

出國報告（出國類別：研究）

# 參加「北冰洋觀測調查研究」 出國報告

服務機關：國家海洋研究院

姓名職稱：傅科憲 副研究員

派赴國家/地區：北冰洋海域

出國期間：113 年 8 月 5 日至 10 月 16 日

報告日期：113 年 12 月 5 日

## 摘要

本院派員參與今(113)年8月至10月德國阿爾弗雷德-維格納研究所(AWI, Alfred-Wegener-Institut)極星號研究船(R/V Polarstern)的北冰洋海洋調查航次，調查計畫簡稱 ArcWatch2為延續性前往北冰洋進行長期海洋觀測計畫，經由跨國際海洋調查獲取第一手北冰洋海洋觀測數據，進一步希望了解在全球氣候變遷的背景下，極地北冰洋海洋環境的時空變化。本次調查數據未來將進行深入研究分析與討論，後續將與德國阿爾弗雷德-維格納研究所科學家透過國際海洋科研合作方式，在相關極地研討會發表成果，展現我國極地海洋科學研究之量能並拓展國際海洋事務之深度與廣度，以落實「競逐太空、探索海洋」之海洋國家發展願景。

# 目次

摘要 .....	1
壹、目的 .....	3
貳、研究行程 .....	4
參、心得與建議 .....	11
肆、附錄 .....	25

## 壹、目的

在全球氣候變遷下，北極圈海冰覆蓋面積呈現逐漸減少的趨勢，融冰速度越來越快。北極海冰融化不僅衝擊到極區的陸地、大氣、海洋、生態等，亦會影響天然資源、經濟、交通航運與軍事戰略。因此，全球對於北極海域的海洋研究投入越來越多。相對地，台灣科學家受限地域性與海洋資源經費投入北極海域相對於台灣周邊海域極度缺乏。然而，在全球氣候變遷危機下，如何突破國內大多海洋科學研究僅侷限於台灣周邊海域的限制，展現台灣對國際海洋氣候危機的關心與積極參與。爰此，國家海洋研究院與國立中山大學海洋科學系於2024年1月成功申請參與德國阿爾弗雷德-維格納研究所(AWI, Alfred-Wegener-Institut)所營運的破冰船「極星號研究船(R/V Polarstern, PS144)」ArcWatch-2航次，由國家海洋研究院同仁代表台灣於2024年8月5日至10月16日深入前往北冰洋中部海域(Central Arctic Ocean)進行為期2個月的海洋現場調查作業與相關海洋研究，希望透過參與國際海洋科學調查研究，獲取第一手北冰洋海洋觀測數據，進一步了解在全球氣候變遷的背景下游海洋環境的變化。透過此次與德國海洋科研合作，未來作為我國開啟北極海域海洋環境監測、蒐集極區水文基礎資料之合作基礎，強化台灣極地海洋科學研究之量能。在國際上展示我國積極參與國際上極區海洋事務並對於國際海洋氣候問題的關心與貢獻，以實現「競逐太空、探索海洋」的海洋國家發展願景。

## 貳、研究行程

1. 時間與地點：113 年 8 月 5 日至 10 月 16 日。
2. 成員：國家海洋研究院 海洋科學及資訊研究中心 傅科憲副研究員
3. 研究行程概述如下：

日期	地點	行程
8月5日至8月6日	高雄-桃園-德國法蘭克福-挪威特羅姆瑟	搭機出發，抵達挪威特羅姆瑟
8月7日至8月8日	挪威特羅姆瑟	觀測調查前整備、設備設定、整備會議討論
8月9日至10月12日	北冰洋海域	搭乘研究船前往北冰洋執行海洋觀測調查作業，人員於大洋與海冰上執行海洋調查與採樣任務。
10月13日至10月14日	德國不來梅港-德國不來梅	觀測調查後設備卸載與回運
10月15日至10月16日	德國不來梅-德國法蘭克福-桃園-高雄	搭機返國

## 一、北冰洋觀測調查過程

德國極星號研究船(R/V Polarstern)是由德國阿爾弗雷德-維格納研究所(AWI, Alfred-Wegener-Institut)負責維運，是專門設計為極地科學研究的破冰船，船長約118米、寬度25米，該船能夠在2米厚的冰層中破冰航行，並可在最大厚度達3米的冰層中間歇性破冰。船上具備許多實驗室與海洋科儀設備，包括濕實驗室、乾實驗室、生物實驗室和化學實驗室，進行海洋生物、沉積物、冰心和水樣的採集和分析，裝備了冷藏和冷凍儲存設施，用於保存採集的樣品。海洋科儀設備包含多音束聲納、走航式海流儀、多參數水文觀測器、深海採樣器、可拋式溫鹽深儀投放器等，用於海底地形測繪和海洋水文研究。

北冰洋海洋科學探險航次(ArcWatch-2)是跨國聯合海洋科學研究調查，共有12個國家、53名研究人員(圖1)搭乘德國破冰船極星號(R/V Polarstern, PS144航次)，主要任務為延續過去北冰洋長期科學調查。船上也配備了氣象觀測設備，可用於觀測大氣條件和海冰情況，並具備直升機平台可以透過直升機進行空中觀測和樣品採集。本次研究為搭乘極星號航行超過12,000公里，沿途進行一系列的海洋與海冰上調查作業，關注議題包含海水溫度與洋流的改變、海水化學樣本採集、海洋漁業生物資源、海冰與海洋交界變化等。極星號於2024年8月9日從挪威特羅姆瑟啟航後(圖2)，首先前往斯瓦爾巴群島的朗伊爾城(Longyearbyen)交換兩位科學家並對船上的EK80回聲探測儀進行校準。隨後，沿途經過巴倫海(Barents sea)往北前往北冰洋，沿路航線中隨船進行了許多走航式的海洋量測並在斯瓦爾巴群島東北邊約北緯83度進行水文觀測站的測試站並在大陸斜坡上測試遠洋漁業拖網。

極星號在8月16日進入密集的海冰區後，極星號在北緯85度東經42度附近進行了

一次海冰測站測試所有冰上作業流程與機具，海冰測站作業時極星號使用左舷緩慢靠近海冰，人員會從左舷透過棧橋進入海冰區域進行冰上作業。當在強風情況下，極星號通常使用冰錨和繩索固定以保持穩定並緊貼海冰。在執行海冰作業同時，船上另一組科學人員在右舷進行船上定點一般 CTD 與潔淨 CTD 之多參數水文剖面量測和採集不同深度海水樣本以進行後續的海洋化學、微量元素、eDNA 等分析作業。在海冰作業時，海洋水文工作包含在海冰上搭設帳棚並在內部設置海洋紊流觀測系統，進行連續性的海洋水文與紊流剖面量測作業(圖3)；在海冰上透過機具鑿洞以後將海流儀固定在鋁管架子向下量測海流垂直分布(圖4)；架設不同種類與大小的海冰浮標觀測系統(圖5)。從海冰濃度衛星影像觀測顯示，在東部和中央北冰洋的冰覆蓋率相對較低，因此航次領隊決定從研究計劃中的東部斷面測線 III 開始主要的海洋科學觀測調查作業。在前往東部斷面測線 III 以前，在東經97度、北緯85度位置開始船上使用國家海洋研究院支援的可拋棄式溫鹽觀測系統 (Expendable Conductivity/Temperature/Depth, XCTD) 開始進行水體剖面的水文觀測，並在加克爾海脊(Gakkel Ridge)的深水區停靠了一個水文站，並發現該處水深900米處出現海底熱泉活動的訊號。

