

出國報告（出國類別：訪問）

以年代學重建南海珊瑚礁環境變遷 國際研究合作

服務機關：國家海洋研究院

姓名職稱：張至維 海洋生態及保育研究中心主任

派赴國家/地區：新加坡及馬來西亞

出國期間：113年7月2日至7月9日

報告日期：113年9月9日

摘要

基於珊瑚骨骼年代學的生長速率及對應的環境變化指標元素分析，有助於重建南海珊瑚礁環境變遷。國家海洋研究院於 112 年邀請新加坡及馬來西亞學者，共同赴南沙進行珊瑚礁環境變遷相關國際研究合作；113 年則由我方人員回訪，促進臺灣鄰近海域及南海珊瑚樣本之合作分析，拓展南沙珊瑚礁生態研究縱深，深耕國內相關分析技術提升。本次行程拜會及訪問新加坡國立大學的聖約翰島國家海洋實驗室 (SJINML)、李光前自然史博物館 (LKCNHM) 和熱帶海洋科學研究所 (TMSI)，以及馬來西亞登嘉樓大學的科學與海洋環境學院 (FSSM)、海洋與環境研究所 (INOS) 與南海生物典藏中心 (RRC)。透過本次交流，除了持續深化既有研究合作外，建議延伸既有合作模式，加強臺灣-馬來西亞-新加坡參方研究合作效益的提升，透過合作備忘錄的簽訂，提供各方研究人員技術或學術交流的平台，逐步推動區域海洋科學研究及拓展海洋相關事務連結。

目錄

壹、目的	4
貳、考察過程	5
參、心得與建議	17

壹、目的

全球知名的珊瑚礁生態系統，如澳洲大堡礁、中美洲加勒比海、馬來半島等海域，皆發現珊瑚生長速率下降的情況。南海周圍的珊瑚礁是否也正經歷珊瑚生長速率的下降，以及這些珊瑚礁的生長軌跡何時發生變化，仍屬未知。基於珊瑚骨骼年代學的生長速率及對應的環境變化指標元素分析，有助於釐清對珊瑚生長的干擾是由當地驅動（如局部沿海開發/污染）或由更大規模的過程（如海洋暖化/酸化）所造成。此外，確定對現存珊瑚生長速率和模式的歷史影響，並瞭解環境干擾的頻率或週期，將有助於釐清並確保其未來生存所需的條件。

在海洋委員會的經費支持下，國家海洋研究院 110 年底於南沙太平島完成建置「南沙海洋研究站」，其重要目的即是逐步推動南海國際科學合作。爰此，本院於 112 年邀請新加坡及馬來西亞學者，共同赴南沙進行珊瑚礁環境變遷相關國際研究合作；113 年則由我方人員回訪新加坡國立大學及馬來西亞登嘉樓大學，促進臺灣鄰近海域及南海珊瑚樣本之合作分析。而近年來，本會海洋保育署及本院亦積極進行南沙太平島珊瑚礁生態環境監測及資源調查等研究，透過參與本案研究人員的珊瑚年代學相關研究背景，以及與該國際團隊長期建立的互信及合作基礎，可提供長尺度氣候變遷影響之研究佐證，主導於我國海域內之新南向國際研究規劃、後勤支援及分析技術互補等，以拓展珊瑚礁生態研究的廣度及深度。

