

美國莫特(Mote)海洋實驗室與水族館參訪交流報告

參訪交流名稱：美國莫特(Mote)海洋實驗室與水族館參訪交流

日期：2023 年 10 月 7 日至 11 月 2 日

地點：美國佛羅里達州

作者：樊同雲

單位：國立海洋生物博物館企劃研究組

職稱：研究員

摘要

國立海洋生物博物館樊同雲研究員於 2023 年 10 月 7 日至 11 月 2 日，至美國佛羅里達州的莫特(Mote)海洋實驗室和水族館實地參觀訪問，並推動雙邊珊瑚保育與復育的交流合作。此行受其總裁兼首席執行長 Michael Crosby 博士邀請，並協助台達電子文教基金會瞭解其珊瑚保育復育發展的現況。行程包括參訪位於薩拉索塔(Sarasota)的海洋實驗室、水族館、水產養殖研究園區、興建中的科學與教育水族館，以及位於佛羅里達礁島群(Florida Keys)的國際珊瑚礁研究與復育中心和兩個陸地珊瑚苗圃等，並與美方人員交流討論，以及進行兩場標題皆為「台灣珊瑚的研究、復育、展示和教育」的午餐簡報和合作討論。心得是台美雙方適合推動珊瑚研究、復育、展示和教育整合創新的共同合作；發展次世代大型水族館作為水生生態保育和社會經濟網絡中心的新模式典範；培育未來科技人才打造陸上和海下的韌性城市。建議積極長期推動與培育國際化人才；發展與美國佛羅里達州的國際交流合作。

目次

摘要.....	1
一、參訪交流之背景及目的.....	2
二、參訪交流之經過及內容.....	2
三、參訪交流之心得與感想.....	6
四、建議事項.....	7
五、攜回資料.....	7

一、參訪交流之背景及目的

美國佛羅里達州的莫特(Mote)海洋實驗室和水族館總裁兼首席執行長 Michael Crosby 博士，曾於約 2000 年訪問國立海洋生物博物(海生館)並由筆者接待。海生館研究團隊參與 2010 年於美國夏威夷大學 Hilo 校區舉辦的第 22 屆太平洋海洋科學及工程國際研討會(Pacific Congress on Marine Science and Technology, PACON)，並主持「珊瑚礁」議程，筆者作為其中一員並與大會主席 Michael Crosby 博士討論珊瑚相關研究內容和合作機會。

在近年的一篇研究報告中(Loh TL, et al. 2018. Quantifying the contribution of zoos and aquariums to peer-reviewed scientific research. Facets 3: 287-299.)，莫特海洋實驗室和水族館被評估為美國所有非營利組織中進行的研究最多，在 228 個動物園和水族館中的研究出版與高影響力指標排名是水族館第一，而在水族館與動物園排名第二。同時其正在興建嶄新的科學教育水族館，非常值得實地訪問研究以詳細瞭解其科學研究與水族館的發展現況，並且其 27 項研究主題中的珊瑚健康與疾病、珊瑚礁監測與評估、珊瑚礁復育、以及海洋水產養殖等，都與筆者的興趣、專長與發展關係密切。

2023 年筆者收到 Michael Crosby 博士邀請訪問的來信，在其贊助研究和沿海政策計畫副總裁 Kevin Claridge 先生安排與協助交流下成行，並協助台達電子文教基金會瞭解其珊瑚保育復育發展的現況。

二、參訪交流之經過及內容

筆者於 10 月 7 日出發，經桃園機場、美國紐約的甘迺迪國際機場，而於 8 日抵達沙拉蘇達(Sarasota)的布拉登頓(Bradenton)國際機場和入住旅館。

9 日與台達電子文教基金會邱姿蓉主任開始參訪行程，與 Kevin Claridge 先生討論和確認行程，並安排至佛羅里達礁島群(Florida Keys)的國際珊瑚礁研究與復育中心(Mote's Elizabeth Moore International Center for Coral Reef Research & Restoration, IC2R3)、Key Largo 和 Islamorada 的陸地珊瑚苗圃、佛羅里達群島歷

