

臺美海洋合作 勵進首航帛琉

國科會支持的臺美海洋研究合作第一、二島鏈渦旋與紊流實驗及航向藍海計畫於 2023 年 5 月至 7 月間，由國家研究船隊國家實驗研究院勵進研究船與美國華盛頓大學研究船湯姆士·湯普森(R/V Thomas G. Thompson)聯合，在北太平洋西部國際海域進行海上實驗。勵進航次由國立臺灣大學海洋研究所詹森教授領隊，6 月 23 日 10:00 自安平港出發赴菲律賓東方 240 哩以東的海域進行實驗，蒐集中型海洋渦旋物理與生地化參數，以及精準測量海面高度，校驗美法最新衛星測高任務 SWOT 資料。經過 4 天現場實驗、7 天航行，於 7 月 3 日順利靠泊帛琉科羅港，創下國家研究船隊研究船首次拜訪邦交國帛琉的紀錄，也是我國海洋研究跨出臺灣周邊海域，邁向全球海洋，實現航向藍海的一大步。

臺美合作第一、二島鏈渦旋與紊流實驗(Island Arc Turbulent Eddy Regional Exchange, ARCTERX)是 2019 年底，國科會林敏聰副主委(時任科技部自然司司長)，率領地球科學領域的學門召集人及學者，赴美國華盛頓特區拜訪美國國家科學基金會期間，美方海軍研究處(Office of Naval Research)計畫經理史考特·哈波(Scott Harper)向我方提出五年期合作計畫的構想，延續雙方自 2000 年亞洲聲學實驗(ASIAEX)以來的一系列物理海洋合作研究。為了與美方有對等的合作計畫，國立臺灣海洋大學蔣國平教授主持的國科會中程綱要「航向藍海」計畫與國科會海洋學門分別支持「西北太平洋觀測網計畫」和「黑潮與紊流能量交換整合計畫」，與美國 ARCTERX 合作分享觀測資源與科研成果。本項合作的科學目的在探索海洋中尺度海洋渦旋跟慣性內波、內潮交互作用產生的能量交換、轉移，到進一步產出次中尺度蜿蜒流、環狀流、絲狀流、渦流，以及更小尺度紊流的動力過程(圖 1)，不僅將是海洋科學上的一大進展，也幫助我們釐清這些過程在全球海洋能量收支裡扮演的角色，進而建立各種尺度運動之間交互作用的數學模型，改善數值模式裡動力機制的真實性，提升數值模擬及氣候變遷耦合模式模擬的精準度，對預測全球暖化、海洋藍碳收支與分布也有一定的幫助。

參與勵進研究船 2308 臺美合作航次的跨國、跨校、跨領域研究團隊除了航次領隊，由 12 位國立臺灣大學、國立成功大學、國立中山大學、國立臺灣師範大學的技術員、助理、研究生與 1 位美國奧勒岡州立大學的研究生，加上 8 位國家實驗研究院海洋中心研究人員與工程師組成，執行海洋渦旋探測與衛星遙測地面校驗聯合任務。其中美法最新一代衛星遙測任務「海面波浪海底地形」(Surface Wind Ocean Topography, SWOT) 的海上校驗資料蒐集，由國立陽明交通大學黃金維教授與國立臺灣大學海洋研究所張翠玉副教授主導，在 SWOT 衛星掃測海面的軌道下，以 5 組裝設在研究船上的全球衛星定位系統加上一顆音波式海面相對高度計(照片 1)，精準的計算船在 SWOT 掃測範圍內從 6 月 25 日

到 27 日研究船走 Z 字形航跡期間(圖 2)相應的海面高度，做為 SWOT 海面測高的比對資料。經過校驗的高解析度 SWOT 衛星高度資料，能將變動尺度為 100 多公里的海洋中尺度現象研究一口氣推進到數公里尺度、更細緻的次中尺度動力過程研究，預期將大幅改善各種尺度海洋預報模式的模擬結果。

