

AVHRR 及 ATSR 亮度溫度測量的綜合比較

吳宜昭

國立台灣大學大氣科學系

(中華民國九十年四月二十三日收稿；中華民國九十年八月十三日定稿)

摘 要

為檢視 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度測量的一致性及其差異性，本研究取校準過且經地理定位的 AVHRR 及 ATSR 紅外亮度溫度資料進行比較，選用的資料包括兩區域之資料，一為 1991 年 10~11 月於西地中海與英吉利海峽（地中海組）的測量，一為 1992 年 5~9 月於美國東南部與海岸附近（美國組）的測量。比較結果顯示，不分測量地域、季節，AVHRR 及 ATSR 的亮度溫度均有不小的差異。AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的數值隨比較組的不同差別相當大，第四頻道亮度溫度差異的範圍為 $-0.834\text{K} \sim 2.597\text{K}$ ，第五頻道亮度溫度差異的範圍為 $-1.617\text{K} \sim 2.746\text{K}$ ，而 AVHRR 亮度溫度普遍較 ATSR 亮度溫度高，有的比較組差異高達 2.75 K。綜合而言，第四頻道亮度溫度差異平均值及其加減標準差為 $0.593\text{K} \pm 0.755\text{K}$ ，第五頻道為 $0.623\text{K} \pm 0.847\text{K}$ 。本研究並探討亮度溫度差異的可能來源。考慮的因素包括大氣及海洋環境的變化、測量當時狀況諸因素（測量天頂角、第四及第五頻道亮度溫度差距、影像亮度溫度的平均值及標準差）、雲污染的可能、地理定位誤差、飛行校準系統性能、檢測計噪聲及資料數位化誤差等。

本研究對 AVHRR 及 ATSR 紅外亮度溫度詳盡的綜合比較，顯示兩者的差異不小，且造成差異的原因相當多元。欲結合兩種資料以進行需要長期、精確海溫資料的短期氣候研究時，須特別考慮此因素。

關鍵詞：AVHRR、ATSR、亮度溫度差異

一、前 言

海氣交互作用是短期氣候最關鍵的一環。透過海表面，大氣和海洋進行動量、熱量和氣體的交換，交換的速率則受海氣溫度的差異控制，因此海面溫度在短期氣候研究上扮演重要的角色。傳統的海溫測量受限於觀測地點、時

間的限制，只能提供零星、局部的現場資料，相對的，衛星輻射計提供長期、大量且涵蓋面廣之海溫資料，是研究氣候變化的最佳利器。然而，如同其他量度方式，衛星輻射計提供的海溫測量，其準確性亦受到某些因素的限制。

當一個衛星輻射計指向地球進行測量時，

檢測計所接收到的，除了海／地表的射出輻射，還包括被海／地表或大氣反射、散射的大氣或太陽輻射。而海／地表射出輻射在穿透大氣層、抵達輻射計的過程中，部分會被不透明的大氣吸收。這些額外的輻射以及大氣對海／地表射出輻射的削弱效應，合起來便是大氣效應。另外，天空中有雲時，雲會遮蔽部份海／地面，雲輻射並會混淆海溫的訊號。因此，大氣效應及雲污染，便成為決定衛星海溫準確度的兩大因素。

雲裡的固態及液態懸浮粒子，會增強大氣對陽光的散射，也會增加大氣對進入大氣之輻射的吸收及放射。在一般雲較海面冷的狀況下，以上三項的綜合效應，常使衛星海溫測量中的可見光／近紅外光輻射測值出現峰值，並降低熱紅外光輻射測值(Gower, 1985)。為了偵測出雲以訂正雲污染的影響，遙測專家發展出各種技術，或只用單一頻道，或綜合多重頻道（紅外光及可見光）的資訊，針對不同的狀況，有效地偵測出雲的存在（Coakley and Bretherton, 1982; Llewellyn-Jones et al., 1984; McClain et al., 1985; Rossow et al., 1985）。

大氣由各種氣體及懸浮微粒組成，它會吸收或散射周圍的輻射，自身也會發出輻射。氣溶膠對輻射的散射與其種類及濃度有關，它對可見光及近紅外光波段的輻射有很強的削弱效果(Saunders and Edwards, 1989)。在此，我們假設於衛星海溫資料處理過程中，雲偵測的技術可以很有效地將氣溶膠濃度高到足以對大氣效應造成貢獻的情況檢查出來，並將之濾除，故氣溶膠對大氣效應的貢獻可被忽略。因此若考慮在無雲狀況下，衛星的輻射計測量到的紅外線波段輻射，其來源便只有三種：被大氣削弱過的海／地表輻射、被海面反射的大氣輻射及

大氣本身的輻射（Minnett, 1988; Robinson, 1985）。

大氣中對紅外光 3~14 μm 輻射有顯著削散效果的氣體有很多種，包括水氣、二氧化碳、臭氧、硝酸、甲烷、一氧化二氮及氟氯碳化合物等（Saunders and Edwards, 1989; Závody et al., 1995），其中大氣效應在前三者的吸收波段（水氣~6.3 μm ，二氧化碳~4.3 μm ，臭氧~9.6 μm ）很顯著。在這些波段之外，大氣效應較微弱，對輻射的穿透性較佳，常為衛星利用來測量海溫。例如，極精密高分辨率輻射計(Advanced Very High Resolution Radiometer，以下簡稱 AVHRR)有三個紅外頻道，就座落在大氣窗的 3.7 μm 、11 μm 、12 μm 等波段。然而，即使在這些最透明的窗區頻道，大氣仍會吸收部分輻射，造成真正的海溫和衛星亮度溫度間的差距。這些大氣吸收輻射的效果及其隨波段變化的主因是水氣，其他的氣體如二氧化碳、臭氧的影響較小，這是因為水氣的削散作用及濃度變化，均較其他氣體為大的緣故（Saunders and Edwards, 1989; Rudman et al., 1994）。

固然衛星輻射計可提供一致性佳且涵蓋全球的海溫測量，供氣候學家進行長期氣候研究，這些海溫資料是否能真正廣泛地被接受及使用，端視他們的準確度而定。隨著短期氣候研究的快速進展，海溫資料必須具有多高的準確度，才能適當反應出數年至數十年尺度的氣候變異，已成為大家關注的課題之一。以氣候的年際變化為例，根據 Rasmusson and Carpenter（1982）對聖嬰－南方震盪（ENSO）的合成分析，在聖嬰－南方震盪的肇始階段，南美外海出現的海溫距平約 0.6~1.2°C。另外，近年來許多學者（如 Nitta and Yamada（1989）; Graham（1994）; Deser et al.（1996）...等）均發現，

在超十年 (interdecadal) 變化的尺度上, 北太平洋及中西赤道太平洋的海溫均有約 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 左右的變化, 這是全球性超十年週期氣候變化的一環。早在 1985 年, McClain et al. (1985) 便指出, 對氣候或大尺度現象而言, 衛星海溫的準確度至少須達 $< 0.5^{\circ}\text{C}$ 才可接受, 而 $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 則為較適當的準確度。因此, 0.5°C 應為一合理的海溫準確度要求。

AVHRR 是裝載於美國國家海洋及大氣總署 (NOAA) 的近繞極衛星上的輻射計, 從 1978 年至今所累積的長達二十餘年之海溫測量, 是氣候學家們相當寶貴的研究資料。而沿軌跡掃描輻射計 (Along Track Scanning Radiometer, 以下稱 ATSR), 是新型的輻射計。自從 1991 年隨著 European Space Agency (以下簡稱 ESA) 的第一顆遙測衛星 ERS-1 升空後, 也開始提供連續的海溫測量。對科學界而言, 除可望多一組品質良好的海溫測量供研究, 它的測量也可和 AVHRR 測量相互比較, 以檢視彼此的優缺點。Wu (1995) 曾針對 AVHRR 及 ATSR 的測量進行初步的比較, 本研究延續 Wu (1995) 做進一步的探討。

本研究透過對 AVHRR 及 ATSR 紅外亮度溫度測量之詳盡比較, 了解結合兩種資料來進行需要長期、精確海溫資料的短期氣候研究之可行性。假如比較後發現 AVHRR 及 ATSR 的測量一致性很高, 將證明把已有長期測量的 AVHRR 及相對較新之 ATSR 資料應用在同一個研究是可行的; 假如兩者的差異很大, 將探討造成差異的因素, 並嘗試是否能系統地修正兩者之間的差異。而這樣的差異性也是欲同時使用兩種資料於同一研究時, 必須特別注意的。

二、AVHRR 及 ATSR 背景回顧

(一) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

AVHRR 最早於 1978 年, 裝載於 NOAA 的 TIROS-N 太陽同步、近繞極衛星在軌道上運轉。它以 100 分鐘的週期在離地面高度 840 公里的軌道上運行 (Schwalb, 1982; Kidwell, 1986; Lauritson, 1988; Minnett, 1990)。NOAA 通常同時有兩個衛星同時作業, 本研究使用的是 NOAA-11 及 NOAA-12 衛星上的 AVHRR 測量。

當 AVHRR 在軌道上飛行時, 若掃描鏡面指向地球, 會在地面掃過一條和衛星軌跡在地面上投影 (sub-satellite track) 成直角的掃描帶 (swath)。掃描帶兩端對應的最大掃描天頂角為 ± 55.4 度。AVHRR 正視地面 (天頂角為 0) 時空間分辨率可達 1.1 Km, 掃描至兩端時 (天頂角增大) 分辨率隨之遞減 (Schwalb, 1982; Kidwell, 1986; Minnett, 1990)。

AVHRR 有兩個可見光/近紅外光頻道及三個紅外光頻道。波長較短的兩個頻道 (約 $0.6\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$ 及約 $0.7\mu\text{m}\sim 1.1\mu\text{m}$) 測量到的是被反射的太陽輻射, 因此代表地面的反照率, 可用於辨識雲、海岸線及決定植被。三個紅外窗區頻道中, 波長較長的兩個頻道 (約 $10.3\mu\text{m}\sim 11.3\mu\text{m}$ 及約 $11.5\mu\text{m}\sim 12.5\mu\text{m}$) 因對應到一般海表輻射頻譜上的峰值, 是用於量度海溫的主要波段。它們受水氣連續體 (water vapor continuum) 的影響很大。座落於中間的紅外光頻道 (約 $3.5\mu\text{m}\sim 4.0\mu\text{m}$) 可用於偵測及分類雲。此頻道受水氣連續體的影響較小, 且大氣對此頻道的穿透性較佳, 故它可提供額外的資訊供大氣訂正用。但此頻道訊號易受反射的陽光輻射污染, 只有夜間的測量適合用於反演海溫

(Llewellyn-Jones et al., 1984; Robinson, 1985; Minnett, 1990)。

(二) Along Track Scanning Radiometer (ATSR)

ATSR 於 1991 年七月，隨 ESA 的第一顆遙測衛星 ERS-1 發射升空。ERS-1 是顆與太陽同步的近繞極衛星，軌道距地面約 780 公里，交點週期約 100 分鐘，局地降交點時間為 10:30。ATSR 是第一個被特別設計來量度海溫的輻射計，它的紅外輻射計具有多重波段，並能以雙重角度進行測量，這是 ATSR 最重要的特色 (Edwards et al., 1990; Minnett, 1990; Minnett, 1995)。

ATSR 掃描時，掃描鏡有如沿著一個中心微向前伸的圓錐表面轉動，在地面上留下兩個弧狀的掃描帶，一為跨越過衛星軌跡地面投影 (sub-satellite track) 的天底掃描帶 (nadir scan)，一為星下點 (sub-satellite point) 前方的向前掃描帶 (forward scan)。隨著 ATSR 向前飛行，先被向前掃描帶中央掃描過的地表，隨即在 135 秒後便被天底掃描帶掃過。ATSR 掃描時的天頂角範圍從最小的 0 度(天底掃描帶)至最大的 55 度左右(向前掃描帶)。ATSR 天底掃描帶中心的空間分辨率約 1 公里，分辨率隨掃描天頂角增加而變差，至向前掃描帶中央約為 2 公里 × 4 公里 (Edwards et al., 1990; Minnett, 1990; Prata et al., 1990; Minnett, 1995)。

