

應用濾雲法在裂雲區求取台灣附近之海面溫度

劉振榮

顏泰崇

陳興漢

國立中央大學太空及遙測研究中心

中央氣象局氣象衛星資料接收站

摘要

在利用衛星觀測得之紅外線窗區輻射值以求取海面溫度時，首要之步驟即必需選取或求得其晴空區之輻射值。由於紅外線之不透雲性，所以在有雲的情況下，真正的晴空輻射值很難由衛星所測得之視場輻射值判斷求得。本研究乃選取應用一種最佳之濾雲技術，以期在此種簡單而準確的濾雲方法輔助下，能在台灣附近海域為裂雲所覆蓋時，求取得準確的晴空輻射值。

在晴空下，由於紅外線窗區頻道在大氣中基本上僅受水汽之影響，所以本研究亦應用多頻道方法來做大氣中水汽吸收的校正。此法乃應用美國 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 繞極衛星上 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 之三個紅外線窗區頻道 (夜間使用三個頻道，白天使用兩個遠紅外線頻道)，利用水汽對其吸收程度的不同，以求得在台灣附近海域求取海面溫度的方程式。

應用此法在 1987 年 12 月下旬 NOAA-9 衛星實測得之台灣區附近 AVHRR 輻射資料，所求得之海面溫度在與傳統船舶觀測之海面溫度比較後，其結果顯示在應用此濾雲技術以求得台灣附近海域之海面溫度，確有做為日常作業之實用價值。

一、前言

由於海洋與大氣間能量轉換問題受其影響很大，所以海面溫度的量測在近幾十年來非常受到重視。而在應用衛星資料求取海面溫度的許多研究中均獲得極令人振奮的結果 (如 Smith et al., 1970; Warnecke et al., 1971; Prabhakara et al., 1971; Prabhakara et al., 1974; Bates, 1982)。研究中且發現，在紅外線窗區頻道中，利用二頻道或多頻道方法較利用單一頻道方法為佳，主要原因乃在利用二頻道或多頻道方法時，在沿著觀測路徑中之大氣水汽衰減效應可以被直接考慮到。McClain 在 1980 年曾提出一個研究結論，即由紅外線窗區多頻道方法所求得的海面溫

度，在與浮標或船舶觀測比較，其差值 (bias) 很小，而均方根誤差 (root mean square error) 僅約 1°C 左右。

在由衛星觀測得之紅外線窗區輻射值以求得海面溫度時，必須先選取或求取其在晴空區的輻射值。因紅外線的不透雲性，所以雲的污染效應將引起海面溫度求取上的很大誤差。在此，本研究將致力於求取在被雲污染區內的海面溫度，使其準確度能達到與在晴空區所求得的一般。

NOAA 繞極軌道衛星上之 AVHRR 可提供 1 公里解析度的像點資料，此高解析度有利於將在部分被雲所污染的區域中的晴空像點找出。AVHRR 有

5 個頻道，分別在可見光，近紅外線及紅外線頻道區，其各頻道的特性，則詳列於表一。

表一 AVHRR 各頻道之特性

頻道	波長 (μm)	主要用途
1	0.58 - 0.68	白天雲或地表之影像製作
2	0.725 - 1.10	水況描述，冰和雲之溶解監視
3	3.55 - 3.93	海面溫度之求取，夜晚雲圖製作
4	10.30 - 11.30	海面溫度之求取，白天或夜晚雲圖製作
5	11.50 - 12.50	海面溫度之求取，白天或夜晚雲圖製作

二、多頻道海面溫度求取法

在一固定的觀測天頂角時，輻射傳遞方程，可以下式表示

$$I(\nu) = B_s \tau_s - \int_0^s B[\nu, T(P)] d\tau(\nu, P) \quad (1)$$

在此， I ， B ，和 τ 分別代表衛星觀測到的輻射值，蒲郎克 (Planck) 輻射值，及大氣穿透率， ν 是波數， $T(P)$ 是壓力為 P 之氣壓層的溫度，註標 S 表示其為地面層資料。在紅外線窗區，因為大氣吸收作用很微弱，所以，大氣穿透率 τ 可做如下假設

