

# 氣象衛星數據資料應用成效之評介

邱爾文

國立中央大學 大氣物理系

## 一、前言

自從 1960 年 4 月 1 日，第一枚氣象衛星 TIROS-1 順利發射成功以來，迄今氣象衛星之歷史雖然只有短短二十四年，可是氣象衛星資訊的應用，却已經有了驚人的發展。

氣象衛星直接為我們提供的資訊，有下列兩類：(1)衛星所拍攝到的雲圖（包括可見光雲圖與紅外線雲圖）；(2)衛星攜帶的各種儀器所觀測到的數據資料。

第一類資訊的應用，主要是各種雲系的辨識，風暴的偵測和追蹤，烟、霾、雲、霧之偵測，太陽輻射及降水之估計等等。國內中央氣象局及空軍氣象聯隊等作業單位歷年來對這方面的應用，已經累積了豐富的經驗。近年來更有許多學者引進「影像色調強化 (Image Enhancement)」分析技術，從事進一步的研究。其中包括吳宗堯等 (1982, 1983, 1984) 的「GMS 衛星雲圖所見混合切力與重力波雲系分析」，「台灣附近兩種中小尺度雲系系統」，「衛星雲圖所示異常線成因及利用色調強化紅外線對地溫、海溫及長短波輻射增溫冷卻之實例研究」；以及洪理強等 (1982) 的「運用衛星影像色調強化技術估計颱風中心位置及強度」，「利用氣象衛星資料對西南氣流之分析」等等。

第二類資訊為定量數據資料。根據輻射理論，可以應用這些資料來推算雲量、冰雪覆蓋量、海面溫度、大氣溫度垂直剖面、風場、濕度場、降水量、可降水量等各種氣象參數。國外氣象界對這方面的研究，已經投下了龐大的人力與財力，而獲致許多具體的成果。目前正有待我們去吸取這些經驗，並衡量本國的需要，引進及發展有關的新技術，以

便提高天氣預報的精確度水準。

本文的目的是針對歷年來氣象衛星數據資料應用的成效，作一般性介紹；並特別著重各項測計的精確度之評估。內容大部份以後期的發展為主，尤其偏重最近五、六年的成果。由於所涵蓋的範圍太廣，本文將只討論和天氣預報比較有直接關係的海面溫度、大氣溫度垂直剖面、水汽與液態水、降雨量、雲量及風速等六項測計；對於衛星數據資料的其他應用，如地球大氣系統的輻射收支，氣懸膠體與臭氧的測計等，都暫不列入討論。

## 二、海面溫度

氣象衛星所觀測到的熱紅外線頻道或微波頻道之輻射強度，可以用來推算出海面溫度。所求得之海面溫度是否精確，最主要的關鍵就是如何針對大氣各種氣體及氣懸膠體的吸收與再放射，將衛星觀測到的上升輻射強度進行修正。此外，上升輻射也受到雲的影響。一般而言，儀器的視場 (Field of View, FOV) 內必須沒有雲。如果雲量很少，可以利用鄰近或早先的晴空資料加以修正，否則就只能靠微波亮度溫度來推算海面溫度，而降低空間解析度及精確度。

### (一) 觀測儀器之演進

表 1 列出了各氣象衛星上用來觀測海面溫度的一些主要儀器。表內前四枚衛星是作業性地球同步衛星，其中包括位於西經 75° 與 135° 的美國衛星 (GOES 5, 4)，位於東經 135° 的日本衛星 (GMS) 及位於經度 0° 的歐洲太空署 (ESA) 之 Meteosat 衛星。這些衛星上的可見光與紅外線自動掃描輻射儀 (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer, VISSR) 所提供的熱紅外

線頻道輻射強度資料，經過大氣水汽修正後，就能用來推算海面溫度。

表 1 所列出的 Nimbus - 6 與 Nimbus - 7 衛星屬於美國國家航空與太空總署 (NASA) 的實驗性繞極軌道衛星系列。該系列的最後一枚衛星 (即 Nimbus 7) 配備有溫度濕度紅外線輻射儀 (Temperature Humidity Infrared Radiometer, THIR) 及掃描多頻微波輻射儀 (Scanning Multifrequency Microwave Radiometer, SMMR), 分別提供可用來求海面溫度的紅外線及微波觀測資料。前一枚衛星 (Nimbus 6) 則攜帶了 THIR 及第一部高解像紅外線輻射探測器 (High Resolution Infrared Radiation Sounder, HIRS)。該探測器提供水汽剖面資料，可用來進行海面溫度的大氣修正。

#### (一) 早期的誤差

許多學者曾經根據理論或實測資料分析衛星遙測海面溫度的精確度。Rao et al. (1972) 最先利用衛星資料求出全球海面溫度分佈。其資料來自ITOS 1 衛星的掃描輻射儀 (Scanning Radiometer, SR), 分析時採用了 Smith et al. (1970) 的修正方法，算出經緯度  $2.5^\circ$  各網格點的海面溫度。將三天的合成結果與船測海面溫度比較，發現均方根差在  $2^\circ\text{C}$  至  $3^\circ\text{C}$  之間。Rao 認為這是由於儀器雜訊，大氣修正不夠完善以及遙測方法與傳統觀測方法的基本差別所引起的。較早期間，Smith et al. (1970) 及 Shenk and Salomonson (1971) 也曾針對 NOAA 與 Nimbus 衛星的紅外線感應儀器，考察有限區域的衛星遙測海面溫度之精確度，結果發現與船測資料平均相差  $1^\circ\text{C}$  至  $1.5^\circ\text{C}$  之間。

#### (二) 例行的海面溫度作業

自從 1972 年 12 月，美國國家海洋與大氣總署 (NOAA) 便開始根據繞極軌道衛星的紅外線輻射強度資料，進行全球每天海面溫度計算的例行作業 (Global Operational Sea Surface Temperature Computation, 簡稱 GOSSTCOMP)。該項例行作業所採用的大氣水汽修正方法，經過多年來一再的改進，到 1981 年 11 月，純粹

靠 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 資料來計算的多頻道海面溫度例行作業 (Multichannel SST, 簡稱 MCSST) 取代了原來的 GOSSTCOMP 作業之後，利用衛星資料分析全球海面溫度作業，就有了新的突破。

McClain et al. (1982) 曾經使用 1981 年 11 月 3 ~ 12 日十天的衛星資料，分別依照多頻道 (MCSST) 方法及舊的作業方法，求取每天的全全球海面溫度，並且與船舶觀測值比較；發現多頻道海面溫度的均方根差只有  $1.56^\circ\text{C}$ ，而舊方法的均方根差則高達  $2.19^\circ\text{C}$ 。此外，又將 1981 年 11 月至 1982 年 4 月半年間的 MCSST 海面溫度與漂移浮標 (drifting buoys) 的觀測值相比較，結果求得均方根差在白天與夜間分別為  $0.62^\circ\text{C}$  及  $0.75^\circ\text{C}$ 。(見圖 1)

NOAA 的海面溫度研究小組正在研究如何將氣懸膠體的效應納入多頻道海面溫度例行作業 (MCSST)，以便在較大的火山爆發後，仍然能求出精確可靠的海面溫度。不過要達成這項目標，還需要一段相當的時間。

### 三、大氣溫度垂直剖面

早在 1969 年的 Nimbus 3 衛星就已經攜帶了用來探求大氣溫度垂直剖面的探測儀器。目前的氣象衛星都配備有紅外線及微波探測器，可以藉著事先慎重選定的若干頻道之觀測，推算出多層的大氣溫度。表 2 說明了各氣象衛星探求大氣溫度剖面的成果。該表所列出的各種感應儀器可以觀測大氣中水平分佈及隨時間分佈比較固定的  $\text{O}_2$  或  $\text{CO}_2$  等氣體之熱輻射。衛星測到的來自某一高度的輻射強度，是氣體溫度、氣壓 (高度) 以及從該高度到衛星的透射率 (transmissivity) 之函數。藉著權重函數的分析，我們就能算出各不同層對每一個觀測頻道的貢獻 (Conrath, 1972; Kaplan et al., 1977)。若在  $\text{CO}_2$  或  $\text{O}_2$  吸收峯兩側，多選取幾個連接的狹窄頻道，探測層的數目就會隨着增加。如表 2 中 NOAA 4 與 NOAA 5 的垂直溫度剖面輻射儀 (Vertical Temperature Profile Radiometer, VTPR) 共有八個頻道，其中六