中尺度海洋渦旋研究方面，臺美研究團隊於航前選定一個在國際海域裡直徑大約 200 公里的氣旋渦進行穿越渦旋水文、紊流強度、生地化、氣象參數觀測。6 月 27 日傍晚抵達渦旋西北方位第一個測站 E1，海洋中心研究人員隨即準備本航次首次鹽溫深儀(CTD) 觀測及採集海水樣本，研究團隊則將隨後要用的紊流剖面觀測儀(VMP-250) 及航行鹽溫深儀(UCTD)探針架設在 CTD 保護架上與 CTD 一起下放進行探測前的校驗(照片 2)。這次實驗除了渦旋中心附近與東南側邊緣這兩個測站 CTD 下到 3000 公尺深，希望了解深海是否受渦旋的作用影響，及中心和邊緣的水文及生地化特性差異，其餘測站都聚焦在 1200 公尺以上的渦旋特徵。每站除了記錄溫度、鹽度、溶氧、螢光、光度、穿透度剖面等電子資料，CTD 附帶採水瓶於不同深度採回的海水樣本，都再分瓶裝分別測營養鹽、溶氧、氧消耗率等參數(照片 3)。勵進研究船配置兩套船載都普勒海流剖面儀(ADCP)，分別測上層大約 300 公尺(ADCP 音頻 150 kHz)與大約 1000 公尺以上(ADCP 音頻 38 kHz)的海流流速剖面，可以解析氣旋裡的流速結構。配合前述的 SWOT 任務，提供更多的海洋現場校驗參數。

除了以上水文、流速、生地化等參數，渦旋裡和週邊的紊流強度主宰了渦旋能量的轉換、耗散，以及與週遭水團的交換，從氣旋渦流中心上升的冷水則會經由海氣交互作用，影響區域天氣的變化、海洋表層日暖層的發展與晚上的對流消散。紊流強度剖面觀測通常在 CTD 觀測跟採完水樣之後，從船尾放出可以快速測量溫度、鹽度與海流剪切應力的紊流剖面儀(型號 VMP-250)，紊流儀用 800 磅釣線綁著由電動絞機控制自由落與收回(照片 4)，探針可以量到大約 300 公尺以上的紊流參數，再推算成代表紊流強度的紊流動能耗散率和相應的密度擴散係數。在渦旋觀測裡研究團隊總共做了 41 個紊流剖面，這也是臺灣海洋學界首次在大洋中尺度渦旋裡進行密集紊流觀測，創下最東、最南的紊流直接測量紀錄。有關此氣旋渦旋的觀測在 6 月 30 日 12:30 結束，航向帛琉。近 3 天的觀測我們看到幾個有趣的現象，例如渦旋的中心與週邊水位差與流速弱化的很快，由圖 2 衛星海面高度和地轉流圖可看到此渦旋跟其西南方一個更大、更強的氣旋渦有合而為一的趨勢，此渦旋裡面的紊流強度則相對很弱，值得我們由衛星遙測數據密切追蹤其演變過程。海洋渦旋跟渦旋的融合與其中能量轉移或耗散是當今海洋研究的熱門主題之一，此次臺美合作的觀測有助解開其中謎團。

本航次在 7 月 3 日抵達帛琉海域(照片 5)，下午 3:30 順利進入帛琉科羅港停靠(照片 6)，在勵進研究船黃久倬船長、全體船員、國研院海洋中心 8 位研究人員的共同參與下，完美達成任務，創下我國研究船首次抵達帛琉拜訪的紀錄，期待未來能航向關島再創紀錄。支持本項臺美合作的「航向藍海」，在國科會與

