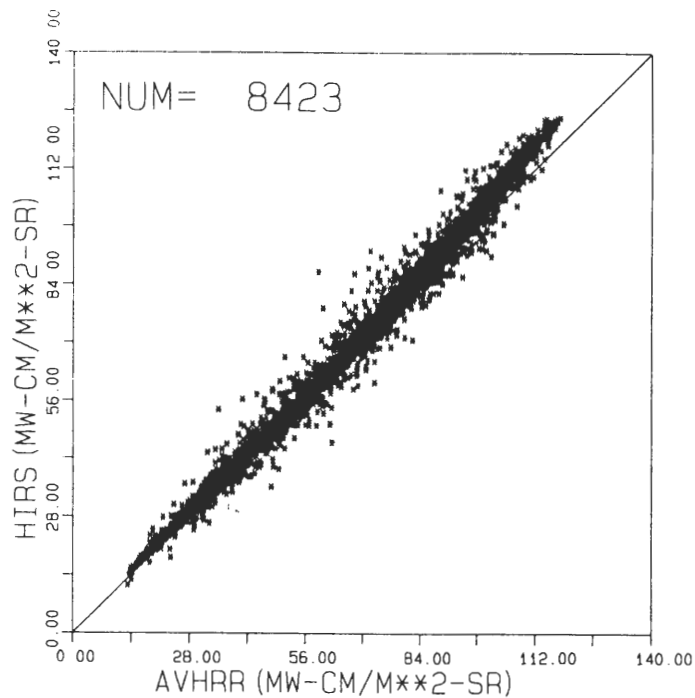


圖18 綜合十二個個案資料，HIRS/2視場的第八頻道輻射強度及相對應的AVHRR第四頻道平均輻射強度的分佈圖。

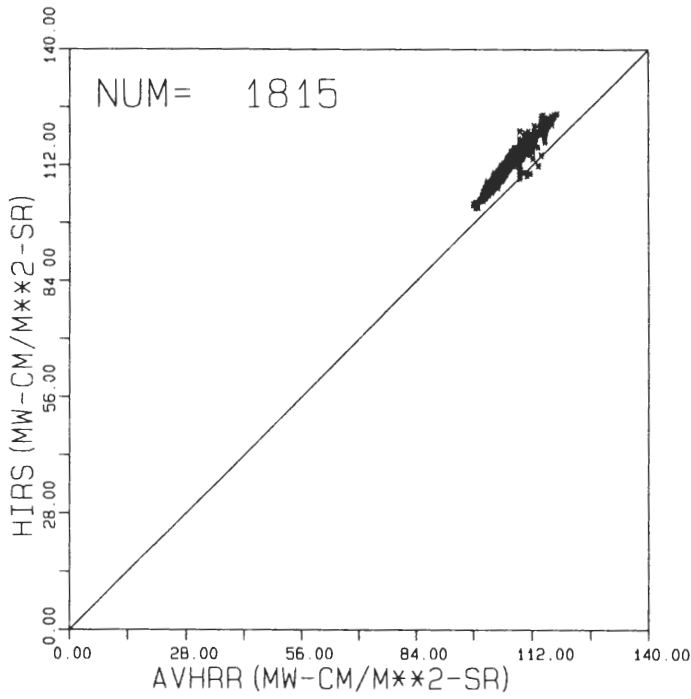


圖 19 同圖 18，但為晴空視場之結果。

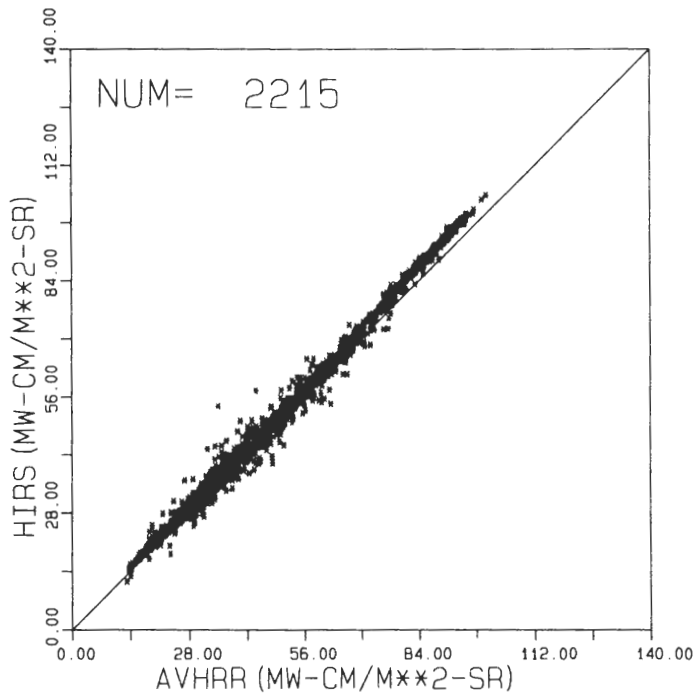


圖 20 同圖 18，但為完全雲遮蓋視場之結果。

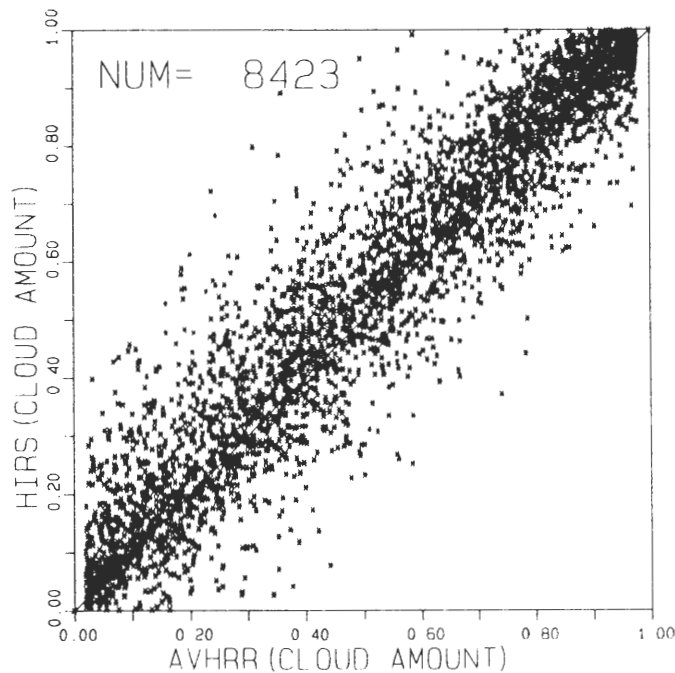


圖 21 同圖 10，但為綜合十二個個案之結果。

五、結論

本研究是改進反演大氣垂直溫濕剖面精度的先驅研究，主要是利用 AVHRR 高解析度的輻射資料，求取低解析度 HIRS/2 輻射資料本身所難以準確求到的雲參數。首先利用大量的晴空和完全雲遮蓋樣本，分別建立 AVHRR 第四頻道與 HIRS/2 第八頻道輻射強度的線性迴歸關係式。對於求取部份雲遮蓋的 HIRS/2 視場中的有效雲量，可先以 AVHRR 高解析度的輻射資料，求取該視場位置內 AVHRR 的晴空及完全雲遮蓋的輻射值。然後，再利用這兩個線性迴歸式，求取 HIRS/2 相對應的晴空及完全雲遮蓋的輻射值，並當成該視場內晴空及完全雲遮蓋部份的輻射值。該視場的輻射值是觀測值，所以求得該視場內晴空及完全雲遮蓋部份的輻射值後，便可迅速求得該視場中的有效雲量，並應用至大氣垂直溫濕剖面的反演。一般而言，有效雲量精確的估計，便可得到較精確的大氣垂直溫濕剖面反演值。

