

不必暈船的海洋調查

賴堅戊、余昭明

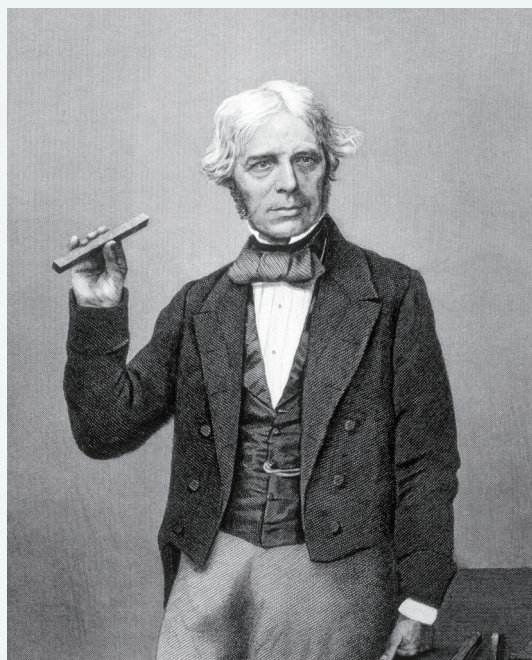
在近代各項電子、機械和通訊知識與技術的突飛猛進下，探險家、科學家正凝聚積累的智慧，以先進的技術展開新式的海洋探測工作。

雖然海洋探測的航行充滿了孤獨與凶險，但也正因為其無窮的魅力以及對文明史的影響力，使得人類著了迷般地追求 sea-going 的海洋探測任務。在近代各項電子、機械和通訊知識與技術的突飛猛進下，探險家、科學家正凝聚積累的智慧，以先進的技術展開新式的海洋探測工作。本文報導高頻雷達海洋遙測及自主水下無人載具兩項設備的技術沿革，以及台灣海洋科技研究中心（海洋中心）自 2008 年成立迄今 9 年間執行建置工作的近況。

電磁學與雷達的誕生

古希臘及地中海區域的古老文化中就有摩擦起電的靜電和靜磁現象的記載，把琥珀棒與貓毛摩擦後會吸引羽毛一類的物質。然而，要找到一個能產生穩定靜電場的方法難之又難，直到 1678 年摩擦起電機發明後才開始改變。

1831 年起，法拉第在實驗中發現了電磁感應的原理、抗磁性以及法拉第電解定律，且發明了電磁旋轉機器，也就是今天電動機的雛型。1865 年，馬克士威推導出把電、磁、光統歸為電磁場中現象的馬克士威方程組，建構了電磁場理論的基礎。1887 年，赫茲用實驗證實電磁波的存在。