透過本次「以年代學重建南海珊瑚礁環境變遷國際研究合作」，預計執行效益將（一）拓展南沙珊瑚礁生態研究縱深，及（二）深耕國內相關分析技術提升。

貳、考察過程

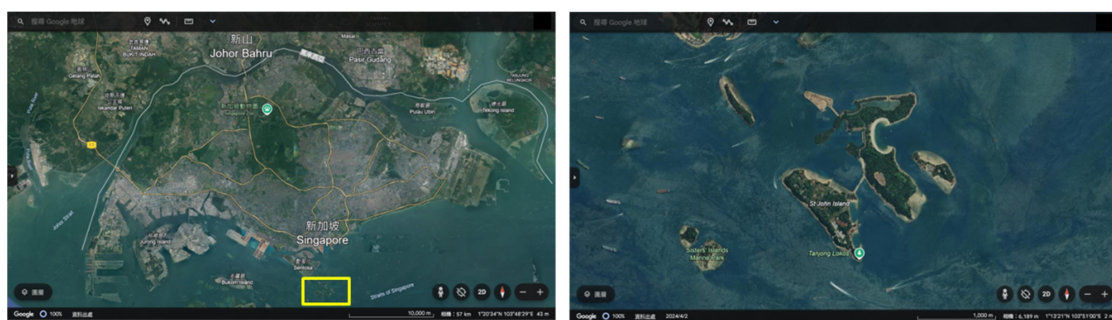
本次「以年代學重建南海珊瑚礁環境變遷國際研究合作」期間為113年7月2日至7月9日，共計8日，分別赴新加坡國立大學 (National University of Singapore, NUS) 及馬來西亞登嘉樓大學 (Universiti Malaysia Terengganu, UMT) 進行珊瑚礁定年學研究合作討論；以及於馬來西亞及新加坡交界之柔佛海峽 (Johor Strait) 的美蘭邦島 (Pulau Merambong) 野外實地考察。各日行程詳細說明如下：

7月2日 (二)：

當日下午12:55由高雄小港機場啟程，並於17:10抵達新加坡樟宜機場。抵達後自行前往入住鄰近NUS的商務飯店，隨即與新加坡方相關人員開展聯繫討論。

7月3日 (三)：

本日行程為拜會及參訪NUS的聖約翰島國家海洋實驗室 (St. John's Island National Marine Laboratory, SJINML) (圖一)，該實驗室根據國家研究基礎設施計畫 (National Research Infrastructure, NRI)，是新加坡唯一的近海海洋研究設施，由NUS的熱帶海洋科學研究所 (Tropical Marine Science Institute, TMSI) 代表該校研究與技術副校長辦公室管理。聖約翰島鄰近新加坡第一個海洋自然公園—姊妹島海洋公園 (Sisters' Islands Marine Park)，國家公園委員會 (National Parks Board, NParks) 也與NUS合作，於SJINML設立一個展示教育中心 (圖二)。



圖一、新加坡全圖 (左)，黃色方框內為聖約翰島 (St. John's Island) 和姊妹島 (Sisters' Island)，以及其相對放大圖 (右)。

Sisters' Islands Marine Park Map



圖二、姊妹島海洋公園 (Sisters' Islands Marine Park) 地圖。(資料來源為 <https://beta.nparks.gov.sg/visit/parks/park-detail/sisters-islands-marine-park/>)

當日上午由該實驗室資深研究員，同時也是設施主任的Dr. Jani Tanzil (專長為珊瑚礁生態及珊瑚定年學) 陪同，搭乘09:00自濱海南碼頭 (Marina South Pier) 啟程的渡輪，約40分鐘船程抵達聖約翰島。由於Dr. Tanzil另有會議安排，其先簡略說明SJINML及NParks的合作關係 (圖三)，接著由Dr. Lee Bee Yan研究員協助導覽該實驗室所有研究場域，包含與珊瑚相關的各式培育實驗設施，並與負責珊瑚缸維護的研究同仁進行交流 (圖四)。下午則是進行學術研討，由Dr. Tanzil簡報SJINML沿革及近年發展成果，我方則以「臺灣海洋生態系長期生態調查的機會與責任 (Opportunity and responsibility for the long-term ecological survey of marine ecosystem in Taiwan)」為題，簡要說明我國在海域長期生態調查的進展。討論會後，雙方也實地走訪聖約翰島的環島海岸，檢視今年6月在新加坡西海岸巴西讓貨櫃碼頭附近發生船舶碰撞 [註一]，導致約400噸低硫燃油洩漏至海中的漏油事件所造成對該島的影響，以及後續油污清除的情形 (圖五)。



圖三、聖約翰島國家海洋實驗室建築群入口 (左上)、Dr. Jani Tanzil簡介姊妹島海洋公園展示教育中心入口展示 (右上)、珊瑚礁生態模型展示 (左下) 及珊瑚復育裝置展示 (右下)。