個頻道就在CO<sub>2</sub>的15 μm 吸收域內。NOAA Tiros - N 系列衛星的精密高解像紅外線輻射探測器 (Advanced HIRS 或 HIRS / 2) 則包含二十個頻道，其中有十二個頻道在CO<sub>2</sub> 的吸收帶。

推算地面附近的溫度比較困難，原因是地面附近水汽及氣懸膠體濃度很大而且很不固定，另一方面又受到了雲的干擾。衛星上所攜帶的探測儀器，通常使用多重頻道，所以能在探求溫度剖面的同時，也估計出水汽濃度及判識雲的干擾，以便一併進行溫度剖面的修正。

列在表 2 裏的各項感應儀器之中，Nimbus E 微波探測器 (Nimbus E Microwave Sounder, NEMS), 掃描微波探測器 (Scanning Microwave Sounder, SCAMS) 與微波探測組 (Microwave Sounding Unit, MSU) 為微波感應儀器。比起其他紅外線感應儀器，這些微波感應器的優點就是受水汽或雲的影響很小；但是由表 2 可以看出，其空間解析度比較差。目前微波和紅外線兩種探測器，在溫度的精確度方面已經很接近。因此 Nimbus、NOAA 等衛星都以「互補」的方式來使用這些儀器。換句話說，當紅外線探測器遇到雲遮蔽狀況時，就靠微波感應器來求取溫度剖面。

Barnett et al. (1975) 曾將 1970 ~ 73 年間 NOAA 4 與 NOAA 5 的紅外線輻射儀求得之上對流層及下平流層溫度資料與無線電探空資料作比較，發現由衛星求得之溫度，只有 1 °C 的誤差；與火箭探空儀比較時，平均誤差為 3 °C。Waters et al. (1975) 將 1972 年十二月間 Nimbus 5 衛星 NEMS 微波資料所推算出的美國大陸溫度剖面，與十三層的無線電探空資料相比較，發現均方根差為 2.1 °C。

關於 NOAA 衛星的最新溫度探測儀器 (MSU 與 HIRS / 2) 的精確度，根據 Philips et al. (1979) 在北緯 30° ~ 60° 及南緯 30° ~ 60° 地區為期七週的實驗，求得之溫度剖面，和無線電探空資料的均方根差在 1 °C 以內。

Scoggins et al. (1981) 將 Nimbus 6 求出的溫度剖面資料，分成 1000 ~ 500, 500 ~ 300 及 300 ~ 100 mb 三層，發現第一層的溫度有

時偏高有時偏低，中間層一般都偏高，而上層則永遠偏高。由此可見，隨着高度的增加，溫度的偏高有逐漸嚴重的趨勢，各層溫度的誤差，在地面附近最大，對流層頂次之，中對流層則最小。Philips et al. (1979) 與 Schlatter (1981) 所發表的對 TIROS - N 衛星作業性垂直探測器 (TIROS Operational Vertical Sounder, TOVS) 之評估，也獲得類似的結論。該評估報告指出，除了地面及對流層頂誤差比較大以外，一般而言溫度的均方根誤差都在 2 °K 以內。對流層頂附近誤差比較大，是由於垂直解析度太差所引起的。

第一期 GARP 全球性研究實驗 (First GARP Global Experiment, 簡稱 FGGE) 期間，美國國家環境衛星局 (NESS) 曾根據 NOAA-6 衛星的三個探測儀器 (即高解像紅外線輻射探測儀 HIRS, 微波探測組 MSU 及平流層探測組 SSU) 進行全球大氣溫度剖面作業，其水平解析度為 250 Km。Smith et al. (1981 a) 的研究顯示，若採用「人與電腦交談式處理方法」 (Man-Machine interactive processing method)，針對有限地理區域，可以獲得水平解析度更高 (≈ 50 Km) 的大氣溫度剖面。

自從 VISSR 大氣探測器 (VISSR Atmospheric Sounder, 簡稱 VAS) 被裝配在 1980 年 9 月發射的 GOES - 4 衛星以後，地球同步衛星所提供的地面到 50 mb 的大氣垂直方向之溫度探測，就對中尺度的研究，有了很大的貢獻。Smith et al. (1981 b) 最先提到 VAS 的初步觀測結果。接著 Menzel et al. (1981) 也討論了 VAS 的系統校訂，並且和 HIRS 資料及無線電探空資料作比較。他們一致指出，VAS 不僅能求出精確的溫度剖面 (與無線電探空溫度相差在 2 °C 以內)，而且還能夠偵測到大氣溫度垂直剖面一天當中隨時間變化的情形。(見圖 2)

#### 四、雲量

雲是地球輻射收支最主要的調節器，也是陰雨天氣最主要的指標。衛星觀測的數據資料，可用來進行雲量的客觀分析。Chahine (1982) 曾討論如何應用紅外線輻射強度資料，來推算一些雲參數

。Wielicki and Coakley (1981) 也曾針對紅外線求取雲量的各種方法，作了誤差分析。Cahalan et al. (1982) 的研究報告，則詳細說明雲量隨空間與時間變動情形。

近幾年來，先後有許多學者廣泛討論如何有效地利用衛星觀測之輻射資料，更客觀地進行精確的雲量分析。Shenk et al. (1976), Reynolds and Vonder Haar (1977) 及 Chen et al. (1980) 的研究，基本上都是由多頻道的輻射強度資料，建立二維或三維直方圖 (2-D OR 3-D histogram)。這些方法的主要問題就是如何定出各頻道的適當臨界值，以便進行雲的分類。

根據 Shenk and Salomonson (1972) 的模擬研究，當雲小於視場 (Field of view) 時，或者有些視場正好落在雲的邊緣上時，臨界值方法所求得之雲量，就會有很大的誤差。這種誤差還會隨著選擇的臨界值及雲區的大小而變動。

爲了改進上述缺點，Coakley and Bretherton (1982) 提出了一種空間連貫性方法 (spatial coherence method)，利用紅外線輻射強度的空間結構，求出晴空區與雲區的輻射強度，再進一步推算出雲量。與臨界值方法比起來，空間連貫性方法具有下列幾項優點：(1) 只要考察的範圍內，晴空區與雲區都含蓋幾個像元 (pixel)，則求出之雲量的精確度，就不受部份遮蔽的像元所影響。(2) 能辨識多層雲的出現，而且只要將分析的範圍劃分成只有一層雲或兩層雲的小區域，就能夠推算出晴空輻射量，各雲層溫度，以及各雲層互不重疊部份的雲量。(3) 若輻射儀的輸出是輻射強度的線性函數，當輻射儀有增益誤差時 (errors in gain)，雖然會影響輻射資料的絕對校訂 (absolute calibration)，但是該誤差却不致影響雲量的估計。

## 五、風速

雖然全球性風速觀測的重要性已經爲大家所公認，但是要由衛星來提供遍及全球的各地風速，却至少要等十年後才能實現。目前，應用衛星觀測資料估計風速的方法有下列兩種：(1) 根據同步衛星觀

測到的雲漂移速度來估計風速。(2) 由衛星觀測到的輻射強度，推算大尺度地轉風 (Gille, 1979)。第二種方法不能適用於熱帶低緯度地區或中尺度的分析。

利用雲的漂移速度估計風速，在其他資料稀少的熱帶海洋地區特別有用。Endlich and Wolf (1981) 曾設計一種方法，由 GOES 及 METEOSAT 衛星的觀測自動追蹤雲的路跡。Hasler et al. (1979) 則提出一種新方法，利用兩個同步衛星的資料，獲得雲的立體觀測。他並將推算出來的雲漂移速度和飛機的就地觀測作了比較。Johnson and Suchman (1980) 也曾分析該方法求得之風速對時間及空間解析度的靈敏程度。

