

# 氣象衛星遙測資料在大氣與海洋研究上之應用

劉振榮<sup>1</sup> 郭宗華<sup>2</sup> 劉崇治<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心主任

<sup>2</sup> 國立中央大學太空科學研究所

<sup>3</sup> 國立中央大學大氣物理研究所

## 摘要

自1960第一顆氣象衛星TIROS-1升空後，衛星遙測在大氣與海洋研究的應用日益重要，在過去的三十年，不論是衛星資料本身的精度或是遙測方法的改進均有驚人的突破，時至今日，氣象衛星不只是提供雲圖或簡單的能源收支觀測，而能被應用到許多大氣與海洋參數的推估，其相關研究子題可包括：海面溫度求取、潛熱通量估算、大氣垂直溫濕及臭氧剖線之反演、雲分類、雲量、雲頂溫度及雲頂高度之推求、全球水汽分布、地表風速及降水量之估算等。而對於即時天氣系統(豪大雨與颱風)的監視及預報以及全球能源收支平衡之估算，亦可配合衛星資料作更進一步之研究。另外有關大氣氣溶膠、植被指數、海洋水色也是氣象衛星應用的主題之一，本文之目的即在於對氣象衛星在國內的應用做一介紹。

## 一、簡介

1947年，V2 火箭首次從110到160公里高空拍攝到地球雲圖，當時即有人建議以人造衛星方式來觀測天氣系統，做為天氣系統預報的參考。十年後，第一顆人造衛星史潑尼克一號於1957年升空，之後人造衛星在各方面的應用迅速地被開發出來，特別是在氣象分析應用方面。兩年後，探險家七號衛星進行史上第一個氣象輻射觀測實驗「地球輻射觀測實驗」，該實驗以簡單的黑白球面組件來量測地球的輻射能量。再過一年後，1960年第一顆氣象衛星TIROS-1號即升空進行全球性觀測任務。TIROS攜帶有光導攝影機和紅外輻射計，可提供白天雲圖及日夜的雲頂溫度、雲量、表面溫度、平流層溫度及對流層上層水汽含量。TIROS所提供的資料成功地展示人造衛星在天氣觀測上的應用能力，隨後升空的氣象衛星數量即迅速地增加，而後在1975年美國發射的地球同步衛星GOES-1及1978年發射的繞極衛星TIROS-N(此系列後來改稱NOAA系列)是第一顆升空的作業性地球同步氣象衛星與繞極氣象衛星(曾，1988；陳等，1989；Krishna et al., 1990)。

最早期的氣象衛星發展是以繞極軌道衛星為主，以距地表高度800~900公里觀測地球，第一顆地球同步氣象衛星ATS系列衛星則在1966年升空，高度為36000公里，攜帶有自旋掃描雲系攝影機以拍攝地球全景雲圖，而後GOES、METEOSAT、GMS與INSAT等不同國家或地區的地球同步氣象衛星陸續於1975年到1982年間升空運作。

隨著氣象衛星儀器與方法的精進，氣象衛星遙測在整體天氣觀測與預報工作扮演著一個相當重要且不可或缺的角色。相較於傳統的天氣觀測網，氣象衛星可提供無論在時間或空間解析度都較優越的觀測資料，甚至較傳統資料更多大氣與海洋參數觀測項目，就氣象衛星之應用潛力而言，值得天氣分析人員進一步地了解氣象衛星遙測技術的能力。

## 二、頻道選擇

簡而言之，遙測就是對目標物不做接觸而能量測得所需的物理量。而氣象衛星遙測就是應用氣象衛星所觀測到地球大氣系統在不同頻道的輻射值來推估大氣與海洋參數。根據輻射定律，任何物體

只要溫度高於絕對零度就會發射出不同頻率輻射能，而透過輻射傳送方程，不同頻率的輻射能與大氣間不同空氣分子的交互作用可以被模式化，再透過衛星感測器波段的選擇，即可將所需的大氣參數反演而得，其應用頻道與觀測參數的關係可大致區分如下：(1)可見光：拍攝白天雲圖、估算雲量、雲光學厚度、雲分類(與紅外線合用)、大氣氣溶膠含量、地面植被分類等。(2)紅外線：拍攝日夜全天候雲圖、估算海面溫度、雲頂溫度、雲量、雲分類(與可見光合用)、大氣垂直溫度分布、大氣水汽垂直分布、雲導風場、臭氧含量分布、地球長波輻射等。(3)微波：估算海面溫度、大氣垂直溫度分布、水汽總含量、大氣水汽垂直分布、海面風速、降雨量、積雪、海冰(冰山)分布、颱風強度、暴風半徑等。