臺灣海洋聯盟的全力推動下，是臺灣海洋科學未來發展的主軸，也是臺灣與其他國家海洋研究接軌的重要橋樑。

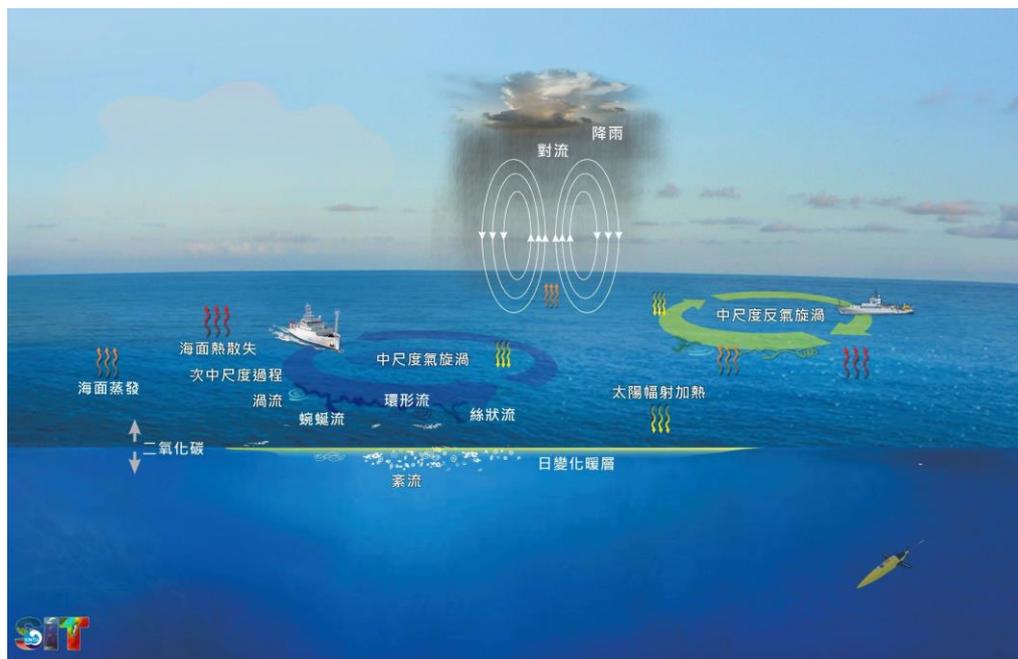


圖 1：臺美合作探索海洋中尺度海洋渦旋跟慣性內波、內潮交互作用產生的能量交換、轉移，到進一步產出次中尺度蛇蟻流、環狀流、絲狀流、渦流，以及更小尺度紊流的動力過程。

