

Progress of Ocean Observing Technology in Taiwan

Sen Jan ^{1*} Kuo-Ping Chiang ² Ho-Han Hsu ³ Ching-Ling Wei ¹

¹ Professor, Institute of Oceanography, National Taiwan University

² Professor, Institute of Marine Environment and Ecology, National Taiwan Ocean University

³ Assistant Professor, Institute of Oceanography, National Taiwan University

ABSTRACT

It is crucial to ramp up the exploration capability to investigate physical, chemical, biological and geological aspects of the ocean. In the past few years, not only have three old research vessels been replaced by new ones but also advancement of ocean expedition and instrument system integration technique are attained in oceanography community of Taiwan. The progresses in real-time meteorological/ocean buoy, unmanned underwater vehicle, multi-beam echo sounder, three-dimensional and long-range seismic system are reported.

Keywords: Data buoy, unmanned underwater vehicle, long-range seismic system, and multi-beam echo sounder.

* Corresponding author, E mail: senjan@ntu.edu.tw

臺灣海洋探測技術進展概述

詹森^{1*} 蔣國平² 許鶴瀚³ 魏慶琳¹

¹ 國立臺灣海洋大學海洋研究所教授

² 國立臺灣海洋大學海洋與環境生態研究所教授

³ 國立臺灣海洋大學海洋研究所助理教授

摘要

海洋科學仰賴紮實的探測能力，以進行海洋物理、化學、生物、和地質四大基礎領域的探討。近年來，我國除了已陸續完成三艘研究船的汰舊換新與效能提升的硬體建設，在探測技術與儀器系統整合的開發上也有了長足的進步。本文概述即時海氣象浮標、水下自主滑翔觀測儀、多音束測深系統和三維及長支距震測系統的進展。

關鍵詞：海氣象浮標、水下自主滑翔觀測儀、長支距震測系統、多音束測深儀

* 通訊作者 E mail: senjan@ntu.edu.tw

一、前言

臺灣位於西北太平洋的樞紐位置，四周的東海、南海、臺灣海峽、呂宋海峽具高複雜性，不論海底地形、水文、海流、生態、資源，甚至政治在全球海洋中均有高度變遷的獨特性；例如颱風、地震、海嘯造成之經濟與社會衝擊、海產食品安全、國防安全等皆為臺灣必須面對的挑戰，也凸顯海洋環境資訊的掌握對我國環保、災防、國安、海洋資源的探勘與永續利用等的重要性。

海洋現場探測是蒐集海洋環境資訊最根本的方法，我國系統化的海洋研究及探測大約自 1960 年代起步發展迄今已屆六十載。從早期參與聯合國科教文組織的國際合作黑潮研究(Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions)、臺灣大學海洋研究所(臺大海洋所)的成立、人才培育、研究船「九連號」及「海研一、二、三號」陸續服役締造汗馬功勞與除役、「海研五號」成軍與不幸沉沒、到新一代海洋研究船「新海研 1、2、3 號」陸續下水開啟新的航向藍海世紀，可以說筚路藍縷。在基礎建設逐步進展下，臺灣海洋學界也藉由分區逐年探測研究的策略，一塊一塊拼出臺灣海域的環境藍圖，諸如臺灣海峽、臺灣東北部湧升流區、東海、南海及臺灣東部黑潮海域的水文、地形、生物及地球化學特性以及各種時空尺度的變化(詹，2018)。

以海洋研究議題的帶領，臺灣培養出許多獨特的海洋探測技術與專門人才，執行海洋物理、地質、化學、生物探測，布放與回收錨碇儀器等重要的海上任務。依研究議題所需，近年也引進許多新的觀測儀器，例如隨船航行施放的鹽溫深儀、多層孔徑浮游生物網、多管沈積物岩芯採樣器、紊流儀、磁力儀等，大幅提升研究船的探測能力。隨著我國第一代海洋研究船的老舊，科技部於 2016 年啟動「海研一、二、三號汰舊換新專案」。在學界協助新船儀器規範，台灣國際造船公司負責建造下，配備先進的多音束測深儀、都普勒流剖儀、精準動態定位系統、電力推進系統、航儀等的「新海研 2 號」、「新海研 3 號」已經由科技部移撥海洋大學與中山大學分別取代「海研二號」、「海研三號」開始服役。「新海研 1 號」則預定於本年 7、8 月間移撥臺灣大學取代「海研一號」由臺大海洋所負責營運，屆時我國海洋探測將正式邁入一個系統海洋科學整合研究的新世代。