另外有許多學者，如 Negri and Vonder Haar (1980), Wilson and Houghton (1979) 及 Rodgers et al. (1979) 等分別利用雲的漂移風速，考察劇烈風暴的中尺度風場。雲漂移風速雖然能爲海洋地區提供有價值的資料，但是這種方法只能求出一兩個高度的風速，所以並不能完全解決海洋地區觀測風速的問題。

Douglass and Stanford (1980) 首先提到如何利用衛星觀測的輻射強度，進行地轉風的分析。Ohring et al. (1981) 則討論了利用熱力風方程式，由衛星輻射資料的水平梯度，直接推算垂直風切的可行性。

海面風速的微波遙測，有被動式與主動式兩種感應儀器。Nimbus 和 Seasat 衛星所攜帶的掃描多頻微波輻射儀 (Scanning Multifrequency Microwave Radiometer, SMMR) 屬於被動式，而 Seasat 衛星上的海洋衛星雷達散射儀 (Seasat A Radar Scatterometer System, SASS) 則屬於主動式。表 3 即爲 Nimbus 7 與 Seasat 衛星用這些感應儀器測定海面風速的精確度與解析度。其中 Seasat 衛星是 NASA 於 1978 年 6 月發射的一枚專門觀測海洋的人造衛星。該衛星雖然不幸於當年 10 月發生故障，可是在短短三個月的運行期間，已經傳送回大量的海況觀測資料。SASS 的特點就是能同時測出風的速率及風向。

## 六、水汽與液態水

### (一) 可降水量

Hayden et al. (1981) 曾詳細討論應用繞極軌道衛星的資料，求取水汽分佈的各種方法。

為求溫度垂直剖面，我們可以選擇吸收氣體濃度幾乎固定的輻射頻率，則衛星測到的輻射強度，就只是溫度垂直剖面的函數。可是當我們的目的是求水汽時，我們所選用的頻率，就不但是吸收氣體（水汽）濃度的函數，而且也是大氣溫度的函數。因此，水汽的垂直剖面通常不容易獨立求得，而各種研究一般都以總可降水量作為分析討論的目標。

高解像紅外線探測器（HIRS 或 HIRS/2）就具備有探求水汽之頻帶，以及探求溫度剖面之頻帶；所以能同時求出溫度垂直剖面 and 總可降水量。Scoggins et al. (1981) 將這些探測器所求得之結果，和無線電探空資料比較，發現 500 ~ 300 mb 大氣層可降水量的均方根差，八月與二月分別是  $-0.03 \text{ cm}$  與  $0.2 \text{ cm}$ 。

同步衛星方面，歐洲氣象衛星 Meteosat 的紅外線水汽頻道，早在 1977 年就開始提供大西洋與印度洋的可降水量資料，而美國的 GOES 4 與 GOES 5 衛星上的 VAS 儀器，也具有三個紅外線水汽頻道，用來提供美國及大西洋與太平洋的水汽資訊。

因為能避免雲的妨礙，微波水汽感應儀器也被廣泛使用。掃描多頻微波輻射儀（Scanning Multifrequency Microwave Radiometer, SMMR）和掃描微波探測器（Scanning Microwave Sounder, SCAMS）就是兩種最新型的多頻道微波觀測儀器。這些儀器的前身乃是 Nimbus 5 與 Nimbus 6 的微波探測器（Nimbus E Microwave Sounder, NEMS）及電式掃描微波輻射儀（Electrically Scanning Microwave Radiometer, ESMR）。

Chang and Wilheit (1979) 將 NEMS 與 ESMR 的資料合併，而採用一種迴歸方法求出了北緯  $25^\circ$  東經  $125^\circ$  太平洋實驗區的總可降水量，發現與附近五個探空站的無線電探空資料，只相差

$\pm 0.15 \text{ g/cm}^2$ 。

表 4 列出了利用各類型的紅外線及微波感應儀器求取可降水量的成果。目前的例行作業性儀器有 NOAA 7 與 NOAA 8 的 HIRS/2 及 Meteosat 的 VISSR。

### (二) 液態水

大氣中的液態水通常是在水雲與霾裏。由於這些雲和霾對紅外線波長吸收很強，紅外線輻射計不能用來測定液態水含量（liquid water content）。但是只要選擇適當的微波頻帶（如  $22 \text{ GHz}$  與  $31 \text{ GHz}$ ），就能夠測出水汽及液態水；因為其吸收率比背景海面小而放射率則比較大（Chang and Wilheit, 1979; Staelin et al., 1976）。不過在解釋所獲取的資料時，必須考慮到海面的粗糙度（風、浪狀況），泡沫（foam），表面薄膜（油）及鹽度等複雜的因素。這些參數的模式化，已經被視為今後微波實驗研究的主要課題。

若雲和霾的液態水太多，觀測結果就不理想。Gaut et al. (1972) 指出水含量超過  $0.12 \text{ g/cm}^2$  時，觀測的精確度就開始惡化。理論上說，如果採用兩個微波頻帶，而且海面不太粗糙，則觀測的均方根誤差可以在  $0.01 \text{ g/cm}^2$  以內（Rosenkranz et al., 1972）。因為缺乏可用來比較的其他資料，由衛星觀測推算液態水的精確度，目前還難以驗證。

## 七、降雨量

Atlas et al. (1982) 曾詳細討論由太空遙測降雨量的各種方法之演進過程。基本上可見光與紅外線方法只能從雲的覆蓋區去辨識降雨區域，再根據氣候降雨率，估計出降雨量。這種可見光與紅外線方法只能適用於低緯度（ $< 30^\circ$ ）的對流性降雨。另一方面，微波輻射的觀測也可以用來估計降雨率，尤其是在海洋地區。但是必須有很小的視場（FOV），誤差才不會太大。

近年來有許多學者嘗試利用微波輻射方法求出總液態水含量，以便經由模式去區分雨滴和雲滴。可是到目前還只獲得一些半定量結果。表 5 列出了一些比較具有代表性的例子，藉以顯示應用衛星微

波資料推算降雨量的成效。

因為雨滴和雲滴的每單位積算液態水含量 (integrated liquid water content) 對微波產生同樣的衰減效果，所以兩者很難區分。唯一的例外是雨滴的大小正好與微波的感應波長相搭配，而使吸收達到頂峯的情形 (Lovejoy and Austin 1980)。

早期的微波實驗，是根據總液態水含量的臨界值 (如  $> 0.5 \text{ g/cm}^2$ ) 來定義降雨雲的出現。到了 1974 年，Allison et al. (1974) 根據風暴模式，提出了一種定性方法，將降雨率粗略地分成三等級。該方法是針對 Nimbus 5 的 ESMR 與 THIR 資料，以及國防氣象衛星系列 (Defence Meteorological Satellite Program, DMSP) 的垂直探測器 (Special Sensor E, Atmospheric Sounder) 資料而設計的。Wilheit et al. (1977) 將該模式予以改進，建立了微波亮度溫度與降雨率之間的定量性關係。Wilheit et al. (1977) 使用 Nimbus 5 與 Nimbus 6 資料計算的結果，和氣象雷達相比較，降雨量的均方根誤差大約是 100% (見表 5)。Wilheit 的方法可針對感應儀器的每一個頻道，求出降雨雲滴與液態水對亮度溫度貢獻的比值。

由表 5 可以看出，各繞極軌道衛星所攜帶的微波感應儀器的空間解析度 ( $\sim 30 \text{ Km}$ ) 及時間解析度 (每天一次或兩次) 都不夠好，所以不能將降雨率視為固定值。