### 三、主要氣象衛星資料

目前在台灣相關研究課題上，應用於大氣與海洋分析作業上的氣象衛星資料，主要是美國海洋與大氣總署的NOAA繞極軌道衛星及日本的GMS地球同步衛星資料，此兩種衛星都可提供可見光及紅外線影像資料，另NOAA衛星可提供微波資料。NOAA衛星每天通過同一地點附近上空兩次(白天，晚上各一次)。目前美國至少維持兩顆繞極軌道氣象衛星作業，故每隔6小時可觀測地球同一地點一次，目前運轉的全球性作業繞極軌道衛星為NOAA-12、NOAA-14和NOAA-15。NOAA的主要任務為拍攝雲圖，估算海溫，反演大氣垂直濕度剖面，估算臭氧總含量，監測太陽常數和地球輻射收支，以及各種自動觀測資料之匯集轉發。

目前台灣地區所接收的地球同步衛星是日本的GMS-5衛星，其主要任務為拍攝雲圖，估算海溫，推算水汽含量，計算雲導風場，以及各種自動觀測資料之匯集轉發。

除了前述二種衛星資料外，在大氣與海洋分析上，美國國防衛星資料SSM/I(Special Sensor Microwave/Imager)資料也是常被使用的資料之一，因SSM/I是微波資料，可穿透雲層，較可見光及紅外線資料更能掌握雲下資訊，且可以用來量測大氣溫度、濕度、液態水含量、降雨量、地表溫度及土壤含水量等多項參數，也成為常被應用於海氣分析上的一種重要資料。由於SSM/I資料的成功先

例，新近升空的TRMM衛星也搭載了類似於SSM/I頻率的TMI感測器以提供微波資料做為海面降雨估算之用。而於1999年初升空的中華衛星一號所搭載的海洋水色儀雖不是專為氣象觀測目的所設計，但其資料可用來反演海洋水色、離水面輻射量、大氣氣溶膠含量等參數，故也是大氣海洋分析上的一個新進資料種類。

過去幾十年來，氣象衛星計畫從提供定性的雲圖進步到提供氣溫、水汽、風場的精密觀測結果。大致而言，繞極衛星每隔12小時可以通過某一定地點附近一次，觀測海面溫度、氣溫及水汽垂直分布以及其它如臭氧等稀有氣體，以作為全球數值天氣預報與分析之用；地球同步衛星則可對地表大約四分之一面積進行連續觀測，其主要任務為監測快速發展的風暴，如局地劇烈風暴和颱風等，並且追蹤雲的移動以便估計風速，新一代的地球同步衛星也具有探測氣溫和水汽垂直分布的能力。

### 四、氣象衛星資料在大氣分析之應用

氣象衛星所遙測的大氣與海洋資料可以明顯地提昇輔助傳統天氣分析的能力，衛星遙測資料不只增加了氣象資料的內容和範圍，衛星本身也可以做為收集和轉送各種氣象資料的中心，特別是增進了對海上強風和暴雨系統的監控能力及全球能量收支平衡的量測能力，這些優點相當地有益於對惡劣天氣的即時預報能力與改進長期天氣預報能力。氣象衛星在大氣海洋分析上在國內的應用主要可簡述如下重點：

#### (一) 海面溫度之遙測

氣象學家很早以前就已經發現海氣之間的交互影響關係及海面溫度對天氣系統有舉足輕重的影響，因此海面溫度觀測長久以來即是氣象觀測的一個重點工作之一。傳統觀測方法是由航行的船隻測量，或以浮標和紅外溫度計測定海溫。嚴格說來，以此類方式量測的海溫不但空間涵蓋範圍不夠，且空間與時間的解析度也不夠，而且這種以人工或儀器平台量測海溫的方式在人力物力上均較不適合做為長期且大區域觀測之用。隨著衛星遙測方法的引進使得全球海面溫度例行作業觀測成為可能，氣象衛星本身不只可提供海溫資訊，且地球同步衛星還可以接收與匯集浮標觀測到的數據。