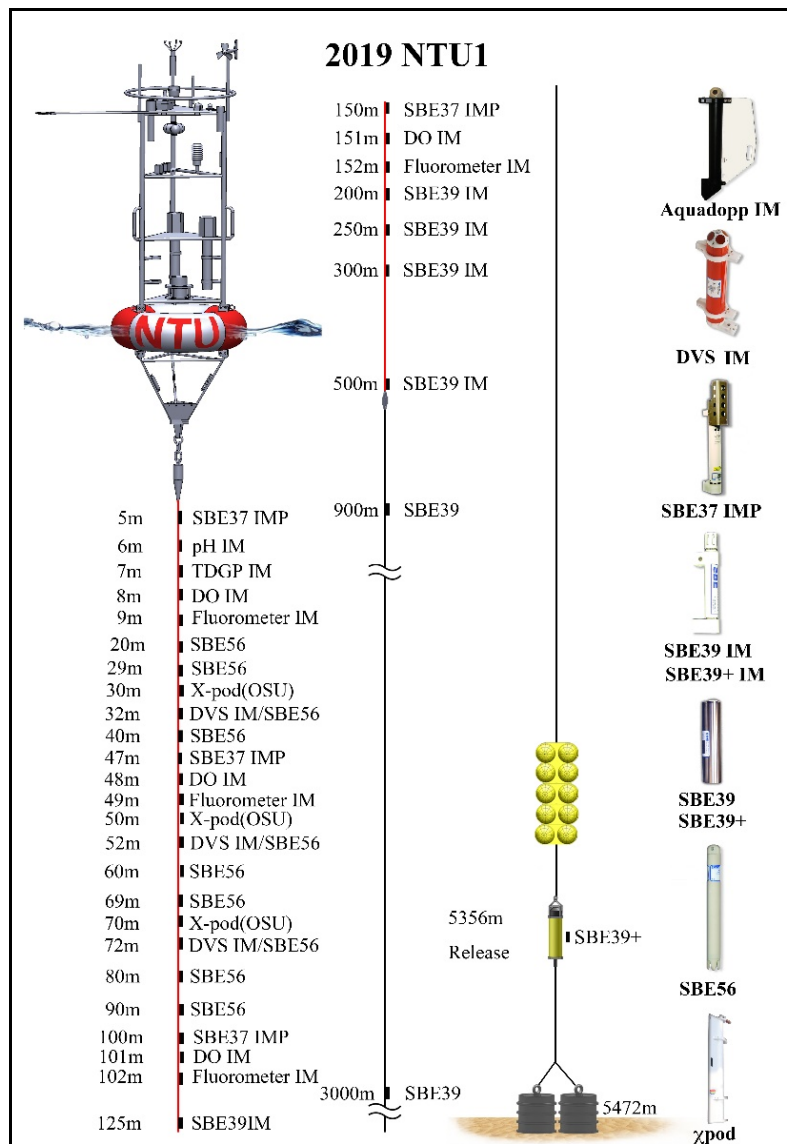
由於科技的進步，海洋的監測工作已進入自動化的時代，利用海洋對聲音、光學、電波傳導的變化進行各種性質的量測，加上通訊科技的資料傳輸，已可做到即時(real-time)或近即時(near real-time)的監測任務，國內已建立相關技術並有具體成果。本文將重點介紹近年來在海氣象浮標、水下自主滑翔儀及多音束測深儀進行海洋物理、化學、生物性質和海底地質、地形探測的進展。

二、研究方法

2.1 即時海氣象浮標

臺大海洋所於 2015 年初著手發展即時海氣象浮標系統，從電子模組設計組裝、岸上及甲板測試、浮標與錨碇串整備裝設、海上錨碇作業施放到資料傳輸處理展示，整套作業流程已建置完成。此系統最大特色為以優良的電路板設計達到低耗電需求，在高頻率資料讀取和傳輸下，只需兩組鋰電池，即可維持一年以上的海上布放，完全不需太陽能板充電裝置(楊穎堅等人，2015)。過去五年來，每年的颱風季已在臺灣東南東方海域兩個測站蒐集到多個颱風經過前後海洋和大氣的寶貴數據，對提高颱風監測和預報效率非常有價值(Jan et al., 2017)。圖一為 2019 年的浮標錨碇串設計，浮標上架裝有中控模組和衛星通訊模組外，還包括風速風向計、溫濕度計、氣壓計、雨量計、日照儀等氣象觀測儀器。水下 500 公尺鋼纜掛載各種探針進行海洋上層物理(溫、鹽、流速流向)、化學(溶氧)和生物(葉綠素)性質的觀測，各儀器均配接感應傳導數據機(inductive modem)，將水下觀測的數據傳輸到浮標上的中控模組進行封包後，每 30 分鐘(可依需要隨時下指令調高傳輸頻率)，透過衛星將資料傳回陸地接收站載入資料庫，即時的在網頁展示觀測資料。

從 2018 年開始，除了海洋上層的各项物理性質外，浮標系統開始增加精準的溶氧和葉綠素濃度的量測。浮標觀測平臺具有相當高的擴充性，搭配適當的探針即可增加監測參數，例如面對對大氣二氧化碳升高引起的海洋酸化現象，浮標系統可增加酬載二氧化碳分壓儀、pH、營養鹽探針等進行長期觀測，發展出海洋大氣與生態結合之“海洋大氣生態監控系統”。

