

# 岸基型海流遙測雷達技術簡介

楊穎堅<sup>1</sup> 盧鴻復<sup>2</sup>  
海軍軍官學校<sup>1</sup> 台灣師範大學<sup>2</sup>

## 摘要

爲了瞭解海洋的運動，許多的觀測方法被發明出來。肇基於海上探測的海洋研究工作有著許多廣爲人知的困難。尤以不良的天氣、海況條件影響爲最；而支援海上探測工作所需投入的大量人力、物力則居次。此外，探測資料往往無法兼顧時空分布。海洋遙測技術的發展，給了海洋觀測開啓了一扇明窗，實現了同時間對大範圍海域的測量。遙測技術通常透過電磁波做爲探測媒介。海洋遙測對於許多的海洋特性都能夠即時地瞭解與掌握。岸基海象遙測技術被認爲是近岸海洋觀測方法的明日之星，具有極大的發展潛力。國外海洋科技的先進國家早已建立不同的遙測系統，發展不同的資料應用方法；我國在這方面仍屬起步階段。本文將簡單說明岸基海象遙測的原理，介紹國外岸基海象遙測系統的發展現況與資料應用情形。

關鍵字：海洋遙測、高頻雷達、CODAR

## 一、前言

海洋研究的演進與海洋觀測技術的研發可謂之息息相關。爲了瞭解海洋的運動，許多的觀測方法被發明出來。從最原始的「瓶中信」，一直到今日常見的聲學都卜勒流剖儀(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)，足可見證一部海洋研究發展史。然而，肇基於海上探測的海洋研究工作有著許多廣爲人知的困難。尤以不良的天氣、海況條件影響爲最；而支援海上探測工作所需投入的大量人力、物力則居次。除此之外，探測資料往往無法兼顧時空分布。傳統的Lagrangian方法，觀測位置會隨著時間而變化，難以約束在有限的海域內進行觀測；而Eulerian方法雖固定於海洋中的某一處，獲得長時間的觀測資料，但空間上卻總有缺憾。即便是新穎的ADCP觀測儀器，想要同時間對於大範圍的海域進行測量，也仍是力有未逮。

海洋遙測技術的發展，給了海洋觀測開啓了一扇明窗，實現了同時間對大範圍海域的測量。遙測技術通常透過電磁波，例如可見光、微波以及雷達等，做爲探測媒介。海洋遙測最令大眾所熟悉的便是衛星遙測，對於許多的海洋特性，包括海洋水色(Ocean color)、海面高度(Sea Surface Height, SSH)、海面溫度(Sea Surface Temperature, SST)、海面鹽度(Sea Surface Salinity, SSS)、波浪(Oceanic Wave)等，都能

夠即時地瞭解與掌握其分布情況。但是高貴複雜的建置、操作以及維護門檻，並不平易近人，需要國家級的財力以及先進太空科技的輔佐方得以成就；且衛星遙測資料在空間解析度、資料良率、時間連續性這些方面，對長時間大尺度的變化研究是堪勝任。一旦面對日益增加的沿岸海洋問題，例如海岸工程所需之背景波流環境調查、海洋污染防治、近海環境監測、海上災害防救等等，衛星資料常常無法滿足其在時空分布上綿密細緻的探測需求。

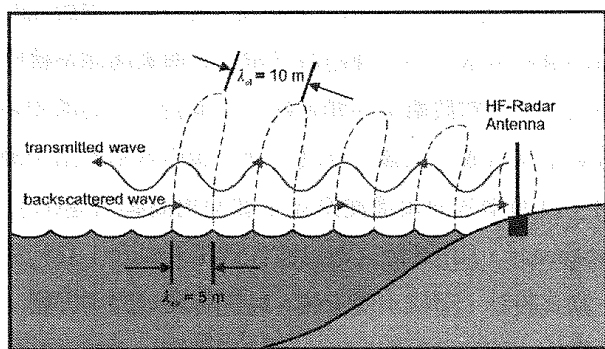
面對愈來愈多高時空解析度、長時間連續觀測的海洋資料需求，另一種建置於岸上的海象遙測系統應運而生。相對於衛星遙測系統，立基於岸上的遙測系統更是具有成本低廉、維護方便、操作容易的諸多優點。目前岸基海象遙測系統主要使用高頻雷達(High Frequency, HF)波段之電磁波作爲探測媒介；且利用主動式設計，可以不受天候、時間等環境因素影響，長期地、連續地針對目標海域進行探測。尤其在劇烈氣象條件下，仍然可以測得海象變化，此類平日難以獲得之探測資料，對於研究分析等工作更是大有助益。

