

# 第四章 晴空地表氣溫與紅外線表面亮度溫度關係

衛星紅外線頻道資料為反應地球表面之長波輻射，不同性質表面的輻射值有其相對應之溫度，我們稱之為亮度溫度。衛星在太空中以非接觸儀器所偵測的物體表面亮度溫度，與實際我們所使用接觸性的溫度感應器測量物體表面溫度應有相同的結果，本章就兩者不同方法偵測物體表面溫度之關係提出探討。

## 第一節 亮度溫度

當輻射能量接觸到一理想物體時，其能量完全被吸收或反射、透射，即

$$A + R + T = 1 \quad A : \text{吸收率} \quad R : \text{反射率} \quad T : \text{透射率}$$

此理想物體我們稱之為黑體 (Blackbody)。

黑體輻射能量分布定律是普朗克 (Planck) 在 1901 年發展出來的，他指出溫度為  $T$  的黑體放出的輻射強度隨頻率  $\tilde{\nu}$  的分布可用普朗克函數  $B_{\tilde{\nu}}(T)$  表示：

$$B_{\tilde{\nu}}(T) = \frac{2h\tilde{\nu}^3}{c^2(e^{h\tilde{\nu}/KT} - 1)}$$

$h$  : 為普克朗常數     $c$  : 為真空中的光速     $K$  : 為 Boltzmann 常數

在許多大氣遙測與天體物理應用中，我們常使用亮度溫度（Brightness Temperature； $T_b$ ）一詞。某物體表面放出單色輻射強度若和一黑體放出相同，那麼這個黑體表面溫度就為該物體亮度溫度。若某物體放出的輻射強度為  $I_{\tilde{\nu}}$ ，則亮度溫度  $T_b$  可按  $I_{\tilde{\nu}} = B_{\tilde{\nu}}(T_b)$  求出，得到  $T_b$ 。

$$T_b(\tilde{\nu}) = \frac{h\tilde{\nu}}{K \ln(1 + 2h\tilde{\nu}^3 / c^2 I_{\tilde{\nu}})}$$

上式說明了在一定波長，黑體輻射強度隨溫度而增加，換句話說，物體表面溫度愈高，則輻射強度就越強，反之溫度愈低，輻射強度則表現愈弱（曾忠一，1983）。

因此衛星紅外線頻道，為接收地表與大氣環境的各種氣體、雲層所發射的紅外線長波輻射。表面溫度愈高，衛星接收的輻射越強；溫度愈低，輻射愈小。如果將輻射強度轉換為衛星影像，輻射強以黑色表示，反之以白色表示。顯示物體表面黑色為較高溫度區域，白色為低溫區，因此我們就可根據衛星影像資料色調的深淺判別表面溫度的分布情形。

## 第二節 傳統表面觀測溫度與衛星觀測亮度溫度之關係

以往吾人研究地表溫度變化，最常使用的方法為利用地面氣象站的實際接觸性的氣溫觀測，但由於空間分布的不均與實際觀測的各種限制，較難估計地面氣象站以外大範圍的實際地表溫度分布與變化情形。衛星遙測系統中之紅外線頻道因可偵測地球表面之亮度溫度，故不同地表分布特性，將反應不同的表面溫度。假設當地表為晴空時，衛星所偵測得地球表面之亮度溫度，應接近觀測站實際所測得之氣溫。

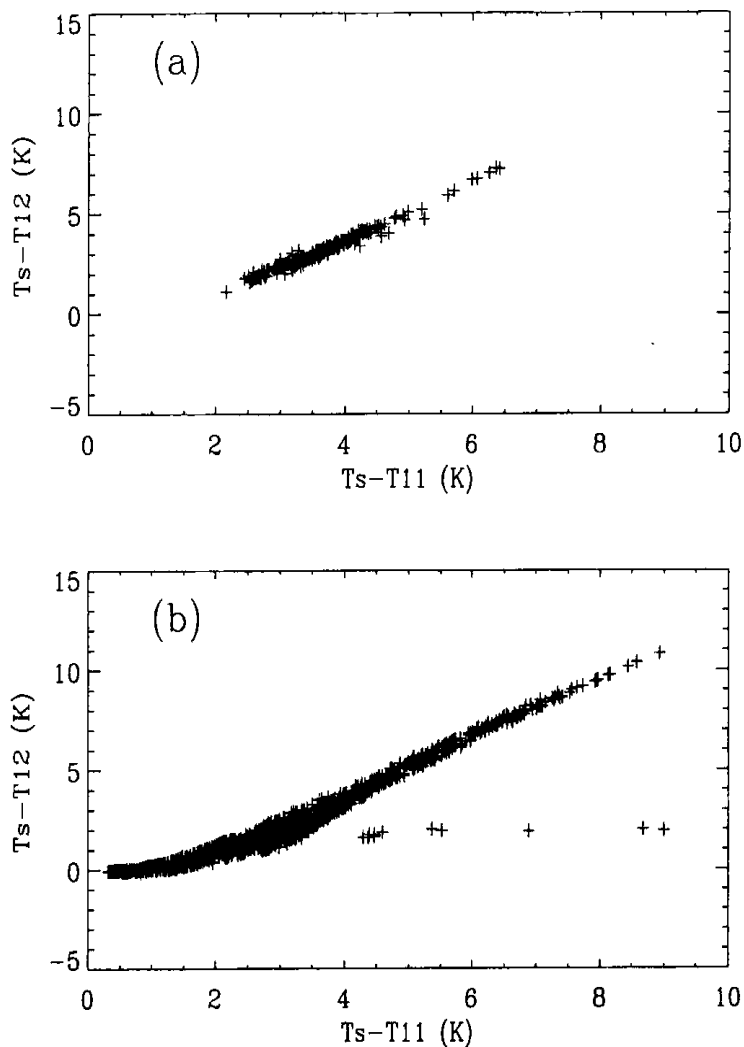
在極區地面熱能收支實驗計畫中 (Surface Heat Budget in the Arctic; 簡稱 SHEBA)，科學家收集了 1997~1998 年的觀測資料，研究發現繞極軌道衛星之 AVHRR 資料與實際地面觀測氣溫有顯著的相關性。在無雲的條件下，實際地面觀測氣溫與衛星 AVHRR 紅外線亮度溫度相關係數達  $r=0.992$ ，均方根誤差 (rmse) 為  $1.58^{\circ}\text{K}$  (Perovich & Elder, 2001)。

