

衛星遙測在海象應用之評介

劉安國

美國太空總署哥達太空飛行中心

摘要

人造衛星有能力測量海洋因素對氣候的影響，以及其他用途有如漁場、航運、海防以及污染處理。各種遙測儀器可以測量海面風速、海浪波譜、海面溫度、水色、洋流與海冰密度。人造衛星時代的來臨，使區域性和大尺度的海洋資源的演變都可以一目瞭然。

人造衛星所用遙感計可分兩類；被動的和主動的。被動的遙感計接收自然從海面輻射的強度。被動遙感計掃描人造衛星下的海面大約數百公里寬度。衛星影像可用來分析水面特性，如水溫（用高密度紅外線輻射計，AVHRR），水色（用海岸水色計，CZCS），海冰（用輻射計，Radiometer）。主動的遙感計送出微波信號，並測量從海面反射回來的信號強度。由反射回來信號的時差及特性，可以分析出海面的資料，例如海面風速（用散射計，Scatterometer）、海浪（用合成孔徑雷達，SAR）以及洋流（用高度計，Altimeter）。微波遙感計可以穿透雲層，所以對日夜全天候應用十分重要。

一、前言

台灣四面環海，海洋資源豐富，中央氣象局海象中心的成立可以說明海洋觀測和預報的重要性。人造衛星以海洋氣象應用方面的太空計劃在1990年代不勝枚舉，例如SPOT-2（法國）、MOS-1B（日本）、ERS-1，ERS-2（歐洲）、JERS-1（日本）、TOPEX（美國）、SeaWiFS（美國）、RADARSAT（加拿大）、ADEOS（日本）、EOS（美國）等。

中華民國在海洋遙測應用方面，主要開始於利用人造衛星資料從Landsat和SPOT對海岸環境測試、熱/污水監視、以及海浪、水溫的分析。台灣省水產研究所（TFRI）利用NOAA人造衛星紅外線輻射計影像資料得到水面溫度變化用於追蹤漁群。水面溫度變化也用於研究黑潮（Kuroshio）的走向與變化（尤其在台灣東北角海面）。由於雲層的影響，水面溫度資料用於台灣東部海面十分有限。

中央大學已完成地面接收站，並正式開始接

收 Landsat，SPOT，以及 ERS-1 合成孔徑雷達（SAR）資料。美國寬視野水色掃描儀（SeaWiFS）將於1994年夏季升空，其水色資料也將由台大、基隆水產所等地接收。國科會太空計劃室也將於1997年放射第一顆科學衛星（ROCSAT-1），上面將載有水色影像計（Ocean Color Imager）（參閱劉作騰論文，Liu, 1993）。

人造衛星以及地面接收站的來臨，使台灣區域性的海象資料可以即時應用於海洋測量和預報。人造衛星所得水面溫度和海浪資料配合海面測量資料，可以輸入區域性數值模式（Numerical Model）做海象預報之用。

二、海象與遙測儀器

海洋物理變數和海象能夠由人造衛星遙測儀器計量測出來的有用資料可以總結如圖1。對各種海象，在此簡單地介紹主要的遙測儀器及所需海面資料。

(一)水流

大尺度洋流造成的水面壓力，可以使大尺度

海水面高度 (Topography) 起變化。海面高度變化由數十公里到整個海洋盆地。這些海面高度可由人造衛星上的高度計 (Altimeter) 來測量。由高度計雷達信號送出與海面反射回來的時差，可以算出海面高度，再反算出水流速度。水流亦可由高密輻射計 (AVHRR) 測量出來。由兩張隔天所得的高密度輻射計影像上，海面的中尺度特徵 (例如渦流、鋒面) 在短時間的移動，可以計量出水流對流的速度。

(二) 海浪

大尺度海浪高度可由高度計 (Altimeter) 來測量，但無法知道海浪的波長和傳達方向。海浪波譜可由合成孔徑雷達 (SAR) 來分析，由於高密度 (25m Resolution)，非常適用於區域性應用。合成孔徑雷達的海象應用將由第四章仔細討論。

(三) 風場

散射計 (Scatterometer) 是專門設計用來測量風場的遙測儀器。由海面信號反射強度可測量風場 (風速及方向)，因為海面風浪 (數公分波長) 是由當地局部的風場所決定。另外輻射計 (Radiometer) 和高度計 (Altimeter) 亦可用來測量風速但 (但無法測風向)。