$$\tau(\nu, U) = \text{EXP}[-k(\nu)U] \approx 1 - k(\nu)U$$

$$d\tau(\nu, U) \approx -k(\nu)dU$$

在此， U ， $K(\nu)$ 分別代表可降水量及吸收係數。所以，(1)式可寫成

$$I(\nu) = B_s(1 - k(\nu)U_s) + k(\nu) \int_0^{U_s} B[\nu, T(p)] dU \quad (2)$$

若定義一大氣平均蒲郎克輻射值 B_m 如下

$$B_m = \int_0^{U_s} B dU / \int_0^{U_s} dU = \int_0^{U_s} B dU / U_s$$

則(2)式成爲

$$I(\nu) = B_s(1 - k(\nu)U_s) + k(\nu)B_m U_s \quad (3)$$

或可寫爲

$$B_s - I(\nu) = (B_s - B_m)K(\nu)U_s$$

因爲 $B_s \approx I(\nu)$ ，且 $B_m \approx B_s$ 。所以可以應用第一階泰勒展開式，其表示如下

$$B_s - I(\nu) \approx (\partial B / \partial T)_s (T_s - T_b) \quad (4)$$

$$B_s - B_m \approx (\partial B / \partial T)_s (T_s - T_m) \quad (5)$$

將(4)，(5)式代入(3)式，可得

$$T_s - T_b = (T_s - T_m)K(\nu)U_s$$

若考慮兩個紅外線窗區頻道 ν_1 及 ν_2 ，則

$$\frac{T_s - T_b(\nu_1)}{T_s - T_b(\nu_2)} = \frac{K(\nu_1)}{K(\nu_2)} = \frac{K_1}{K_2} \quad (6)$$

$$\text{亦即 } T_s = \frac{K_2}{K_2 - K_1} T_b(\nu_1) - \frac{K_1}{K_2 - K_1} T_b(\nu_2) \quad (7)$$

重組(7)式可得

$$T_s = T_b(\nu_1) + \frac{K_1}{K_2 - K_1} (T_b(\nu_1) - T_b(\nu_2)) \quad (8)$$

同理，若考慮三個頻道，則

$$T_s = T_b(\nu_1) + \frac{K_1}{2(K_2 - K_1)} [T_b(\nu_1) - T_b(\nu_2)] + \frac{K_1}{2(K_3 - K_1)} [T_b(\nu_1) - T_b(\nu_3)] \quad (9)$$

因此，在實際上應用多頻道求取海面溫度的方法，可表爲

$$T_s = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i T_b(\nu_i)$$

其中， n 表頻道數。在台灣地區，曾忠一氏在 1986 年曾應用三個月 (1986 年 10 月到 12 月) 的探空資料及應用 LOWTRAN-6 來模擬 AVHRR 的亮度溫度，並結合此模擬亮度溫度與船舶觀測的海面溫度，將(10)式的係數求出，其結果如表二所示。

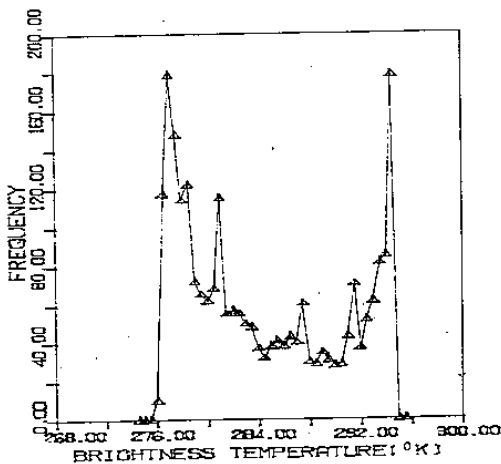
表二 多頻道海面溫度計算方法

	A0	A1	A2	A3
二頻道法	-3.738702	3.827533	-2.812222	-
三頻道法	-6.120660	1.001975	0.9285381	-0.9055073

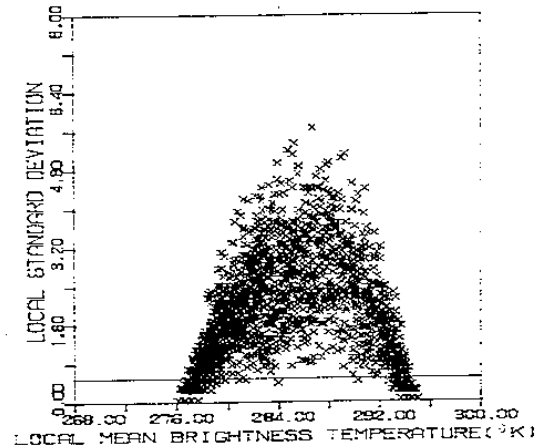
三、濾雲法

在用多頻道方法求取海面溫度時，只有晴空輻射值才能被應用，所以，若待求區域內有雲時，則必須將被雲污染區中之晴空輻射值求取出來。本研究乃應用 Coakley 及 Bretherton (1982) 所提出的空間連貫法，將雲污染區中的晴空亮度溫度求出，此空間連貫法原先乃是被用來估算雲量的方法。