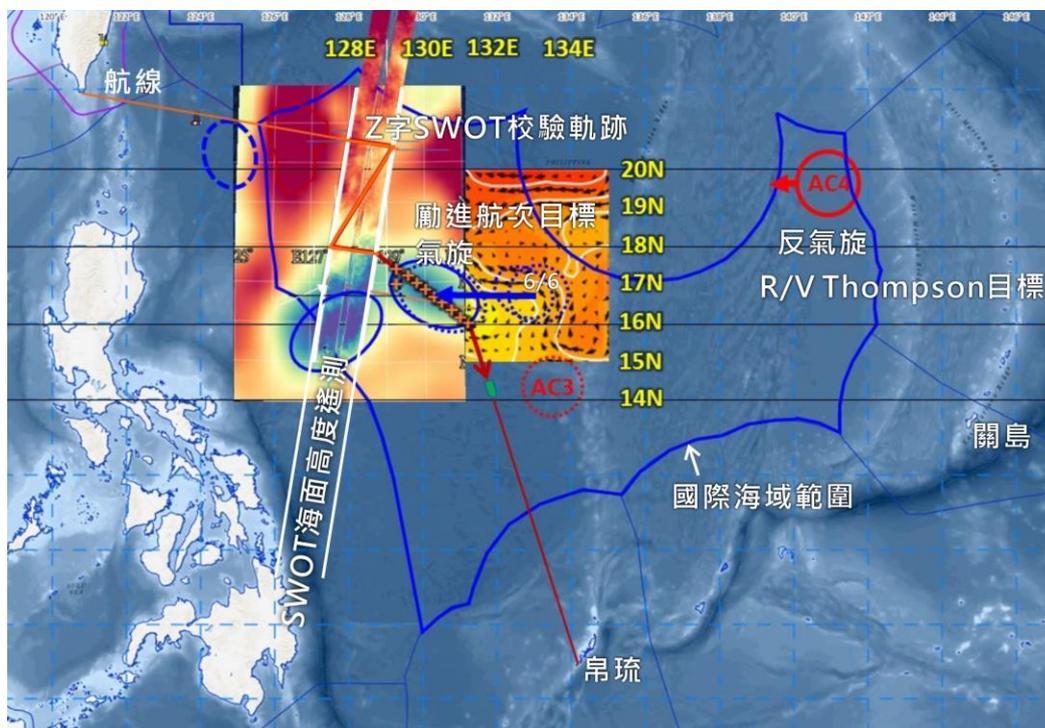
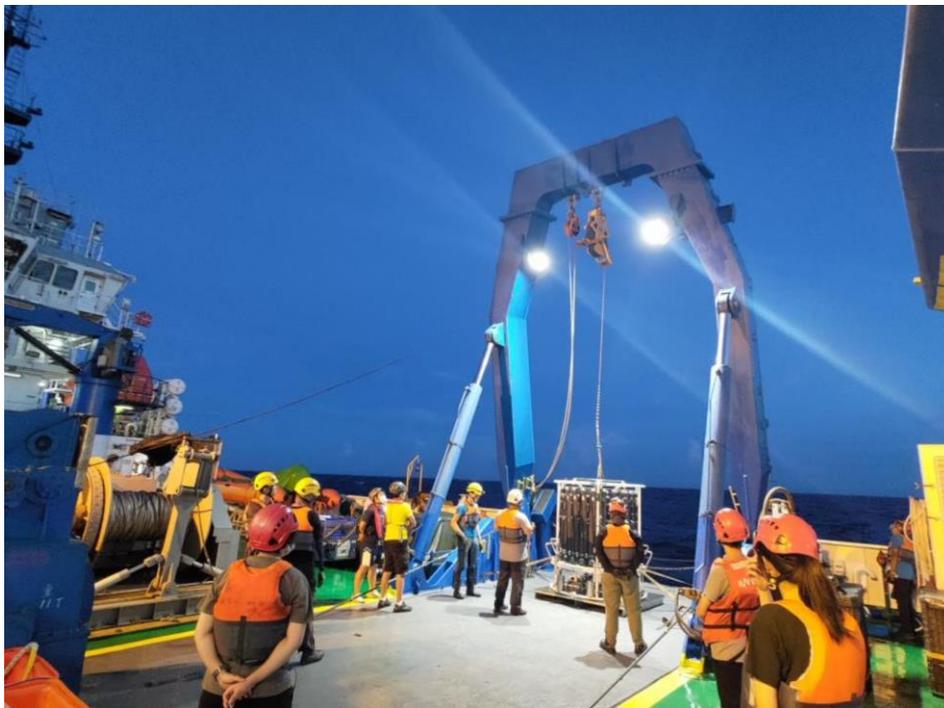


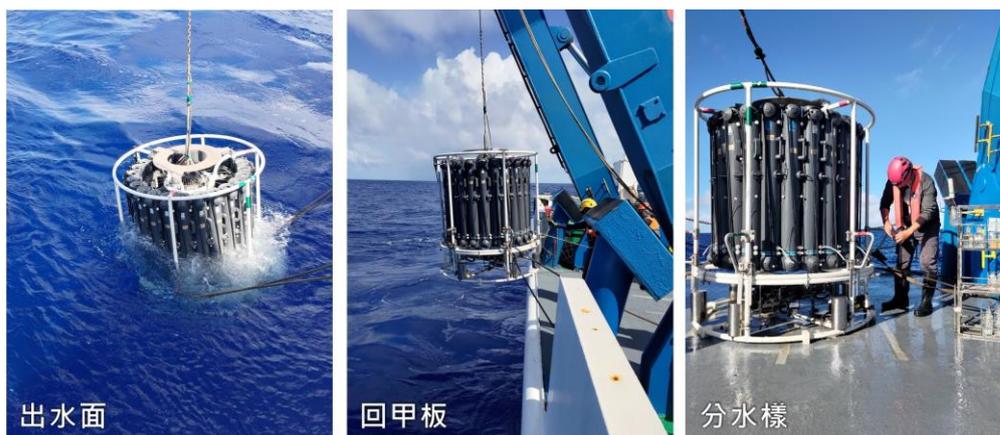
圖 2：臺美海洋合作勵進 2308 航次航線、氣旋渦旋物理及生地化水文採樣與紊流強度觀測點位(+符號)、SWOT 衛星測高海洋現場 Z 字校驗航線。(詹森 繪製)



照片 1：新一代衛星遙測任務「海面波浪海底地形」SWOT 海上校驗資料蒐集用的 GPS 天線與海面相對高度計。(詹森 攝)