然而，在8月21日將要開始東部斷面測線 III 以前，由於一名船員生病，極星號需要緊急返回斯瓦爾巴群島進行醫療救援。由於「Sysselmesteren」的一架「超級美洲獅」遠程直升機可以飛行較遠距離並向極星號靠近，這也使得我們進行緊急醫療救援的時間得以縮短，因此極星號前後花費僅約一週後返回原訂要開始執行斷面測線 III 的起點繼續進行原訂的海洋觀測與調查工作。

重返調查工作的極星號在斷面測線 III (圖6)的作業探測路線主要為穿越南森海盆

(Nansen Basin)和阿蒙森海盆(Amundson Basin)進入馬卡羅夫海盆(Mokarov Basin)。在執行斷面測線調查過程中，大致可區分海洋測站跟海冰測站兩種，而海冰測站探險中將視航線規劃、海冰厚度及任務需求，而與部分海洋測站同時進行，海冰作業包含海冰上溫度、鹽度、紊流等水文量測、海冰上採集冰心樣本(圖7)、採集海冰樣本進行相關生物化學分析、使用延繩釣方式釣魚(圖8)、科學家背著儀器徒步行走在海冰上量測沿途海冰厚度(圖9)。大洋測站執行作業包含一般CTD/採水器(圖10)、潔淨CTD/採水器之多參數水文剖面量測與採集不同深度海水樣本，以及用於採集海洋生物樣本各類網具(圖11)。此外，從圖6由台灣研究團隊所攜帶上極星號布放可量測海洋溫度與鹽度剖面之XCTD，則是大大增加原本計畫中測站與測站間的空間解析度，這對於不論是在觀測資料取得數量與效率，以及調查北冰洋中部海洋水文變化皆扮演非常重要的關鍵。

在斷面測線 III 除了執行海洋測站與海冰測站以外，主要作業項目還包括回收兩個德國 AWI 海洋物理團隊於2023年部署在阿蒙森海盆(Amundson Basin)東部的海洋錨碇系統(圖12)，並在短時間內利用上面的儀器設備重新整備極組裝並於原點重新部署。儘管在冰中回收面臨多次表面浮球被海冰覆蓋而造成長時間在海面上搜尋的巨大挑戰，但所幸最後仍成功回收了兩套海洋錨碇系統。由於斷面測線 III 被列為主要優先完成任務，為了能夠更好地定量研究跨極漂流(Transpolar Drift)的源頭狀況，因此斷面測線 III 的終點額外增加測站而延伸至東經180度。

完成斷面測線 III 後，極星號繼續沿著東經180度往北前進至北緯87.5度附近的歷史測站，該歷史測站曾於2015年夏季由極星號和美國海岸警衛隊的「Healy」重覆進行海洋水文調查(GEOTRACES 交叉站點)。這個歷史測站除了進行海洋一般CTD/採水器與



潔淨 CTD/採水器、多層生物拖網等工作外，還在此進行了長時間的海冰測站作業。

隨後前往斷面測線 II，從馬卡羅夫海盆(Makarov Basin)沿125°E 穿越洛蒙諾索夫脊(Lomonosov Ridge)，直達北極點，進行了密集的海洋測站與海冰測站作業。在北極點，完成了另一項包括海洋測站和海冰測站的長時間測站作業，並拍攝了船上科學團隊的合影及北極點留影(圖13)。然後沿斷面測站 II 繼續向加克爾脊方向前進，在沿60°E 向南前進時，遭遇到極度惡劣的海冰情況(海冰厚度較厚)，導致極星號不得不偏離斷面測線 II 數海涅的位置進行海洋測站。斷面測站 II 最終在俄羅斯專屬經濟區以北約北緯85度附近結束。隨後向西南方向移動，沿30°E 進行最後的斷面測站 I，包括直升機航測和拖網作業。在向西行進的過程中，海冰使航程頗具挑戰，不得不採取向西南方向的繞行路徑，最終到達30°E 經線完成科考工作。

總結整個探險調查，儘管一開始極星號因緊急醫療事件導致損失部分航次作業時間，但由於在斷面測線 III 和前往北極點航線上海洋觀測調查作業進展相當順利，最後科學團段得以順利完成斷面測線 III 和斷面測線 II 所有的計劃工作，並在斷面測線 I 進行了部分海洋測站的一般 CTD/採水器、潔淨 CTD/採水器及 XCTD 水文調查作業。整個探險航行除了透過直升機進行的冰上航線測量協助導航外(圖14)，還受益於船上即時衛星影像取得與先進的圖像處理技術可以預先分析海冰狀況並提供較佳的行走航線，另外船上也有提供公里等級解析度的海冰雷達觀測，並每日更新海冰漂移修正的圖像。此外，對研究區域內漂浮海冰的再分析不僅有助於科學研究，還幫助預測沿途可能遇到的冰況類型。我們的站點和斷面不僅重複了先前對海洋水文環境、海洋微量金屬、營養鹽、污染物以及水樣中多種與生物相關物質的觀測，還進行了拖網捕撈，其中一些(如遠洋拖網)是首次在北冰洋中部海域完成。極星號上甚至透過購買額外的衛星影像

產品增加可獲得即時了解海冰現況，以及充分利用了各種海冰情況的資訊來規劃水文與冰站以及拖網作業。除了現場觀測，我們還進行了多項遙感觀測，包括直升機測量冰厚、雷達觀測雲層，以及輻射計測量地表輻射(圖15)與大氣探空氣球(圖16)。

## 二、初步調查成果

過去受到全球氣候變遷影響，北冰洋海冰覆蓋面積範圍持續縮小，例如2024年9月初衛星觀測顯示北冰洋海面覆蓋面積在夏季達到最小範圍，是近45年海面面積排名第9低，顯示夏季海冰覆蓋範圍每年仍呈負趨勢減少。藉由極星號探險的觀測資料能夠與以往的數據比較，進一步了解長期北冰洋的海洋環境變化並建立更完善的基準。本次調查穿越了歐亞海盆及部分馬卡羅夫海盆，還涵蓋了加克爾海脊和洛蒙諾索夫海脊，從而有效橫跨了表層由西伯利亞大陸棚到弗拉姆海峽的跨極漂流現象。這次探險主要的初步成果包含：

1. 極星號航次台灣蒐集北冰洋海域包含81組深水 CTD 水文垂直剖面觀測數據(如表1)、107組 XCTD 水文垂直剖面觀測數據(如表2)、10個海冰測站包含海流儀、紊流儀、迷你溫度鹽度錨碇等數據(如表3)、航線上船載式海流、海表溫鹽數據，後續將進一步深入分析並可提供給台灣海洋相關學者研究使用。
2. 在2024年8月20日我們在 Gakkel Ridge 上空進行了兩次 CTD/採水器的布放。第一個使用潔淨 CTD/採水器，在大約2900dbar 到3600dbar 記錄的所有特性中都有明顯的異常（如圖 16 所示的溫度）。由於靠近加克爾海脊，因此懷疑這個區域應有海底熱液的活動。由於當天船舶漂流速度快，因此當接續下放一般 CTD/採水器進行水文量測到達相同深度時約經過3小時以後，此時僅出現以3200 dbar 為中心的小異常（圖16，棕色）。然而，船隻繼續漂流，在一般

CTD/採水器上收的過程中又再次發現清晰可見的溫度異常現象，儘管溫度異常強度不如一開始強烈(圖16，水藍色)。對於這個深海熱泉的可能位置，透過船舶軌跡的初步分析目前尚無定論。但是，科學家在這個深海熱泉的深度範圍內收集了許多海水樣本，後續需要綜合當時的海洋水文環境與海樣結合進行進一步分析。