圖一代表在 0.5 經度與 0.5 緯度所圍成的區域內，AVHRR 第四頻道的亮度溫度分布之出現頻率圖。在此區域中，計算出每 2×2 陣的相鄰像點之局地平均亮度溫度及局地標準偏差值。圖二顯示了一個拱門狀圖，其代表 AVHRR 第四頻道之局地標準偏差在為局地平均亮度溫度函數時所得之結果。由圖二可看到低局地標準偏差分布在兩區（亦即在拱門狀圖之兩個拱門腳），一在高溫區，此區內像點之局地平均亮度溫度代表晴空像點之亮度溫度。一在低溫區，此區內像點之局地平均亮度溫度代表



圖一：AVHRR 第四頻道之亮度溫度出現頻率圖，範圍為 0.5 緯度乘 0.5 經度



圖二：局地標準偏差與局地平均亮度溫度關係圖

完全被雲覆蓋像點之亮度溫度。因此，我們若以 0.5 當做局地標準偏差之分界，亦即在圖二中，只保留那些局地標準偏差小於 0.5 之點，如圖三所示，再將這些剩下之點的亮度溫度分布之出現頻率圖繪出，則將出現如圖四所示之兩個分開的分佈曲線，而在較高溫度區的分佈曲線即代表晴空像點的出現頻率分布。在此我們假設其分佈是高斯分佈，亦即其常態密度函數具有如下之形式

$$f(T_b) = f_0 \cdot \text{EXP} \left\{ -\frac{(T_b - T_{b0})^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (1)$$

在此， f 代表出現頻率， σ 是標準偏差值， T_{b0} 則為待求之平均亮度溫度。由(1)式可知，在此常態分佈曲線上任三個點 (T_{b1} , T_{b2} , T_{b3})，均可滿足下列三式

$$f_1 = f_0 \cdot \exp \left[-\frac{(T_{b1} - T_{b0})^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$f_2 = f_0 \cdot \exp \left[-\frac{(T_{b2} - T_{b0})^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$f_3 = f_0 \cdot \exp \left[-\frac{(T_{b3} - T_{b0})^2}{2\sigma^2} \right]$$

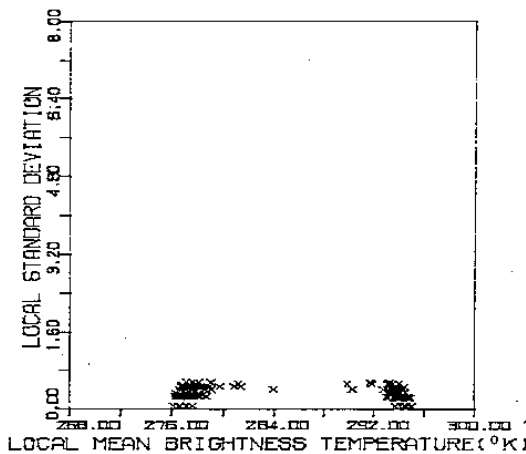
由以上三式可解得

$T_{b0} =$

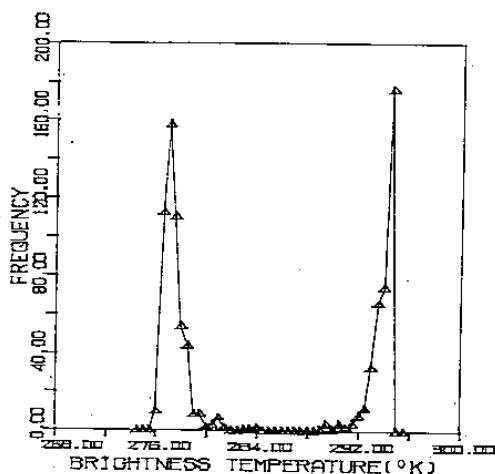
$$\frac{T_{b1}^2 \ln(f_i/f_k) - T_{b2}^2 \ln(f_i/f_k) + T_{b3}^2 \ln(f_i/f_i)}{2(T_{b1} \ln(f_i/f_k) - T_{b2} \ln(f_i/f_k) + T_{b3} \ln(f_i/f_i))}$$