圖四、聖約翰島國家海洋實驗室的半戶外珊瑚培育場域 (左上及右上)，以及室內相關實驗設施 (左下及右下)。



圖五、聖約翰島岸際因應今年6月油污洩漏清除現況。堤防與水面間仍有明顯的

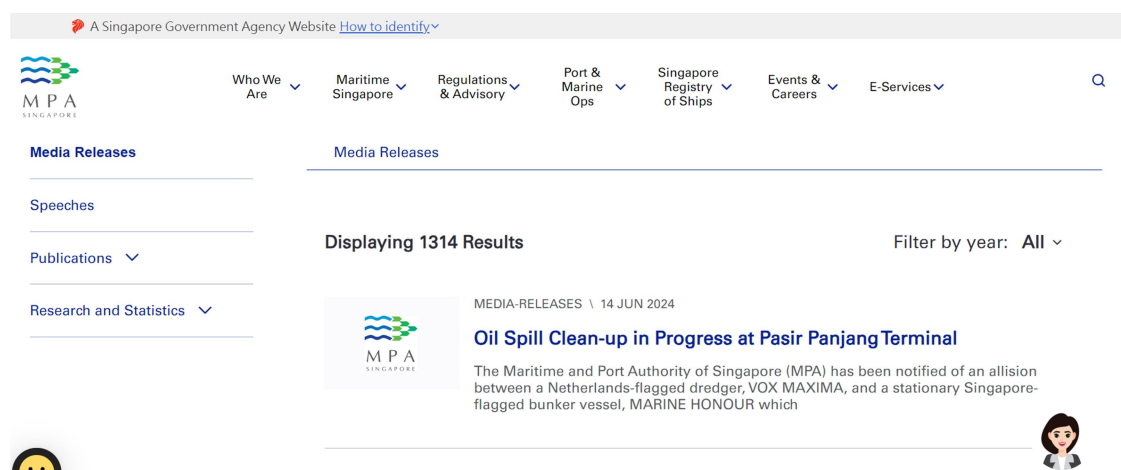
油汙殘留 (左上、左下)；岸邊停滯的油汙處理工作船 (左下)；岸邊部署防止油汙進入的圍油欄 (右上)；待清運的浸油廢棄物 (右下)。

[註一] 本船舶碰撞事件發生於113年6月14日下午約2時20分，起因為Van Oord公司的荷蘭船籍Vox Maxima號挖泥船撞上新加坡燃油供應商Straits Bunkering的Marine Honor號加油船，造成該加油船的一個油艙破裂漏油。根據新加坡海事及港口管理局 (Maritime and Port Authority of Singapore, MPA) 的官方持續媒體發布資訊指出，當下採取措施減少漏油的影響，包含出動18艘溢油緊急船隻繼續噴灑消油器並收集水面浮油，以及部署超過1500公尺的貨櫃圍油欄，以防止石油進一步擴散到岸上，並促進回收受影響海岸線和潟湖中被困的石油，防止它們回流到海。該事件發生後，國家公園委員會 (NParks) 也在聖淘沙三個海灘、吉寶碼頭入口、拉布拉多自然保護區附近、東海岸公園和西海岸公園等多個地點逐步部署了近1500公尺的圍油欄。

有關油汙處置情形，海上集油工作由已成立超過30年的國際最大「石油洩漏應急有限公司 (Oil Spill Response Limited, OSRL)」從船上部署的浮動遏制和回收裝置以清理油汙；在岸邊則由國家環境局 (National Environment Agency, NEA)、NParks和聖淘沙發展公司 (Sentosa Development Corporation, SDC) 總共部署了超過250名人員 (其中包括OSRL的50多名專業工作人員、50名NParks官員、清潔工和其他官員) 來支持海灘和海岸線清理工作。

事件自6月14日發生以來，從海洋和海灘清除散裝石油的工作已接近完成。根據衛星和無人機影像，自6月18日起，東海岸和樟宜一帶沒有觀察到浮油。除聖淘沙的丹絨和巴拉望海灘外，大部分受影響的公共海灘已清除大部分浸油沙。迄6月24日為止，已部署超過3,400公尺的圍油欄、投入超過700名人員進行清理工作，並從所有受影響的海灘收集了約550噸浸油的沙子和碎片。下一階段將是對海岸地形、水邊基礎設施和岩堤等地區的殘留石油進行更困難的清理，部分受影響較嚴重的地區，初步估計至少需要三個月左右的清理時間。