AVHRR 視場分類的正確與否對結果有重大的影響，本研究充份利用 AVHRR 各個頻道的特性，先以監督式分類法在影像上取樣，然後再求取各種物理參數的動態閾值，並據以將 AVHRR 視場區分為晴空、完全雲遮蓋和部份雲遮蓋區等三種類別，而由各類的統計特性顯示此種分類法是可行的。另外，由 HIRS/2 視場的第八頻道輻射強度對相對位置的 AVHRR 第四頻道平均輻射強度的分佈圖中可看出隨著輻射強度的增加，AVHRR 輻射強度值有愈來愈偏離 HIRS/2 輻射強度值的趨勢，這個現象顯示 HIRS/2 輻射強度對 AVHRR 輻射強度並非是單純的線性關係，而是變化緩和的曲線關係。而造成這個現象的原因可能是 HIRS/2 的第八頻道及 AVHRR 第四頻道在較高的亮度溫度時其儀器反應有較大的差別所致，可見將晴空和完全雲遮蓋視場分開處理，各別求其關係式是必要的。從綜合個案及單一個案的結果都顯示出晴空和完全雲遮蓋視場中

HIRS/2 第八頻道和 AVHRR 第四頻道輻射強度的相關性很高，接近完全正相關。所以在部份雲遮蓋的 HIRS/2 視場中利用高解析度 AVHRR 的輻射資料求取低解析度 HIRS/2 視場內的有效雲量是可行且合理的。

最後，將 HIRS/2 視場估算的雲量值分為六類，並以相對應位置的 AVHRR 視場所偵測到的雲量為參考值，以誤差矩陣的形式評估 HIRS/2 資料估算雲量分類的準確度。由冬天和夏天個別的個案及綜合各個季節的研究結果顯示，誤差矩陣的整體精度在 0.833 至 0.888 之間，變化不大。由於使用的資料涵蓋各個季節及各個地區，包括海洋和陸地；另外由輻射強度值的動態範圍來看，其相對應的亮度溫度在 200 K 至 300 K 之間，因此本研究已包含了大部份的氣候類型，而結果均非常一致，這說明了本研究所採用的 AVHRR 視場監督式分類法並不受時空及天候影響。如果未來再累積大量本地區研究個案的經驗閾值，便可建立一套適合本區的閾值模式，這對於研究海面溫度、雲參數和大氣垂直溫溼剖面等研究將有重大的助益，尤其在作業上更能迅速、有效地獲得準確的衛星資料反演值。