根據紅外線輻射傳送方程，物體所發射出的紅外輻射強度與其溫度有關，因此，若無雲與大氣的削弱，且水體在紅外線波段可視其發射率為1的黑體，則衛星輻射計所觀測到的亮度溫度就是海面溫度。但事實上在真實大氣中水汽的吸收和雲的影響總是存在，因此必須以特別的方法除去大氣的效應，經過大氣訂正後才能獲得更精確的海面溫度。

因此在海面溫度的反演過程中，如何精確地濾除觀測範圍內雲的影響、定出晴空溫度值、並訂正大氣微量氣體的吸收作用是獲得精確海溫的必需工作(Liu and Kuo, 1994)，隨著過去數十年的遙測技術改進，這些工作都已得到相當成熟的方法(圖1)。由於紅外線資料無法得到雲下海面溫度，因此微波資料(如SSM/I)的應用越來越受重視，特別是在雲區的遙測應用，成為是另一種海溫反演的選擇。

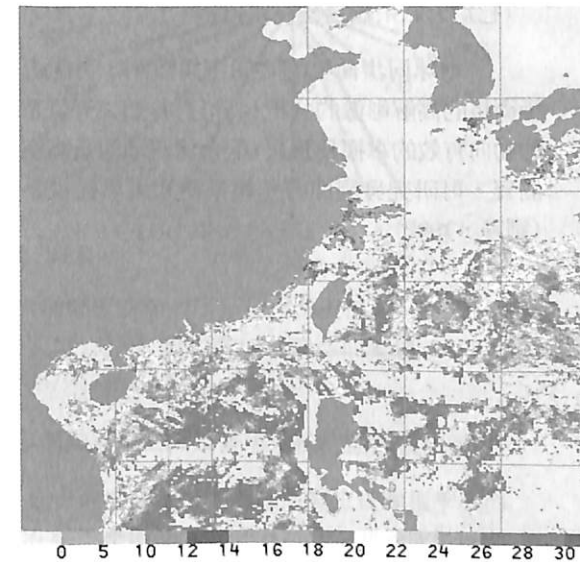


圖1 利用GMS紅外光資料所估計出的海面溫度(01Z 31 Mar, 1998)，其中無資料區為雲覆蓋區域。

#### (二) 大氣垂直濕度剖面之遙測

基本上若適當地選擇相關頻道(波長)，衛星觀測到的輻射強度直接和大氣的垂直濕度結構有關，因此，其垂直濕度剖面可以由輻射強度反推而得。也就是說，衛星觀測到的輻射強度資料中含有大氣溫度與吸收氣體垂直分布的資訊，並與頻道選擇密切相關，這種相關性的原因在於黑體輻射強度

隨波長而不同且氣體的吸收作用也強烈地跟波長相關。因此如果頻道範圍是選擇位於吸收帶中心，則氣體的吸收特別強，則來自大氣層下層的輻射幾乎完全被上層的大氣吸收掉，衛星所量測到射出輻射就幾乎全是來自最上層大氣的貢獻；相反的，如果使用的頻道內大氣非常接近於透明(吸收帶的翼區或窗區)，則射出輻射主要來自低層大氣或地表。因此選取一組合適的吸收特性不同的頻道來進行觀測，就可間接求出濕度垂直剖面(圖2)(劉，1990；Liu et al., 1988)。