照片 2：LGD 2308 航次渦旋第一站水文觀測，鹽溫深儀及採水瓶準備由右舷側下放。(詹森 攝)



照片 3：CTD 採水三動作－CTD 及灰色 PVC 採水瓶出水面、拉回甲板、研究人員分瓶裝水樣。(詹森 攝)



照片 4：紊流剖面儀(VMP-250) 作業。(詹森 攝)



勵進研究船於西北太平洋執行 CTD 作業。(吳維常 攝)



照片 5：研究團隊抵達帛琉海域。(吳維常 攝)



照片 6：勵進研究船停靠帛琉科羅港，研究團隊正式踏上帛琉陸地。(吳維常 攝)

補充材料 首航花絮

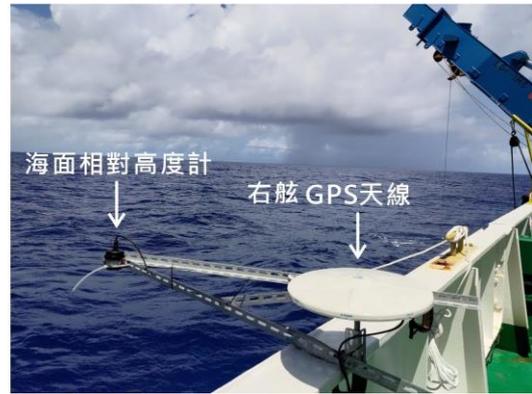
研究團隊成員跨國、跨校、跨領域。研究團隊 13 人，除了領隊，包括臺大海洋所貴儀中心王漢松(化學技術員)、王釋虹(紊流儀技術員)，臺大海洋所研究助理葉祐瑜(負責操作紊流儀)，臺大海洋所物理組研究生林欣怡、吳維常、邵昱勳(SWOT 地面校驗資料蒐集)、鄭鈞元，臺師大助理葉欽洲(負責採水及生地化分析)，中山大學海科系大三黃葳柔，成大水利暨海洋工程系江柏勳、溫文台，美國奧勒岡州立大學博士生張凱富。航次期間每天晚上討論當日探測結果及隔日工作計畫，並舉行專題討論，每日安排一位團隊成員報告，報告主題則不限於科學研究，例如 VMP-250 操作指南、空拍機小教室、攝影 101、海膽標本製作、桌球 101、出海不歸路、歐洲學術交流等等，展現成員們多才多藝的一面。本航次領隊準備了保麗龍杯，提供出海探測必修學分壓保麗龍杯活動。



每日晚上探測工作檢討與專題討論。



出海探測必修學分--壓保麗龍杯。



架設全球衛星定位系統天線及音波式海面相對高度計。



研究團隊完成最後一站紊流儀操測作業，結束本航次科學任務。

團隊成員航次報告

黃葳柔 國立中山大學海科系

身為一個僅僅大學部三年級的菜鳥，聽到可以參與研究船行次前往帛琉時，心中非常的高興與激動，幾乎立刻可以確定這次航次會是我大學生活中，最令人難忘的經歷之一。也感謝方老師給我這個機會，可以一窺海洋學界的科研團隊，搭乘國家最大的研究船進行海上物理實驗的過程。

事前僅知道航次約略的行程，真正上船後由詹老師主持的航次會議詳盡且系統性地說明了航次流程，後續嚴禁的安全講習讓我體驗到國家級科研團隊對於航行與實驗安全的重視。出啟航時風平浪靜，海況良好，團隊中所有學長姊與勵進號的船員都熱心的為我這個第一次登上勵進研究船的菜鳥介紹，非常感謝他們的幫助，讓我可以在前期的水路的閒暇時間可以漸漸熟悉船上環境與團隊成員。

領隊首席科學家詹森教授，航次前聽聞了許多詹老師對於海洋學傑出的研究成果與教育貢獻，早已久仰大名，難掩心中緊張忐忑的心情。所幸實際相處後發現詹老師非常友善，不僅教導了我們從事海洋研究應注意與遵守的原則，亦為我們講解了許多沿途討論到的海洋現象，雖然我在這個領域初學見識淺薄，但對於提出的問題老師也會不厭其煩的細心解釋，老師淺顯易懂的海洋物理小教室讓我獲益良多。不僅學術上的討論，私底下的詹老師幽默風趣，說起故事來生動有趣，跟老師閒聊聽老師分享生活經歷與故事也是船上的一大樂趣。