法拉第在實驗中發現了電磁感應的原理，在電磁學及電化學領域做出很多重要貢獻。（圖片來源：種子發）



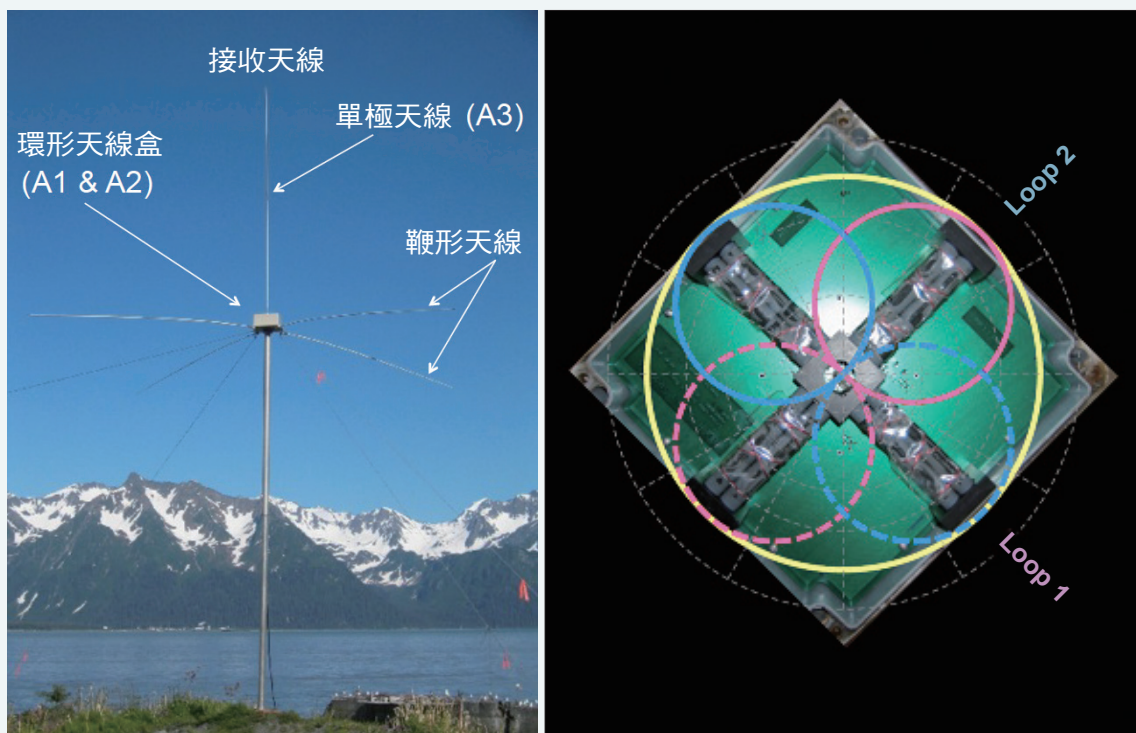
現今種類繁多的雷達已廣泛應用於航太、航空、航海、海氣象觀測等方面。（圖片來源：種子發）

許多現代的電力與電子科技都得益於電磁學的進展才得以發明並快速發展，如馬可尼（Guglielmo Marconi）進行一系列的無線電通信實驗，並分別於 1896 年、1901 年達成跨越英吉利海峽及橫跨大西洋的無線電通訊。又如 1925 年，布雷特（Gregory Breit）和圖夫（Merle A. Tuve）發明以無線電波進行電離層高度測量的儀器，也就是雷達的前身。

20 世紀前半，無線電技術的發展使得它在通訊以外的研究得到更多關注。其中，沃特森瓦特（Robert A. Watson-Watt）更是開啟新頁的代表。1934 年，他帶領一批科學家進行地球大氣層的無線電科學調查，觀察到圖像中出現了一連串的亮點，然而

從其亮度和距離分析，推測亮點不可能來自地球大氣層。沃特森瓦特進行了一系列實驗，終於發現這些亮點是被實驗室附近的一座高樓反射回來的電波信號。

1935 年，希特勒撕毀凡爾賽條約，第二次世界大戰一觸即發。英國政府要求沃特森瓦特組織一個特別小組以電波訊號開發防禦設施。他們夜以繼日地研發，於 1935 年 2 月成功偵測距離約 12 公里遠的飛機，這正是世界上第 1 部雷達的原型。約半年後，改良的雷達已能發現 80 公里外的飛機。在第二次世界大戰中，沃特森瓦特發明的雷達使英國避免了生命財產的巨大損失。今天種類繁多的雷達已廣泛應用於航太、航空、航海、海氣象觀測等方面。