3. 在斷面測線 III 穿越了阿蒙森海盆、羅蒙諾索夫海脊，並延伸至馬卡羅夫海盆，直至阿爾法-門捷列夫海脊。對羅蒙諾索夫海脊兩側的 CTD 剖面進行比較，初步發現包含在阿美遜海盆，混合層較暖且鹽度較低(圖18 a, b)。這可能表明我們位於跨極漂流 (Transpolar Drift) 中，但 T-S 圖中“膝狀”變化的陡峭程度差異則暗示，這些變化可能僅由海冰融化引起。在歐亞海盆(Eurasian Basin)，大西洋水層(Atlantic Water layer)位於更高的水體中，其核心溫度高出超過  $0.3^{\circ}\text{C}$ 。兩個盆地中的該層下限均約為800公尺深度。我們在歐亞盆地約900公尺深處檢測到一個冷異常現象。靠近羅蒙諾索夫海脊時，該異常現象最為明顯。異常水層中的氧濃度相較上下水層更高，且隨著溫度異常加強而增加，表明這可能是“年輕水”。如預期，在美亞盆地的深層水溫度高出約 $0.5^{\circ}\text{C}$ ，且鹽度更高。
4. 在斷面測線 I 上進行 XCTD 量測從南森海盆到巴倫海大陸斜坡約145公里，共布放了15支 XCTD，空間分辨率約為12公里。觀測結果顯示(圖 19)，上層 400公尺內的守恆溫度(CT，圖 a)和絕對鹽度(SA，圖 b)的剖面圖在60至120公里之間，可以清晰觀察到 interleaving 水體交錯結構。T-S 圖(圖 c)進一步突顯了上層80公尺內的水文特性隨著我們進入大西洋水核心區而發生的顯著變化：CT 從冰點(約  $-1.7^{\circ}\text{C}$ )升高至  $3^{\circ}\text{C}$ ，SA 從  $32.2\text{ g/kg}$  增加至  $34.1\text{ g/kg}$ 。

## 參、心得與建議

1. **極地海洋探險心得：**極星號過去亦執行了許多全球極地國際合作項目，主要研究極地氣候變化及其對全球氣候的影響，調查極地生態系統，特別是極地海洋生物和冰川生態系統，監測極地海冰動態和冰川運動，為全球海平面變化研究提供數據。例如今年九月初衛星觀測顯示北冰洋海面覆蓋面積在夏季達到最小範圍，是近四十五年海面面積排名第九低，這似乎顯示夏季海冰覆蓋範圍的負趨勢依然持續。這次探險也發現與長期平均相比，在北冰洋中部海域觀察到了異常稀疏的海冰覆蓋，雖然情況與去年 ArcWatch1探險的觀察結果相似，但這次探險蒐集的資料將進一步分析海冰覆蓋異常稀疏與大氣跟海洋環流之間的關聯。船上蒐集的海洋水樣可進行海洋化學多種微量元素分析，這些微量元素對海洋生物至關重要。例如：了解人為物質的輸入、各類碳化合物、營養物質及汞等污染物，可協助評估北冰洋海洋化學的變化，這些調查都是衛星無法觀測的。這次探險中進行這麼多北冰洋海域的水文與生態調查，未來我們可進一步從大量數據來分析海水溫度與洋流的改變、海洋漁業生物資源豐度、海冰與海洋交界變化等，進一步將調查數據納入到耦合大氣/海洋/海冰數值模型，大大提升數值模式預測的準確性，後續研究分析亦可提供臺灣未來在北極海洋政策與事務之參考。
2. **海洋科學人才培育：**在全球氣候危機背景下，極地海冰與海洋環境的長期變遷成為國際關注重點。這次探險的參與是非常難得的機會，也是臺灣研究人員首次前往北冰洋實際參與跨國際海洋科學調查，透過這次參與跨國的北極科學合作，展現出台灣積極關注極地海洋環境受全球氣候影響的改變，了解氣候變遷的海洋環境變化。建議後續如果有相關極地研究船航次應支持台灣海洋科學家參與國際聯合航次，將有助培育研究人員提升「極地海洋科學」研究之國際觀並增加國際連結，也期許未來將促成更多國際合作並成功為台灣鏈結國際極地海洋科學探險往前邁出新的一頁。



3.