除了能以雙視角進行掃描，ATSR 和 AVHRR 一樣具有多重頻道。它的四個頻道中，有三個位於和 AVHRR 紅外頻道相同的波段(約 $3.6 \mu\text{m} \sim 3.9 \mu\text{m}$ ，約 $10.3 \mu\text{m} \sim 11.3 \mu\text{m}$ 及約 $11.5 \mu\text{m} \sim 12.5 \mu\text{m}$)，另一個頻道約 $1.6 \mu\text{m}$ ，主要量度被反射的太陽輻射，因此代表地面的

反照率，常用於偵測雲或辨視海岸線 (Minnett, 1990; Prata et al., 1990; Minnett, 1995)。和傳統的海溫多頻道訂正法比起來，ATSR 多了一組不同角度的測量，可搭配多頻道的資訊，做更精確的海溫訂正。

三、研究資料及方法

(一) 資料

本研究使用下列兩個區域的測量資料，來進行 AVHRR 及 ATSR 的比較。兩區域包括：(1) 西地中海與英吉利海峽(以下簡稱地中海組資料)及(2) 美國東南部與海岸附近(以下簡稱美國組資料)。每一比較組的測量時間、地點及 AVHRR 及 ATSR 測量時間的間隔均詳列於附表一。

在 AVHRR 測量部分，地中海組資料取自 1991 年 10~11 月 NOAA-11 及 NOAA-12 上的 AVHRR 測量。同時期研究船 R/V Alliance 正在東大西洋及西地中海區域進行觀測，因此有大氣探空資料(radiosonde)可推導得當時的大氣溫度及溼度垂直分布。另外 R/V Alliance 該航次還蒐集現場海溫及海表面的氣象變數。美國組資料則包括 1992 年 5~9 月 NOAA-11 上的 AVHRR 測量。

ATSR 資料部分，兩區域的測量都取自 ATSR 計劃團隊所提供之已校準好的亮度溫度測量。

(二) 資料處理

1. 選擇相同時間、地點的測量

理論上，欲比較 AVHRR 及 ATSR 兩種測量，應選用相同時間之測量資料。由於資料有

限，只能盡量縮短 AVHRR 及 ATSR 測量之時間間距。因此從地中海組資料選出四組比較組，各組的測量時間間距不超過 12 小時；美國組資料則選出十五個比較組，時間間距都在 5 小時左右。

2. 對影像地理定位

精準的地理定位可確保從 AVHRR 及 ATSR 切割（見下節）出同一塊區域的準確性。對影像進行地理定位的方法，是調整影像（例如旋轉或拉長）以使影像中的海岸線和真正的海岸線（取自其他獨立的海岸線資料庫）重合。在處理 AVHRR 影像時，受限於現成的資料處理軟體 DSP，影像調整幅度有限，調整後影像中的海岸線和真正的海岸線有時仍有相當差距。經目視檢視，保守估計其準確度約 5 公里。地中海組的 ATSR 影像由本文作者自行寫程式進行地理定位，因可自由修正程式對影像進行各種調整，估計準確度可達約 1~2 公里。美國組的 ATSR 影像已搭配有精準的經緯度座標網格，經檢視後只有一影像需做進一步的校正。

3. 從無雲區域切割副影像

為避免雲污染了海溫的訊號而增加比較時的複雜度，先目視檢查可見光及紅外光頻道影像，辨認出有雲的區域，再從晴朗無雲的地區選擇、切割出適當大小的副影像（subimage）供比較用。大多數副影像的長、寬均在 40 至 80 像元上下。總計自地中海組及美國組資料各選出九組及三十四組，共四十三組比較組。

（三）資料分析

1. 計算 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異

（1）計算副影像的平均亮度溫度

將副影像十六等分，計算每一等分的平均亮度溫度，再取十六個溫度的平均值即為副影像的平均亮度溫度。將副影像十六等分是為檢視副影像溫度的空間均勻度。

（2）計算亮度溫度的差異

每一比較組中 AVHRR 及 ATSR 測量時的測量天頂角並不相同，受到大氣效應影響的程度也不相同，進行比較時必須先針對這點差異做修正。當測量天頂角小於 60° 時，輻射自地表發射至抵達衛星輻射計途中，經過的大氣吸收體含量（atmospheric path length）正比於天頂角的正割。在假設大氣效應和大氣吸收體含量成正比的前提下，可以用以下的方式，比較在相同大氣削弱效應下，AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異。以圖 1 (a) 為例，圖所示為同一比較組中 AVHRR、ATSR 的兩組（向前掃描及天底掃描）資料和各該測量天頂角正割的散佈圖，其中 AVHRR 的測量天頂角最大。以 ATSR 的兩組（向前掃描及天底掃描）形成的線性關係為基準，線性外插至和 AVHRR 相同測量天頂角時應有的亮度溫度值，再減去 AVHRR 的亮度溫度，差值（如圖中的 0.833K）即為此比較組經過大氣效應差異修正後，AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異。圖 1 (b) 所示為另一種例子，即 AVHRR 測量天頂角介於 ATSR 的兩組資料測量天頂角之間，因此必須用線性內插 ATSR 資料的方式來計算亮度溫度的差異。

2. 對 AVHRR 測量做非線性訂正

AVHRR 的飛行校準（in-flight calibration）假設感測計測得的射入輻射及它的讀數之間為線性關係。但事實上，AVHRR 第四、第五頻道

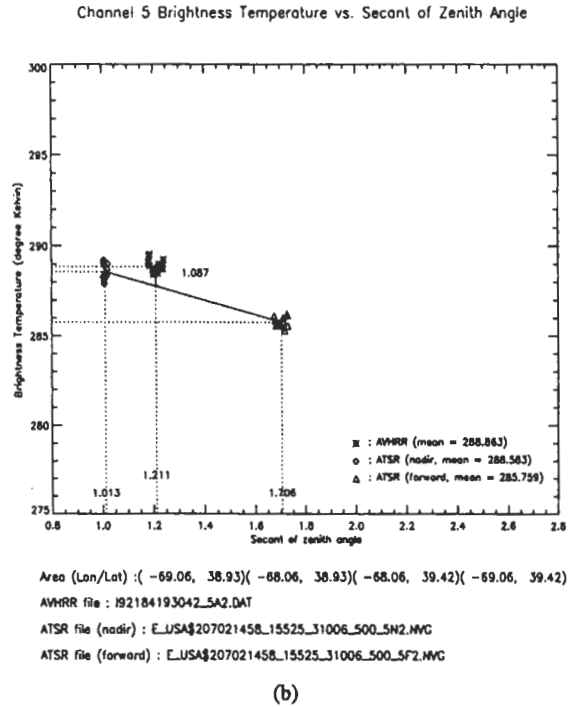
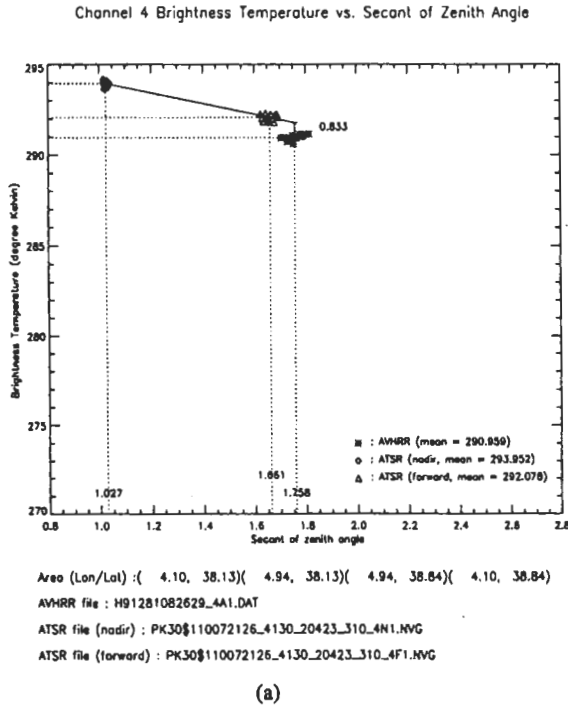


圖 1 同一比較組的 AVHRR (星號)、ATSR 向前 (forward) (三角形) 及天底 (nadir) (方形) 亮度溫度測量與衛星天頂角正割的分佈圖。因計算 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異時，已先將各個副影像分成十六等分 (見內文說明)，故圖中所示為三種資料各十六個亮度溫度聚集一處的分佈圖。計算時取十六個溫度的平均值為代表。圖 (a) 之例子取自地中海組資料，圖 (b) 取自美國組資料。

的感測計的反應是非線性的 (Brown et al., 1985; Weinreb et al., 1990)。非線性的程度和影像亮度溫度及校準靶 (calibration target) 溫度有關，它導致的亮度溫度誤差可達 2°C (Weinreb et al., 1990)。NOAA 的 National Environmental Satellite, Data, and Information Services (NESDIS) 製造了非線性訂正表供使用者訂正 AVHRR 資料 (Weinreb et al., 1990)。AVHRR 亮度溫度經過非線性訂正後的準確度可達 $\pm 0.55^{\circ}\text{C}$ (Weinreb et al., 1990)。

本研究使用 Weinreb et al. (1990) 中的非線性訂正表訂正美國組 (均為 NOAA-11) 資料，並計算了另一組 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差

異，以和 AVHRR 未經過非線性訂正前的差異相比較。

3. 探討造成亮度溫度差異的因素

(1) 測量時間間隔中環境的改變

因為同一比較組中的 AVHRR 及 ATSR 測量時間不完全相同，若在兩組資料測量時間間隔中，環境有若干改變，可能導致 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異。本研究使用一個大氣輻射傳遞模式，針對地中海組資料，估計環境改變可能造成的衛星輻射計亮度溫度的改變。

本研究採用的模式係根據 Rutherford Appleton Laboratory (RAL)發展的大氣輻射傳遞模式 (Závody et al., 1995) 導出, 專門用來模擬大氣效應對窗區頻道 $3.5\sim 4.0\mu\text{m}$ 及 $10\sim 13\mu\text{m}$ 的影響。給定適當的海溫、大氣溫度及溼度的垂直分佈, 這個單線模式(line-by-line model)可以模擬自海表射出的輻射, 經大氣輻射傳遞過程削弱後改變的程度, 並輸出衛星輻射計應測到之紅外亮度溫度。

數值實驗的設計如下: 首先輸入 AVHRR 測量當時的海溫、大氣溫度及溼度的垂直分佈, 計算得和 AVHRR 測量天頂角相同角度時, 衛星輻射計該測到的亮度溫度, 此為控制組實驗。接下來進行十四組實驗, 每次改變輸入的海溫 $\pm 1\text{K}$ 、 $\pm 2\text{K}$, 改變整層大氣溫度 $\pm 1\text{K}$ 、 $\pm 2\text{K}$, 或者改變高層(氣壓 $< 850\text{hPa}$)、低層(氣壓 $> 850\text{hPa}$)或整層大氣溼度 $\pm 10\%$, 比較新計算出的亮度溫度和控制組的亮度溫度, 以了解環境的改變對亮度溫度的影響。

(2) 和測量當時狀況有關的因素

為了解亮度溫度和測量當時狀況是否有關, 畫出美國組(因此組 AVHRR 均為 NOAA-11 測量, 資料一致性可能較佳)亮度溫度差異和以下各種變數的分佈圖, 計算亮度溫度差異和各變數的相關係數, 同時以最小平方方法求出一線性迴歸線, 並用統計檢定(F-test)檢視這條迴歸線可解釋這兩組變數關係的程度。

考慮的測量當時狀況變數包括

- a. 輻射計的測量天頂角(副影像平均測量天頂角的正割)

- b. 大氣水氣含量(由第四、第五頻道亮度溫度的差距估計得)