岸基海象遙測技術被認爲是近岸海洋觀測方法的明日之星，具有極大的發展潛力。國外海洋科技的先進國家早已建立不同的遙測系統，發展不同的資料應用方法；我國在這方面仍屬起步階段，台大海研所、成大近海水文中心以工研院能資所目前有初步的雷達測波經驗與報告，但在測量準度以及資料驗證方面尚

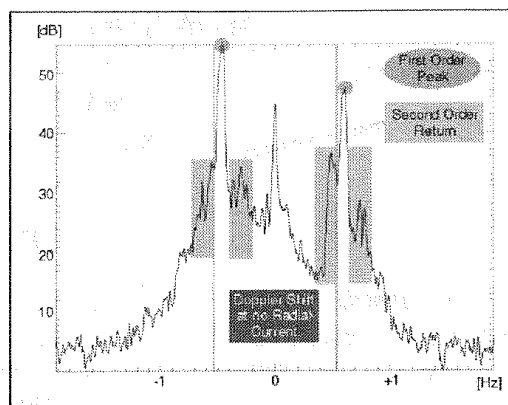
待更進一步的研究。本文的目的在於針對岸基海象遙測技術作概略的說明，以及介紹國外目前岸基遙測技術的發展與應用情況，作為未來我國岸基海象遙測技術研發的參考方向。

## 二、雷達遙測原理

雷達遙測理論最早大概可追溯至 Crombie (1955) 有關海面反射雷達散射訊號的研究，他發現靠近海邊所記錄的 HF 訊號會與所發射的雷達波有微小的都卜勒頻移(Doppler Shift)，並且認為這是由於海上的波浪對於雷達波產生布拉格散射(Bragg scattering)效應所致。之後 Barrick 對雷達測波的一系列研究(Barrick, 1971、1972)，確定反射波譜中第一階波能強度可以決定群波之波長及波向，其一、二階散射理論也驗證以高頻雷達應用於海洋實驗的正確性。所謂的布拉格散射，如圖一所示，當海面上的運動波浪波長恰好為雷達波長的二分之一時，則會產生強烈的反射雷達波。波長一旦確定，利用深水波相速度公式便可得出波速。典型的反射波譜如圖二，反射波譜主要是由海面上的運動波浪所提供，其中包括了第一階的能量峰值以及次階的峰值。Crombie (1971)提出藉由計算前後兩次的反射波譜都卜勒頻移量，便可以推算出徑向上的流速。



圖一、布拉格散射示意圖(取材自 <http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>)



圖二、典型反射波譜(取材自 <http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>)

雷達遙測理論的發表以及軟硬體的配合之下，1980 年代兩種不同設計概念的岸基海象遙測系統被發明出來。一是以兩組全指向性天線相互搭配，將雷達測掃面交疊覆蓋，以求取海面流場的 CODAR (Coastal Ocean Dynamics Application Radar)系統(Lipa and Barrick, 1983)，如圖三；另一是將天線以相位陣列方式排列，沿海岸可達數十至上百公尺之 OSCAR (Ocean Surface Current Radar)系統(Prandle and Ryder, 1985)，如圖四。



圖三、CODAR 天線(取材自 <http://www.codaros.com/>)



圖四、OSCAR 天線(取材自 <http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>)