(四) 海冰

大尺度海冰及冰河變化可由高度計 (Altimeter) 來測量。可見波長、紅外線和微波輻射計 (Radiometer) 在無雲層狀況下，可用來觀測海冰，並得到海冰表面溫度和海冰密度。海冰種類和海冰密度亦可由合成孔徑雷達 (SAR) 來分析。

(五) 水色與海面溫度

將由下章分段仔細討論。

三、水色與海面溫度

水色 (Pigment) 可由海岸水色掃瞄儀 (CZCS) 來測量，但需要地面資料來補助 (Park et al., 1991)。圖2顯示由海岸水色計從美國 NIMBUS-7 號人造衛星於1981年10月8日收到的台灣附近水色影像。從影像上可以看到台灣，黑潮邊緣 (在台灣東北角) 和黑潮入侵到台灣海峽。黑潮經巴士海峽進入南中國海以及流入台灣海峽的海象一直尚未斷論。但是由此影像可看出黑潮似乎進到台灣海峽南半邊。在台灣海峽北部，由水色密度顯示黑潮消失。高密度水色由中國大陸東南方沿海向南再向東展出，十分醒目 (Elrod, 1990)。

海面溫度 (SST) 可由高密度輻射計 (AVHRR) 來

海 象

遙 測 儀 器

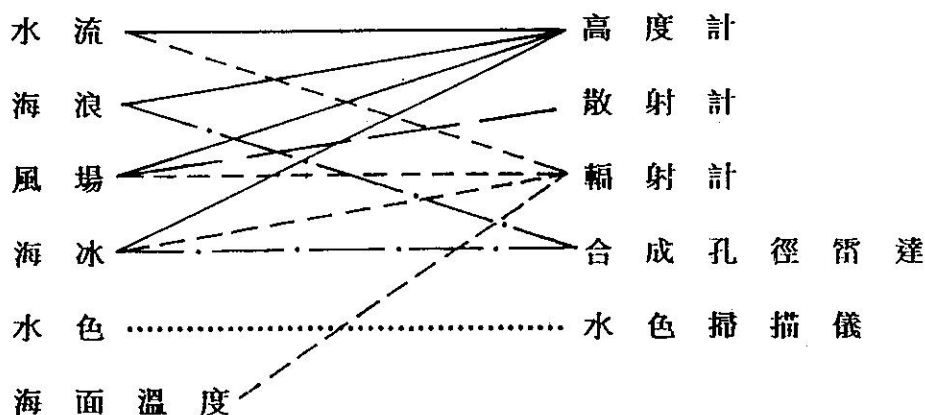


圖 1. 各種遙測儀器對海象的應用。

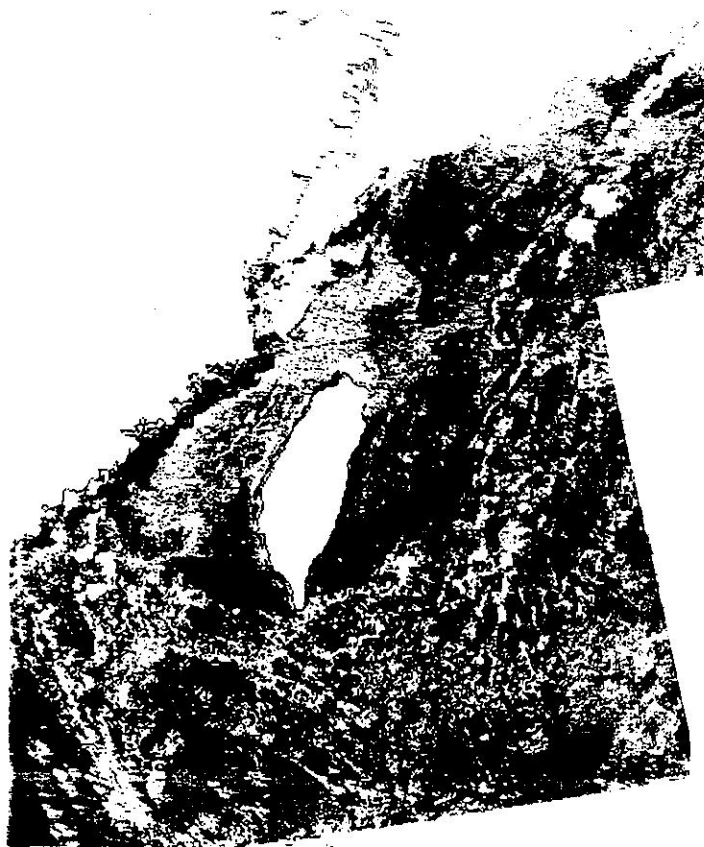


圖 2. 海岸水色計(czcs)所顯示台灣附近水色(Pigment)1981年10月8日。



圖 3. 高密度輻射計(AVHRR)所顯示台灣附近海面溫度(SST)1981年10月8日。

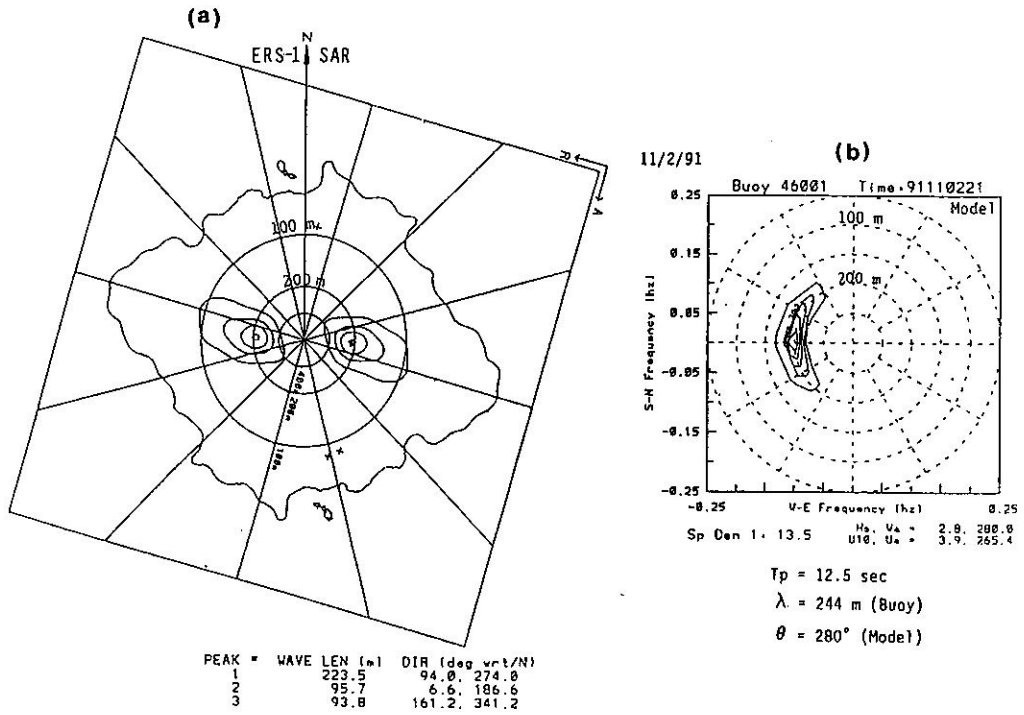


圖 4. 歐洲ERS-1合成孔徑雷達譜(SAR)、浮標(Buoy)和數值模式(Numerical Model)所得海浪譜(Wave Spectrum)的比較，1991年11月2日。