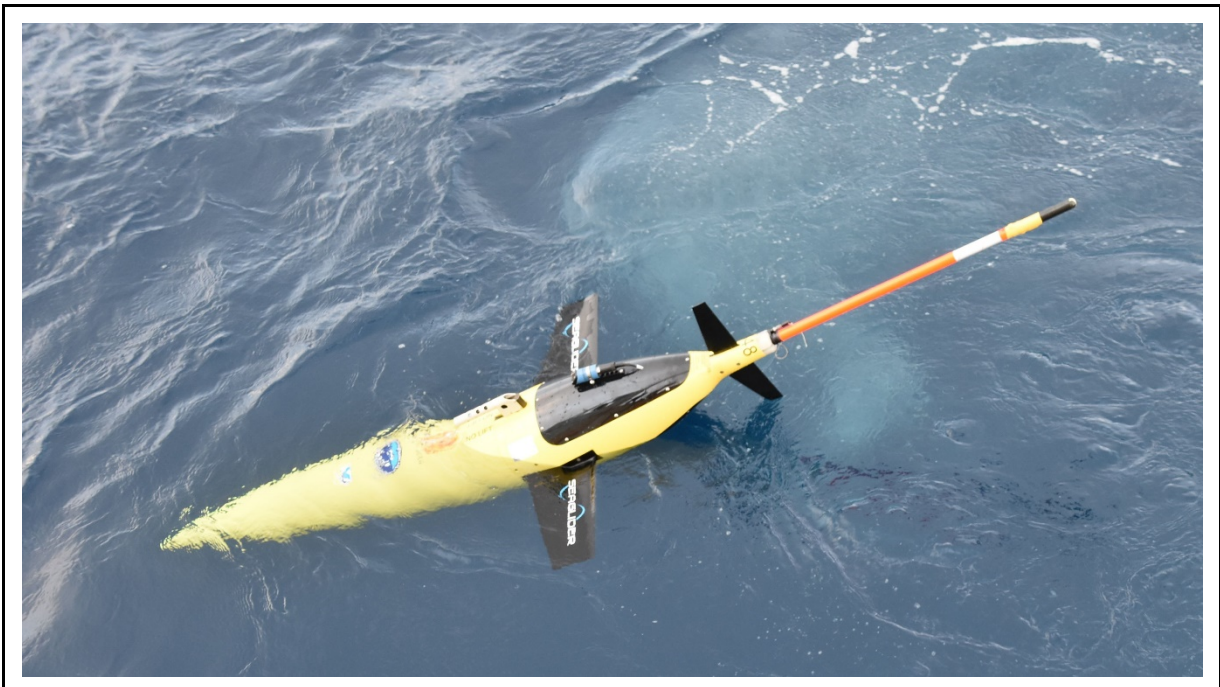


圖一 2019 年於 NTU1 測站施放的海氣象浮標錨碇串設計。

2.2 水下自主滑翔觀測儀

現代海洋觀測方法大致可歸類為研究船航行與定點觀測、定點錨碇儀器與漂流儀器觀測，隨著科技進步，近年來水下自主觀測載具(Unmanned Underwater Vehicle，簡稱 UUV)操控技術已臻成熟，逐漸成為高端海洋探測工具。UUV 又分為具推進動力與無動力兩大類，前者具推進動力者如 REMUS、GAVIA、SeaBat 等，外觀類似魚雷，具備慣性導航能力，以尾端車葉推進，依照事先設定的航線移動；後者之水下自主滑翔觀測儀如 Seaglider、Spray、Slocum 等，分別由不同研究機構研發而出，均可透過調整攻角、傾角、側滾、與自身浮力，配合海流與密度差異，在水下起伏並向著預先設定的點位前進，沿途進行水文、流速等的測量。

水下自主滑翔觀測儀已經發展了近三十年，是一種到水面經由人造衛星通訊可以傳送觀測資料也可以接受姿態控制指令之海洋觀測儀器。一具水下自主滑翔觀測儀(例如 Seaglider，圖二)可以酬載溫、鹽、深、螢光、透光、溶氧度等探針，按照事先設定的路徑反覆於海面與大約 1000 公尺深之間的水層下潛上浮進行觀測，並於每次浮出海面時透過鈹衛星(Iridium)即時傳回探測資料，或者接收行動控制指令如改變路線、調整水下滑翔姿態、修正最大深度等，其特性是不受季節、海況、或觀測範圍限制，可以連續觀測三至六個月以上，為近代海洋觀測技術的新里程碑(郭天俠等，2018)。



圖二 水下自主滑翔觀測儀 Seaglider
總長度 2 公尺、最大直徑 30 公分、總重 53 公斤。

2.3 三維與長支距震測系統

反射震測是油氣工業界廣泛應用的海洋地質及地球物理調查方法，可準確取得海床下地質資訊。自 80 年代末始，臺大海洋所首先發展學界第一套反射震測系統，圖三為「海研一號」甲板上活動絞機上的高壓空氣聲源串。經過 30 年，目前除常規二維反射震測調查技術外，在高解析(公尺級解析度)震測、長支距(數公里長信號浮纜)反射震測及三維震測調查及處理技術均已相當成熟，並已投入到海域地質調查、資源與能源探勘以及地質災防研究等領域中。