..... (12)

應用此方法在 AVHRR 的第三，四和五頻道，則可分別求出此些頻道在被雲污染區域內的晴空亮度溫度。



圖三：與圖二相同，不過局地標準偏差大於 0.5 之點已被濾除。



圖四：與圖一相同，不過只有在圖三上之點被使用

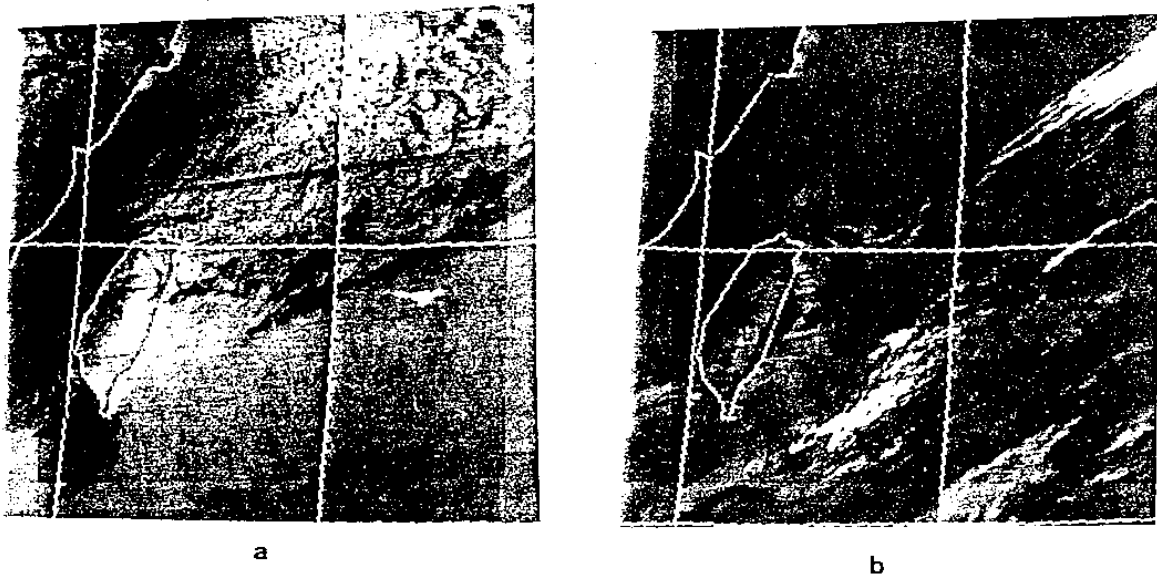
四、結 果

本研究採用兩個個案，分別是 1987 年 12 月 21 日及 1987 年 12 月 23 日在 07Z 時 AVHRR 所觀測得之輻射資料，圖五 a 和五 b 分別為 AVHRR 第四頻道所觀測得之此二時間之紅外輻射影像，其涵蓋範圍是由北緯 20 度到 28 度，東經 118 度到 127 度。由五 a 圖可看出，此時除了沿著大陸海岸線有一窄小之晴空帶外，其餘地區均幾乎是為雲所覆蓋，圖上之南邊甚至幾乎是為密雲區，因而在此區可能無法求取得晴空輻射值以計算海面溫度。總之，本個案可以說是絕大部分為裂雲區，因此非常適合我們來應用本研究之方法，圖六即為應用本研究之濾雲法而求得晴空輻射值，再以曾氏二頻道法計算得之海面溫度分佈圖，其範圍與圖五 a 相同，而分析之網格大小，為 0.5 個經度乘 0.5 個緯度計算一個海面溫度。為了與船舶報告相互比較，船舶觀測之海面溫度在此圖上亦以圖圈中之數值表示。在做比較時，若觀測時間與衛星觀測時間相差在一天以內之船舶報告均列入考慮。表三列出了衛星觀測所得之海面溫度與其相匹配之船舶觀測海水溫度，以及其偏差值。由此表可知，在此時間內，應用本研究之濾雲法，並採用二頻道海面溫度求取法後，衛星求得之海面溫度與船舶報告之偏差值為 0.2875 °C，而其根方差則為 0.9198 °C，此根方差值非常近似晴空區所能達到之結果，因此明顯地本研究之濾雲法在裂雲區求取晴空輻射值時，效果非常良好。