集成式接收天線的實體（左圖）及內部構造（右圖）。（圖片來源：改繪自 CODAR 手冊）

超視距高頻海洋雷達

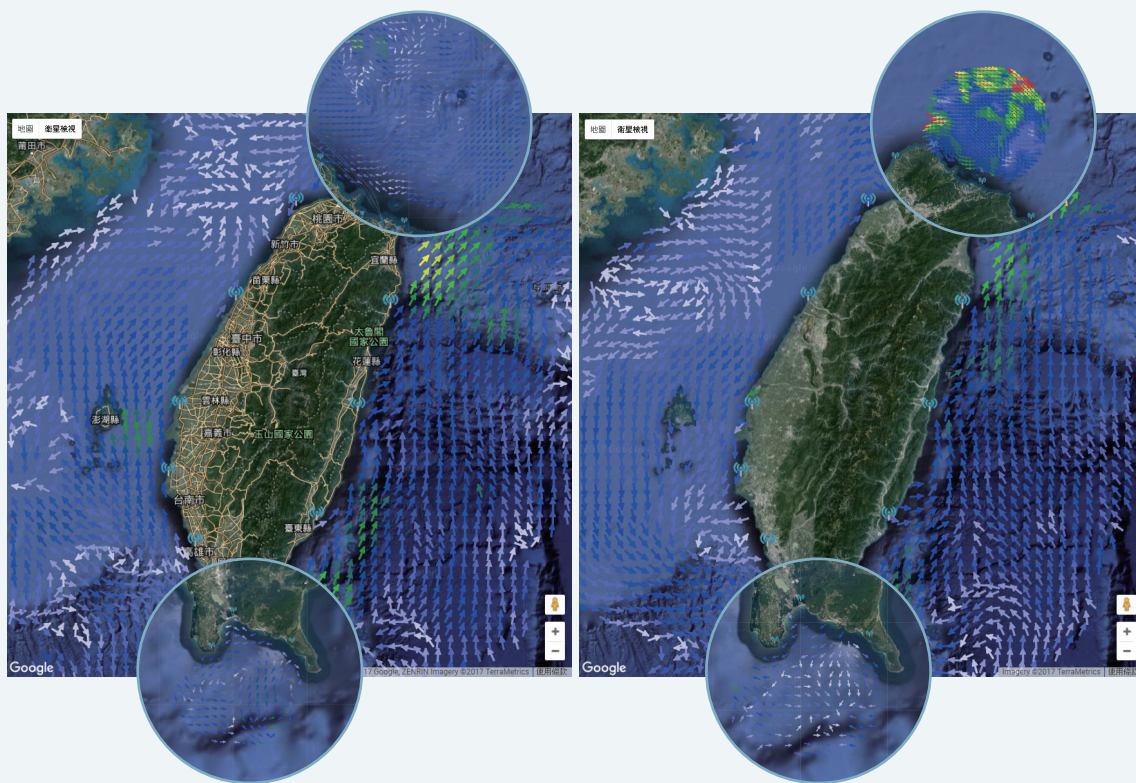
緊張對峙的二次大戰結束後，人們發現在海岸擔任警戒任務的軍用雷達總是受到不明原因的干擾。1955年，克倫比（Douglass D. Crombie）揭示了「數十公尺波長的電磁波與海洋表面的相互作用，會產生 Bragg 共振散射現象。」克倫比的研究對於成天盯著螢幕的雷達兵所發現的干擾給出了一個合理的物理解釋，也開啟了地波雷達應用在超視距海況的探測。

冷戰期間，美、蘇部署大量的超視距雷達探測對方的軍事動態，正好成了科學家研究無線電波與海洋粗糙面相互作用的很好實驗儀器。1968～1972年，在美國國家海洋大氣總署工作的巴里克博士（Donald E. Barrick）定量地解釋了海面對於無線電波

的一階散射和二階散射的形成機制，為高頻（即 3～30 MHz 的 HF 頻段）雷達探測海洋表面狀態建立了堅實的理論基礎。

高頻地波雷達的電波能沿著海洋表面長距離傳播，實現遠距離、大範圍的海況觀測。此外，高頻雷達電波的波長約在 10～100 公尺間，海面上的風浪波長則受波浪周期及水深的影響，分布在數公尺到數百公尺之間。因此，高頻雷達電波在海面傳播過程中有很大的機會遇上波長僅電波波長一半的風浪，使得電波與風浪發生 Bragg 共振散射現象，讓後向散射的電波能量大幅增加。

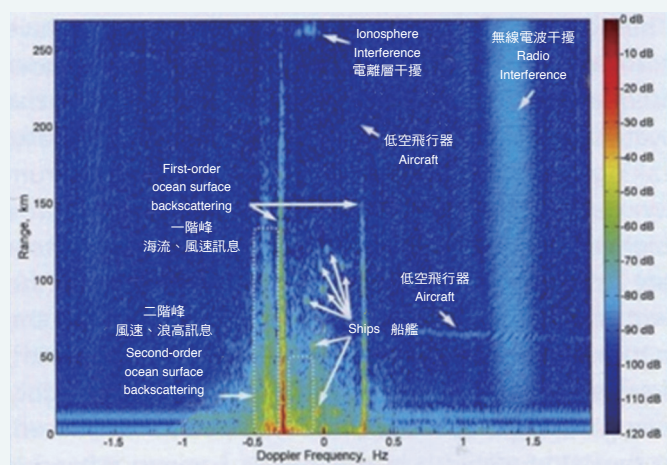
岸際的雷達站可在接收到 Bragg 散射回波後，經過一連串的訊號處理得到都卜勒頻譜。然後藉由都卜勒頻移效應，反演出