圖三 (a)「海研一號」甲板上活動絞機上的震測信號接收浮纜 (streamer)，
(b) 高壓空氣槍於水下拖曳，(c) 高壓空氣槍於水下擊發。

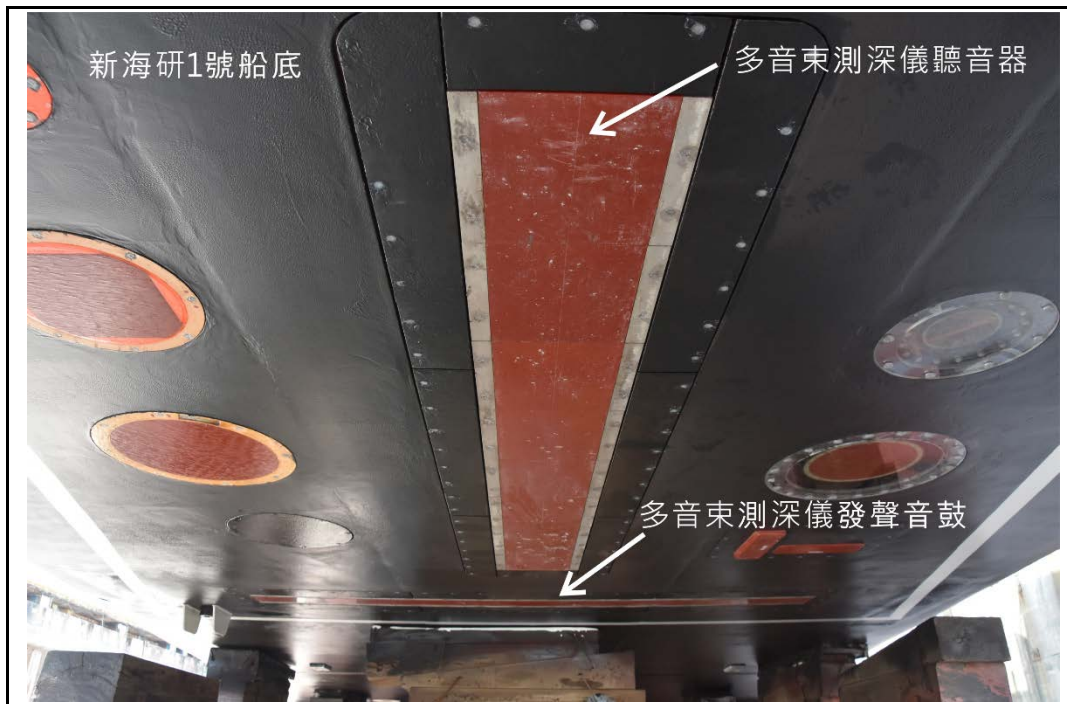
高解析震測有別於常規震測信號主頻多在數十赫茲(Hz)範圍，而是利用數百至數千赫茲聲源，及短採樣間距、高頻的訊號接受器進行調查，對於數十至數百公尺深的地層有良好的解析能力，在臺灣現今的離岸風電發展中已扮演重要角色。長支距震測則運用較低頻且大能量的聲源，常用來進行深部構造調查，目前臺大海洋所具有兩套分為 120 頻道(1.5 公里)及 24 頻道(150 公尺)的長支距及高解析信號紀錄系統，在「新海研 1 號」上，結合固定式及活動式空壓機，可提供 2,000 PSI、3,000 立方英吋以上的高壓空氣聲源能量，並可用密集的二維測線配合雙震源進行三維震測調查。

2.4 多音束測深儀系統

多音束測深是根據不同作業水深，配備對應的聲納系統，搭配高精準定位及姿態修正、聲波速度及潮位等資訊，來取得地形、地貌特徵的聲學技術，隨聲納頻率不同，也有不同測深範圍、解析度、運用效益及限制。早期我國研究船多音束測深能量未臻完整，隨著研究船汰舊換新，由科技部移撥臺灣大學、海洋大學和中山大學的三艘研究船已裝置了四套不同等級的多音束測深系統，可從淺水至深海，進行全水域測深工作。

在淺水海域水深掃測方面，「新海研 1 號」配備 EM2040 系統，操作頻率在 200—400 kHz，最大作業水深在 300-600 公尺間，在 200 公尺深內，具最佳作業效率。「新海研 2 號」、「新海研 3 號」則都配備 3600 公尺等級的中水深 EM712 系統，操作頻率於 40—100 kHz 間，最佳測深效益大致在 200—2100 公尺(陳姿婷等人，2019)。對於深水海域，「新海研 1 號」配備了 EM304 系統(音鼓與聽音器如圖四)，最大測深為 8000 公尺，操作頻率是 26—34 kHz，於數百到 5000 公尺深的水域測深效益最佳，