Sun and Pinker (2003) 曾利用 GOES-8 地球同步衛星紅外線第一頻道 ( $11.0\ \mu\text{m}$ ) 與第二頻道 ( $12.0\ \mu\text{m}$ ) 數據資料計算不同表面特性地面觀測溫度與此兩頻道的亮度溫度差異，研究發現在單一性質表面地面觀測溫度與衛星紅外線頻道亮度溫度較複雜地表特性，溫度差異較小且更具有相關性 (圖十五)。

張子瑩等 (2003) 利用 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 繞極軌道衛星第四頻道熱紅外線 ( $10.8\ \mu\text{m}$ ) 資料與同一觀測時間之地面測站所測得之溫度值，進行線性迴歸統計分析，得到下面線性相關式：

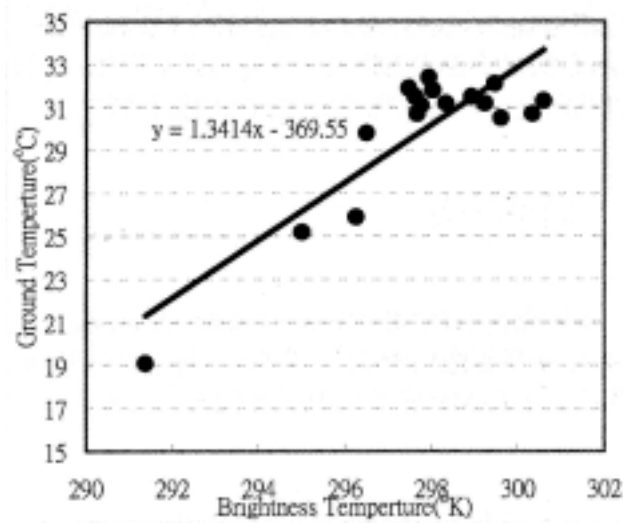
$$Y=1.3414X - 369.55 \quad Y:\text{地表溫度} (^{\circ}\text{C}) \quad X:\text{衛星觀測亮度溫度} (^{\circ}\text{K})$$

由圖十六的散佈圖與迴歸方程顯示，衛星紅外線所觀測得表面亮度溫度與地表測站的觀測氣溫有顯著相關性存在。

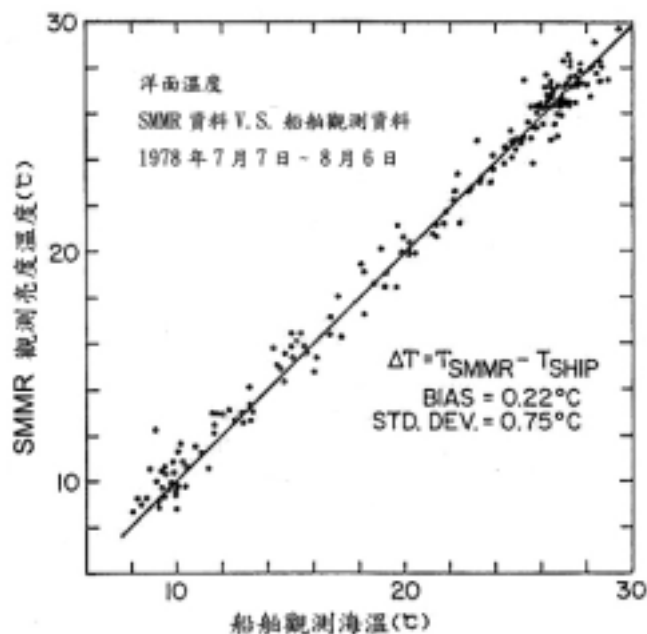


圖十五 GOES-8 衛星紅外線第一、二頻道亮度溫度與地面觀測溫度偏差分佈情形

(a) 森林 (b) 所有型態地表 (摘自 Sun and Pinker, 2003)



圖十六 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 衛星紅外線頻道 (10.8  $\mu\text{m}$ ) 亮度溫度與地表測站迴歸分析 (摘自張子瑩等, 2003)



圖十七 由 SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) 推估海溫 (SST) 與船舶觀測海溫 (SST) 比較情形 (摘自 Bernstein, 1982a)

McClain (1979)、Alishouse and McClain (1985) 等人曾利用衛星的熱紅外線波譜資料估計海溫 (Sea Surface Temperature; SST) 工作進

行多年，Gloersen and Barath (1977)、Njoku 等人 (1980) 亦利用繞極軌道衛星的 SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) 資料，應用於海面溫度試驗。Bernstein (1982a) 把太平洋西北部夜間的海溫觀測資料與繞極軌道衛星 SMMR 溫度場進行比較後 (圖十七)，發現 SMMR 所推導海溫與船舶觀測資料，兩者間在大範圍內具有良好的一致性 (許健民等譯，1994)。