TOROS 三種作業化產出的表層海流產品

海表面的海流流速特性分布。這些特性使得高頻地波雷達在海洋探測上具有獨特的優越性。

自 1980 年代起，巴里克博士所研發的集成式雷達天線技術，與動輒綿延數百、數千公尺的高頻超視距雷達天線陣不同，大大降低了雷達的建置成本。他運用一對正交的交叉環測向天線和一個單極天線，僅需 3 個接收通道就可判別訊號來源，以占地量體很小的集成式天線系統獲取大面積海流分布的資訊，使得高頻地波雷達得以規模化地推廣應用，為海洋科學和沿岸防災減災，以及環境保護等提供了新的觀測方式。隨後英、加、澳、日、俄、德、中等國都陸續研發出類似的海洋環境監測雷達系統。



高頻地波雷達回波都卜勒頻譜訊息示意圖
(圖片來源：改繪自 CODAR 手冊)

海洋中心自 2008 年成立就著手建置環台雷達測流網，並於 2015 年初步達成環台測流目標，成為全世界第 1 個環繞國土海域的表層海流觀測網。這一海洋長期觀測網除了 10 公里空間解析的環台表層海流資訊外，並且於台灣南、北兩側灣岸建置 1×1 公里較高空間解析度的區域觀測系統，逐時產出表層海流資訊，並自動回傳至海洋中心的海洋環境資料庫，供即時展示與資料釋出。

這樣的無線電海洋遙測平台，提供台灣主要經濟海域一個長期、近即時且全天候的岸基表層海流監測網，以期能提供海洋科學、海洋工程、水下技術等研究所需，支援政府機關在海難搜救、防止海洋汙染擴散、漁業資源評估所需資訊，並精進海洋雷達應用於海洋環境監測的技術。

自主水下載具

傳統上，在內太空中執行資源探索與開發、工程環境調查、長時區域普查、特殊緊急搜尋等任務時，往往要耗費相當多的人力、物力及財力，且必須克服惡劣海況所帶來的艱辛與風險，如果有一條「聽話的魚」可以用來協助海洋調查將事半功倍。因此，科學家與工程師逐漸整合機械、電子、電機、材料、化學與海洋學，為海洋探測提供更具效率的技術支援。

擁有這樣一條「聽話的魚」的想像，在 1980 年由法國海洋開發研究院開發的 EPAULARD 實現了，並成為世界第 1 套運用於科學研究用的自主水下載具



海洋研究用 AUV 鼻祖 EPAULARD (圖片來源：<http://www.ifremer.fr/>)

(autonomous underwater vehicle, AUV)。自主水下載具依推進方式可概分為兩大類，一是 AUV，由自身配載的推進器提供行進動力。另一是自主水下滑翔機 (autonomous underwater glider, AUG)，前進方式則是藉由洋流帶動。

20 世紀初，因軍事需求而大量發展潛艦，轉用於 AUV 研發時，其設計理念會沿襲潛艦的基礎架構，包含艙體分割設計

海洋中心自 2008 年成立就著手建置環台雷達測流網，並於 2015 年初步達成環台測流目標，成為全世界第 1 個環繞國土海域的表層海流觀測網。



史托梅爾與世界第 1 艘橫渡大西洋的自主水下載具 RU-27。（圖片來源：<http://scarletknightinspain.blogspot.tw/>）

概念、推進動力架構、外型樣式等。事實上，由於這樣的水下無人載具可以連續蒐集海下溫度與鹽度數據，進而提供海洋垂直分層結構的資訊，對於潛艦的聲納系統精確度，以及航行、作戰有重要的影響。因此，美國軍方早在 1957 年就曾與華盛頓大學共同開發了一款水下自主動力研究載具。

AUV 內部架構除中央主控系統外，通常還掛載有推進控制、航跡管理、通訊、電源管理、感知單元群等次系統。中央主控系統會掛載預設任務，包含路徑規畫、作業事項、緊急應變作為等的資訊。主控程式彙總次系統回傳的周邊感測資訊與探測數據，自主演算得到需修正的相關參數，即時動態修正各次系統的運行，於規畫路徑內進行預設的探測任務。各個次系統獨