應用衛星資料估計降雨量的另一種方法，是根據同步衛星在一天當中的好幾次觀測，決定各種雲型的指數。GOES 衛星的 VISSR 之觀測，特別適合用這種方法來分析。Barrett (1973) 曾討論降雨雲分類的各種方法。在熱帶，強烈對流區與降雨區通常在可見光雲圖呈現得比較亮，而在熱紅外線雲圖則呈現比較冷。Griffith et al. (1978) 採用亮度與溫度分級法，由白天每小時觀測到的雲，估計出南佛羅里達 1972, 1973 及 1975 年 8 月大區域及小區域之降水量；並與雨量器及地面雷達等資料相比較。結果發現 6 至 9 小時的雨量，紅外線頻道及可見光頻道的均方根誤差分別達 190% 與

130%。每小時的雨量估計更不理想。

Griffith et al. (1981), Rogers et al. (1979) 及 Wylie (1979) 也曾分別將上述經驗估計方法，試用到美國落磯山脈以東地區，東加拿大及美國東南部陸地等非熱帶 (副熱帶) 區域。

關於特殊系統的降雨，Rodgers and Adler (1981) 曾經利用微波輻射資料，分析了熱帶氣旋的降雨特性。Beer (1980) 也曾利用衛星微波資料估計 Joan 颱風的降雨量。

總括地說，應用衛星資料估計雨量，到目前還只能獲得粗略的結果，所以比較適合在缺乏傳統觀測資料的地區採用。由此可見，衛星觀測對求取雨量的貢獻，將以海洋區域為最顯著。另一方面，因為微波輻射儀還只能裝配在低軌道衛星 (即繞極軌道衛星)，在可預見的將來，應用衛星資料分析一天內的降雨變化情形，還需要依賴地球同步衛星的可見光與紅外線觀測。

## 八、對數值預報之貢獻

近年來經常被提出來討論的一項問題就是：「有了衛星的溫度探測，對數值天氣預報究竟有何貢獻？」。到目前為止，雖然已經有不少人加以研究，但是對此問題尚未能獲得一致的結論。

Desmarais et al. (1978) 及 Tracton and Mc Pherson (1977) 在美國國家氣象中心 (National Meteorological Center, NMC) 的研究，發現衛星資料對預報並沒有顯著的改進；而 Halem et al. (1978) 在哥達太空研究所 (Goddard Institute for Space Studies, GISS) 的研究，則發現衛星資料對改進 48 小時的預報，有顯著的貢獻。Ghil et al. (1979) 的實驗結果，也認為衛星資料的貢獻雖然不大，但却具有顯著意義。

Ohring (1979) 曾探討各不同國家的研究結果 (見表 6)。他的結論認為，平均來說，加進衛星探測以後，數值預報獲得了微小的改進。前年 Halem et al. (1982) 分析第一期全球大氣研究實驗 (First GARP Global Experiment, )

FGGE)的衛星觀測系統，也發現使用了衛星資料，對北美與歐洲地區的數值預報改進很少，但是在澳洲却獲得很大的改進。

綜合近年來各項研究，我們可以獲得初步結論：「衛星資料對數值預報之影響，隨地理區域及預報模式而有不同的結果。和預報誤差比起來，衛星資料的影響一般都很小。平均來說，有良好的傳統資料可進行驗證的陸地上，各種統計顯示，衛星資料對48小時的500 mb高度之預報，並沒有顯著的改進。但是在海洋地區，尤其是傳統資料稀少的區域，衛星對下對流層及中對流層的預報，顯然有所幫助。」

Houghton (1979) 及 Ohring (1979) 曾特別強調，衛星資料和傳統無線電探空資料，各具有不同的特性；而世界各國的氣象作業單位，對如何使用新形式的資料，還缺乏經驗。所以我們不可能期望這些新資料馬上能夠適當地納入例行的作業性分析。美國威斯康辛大學的許多學者 (Peterson and Horm, 1977; Smith et al. 1978) 曾經發展出交談式電腦系統，可以合併衛星資料及傳統資料，再經由人爲判斷，除掉一些不對的資料，並作必要的調整，而獲得比單靠任一種資料都要精確的氣象分析。未來這方面的進展必定會促使衛星探測在作業性天氣預報扮演更重要的角色。

## 九、未來之展望

氣象衛星的觀測儀器，在過去二十四年內，不斷改進更新，所能觀測的項目逐漸擴大，觀測能力也不斷增強。

計劃在近年內增添的新感應儀器，主要包括下列幾種：

(一) 用來測定海平面氣壓的微波氣壓探測器 (The Microwave Pressure Sounder, MPS)。該探測器已經由美國航空暨太空總署的噴射推進實驗室 (JPL) 及英國氣象局研究過。MPS 配置在衛星上，將可以在海洋上提供沿軌道方向每間隔 240 Km 的海面氣壓。此外還可能在冰層上進行測計。

(二) JPL 另外還研究了一種精密氣象溫度探測器 (Advanced Meteorological Temperature

Sounder, AMTS)。該儀器將提供垂直解析度比較好的對流層溫度剖面。另一方面也將提高地面附近溫度的精確度，而能夠改進“空氣—海面”溫度差的推算。這將有助於加強邊界層的氣象分析。

(三) 一種精密微波探測組 (Advanced Microwave Sounding Unit, AMSU) 已經被考慮用來取代現有的MSU 安裝在 NOAA-G 之後的 NOAA-TIROS-N 系列氣象衛星上 (大約 1985 年)。AMSU 將配備二十個頻帶，代替MSU 的四個頻帶。屆時垂直方向的解析度可望獲得提高。AMSU 也將附設較大的天線，以提供比較好的地面空間解析度 (對溫度探測為 50 m，而對水汽與降水的探測為 15 m)。

(四) 雷射系統與光達 (lidar) 系統目前正在飛機上進行實驗，將來也可能配置到人造衛星上面。光達是一種具有測距功能的特殊雷達系統。實驗顯示，這種系統可以用來測定地面溫度、氣壓、風速、濕度、雲、大氣亂流等。此外，還能精確地測出各種氣體濃度、溫度及濕度的垂直剖面 (Schweisow et al., 1981, Kalshoven et al., 1981, Sheives et al., 1974)。

雷射與光達的精密度雖然很高，但是因為雷射光束狹窄，所以取樣面積很小。另一方面，為安全起見，按美國國家標準局 (ANSI) 規定，雷射的入射表面輻射不能超過  $0.5 \text{ J/cm}^2$ 。此項限制將使反射或上升訊號比值太弱的地區，或者訊號受大氣衰減較嚴重的地區，應用雷射遙測的效果，打了很大折扣。

表 7 列出了氣象衛星的儀器測定各種氣象參數現有的精確度與解析度，同時也列出了其未來潛力。有關氣象衛星數據資料應用的新發展，的確值得我們隨時留意，並作深入研究，以便更充分發揮氣象衛星的功能。