史與發現中心的公共展覽的參訪行程。

10 日參觀莫特水族館，其全年每天開放，特色生物為鯊魚、海牛和海龜，以及珊瑚礁和海草床生態系統。其獲得美國動物園和水族館協會的認證而符合動物馴養、野生動物保護和研究、教育等嚴格的專業標準。莫特水族館現有較大型的活體珊瑚展示包括加勒比海珊瑚礁缸、太平洋珊瑚礁缸、珊瑚救援室等，並在莫特海洋實驗室分別參訪海洋技術研究室，其專案經理 John Langan 先生介紹 3D 列印和赤潮自動化監測、與海龜研究與監測專案經理 Jake Lasala 博士討論海龜的生態與保育、參訪教育中心與圖書館等。

11 日參觀水產養殖研究園區(Mote Aquaculture Research Park)，其位於內陸，目的在開發可持續的水產養殖技術，研究包括佛羅里達州赤潮的緩解技術開發、國際珊瑚基因銀行的推動，使用過濾系統和再循環水產養殖系統而與環境相容並保護水資源，以及提供生物安全保護使養殖動物免受疾病侵害，並確保養殖生物環境的良好水質條件。特別的是其室內活體珊瑚基因庫，使用人工海水的再循環水產養殖系統進行珊瑚的養殖和人工授精試驗，以及因今年加勒比海破紀錄的海洋熱浪衝擊引發珊瑚大白化和死亡事件，而緊急動員大量人力由海裡搶救並安置在大型養殖缸的復育軸孔珊瑚，也與珊瑚基因庫生物學家 Nick McMahon 先生交流珊瑚繁養殖的經驗，參觀用於控制藻類以復育珊瑚且人工繁殖成功的加勒比海帝王蟹繁殖、食用性魚類繁養殖、活體餌料培養和魚菜共生等設施。

12 日與 Michael Crosby 博士會面討論此行目標、行程與期望成果，希望建立長期穩定互訪交流，珊瑚研究、復育、展示、教育的整合合作等。晚上參加在 Bird Key 遊艇俱樂部的接待會，與受邀的莫特董事會、諮詢委員會與研究人員代表聚會，互相認識與交流，並與研究副總裁和珊瑚健康與疾病專案經理 Erinn Muller 博士、海洋酸化專案經理 Emily Hall 博士、研究珊瑚健康與疾病的 Sara Williams 博士有較多討論。

13 日參觀興建中的科學與教育水族館工地，其完工後將包括吸引人的水中活體生物展覽和互動教學實驗室，也將有水產養殖實驗室、保育實驗室、珊瑚實驗室以及獸醫臨床和診斷中心，目的是實現莫特海洋實驗室和水族館希望改善所有人獲得海洋科學和技術教育的願景，為當地和世界各地更多的人提供非正式科學教育以提高海洋素養，其鄰近市區和大眾運輸轉運站，交通便利。筆者也分享和比較其與海生館在場地、規模、設計、維生系統與展示缸的樓層配置等的異同。

14 日週六與莫特海洋政策研究所所長 Barbara Lausche 女士與其先生餐敘，Barbara Lausche 女士在國家和國際環境法方面擁有豐富的經驗，對海洋特別有興趣和關心，也致力推動世界自然保育聯盟(IUCN)-世界保護區委員會(World Commission on Protected Areas, WCPA)-海洋聯通性工作群(Marine Connectivity Working Group, MCWG)-之聯通性保育專家群(Connectivity Conservation Specialist Group, CCSG)的工作，邀請筆者加入並討論海洋連結保育工作的合作，分享過去專業成長的發展過程等。

15 日週日開車欣賞沙拉蘇達灣沿岸風光與市區環境，體驗當地生活與文

化，並勘查和評估日後再訪進行短期研究的住宿與交通選擇。

16 日由坦帕(Tampa)機場至西礁島(Key West)機場，入住伊麗莎白·摩爾國際珊瑚礁研究與復育中心(Mote's International Center for Coral Reef Research and Restoration, IC2R3)，其附近有珊瑚礁、海草床、紅樹林等生態系，大多數都在國家野生動物保護區和佛羅里達礁島群國家海洋保護區的保護範圍內，中心內的研究、教育、辦公室和宿舍設施齊全。有用於中型生態缸(mesocosm)研究的室內和室外海水系統、環境控制室、水道和實驗水缸，研究包括海洋酸化和氣候變遷對珊瑚礁生物的影響、分子生物學、微生物學等。其海水從旁邊運河抽取，經過濾和臭氧殺菌系統。