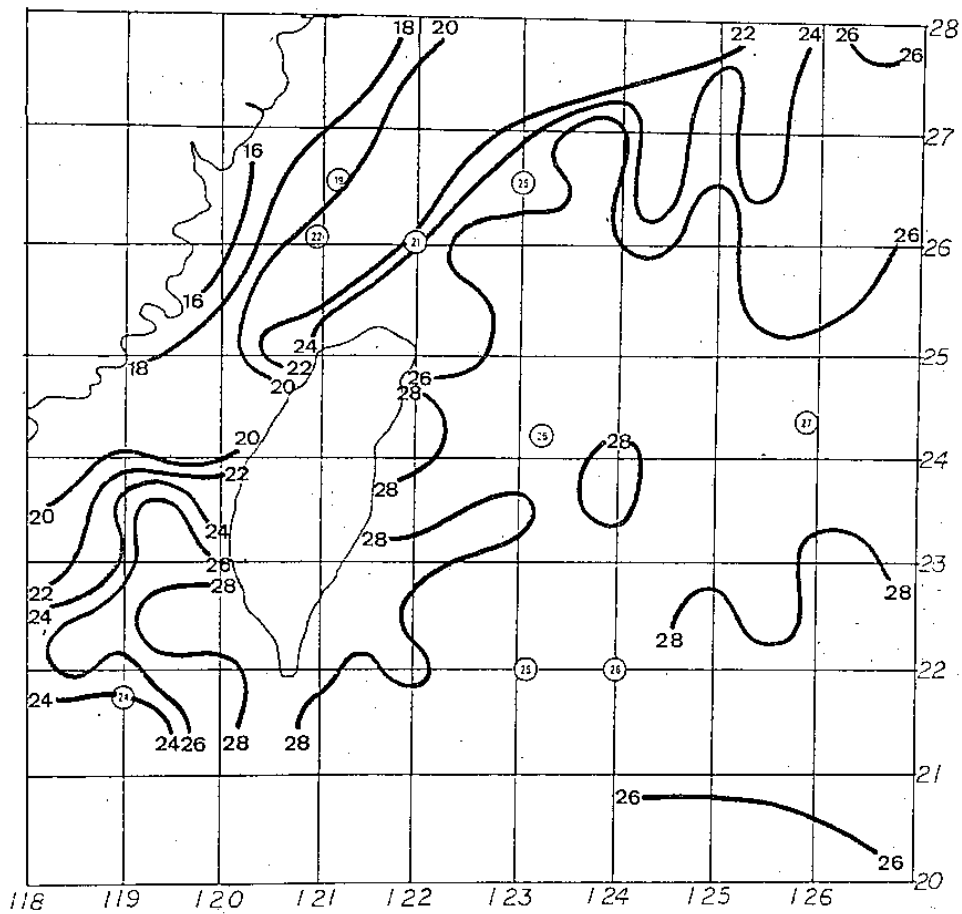
為了更進一步的證明，我們再選擇 12 月 23 日之資料來做另一個個案分析，圖七即為在此時間時，衛星求得之海面溫度分析圖。在此圖上，船舶觀測之海水溫度亦以圖圈中之數值來表示，很明顯地我們亦可發現衛星觀測得之海面溫度，亦均可以與船舶觀測值相吻合。表四亦列出了船舶觀測得之海面溫度，其相對應之衛星觀測值，以及其差值。表上可發現，在北緯 26.4 度，東經 121.2 度處，衛星觀測值與船測具有 2.6 °C 之高偏差，不過由於船測較衛星觀測時間早了一天，且在此地區之海水溫度梯度極大，很可能因此而造成了此高誤差。不過，整體來說，在此時間內衛星與船舶之偏差值仍只為

0.59 °C，而其根方差亦僅只有 1.0549 °C。

合併上述兩個個案分析，由衛星資料所推導得



圖五：① AVHRR 第四頻道在 76 年 12 月 21 日 07z 所觀測得之雲圖，範圍為 20°N 至 28°N 和 118° E 至 127° E ②與圖①相同，不過觀測時間為 76 年 12 月 23 日 07z