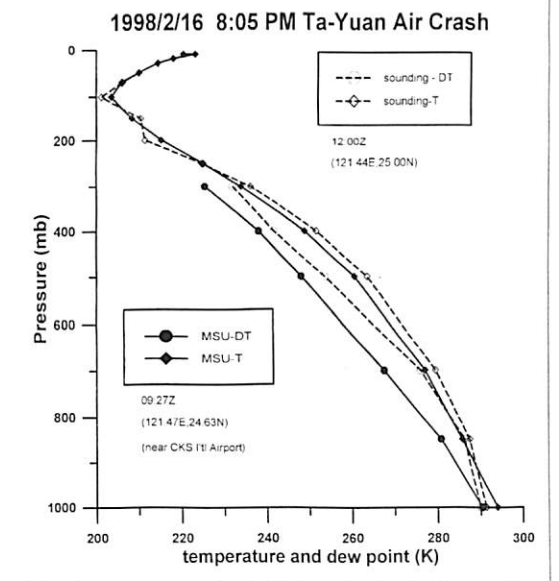


圖2 大氣濕度剖面反演之一例，時間為1998年華航大園空難當晚。

#### (三) 雲參數之遙測

簡單地說，雲系的消長即表示天氣系統的變化，因此衛星雲圖本身就是一個相當有用且直接的天氣分析資料。衛星雲圖除了可直接做為天氣分析與預報參考之外，衛星資料所導出的雲參數可在下列幾方面特別有用：(1)由於雲與輻射間有強烈的相互作用，因此可由雲系分佈與消長來了解氣候系統輻射的變化，另外雲參數也可以用來驗證氣候模式。(2)雲參數可做為數值預報模式、環流模式以及氣候模式中雲參數化的輸入之用，以增進其模式精確度。(3)雲參數可用來推估降水區域與估計雨量。(4)對紅外線海面溫度與溫度垂直剖面遙測來說，雲的存在是一種雜訊，此時雲參數可用來做

為除去雲影響的參考。

一般而言，雲參數的求取可利用紅外線資料配合可見光來判定雲區位置、高度、範圍。主要求取方法有直方圖法、空間相干法及改良式二閾值法。

(四) 應用氣象衛星資料估算大氣臭氧含量剖面分布

臭氧主要分佈於高度10到30公里的平流層，臭氧含量多寡對入射到地面的太陽紫外線強度有決定性的影響，對人類健康有非常重要的關係，因此臭氧含量的反演是一個相當重要的氣象工作。另外臭氧含量也在地球輻射收支平衡過程扮演一個相當重要的角色。利用9.6微米臭氧吸收帶波段的高分辨率紅外輻射探測器可用來偵測臭氧的總含量與垂直分佈。目前因受限儀器頻道數的限制與臭氧分佈的特性，臭氧反演的精度還有很大的改善空間。

(五) SSM/I的應用

經特別地挑選，SSM/I的微波波段組合可用來作全球洋面水汽分布、風速及降水量之估算。由

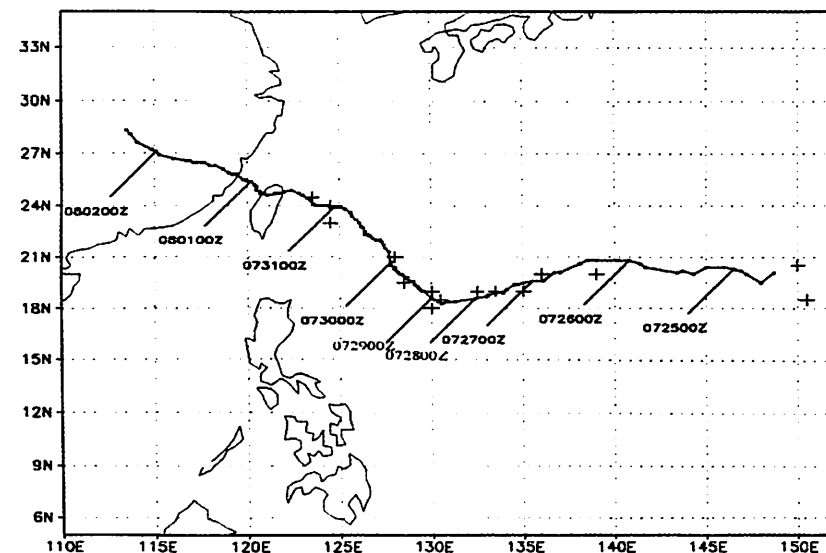


圖3 利用NOAA MSU資料所推估的颱風路徑圖，個案為賀伯颱風(+符號為MSU資料推估路徑；實線為best track)。

於受雲層影響極小，因此SSM/I是雲區氣象監控的一個利器，另外SSM/I所能反演的參數組合，也極適合用來做為海氣能量交換的分析之用及颱風強度及發展監控之用。

(六) 全球能量(太陽短波與地球長波)收支平衡之估算

影響地球輻射收支的三個主要成分是太陽常數、大氣層頂處的行星反照率和外射長波輻射通量密度。目前太陽同步衛星TIROS-N系列、地球同步衛星以及地球輻射收支計畫(包括ERBE與NOAA衛星)皆可用來進行地球大氣輻射收支遙測，地表和大氣系統之能量收支情形，對於長期氣候預測之研究有很大的幫助。長期的觀測資料將更深入地瞭解地球大氣輻射收支的趨勢，更利於天氣型態之研究。