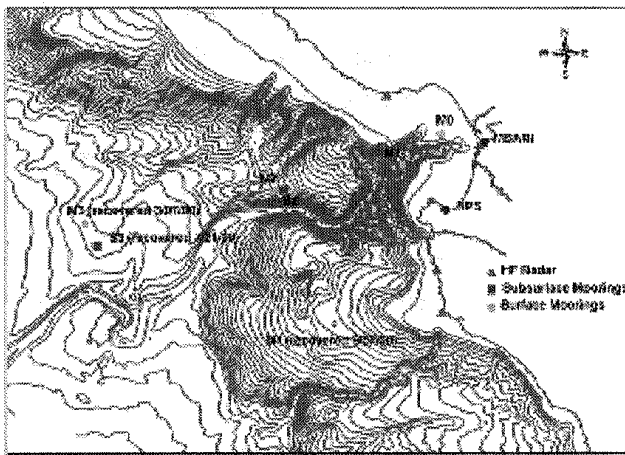
### 三、岸基海象遙測系統綜觀

國外的海象遙測技術起步較早，在系統整合與驗證方面也較為成熟。本節將針對數個不同的岸基海象遙測系統介紹其功能、現況以及相關的資料應用情形。

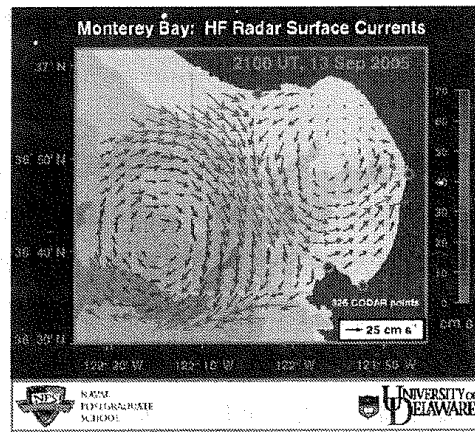
#### (一) 美國加州蒙特利灣

由美國海軍研究院(Naval Postgraduate School, NPS)所執行的 ICON (Innovative Coastal-ocean Observing Network), 是一個包含聲學實驗、雷達遙測、數值模式、衛星資料、錨碇觀測以及船隻探測的研究計畫。其海象遙測系統採用的是 CODAR Ocean Sensors 公司出品的 Seasonde®系統, 共有 5 組天線, 地點分別是圖五上藍色三角形所在位置。測量的流況如圖六所示, 每個小時會有一張流況分布圖公布在網路上, 尚有其他經統計的資料可以提供一般使用者在線上瞭解最新的海灣流場。

在這個計畫中, 由於也有發展海洋數值模式, 因此所觀測的資料, 無論是錨定資料、環境遙測、雷達遙測資料等不僅僅彼此之間互相比對驗證, 尚一併資料同化(Data Assimilation)入模式中運算。



圖五、蒙特利灣地形圖(取材自 <http://www.oc.nps.navy.mil/~icon/>)

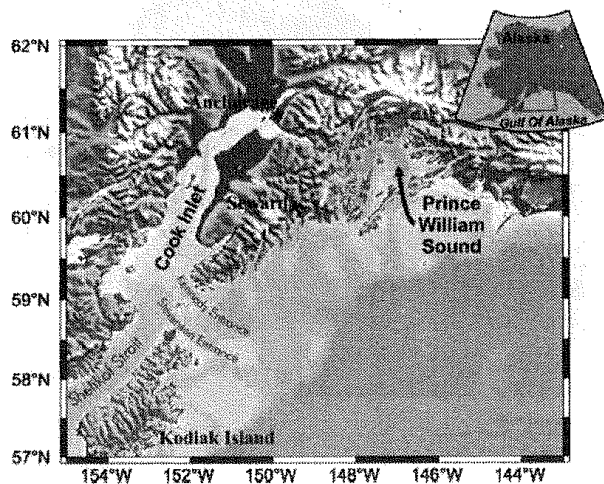


圖六、蒙特利灣 CODAR 即時流況圖(取材自 <http://www.oc.nps.navy.mil/~icon/>)

#### (二) 美國阿拉斯加灣

這裡有一個由阿拉斯加大學(University of Alaska)執行的 SALMON (The Sea-Air-Land Modeling and Observing Network)計畫, 其目的為在北阿拉斯加灣進行作業化的觀測系統。並且提供連續的, 即時或近即時的環流與生態系統觀測情況。目前的研究區域如圖七所示。

此計畫共有六組 CODAR 天線分別架設在不同的地區, 頻率從 5MHz 到 25MHz 不等。十分特別的是有三組天線安裝在小島上, 分別依賴風力發電以及發電機支援運轉。此計畫也有錨碇、船測與數值模式的配合。



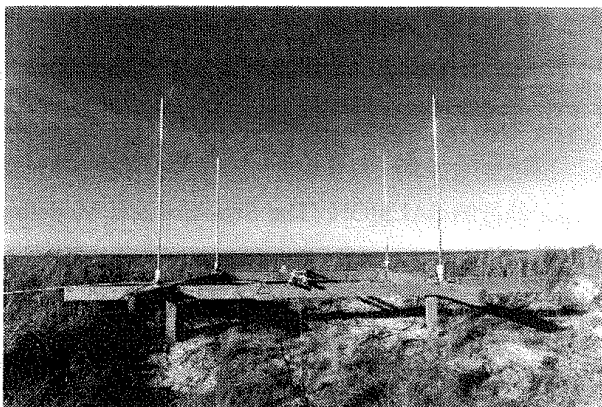
圖七、北阿拉斯加灣地形圖(取材自 <http://halibut.ims.uaf.edu/SALMON/>)