## 參考文獻

- 吳宗堯、王時鼎、謝信良、洪理強，1982：GMS 混合切力與重力波雲系分析。大氣科學，9 期，169。
- 吳宗堯、王時鼎、謝信良、洪理強，1983：台灣

- 附近兩種中小尺度雲系系統。大氣科學，10期，127。
- 吳宗堯、王時鼎、洪理強、丘台光、林雨我，1984：衛星雲圖所示異常線成因及利用色調強化紅外線對地溫、海溫及長短波輻射增溫冷卻之實例研究。大氣科學，11期，171。
- 洪理強、丘台光、李培君，1982：運用衛星影像色調強化技術估計颱風中心位置及強度。中範圍天氣系統研討會論文彙編，143。
- 洪理強、朱曙光、張修武，1982：利用衛星資料對西南氣流及其雲系特徵分析。中範圍天氣系統研討會論文彙編，489。
- Allison, L.J., Rogers, E.B., Wilheit, T.T. and Fett, R.W., 1974: Tropical cyclone rainfall as measured by the the Nimbus 5 electrically scanning radiometer, Bull. Amer. Meteorol. Soc., 55, 1074.
- Asgiersson, V. and Stanford, J.L., 1978: Systematic deviations of Nimbus 5 atmosphere temperature fields from radiosonde data over the winter Antarctic, Geophys. Res. Lett., 4, 445.
- Atkins, M.J. and Jones, M., 1975: An experiment to determine the value of satellite infrared spectrometer (SIRS) data in numerical forecasting, Meteorol. Mag., 104, 125.
- Atlas, D. and Thiele, O.W., 1982: Precipitation measurements from space: Workshop summary, Bull. Am. Meteorol. Soc., 63, 59.
- Barnett, J.J., Harwood, R.S., Houghton, J.T., Morgan, C.C., Rodgers, C.D. and Williamson, E.J., 1975: Comparison between radiosonde, rocketsonde and satellite observations of atmospheric temperatures, Q. Jl. R. Meteorol. Soc., 101, 423.
- Barrett, E., 1973: Forecasting daily rainfall from satellite data, Mon. Wea. Rev., 101, 215.
- Baur, B. and Lienesch, J., 1975: Central processing and analysis of geostationary satellite data, NOAA TM-NESS 64, pp.59.
- Beer, T., 1980: Satellite microwave estimation of tropical cyclone rainfall: A case study of cyclone Joan, Australian Meteorol. Mag., 28, 155.
- Bonner, W., Lemar, P., van Harren R., Desmarais, A. and O'Neil, H., 1976: A test of the impact of NOAA-2 VTPR soundings on operational analysis and forecasts NOAA Tech. Memo. NWS-57, NWS., Md., 43 pp.
- Cahlan, R.F., Short, D.A. and North, G.R., 1982: Cloud fluctuation statistics, Mon Wea. Rev., 110, 26.
- Chahine, M.T., 1982: Remote sensing of cloud parameters, J. Atmos. Sci., 39, 159.
- Chang, A.T.C. and Wilheit, T.T., 1979: Remote sensing of atmospheric water vapor, liquid water and wind speed at the ocean surface by passive microwave techniques from Nimbus-5 satellite, Radio Sci., 14, 797.
- Chen, T.S., Stowe, L.L., Taylor, V.R. and Clapp, P.R., 1980: Classifica-



- tion of clouds using THIR data from Nimbus - 7 satellite , International Radiation Symposium , Extended Abstracts , Fort Collins , 315 .
- Coakley , J.A. and Bretherton , F.P., 1982 : Cloud cover from high resolution scanner data : detecting and allowing for partially filled fields of view , J. Geophys. Res., 87 , C7 , 4917 .
- Conarth , B.J., 1972 : Vertical resolution of temperature profiles obtained from remote radiation measurements. J. Atmos. Sci., 29 , 1262 .
- Desmarais , A., Tracton , M.S., McPherson , R.D. and Van Haaren , R., 1978 : The NMC report on the data system test ( NASA contract S - 70252 - AG ) , US Dept of Commerce , NOAA , Washington , D.C.
- Douglass , A.R. and Stanford , J.L., 1980 : The relationship between the gradient of satellite-derived radiance and upper tropospheric / lower tropospheric winds , J. Appl. Meteorol., 19 , 113 .
- Druyan , L.M., Ben - Amram , T., Alperson , Z and Ohring , G., 1978 : The impact of VTPR data on numerical forecasts of the Israel Meteorological service , Mon. Wea. Rev., 106 , 859 .
- Endlich , R.M. and Wolf , D.E., 1981 : Automatic cloud tracking applied to GOES and METEOSAT observations , J. Appl. Meteorol., 20 , 309 .
- Fusco , L., Lunnon , R., Mason , B. and Tomassini , C., 1980 : Operational production of sea surface temperatures from Meteosat image data , ESA Bull., 21 , 38 .
- Gaut , N.E., Reifenstein , E.E. and Chang , D.T., 1972 : Microwave properties of the atmosphere , clouds and oceans , NASA CR - 143386 .
- Gille , J.C., 1979 : Middle atmosphere processes revealed by satellite observations , J. Atmos. Terres. Phys., 41 , 707 .
- Greaves , J.R., 1979 : The data system test : the final phase. Bull Am. Meteorol. Soc., 56 , 791 .
- Griffith , C.G., Augustine , J.A. and Woodley , W.L., 1981 : Satellite rain estimation in the U.S. high plains , J. Appl. Meteorol., 20 , 53 .
- Griffith , C.G., Woodly , W.L., Martin , P.G., Stout , D.W. and Sikdar , D.N., 1978 : Rain estimation from geosynchronous satellite imagery visible and infrared studies , Mon. Wea. Rev., 106 , 1153 .
- Grody , N.C., Gruber , A. and Shen , W. C., 1980 : Atmospheric water content over the tropical pacific derived from the Nimbus 6 scanning microwave spectrometer , J. Appl. Met., 19 , 986 .
- Halem , M., Ghil , M., Atlas , R., Susskind , J. and Quirk , W. J., 1978 : The GISS sounding temperature impact test , NASA Technical Memorandum 78063 .
- Halem , M., Kalnay , E., Baker , W. E.

- and Atlas, R., 1982 : An assessment of the FGGE satellite observing system during SOP-1, Bull. Am. Meteorol. Soc., 63, 407.
- Hasler, A.F., 1981 : Stereographic observations from geosynchronous satellites : An important new tool for the atmospheric sciences, Bull. Am. Meteorol. Soc., 62, 194.
- Hayden, C.M., 1978 : The evolution of satellite indirect sounding of temperature and moisture for operational weather forecasting, I.A.F. 29th congress paper IAF-78-132, preprint pp.1-5.
- Hayden, C.M., Smith, W.L. and Woolf, H.M., 1981 : Determination of moisture from NOAA polar orbiting satellite sounding radiances, J. Appl. Meteorol., 20, 450.
- Houghton, J. T., 1979 : The future role of observations from meteorological satellites, Q. J. R. meteorol. Soc., 105, 1.
- Hsu, S. A., Rouse, L. J. and Huh, O.K., 1978 : Comparison of onshore and offshore radiosoundings and the correction of sea-surface temperature from satellite infrared measurements, 4th symposium on Meteorological observations and Instrumentation, Denver Colorado (p166-171).
- Johnson, G.L. and Suchman, P., 1980 : Intercomparisons of SMS wind sets : a study using rapid-scan imagery, Mon. Wea. Rev., 108, 1672.
- Jones, W.L., et al., 1979 : Seasat scatterometer : results of the Gulf of Alaska workshop, Science, 204, 1413.
- Kalshoven, J.E., Korb, C.L., Schwemmer, G.K. and Dombrowski, M., 1981 : Laser remote sensing of atmospheric temperature by observing absorption of oxygen, Appl. Optics, 20.
- Kaplan, L.D., Chahine, M.T., Susskind, J. and Searl, J.E., 1977 : spectral band passes for high precision satellite sounder. Appl. Optics, 16, 322.
- Kelly, G.A.M., 1977 : A cycling experiment in the southern Hemisphere using VTPR data. Australian Numerical Meteorology Research Center, Melbourne ( Unpublished manuscript ).
- Liou, K.N. and Duff, A.D., 1979 : Atmospheric liquid water content derived from parameterization of Nimbus 6 scanning microwave spectrometer data, J. Appl. Meteorol., 18, 99.
- Lipes, R.G. et al., 1979 : Seasat scanning multi-channel microwave radiometer : results of the Gulf of Alaska report, science, 204, 1415.
- Lovejoy, S. and Austin, G.L., 1980 : The estimation of rain from satellite-borne microwave radiometers, Q. J. R. meteorol. Soc., 106, 255.
- Maul, G.A., 1971 : Regional-scale sea surface temperature determination from the geostationary environmental