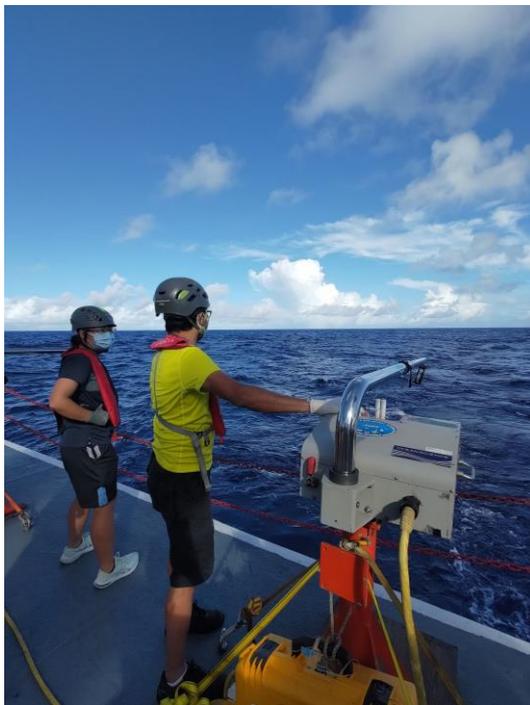
為了促進船上的學術討論風氣，老師安排了每天晚上的航次科學會議，每個會議都讓我學習到很多，最讓我印象深刻的是維常學長詳細的空拍機教學，使我大開眼界，發現空拍機不僅可以記錄更加壯觀，獨樹一幟的航次照片，更可以為出海增添另類的拍攝體驗。在見識了實體拍攝的成果後，我除了驚嘆於學長對空拍機的熟練程度，也不禁為這個小型飛行攝影機著迷。

幾天的水路後，終於進到此次航次最為精采的部分：科研採樣與作業。此航次主要是希望可以採集到解析度細緻的溫度與流切資料，嘗試解釋分析次中尺度的渦旋能量逸散的動力過程與機制。為此，於橫切過渦旋的採樣點中需盡可能的多施放儀器蒐集資料，時間十分緊湊，分秒必爭。雖然其中出了幾次意外，但還是在大家合力協助下完成實驗，採集到為數不少的數據。

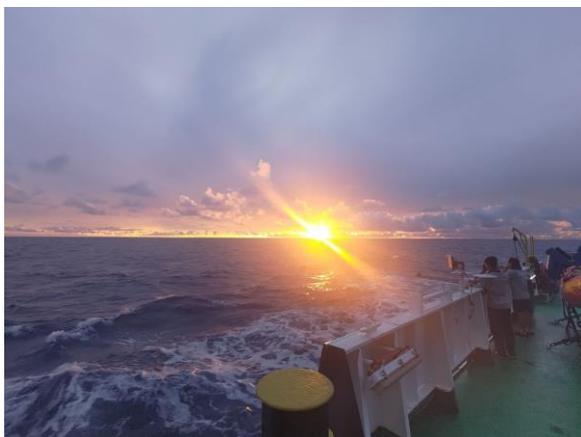
我想要表達對研究團隊的敬意，不論是操作儀器的技術員、支援的船員與學長姐們，尤其是詹老師，沒有在排班表中其實並不是可以休息，而是幾乎無時無刻都在待命，且若遇到緊急狀況也要隨叫隨到，作業期間老師也僅在實驗室後方短暫的坐著小睡，十分的辛苦，讓我不禁由衷地佩服所有科學家、技術員與船員為了採集資料與進行實驗的辛苦付出，也深刻的體會到因為有老師這樣的海洋學家願意親身搭上研究船，於海上採集資料進行實驗，讓我們這些後進的研究新生使用這些資料學習與進行研究，海洋科學得以繼續發展。



圖一：港邊停靠的勵進號



圖二：作業時的情形



圖三：船上看到的美麗夕陽