- c. 副影像的平均亮度溫度

- d. 副影像溫度的空間均勻度(由副影像亮度溫度的標準差估計得)

4. 檢視「無雲」的個案

雲的存在會污染海溫的訊號。在挑選、切割比較用的副影像時, 已經用目視可見光影像的方式濾除有雲的區域。但為避免有些難以辨視的薄雲逃過篩選, 於是簡化 Truncated Normal Distribution (TND) (Crosby and Glasser, 1978) 濾雲法, 以如下的步驟再過濾一次: 首先畫出原始影像(即尚未切割出副影像前的影像)的亮度溫度直方圖, 目視決定直方圖峰值的亮度溫度(如有兩個以上峰值取最高溫者), 此可視為原始影像中「無雲」區的海溫亮度溫度。將原始影像的「無雲」亮度溫度與由其切割出之副影像平均亮度溫度相比較, 若副影像均溫較低, 則視為有遭雲污染的可能而將此副影像個案剔除。此外, 通常雲的溫度分佈不若純粹海溫的分佈集中, 若副影像的亮度溫度標準差過大, 也將之剔除。在檢視各個副影像之後, 定 0.9K 為標準差的門檻值。

根據以上各步驟, 從美國組資料的三十四比較組濾除十一組, 留下二十三「無雲」比較組供分析。

四、結果與討論

圖 2 所示為 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異, 包括取自地中海組資料的九組及美國組

資料的三十四組，按照測量時間先後順序畫於圖 2 及詳列於附表二。圖 2 (b) 中有兩組差異值，標示“linear”或“non-linear”者代表 AVHRR 資料尚未或已經進行非線性訂正。就地中海組資料（均為「線性」）而言，第四頻道的差異範圍為 $-0.834\text{K} \sim 2.046\text{K}$ ，第五頻道為 $-1.617\text{K} \sim 2.105\text{K}$ ，第四頻道差異的平均值及加減標準差為 $0.734\text{K} \pm 1.035\text{K}$ ，第五頻道為 $0.479\text{K} \pm 1.241\text{K}$ ；美國組資料的「線性」差異多為正值，第四頻道差異的範圍為 $-0.494\text{K} \sim 2.597\text{K}$ ，第五頻道為 $-0.504\text{K} \sim 2.746\text{K}$ ，差異的標準差較地中海組小，其平均值及加減標準差為第四頻道 $0.555\text{K} \pm 0.677\text{K}$ 及第五頻道 $0.661\text{K} \pm 0.729\text{K}$ 。

綜合這兩組資料，AVHRR 及 ATSR（「線性」）第四頻道亮度溫度差異的平均值及加減標準差為 $0.593\text{K} \pm 0.755\text{K}$ ，第五頻道為 $0.623\text{K} \pm 0.847\text{K}$ 。這些結果顯示，無論測量地區或季節為何，AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異相當大，且 AVHRR 多較 ATSR 測量為暖。若對 AVHRR 資料進行非線性訂正，第四頻道的差異大多數增大，第五頻道的差異則無太大改變（圖 2(b)），其範圍變為第四頻道 $-0.077\text{K} \sim 2.396\text{K}$ 及第五頻道 $-0.429\text{K} \sim 2.649\text{K}$ 。由於對 AVHRR 亮度溫度進行非線訂正後，它和 ATSR 亮度溫度的差異並沒有減小，因此推論另有其他因素造成兩者的差異。為簡化問題，以下分析均針對「線性」差異進行。

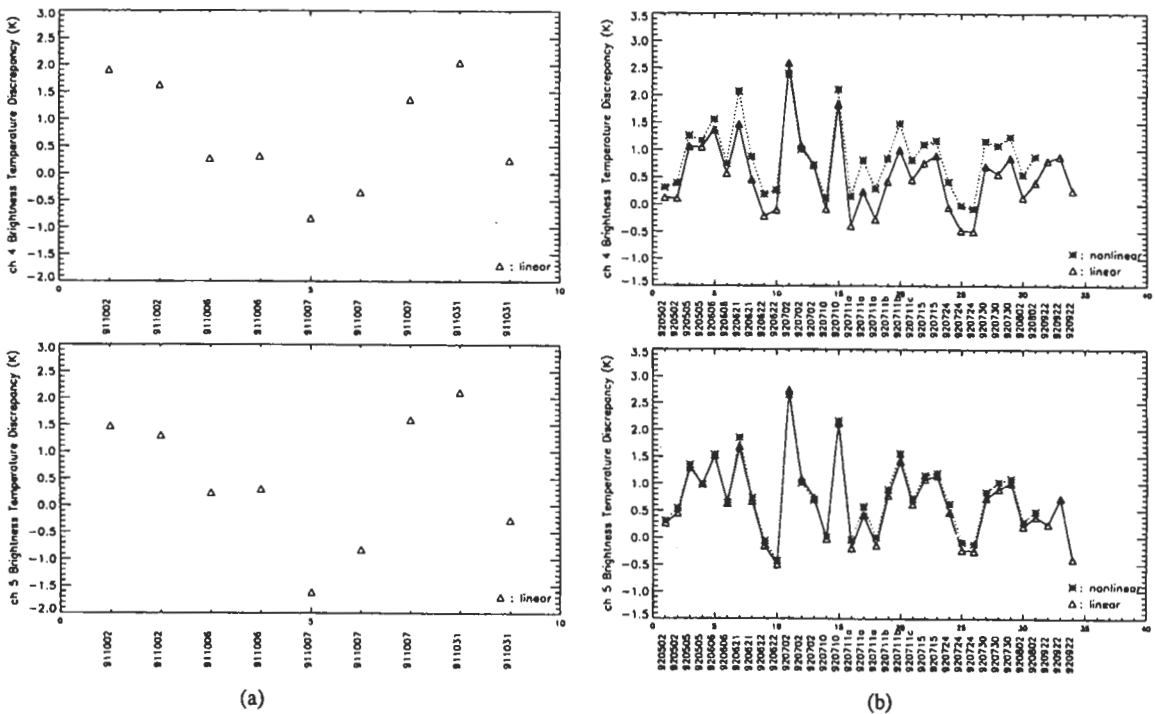


圖 2 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異與測量時間分佈圖。上圖為第四頻道的亮度溫度差異，下圖為第五頻道的亮度溫度差異。圖 (a) 為地中海組資料，圖 (b) 為美國組資料。沿著橫軸的六位數代表測量年、月、日。圖 (b) 中標示“nonlinear”或“linear”者代表 AVHRR 資料已經或尚未進行非線性訂正。

(一) 因環境改變造成的差異

為了解環境的改變如何影響衛星輻射計測量到之亮度溫度，本研究使用一個大氣輻射傳遞模式，針對地中海組資料的九比較組（因有相關的大氣探空資料）進行數值實驗。對每一個比較組，除了控制組實驗，另外分別改變輸入的海溫、大氣溫度或大氣溼度進行十四組實驗。採用之模式的正確性已經過 Llewellyn-Jones

et al. (1984) 的驗證。Barton et al. (1989) 對數個模式比較的結果，證實此模式和其他模式（LOWTRAN-6，一頻帶 (band) 模式，GENLN2）表現相當一致。另 Barton et al. (1993) 及 Mutlow et al. (1994) 把根據此模式模擬結果發展出的海溫反演演算法反演之 ATSR 海溫和其他海溫資料比較，也同樣驗證模式的正確性。

表一所列的實驗結果，是隨著單位環境的

表一 亮度溫度隨單位*環境變化的改變率之平均值及標準差（地中海組資料）

	Channel 4		Channel 5	
	Mean (K)	Standard Deviation (K)	Mean (K)	Standard Deviation (K)
Change Atmospheric Temperature				
T(atm)+1	0.467	0.075	0.597	0.078
T(atm)-1	0.496	0.081	0.625	0.083
T(atm)+2	0.456	0.073	0.586	0.077
T(atm)-2	0.483	0.077	0.615	0.078
Change Atmospheric Humidity				
H ₂ O×1.1	-0.447	0.096	-0.533	0.111
H ₂ O×0.9	-0.408	0.095	-0.488	0.117
H ₂ O(lo)×1.1	-0.248	0.033	-0.263	0.030
H ₂ O(lo)×0.9	-0.219	0.032	-0.226	0.034
H ₂ O(up)×1.1	-0.200	0.078	-0.274	0.096
H ₂ O(up)×0.9	-0.187	0.073	-0.260	0.090
Change Sea Surface Temperature				
SST+1	0.569	0.071	0.440	0.078
SST-1	0.567	0.071	0.439	0.078
SST+2	0.570	0.070	0.441	0.078
SST-2	0.566	0.071	0.437	0.078

註：*單位指大氣溫度改變 1K、大氣濕度改變 10%或海溫改變 1K。

其中 lo 及 up 分別代表低層（氣壓 > 850hPa）及高層（氣壓 < 850hPa）大氣。

改變（如海溫或大氣溫度改變 1K、或大氣濕度改變 10%），九個比較組亮度溫度改變率之平均值及標準差。由表一可看出，兩頻道亮度溫度平均隨單位環境的變化改變 0.2K~0.6K。若將九比較組中，每一組的亮度溫度差異，和該組亮度溫度隨三種環境改變的變化率做比較，可得知欲導致相關的亮度溫度差異，環境須改變的幅度。對於九組比較組中的每一組，再針對三種環境改變（分為大氣溫度、大氣溼度及海溫三種）的任一種，挑選出欲導致相關的亮度溫度差異，環境至少需改變的幅度，將其列於表二。以第一組、第四頻道為例（表二上半部第一欄），最少大氣溫度須升高 4.25K、大氣濕度須減少 36.8% ($3.68 \times 10\%$) 或海溫須升高 2.96K ($1.48 \times 2K$) 才能造成該組第四頻道的亮度溫度差異。

根據表一及表二內容，環境的變化的確會造成亮度溫度的改變，但它只能解釋部分 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異。首先，假如亮度溫度差異完全由環境變化引起，對同一比較組來說，由第四及第五頻道分別推算得的各十四種環境需改變之幅度（非最少環境改變程度）應相同。但比較第四、第五頻道所需之環境改變幅度（表未納入），超過一半以上的組別環境改變幅度差異甚大。另外，由表二得知，部分組別所需之環境改變幅度太大。例如，以比較組第八組、第五頻道為例，對應的環境變化為大氣增溫 3.26K、大氣溼度降低 42.5 % 或海溫升高 5.38K。由於所有的比較測量都取自無雲的區域，在 AVHRR 及 ATSR 最大測量時間間隔 12 小時中，因鋒面等天氣系統經過而造成大氣、海洋狀態劇烈變化的可能性並不高，故

表二 可導致亮度溫度差異的最少環境改變程度（地中海組資料）

NUMBER OF COMPARISON SET									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Channel 4									
Tatm(K)	4.25	3.38	0.51	0.55	-2.28	-0.86	3.26	3.99	0.48
H ₂ O(10%)	-3.68	-3.09	-1.02	-1.23	1.79	0.74	-3.28	-4.80	-0.57
SST(K)	2.96	2.68	0.54	0.68	-1.26	-0.56	2.38	3.90	0.46
Channel 5									
Tatm(K)	2.61	2.13	0.35	0.43	-3.30	-1.56	2.87	3.26	-0.40
H ₂ O(10%)	-2.41	-2.10	-0.76	-1.05	2.75	1.43	-3.17	-4.25	0.55
SST(K)	2.84	2.66	0.65	0.94	-2.98	-1.65	3.56	5.38	-0.69

推斷 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異不全由環境變化引起。

(二) 因測量當時的狀況不同導致的差異

圖 3 至圖 7 為美國組的亮度溫度差異和各種變數的分佈圖，相關的線性迴歸線以及統計數字如相關係數及 F-test 值一併標於圖上，並詳列於表三、表四。本部分比較組共 34 組，其中包括 23 組「無雲」組，相關的 F 分配 5% 臨界值分別為 4.15 (34 個樣本) 及 4.32 (23 個樣本)，1% 臨界值則為 7.51 (34 個樣本) 及 8.02 (23 個樣本)。