(七) 天氣系統之監視和預報

地球同步衛星的時間密集監測，再配合繞極衛星的高解影像的分析，將可對各類之天氣系統的動向有效的掌握及預報，配合傳統地面及高空觀測資，可研究發展即時預報系統和天氣監視系統(劉等，1992)。

(八) 颱風動態監控及預測

在台灣地區，颱風的動態及變化是大氣研究的主要課題之一，利用衛星遙測技術可以更精確地提早掌握颱風的動態及其強度，特別當颱風在海洋上尚未侵襲陸地時，衛星觀測可以比雷達等傳統方法更早了解颱風的動態，目前的技術已經可以利用衛星微波資料來做颱風中心(位置)的定位、颱風路徑的追蹤、颱風強度、降雨量、及其最大風速的估算(圖3-4)(楊，1999)。

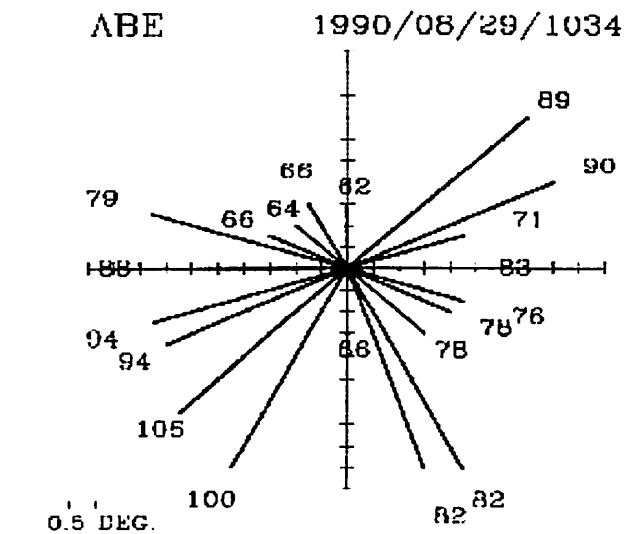


圖4 由梯度風關係式所預估之最大風速(nts)及強風半徑(度)分布，個案為1990年亞伯颱風，時間為1990/08/29 10:34。

(九) 潛熱通量估算及豪雨系統的監控及預測

在台灣地區，豪大雨通常發生在颱風季與梅雨季，在梅雨季所產生的豪雨系統主要形成於兩個區域，一是形成於大陸華中華南地區，再向台灣地區移動，另一種情況是形成於海南島及南海北部區域，再向台灣移近形成對流區，這些豪雨系統常常在台灣地區形成嚴重的災害，透過衛星的觀測，我們可以了解這些豪雨系統演化的情形，提早知道豪雨的可能性。我們可以利用衛星資料來推估海面溫度、氣溫、風速及水汽分佈，進而推估海氣的潛熱交互作用，而分析這種海氣交互作用就能進一步地預估豪雨的形成與演化。

(十) 氣溶膠的估算

不同頻道的衛星資料對大氣的輻射作用反應不同，應用此特性，氣象衛星資料也可以用來估算大氣的透射率，間接地反演出大氣的懸浮粒子含量多寡，此即為氣溶膠。氣溶膠的多寡可視為空氣品質的指標，此方面相當有助於環境保護的應用，所反演的大氣氣溶膠等參數也可用來做為空氣污染指標及輻射收支平衡分析。

(十一) 海洋水色資料的應用

一些多頻道衛星資料，特別是可見光及近紅外線頻道可用來求取海洋水色參數，做為海洋水體懸浮粒子、葉綠素含量、甚至海洋生物量的研判參考。研究顯示葉綠素含量的多寡也是全球變遷環節中的一個重要影響因子，海洋水色的監控有其在大氣海洋研究上的重要性。