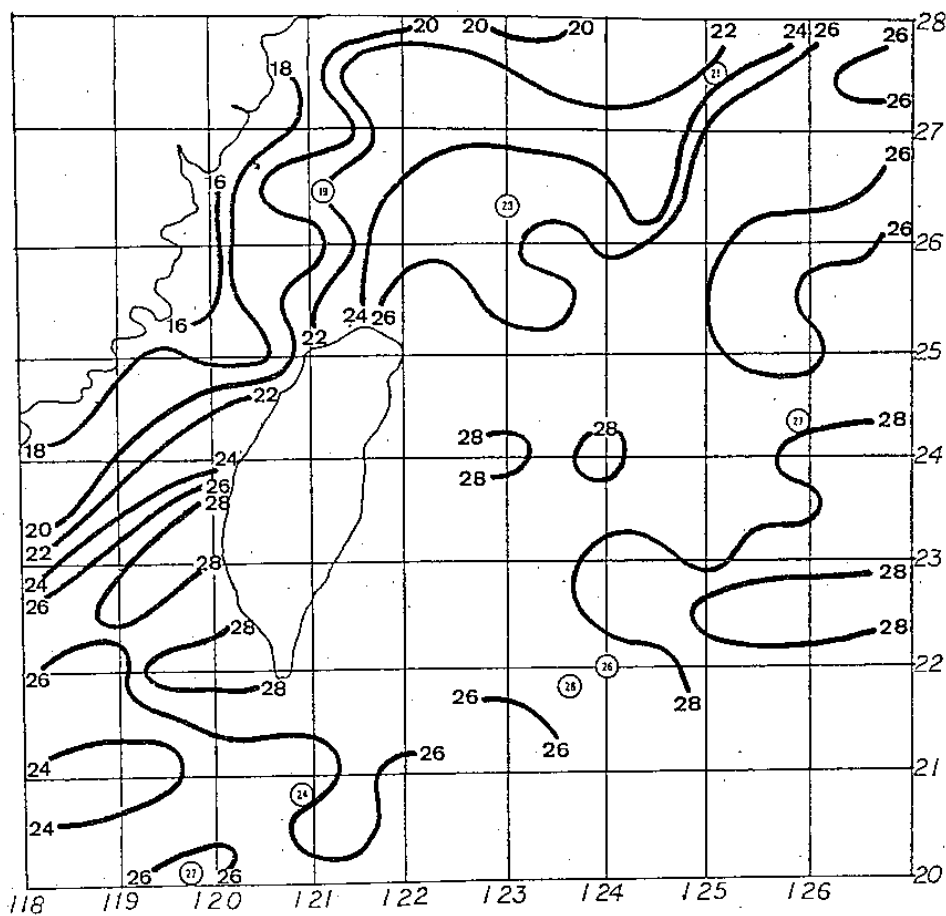
圖六：76 年 12 月 21 日 07z 衛星求得之海水溫度分析圖，分析網格點為 0.5 緯度乘 0.5 經度，圓圈內之數值為觀測海溫。

之海面溫度，在與船舶觀測得之海水溫度相比較時 1.0084°C 。
 ，其差值僅為 0.4556°C ，而其根方差則亦僅為

表三 76年12月21日 07z 衛星與船舶海面溫度之比較(單位 $^{\circ}\text{C}$)

緯 度	經 度	船舶海溫	衛星海溫	偏 差
21.7 N	119.0 E	24.0	24.4	0.4
22.0 N	123.1 E	25.0	25.9	0.9
24.2 N	123.1 E	26.0	26.4	0.4
24.3 N	125.9 E	27.2	27.1	-0.1
26.0 N	122.0 E	21.0	22.8	1.8
26.1 N	120.8 E	22.0	20.5	-1.5
26.4 N	121.2 E	19.0	19.8	0.8
26.5 N	123.0 E	25.0	24.6	-0.4

Total : $N=8$, Bias = 0.2875, RMSE = 0.9198



圖七：與圖六相同，不過衛星觀測時間為76年12月23日 07z

表四 與表三相同。不過觀測時間為76年12月23日 07z

緯 度	經 度	船舶海溫	衛星海溫	偏 差
20.1 N	119.7 E	27.0	26.2	-0.8
20.8 N	120.9 E	24.4	25.3	0.9
21.8 N	123.6 E	26.0	26.4	0.4
22.0 N	124.0 E	26.0	26.4	0.4
22.7 N	127.9 E	28.7	27.7	-1.0
24.3 N	125.9 E	27.2	27.1	-0.1
26.3 N	123.0 E	22.5	24.4	1.9
26.4 N	121.2 E	19.0	21.6	2.6
27.6 N	125.1 E	21.0	22.1	1.1
28.6 N	127.8 E	22.2	22.7	0.5
Total : N = 10, Bias = 0.5900, RMSE = 1.0549				