1. 測量天頂角

衛星輻射計測量海表輻射時的天頂角範圍

從 0~55 度左右不等。有些會改變海表向外輻射之因素，會隨著測量天頂角的不同而改變。大氣吸收體含量 (atmospheric path length) 及海面放射率就是兩個很好的例子。因此測量天頂角的改變，可能間接造成 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度的差異。

海面輻射從海表面射出至抵達衛星輻射計中間，穿透的大氣吸收體含量和輻射計的測量天頂角有很大關係。當天頂角小於 60° 時，可用天頂角的正割代表 (Minnett, 1988)。因此角度越大，大氣的削弱效應越明顯。

此外，對固定的波長而言，海面放射率是放射角的函數。Masuda et al. (1988) 計算純水及海表面在紅外窗區頻道 (波長 3.7 μm、11 μm 及 12 μm) 的放射率，顯示在固定的風速下，

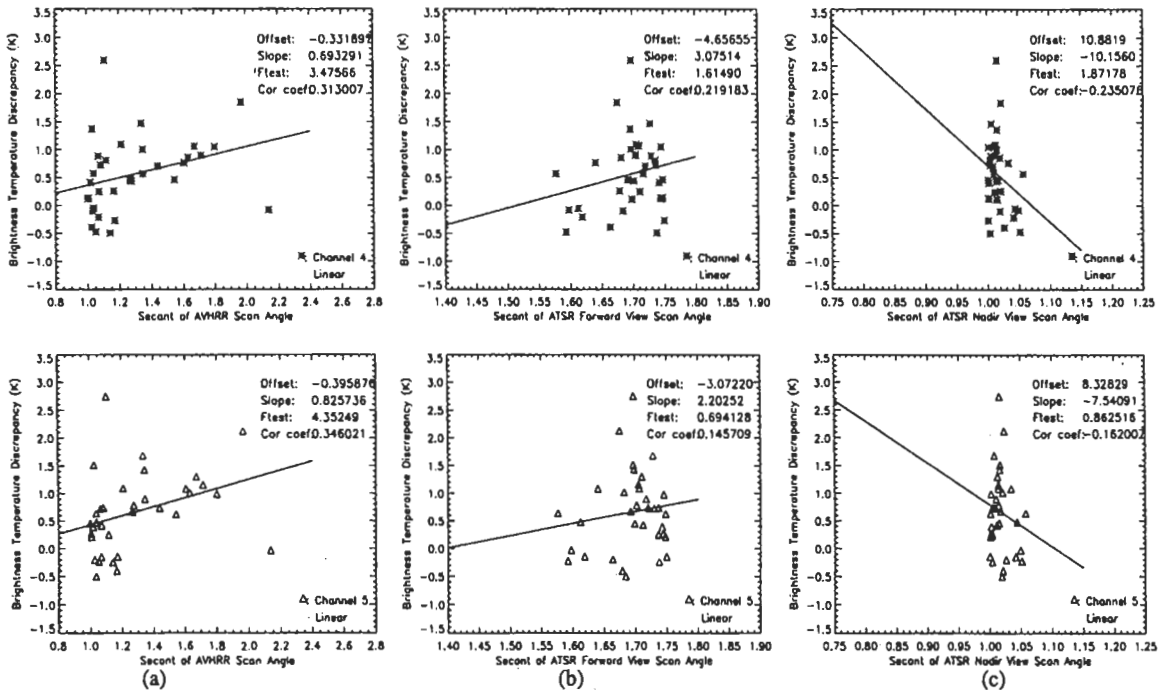


圖 3 AVHRR 及 ATSR (美國組資料) 亮度溫度差異與 (a) AVHRR、(b) ATSR 向前 (forward) 及 (c) ATSR 天底 (nadir) 測量天頂角正割的分佈圖。上、下列分別為第四及第五頻道亮度溫度差異。各組的迴歸線、統計檢定 F 值及相關係數也標於圖中。

表三 亮度溫度差異和各種變數的線性迴歸統計檢定 F 值及相關係數

	<u>F-Test Value^a</u>		<u>Correlation Coefficient</u>	
	Channel 4	Channel 5	Channel 4	Channel 5
Zenith Angle				
AVHRR	3.48	4.35[*]	0.31	0.35
ATSR (F ^b)	1.61	0.69	0.22	0.15
ATSR (N ^b)	1.87	0.86	-0.24	-0.16
Difference between Channel 4 and Channel 5 Brightness Temperature				
AVHRR	0.74	0.27	0.15	-0.09
ATSR (INT ^b)	1.59	0.49	0.22	0.12
AVHRR-ATSR (INT ^b)	0.03	5.18[*]	-0.03	-0.37
Mean Scene Brightness Temperature				
AVHRR	13.40^{**}	7.39[*]	-0.54	-0.43
ATSR (F)	14.38^{**}	8.03^{**}	-0.56	-0.45
ATSR (N)	13.08^{**}	7.92^{**}	-0.54	-0.45
Standard Deviation of Scene Brightness Temperature				
AVHRR	0.03	0.0001	0.03	-0.002
ATSR (F)	6.63[*]	4.44[*]	0.41	0.35
ATSR (N)	5.84[*]	3.54	0.39	0.32

註：^aF 分配 5%臨界值為 4.15，1% 臨界值為 7.51

^bF：ATSR 向前 (forward) 測量；N：ATSR 天底 (nadir) 測量；INT：將 ATSR 亮度溫度測量值內插或外插至和同一比較組 AVHRR 測量相同測量天頂角時得到的亮度溫度

*F 值大於 5%臨界值 4.15；**F 值大於 1%臨界值 7.51

兩者的放射率隨放射角增加以不同的速率減少。一般狀況下，大氣較海洋冷，海面反射的大氣輻射分量使得衛星輻射計量得之亮度溫度較真實的海溫冷。隨著放射角增加，海面放射率減小，海面反射的大氣輻射分量增加，衛星輻射計亮度溫度和真實海溫的差距也隨之增大。

Minnett (1988) 估計大氣吸收體含量 (亦即大氣效應) 與海面放射率隨角度變化時，對衛星輻射亮度溫度和真實海溫之間偏差的貢獻。根據他的計算，當天頂角從 0° 增加至 60° 時 (即天頂角正割從 1 增加至 2)，大氣消弱效應造成的第四、第五頻道亮度溫度之偏差，分別從 0.52K 增加至 0.74K，及從 0.59K 增至

0.61K；海面放射率隨角度變化的影響更大，它使第四頻道亮度溫度偏差從 0.57K 增加至 2.29K，第五頻道亮度溫度偏差則從 0.86K 增至 3.32K。他的研究證明大氣效應及海面放射率隨角度的變化，對衛星輻射計紅外亮度溫度的影響很大。

對本研究而言，假使 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的確和測量天頂角有關，意味著對兩種輻射計而言，大氣效應及放射率效應隨角度的變化並不相同，這可能和大氣狀態的變化或 AVHRR、ATSR 頻譜反應函數 (spectral response function) 的差異有關。然而，如圖 3 及表三所示，亮度溫度差異和角度之關係並不明顯，只有第五頻道亮度溫度差異和 AVHRR

的測量天頂角相關較顯著 (圖 3 (a) 的下圖)，並通過 5% 的統計檢定 ($F > 4.15$)。圖 3 六張圖中的相關係數均小於 0.36，代表各該圖中與角度的線性迴歸關係頂多只能解釋 13% ($=0.36^2$) 的亮度溫度差異的變化。

2. 第四、第五頻道亮度溫度差距

第四、第五頻道的大氣穿透率受水氣濃度的影響不同，因此由第四、第五頻道亮度溫度的差距，可以估計大氣中水氣的含量。此外，第四、第五頻道亮度溫度的差距還代表了海溫的高低。假設對特定波段的輻射大氣穿透率是線性的，則第四、第五頻道亮度溫度的差距 (以 $T_4 - T_5$ 表示) 可表示為

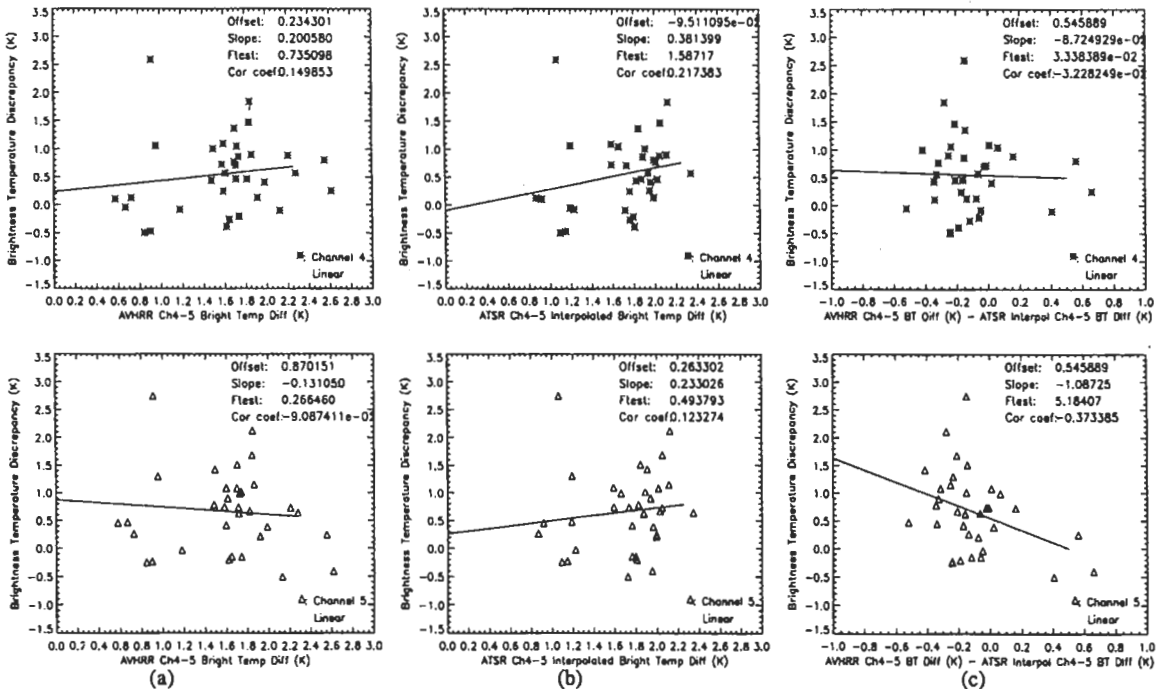


圖 4 AVHRR 及 ATSR (美國組資料) 亮度溫度差異與 (a) AVHRR 第四、五頻道亮度溫度差距、(b) ATSR 第四、五頻道亮度溫度 (已內插或外插至與 AVHRR 同測量天頂角之值) 差距及 (c) AVHRR 第四、五頻道亮度溫度差距減去 ATSR 第四、五頻道亮度溫度差距的分佈圖。上、下列分別為第四及第五頻道亮度溫度差異。各組的迴歸線、統計檢定 F 值及相關係數也標於圖中。

$$T_4 - T_5 = T_s (\tau_4 - \tau_5)$$

其中 T_4 、 T_5 為第四、五頻道之亮度溫度， T_s 為海溫， τ_4 、 τ_5 為第四、五頻道之大氣穿透率。故可由第四、第五頻道亮度溫度的差距估計海溫。

圖 4 為亮度溫度差異對於 (1) AVHRR 第四、五頻道亮度溫度的差距、(2) ATSR 第四、五頻道亮度溫度 (內插至 AVHRR 測量天頂角) 的差距及 (3) 前述 (1) 減去 (2) 的分佈。如圖 4 (a) (b) 及表三所示，任一圖中兩組變數的相關均不顯著，因為四組相關係數的絕對值最大不超過 0.23，且相關的 F 值均無法通過 5% 的統計檢定，代表亮度溫度差異受大氣水氣含量或海溫強烈影響的可能性不高。圖 4 (c) 中