圖1 極星號 PS144航次參與船員與科學團隊。



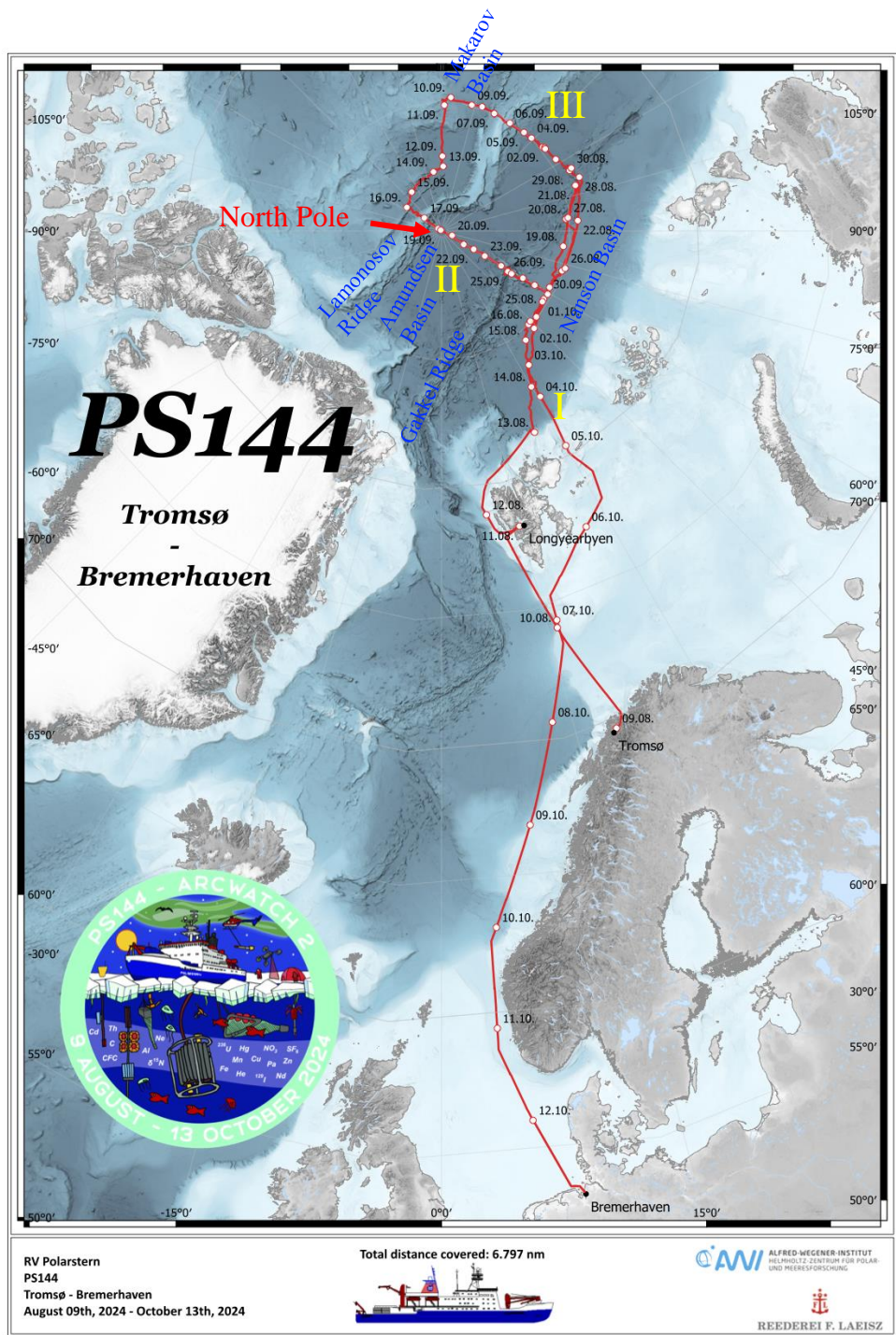


圖2 極星號 ARCWATCH2 (PS144航次)探險航線圖，主要測線斷面執行順序為 III、II、I。



圖3 海冰作業測試站，(上)搭設帳棚內部設置海洋紊流觀測系統，(下) 海洋紊流觀測系統設置情況。





圖4 海冰作業測試站，在海冰上透過機具鑿洞以後將海流儀固定在鋁管架子向下量測海流垂直分布。





圖5 海冰上架設不同種類與大小的浮標觀測系統。

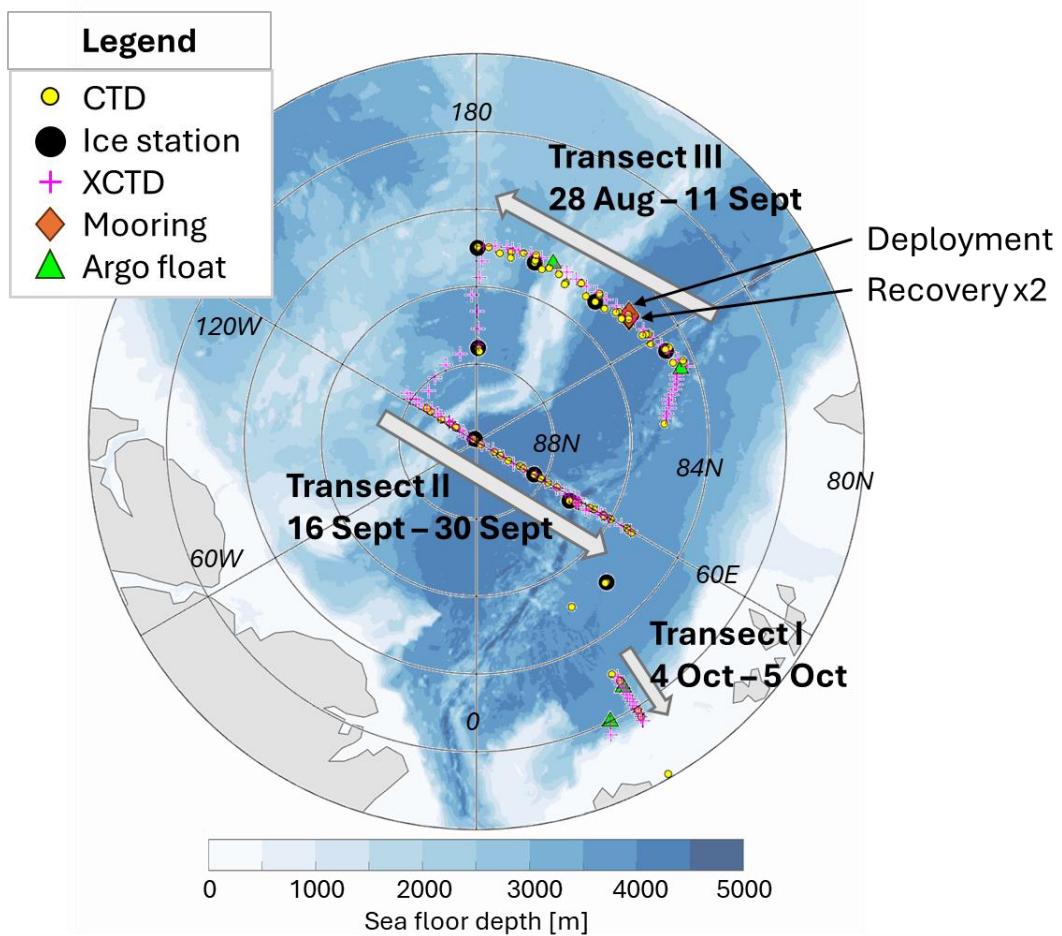


圖6 極星號探險在斷面測線 I、II、III 所執行海洋測站、海冰測站、XCTD 測站與海洋錨碇系統分布圖。



圖7 海冰上採集冰心樣本。