誌 謝

本研究在研究期間承蒙中央氣象局氣象衛星中心王光華課長及陳興漢先生在申請衛星資料上之協助，太空遙測中心提供各種軟硬體的使用以及賴美媛小姐行政上的支援，在此一併致十二萬分的謝意。本研究在國科會專題研究計劃支持下完成，專題計劃編號為 NSC81-0202-M008-12。

參考文獻：

- 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學。渤海堂文化事業公司，台灣台北。
- 劉振榮，1990：台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.
- 劉振榮和陳萬金，1992：同時物理反演法在 TAMEX 期間反演結果之分析。大氣科學，Vol. 20, No. 2, 135-152.
- Aoki, T., 1980: A method for matching the HIRS/2 and AVHRR pictures of TIROS-N satellites. *Tech. Note No. 2, Met. Sat. Center, Japan*, 15-26.
- Aoki, T. and S. Nakajima, 1983: Determination of the location and partial cloud amount in each HIRS spot. *Tech. Note special issue, Met. Sat. Center, Japan*, 57-66.
- Chahine, M. T., 1970: Inversion problems in radiative transfer: Determination of atmospheric parameters. *J. Atmos. Sci.*, 27, 960-967.
- Huang, A. H.L., 1986: The improvement of satellite profile retrievals in cloudy conditions. Master Thesis, The University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, North America, 53PP.
- McMillin, L.M., 1978: An improved technique for obtaining clear radiances from cloud-contaminated radiances. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1590-1597.
- Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 527-530.
- Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 90, 1, 123-150.
- Smith, W.L., 1968: An improved method for calculating tropospheric temperature and moisture from satellite radiometer measurements. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 387-396.

- Smith, W.L., 1983: The retrieval of atmospheric profiles from VAS geostationary radiance observations. *J. Atmos. Sci.*, 40, 2025-2035.
- Smith, W.L., H.M. Woolf, and A.J. Schreiner, 1985: Simultaneous retrieval of surface atmospheric parameters: A physical and analytical direct approach. In "Advances in Remote Sensing Retrieval Methods", edited by A. Deepark, H.E. Fleming, and M.T. Chahine, A. Deepark Publishing, Hampton, Virginia, North America, 221-232.
- Smith, W.L., H.M. Woolf, C.M. Hayden, A.J. Scheiner, and J.M. Le Marshall, 1983: The physical retrieval TOVS export package. Presented at *the First International TOVS Study Conference*, Igls, Austria, 29 August - 2 September 1983.
- Susskind, J., J. Rosenfield, D. Reuter, and M. T. Chahine, 1984: Remote sensing of weather and climate parameters from HIRS 2/MSU on TIROS-N. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. C6, June 20, 1984.

Applying AVHRR Data in Estimating the Cloud Cover of HIRS/2 FOV

Gin-Rong Liu and Wann-Jin Chen

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

ABSTRACT

With the exception of providing satellite cloud image, another remarkable achievement of weather satellite mission is the ability to inverse the atmospheric vertical profiles from the radiance observations. In the process of satellite sounding retrieval, it is found that retrieving accurate satellite sounding is more difficult if the HIRS/2 FOV is contaminated by cloud. In this situation, larger difference will occur between satellite retrieval results and radiosonde data. For the purpose of solving the problem caused by cloud within the HIRS/2 FOV, the high resolution radiance observations, AVHRR data, are used to estimate the cloud parameters which will be applied to retrieve satellite sounding in the future. Aoki's position-matching method (1980) was applied to match HIRS/2 and AVHRR images, and lots of radiance observations of clear and completely-cloudy FOV were selected to establish the linear relationship between the radiance of AVHRR channel 4 and that of the HIRS/2 channel 8. From the relationship and the observed AVHRR radiance, accurate effective cloud amount within the HIRS/2 FOV can be estimated.

In verification, the effective cloud amount within the FOV of HIRS/2 was classified into six classes and using the effective cloud amount of the AVHRR FOV located within the HIRS/2 FOV as reference to evaluate the accuracy of cloud amount estimation. The results were shown in a error-matrix . From the results of twelve cases , the accuracies showed on the principal diagonal of the error-matrix are about 83 % to 89 % for all of the cases. This small variation in accuracy represents the stability of this cloud cover estimation algorithm, and it is able to be applied in sounding retrieval in partly cloudy area in the future.

Key Words: Satellite Remote Sensing, Cloud Cover Estimation,