由以上研究顯示，在晴空視場的環境下，利用衛星數據資料推導各種表面溫度，可獲得良好的結果，因此衛星資料常被應用於大範圍表面溫度的推估。

### 第三節 晴空地表氣溫與紅外線亮度溫度統計相關

本研究利用 2002 年每日 0300UTC 之地球同步衛星之紅外線觀測之數據資料與相同觀測時間實際之地面觀測資料，在地面觀測站晴空條件下，選取測站附近約 10×10 pixel boxes 之平均亮度溫度與地面觀測之氣溫，統計兩者間相關情形。其各月之散佈圖（圖十八）與統計相關結果如表六所示：

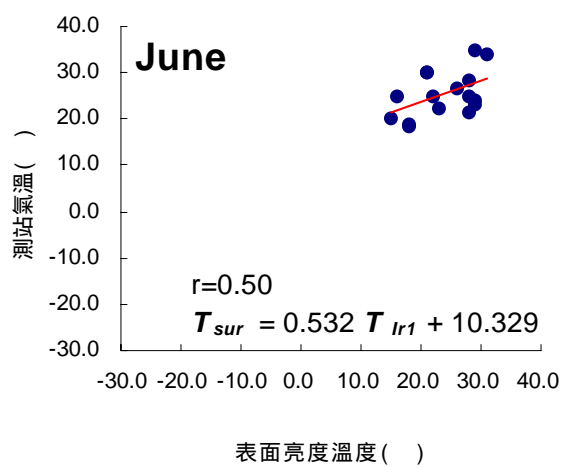
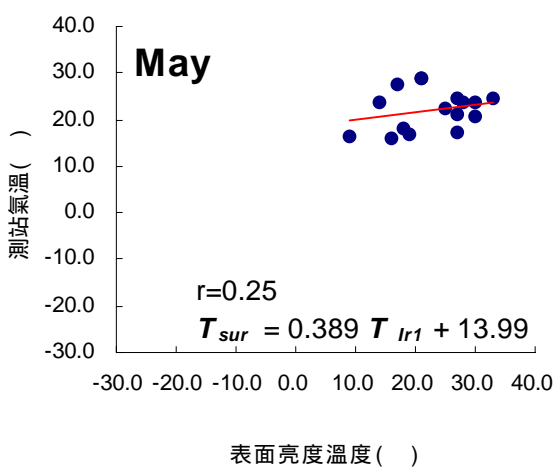
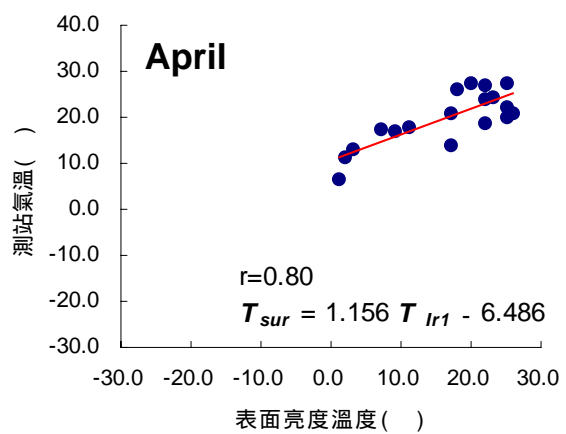
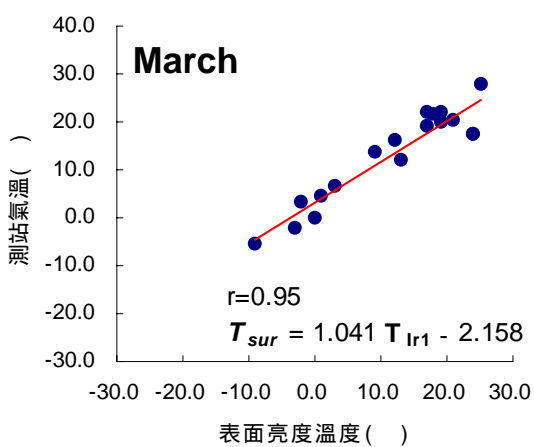
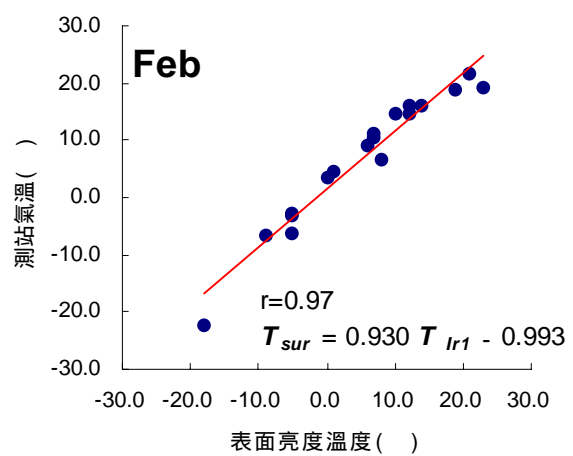
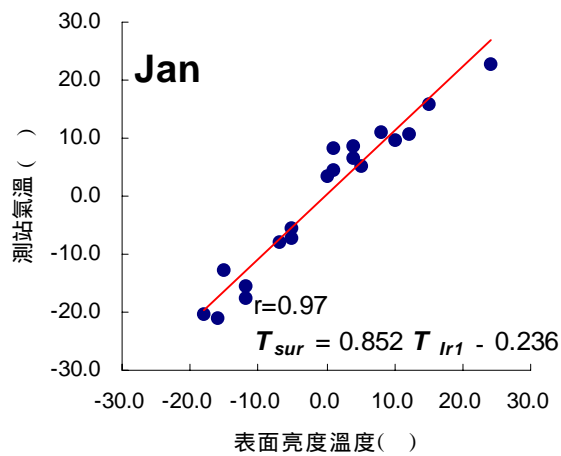
表六 2002 年各月地面觀測氣溫與紅外線亮度溫度統計相關