五、結論及建議

本研究發展了一套在雲區利用 AVHRR 紅外線窗區頻道求取海面溫度之方法。而在此由個案研究結果顯示利用此法在裂雲區應用衛星求取得之海面溫度在與船舶觀測之海面溫度相比較，其準確性非常的高，不過由於衆所皆知船舶觀測並非毫無誤差，因此甚難斷定在應用本研究時所得之結果的真正準確度。Tabata 在 1978 年曾研究發現，船舶觀測海水溫度在與浮標測得之海水溫度相比較，具有 $0.2 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 之誤差存在。此外，由於船舶觀測甚少與衛星觀測之時間相同，因此，亦可能造成彼此間的誤差產生。

在本研究中，我們在求得衛星觀測之晴空輻射值後，乃是應用曾氏所推導得之多頻道海面溫度求取公式來求得海面溫度。而此公式乃是由模擬資料所求得，因此將來似乎可以利用實際衛星觀測得之資料，再與船舶之觀測資料相配合以導求得一適合台灣附近海域之多頻道海面溫度求取公式，如此必可更增進應用衛星求取海面溫度之準確度。

雖然在本研究中之個案分析顯示了令人極為興奮的結果，可是由於此誤差分析個案仍嫌不足，因此仍不能斷言本研究方法在此處顯示之準確性具有代表性，故未來仍需更進一步做長期性的衛星與船

舶觀測海面溫度之相互比較，以確實證明應用本研究方法在裂雲區求取海面溫度之實用價值。

六、參考文獻

1. 朱曙光，曾忠一，1986：海面溫度衛星遙測中水汽訂正問題之研究。農業委員會遙感探測技術發展策劃小組研究報告，83 頁。
2. Bates, J. J., 1982: Sea Surface Temperature Derived from VAS Multispectral Data. M.S. Thesis, Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, 40pp.
3. 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.
4. McClain, E. P., 1980: Multiple Atmospheric-Window Techniques for Satellite derived Sea Surface Temperatures. Oceanography from Space, Plenum Press, New York, 73-85.
5. Prabhakara, C., G. Dalu, and V. G. Kunde, 1974: Estimation of Sea Surface Temperature from Remote Sensing in the 11 to 13 μm Window Region. J. Geophys. Res., 79, 5039-5044.

6. Smith, W. L., P. K. Rao, R. Koffler, and W. R. Curtis, 1970: The Determination of Sea Surface Temperature from Satellite High Resolution Infrared Window Radiation Measurements. MWR, 98, 604-611.
7. Tabata, S., 1978: Comparison of Observations of Sea Surface Temperature at Ocean Station P and NOAA Buoy Stations and Those Made by Merchant Ship Traveling in Their Vicinities in the Northeast Pacific Ocean, J. Applied Meteor., XVII, 374-385.
8. Warnecke, G. L., L. J. Allison, L. McMillin, and K. H. Szekiolda, 1971: Remote Sensing of Ocean Currents and Sea Surface Temperature Changes Derived from the Nimbus II Satellite. J. Phys. Oceanogr., 1, 45-60.

Applying Cloud-Clearing Technique in Cloudy Area to Estimate Satellite-Derived Sea Surface Temperature around Taiwan Area

Gin-Rong Liu

Tai-Chung Yen, Hsing-Hann Chen

Center for Space and Remote Sensing Research
National Central University

Meteorological Satellite Ground Station
Central Weather Bureau

ABSTRACT

A multiple-channel method is developed to determine sea surface temperature from the radiation measurements of AVHRR infrared window channels. To estimate sea surface temperature from satellite observed infrared window channel radiances, it has been necessary to first select or determine the radiances for clear air. In this study, a simple and accurate cloud-clearing technique called "spatial coherence method" is applied to extract the clear air radiances from observed cloud-contaminated radiances.

The results obtained from this method are compared with conventional ship observations. The intercomparisons reveal the usefulness of this technique in estimating sea surface temperature in cloudy area.