圖8 在海冰作業使用延繩釣釣魚。





圖9 科學家背著儀器徒步行走在海冰上量測沿途海冰厚度。



圖10 一般 CTD/採水器由極星號右舷藉由絞機向外移動的布放情形。



圖11 後甲板布放漁業拖網網具作業。

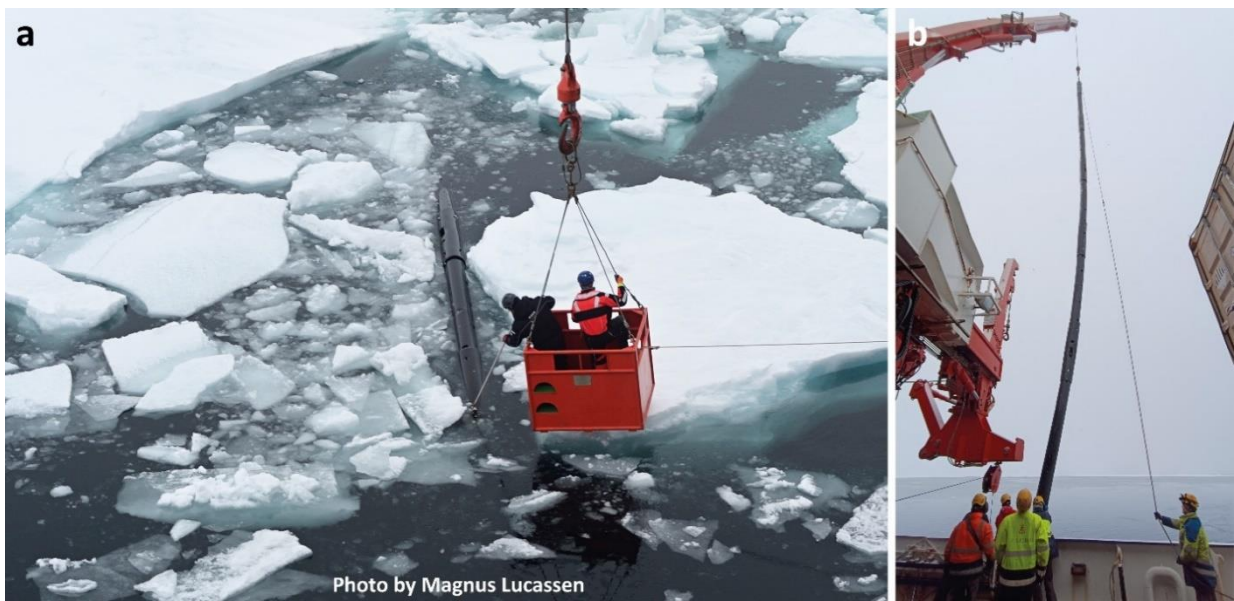


圖12 極星號回收海洋錨碇系統過程。





圖13 (上)探險科學家團體合照。(下)台灣代表參與科學家在北極點(North Pole)攝影紀錄。



圖14 搭乘直升機至附近海冰上進行 XCTD 作業



圖15 極星號上層甲板安裝大氣觀測相關儀器。

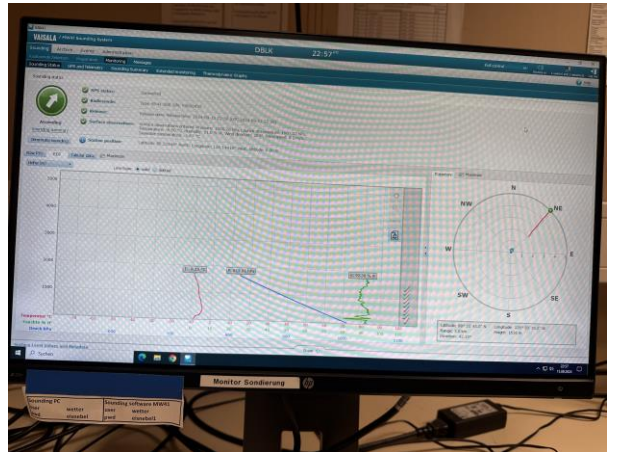
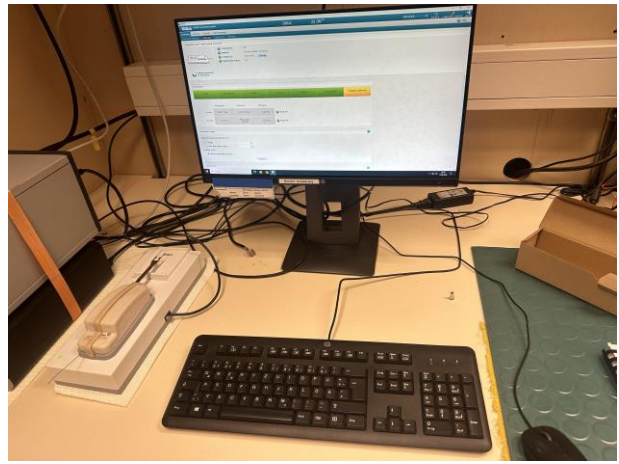