月 份	均方根誤差 (°C)	相關係數 (r)	迴歸方程
一 月	2.80	0.97	$T_{sur} = 0.852 T_{lr1} - 0.236$
二 月	2.64	0.97	$T_{sur} = 0.930 T_{lr1} - 0.993$
三 月	3.59	0.95	$T_{sur} = 1.041 T_{lr1} - 2.158$
四 月	5.34	0.80	$T_{sur} = 1.156 T_{lr1} - 6.486$
五 月	6.07	0.25	$T_{sur} = 0.389 T_{lr1} + 13.99$
六 月	4.43	0.50	$T_{sur} = 0.532 T_{lr1} + 10.329$
七 月	3.61	0.46	$T_{sur} = 0.459 T_{lr1} + 17.11$
八 月	4.70	0.55	$T_{sur} = 0.997 T_{lr1} + 1.477$
九 月	6.08	0.47	$T_{sur} = 0.691 T_{lr1} + 8.629$
十 月	3.66	0.95	$T_{sur} = 1.0 T_{lr1} - 1.075$
十一月	3.50	0.97	$T_{sur} = 1.026 T_{lr1} - 0.60$
十二月	2.99	0.98	$T_{sur} = 0.919 T_{lr1} - 0.79$
<b>2002 年</b>	<b>4.42</b>	<b>0.94</b>	<b><math>T_{sur} = 0.995 T_{lr1} - 0.25</math></b>

$T_{lr1}$ ：同步衛星紅外線頻道亮度溫度 ( )

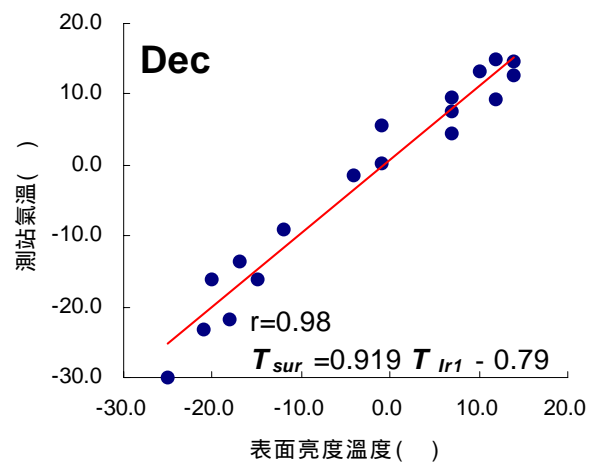
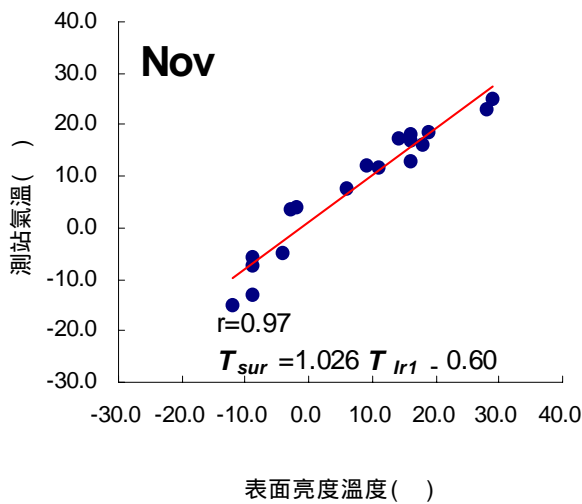
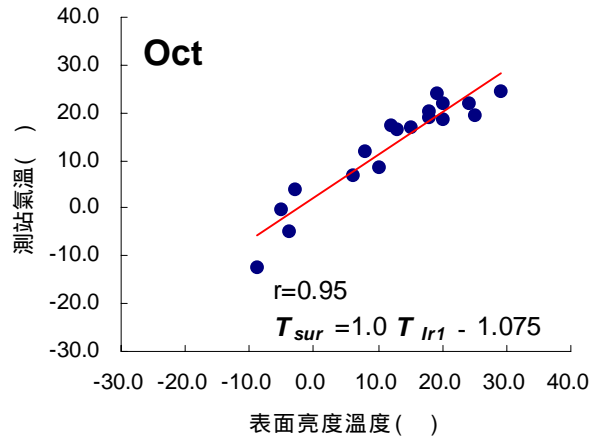
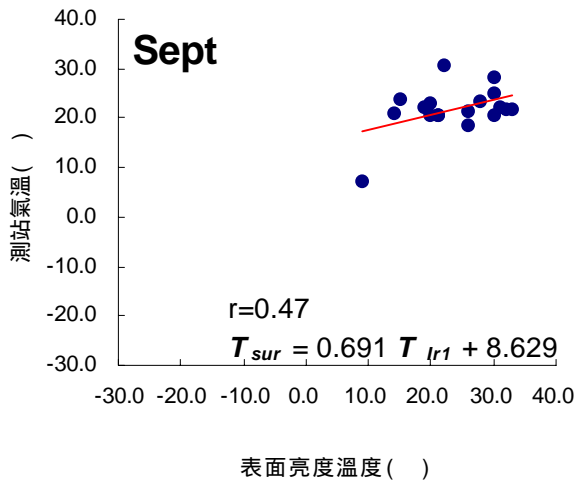
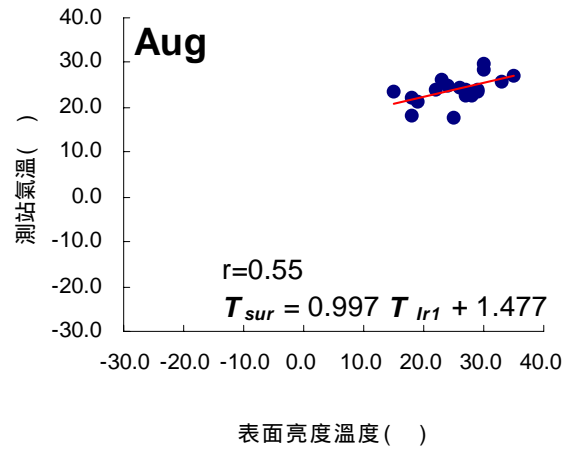
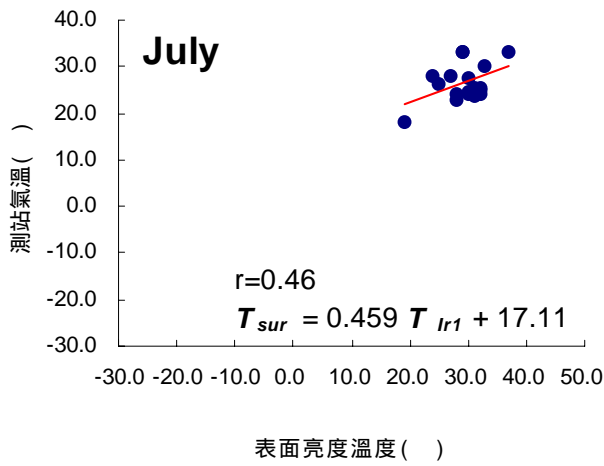
$T_{sur}$ ：地面觀測溫度 ( )