已經滿足西北太平洋及南海深水區的海底地形測量。



圖四 「新海研 1 號」多音束測深儀 EM304 發聲音鼓與聽音器。

三、結果與討論

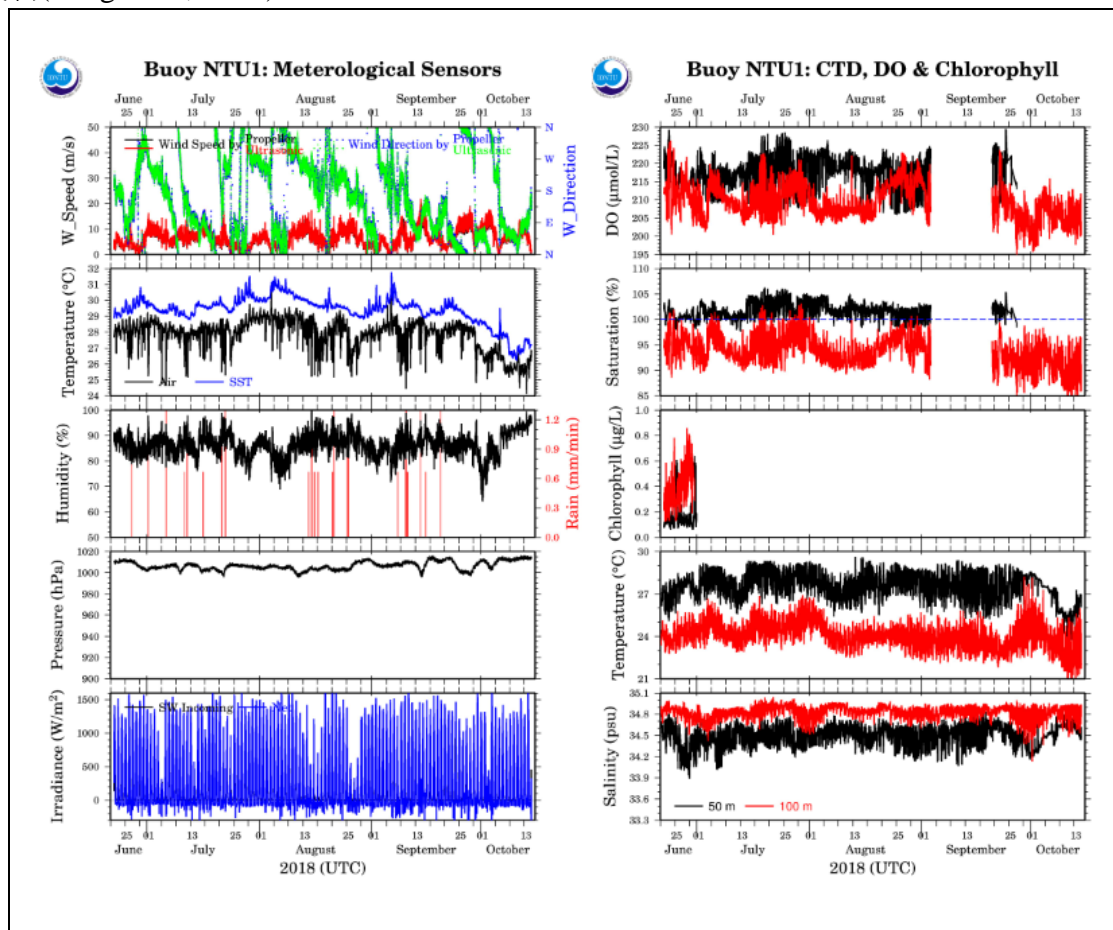
3.1 即時海氣互動與颱風觀測

以颱風觀測為目的，2015 始每年的颱風季，臺大海洋所於 NTU1(124°E, 21°N)和 NTU2(123°E, 22°N)兩測站佈放浮標錨碇串，已收集到數批高品質的氣象和海象資料，所有觀測結果都可由臺大海洋所網頁瀏覽(<http://po.oc.ntu.edu.tw/buoy/>)。圖五為 2018 年 6/24-10/14 期間，NTU1 測站的氣象(風速風向、氣溫與海表面溫度、濕度和雨量、氣壓、和日照)和海洋 50 和 100 公尺兩個深度的溶氧、溶氧飽和度、葉綠素濃度、溫度、和鹽度的時序資料。資料顯示氣溫的高頻變化，其日夜變化受日照影響，海表面溫度高於氣溫，變化的幅度和頻率都明顯小於氣溫。2018 年形成的 5 個颱風雖然和 NTU1 浮標有相當距離，但氣壓資料仍於颱風經過附近海域時顯示低值，浮標上的兩具風速計也準確地觀測到風速資料。資料可看出溫度的變化源於日照所引起的表層海溫日變動、全日內潮運動，以及潮汐週期以上的變動等作用。表層溫鹽結構的變化則與海洋的中尺度渦旋的形成、消長與移動有關。

佈放在兩個深度的光極探針(optode)和螢光探針(fluorometer)量得此海域首批的高

解析度溶氧濃度和葉綠素濃度時間變化。50 公尺和 100 公尺的溶氧濃度變化幅度達 10%，但 50 公尺大多為過飽和狀態，100 公尺的溶氧濃度則為低飽和狀態。由於首次酬載螢光探針於浮標串，經驗不足設定失誤造成螢光儀電池快速耗竭，只取得一星期的葉綠素資料。經檢討改進作業流程後，浮標系統於 2019 年夏季成功地取得完整葉綠素時序變化資料。

即時海氣象浮標觀測除了可對颱風監測和預報任務有所幫助外，獲得的大氣和海洋資料可提供海洋與大氣互動作用的科學研究工作。例如，此浮標系統於 2016 年 7 月觀測到超級強颱風尼伯特經過兩串浮標時的資料，已供科學家據以解開超級強颱風消長的機制(Yang et al., 2019)。