- operational satellite, proceeding of the 6th conference on Thermal Energy for the 80's, Vol 1, Washmgton, D.C.
- McClain, E.P., Pichel, W., Walton, C., Ahmad, A. and Sutton, J., 1982: Multi-Channel improvements to satellite-derived global sea surface temperatures, Reprint, XXIV COSPAR, Ottawa, 22-29, May, 1982.
- Menzel, W.P., Smith, W.L. and Herman, L.D., 1981: Visible infrared spin-scan radiometer atmospheric sounder radiometric calibration: an inflight evaluation from inter comparisons with HIRS and radiosonde measurements, Appl. Optics, 20, 3641.
- Negri, A.J. and Vonder Haar, T.H., 1980: Moisture Convergence using satellite-derived wind fields: a severe local storm case study, Mon. Wea. Rev., 108, 1170.
- Ohring, G., Nelman, B. and Duncan, L.D., 1981: Direct determination of wind shears from the gradilts of satellite radiance observations, J. Appl. Meteorol., 20, 1336.
- Ohring, G., 1979: Impact of satellite temperature sounding data on weather forecasts, Bull. Am. Meteorol. Soc., 60, 1142.
- Peterson, R.A. and Horm, L.H., 1977: An evaluation of 500 mb height and geostrophic wind fields derived from Nimbus 6 soundings, Bull. Am. Meteorol. Soc., 58, 1195.
- Phillips, N., McMillin, L., Gruber, A. and Wark, D., 1979: An evaluation of early operational temperature soundings from Tiros-N, Bull. Am. Meteorol. Soc., 60, 1188.
- Rao, P.K., Smith, W.L. and Koffler, R., 1972: Global sea surface temperature distribution from an environmental satellite, Mon. Wea. Rev., 100, 10.
- Reynolds, D.W. and Vonder Haar, T.H., 1977: A bi-spectral method for cloud parameter determination, Mon. Wea. Rev., 105, 446.
- Rodgers, E. and Adler, R.F., 1981: Tropical cyclone rainfall characteristics as determined from a satellite passive microwave radiometer, Mon. Wea. Rev., 109, 506.
- Rodgers, E., Siddalingaiah, H., Chang, A.T.C. and Wilheit, T., 1979: A statistical technique for determining rainfall over land employing Nimbus-6 ESMR measurements, J. Appl. Meteorol., 18, 978.
- Rodgers, E., Centry, R.C., Shenk, W. and Oliver, V., 1979: The benefits of using short-interval satellite images to derive winds from tropical cyclones, Mon. Wea. Rev., 107, 575.
- Rosenkranz, P.W., Barath, F.T., Blinn, J.C., Johnson, E.J., Lenoir, W.B., Staelin, D.H. and Waters, J.W., 1972: Microwave radiometric measurements of atmospheric temperature and water

- from an aircraft , J. Geophys. Res., 77, 5833 .
- Schlatter , T.W., 1981 : An assessment of operational Tiros -N temperature retrievals over the United States , Mon. Wea. Rev., 109 , 110 .
- Schweisow , R.L., Cupp , R.E., Derr , V.E., Barrett , E.W., P ueschel , R.F. and Sinclair , P.C., 1981 : Aerosol backscatter profiles measured at 10.6  $\mu$ m ; J. Appl. Met. 20 , 184 .
- Scoggins , J.R., Carle , W.E., Knight , K., Moyer , V. and Cheng , N.M., 1981 : A comparative analysis of rawinsonde and Nimbus 6 and Tiros N satellite profile data , NASA RP- 1070 .
- Sheives , T.C., Rouse , J.W. and Mayo , W.T., 1974 : Remote measurements of water pollution with a lidar polarimeter , Proceedings of the 9th International Symposium on Remote Sensing of Environment , Vol III (ERIM) , pp. 1695 - 1708 .
- Shenk , W.E., Holub , R.T. and Neff , R.A., 1976 : A multispectral cloud type identification method developed for tropical ocean areas with Nimbus-5 MRIR measurements , Mon. Wea. Rev., 104 , 284 .
- Shenk , W.E. and Salomonson , V.V., 1972 : A simulation study exploring the effects of sensor spatial resolution on estimation of cloud cover from satellites , J. Appl. Meteorol. , 12 , 214 .
- Shenk , W.E. and Salomonson , V.V., 1971 : A multispectral technique to determine sea surface temperature using Nimbus 2 data , J. Phys. Oceanography , 2 , 157 .
- Smith , W.L., Hayden , C.M., Woolf , H.M., Howell , H.B. and Nagle , F.W., 1978 : Satellite sounding applications to mesoscale meteorology , paper presented at COSPAR symposium , Innsbruck , 1978 .
- Smith , W.L., Nagle , F.W., Hayden , C.M. and Woolf , H.M., 1981 a : Vertical mass and moisture structure from TIROS-N , Bull. Am. Meteorol. Soc., 62 , 383 .
- Smith , W.L., Rao , P.K., Koffler , R. and Curits , W.R., 1970 : The determination of sea surface temperature from satellite high resolution infrared window radiation measurements , Mon. Wea. Rev., 98 , 604 .
- Smith , W.L., Woolf , H.M., Hayden , C.M., Wark , D.Q. and McMillin , L.M., 1979 : The Tiros-N operational vertical sounder , Bull. Am. Meteorol. Soc., 58 , 1177 .
- Smith , W.L., Suomi , V.E., Menzel , W.P., Woolf , H.M., Sromovsky , L.A., Revercomb , H.E., Hayden , C.M., Erickson , D.N. and Mosher , F.R., 1981 b : First sounding results from VAS-D , Bull. Am. Meteorol. Soc., 21 , 1550 .
- Staelin , D.H., 1978 : Atmospheric sounding with passive microwave : Reviews and prognosis , ERIM

- 11th Symposium on Remote Sensing of Environment , Vol 1 , p 401 .
- Staelin , D.H., Kunzi , K.F., Pettyjohn , R.L., Poon , R.L.L., Wilcox , R.W. and Waters , J.W., 1976 : Remote sensing of atmospheric water vapor and liquid water with Nimbus 5 microwave spectrometer , J. Appl. Meteorol. , 15 , 1204 .
- Staelin , D.H., Rosenkranz , P.W., Barath , F.T., Johnson , E.J. and Waters , J.W., 1977 : Microwave spectroscopic imagery of the earth , Science , 197 , 991 .
- Strong , A.E. and Pritchard , J.A., 1980 : Regular monthly mean temperature of earth's oceans and satellites , Bull. Am. Meteorol. Soc., 61 , 553 .
- Tracton , M.S. and McPherson , R.D., 1977 : On the impact of radiometric sounding data upon operational numerical prediction at NMC , Bull. Am. Meteorol. Soc., 58 , 1201 .
- Waters , J.W., Kunzi , K.F., Pettyjohn , R.L., Poon , R.K.L. and Staelin , D.H., 1975 : Remote sensing of atmospheric temperature profiles with the Nimbus 5 microwave spectrometers , J. Atm. Sci., 32 , 1953 .
- Weinreb , M.P., 1977 : Sensitivity of satellite retrievals of temperature to errors in estimates of tropospheric water vapor , J. Appl. Meteorol. , 16 , 605 .
- Wester , E.R. and Grody , N.C., 1979 : An analysis of combined satellite and surface based microwave temperature profile retrieval. I.E.E.E Conference on Space Instrumentation for Atmospheric Observation. Lib. Cong. No. QC879. 4 I 55 , pp57 .
- Wilheit , T. T., 1980, Microwave radiometric determination of oceanographic and meteorological parameters. Space Res., 20 , 15.
- Wilheit , T.T., Chang , A.T.C., Rao , M. S.V., Rodgers, E.B., and Theon, J.S., 1977 , A satellite technique for quantitatively mapping rainfall rates over the oceans. J. Appl. Met., 16 , 551 .
- Wielicki , B.A. and Coakley , J.A. Jr, 1981 Cloud retrieval using infrared sounder data : error analysis , J. Appl. Meteorol., 20 , 157 .
- Wilson , T.A. and Houghton , D.D., 1979 : Mesoscale wind fields for a severe storm situation determined from SMS cloud observations , Mon. Wea. Rev., 107 , 1198 .
- Wylie , D.P., 1980 , An application of geostationary satellite rain estimation technique extratropical area. J. Appl. Met., 18 , 1640 .
- Yates , H. W., 1974 , Limitations and prospects for atmospheric sounding. Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. Vol. 51, p. 1.