我們由各月之統計分析發現，一月~三月、十月~十二月冷季中晴空狀態下地面氣象站觀測氣溫與同時間之地球同步衛星紅外線頻道所偵測得測站附近的亮度溫度有顯著相關性，其相關係數 (r) 都超過 0.95，均方根誤差 (rmse) 則介於 2.64~3.66 °C。



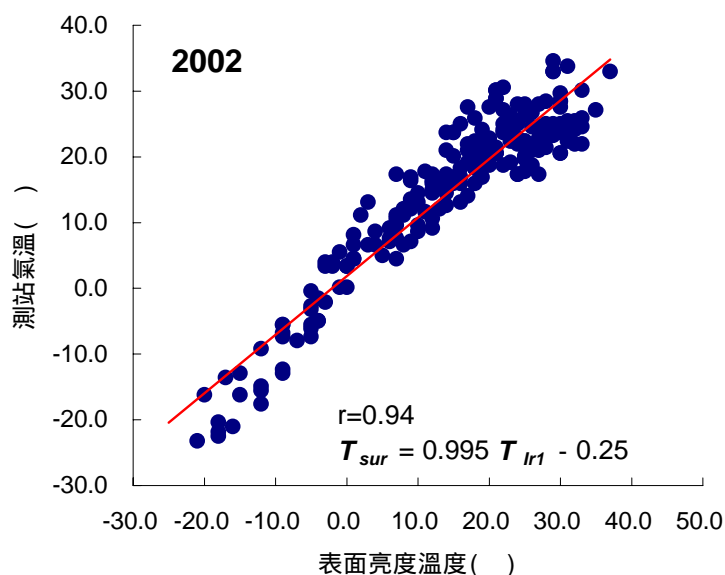
圖十八 2002 年各月晴空區之地面觀測氣溫與紅外線表面亮度溫度散佈圖





續 圖十八

進入暖季四月~九月間，地表迅速增暖，南北溫差減小，因此在中國大部分地區氣溫都在攝氏零度以上，因為氣溫南北差異的減小，造成晴空條件下，氣象站的觀測氣溫與紅外線頻道反應之亮度溫度之相關程度明顯下降，相關係數 ( r ) 約在 0.25~0.8，均方根誤差 ( rmse ) 則為 3.61~6.08 °C。但檢視四月~九月之散佈圖，可發現地面觀測氣溫與相對之紅外線頻道之亮度溫度有明顯集中情形。