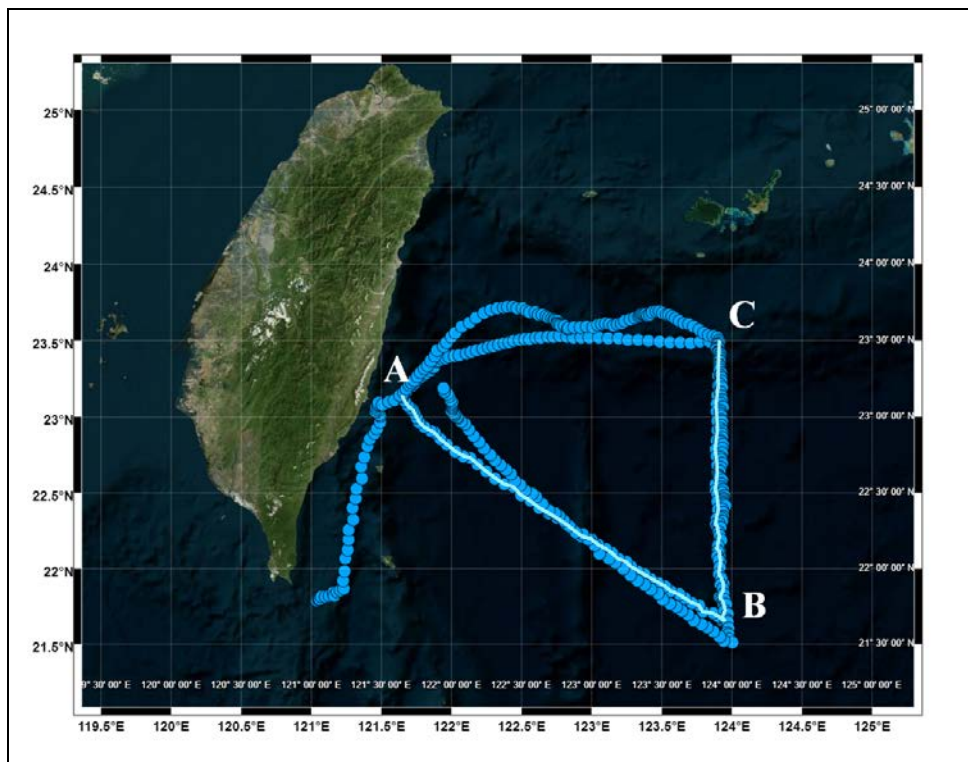


圖五 NTU1 浮標的氣象(左)與上層海洋(右)觀測時序資料。

3.2 精細黑潮水文結構

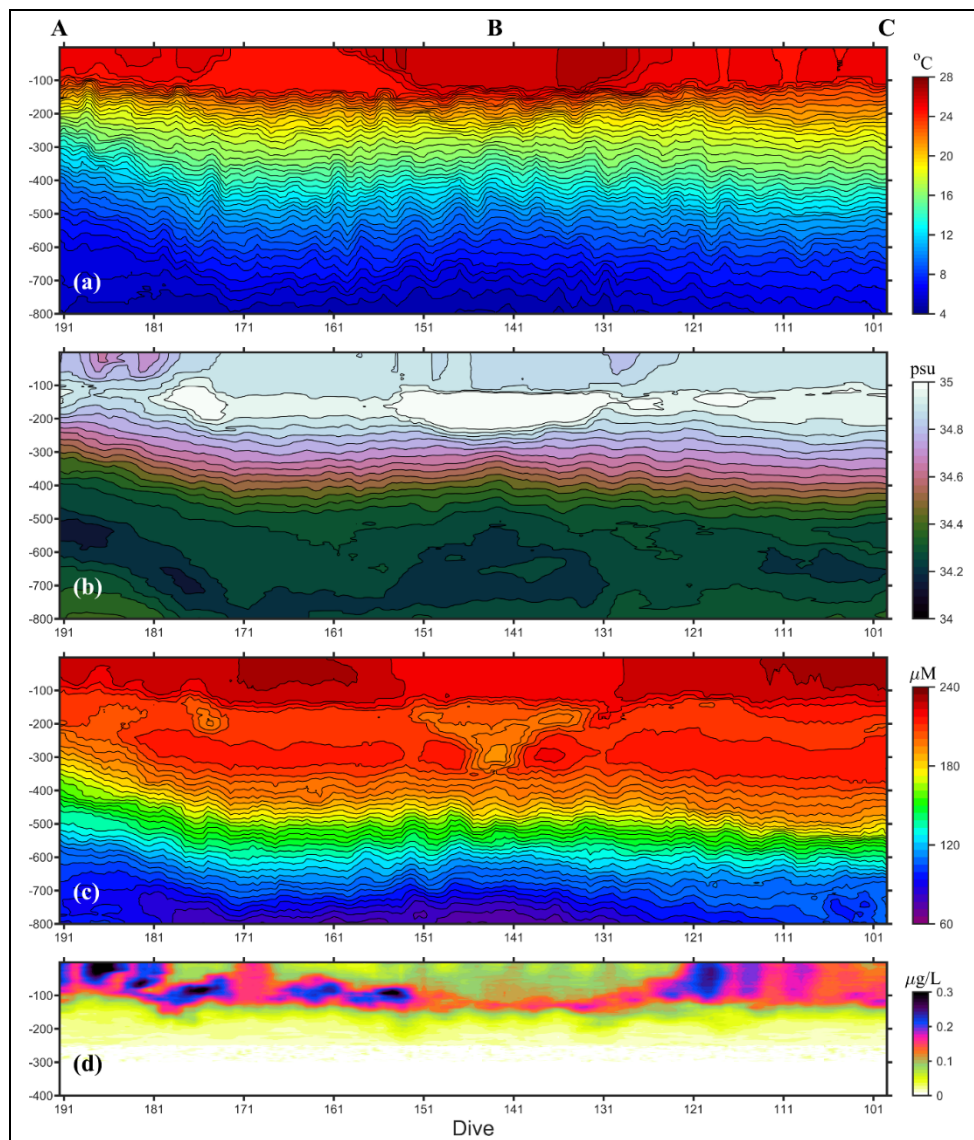
數十年來學界對黑潮橫截面水文結構的了解都是奠基在空間上測站稀疏、有限的鹽溫深(CTD)資料上，簡略地說黑潮斷面的等密線分布是左高右低(面向黑潮流向)，在臺灣東部海域大致由上到大約 800 公尺深的等密線都是如此(詹森，2018)。2016 年 12

月到 2017 年 3 月之間在一具 Seaglider 東部海域黑潮區進行三角形測線高解析度水文測量(圖六，87 天期間總共完成 434 次下潛(至 1000 公尺深)跟上升連續記錄水文、溶氧、葉綠素濃度、光背散射等數據，從鹽溫深資料發現黑潮區兩個溫、鹽度互異的水團遭遇時，從水團界面上的擾動經由雙擴散過程(double diffusion)，在黑潮橫截面 500-800 公尺深之間發展成兩股水團上下交錯層疊的水文結構，每層水平長度從 10 到 100 公里不等，層與層的厚度大約 50 公尺(Jan et al., 2019)。



圖六 水下自主滑翔觀測儀 Seaglider 航跡 (2016/12/8-2017/3/5)
(每個圓點代表下潛與上浮位置)