表 1 衛星測定海面溫度的成效

† Satellite now inactive, but data are archived  
 ‡ Not corrected for atmospheric effects.

Satellite	Sensor	Measurement error, (°C)			Test condition			Reference	Surf. resol. (km)
		Mean diff.	R.m.s. diff.	S.D.	Test area	Time of year			
GOES† 2†, 3†, 4, 5		-3 to -5			Global	Annual	Baur and Lienesch (1975)	7.5	
SMS 2‡	VISSR	-2 to -4			Global	Winter-Summer	Maul (1979)	7.5	
GMS‡ (Japan) Metcosat 1†, 2 (ESA)			-1.1	2.3	Atlantic	Oct. (2 weeks)	Fusco <i>et al.</i> (1980)	7.5 5	
Nimbus 6†	THIR HIRS	1-6			Global	Annual	Hayden (1978)	8.2-34.9 at 50° 23.8-36.3	
Nimbus 7	THIR SMR							6.7-23.9 at 50° 18-148	
NOAA 5†	VHRR	-1.8 to -3.6			Florida Coast	Feb.	Hsu <i>et al.</i> (1978)	0.9	
	VTPR	-0.3 to 0.31			N. Pacific	Winter	Strong and Pritchard (1980)	55.6	
Tiros-N†, NOAA 6	SR AVHRR							7-19 1-1-4	

圖 1 1981 年 11 月至 1982 年 4 月 MCSST 與漂移浮  
標之海面溫度比較 (摘自 McClain et al.,

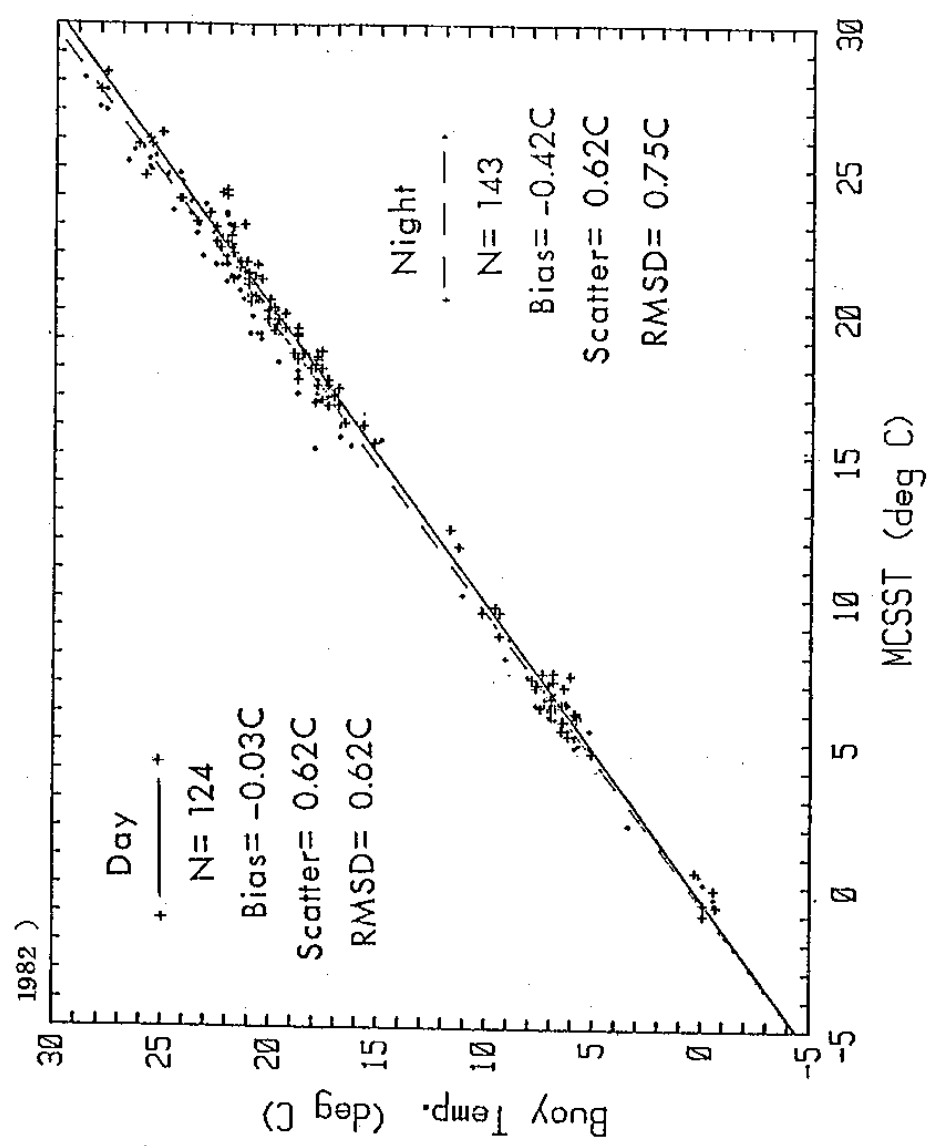


表 2 衛星測定大氣溫度剖面的成效

Satellite	Sensor	Measurement error† (°C)			Test condition			Sounding§ levels	Surf. resol. (km)
		Mean diff.	R.m.s. diff.	S.D.	Test area	Time of year	Reference		
NOAA 4†, 5†	VTPR	-1 to 1.8 -1 to 1.1	2.2 to 4.3	2.1 to 3.7	Midway Is. 18-60°N	Mar. June	Weinreb (1977) Yates (1974)	6	55-6
Nimbus 5†	SCR	1			Wallops Is.	Dec.- May	Barnett <i>et al.</i> (1975)	2	48
	NEMS	-2 to 2 3 to 4 at 200 mb -2 at 500 mb	1 to 4		Antarctic	July- Sep.	Staelin (1978) Asgeirsson (1977)	3	180
Nimbus 6†	HIRS	0.2 -0.1	1 to 2.9	0.4	Caribbean 30-70°N	Aug. Aug.	Scoggins <i>et al.</i> (1981) Schlatter and Branstrom (1979)	9	23.8-36.3
	SCAMS		2 to 2.5 1.8		GARP N. Hemisphere Trop. Pacific	Winter Aug.- Sep.	Greaves (1979) Staelin <i>et al.</i> (1977) Westwater and Grody (1979)	3	145-330
Tiros-N† and NOAA-6	HIRS/2		1.3 to 3.0 1.5 to 2.7		N. America	Mar.- Apr.	Hayden (1978) Smith <i>et al.</i> (1979)	8	17.4-58.5
	MSU	-1.4 to 1.8	1.8 to 3 1.75 to 3.2		Pacific N. America	Apr. Mar.- Apr.	Phillips (1979) Smith <i>et al.</i> (1979)	2	109-323

† Satellite now inactive, but data are archived

表 3 利用微波測定風速的成效

Satellite	Sensor	Measurement error	Test area	Time of year	Reference	Surf. resol. (km)
Seasat†	SASS	Direction: Mean diff. < 10°, S.D. 20°, Mean diff. 18°	Gulf of Alaska	Sept.	Jones <i>et al.</i> (1979)	140
			N. Atlantic (60°N, 12°W)	July- Sept.	Jones <i>et al.</i> (1981)	
	SASS	Speed: Mean diff. 1.5 m/s, S.D. 2 m/s, Mean diff. 1.6 m/s	Gulf of Alaska	Sept.	Jones <i>et al.</i> (1979)	50
			N. Atlantic (60°N, 12°W)	July- Sept.	Jones <i>et al.</i> (1981)	
	SMMR	Mean diff. 1.5 m/s, S.D. 3 m/s	Gulf of Alaska	Sept.	Lipes <i>et al.</i> (1979)	6-144
Nimbus 7	SMMR	R.m.s. diff. 0.9 m/s	Pacific Ocean off N. America	Sept.	Wilheit (1980)	18-148