立運作，定時回傳資訊至中心控制系統，再接受中央主控系統的控制成為一個控制循環架構。

一般而言，常見 AUV 掛載的感知單元有溫深鹽儀、都卜勒流速儀、側掃聲納與影像感測器等，藉以執行海洋調查任務。

自主水下滑翔機

自主水下滑翔機是在 20 世紀提出的海洋調查載具概念，雖然早在 1960 年就有類似的潛航器專利，但並沒有明確實現。直到 1989 年由史托梅爾（Henry Stommel）提出並實現了第 1 個廣域的海洋探測方法，就算到 21 世紀仍屬於廣域的海洋探測方式，也為未來實行大範圍與長時間內太空調查提供一個參考技術與方法。



海洋中心的 Ocean Server IVER2 是國內海洋科學研究現役的自主式水下載具之一

AUG 本質上屬於 AUV 的一種，是因特殊需求而獨立發展出來的，主體架構大致相似，最大差異點在於驅動方式是藉由洋流帶動前進。它是把原來控制推進器與轉向的方式變更為控制載具浮心與艏舵，內部配置浮心改變裝置控制下潛與上浮，使載具得以滑翔翼運動方式前進。

AUG 無法直接控制行進速度與方向，得藉由附掛的感測器加上每次的定位資訊進行演算，推估下次上浮定位點，並與之前的推估值作演算修正。載具內包含中央主控系統、次系統（航跡管理、通訊、電源管理及感知單元群）。由於 AUG 的主要



海洋中心的自主水下滑翔機（圖片來源：Teledyne 史洛坎水下滑翔機訓練手冊）

海洋中心擁有兩部自主水下載具，至 2017 年總共執行聯合觀測計畫 2 次、實海域布放任務 9 次，累積總航行時數達百餘小時。

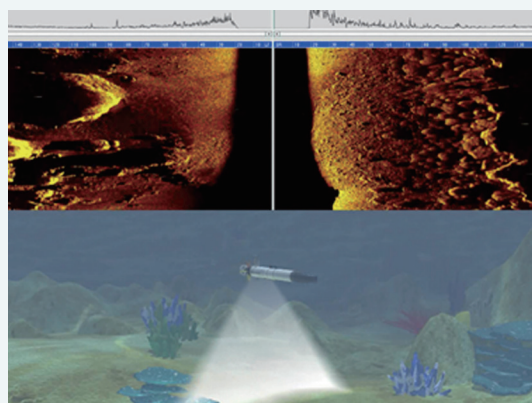
應用是以數月至年為單位的長期探測目標，因此電力是相當珍貴的。所以工程師在選用相關附掛系統與感知單元時，會以最精簡、節能的要求作為基礎設計依據之一。

我們也有聽話的魚

海洋中心擁有兩部自主水下載具，其中 Ocean Server IVER2 自主水下載具是期望藉由使用及操作，累積自主水下載具的實務經驗與導入科學研究，進而開啟更多的海洋科技研發面向。至 2017 年總共執行聯合觀測計畫 2 次、實海域布放任務 9 次，累積總航行時數達百餘小時。以墾丁南灣海域珊瑚礁保護區聯合觀測任務為例，AUV 獲取了大面積連續的珊瑚保護區影像、側掃聲納資訊與水文資料，提供了海洋物理與海洋生物研究所需的資料。

而海洋中心的史洛坎水下滑翔機未來可運用於區域海洋環境調查，並且近即時地提供海氣象數值模式的比對與資料同化，提升我們對於全球變遷的了解，以及增加颱風期間的天氣與海況預報精準度。

未來，除持續累積實務經驗並導入海洋調查任務外，將更努力與 AUV 深入對



海洋中心自主水下載具任務執行示意圖

話，逐步開發屬於自己的「聽話的魚群」！21 世紀的海洋科學家正致力於與工程師結合，整合跨平台科技，開發各式遠端遙測與自主探測的海洋調查儀器，是全球變遷下的環境調查開發前瞻的長期觀測平台。

賴堅戊、余昭明

國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心