橫軸的變數是 AVHRR 第四、五頻道亮度溫度的差距減去 ATSR 第四、五頻道亮度溫度的差距，代表 AVHRR 及 ATSR 測量時間間隔中，大氣溼度或海溫的改變。圖 4 (c) 下圖中第五頻道亮度溫度差異的線性迴歸關係通過了 5% 的統計檢定 (見表三)，然而兩圖各自的相關係數不大 (第四頻道-0.03，第五頻道-0.37)，可知亮度溫度差異和 AVHRR 及 ATSR 測量時間間隔中大氣溼度或海溫之變化有關的可能性不高。

3. 副影像溫度的平均值及均勻度

圖 5 所示為亮度溫度差異對於副影像平均溫度的分佈。相對於其他組類似的分佈圖 (圖 3、圖 4 及後面的圖 6、圖 7)，此組圖中亮度溫度差異和副影像平均溫度的相關程度較高 (表三)。如圖 5 所示，無論是第四或第五頻道的亮

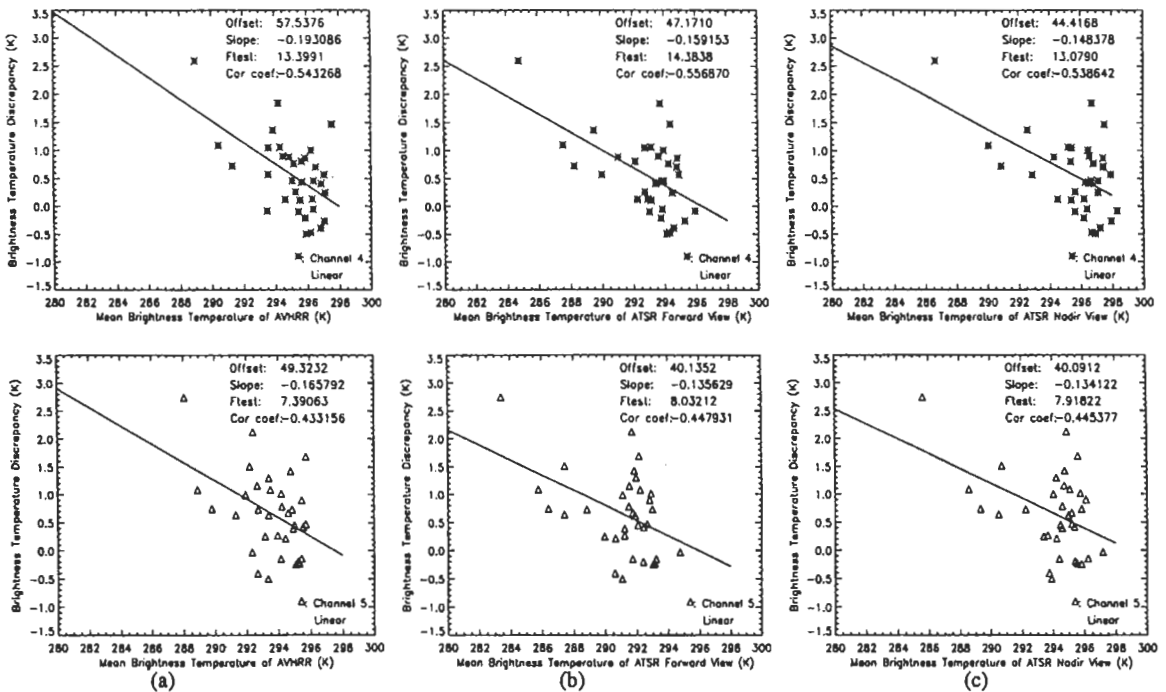


圖 5 AVHRR 及 ATSR (美國組資料) 亮度溫度差異與 (a) AVHRR、(b) ATSR 向前 (forward) 及 (c) ATSR 天底 (nadir) 測量亮度溫度平均值的分佈圖。上、下列分別為第四及第五頻道亮度溫度差異。各組的迴歸線、統計檢定 F 值及相關係數也標於圖中。

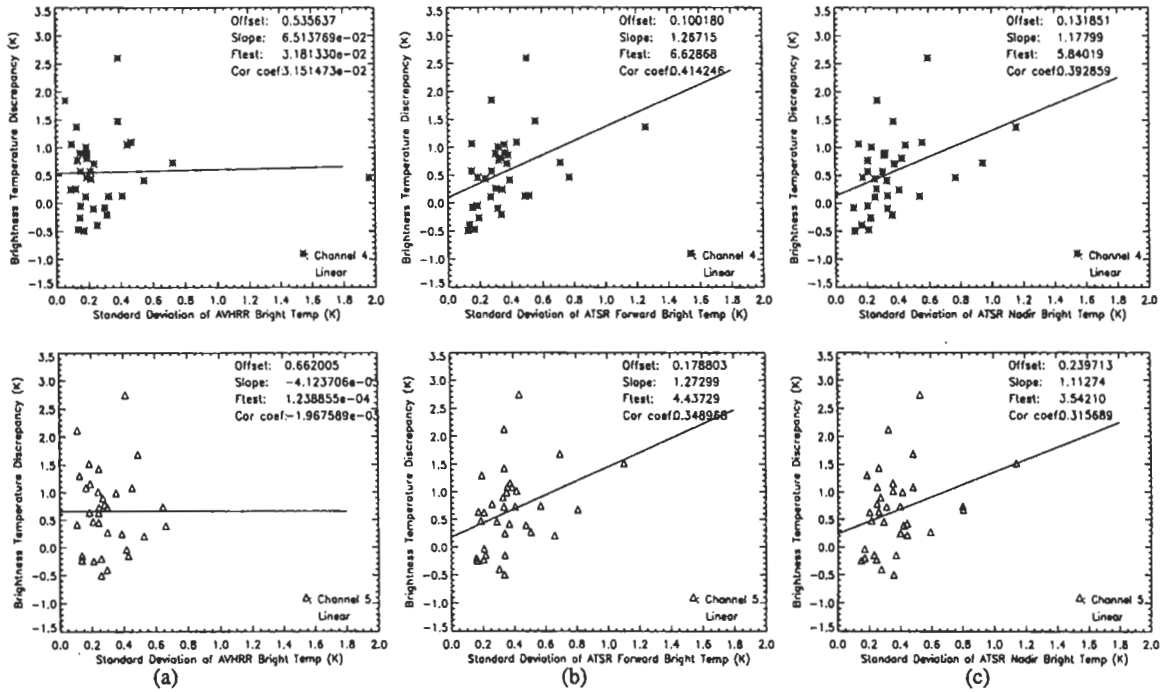


圖 6 AVHRR 及 ATSR (美國組資料) 亮度溫度差異與 (a) AVHRR、(b) ATSR 向前 (forward) 及 (c) ATSR 天底 (nadir) 測量亮度溫度標準差的分布圖。上、下列分別為第四及第五頻道亮度溫度差異。各組的迴歸線、統計檢定 F 值及相關係數也標於圖中。

度溫度差異，均和 AVHRR 或 ATSR 副影像平均溫度呈現負相關。此六組圖中，有五組的線性迴歸線通過 1% 的統計檢定 ($F > 7.51$ ，見表三)，然而相關係數絕對值均小於 0.56，表示最多只有 31% 的亮度溫度差異之變化可由它們與副影像平均溫度之線性迴歸解釋。

亮度溫度差異和副影像溫度均勻度 (以副影像溫度的標準差表示) 的分布圖如圖 6 所示。亮度溫度差異和副影像溫度均勻度的相關，較其與溫度平均值的相關微弱。圖 6 (a) 中，線性迴歸線的斜率幾乎為 0，而相關係數的數量級分別只有 10^{-2} 及 10^{-3} ；圖 6 (b) (c) 中的相關係數雖略大一些，最大達 0.41，但也顯示各該圖中與副影像溫度均勻度的線性迴歸關係，頂多能解釋 17% 的亮度溫度差異的變化。

(三) 資料處理過程的誤差導致的差異

1. 雲污染

為檢查是否有部分難以偵測的雲，污染了被挑選出來進行比較的副影像樣本，作者用更嚴謹的濾雲法去除美國組資料部分較可疑的樣本，只取 23 組「無雲」副影像的亮度溫度差異，並重新分析其與前述四種描述輻射計測量狀況變數的關係。為簡化起見，從 12 組 (24 張) 圖挑出相關性較高的 4 組 (8 張) 圖列於圖 7，相關的統計數字詳列於表四，原所有比較組 (共 34 組) 的統計數字亦列於表四以方便比較。和原先的 34 組亮度溫度差異比起來，移除部分「可能遭雲污染」的樣本去除了兩組最大的亮度溫

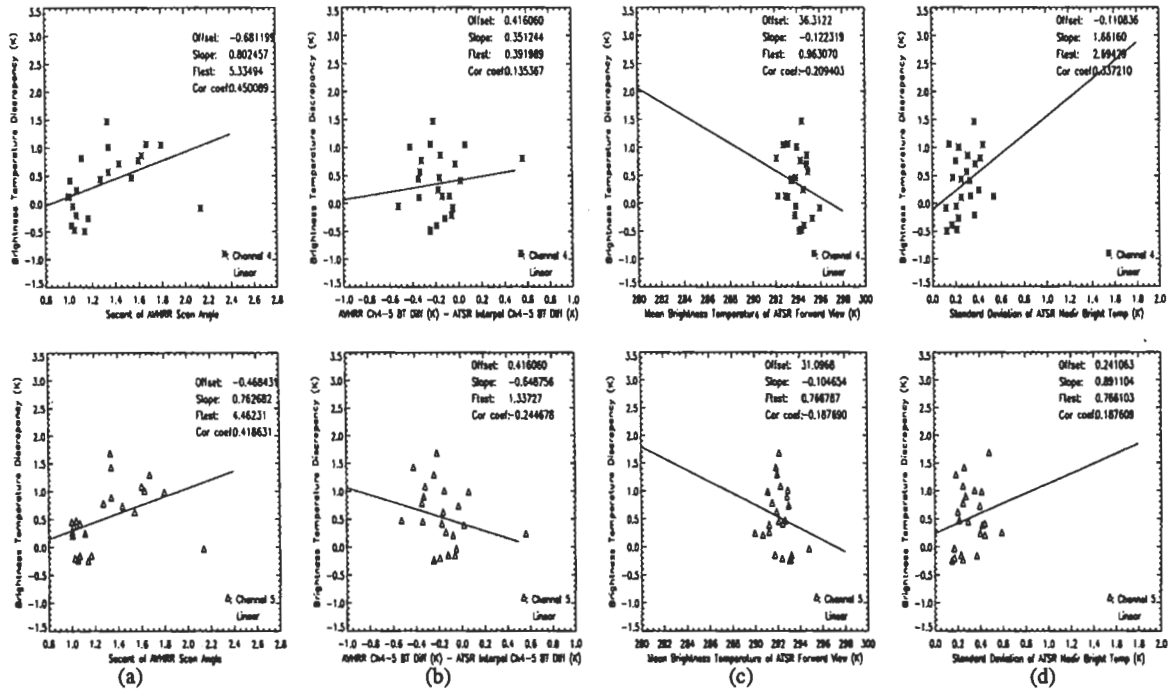


圖 7 AVHRR 及 ATSR (美國組資料) 二十三組「無雲」亮度溫度差異與 (a) AVHRR 測量天頂角正割、(b) AVHRR 第四、五頻道亮度溫度差距減去 ATSR 第四、五頻道亮度溫度差距、(c) ATSR 向前 (forward) 測量亮度溫度平均值及 (d) ATSR 天底 (nadir) 測量亮度溫度標準差的分佈圖。上、下列分別為第四及第五頻道亮度溫度差異。各組的迴歸線、統計檢定 F 值及相關係數也標於圖中。