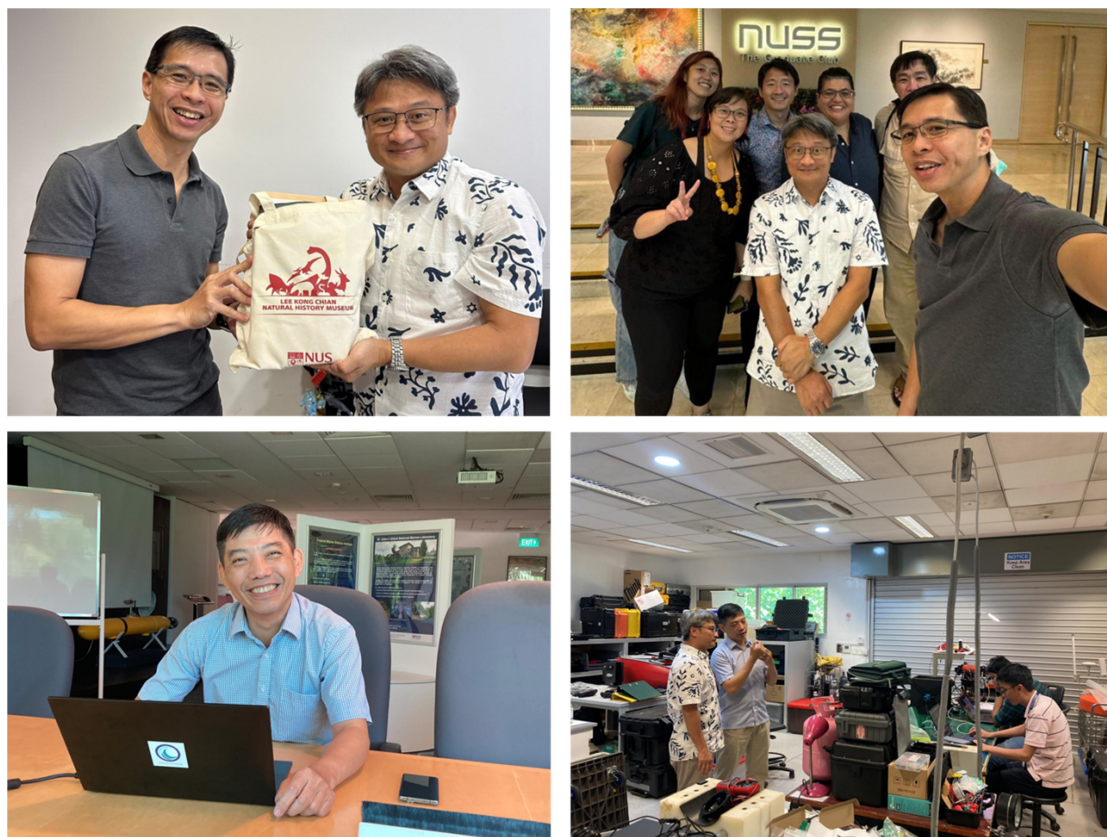
以上資料來源為自6月14日至7月2日共8篇，於MPA官網上的媒體發布資訊，網址為<https://www.mpa.gov.sg/who-we-are/newsroom-resources/media-releases> (如下圖)。



The screenshot shows the MPA Singapore website interface. At the top, there is a navigation menu with links for 'Who We Are', 'Maritime Singapore', 'Regulations & Advisory', 'Port & Marine Ops', 'Singapore Registry of Ships', 'Events & Careers', and 'E-Services'. Below the navigation, the 'Media Releases' section is active, displaying 'Displaying 1314 Results' and a filter for 'Filter by year: All'. A search result is visible for 'Oil Spill Clean-up in Progress at Pasir Panjang Terminal', dated 14 JUN 2024. The result text states: 'The Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) has been notified of an allision between a Netherlands-flagged dredger, VOX MAXIMA, and a stationary Singapore-flagged bunker vessel, MARINE HONOUR which'.