#### (三) 德國 WERA

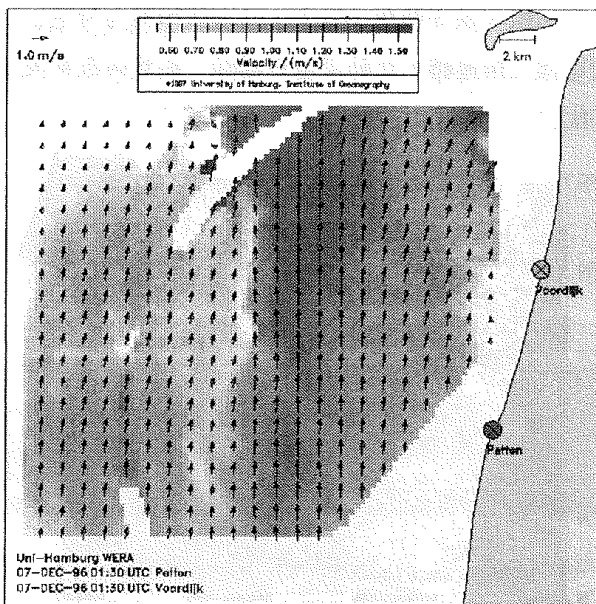
WERA (Wellen Radar)是另一種有別於美國 CODAR 的海象遙測系統。有鑒於 CODAR 系統在反射波譜上無法存取二階邊帶(sideband)的資料, 德國漢

堡大學自行改良 CODAR。現今被稱為 WERA 的系統被設計成有更大的工作頻帶、更好的空間解析度、更容易調校的天線。

不同的需求需選擇不同的天線設計。需要測波測流，應選擇 16 支天線的天線陣列，如圖四；僅需要測波可以選擇圖八的四天線陣列。而容易更新、修改軟體，模組化的設計也是其優點之一。其空間解析度更可達 300 公尺，如圖九。WERA 目前在荷蘭海岸、挪威北部海岸、夏威夷以及義大利都有安裝。



圖八、測波四天線陣列(取材自 <http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>)

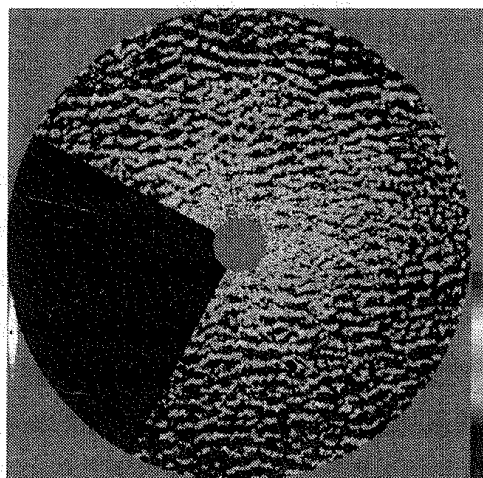


圖九、高空間解析度 WERA 流場圖(取材自 <http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>)

#### (四) 德國 WaMoS

由 OceanWaves 公司開發的 WaMoS® (The Wave and Surface Current Monitoring System) 是一套測波專用的海象遙測系統。此系統是一套成熟的商業化產

品，具有良好的作業化功能與軟體，可以即時計算示性波高、波向、周期與波長。其系統探測之雷達影像如圖十所示。目前已有 49 個固定站點設置於世界各地。



圖十、WaMoS 雷達影像(取材自 <http://www.wamos.de/>)

#### 四、結語

拜海洋遙測技術之賜，同時間大面積的海洋探測調查已然成真。岸基型海象遙測技術的出現更是將遙測科技向前推進一大步，儼然新一代的海洋時代就要來臨。只是多年以來，岸基海象遙測系統的驗證工作似乎尚未完成。實際將此類遙測資料投入作業單位的，也僅止於少數或僅限於工程領域，技術研發的工作仍然持續在各國研究單位中努力催生。我國不乏優秀的海洋人才，但受資源分配的限制，往往巧婦難為無米炊。惟有政府機關對於海洋科技大力支持，提供人員與經費，則研發海洋科技之機先必然掌握於手中。

#### 參考文獻

- Barrick D. E. (1971), Dependence of Second-order Sidebands in HF Sea Echo upon Sea State, IEEE G-Ap International Symposium Digest, Sept. 21-24 Los Angeles, California, pp. 194-197.
- Barrick D. E. (1972), First-order Theory and Analysis of MF/HF/VHF Scatter from the Sea, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-20, 2-10.
- Crombie D. D. (1955), Doppler Spectrum of Sea Echo at-13.56 Mc/s', Nature 175, 681-682.

Crombie, D.D. (1971), Backscatter of HF radio waves from the sea, Electromagnetic Probing in Geophysics, J.R. Wait, ed., Golem Press: Boulder, CO., pp. 131-162.

Lipa, B.J. and D.E. Barrick (1983), Least-squares methods for the extraction of surface currents from CODAR crossed-loop data: Application at ARSLOE, IEEE J. Oceanic Engr., vol. OE-8, pp. 226-253.

Prandle, D. and D.K.Ryder, (1985), Measurement of surface currents in Liverpool Bay by high-frequency radar, Nature, 315, 128-131.

<http://halibut.ims.uaf.edu/SALMON/>

<http://ifmaxpl.ifm.uni-hamburg.de/>

<http://www.codaros.com/>

<http://www.oc.nps.navy.mil/~icon/>

<http://www.wamos.de/>