度差異，將第四、第五頻道亮度溫度的差距分別從 3.09 K 及 3.25 K 減小為 1.96 K 及 1.93 K，但大多數的相關係數反而較原先的減小（表四）。以「無雲組」的 8 組相關係數來說，兩頻道亮度溫度差異與 AVHRR 測量天頂角的相關性較原先增高，另第四頻道亮度溫度差異和 AVHRR 第四、五頻道亮度溫度差距減去 ATSR 第四、五頻道亮度溫度差距的相關性亦增高。但除此之外，其餘組的相關性均降低，顯示雲污染對 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的貢獻並不顯著。

2. 地理定位的誤差

如前面「資料與方法」所述，ATSR 及

AVHRR 的地理定位分別可準確至 2 公里及 5 公里左右，相當於天底掃描中心的 2 像元及 5 像元，或甚至更少（若衛星天頂角大於 0）。因此設計下列方法，估計地理定位不準確性可能導致的最大亮度溫度誤差。

假設 AVHRR 及 ATSR 測量時間間隔中海溫維持不變。假定同一比較組中的 AVHRR 及 ATSR 地理定位不準確度均達最大，即 AVHRR 影像有 5 像元的誤差，ATSR 有 2 像元的誤差，比較兩影像時誤差共可達 7 像元。現以像元為單位，定義切割下來的副影像長度、寬度為 x 及 w ，而溫度範圍為 r 。假設海溫梯度為線性且方向和副影像長度平行，則海溫梯度可用 r/x 表示。今若因地理定位的誤差在切割副影像過程

表四 美國組資料及美國組「無雲」資料之比較

	Channel 4		Channel 5	
	All	Cloud-free	All	Cloud-free
Correlation Coefficient				
Zenith Angle (AVHRR)	0.31	0.45	0.35	0.42
Ch 4 & 5 BT ^a Difference (AVHRR - ATSR-INT ^b)	-0.03	0.14	-0.37	-0.24
BT ^a Mean (ATSR-F ^b)	-0.56	-0.21	-0.45	-0.19
BT Stand Dev ^c (ATSR-N ^b)	0.39	0.34	0.32	0.19
Range of Brightness Temperature Discrepancies (K) between AVHRR and ATSR				
	-0.49 ~ 2.60	-0.49 ~ 1.47	-0.50 ~ 2.75	-0.25 ~ 1.68

註：^a BT：亮度溫度

^b F：ATSR 向前 (forward) 測量；N：ATSR 天底 (nadir) 測量；INT：將 ATSR 亮度溫度測量值內插或外插至和同一比較組 AVHRR 測量相同測量天頂角時得到的亮度溫度

^c Stand Dev：標準差

中造成 7 像元的平移，將導致 $7 \times r/x$ 的溫度誤差。而其在整個副影像所佔的比例為 $7/x$ ，故整個副影像的溫度誤差為 $49r/x^2$ ($=7 \times r/x \times 7/x$)。同理，若海溫梯度方向和副影像寬度平行，溫度誤差可由 $49r/w^2$ 估計得。

因為在資料處理過程中，是根據 AVHRR 的可見光影像挑選無雲的區域並切割副影像，故作者假設地理定位造成的誤差是因 ATSR 的副影像和 AVHRR 副影像不完全重合引起，因此應用 ATSR 的天底掃描 (nadir scan) 副影像，

估計可能的最大誤差值。由第五頻道亮度溫度估計得之誤差為 $0.05 \text{ K} \pm 0.06 \text{ K}$ 。第四頻道的誤差應和第五頻道相差不大，因為此估算法根據的是溫度梯度，而非絕對溫度值。

(四) 因儀器構造、設計不同導致的差異

1. 飛行校準系統

輻射計的內部校準系統決定射入輻射與輸出讀數 (或亮度溫度) 的關係。任何內部校準系統的缺失都會影響導出的亮度溫度的準確

度。以下章節作者將討論、比較 AVHRR 及 ATSR 內部校準系統的特點及性能。

AVHRR 的內部校準靶 (internal calibration target) 並非完美的黑體, 其放射率為 0.995 (ITT aerospace, 1980)。Weinreb et al. (1990) 指出, 內部校準靶並非黑體對飛行校準誤差的貢獻約為內部校準靶準確度 0.4 K 的 20%。AVHRR 內部校準靶的溫度可由四個白金電阻溫度計 (Platinum Resistance Thermometer, 簡稱 PRT) 溫度的平均值估計得。Brown et al. (1985) 展示了一段 AVHRR (NOAA-7) 內部校準靶之四個 PRT 溫度的時間序列 (圖 8), 顯示四個 PRT 的溫度相差可達 4 K 左右, 且其中一個 PRT 的溫度於數分鐘內變動約 5 K。由於內部校準靶溫度在空間上的不均勻性和時間上的不穩定性, 四個 PRT 的均溫和校準靶的溫度可能不一致, 或者四個 PRT 的均溫和實際上提供校準資料的校準靶區域之溫度可能不同。因此以四個 PRT 的平均溫度估計內部校準靶的溫度, 可能造成飛行中校準的誤差, 間接影響到換算出來的亮度溫度準確度。

在另一方面, ATSR 的構造設計能減低校準靶受外界輻射干擾的機會, 故它的內部校準系統處於較穩定的熱平衡狀態。ATSR 的校準靶在紅外波段實際量測得之放射率約為 0.9995 (Minnett, 1995); 校準靶溫度在時間、空間上的穩定性均不錯。例如, 其在時間上的穩定性較 0.01 K/min 佳 (Minnett, 1995), 橫越校準靶 viewed base 的溫度梯度 < 0.02 K (Edwards et al, 1990), 且校準靶溫度的空間均勻度隨時間的漂移 (drift) 很小 (圖 9)。因為這些特點, ATSR 具有較高的飛行校準準確度, 為 < 0.1 K (Edwards et al., 1990; Minnett, 1995)。

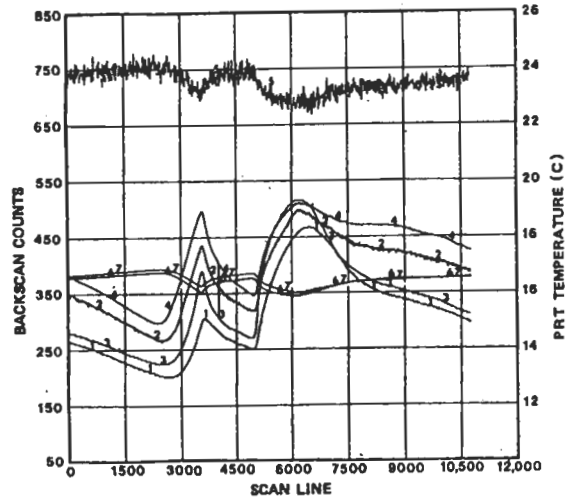


圖 8 一段 NOAA-7 上 AVHRR 內部校準靶之四個白金電阻溫度計 (簡稱 PRT) 溫度測值的時間序列, 觀測時間自 1984 年 10 月 2 日 1732 UT 開始。右邊座標軸代表 PRT 的溫度, 左邊座標軸代表 backscan (即當掃描鏡將內部校準靶的輻射反射至檢測器) 的計數, 下方座標軸為掃描線數目。圖中數字 1~4 代表 PRT 1~4 的溫度時間序列, 數字 5、6、7 分別代表第三、四、五頻道的 backscan 計數時間序列。在約第 3700 掃描線處 PRT 1 和 PRT 4 的溫度相差約 4 K。另 PRT 3 的溫度在約第 5000 掃描線與約第 6200 掃描線間改變 5 K 左右 (取自 Brown et al., 1985)。

2. 檢測計噪聲

根據 Dudhia (1989) 及 Minnett (1991), NOAA-6、7、9、10 上的 AVHRR 檢測器隨機噪聲 (detector random noise) 及數位器噪聲 (digitizer noise) 合起來約對第四、五頻道造成 ± 0.05 K 的誤差, 遠較 NOAA 提出的 0.12 K (只包括檢測計噪聲) 為小。另一方面, ATSR 內部的冷卻器 (Stirling cycle cooler) 可將 ATSR 的檢測器冷卻至 80 K 左右的低溫, 較 AVHRR 的被動式冷卻器 (passive cooler) 可達之 105 K 冷卻效果佳 (Minnett, 1995)。故 ATSR 的檢測計噪聲 (self-generated sensor noise) 略低一些,

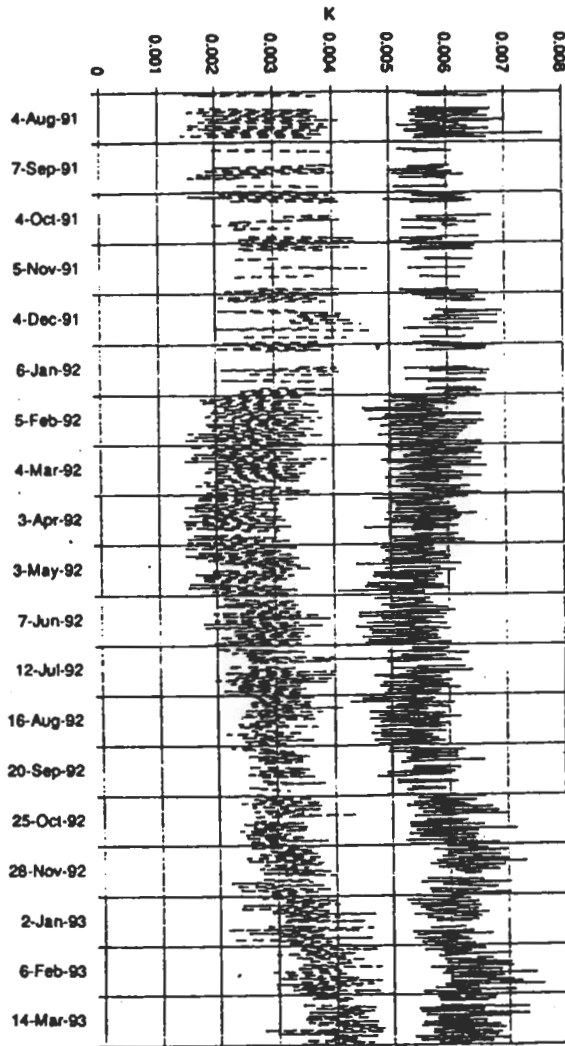


圖 9 ATSR 內部校準靶上六個溫度計溫度測值的標準差時間序列。期間共涵蓋 19 個月，每個月取一天資料代表。由圖可見無論熱校準靶或冷校準靶其溫度標準差隨時間的漂移 (drift) 都很小 (取自 Minnett, 1995)。

在第四、五頻道的噪聲等效溫差 (noise equivalent temperature difference) 約 $\pm 0.02 \text{ K} \sim \pm 0.04 \text{ K}$ (Minnett, 1995)。

3. 數位化誤差

將檢測器的類比訊號轉換成數位訊號過程的不確定性，亦是亮度溫度誤差的來源。Barton

(1989) 討論了 AVHRR 訊號數位化過程可能造成的誤差。根據 Barton (1989) 所展示的 NOAA-9 AVHRR 第四、五頻道某一小段類比亮度溫度數位化過程記錄，兩頻道類比亮度溫度原本相差 0.4 K，因數位化過程相位不一致，兩頻道數位化後隨溫度不同，亮度溫度差距有時增為 0.5 K，有時減為 0.3 K，這額外的 $\pm 0.1 \text{ K}$ 差別便是因數位化過程引起的。不過數位化誤差會因空間平均減小。本研究進行 AVHRR 及 ATSR 的比較時，均以副影像溫度平均值為分析的主體，數位化誤差可能已減小。

此外，AVHRR 及 ATSR 資料的數位解析度不同，前者為 10 位元，後者為 12 位元 (Minnett, 1990; Minnett, 1995)，這些差別也是兩者亮度溫度準確度不同的來源。