圖十九 2002 年全年晴空區之地面觀測氣溫與紅外線表面亮度溫度散佈圖

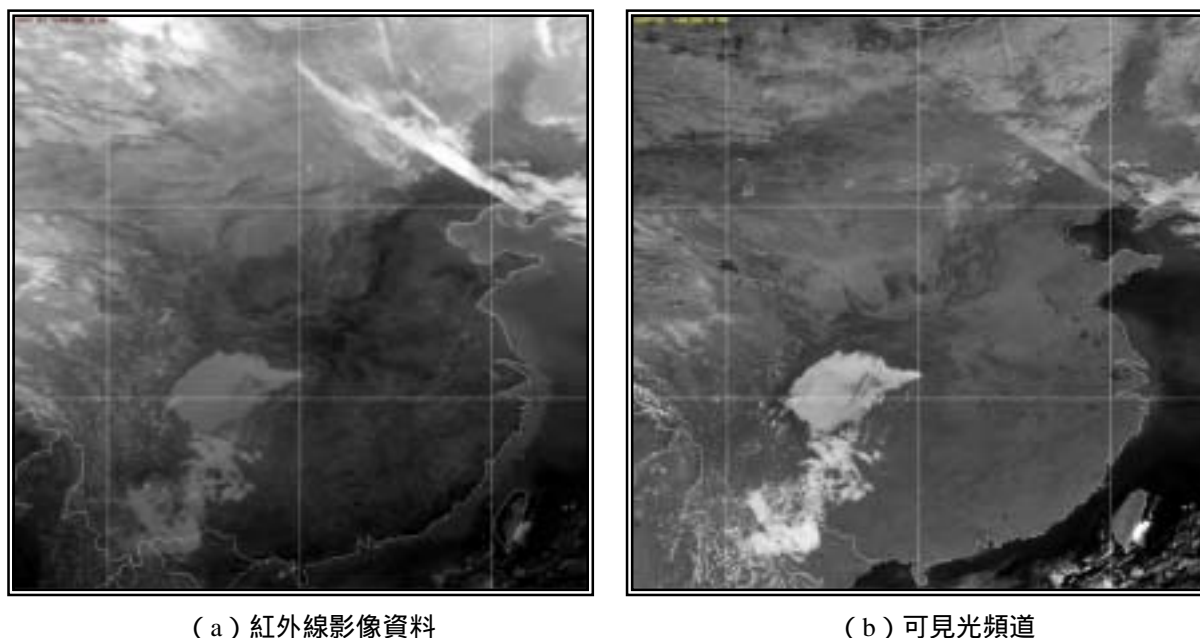
我們統計 2002 年全年晴空條件下 ( 圖十九 )，地球同步衛星紅外線頻道亮度溫度與地面觀測溫度之相關係數為  $r=0.942$ ，均方根誤差為  $rms=4.42$  °C，仍達顯著相關。

由以上統計顯示，地球同步衛星之紅外線頻道所偵測得表面亮度溫度 - 地面觀測氣溫的關係與前人利用繞極軌道衛星資料，有一致的結果。因此，我們可以利用衛星紅外線頻道之亮度溫度與地表觀測

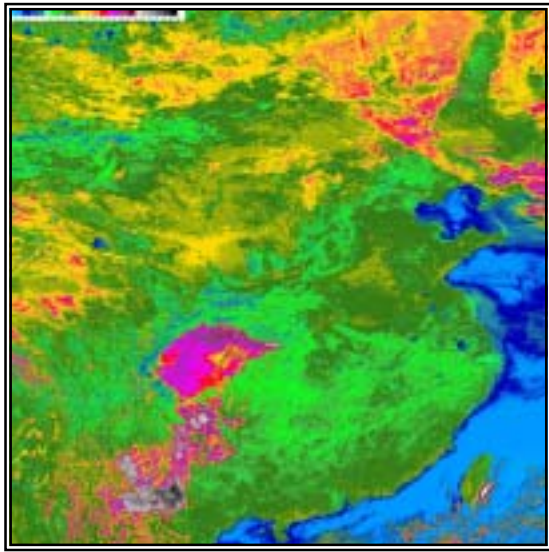
氣溫的相關性推估晴空時地表氣溫。由上述的研究結果，應用地表觀測氣溫與衛星紅外線頻道亮度溫度之溫度偏差量判別式，判斷可見光頻道數據資料是否為晴空環境下之反照率，濾除雲影響而獲得晴空之地面單頻道反照率。

## 第四節 可見光頻道反照率推估分析個案

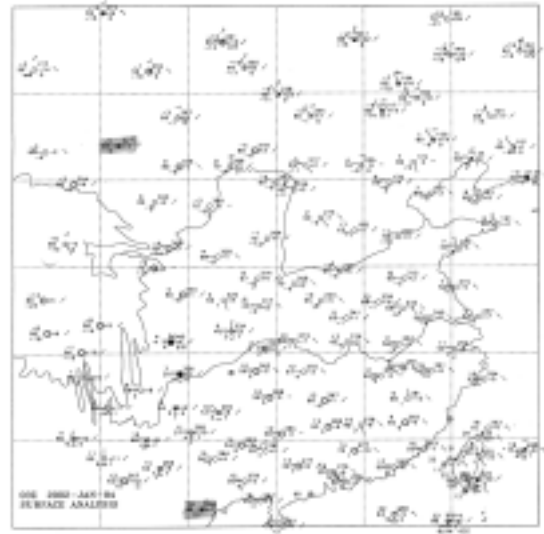
圖二十為 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 紅外線與可見光影像資料,在紅外線影像中,我們可發現在河北省  $45^{\circ}$  N 附近存在色調較亮且白的偏冷雲系,吉林省至內蒙  $50^{\circ}$  N 一帶,在紅外線影像中為色調較灰的表面,圖中另一明顯的區域是位於四川盆地附近有明顯的暖表面存在與台灣東南部沿岸地區的灰色色調區域。對照可見光影像,在河北省附近之亮白偏冷的雲系,在可見光影像中呈現灰色色調,顯示此雲層為較淺薄高度較高的冷雲。四川盆地的雲系在可見光影像中,表現了明顯的高亮度反應,顯示存在此區域為中低層的霧區或層雲,相同在台灣東南沿岸附近的雲系也在可見光中表現出高亮度,因此我們可判斷此為發展高度不高的層積雲。由可見光影像中我們可發現存在地表較高反照率區域,在紅外線影像中都具有較暖的亮度溫度。