圖16 (左)國海院同仁在上層後甲板施放探空氣球。(右上)探空氣球的觀測感測器。(右下)布放以後即時回傳大氣剖面溫度、氣壓等資料。



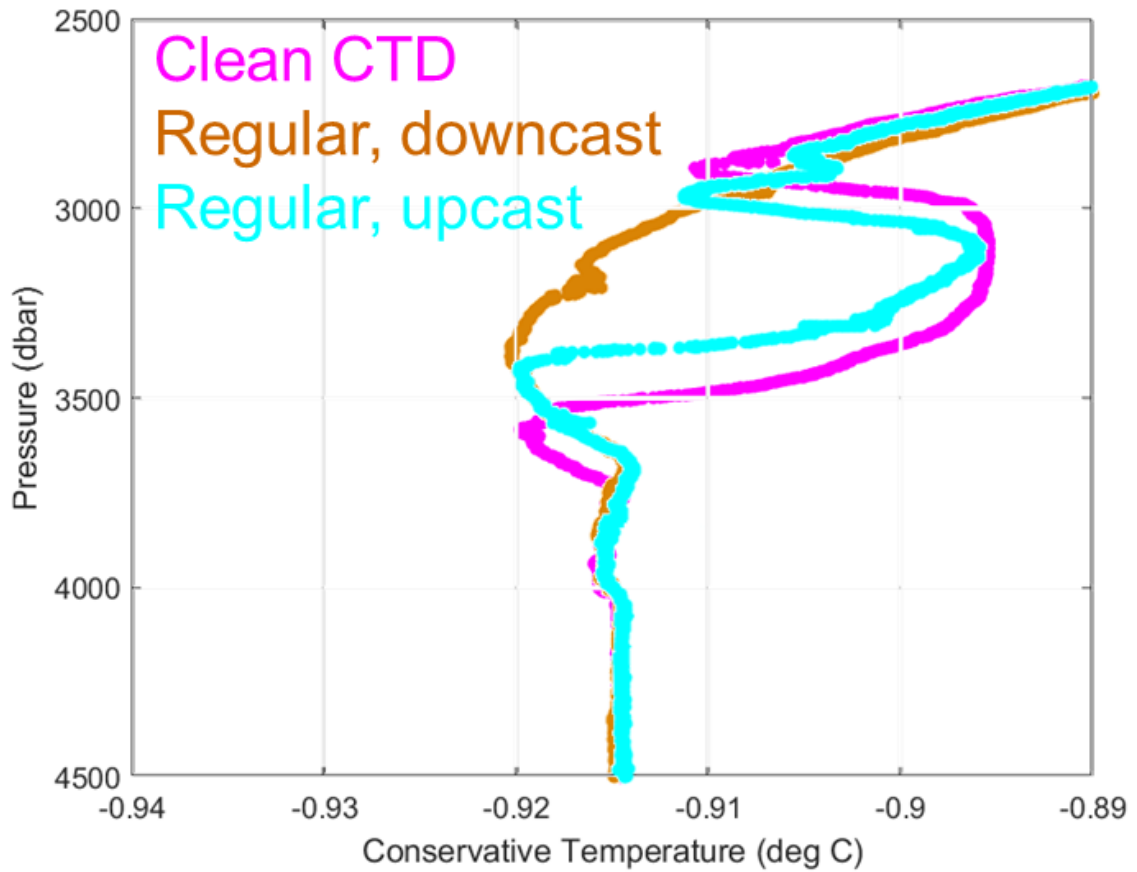


圖17 在 Gakkel Ridge 上方進行 CTD/採水器量測的時候，從溫度發現在壓力2800-3500dbar 有海底熱泉的蹤跡。

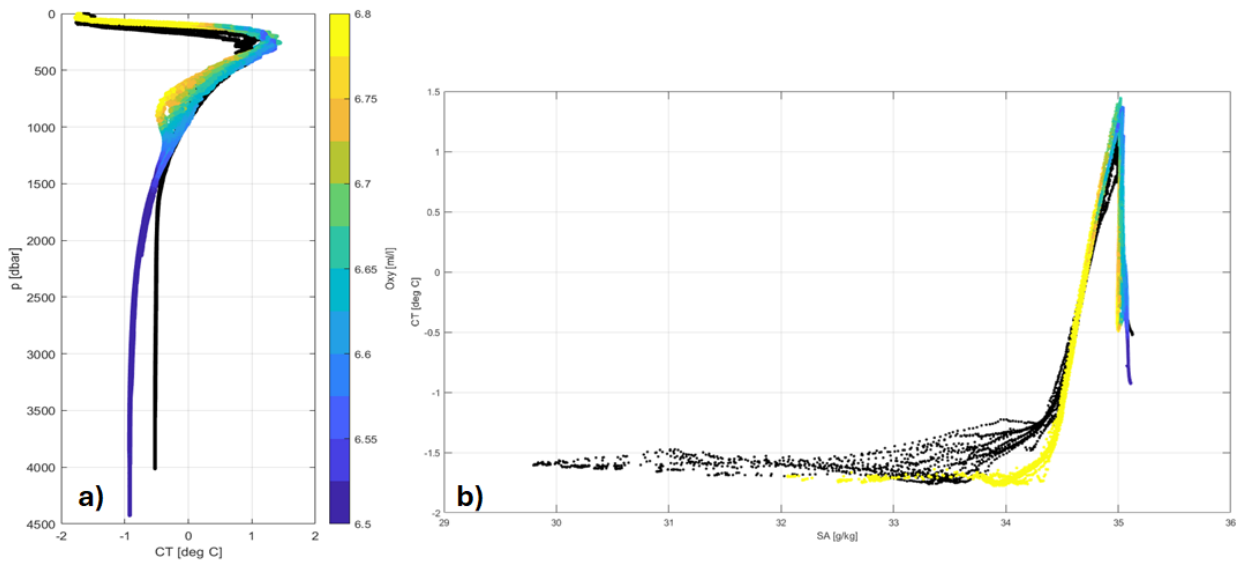


圖18 斷面測線 III 的溫度與鹽度分析。在歐亞盆地一側以彩色代表，顏色為溶氧值；而在美亞盆地一側以黑色代表。



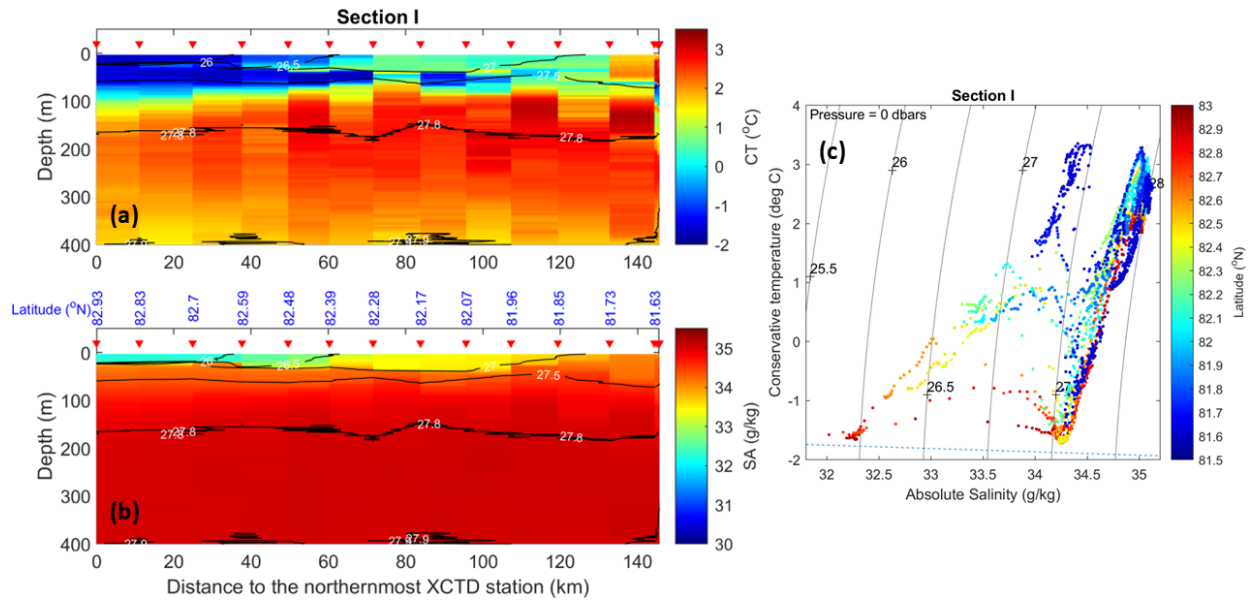


圖19 在斷面測線 I 上進行 XCTD 量測結果顯示，在 Barents Sea 大陸斜坡從上層400公尺的溫度與鹽度分布。

## 肆、附錄

表1 CTD 測站列表: Metadata of all CTD station and casts. "Station" refers to the final part of the respective file name, starting with "PS144\_". Also indicated are the LADCP profile numbers. Bold fonts highlight the casts used for the mooring sensor calibrations (see subsection "Instrument calibration casts" in this chapter). Asterisk \* highlights the cast with the suspected plume during the upcast (see Preliminary results).

Station	Date	Time (UTC)	Latitude	Longitude	Water depth	Profile depth	LADCP
003_01	14.08.2024	7:03	83.04	29.73	3858	3877	1
003_03	14.08.2024	11:54	83.04	29.96	3851	3996	2
006_01	14.08.2024	5:57	85.04	42.70	3929	3954	3
007_04	16.08.2024	19:23	85.06	42.80	3929	3951	4
007_07	17.08.2024	2:57	85.05	42.36	3685	400	-
<b>*011_02</b>	<b>20.08.2024</b>	<b>5:18</b>	<b>85.11</b>	<b>95.37</b>	<b>4584</b>	<b>4525</b>	<b>5</b>
<b>018_01</b>	<b>28.08.2024</b>	<b>6:39</b>	<b>84.27</b>	<b>110.66</b>	<b>3985</b>	<b>1000</b>	<b>6</b>
018_03	28.08.2024	11:34	84.28	111.33	4045	3960	7
020_02	28.08.2024	22:53	84.46	113.81	2680	2569	8
023_02	29.08.2024	14:01	84.49	115.33	4067	4022	9
023_05	30.08.2024	0:34	84.46	115.88	3790	3794	10
023_09	30.08.2024	10:29	84.41	115.79	3247	400	11
026_01	30.08.2024	21:16	84.67	119.06	4391	4331	12
028_01	31.08.2024	4:13	84.76	121.97	4385	4326	13
028_03	31.08.2024	11:22	84.79	122.13	4384	1001	14
031_01	31.08.2024	19:27	84.84	125.58	4375	4313	15
035_01	01.09.2024	19:27	84.91	130.04	4343	4282	16
037_01	02.09.2024	2:13	84.88	129.83	4346	4286	17
041_01	02.09.2024	15:50	84.82	128.70	4353	4292	18
046_01	03.09.2024	20:50	84.95	132.40	4322	1000	19
046_03	04.09.2024	1:19	84.93	132.57	4319	4259	20
048_01	04.09.2024	11:47	85.00	135.92	4256	4192	21
050_02	04.09.2024	22:44	85.03	139.58	3951	3889	23
050_05	05.09.2024	6:59	85.02	139.80	3960	3893	24
050_09	05.09.2024	15:18	85.02	140.10	3465	1000	-
052_01	05.09.2024	22:32	85.06	142.83	3388	3326	25
054_01	06.09.2024	6:20	85.08	146.34	2196	2100	26
057_01	06.09.2024	19:03	85.08	150.46	958	917	27
057_03	06.09.2024	21:35	85.08	150.51	950	913	28
059_01	07.09.2024	3:58	85.03	153.75	1549	1497	29
064_01	07.09.2024	17:46	84.98	157.14	2510	2448	30
065_02	07.09.2024	23:09	84.98	159.04	3434	3367	31
067_02	08.09.2024	7:29	84.95	161.90	3560	1000	-
067_04	08.09.2024	11:37	84.94	161.90	3560	3495	32
067_07	08.09.2024	18:35	84.93	162.19	3559	3494	33
069_01	09.09.2024	4:14	84.95	165.76	3501	3437	34
073_01	09.09.2024	15:32	84.94	169.28	3423	400	-
073_04	09.09.2024	18:05	84.95	169.26	3424	3360	35
075_01	10.09.2024	0:49	84.93	172.78	3175	3122	36
077_01	10.09.2024	7:32	84.92	176.26	2630	2575	37
080_02	10.09.2024	20:38	84.92	179.57	1977	1919	38
080_04	11.09.2024	1:33	84.94	179.41	2072	2054	39