除此以外，圖六 AB 黑潮斷面的溫、鹽、溶氧等值線都向西抬升(圖七 a, b, c)，表水溶氧普遍高於飽和濃度，且與溫度呈相反趨勢(圖七 c)。斷面 B 點附近海域可清楚地看出低葉綠素(圖七 d)伴隨著較低的溶氧濃度，表示除了海洋和大氣氣體的交流作用外，生物的光合作用也影響上層海水中溶氧濃度的變化。若沒有 Seaglider 提供的高解析時空分佈資料，僅用研究船在有限的站位進行量測，很難觀察到小尺度的生物和化學現象。



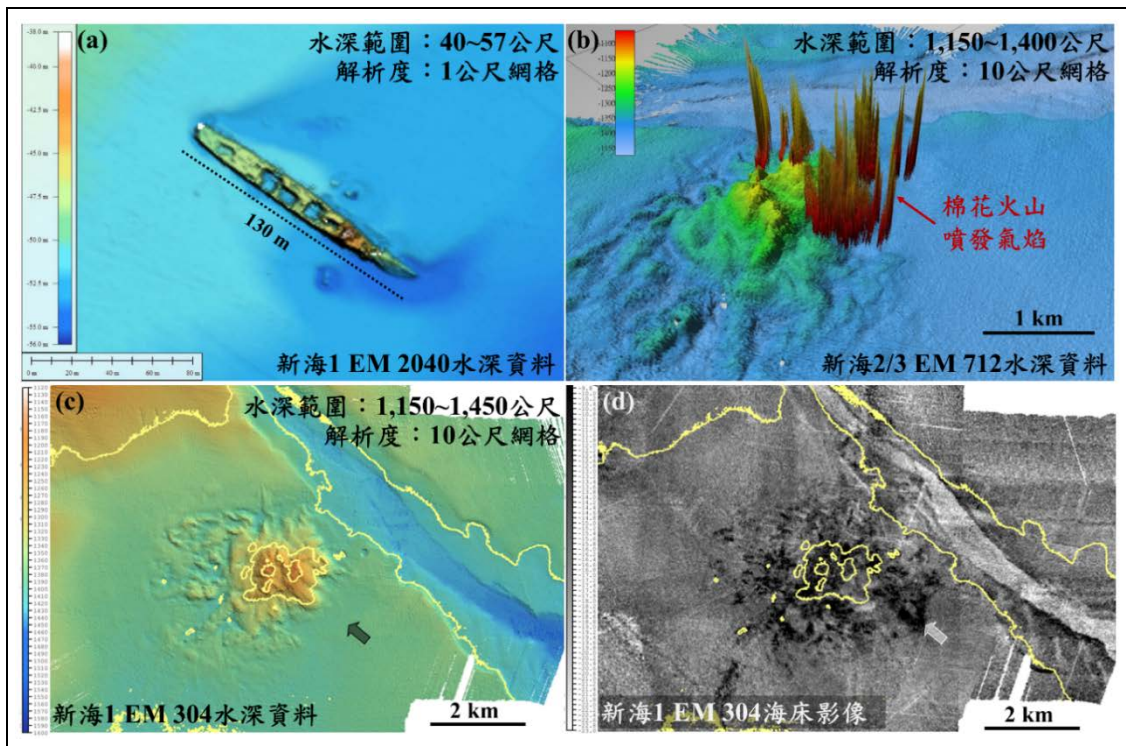
圖七 東部海域黑潮區各斷面(A, B, C)觀測結果
(a)溫度，(b)鹽度，(c)溶氧濃度，(d)葉綠素濃度

3.3 高解析度海底地形與構造

以科技部新研究船海上測試所收集的海底地形資料為例，除測深成果良好，可清楚顯現海底地形特徵，對於水下目標物的辨識也有相當水準(圖八 a)，其測量成果也可滿足國際水深測量組織(IHO)標準。另外透過聲波於水層中傳遞的信號改變，以及海床反、散射信號的差異，多音束測深資料也可用來分析水團聲學及海床底質特性(圖八 c, d)，讓臺灣目前的測深技術，在海底地形調查外，於水下目標物搜尋、文資調查、海床底質分類、地質環境與災防評估、水中聲學及物理海洋的相關研究等，皆能有所發揮。