五、結 論

為檢視 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度測量的一致性及其差異性，本研究對 AVHRR 及 ATSR 已校準過且經地理定位的紅外亮度溫度測量進行詳盡的比較。使用資料涵蓋的時間及地區為 (1) 1991 年 10~11 月於西地中海與英吉利海峽 (地中海組) 的測量以及 (2) 1992 年 5~9 月於美國東南部與海岸附近 (美國組) 的測量。研究中從無雲區選取並切割出 43 組測量時間接近、相同地域的影像進行比較。考量到 AVHRR 及 ATSR 測量時視角不同，受到大氣對其削弱的程度亦不同，因此把 ATSR 天底 (nadir) 測量及向前 (forward) 測量的亮度溫度內插 (或外插)，得到和同一比較組 AVHRR 測量相同測量天頂角時應有的亮度溫度，以此和 AVHRR 亮度溫度進行比較。

比較結果發現，不論測量地區及季節，AVHRR 及 ATSR 亮度溫度均有不小的差異。AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的量值隨比較組的不同而變動，第四頻道亮度溫度差異的範圍為 $-0.834\text{K} \sim 2.597\text{K}$ ，第五頻道亮度溫度差異的範圍為 $-1.617\text{K} \sim 2.746\text{K}$ ，而 AVHRR 亮度溫度普遍較 ATSR 亮度溫度高，第四頻道亮度溫度差異平均值及加減標準差為 $0.593\text{K} \pm$

0.755K ，第五頻道為 $0.623\text{K} \pm 0.847\text{K}$ ，其中有的組別差異高達 2.75K 。

本研究進一步探討亮度溫度差異的可能來源。考慮的因素包括對 AVHRR 亮度溫度作非線性訂正與否、大氣及海洋環境的變化、測量當時狀況諸因素、雲污染的可能、地理定位誤差、飛行校準系統性能、檢測計噪聲及資料數位化誤差等。表五比較了這些誤差來源的貢獻。

表五 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異來源的比較

BT ^a Discrepancy Cause	AVHRR	ATSR
Calibration Accuracy	$\sim 0.4\text{K}$	$< 0.1\text{K}$
ICT ^b emissivity	0.995	0.9995
ICT temperature gradient	$\sim 4\text{K}^{\text{c}}$	$< 0.02\text{K}$
ICT temperature instability	$5\text{K}/(\text{a few minutes})^{\text{c}}$	$< 0.01\text{K}/\text{min}$
Detector Noise (NEAT)	$\pm 0.05\text{K}^{\text{d}} \sim 0.12\text{K}$	$\pm 0.02\text{K} \sim \pm 0.04\text{K}$
Data Digitization	10 bit	12 bit
Environmental Change	$0.2\text{K} \sim 0.6\text{K}$ per unit change ^e	
Factors Related to Measurement Condition ^f	Correlation with BT Discrepancy ≤ 0.56	
Geolocation Error	$0.05\text{K} \pm 0.06\text{K}$	

註：^aBT：亮度溫度

^b 內部校正靶 (Internal Calibration Target)

^c 取自 Brown et al. (1985) 的一個案例

^d 檢測器隨機噪聲 (detector random noise) 及數位器噪聲 (digitizer noise) 之和 (Dudhia, 1989; Minnett, 1991)

^e 單位改變指大氣溫度改變 1K 、大氣濕度改變 10% 或海溫改變 1K

^f 包括測量天頂角、第四與第五頻道亮度溫度的差距以及影像亮度溫度的平均值及標準差

首先使用一個單線輻射傳遞模式，模擬 AVHRR 與 ATSR 測量時間間隔中，若環境（大氣溫度、大氣溼度或海溫）發生變化可能導致的亮度溫度的改變。模擬結果證實，每單位環境的變化可導致 0.2K~0.6K 亮度溫度的改變，顯示環境的變化對亮度溫度的差異有部分貢獻。而經由線性迴歸方法，分析 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異和描述測量當時狀況各種變數的相關性，考慮的變數包括測量天頂角、第四與第五頻道亮度溫度的差距（代表大氣中水氣含量）、以及影像亮度溫度的平均值及標準差。結果顯示，亮度溫度差異和這些變數的相關不大，相關係數絕對值不大於 0.56。而地理定位的誤差對亮度溫度差異的貢獻，估計約為 $0.05 \text{ K} \pm 0.06 \text{ K}$ 。另外，分析結果顯示非線性訂正及雲污染對 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的貢獻不大。

最後針對 AVHRR 及 ATSR 儀器設計、構造上的差異可能造成的影響也予以討論及比較。首先討論飛行校準系統的性能。AVHRR 的飛行校準準確度約 0.4 K，估計其中有 20% 是因其內部校正靶並非真正的黑體（放射率約 0.995）引起。AVHRR 內部校正靶溫度分佈不十分均勻，時間上的穩定性亦有限。根據 Brown et al. (1985) 所示其不均勻度約 4K，而數分鐘內隨時間的變化約 5K。這些均可能影響飛行校準的準確度。相對的，ATSR 的飛行校準準確度較好。ATSR 內部校準靶較接近黑體（放射率約 0.9995），加上內部校正靶溫度的空間均勻性（溫差 $< 0.02 \text{ K}$ ）及時間上的穩定性（ $< 0.01 \text{ K/min}$ ）等特點，因此 ATSR 的飛行校準準確度可達 $< 0.1 \text{ K}$ 。其餘因素包括檢測計噪聲及數位化誤差。AVHRR 的檢測計噪聲較 ATSR 高，前者的噪聲等效溫差約 $\pm 0.05 \text{ K} \sim 0.12 \text{ K}$ ，後者為 $\pm 0.02 \text{ K} \sim$

$\pm 0.04 \text{ K}$ 。數位化誤差亦可能影響亮度溫度的準確度。這些儀器設計、構造上的差異均為 AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異的可能來源。

本研究對 AVHRR 及 ATSR 紅外亮度溫度進行詳盡的綜合比較，顯示兩者差異不小，且造成差異的原因相當多元。和短期氣候研究（例如年際變化或超十年週期氣候變異）所需的海溫準確度 0.5°C 相比，AVHRR 及 ATSR 第四、五頻道亮度溫度平均 0.6K 左右的差異不容忽視。欲結合兩種資料來進行氣候研究時，應將此差異列入考量。

附 錄

附表一所列為三十四個比較組的測量時間、地點及 AVHRR 及 ATSR 測量時間的間隔。附表二為各比較組亮度溫度測量值及對應的亮度溫度差異。

致 謝

本文作者感謝英國 University of Dundee 及美國邁阿密大學 RSMAS (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science) 的 Dr. R. Evans 提供 AVHRR 資料，也感謝英國 Rutherford Appleton Laboratory (RAL) 的 ATSR 計劃團隊提供之 ATSR 資料。兩位審查者的寶貴建議，對於本論文的改進有很大幫助，在此一併感謝。

附表一 各比較組 AVHRR 及 ATSR 測量之時間及地點

	Time ^a (AVHRR)	Time ^a (ATSR)	Elapsed Time	Maximum Latitude ^b	Minimum Latitude ^b	Maximum Longitude ^b	Minimum Longitude ^b
MEDITERRANEAN SEA DATA (1991)							
1	10021457	10021049	04:08	49.15	48.75	-1.70	-2.70
2	10021457	10021049	04:08	50.04	49.64	-0.20	-1.00
3	10070412	10062159	06:13	36.20	35.50	-1.30	-2.30
4	10070412	10062159	06:13	36.90	36.10	0.36	-0.70
5	10080826 ^c	10072126	11:00	38.84	38.13	4.94	4.10
6	10080826 ^c	10072126	11:00	38.56	37.70	6.41	5.56
7	10080826 ^c	10072126	11:00	38.65	37.91	8.60	7.64
8	11010826 ^c	10312125	11:01	39.01	38.68	8.14	7.65
9	11010826 ^c	10312125	11:01	39.74	39.21	8.32	8.15
EAST USA DATA (1992)							
10	05021959	05021515	04:48	26.35	25.85	-78.06	-78.56
11	05021959	05021515	04:48	26.50	26.02	-78.99	-79.28
12	05051921	05051521	04:00	24.22	23.90	-78.58	-79.03
13	05051921	05051521	04:00	25.11	24.70	-79.76	-80.27
14	06061940	06061515	04:25	28.28	27.75	-75.89	-76.38
15	06061940	06061515	04:25	25.44	25.14	-75.43	-75.95
16	06212003	06211544	04:19	24.50	24.09	-84.56	-84.98
17	06212003	06211544	04:19	24.91	24.52	-83.66	-84.66
18	06221951	06221512	04:39	27.64	27.26	-78.71	-79.20
19	06221951	06221512	04:39	28.07	27.68	-77.97	-78.39
20	07021930	07021458	04:32	41.15	40.79	-70.43	-71.15
21	07021930	07021458	04:32	39.42	38.93	-68.06	-69.06
22	07021930	07021458	04:32	39.17	38.41	-70.25	-71.13

附表一 (續)

23	07101934	07101547	03:47	25.53	25.07	-83.57	-83.97
24	07101934	07101547	03:47	28.14	27.76	-83.53	-84.06
25	07111922	07111515	04:07	36.36	36.01	-73.06	-73.51
26	07111922	07111515	04:07	35.26	34.96	-74.03	-74.51
27	07111922	07111515	04:07	34.45	34.05	-75.57	-75.96
28	07111922	07111515	04:07	30.12	29.81	-75.45	-75.85
29	07111922	07111515	04:07	32.95	32.60	-77.25	-77.70
30	07111922	07111515	04:07	28.14	27.94	-77.36	-77.89
31	07152017	07151449	05:28	27.61	27.08	-72.85	-73.22
32	07152017	07151449	05:28	27.76	27.29	-72.09	-72.44
33	07242010	07241507	05:03	27.53	27.06	-77.47	-77.78
34	07242010	07241507	05:03	28.58	28.16	-77.35	-77.74
35	07242010	07241507	05:03	28.45	27.99	-75.62	-76.04
36	07302038	07301518	05:20	27.59	27.03	-79.00	-79.55
37	07302038	07301518	05:20	25.70	25.30	-79.50	-80.06
38	07302038	07301518	05:20	25.81	25.22	-77.08	-77.62
39	08022002	08021524	04:38	30.20	29.75	-78.89	-79.62
40	08022002	08021524	04:38	29.60	29.10	-79.33	-80.03
41	09221953	09221521	04:32	31.04	30.69	-78.38	-79.09
42	09221953	09221521	04:32	32.93	32.59	-78.03	-78.72
43	09221953	09221521	04:32	31.39	30.75	-79.42	-79.78

註：^a 八位數字代表月、日、時、分 (UTC)

^b 緯度正/負值表北/南半球；經度正/負值表東/西半球

^c NOAA-12 資料。其他 AVHRR 資料均為 NOAA-11。

附表二 各比較組亮度溫度測量值及對應的亮度溫度差異

		<u>CHANNEL 4</u>				<u>CHANNEL 5</u>			
	AVHRR	ATSR-N*	ATSR-F*	DISC*	AVHRR	ATSR-N*	ATSR-F*	DISC*	
MEDITERRANEAN SEA DATA									
1	286.309	286.341	284.275	1.905	284.340	285.066	282.709	1.485	
2	285.591	286.405	284.666	1.634	283.449	285.055	282.993	1.296	
3	289.839	292.245	290.583	0.271	288.988	291.525	289.805	0.234	
4	289.440	292.680	290.800	0.312	288.384	291.814	289.837	0.305	
5	290.959	293.952	292.078	-0.834	289.084	293.041	291.010	-1.617	
6	290.525	293.633	291.534	-0.346	288.811	292.647	290.359	-0.825	
7	290.560	293.264	291.096	1.374	289.193	292.174	289.738	1.601	
8	286.885	288.879	286.556	2.046	284.778	287.398	284.681	2.105	
9	286.133	289.379	287.519	0.245	283.828	288.247	286.036	-0.270	
EAST USA DATA									
10	294.633	294.515	292.245	0.128	293.908	293.653	291.218	0.266	
11	295.543	295.383	293.130	0.111	294.970	294.466	292.062	0.452	
12	294.338	295.180	293.161	1.063	293.382	294.189	291.958	1.299	
13	293.606	295.409	292.748	1.051	291.886	294.009	291.108	0.989	
14	293.881	292.560	289.522	1.369	292.182	290.720	287.429	1.514	
15	293.557	292.875	290.012	0.572	291.283	290.527	287.410	0.636	
16	297.551	297.508	294.376	1.471	295.713	295.606	292.147	1.683	
17	296.401	297.100	293.958	0.459	294.586	295.184	291.746	0.669	
18	295.849	296.172	293.741	-0.212	294.113	294.387	291.724	-0.152	
19	295.454	295.603	293.025	-0.098	293.329	293.889	291.506	-0.504	
20	288.977	286.629	284.779	2.597	288.063	285.614	283.413	2.746	