085_02	12.09.2024	3:11	87.52	178.89	3996	3934	40
085_06	13.09.2024	14:13	87.49	178.37	3994	3932	41
085_09	13.09.2024	22:33	87.46	177.90	3994	1000	42
090_01	16.09.2024	3:03	88.36	-124.66	3560	3437	43
090_03	16.09.2024	9:20	88.37	-124.12	3529	1000	-
094_01	16.09.2024	21:33	88.68	-123.89	3996	3933	44
097_01	17.09.2024	7:20	89.01	-125.76	1664	1619	45
102_01	17.09.2024	18:14	89.34	-125.48	1656	1632	46
102_03	17.09.2024	22:31	89.33	-125.39	1668	1000	47
105_01	18.09.2024	6:09	89.66	-126.38	4250	4189	48
109_02	18.09.2024	22:36	89.94	-151.08	4264	1000	49
109_05	19.09.2024	5:25	89.95	-144.85	4264	4203	50
109_08	19.09.2024	15:27	89.96	-131.63	4266	4205	51
111_01	20.09.2024	3:37	89.68	59.73	4324	4264	52
113_01	20.09.2024	16:35	89.36	59.90	4366	4308	53
115_01	21.09.2024	2:55	89.03	59.73	4395	4336	54
<b>115_03</b>	<b>21.09.2024</b>	<b>10:26</b>	<b>89.00</b>	<b>58.88</b>	<b>4396</b>	<b>1000</b>	-
118_01	22.09.2024	3:31	88.70	60.66	4410	4351	55
121_01	22.09.2024	17:39	88.40	59.97	4415	4357	56
123_01	23.09.2024	3:56	88.08	60.17	4416	1000	-
<b>123_04</b>	<b>23.09.2024</b>	<b>10:17</b>	<b>88.07</b>	<b>59.93</b>	<b>4416</b>	<b>4359</b>	-
125_01	23.09.2024	19:43	87.76	60.03	4365	4320	57
127_01	24.09.2024	4:58	87.43	60.25	3521	3510	58
134_03	25.09.2024	12:24	86.98	58.64	4896	4848	59
134_06	26.09.2024	2:41	87.04	57.38	4243	1000	60
134_09	26.09.2024	11:08	86.99	58.57	4845	4794	61
138_01	27.09.2024	14:10	86.74	59.10	2942	2872	62
141_01	28.09.2024	2:25	86.48	60.03	2122	2109	63
141_03	28.09.2024	6:58	86.49	59.53	2094	1000	64
144_02	28.09.2024	18:30	86.17	60.10	3909	3846	65
144_04	29.09.2024	0:55	86.17	59.81	3911	1000	66
147_01	29.09.2024	11:26	85.83	59.86	3927	3863	67
149_01	29.09.2024	20:42	85.52	60.01	3936	3871	68
152_01	30.09.2024	16:17	85.25	59.77	3926	3861	69
152_03	30.09.2024	22:17	85.24	59.53	3927	1000	70
156_02	04.10.2024	5:08	82.70	30.82	3692	3629	71
157_02	04.10.2024	18:25	81.85	30.89	3166	3102	72
158_01	05.10.2024	2:03	81.53	30.81	828	798	73
159_01	05.10.2024	14:24	80.09	29.91	306	297	74

表2 XCTD 测站列表: Overview of XCTD deployments

XCTD event label	Date	Time (UTC)	Latitude	Longitude	Max. Depth (m)	SN
PS144_1-2	13.08.2024	16:10	81.68	24.68	473	22031244
PS144_2-1	13.08.2024	20:22	81.98	25.56	1085	22031247
PS144_13-1-1	20.08.2024	17:55	85.07	97.13	178.5	23117946
PS144_13-1-2	20.08.2024	18:01	85.07	97.12	31	23117947

PS144_13-2	20.08.2024	19:28	85.02	98.30	2000	23117948
PS144_13-3	20.08.2024	21:05	84.95	99.77	2000	23117949
PS144_13-4	20.08.2024	22:43	84.92	101.10	2000	23117951
PS144_13-5	21.08.2023	0:31	84.92	102.32	2000	23117950
PS144_13-6	21.08.2024	2:18	84.81	103.54	2000	23117952
PS144_13-7	21.08.2024	5:52	84.70	104.77	2000	23117953
PS144_13-8	21.08.2024	7:39	84.63	105.83	1853.5	23117954
PS144_13-9-1	21.08.2024	9:48	84.58	107.23	218.5	23117956
PS144_13-9-2	21.08.2024	9:56	84.58	107.24	1359.5	23117957
PS144_13-1	21.08.2024	11:23	84.55	108.46	2000	23128654
PS144_17-1	28.08.2024	4:49	84.22	109.68	1226	23128655
PS144_19-1	28.08.2024	19:33	84.38	112.26	1124	23117955
PS144_21-1-1	29.08.2024	2:49	84.51	114.84	223.8	23128656
PS144_21-1-2	29.08.2024	2:58	84.52	114.83	2000	23128657
PS144_25-1	30.08.2024	18:52	84.62	117.44	1776.5	23128659
PS144_27-1	31.08.2024	2:15	84.72	120.38	1080.5	23128660
PS144_3-1	31.08.2024	17:01	84.81	123.82	2000	23128661
PS144_32-1	01.09.2024	0:17	84.85	127.50	2000	23128662
PS144_45-1	03.09.2024	15:57	84.93	130.58	2000	23128658
PS144_47-1	04.09.2024	6:50	84.96	134.22	1325.5	23128664
PS144_49-1	04.09.2024	17:49	85.03	137.64	1281.5	23128665
PS144_51-1	05.09.2024	20:27	85.05	141.10	2000	23128644
PS144_53-1	06.09.2024	3:31	85.07	144.74	2000	23128647
PS144_56-1	06.09.2024	16:09	85.07	148.48	1759	23128646
PS144_58-1	07.09.2024	0:40	85.04	151.89	807	22031201
PS144_6-1	07.09.2024	7:11	85.01	155.42	2000	23128642
PS144_66-1	08.09.2024	3:09	84.97	160.52	2000	23128645
PS144_68-1	09.09.2024	2:06	84.95	163.96	1908.5	23128643
PS144_72-1	09.09.2024	13:11	84.95	167.39	2000	23128649
PS144_73-3	09.09.2024	17:42	84.95	169.26	2000	23128648
PS144_74-1	09.09.2024	23:03	84.93	171.01	2000	23128650
PS144_76-1	10.09.2024	5:23	84.93	174.40	2000	23128651
PS144_79-2	10.09.2024	17:50	84.94	177.88	2000	23117991
PS144_82-1	11.09.2024	14:33	85.33	178.16	988	23118653
PS144_82-2	11.09.2023	19:20	85.77	178.94	2000	23117992
PS144_82-3	12.09.2023	0:23	86.22	-178.06	609	23117993
PS144_82-4	12.09.2024	4:43	86.63	179.58	2000	23117989
PS144_82-5	12.09.2024	11:30	87.08	179.20	922	23117988
PS144_85-5	13.09.2024	13:53	87.49	178.39	2000	23117986
PS144_87-1	14.09.2024	14:46	87.69	-169.39	1433.5	23117990
PS144_87-2	15.09.2024	0:25	87.86	-158.09	2000	23117985
PS144_87-3	15.09.2024	7:43	88.02	-147.00	2000	23117983
PS144_87-4	15.09.2024	17:13	88.20	-136.26	2000	23117982
PS144_Heli_XCTD-1	16.09.2024	10:12	87.82	-124.97	2000	23117994