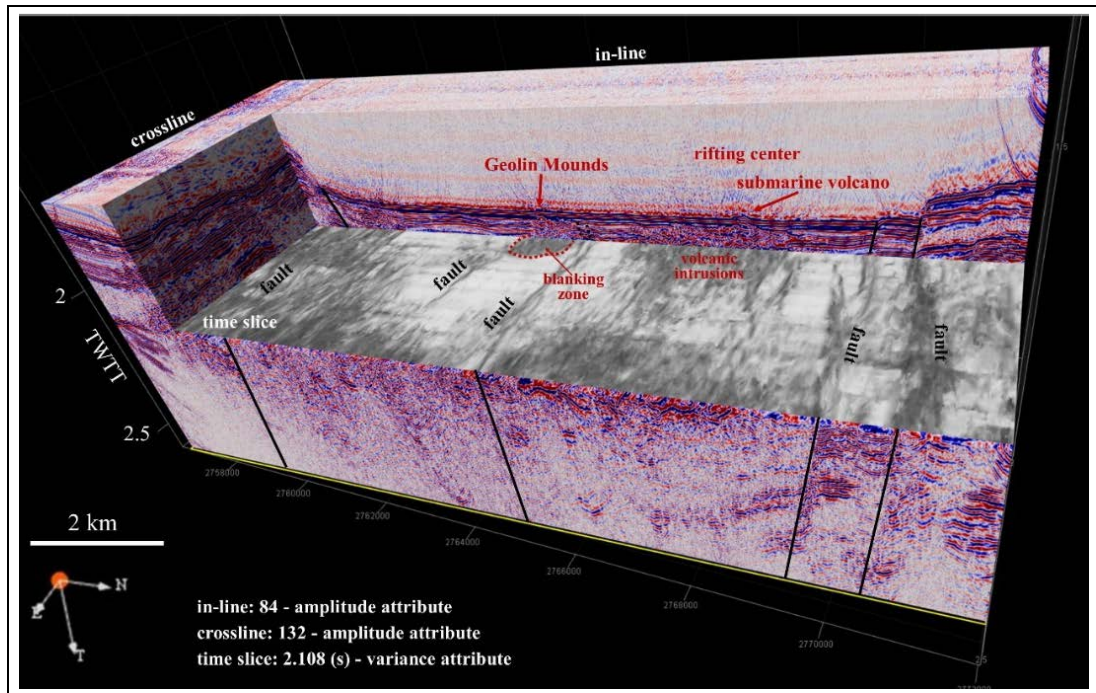
再以臺灣東北海域的海底火山調查為例，海底火山是除了海底峽谷外最明顯的海底地形特徵(圖八 b)之一，海底火山的活動不僅反應了琉球隱沒系統中的弧後張裂構造，其可能伴隨的地震、斷層、山崩及海嘯等，也是重要的地質安全議題，相關的火成活動，也會加熱地層中流體，再透過與海水的交互作用，形成海底熱液循環。

海底熱液系統中的熱液活動，不僅在地層中會形成流體移棲管道(Hsu et al., 2019)，在震測資料中形成空白帶(blanking zone、圖九)，熱液循環(圖八 b、圖九)的過程中，還可將地層中的金屬、微量元素和硫化物帶出海床，在海床形成「黑煙囪」，並在噴口附近形成金屬礦床，成為海底礦產的潛力場址。另外在這些噴發的火山口或「煙囪」處，往往也形成特殊的生地化環境，對於研究深海生態系及極限環境的生命發育，也有相當代表性。



圖八 「新海研 1 號」多音束測深儀所測得結果

- (a)海底沈船影像，(b)棉花火山 3 維地形及水層中噴發氣焰影像，(c)棉花火山地形，
 (d)棉花火山海床影像。箭頭標示顯示在地形無變化處，其海床底質特徵有明顯
 改變，過往水下無人載具調查已發現該區具有熱液礦床隆堆分布。



圖九 「海研一號」於臺灣東北海域熱液場址之構造特徵結果

四、結論

我國近三年來已陸續完成科技部三艘研究船的建造，並逐步由科技部移撥三所大學維護及營運，新穎的科技部-大學研究船隊加上各研究船貴儀中心和海洋資料庫等重要的後勤技術支援，已為海洋探測工作提供良好基礎，由於學界具有教育與研究的任務，且因為教研與技術人員結合為一，已經形成以研究導向的強大研發能量，因此期許海洋學界與各單位共同努力，將我國海洋探測能力提升到國際水準，對臺灣四周海域進行深入的探索，使臺灣成為名符其實的海洋國家。

謝 誌

感謝科技部長長期支助學界建立貴重儀器使用中心及海洋資料庫。

參考文獻

- [1] Hsu, H. H., Lin, L. F., Liu, C. S., Chang, J. H., Liao, W. Z., Chen, T. T., Chao, K. H., Lin, S.L., Hsieh, H.S., Chen, S.C. (2019), Pseudo-3D seismic imaging of Geolin Mounds hydrothermal field in the Southern Okinawa Trough offshore NE Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 30, pp. 705-716.
- [2] Jan, S., Yang, Y. J., Chang, H. I., Chang, M. H., Wei, C. L. (2017), New data buoys watch typhoons from within the storm. *Eos* 98.
- [3] Jan, S., Wang, S. H., Yang, K. C., Yang, Y. J., and Chang, M. H. (2019), Glider observations of interleaving layers beneath the Kuroshio primary velocity core east of Taiwan and analyses of underlying dynamics. *Scientific Reports*, 9:11401.
- [4] Yang, Y. J., Chang, M. H., Hsieh, C. Y., Chang, H. I., Jan, S., Wei, C. L. (2019), The role of enhanced velocity shears in rapid ocean cooling during Super Typhoon Nepartak 2016. *Nature Communications* 10 (1), pp. 1627.
- [5] 郭天俠、楊凱絜、詹森 (2018)。觀測海洋的利器-自走式水下滑翔儀簡介，*海洋及水下科技季刊* 27，頁 3-6。
- [6] 詹森 (2018)。臺灣區域海洋學(二版)，臺大出版中心，485 頁，臺北市。
- [7] 陳姿婷、許鶴瀚、邱協棟、馬玉芳、楊穎堅、劉家瑄 (2019)。海底地形測量大躍進-新海研 2、3 號多音束聲納系統介紹，*海洋及水下科技季刊* 29，頁 27-32。
- [8] 楊穎堅、張宏毅、張明輝、詹森、邱銘達、何文華、邱協棟、李文慧、馬玉芳、謝祥志、連政佳、洪瑋廷、魏慶琳 (2015)。海氣象即時傳輸浮標發展及其對颱風觀測之應用，104 年天氣分析與預報研討會，臺北，A1-28,頁 1-6。