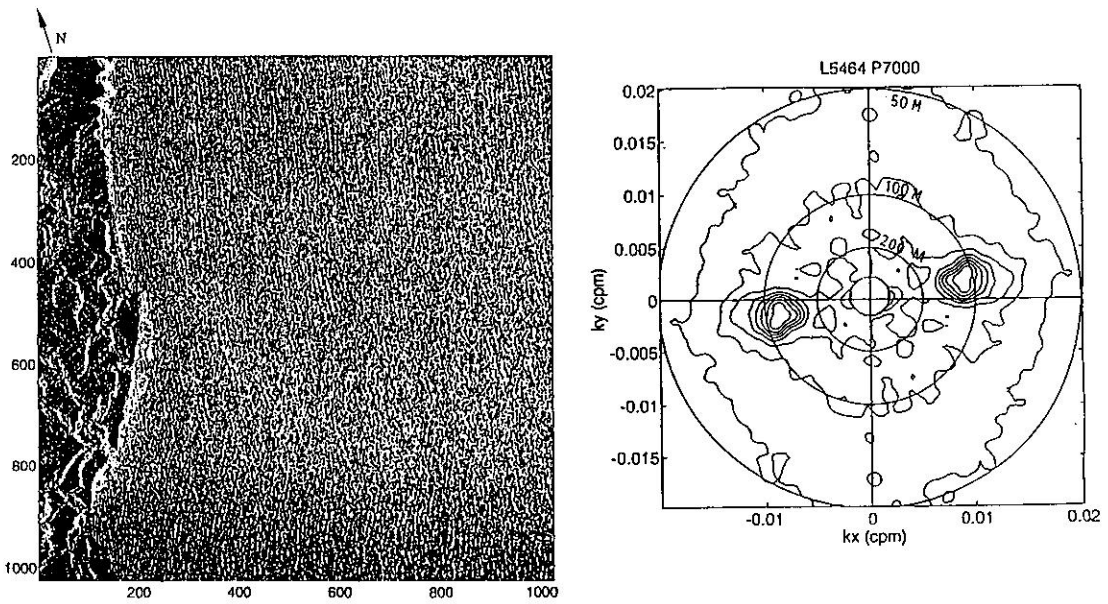


圖 5. 歐洲ERS-1合成孔徑雷達(SAR)，在花蓮附近所收圖像及分析出來的海浪譜，1992年10月21日。

測量。圖3顯示高密度輻射計從美國 NOAA-7 號人造衛星收到在台灣附近海面溫度影像（於同一日如圖2）。在海面溫度影像，較高溫的黑潮在較黑的區域中顯出來。從此影像也可以看到台灣東北角的黑潮邊緣，和黑潮入侵到台灣海峽南半邊。如果與圖2水色影像比較，中國大陸東南方沿海的高密度水色區正好與海面溫度影像中（圖3）的冷水區（較白的區域）相吻合。從這兩張影像圖片可以看出，黑潮的邊緣並不平靜，而是有許多突出變化，湧升流，渦流，並和海架環流交互作用（Elrod, 1990）。

四、合成孔徑雷達的海象應用

合成孔徑雷達（SAR）所收集到的海面圖像可以用來觀測海浪、風場信號、海洋鋒面以及渦流等現象（Fu and Holt, 1982；Hasselmann. et al., 1985; Liu and Peng, 1993）。中尺度的鋒面、渦流，對漁場有很大的影響。由於沿岸地區多受雲層干擾，所以用合成孔徑雷達來追蹤偵查漁場受洋流變化的影響非常有效（Schumacher et al., 1991）。海浪對海洋和海冰的交互作用十分重要（Liu et al., 1991）。而合成孔徑雷達的高密度（25m Resolution）最適合用於海浪的測量。

圖4a是用歐洲 ERS-1 合成孔徑雷達（SAR）資料在美國阿拉斯加灣所測出的海浪波譜（Wave Spectrum）（1991年11月2日）。從此波譜可見主波長223.5m，向 274° 方向（從北方）方向傳播。為了瞭解合成孔徑雷達的可靠性，浮標（Buoy）和數值模式（Numerical Model/WAM）的結果（由陳炫杉手稿提供）可用來比較如圖4b。浮標和數值模式所得海浪波譜顯示主波長244M，向280° 方向傳播。可見合成孔徑雷達波譜可用於主波觀測，但是波高需要一定點浮標資料來定值，則全區域的海浪資料（主波長、波高、方向）都可以使用了。

圖5是用歐洲 ERS-1 合成孔徑雷達（SAR）在花蓮附近所收圖像及分析出來的海浪波譜（1992年10月21日）。主波由東方傳來，波長大約 111m，與花蓮港附近浮標所測波長 114m 十分接近（由梁乃匡教授手稿提供）。浮標所測波高約 2.15m

。由於合成孔徑雷達經過台灣上空時間有限（最多三天一次），所以必須推展海浪預報數值模式。合成孔徑雷達（大面積）和浮標（長時間）資料可用於數值模式的初始輸入資料，並且比較、引導數值模式的長期預報結果。