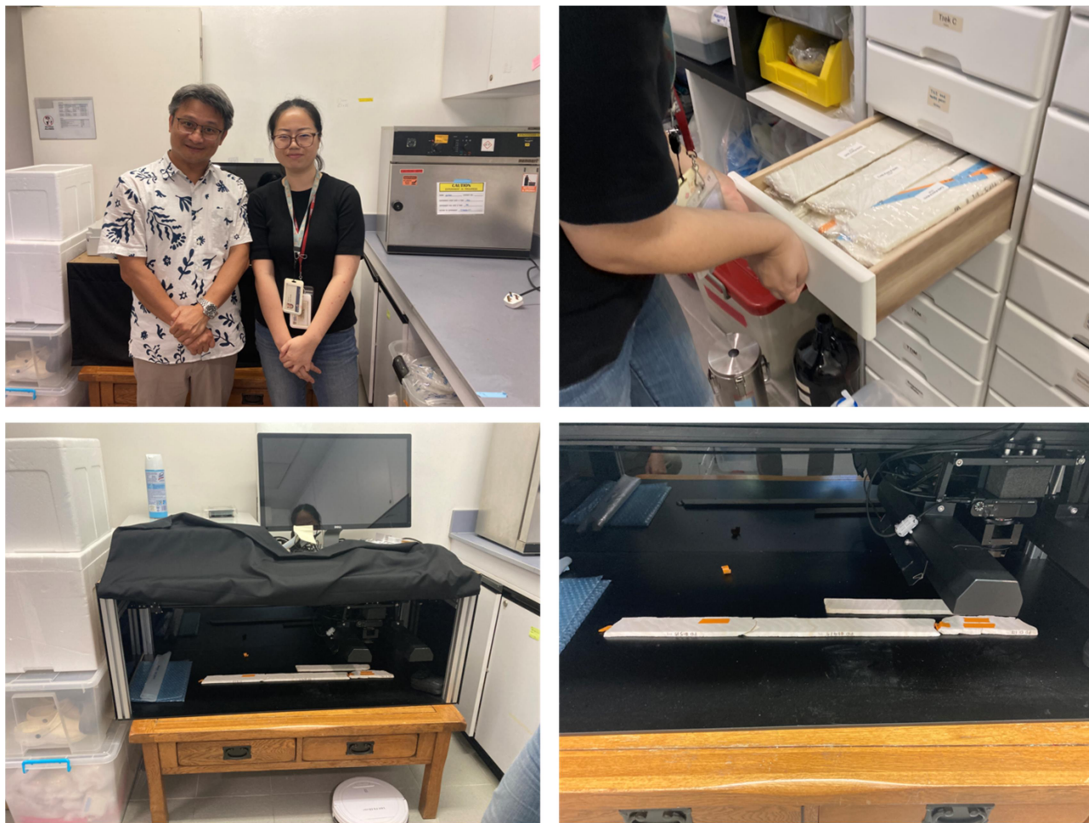
7月4日 (四)：

本日上午的行程為拜會及參訪 NUS 的李光前自然史博物館 (Lee Kong Chian Natural History Museum, LKCNHM)。LKCNHM 是新加坡最大的自然史博物館，自前身於 1878 年成立的萊佛士博物館、1965 年更名為新加坡國家博物館，至 2014 年成為 NUS 理學院下的獨立學術單位。該館致力於成為東南亞生物多樣性研究、教育和推廣的領導者，為世界上最全面的新加坡和馬來亞動物標本收藏館之一，所發行的《萊佛士動物學公報》(The Raffles Bulletin of Zoology, RBZ) 專注於東南亞生物多樣性，已納入 Web of Science 科學引文索引以及許多其他索引系統。此行拜會現任館長 Dr. Darren Yeo Chong Jinn (專長為淡水生物多樣性與生態學、水生入侵及淡水十足目甲殼類) 及副館長 Dr. Danwei Huang (專長為珊瑚礁生態學、演化與保護)，由對方簡報 LKCNHM 沿革及其近年推動「新加坡歷史生物多樣性的數位檔案 (SIGNIFY: A Digital Archive of Singapore' s Historical Biodiversity)」的進展，我方則再次以「臺灣海洋生態系長期生態調查的機會與責任」簡要說明我國在海域長期生態調查的進展，並請益推動珊瑚礁生態調查中的「自主珊瑚礁監測結構 (Autonomous Reef Monitoring Structures, ARMS)」，作為標準化海洋生物多樣性評估和監測方法的執行經驗 [註二]。會後由前館長 Dr. Peter Ng Kee Lin (專長為甲殼類和魚類系統分類) 邀請，與 LKCNHM 及 SJINML 研究同仁共進午餐及研討 (圖六左上及右上)。