† Satellite now inactive, data are archived



表4 衛星測定可降水量的成效

Satellite	Sensor	Measurement error (cm)			Test condition		Reference	Surf. resol. (km)
		Mean diff.	R.m.s. diff.	S.D.	Test area	Time of year		
Meteosat 1, 2	VISSR							5 13.9
GOES 4, 5	VAS	TBD						
Nimbus 5†	NEMS+ESMR	±0.15§			Pacific 25°N-125°E	July	Chang and Wilheit (1979)	
Nimbus 6†	NEMS	-0.01 to 0.2					Staelin <i>et al.</i> (1976)	200
	HIRS	-0.03		0.24	Caribbean	Aug.	Scoggins <i>et al.</i> (1981)	23.8-36.3
	SCAMS	0.6		5	Trop. Pacific	Aug.-Sep.	Grody <i>et al.</i> (1980)	145-330
Nimbus 7	15%				40-54°N, 92-98.5°W	Aug.	Liou and Duff (1979)	
	SMMR	0.14		0.4	Global	Aug.	Staelin <i>et al.</i> (1977)	
	THIR						Wilheit (1980)	18-148 20-75
NOAA 6†	HIRS/2	-0.03		0.24	Caribbean	Aug.	Scoggins <i>et al.</i> (1981)	17.4-58.5
Tiros-N								
Seasatt†	SMMR	0.12±0.16			N. Atlantic (60°N, 12°W)	July-Sep.	Born <i>et al.</i> (1979), Taylor <i>et al.</i> (1981)	16-144

† Satellite now inactive, data are archived.

‡ Satellite now inactive, data are held by ESA.

§ NEMS+ESMR (quasi-statistical).

表5 衛星測定降雨量的成效

Satellite	Sensor	Measurement error		Test condition			Surf. resol. (km)
		R.m.s. (%)		Test area	Time of year	Reference	
Nimbus 5† 6†	ESMR	100 at 1-20 mm/hour levels		Florida coast	July	Wilheit and Chang (1977)	25-160
Nimbus 7	SMMR	370		Simulation using Quadra Radar in GATE Phase III		Lovejoy and Austin (1980)	18-148
GOES	VISSR	VIS 150 IR 190		S. Florida (using tropical cloud model, 7-9½ hour av.)		Griffith <i>et al.</i> (1978)	1-8
		VIS 220 IR 170		Montreal (using extra-tropical model, 3-4 hour av.)	June-Sept.	Wylie (1980)	1-8

† Satellite now inactive, data are archived

表 6 衛星溫度探測對 48 小時 500 mb 重力位高度預報  
之影響 (摘自 Ohring, 1979)

Impact of satellite soundings on rms errors of 48 h 500 mb geopotential height forecasts (m).  
(Positive impact represents reduction in rms height error.)

Source	Verification area	Season	Data	Number of forecasts	NOSAT	SAT	Impact
Desmarais <i>et al.</i> (1978)	Eastern N. America	Summer	V + N	10	45.8	47.9	-2.1
	Western N. America				43.5	45.0	-1.5
Halem <i>et al.</i> (1978)	N. America	Winter	V + N	15	65.0	63.7	1.3
	N. America	Winter	V + N	11	77.9	72.8	5.1
Bonner <i>et al.</i> (1976)	N. America	Spring	V	9	63.4	60.6	2.8
Atkins and Jones (1975)	Europe, Atlantic, Canada, NE USA	Spring	V	7	94.0	88.0	6.0
Druyan <i>et al.</i> (1978)	Europe, Mid-East, N. Africa						
	Experimental VTPR	Winter	V	26	70.0	67.0	3.0
	Operational VTPR	Winter	V	13	69.3	67.3	2.0
Kelly (1977)*	Australia	Winter	V	9	49.0	43.6	5.4

V = VTPR soundings, N = Nimbus-6 soundings.  
\* 36 h forecasts.

圖 2 VAS 儀器及無線電探空儀求得之溫度剖面隨時間變化情形 (摘自 Smith *et al.*, 1981 b)

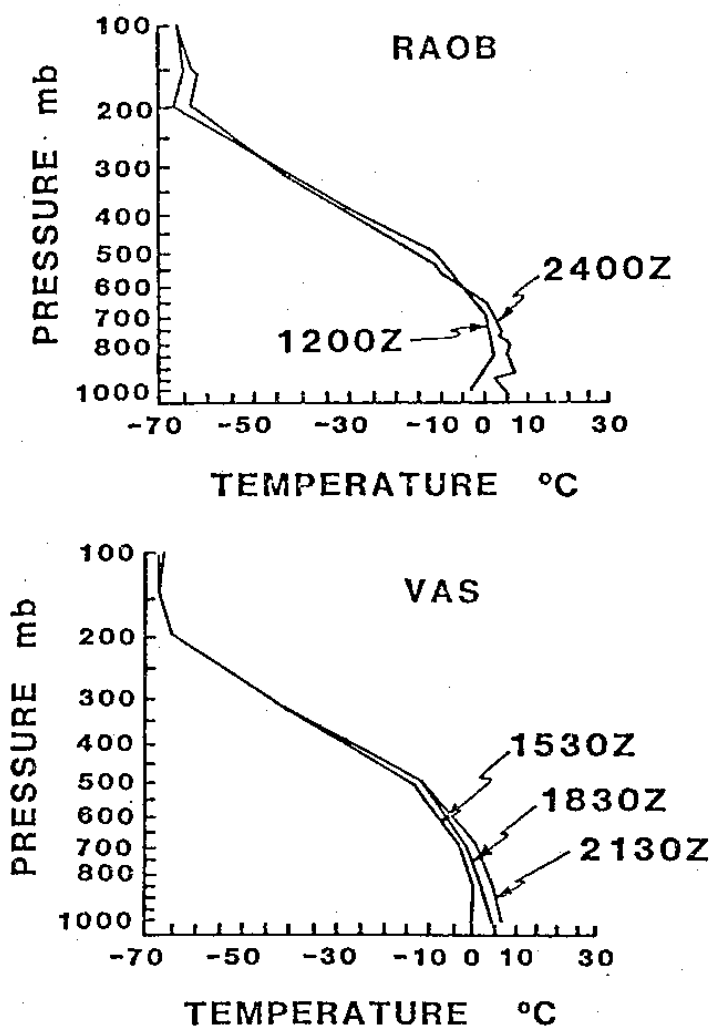


表 7 · 衛星測計的精確度與解析度

Measurement	Instrument type	Accuracy		Surface resolution	
		Now	Potential	Now (km)	Potential (km)
Sea surface temperature	I.R. radiom.	1-2°C	0.5-1°C	0.5	0.25
	$\mu$ w radiom.	1-2°C	1.1-0.5°C	100	< 50
Air-sea temperature difference	I.R. sounder	3°C	1.2°C	40	40
Atmosphere temperature profile	I.R. sounder	2-3°C	1.5°C	17.4-58.5	40-101
	Radar sounder	3°C	2°C	109-323	109-323
Atmosphere surface press	Radar sounder	—	1.5 mb		240 (AMTS)
Wind speed	Scatterometer	2 ms or 10%	2 m/s or 10%	50	40
	$\mu$ w radiom.	3 ms	3 m/s	20	20
Wind direction	Scatterometer	20°	20°	50	30
Water vapour	$\mu$ w radiom.	20%	20%	18-148	18-148
	I.R. radiom.	10-50%	20% overall	30	40 (AMTS)
	Airborne lidar	—	10%		Point
Rainfall	VIS/I.R. radiom.	50%	25%	30	30
	$\mu$ w radiom.	50%	25%	18-148	18-148