圖二十 地球同步衛星 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 影像資料



圖二十一 地球同步衛星 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 可見光色調強化影像



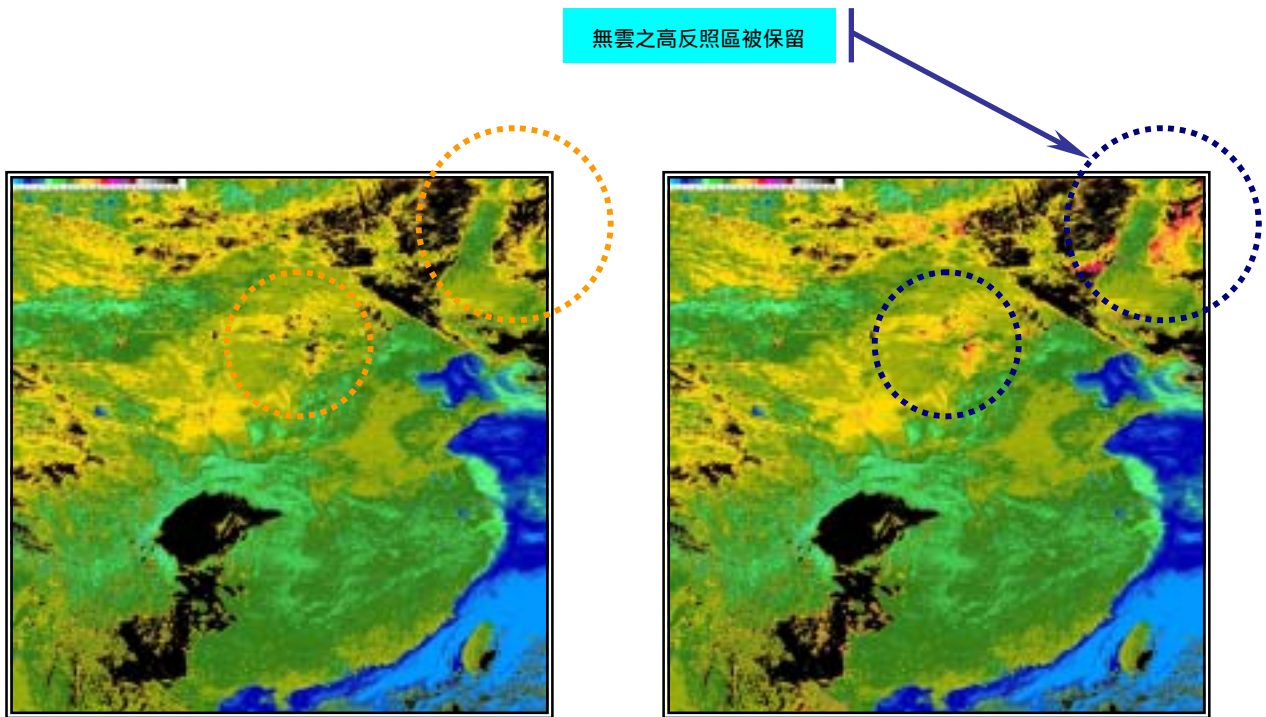
圖二十二 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 地面觀測資料

**圖二十一**為 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 的可見光頻道色調強化影像，配合相同時間地面觀測報告（**圖二十二**），我們可發現在河北省附近的高層雲系與周遭附近一帶無雲地表都有較高的反照率分布。同時在四川盆地與台灣東南部附近亦有較高的反照率值，另外在晴空區域的河套與山東、河南附近相同也顯示有相對較高反照率情形。

我們需先初步分離地表反照率與大氣環境中的反照率，經統計分析後，選定保留可見光頻道數據資料門檻值灰度值 100 以下，大部分地表反照率特性區域，如**圖二十三**所示。在圖中四川盆地附近、台灣東部沿岸地區、河北與內蒙一帶高反照率區域都被濾除，但也有部分地表高反照率與雲區反照率特性接近區域同時一併被過濾去除，所以我們藉由同一時間的紅外線與地面觀測資料，將晴空區域的高反照率區域再次被保留下來。

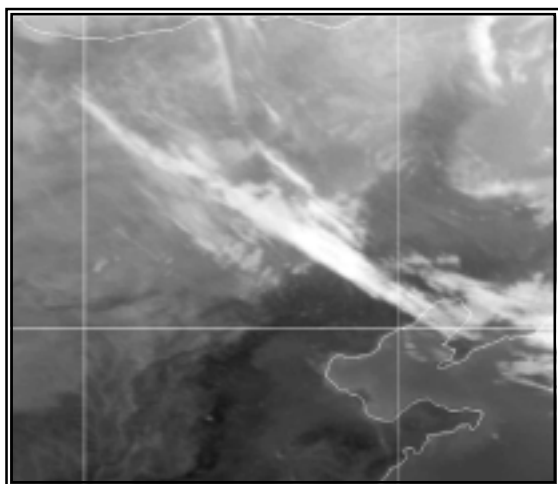
經由統計分析，將紅外線頻道亮度溫度與相對於地表觀測溫度的溫度偏差值（均方根誤差）判別式，代入可見光頻道數據資料再次計

算，將平均溫度偏差量小於 4.5 可見光頻道的像素 ( pixel ) 資料都視為晴空狀態。在圖二十四我們可以發現河套地區、內蒙與吉林等高反照率地區的可見光資料經由濾雲法過程而被保留，圖二十五為各頻道資料的局部放大。