附表二 (續)

	CHANNEL 4				CHANNEL 5			
	AVHRR	ATSR-N*	ATSR-F*	DISC*	AVHRR	ATSR-N*	ATSR-F*	DISC*
21	290.458	290.082	987.569	1.093	288.863	288.583	285.759	1.087
22	291.334	290.893	288.259	0.725	289.758	289.336	286.401	0.738
23	293.493	298.303	295.916	-0.082	292.317	297.181	294.742	-0.033
24	294.246	296.696	293.725	1.845	292.399	294.874	291.694	2.122
25	296.819	297.208	294.547	-0.391	295.203	295.400	292.396	-0.201
26	297.109	297.090	294.482	0.246	295.520	295.355	292.437	0.418
27	297.054	297.917	295.272	-0.267	295.412	296.241	293.216	-0.147
28	295.664	296.302	293.478	0.436	294.186	294.578	291.493	0.782
29	296.254	296.465	293.934	1.008	294.761	294.729	291.839	1.425
30	295.069	296.669	293.824	0.463	293.358	294.976	291.884	0.624
31	295.178	296.809	294.256	0.768	293.483	295.057	292.228	1.085
32	294.498	296.551	293.630	0.901	292.638	294.704	291.521	1.153
33	296.354	296.380	293.823	-0.050	295.688	295.194	292.656	0.471
34	296.196	296.670	294.295	-0.473	295.295	295.528	293.135	-0.231
35	295.898	296.912	294.109	-0.494	295.055	295.822	293.023	-0.247
36	296.540	297.440	294.778	0.708	294.832	295.819	292.970	0.733
37	297.050	297.908	294.901	0.569	295.442	296.105	292.814	0.899
38	295.878	297.411	294.809	0.862	294.142	295.744	292.902	1.014
39	296.315	296.206	292.922	0.133	294.402	294.219	290.655	0.209
40	296.872	296.524	293.429	0.410	294.892	294.569	291.216	0.390
41	295.665	295.348	292.129	0.808	293.113	293.393	289.941	0.247
42	294.893	294.277	291.072	0.885	292.689	292.249	288.826	0.727
43	295.275	295.652	292.734	0.258	292.663	293.751	290.607	-0.403

註：*ATSR-N：ATSR 天底 (nadir) 測量；ATSR-F：ATSR 向前 (forward) 測量；DISC：AVHRR 及 ATSR 亮度溫度差異

參考文獻

- Barton, I. J., 1989: Digitization effects in AVHRR and MCSST data, *Remote Sens. Environ.*, 29, 87-89.
- Barton, I. J., A. J. Prata, and D. T. Llewellyn-Jones, 1993: The along track scanning radiometer – an analysis of coincident ship and satellite measurements, *Adv. Space Res.*, 13(5), 69-74.
- Barton, I. J., A. M. Zavody, D. M. O'Brien, D. R. Cuten, R. W. Saunders, and D. T. Llewellyn-Jones, 1989: Theoretical algorithms for satellite-derived sea surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, 94, 3365-3375.
- Brown, O. B., J. W. Brown, and R. H. Evans, 1985: Calibration of Advanced Very High Resolution Radiometer infrared observations, *J. Geophys. Res.*, 90, 11667-11677.
- Coakley, J. A., and 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.
- Crosby, D. S., and K. S. Glasser, 1978: Radiance estimates from truncated observations, *J. Appl. Met.*, 17, 1712-1715.
- Deser, C., M. A. Alexander, and M. S. Timlin, 1996: Upper-ocean thermal variations in the North Pacific during 1970-1991, *J. Clim.*, 9, 1840-1855.
- Dudhia, A., 1989: Noise characteristics of the AVHRR infrared channels, *Int. J. Remote Sens.*, 10, 637-644.
- Edwards, T., R. Browning, J. Delderfield, D. J. Lee, K. A. Lidiard, R. S. Milborrow, P. H. McPherson, S. C. Peskett, G. M. Toplis, H. S. Taylor, I. Mason, G. Mason, A. Smith, and S. Stringer, 1990: The Along Track Scanning Radiometer – Measurement of sea-surface temperature from ERS-1, *J. British Interplanetary Soc.*, 43, 160-180.
- Francis R., G. Graf, P. G. Edwards, M. McCaig, C. McCarthy, P. Dubock, A. Lefebvre, B. Pieper, P.-Y. Pouvreau, R. Wall, F. Wechsler, J. Louet, and R. Zobl, 1991: The ERS-1 spacecraft and its payload, *ESA Bulletin* 65 (ERS-1 Special issue), 27-48.
- Graham, N. E., 1994: Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: observations and model results, *Clim. Dyn.*, 10, 135-162.
- Gower, J. F. R., 1985: Reduction of the effects of clouds on satellite thermal imagery, *Int. J. Remote Sens.*, 6, 1419-1434.
- ITT Aerospace, Optical Division, 1979: AVHRR/1-FM Advanced Very High Resolution Radiometer, final engineering report (NASA-CR-160059), 311 pp., Fort Wayne, Indiana.
- ITT Aerospace, Optical Division, 1980: AVHRR/2, Advanced Very High Resolution Radiometer, technical description, contract NAS5-26771, 304 pp., Fort Wayne, Indiana.
- Kidwell, K. B., 1986: NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, and NOAA-11) users guide, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NOAA.
- Lauritson, L., G. J. Nelson, and F. W. Proto, 1988: Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, Tech. Memo. NESS 107-Rev. 1, NOAA, U. S. Dept. of Commerce, Washington, D. C., pp. 2-3.
- Llewellyn-Jones, D. T., P. J. Minnett, R. W. Saunders, and A. M. Závody, 1984: Satellite multichannel infrared measurements of sea-surface temperature of the N. E. Atlantic Ocean using AVHRR/2, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 110, 613-631.
- Masuda, K., K. Takashima, and Y. Takayama, 1988: Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window regions, *Remote Sens. Environ.*, 24, 313-329.
- McClain, E. P., W. G. Pichel, and C. C. Walton, 1985: Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, 90, 11587-11601.

- Minnett, P. J., 1988: The numerical simulation of infrared satellite measurements over the Greenland-Iceland-Norwegian Sea, Report SR-137, La Spezia, Italy, SAXLANT Undersea Research Centre.
- Minnett, P. J., 1990: Satellite infrared scanning radiometers – AVHRR and ATSR/M, in *Microwave Remote Sensing for Oceanographic and Marine Weather Forecast Models*, edited by R. A. Vaughan, 141-163, Kluwer Academic, Norwell, Mass..
- Minnett, P. J., 1991: Consequences of sea surface temperature variability on validation and applications of satellite measurements, *J. Geophys. Res.*, 96, 18475-18489.
- Minnett, P. J., 1995: The Along-Track Scanning Radiometer, in *Oceanographic Applications of Remote Sensing*, edited by M. Ikeda and F. Dobson, 461-472, C. R. C. Press.
- Mutlow, C. T., A. M. Závody, I. J. Barton, and D. T. Llewellyn-Jones, 1994: Sea surface temperature measurements by the Along-Track Scanning Radiometer on the ERS-1 satellite: early results, *J. Geophys. Res.*, 99, 22575-22588.
- Nitta, T., and S. Yamada, 1989: Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 375-383.
- Prata, A. J. F., R. P. Cechet, I. J. Barton, and D. T. Llewellyn-Jones, 1990: The Along-Track Scanning Radiometer for ERS-1 – scan geometry and data simulation, *IEEE Trans. Geoscience and Remote. Sens.*, 29, 3-13.
- Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.
- Robinson, I. S., 1985: *Satellite Oceanography*, pp. 199-204, Ellis Horwood, Chichester, England.
- Rossow, W. B., F. Mosher, E. Kinsella, A. Arking, M. Desbois, E. Harrison, P. Minnis, E. Ruprecht, G. Seze, C. Simmer, and E. Smith, 1985: ISCCP cloud algorithm intercomparison, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 24, 877-903.
- Rudman, S. D., R. W. Saunders, C. G. Kilsby, and P. J. Minnett, 1994: Aircraft measurements and model comparisons, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 120, 795-807.
- Saunders, R. W., and D. P. Edwards, 1989: Atmospheric transmittance for the AVHRR channels, *Appl. Opt.*, 28, 4154-4160.
- Schwalb, A., 1982: Modified version of the TIROS-N/NOAA A-G satellite series (NOAA E-J) – advanced TIROS-N(ATM), NOAA Tech. Memo. NESS 116, U. S. Dept. of Commerce, Washington, D. C..
- Weinreb, M. P., G. Hamilton, S. Brown, and R. J. Koczor, 1990: Nonlinearity corrections in calibration of Advanced Very High Resolution Radiometer infrared channels, *J. Geophys. Res.*, 95, 7381-7388.
- Wu, Y.-C., 1995: A comprehensive comparison between AVHRR and ATSR brightness temperature measurements, M.S. thesis, Marine Sciences Research Center, State University of New York at Stony Brook, 151 pp..
- Závody, A. M., C. T. Mutlow, and D. T. Llewellyn-Jones, 1995: A radiative transfer model for sea surface temperature retrieval for the Along-Track Scanning Radiometer, *J. Geophys. Res.*, 100, 937-952.

A Comprehensive Comparison between AVHRR and ATSR Brightness Temperature Measurements

Yi-Chao Wu

Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

(Manuscript received 23 April 2001 ; in final form 13 August 2001)

ABSTRACT

To investigate the consistency between Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) and Along Track Scanning Radiometer (ATSR) measurements, the calibrated and geolocated AVHRR and ATSR infrared brightness temperature measurements are compared. The first data set consists of measurements taken from October to November in 1991 in the western Mediterranean Sea and English Channel (Mediterranean Sea data). The second one contains measurements taken from May to September in 1992 in the east and south of USA and its vicinity (USA data). The comparison shows that regardless of measurement location or season, there exist significant discrepancies between AVHRR and ATSR brightness temperature measurements. The magnitude of discrepancy varies with different comparison sets. The discrepancies range from -0.834K to 2.597K for channel 4 and -1.617K to 2.746K for channel 5, respectively. It is found that AVHRR brightness temperature is generally higher than that of ATSR, and channel brightness temperature discrepancies could be up to 2.75 K. Over all, the mean and the standard deviation of these discrepancies are $0.593\text{K} \pm 0.755\text{K}$ for channel 4 and $0.623\text{K} \pm 0.847\text{K}$ for channel 5. Attempts have been made to find out the possible sources of brightness temperature discrepancies. Factors considered include atmospheric or oceanic environmental changes, the measurement conditions (image zenith angle, the difference between channels 4 and 5 brightness temperatures, and the mean and standard deviation of scene temperature), cloud contamination, image co-registration error, in-flight calibration system performance, the detector noise, and data digitization.

These detailed and comprehensive comparisons between AVHRR and ATSR brightness temperature measurements show significant inconsistency, which are attributed not only to a single cause but various factors. Caution is urged when AVHRR and ATSR measurements are incorporated for climate applications that require long SST fields with high accuracy.

Key words: AVHRR, ATSR, Brightness temperature discrepancy