17 日參訪位於 Islamorada 和 Key Largo 的陸地珊瑚苗圃，其分別位於碼頭和珊瑚礁度假村的土地上，皆有相當規模的戶外流水式珊瑚培育系統，同時進行許多教育推廣活動。這些流水式天然海水的珊瑚培育系統主要是依賴維生系統，包括砂過濾和臭氧消毒維持水質，缸中主要以食藻螺和較多的人力來維護和控制藻類，因其海水的水質較差，並有許多珊瑚疾病爆發和有害藻華等問題的考量。每個苗圃每年可生產 6 千至 1 萬株珊瑚用於野外復育。也順道參觀佛羅里達群島歷史與發現中心(Florida Keys History and Discovery Center)的展覽。

18 日在國際珊瑚礁研究與復育中心進行午餐簡報(Brownbag Presentation)，實體與線上會議同時進行，標題為：台灣珊瑚的研究、復育、展示和教育，精簡介紹台灣珊瑚生態系的特色，如涵蓋熱帶和亞熱帶、近年全台硬珊瑚平均覆蓋率約 30%、珊瑚數量相對過去減少較多的小琉球和墾丁國家公園已開始建立耐熱珊瑚苗圃和復育試驗、海生館的大型活珊瑚培育和展示、珊瑚的生殖與完整生活史培育、海洋公民科學家培訓的成果等，過程中的互動和討論熱絡，並於會後由珊瑚生殖研究室的 Celia Leto 女士帶領參觀珊瑚室內養殖實驗室，其使用天然海水和 LED 燈，有流水式和再循環式珊瑚培育實驗系統，並進行 LED 光譜對珊瑚幼生著苗基質選擇的實驗。

19 日由珊瑚苗圃經理 Ian Combs 先生導覽介紹室外流水式珊瑚培育系統，其珊瑚的生產和記錄系統使用 QR (Quick Response 快速反應)圖碼以有效追蹤管理，也正在利用 3D 技術監測養殖系統中的珊瑚補充量。另外，珊瑚復育團隊食藻蟹實驗室的 Owen Hamel 先生導覽介紹加勒比海帝王蟹的完整生活史繁養殖，並應用於控制藻類以復育珊瑚，因加勒比海珊瑚礁嚴重衰退，由以珊瑚為優勢相變為以海藻為優勢，而研究發現此大型食藻蟹可有效控制藻類，能將海藻的覆蓋率減少 50%-80%，導致珊瑚補充和珊瑚礁魚類群聚的豐富度和多樣性能相應增加 3-5 倍，而帝王蟹的完整生活史繁養殖也希望應用於水產養殖技術開發。

20 日與國際珊瑚礁研究與復育中心的莫特潛水隊一起船潛 Looe Key 礁，其為佛羅里達州礁島群國家海洋保護區(Florida Keys National Marine Sanctuary)內七個標誌性珊瑚礁(iconic reefs)之一，筆者為浮潛觀察海洋生態，如豐富的海扇柳珊瑚、眾多的珊瑚感染疾病、因加勒比海今年破紀錄熱浪引發的珊瑚大白化和死亡事件，此行也看到海豚群游、大量水母漂浮而過、魚群等現象，而研究珊瑚

健康與疾病的 Sara Williams 博士與工作團隊陸續在 4 個地點進行珊瑚疾病的監測與抗生素治療測試。佛羅里達州珊瑚礁的珊瑚覆蓋率從早期的 50%，已劇烈下降至近年的低於 5%，由於沿海開發、污染、珊瑚疾病、氣候變遷等衝擊，使得許多珊瑚族群已處於功能性滅絕的邊緣。因此，莫特海洋實驗室過去累積的卓越聲譽和傑出成果，使其獲得各界贊助與支持其科學家們迅速且加強地拯救珊瑚礁。莫特海洋實驗室的科學家們於 2022 年在佛羅里達州的珊瑚礁復育了近 4 萬株珊瑚，而自 2008 年以來已復育超過 17 萬株珊瑚。

21 日週六參加莫特舉辦的科學教育活動，與一群大學師生一起參觀海洋酸化研究實驗室和微生物研究室的導覽解說，聽取紅樹林和海草床的生態和常見海洋生物介紹的簡報與討論，然後兩人一組地划著獨木舟進行沿岸生態觀察與討論，此行可看到鯊魚、魚群、海綿、海草床、紅樹林、海鳥等生物。