(十二) 大氣水汽含量之遙測

水汽含量是氣象分析中的一個非常重要的參數之一，其可以影響降雨的機率，也是能量交換中的一個決定因子，特別是對惡劣天氣系統(颱風、豪雨等)的預報更需要能有效量測大氣水汽含量值。大氣中之水汽對某些輻射頻道具強烈之吸收，可據此特性遙測得水汽之含量(王與劉，1998；Huang et al., 1992)。

(十三) 風速之遙測

利用地球同步衛星紅外線頻道影像，計算其在相隔一或半小時內之移動距離和方向即可估算得高空風場(雲導風)。而利用微波在不同海面狀況(風大浪大，風小浪小)具有不同之發射率(或不同之水平或垂直極化)現象，亦可推求得海面上之風速(劉等，1995)。

(十四) 降雨量之遙測

雨滴會對微波造成能量之散射，雨量則雨滴大，對微波頻道造成之極化現象亦不同，由此即可推求得降雨量，目前如SSM/I或TRMM所裝載的TM1儀器均是特別為遙測降雨設計的微波儀器。

(十五) 全球植被指數之遙測

植被指數代表植物之生長情形，可以準確分析乾旱或饑荒發生地區，及早提出因應之道，以減少災難之發生，而氣象衛星資料可提供植被指數之

估算，另外植被指數的高低會影響地表的輻射特性，因此植被指數的估算結果也可以用來做為精確的區域天氣數值預報模式輸入之用。

## 五、結語

應用氣象衛星資料有諸多優點，尤其在空間和時效上為其它傳統方法所不及。雖然衛星資料與傳統觀測上仍有特性上的不同，例如傳統觀測為點狀量測，而衛星資料為塊或面狀平均。不過若能相互取其優點，去其缺點，融合不同特性的觀測資料，將可對相關的研究或作業應用提供極具價值的幫助。隨著研究之進展，如能善加利用，氣象衛星已成為氣象界之利器，且有不可取代之趨勢。許多先進國家由於在衛星科技發展上均以氣象衛星為重點項目之一，不僅造福民生，如防颱、防洪、漁汛、飛航安全等監測，並可作為其它用途衛星的研究基礎。因此，氣象衛星之研究發展，實為國內未來應更積極投入並提升應用能力的重點項目。

## 參考文獻

- 曾忠一，1988：大氣衛星遙測學。渤海堂，台灣台北。
- 陳渭民，夏浣清和陳光宇，1989：衛星氣象學。環球科技印刷，北京。
- 劉振榮，1990：台灣區衛星遙測大氣垂直剖面反演方法之研究。大氣科學，Vol. 18, No. 1, 1-19.
- 劉振榮，呂貴寶，徐天佑，1992：應用同步衛星資料估算台灣地區對流降雨。大氣科學，Vol. 20, No. 3, 233-265.
- 楊舒芝，1999：利用NOAA 衛星MSU微波資料估算颱風強度。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，台灣中壢。
- 劉振榮，徐健瑤，林唐煌，1995：利用同步衛星資料估算東亞地區之風場，Vol. 23, No. 2, 265-286.
- 王光華，劉振榮，1998：應用氣象衛星資料估計台灣附近地區降雨之研究。航測及遙測學刊，第三卷，第三期，39-66.
- Huang, H. J., G. R. Liu and T. H. Lin. 1992: Western Pacific Moisture Analysis as Observed from DMSP SSM/I Measurements, TAO, Vol. 3, 233-265.
- Liu, G. R., and T. H. Kuo, 1994: Improved atmospheric correction process in monitoring SST around the outfall of nuclear power plant. Int. J. Remo. Sens., Vol. 15, No. 13, 2627-2636.
- Liu, Gin-Rong, W. L. Smith and T. H. Achtor, 1988: The use of VISSR data in VAS temperature sounding. J. Appl. Meteo., Vol. 27, No. 12, 1309-1321.
- P. Krishna, Rao Susan, J. Holmes, Ralph K. Anderson, Jay S. Winston and Paul E. Lehr, 1990: Weather Satellites: System, Data, and Environmental Application. American Meteorological Society, Boston.