PS144_Heli_XCTD-2	16.09.2024	10:43	87.96	-123.00	2000	23117984
PS144_Heli_XCTD-3	16.09.2024	11:13	88.09	-124.93	2000	23128601
PS144_Heli_XCTD-4	16.09.2024	11:43	88.23	-123.03	2000	23117999
PS144_92-1	16.09.2024	17:42	88.47	-123.33	2000	23128605
PS144_93-1	16.09.2024	19:31	88.57	-125.80	2000	23128602
PS144_95-1	17.09.2024	2:05	88.77	-125.82	1150	23118000
PS144_96-1	17.09.2024	4:18	88.88	-124.53	2000	23117997
PS144_99-1-1	17.09.2024	11:07	89.13	-125.11	645	23117998
PS144_99-1-2	17.09.2024	11:16	89.13	-126.80	879	23117996
PS144_1-1	17.09.2024	14:17	89.25	-126.00	1610	23128604
PS144_13-1	18.09.2024	2:22	89.45	-123.38	1152	23117995
PS144_14-1-1	18.09.2024	4:02	89.57	-125.72	426	23128603
PS144_14-1-2	18.09.2024	4:14	89.58	-125.48	910	23117968
PS144_16-1	18.09.2024	11:09	89.78	-114.41	2000	23117967
PS144_17-1	18.09.2024	13:10	89.90	-115.20	1276	23117964
PS144_11-1	20.09.2024	1:06	89.84	63.29	1171	23128630
PS144_112-1	20.09.2024	13:18	89.53	63.18	2000	23128631
PS144_114-1	20.09.2024	22:23	89.21	60.43	106	23117969
PS144_117-1	21.09.2024	23:27	88.88	59.42	828	23128633
PS144_119-1	22.09.2024	9:44	88.56	59.99	2000	23128634
PS144_122-1-1	23.09.2024	0:17	88.24	61.40	656.5	23128635
PS144_122-1-2	23.09.2024	0:23	88.24	61.44	755.5	23128632
PS144_124-1	23.09.2024	16:24	87.93	60.05	933	23128637
PS144_126-1	24.09.2024	2:00	87.60	60.03	74	23128638
PS144_126-2	24.09.2024	2:13	87.60	60.01	64	23128636
PS144_129-1	24.09.2024	11:23	87.34	59.63	389	23128639
PS144_129-2	24.09.2024	11:26	87.33	59.63	2000	23128640
PS144_131-1	24.09.2024	18:25	87.23	59.73	1784	23128615
PS144_132-1	24.09.2024	21:41	87.10	60.46	2000	23128616
PS144_133-1	25.09.2024	0:35	86.97	61.03	2000	23128614
PS144_134-2	25.09.2024	12:09	86.98	58.65	2000	23128617
PS144_134-8	26.09.2024	10:51	86.99	58.59	2000	23128612
PS144_136-1	27.09.2024	6:00	86.92	58.64	439	23128613
PS144_136-2	27.09.2024	6:13	86.91	58.67	2000	23128611
PS144_139-1	27.09.2024	18:12	86.69	58.50	635	23128609
PS144_14-1	27.09.2024	21:12	86.59	58.38	832	23128608
PS144_142-1	28.09.2024	11:09	86.38	60.00	2000	23128610
PS144_143-1	28.09.2024	13:40	86.26	59.75	422	23128607
PS144_143-2	28.09.2024	13:45	86.26	59.72	2000	23128606
PS144_144-1	28.09.2024	18:06	86.17	60.13	2000	23128628
PS144_145-1	29.09.2024	5:26	86.01	59.54	2000	23128627
PS144_148-1	29.09.2024	17:28	85.68	60.04	2000	23128624
PS144_15-1	30.09.2024	3:08	85.40	59.83	1630	23128625
PS144_155-1	04.10.2024	2:20	82.93	30.98	2000	23128622

PS144_155-2	04.10.2024	3:26	82.83	30.85	2000	23128626
PS144_156-1	04.10.2024	4:44	82.70	30.82	2000	23128629
PS144_155-3-1	04.10.2024	11:30	82.60	30.87	669	23128621
PS144_155-3-2	04.10.2024	11:35	82.59	30.86	2000	23128618
PS144_155-4	04.10.2024	12:28	82.48	30.80	1920	23128619
PS144_155-5	04.10.2024	13:22	82.39	30.86	2000	23117966
PS144_155-6	04.10.2024	14:20	82.28	30.85	2000	23128623
PS144_155-7	04.10.2024	15:21	82.17	30.86	2000	23128620
PS144_155-8	04.10.2024	16:13	82.07	30.87	754	23117962
PS144_155-9	04.10.2024	16:59	81.96	30.89	2000	23117961
PS144_157-1	04.10.2024	18:01	81.85	30.89	2000	23117959
PS144_155-1	04.10.2024	23:53	81.73	30.86	2000	23117960
PS144_155-11-1	05.10.2024	0:44	81.63	30.82	1015.5	23117965
PS144_155-11-2	05.10.2024	0:51	81.62	30.82	480	23117963
PS144_155-11-3	05.10.2024	0:57	81.62	30.83	1975	23117958

表3海冰测站列表: Overview of under-ice measurements during ice stations. No instruments were deployed during ICE3, 6 and 9.

Ice station	Instrument	Event label	Date	Time (UTC)	Site	Latitude (deg)	Longitude (deg)
ICE1	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_7_RDI300	16.08.2024	14:20:00	MS S	85.060	42.990
			16.08.2024	19:24:00	MS S	85.054	42.843
	Nortek S1000 ADCP SN 104403	PS144_7_Nortek1000	16.08.2024	15:34	MS S	85.060	42.990
			16.08.2024	19:00	MS S	85.054	42.843
	SeaBird SBE37 + SBE56 mini mooring*	PS144_7_miniMoorin g	16.08.2024	15:34	MS S	85.060	42.990
			16.08.2024	19:00	MS S	85.054	42.843
ICE2	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_23_RDI300	29.08.2024	15:21	MS S	84.423	115.608
			30.08.2024	9:59	MS S	84.422	115.651
	RDI WH600kHz ADCP SN 19316	PS144_23_RDI600	29.08.2024	18:17	floe edge	84.423	115.608
			30.08.2024	9:18	floe edge	84.422	115.651
	Nortek S1000 ADCP SN	PS144_23_Nortek1000	29.08.2024	17:10	floe edge	84.423	115.608

	104403						
			30.08.2024	9:15	floe edge	84.422	115.651
	SeaBird SBE37 + SBE56 mini mooring	PS144_23_miniMooring	29.08.2024	18:17	floe edge	84.423	115.608
			30.08.2024	9:18	floe edge	84.422	115.651
ICE4	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_50_RDI300	05.09.2024	11:16	MS S	85.025	140.136
			05.09.2024	17:33	MS S	85.026	140.086
	Nortek S1000 ADCP SN 104403	PS144_50_Nortek1000	05.09.2024	1:43	floe edge	85.025	140.136
			05.09.2024	18:53	floe edge	85.026	140.086
	SeaBird SBE37 + SBE56 mini mooring	PS144_50_miniMooring	05.09.2024	2:00	floe edge	85.025	140.136
			05.09.2024	18:30	floe edge	85.026	140.086
	RBRduo + RBRconcer to micro mooring	PS144_50_μMooring	05.09.2024	2:00	floe edge	85.025	140.136
			05.09.2024	18:30	floe edge	85.026	140.086
ICE5	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_67_RDI300	08.09.2024	11:02	MS S	84.940	162.185
			08.09.2024	20:01	MS S	84.950	162.206
	Nortek S1000 ADCP SN 104403	PS144_67_Nortek1000	08.09.2024	14:56	MS S	84.940	162.185
			08.09.2024	19:57	MS S	84.950	162.206
ICE7	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_85_RDI300	12.09.2024	20:43	MS S	87.513	179.037
			13.09.2024	17:09	MS S	87.208	178.930
ICE8	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_109_RDI300	18.09.2024	22:30	MS S	89.946	-153.496
			19.09.2024	20:05	MS	89.961	-137.272

					S		
	Nortek S1000 ADCP SN 104403	PS144_109_Nortek10 00	18.09.2024	22:35	MS S	89.946	-153.496
			19.09.2024	20:03	MS S	89.961	-137.272
ICE10	RDI WH300kHz ADCP SN 9271	PS144_134_RDI300	25.09.2024	6:13	MS S	86.988	58.505
			26.09.2024	20:11	MS S	87.035	55.859
	Nortek S1000 ADCP SN 104403	PS144_134_Nortek10 00	25.09.2024	6:04	MS S	86.988	58.505
			26.09.2024	20:13	MS S	87.035	55.859
	RBRduo + RBRconcer to micro mooring	PS144_134_μMooring	25.09.2024	6:00	MS S	86.988	58.505
			26.09.2024	20:13	MS S	87.035	55.859