22 日週日至西礁島體驗當地生活，觀察珊瑚礁區觀光旅遊的發展。

23 日由負責科學教育推廣活動的 Kelcie Hall 和 Abby Smith 兩位女士，簡報國際珊瑚礁研究與復育中心和莫特海洋實驗室的一系列教育課程和活動，如國際珊瑚礁研究與復育中心在每週二早上 10-11 點，會開放公眾參觀和進行導覽解說活動，也會募集資金進行弱勢團體和學童的教育和體驗活動，顯示其對海洋保育教育、多方培育海洋人才、以及促進社區參與的重視與投入，筆者也分享台灣的珊瑚礁大使進行人才培育和國際交流計畫的成果與發展。之後由 Ian Combs 先生介紹利用 3D 技術監測野外復育的珊瑚礁，其樣區為 10 乘 10 平方公尺，筆者也分享在台灣利用 3D 技術監測野外的珊瑚礁，樣區則為 5 乘 5 平方公尺、以及移植復育的珊瑚群體，也瞭解利用 3D 技術監測珊瑚與珊瑚礁的快速發展與應用。

24 日與研究人為協助珊瑚生殖的 Hanna Koch 博士會面，筆者簡介近年在台灣進行的珊瑚生殖、養殖和復育的研究與成果，討論彼此合作的機會，然後 Hanna Koch 博士導覽介紹其室內的再循環式與流水式珊瑚培育系統與實驗，其主要針對軸孔珊瑚研發其有性生殖科技、耐熱基因型珊瑚選種、人工授精、優化珊瑚著苗的光譜、光度與親代對子代表現的影響等，然後參觀其室外流水式珊瑚培育系統，以及因今年破紀錄海洋熱浪引發珊瑚大白化事件，而由海裡搶救並安置其中用於復育的軸孔珊瑚，筆者則分享台灣珊瑚苗圃與復育發展的情況。

25 日與 Erinn Muller、Hanna Koch、與 Sara Williams 等三位博士進一步討論合作研究珊瑚生殖、復育的可能主題與方式，瞭解台灣與美國執行研究計畫內容與經費的異同。由於研究副總裁和珊瑚健康與疾病專案經理 Erinn Muller 博士，和資深科學家 Hanna Koch 博士皆研究人為協助珊瑚生殖和主動復育，也經數次較詳細交流討論，預期將是未來珊瑚保育和復育的主要合作研究者。另外，也與珊瑚復育專案經理並且人工繁殖成功加勒比海帝王蟹用於控制藻類的 Jason Spadaro 博士，其也是國際珊瑚礁研究與復育中心的駐地管理經理，彼此就臨海實驗室的經營管理、海洋熱浪與颶風的因應與緊急應變、陸地珊瑚苗圃的發展與自動化技術應用、未來水產養殖的轉型與升級等議題交流討論。

26 日由西礁島機場、坦帕機場至沙拉蘇達和入住旅館。贊助研究和沿海政

策計畫副總裁 Kevin Claridge 先生協助機場與旅館接送而有較長時間的討論，尤其是佛羅里達海域面臨赤潮爆發、珊瑚覆蓋率低於 5%而且還正在承受沿海開發與人為活動的干擾與污染、各種珊瑚與生物如海膽的疾病爆發與大量死亡、海洋熱浪與颶風等的衝擊，也分享從事海洋生態保育、大型水族館工作的職涯發展和與生活的平衡與整合等人生課題。

27 日至莫特海洋實驗室與 Kevin Claridge 先生討論後續珊瑚馴養與展示的可能發展合作，並與水族館人員交流珊瑚養殖展示的經驗。另外也到圖書館上線網路查詢最近珊瑚研究、復育、展示和教育方面新發表的研究報告資料。

28 日週六晚上受 Michael Crosby 博士邀請，參加莫特海洋實驗室和水族館在薩拉索塔麗思卡爾頓酒店舉辦的海洋之夜募款餐會，並與其同桌用餐，Michael Crosby 博士介紹莫特科學家的國際合作交流成果，特別提及其與台灣的緣起和推動與台灣的合作，餐會中還有台灣國旗和亞洲美食顯示其活動設計之用心，整晚人數眾多，場面盛大，氣氛熱絡，互動交流頻繁，並有音樂舞會助興，筆者也經由全程參與晚宴的交流與互動活動，融入美國的文化與生活，與大家建立情誼。