圖六、拜會李光前自然史博物館館長 Dr. Darren Yeo Chong Jinn (左上)、與前館長 Dr. Peter Ng Kee Lin 教授等人合影 (右上)；熱帶海洋科學研究所資深工程師 Koay Teong Beng 簡報 (左下) 及聲學研究實驗室相關研究場域導覽 (右下)。

本日下午則是由 Dr. Tanzil 協助，前往拜會及參訪 NUS 的熱帶海洋科學研究所 (TMSI)。TMSI 於 1996 年成立，是一個綜合海洋、陸地和環境科學的多學科卓越研究中心，研究主題包含生物多樣性、生態與保護 (Biodiversity, Ecology & Conservation)、基於自然的氣候解決方案 (Nature-based Climate Solutions)、氣候變遷研究與建模 (Climate Change Research & Modelling)、遙感與地理空間科學 (Remote Sensing & Geospatial Science)、機器人與環境感測 (Robotics & Environmental Sensing)、海岸與海洋動力學 (Coastal & Marine Dynamics) 及生態監測與資料科學 (Ecological Monitoring & Data Science)，願景是應對城市、沿海和海洋環境中新出現的挑戰和機會。本次拜會由聲學研究實驗室 (Acoustic Research Laboratory, ARL) 資深工程師 Koay Teong Beng 協助導覽，參訪由 Dr. Mandar Anil Chitre 所帶領的 ARL 研究團隊在水下聲學、訊號處理與機器學習、海洋機器人和聲學通信的研究場域 (圖六左下及右下)。期間也拜會海洋生物學與生態實驗室 (Marine Biology & Ecology Laboratory, MBEL) 的 Dr. Chen Mengli，分享 MBEL 在珊瑚定年切片樣本從處理、保存、典藏至螢光照相系統建置的經驗 (圖七)。



圖七、拜會熱帶海洋科學研究所Dr. Chen Mengli (左上)、珊瑚定年切片樣本保存櫃 (右上)、珊瑚切片螢光照相系統 (左下及右下)。

[註二] 自主珊瑚礁監測結構 (ARMS) 是一個國際上用於監測珊瑚礁隱蔽性生物群聚的標準化海洋生物 3D 收集器，可視為一個生物氣象站 (如下圖)。將它在水下布放一段時間後，再回收檢視有哪些海洋生物棲息。ARMS 由一堆板狀結構所組成，模仿了複雜的海底結構，可在不破壞自然棲息地的情況下對海洋生物進行監測及採樣。此種標準化的生物普查使研究人員可以根據這些 ARMS 所得的結果，比較不同地區間的海洋生物群聚差異，或者是同一地點隨者時間變化所產生的差異，評估海洋的變遷及健康情況。關鍵創新的地方是建立以相同方式測量海洋生物的標準網絡。透過 DNA 測序技術和比較成像，標準化及可量化的生物多樣性指標，以監測海洋健康的趨勢並預測未來的海洋狀況。



自主珊瑚礁監測結構 (ARMS)。剛布放的情形 (左)；布放兩年後的情形 (中)；採集到的無脊椎動物組合照片 (右)。(照片出處：Plaisance L, Matterson K, Fabricius K, Drovetski S, Meyer C, Knowlton N (2021) Effects of low pH on the coral reef cryptic invertebrate communities near CO₂ vents in Papua New Guinea. PLoS ONE 16(12): e0258725.)