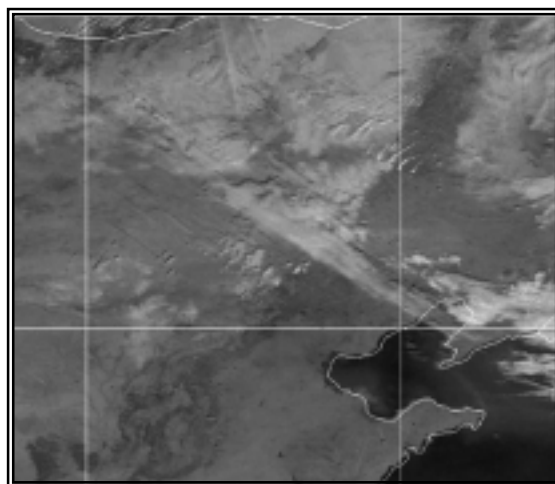


圖二十三 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 可見光頻道  
反照率灰度值 < 100 色調強化影像

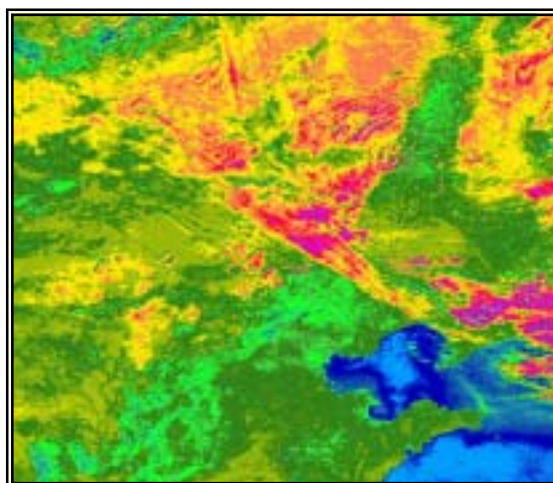
圖二十四 2002 年 1 月 4 日 0300UTC 可見光頻道  
之  $|tbb-ts| < 4.5$  色調強化影像



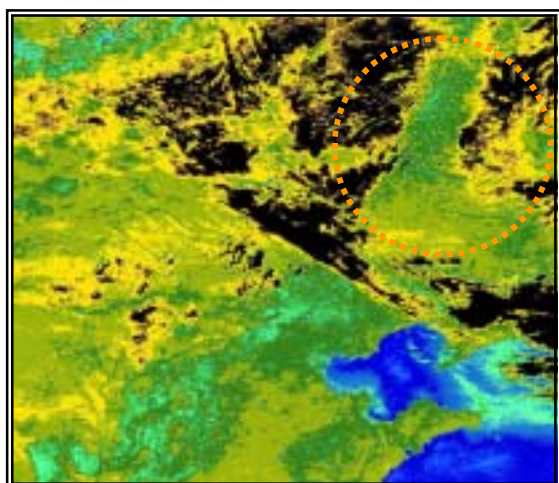
(a) 紅外線頻道影像



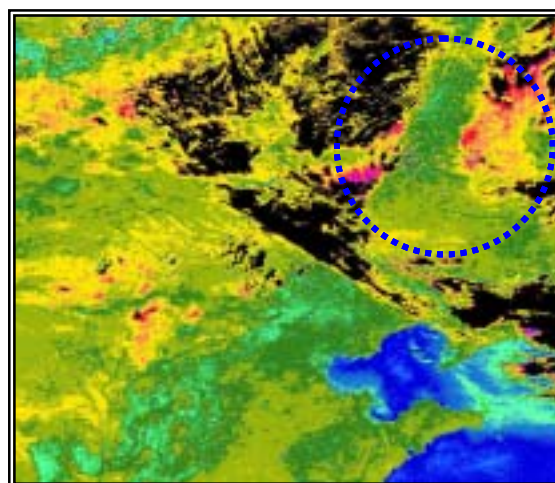
(b) 可見光頻道影像



(c) 可見光頻道色調強化影像



(d) 可見光頻道反照率灰度值 < 100



(e) 可見光頻道之 $|tbb-ts| < 4.5$

色調強化影像 色調強化影像

圖二十五 地球同步衛星 2002 年 1 月 4 日 0300 UTC 各頻道影像局部放大圖

## 第五節 小 結

衛星遙測系統中之紅外線頻道接收地表與大氣環境的各種氣體、雲層所發射的紅外線長波輻射，物體的表面輻射越強；反應表面亮度溫度愈高，輻射愈小，表面亮度溫度愈低。當地表為晴空時，衛星所偵測得地球表面之亮度溫度，應接近氣象觀測站實際所測得之氣溫。

由衛星所偵測得表面亮度溫度與相對應之氣象觀測站之觀測氣溫資料，經統計分析發現，晴空狀態下地面氣象站觀測氣溫與同時間之地球同步衛星紅外線頻道所偵測得測站附近的亮度溫度有顯著相關性，其相關係數 ( $r$ ) 平均為 0.942，均方根誤差 ( $rmse$ ) 為  $4.42^{\circ}C$ 。

在可見光頻道之反照率灰度值數據資料中，利用灰度門檻值選取，可保留大部分地表特性的反照率，再經由紅外線頻道亮度溫度與氣象觀測站之平均溫度偏差值（均方根誤差； $rmse$ ）濾雲法的判別選取，可濾除雲系影響之可見光頻道高反照值區域，將晴空區的高反照率區域保留下來。