29 日週日參觀 Selby 圖書館，其有一拱形水族館而吸引筆者前往實地觀察，也翻閱最近的新書，再到 Barnes & Noble 書店看書，體驗當地教育文化活動。

30 日在莫特海洋實驗室和水族館的教育中心進行午餐簡報，也是實體與線上會議同時進行，標題為：台灣珊瑚的研究、復育、展示和教育，除了精簡介紹前次簡報內容做為基礎，如台灣珊瑚生態系的特色、近年各沿海區域珊瑚生態系的狀態、進行中的耐熱珊瑚苗圃和復育試驗、大型活珊瑚培育和展示、近年突破的珊瑚完整生活史培育並增殖至第二代、海洋公民科學家培訓的成果等，再加入此行參訪交流和腦力激盪後所整理的合作建議，如莫特海洋實驗室和水族館與海生館的組織架構和目標相似，雙方適合一起推動適用於大西洋和太平洋珊瑚研究、復育、展示和教育之模式物種和育種系統的整合創新，並經由珊瑚復育研發成果推動與產業連結，協力打造海下氣候韌性的珊瑚礁城市，更進而結合珊瑚科學教育推廣與東方和西方文化，發展次世代大型水族館作為生態保育和社會經濟網絡中心的新模式典範等。交流過程中的互動和討論熱絡，尤其是 Michael Crosby 博士和研究副總裁和珊瑚健康與疾病專案經理 Erinn Muller 博士也全程參與，倍感殊榮，並與 Michael Crosby 博士討論後續交流訪問的初步構想規劃。

31 日由沙拉蘇達的布拉登頓國際機場返程，經紐約的甘迺迪國際機場，於 11 月 2 日抵達桃園機場。

三、參訪交流之心得與感想

台美雙方適合推動珊瑚研究、復育、展示和教育整合創新的共同合作。美國在珊瑚研究、復育與水族館發展的進步快速，筆者已有近三十餘年的國際合作經驗，也在珊瑚研究、復育、展示和教育累積相當成果，莫特海洋實驗室和水族館與海生館適合在完成珊瑚的完整生命週期養殖並應用於研究、復育、展示和教

育，光譜對珊瑚不同生活史階段的影響，人為協助軸孔珊瑚的有性繁殖以進行積極復育等課題進行合作。另一方面，莫特的珊瑚苗圃主要是依賴維生系統，包括砂過濾和臭氧消毒維持水質，缸中主要以食藻螺和較多人工維護控制藻類，較類似醫院模式；而海生館的珊瑚苗圃主要以缸中的活岩、活砂、食藻螺和較少人工維護控制水質和藻類，較類似花園模式，而彼此可互補學習。

發展次世代大型水族館作為水生生態保育和社會經濟網絡中心的新模式典範。莫特海洋實驗室和水族館的新莫特科學教育水族館預期在 2024 年底前後完工和開幕，並期許培訓未來的海洋研究人員經由深刻接觸、行動實踐和全人教育，促進人們真正瞭解海洋科學的影響。而地球正處於氣候和生物多樣性危機中，造成前所未有的物種喪失。水族館與動物園傳統的保護、教育、研究和娛樂四大支柱已不足以符合未來需求，必須轉型升級發展作為生態保育和社會經濟網絡中心的新模式典範，提升生態和社會的整合韌性以調適和適應人類世的新危機和挑戰。

培育未來科技與人文整合人才打造陸上和海下的韌性城市。莫特海洋實驗室和水族館所在的薩拉索塔在美國最佳居住地中排名第五，此排名來自《美國新聞與世界報導》根據生活品質、就業市場、價值和吸引力來評估都會地區的年度排行榜，薩拉索塔也被評為佛羅里達州最佳居住地第一名。然而，加勒比海和佛羅里達海域持續發生嚴重的有害藻華和珊瑚疾病爆發，不過這些海洋生態災難在台灣並未發生，雙方可在社會經濟和生態保育方面互為借鏡，合作發展。

四、建議事項

建議積極長期推動與培育國際化人才，提供經費支持互訪交流，並改善留用、升遷與讓國際人才發揮專長的工作環境與法規，提升台灣的國際競爭力；發展與美國佛羅里達州的國際交流合作，尤其是熱帶生態與社會經濟方面，跨領域、前瞻的基礎研究與產業應用整合解決方案，促進台灣與國際的轉型升級與永續發展。

五、攜回資料

莫特海洋實驗室與水族館簡介資料。