五、結 論

結論摘要如下幾點：

1. 中央大學人造衛星地面接收站在1993年開始收到 LANDSAT、SPOT及 ERS-1 合成孔徑雷達（SAR）資料。
2. 合成孔徑雷達資料可用來觀測海浪及環境污染。
3. 高密度輻射計（AVHRR）可用來觀測海面溫度變化。
4. 中央氣象局海象中心於1993年成立，並推展海浪預報數值模式。
5. 美國寬視野水色掃描儀（SeaWiFS）將於1994年升空，可用來觀測水色及漁場。
6. 國科會太空計劃室將於1997年放射載有水色掃描儀的科學衛星。
7. 學術界和工業界應多參與國際人造衛星太空計劃。

衛星太空計劃所需經費浩大，所需人才頗眾。所以必需要政府及工業界的長期支持及委任（Commitment）。太空遙測的發展及應用可以提高國家科技水平和培養國內科技人才，也是一項有遠見的最佳投資。

六、參考文獻

- Elrod, J., 1990, "A Survey of Remote Sensed Data of the Coastal Waters off Eastern China and Japan", Marginal Seas and the Kuroshio: An Assessment of Mutual Impact, Y. Hsueh, Editor, Report of Florida State Univ.
- Fu, L.-L. and Holt, B., 1982, "Seasat View Oceans and Sea Ice with Synthetic Aperture Radar", JPL Publication 81-120, Pasadena, CA, 200pp.
- Hasselmann, K., Raney, R. K., Plant, W. J., Alpers, W., Shuchman, R. A., Lyzenga, D. R., Rufenach,

- C. L. and Tucker, M. J., 1985, "Theory of Synthetic Aperture Radar Ocean Imaging: a MARSEN view", *J. Geophys. Res.*, 90, 4659-4686.
- Liu, A. K., B. Holt and Vachon, P. W., 1991, "Wave Propagation in the Marginal Ice Zone: Model Predictions and Comparisons with Buoy and SAR data", *J. Geophys. Res.*, 96, 4605-4621.
- Liu, A. K., P. W. Vachon and Peng, C. Y., 1991, "Observation of Wave Refraction at an Ice Edge by SAR", *J. Geophys. Res.*, 96, 4803-4808.
- Liu, A. K., and C. Y. Peng, 1993, "Synthetic Aperture Radar for Ocean Applications", *Proceedings of Symposium on Remote Sensing in Environmental Research and Global Change, Environment 93, 167-172*, M. Fang and A. Liu, Editors, Commercial Press.
- Liu, C.-T., 1993, "Remote Sensing in Oceanographic Research in TAIWAN", *Proceedings of Symposium on Remote Sensing in Environmental Research and Global Change, Environment 93, 167-172*, M. Fang and A. Liu, Editors, Commercial Press.
- Park P. K., J. A. Elrod, and Kester, D. R., 1991, "Applications of Satellite Remote Sensing to Marine Pollution Studies", *Chemistry and Ecology, 5, 57-73*.
- Schumacher, J. D., W. E. Barber, B. Holt and Liu, A. K., 1991, "Satellite Observations of Mesoscale Features in Lower Cook Inlet and Shelikof Strait, Gulf of Alaska", *NOAA Technical Report ERL-445-PMEL 40, 18pp*.

SATELLITE REMOTE SENSING FOR OCEAN APPLICATIONS

Antony K. Liu

NASA/Goddard Space Flight Center

ABSTRACT

Satellites have demonstrated a remarkable ability to measure ocean variables critical to climate as well as other national concerns including fisheries, transportation, defense, and waste disposal. Different types of sensors can measure: sea surface wind, ocean wave spectrum, sea surface temperature, ocean color, ocean topography/current, and sea ice concentrations. With the advent of satellite, the synoptic data on ocean properties and processes at regional and larger scales can be obtained. Satellite instruments can be divided into two categories of sensors: passive and active. Passive sensors record the intensity of natural radiation either emitted or reflected from the surface of the ocean. They generally scan the surface to observe an area beneath the satellite some hundreds of kilometers wide. The images obtained are used to infer surface characteristics such as temperature (AVHRR), color (CZCS), and the presence of ice (radiometer). Active sensors transmit pulse of microwave energy and then measure properties of their reflections from the ocean surface. The time delay and the characteristics of the returned pulse are used to provide information about the ocean surface such as winds (scatterometer), waves (SAR), and topography/currents (altimeter). Microwave sensors are able to penetrate clouds and thus have the important capability to operate night and day under all-weather conditions.