7月5日 (五)：

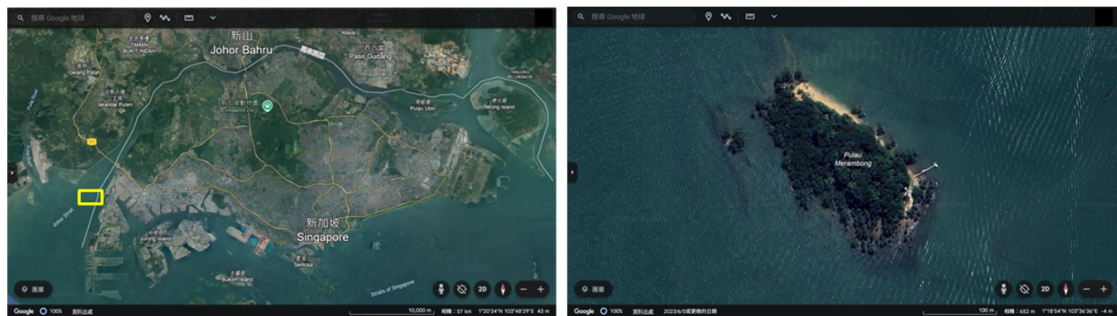
本日上午經 Dr. Tanzil 的協助安排，搭乘計程車由陸路經新加坡 Tuas 檢查站入境馬來西亞柔佛州，於下午與馬來西亞 UMT 之 Dr. Lee Jen Nie 及 Dr. Seah Ying Giat 兩位副教授會合，當晚參加 UMT 團隊於 Kampung Ladang 的紅樹林甲殼類生物多樣性調查，並研討隔日的美蘭邦島考察行程。

7月6日 (六)：

本日行程為實地考察美蘭邦島的潮間帶生態，該島位於馬來西亞及新加坡交界之柔佛海峽，島上以紅樹林沼澤為主，海床連接到蒲萊河 (Sungai Pulai) 河口，為馬來西亞最大的單一海草床 (圖八)。當日團隊於凌晨出發，搭乘動力小船於清晨破曉時的退潮期間抵達。UMT 團隊已於週五進行過生物採集，本日係補充定性生物資料及特殊甲殼類採集 (圖九)。下午則與 UMT 團隊再至 Sungai Pendas 河口的 Kampung Pendas Laut 海濱進行紅樹林生物多樣性採集與沿近海漁獲組成檢視。

7月7日 (日)：

本日為自柔佛駕車沿著馬來半島東岸返回 UMT 的行程，團隊自早上出發，歷經約 10 小時，於晚間七時許抵達登嘉樓。



圖八、新加坡全圖 (左)，黃色方框內為美蘭邦島 (Pulau Merambong)，以及其相對放大圖 (右)。



圖九、馬來西亞柔佛州美蘭邦島 (Pulau Merambong) 紅樹林及沙灘 (左上)、退潮時的潮間帶 (中上) 及各式海洋無脊椎生物 (其餘各圖)。

7月8日 (一)：

本日上午拜會馬來西亞登嘉樓大學科學與海洋環境學院 (Fakulti Sains Dan Sekitaran Marin, FSSM 或 Faculty of Science and Marine Environment, FSME)，並受邀進行 FSME 每月專題講座於 10 點開始至近中午。本講座由 Dr. Lee Jen Nie 副教授 (專長為珊瑚礁生態) 開場，以「馬來西亞登嘉樓大學與國家海洋研究院之合作倡議 (Collaborative initiatives between Universiti Malaysia Terengganu and the National Academy of Marine Research, Taiwan ROC)」介紹過去雙方的研究合作歷程，接著由本人進行一小時完整的「臺灣海洋生態系長期生態調查的機會與責任 (Opportunity and responsibility for the long-term ecological survey of marine ecosystem in Taiwan)」專題演講 (圖十)。講座討論後，參訪 Dr. Lee 的珊瑚切片及骨骼典藏，並討論雙方合作進行中的南中國海珊瑚成長率分析進展 (圖十一)。



圖十、馬來西亞登嘉樓大學科學與海洋環境學院每月專題講座海報 (左)、Dr. Lee Jen Nie 副教授開場介紹 (右上) 及本人專題演講 (右下)。

本日下午則拜會 UMT 的海洋與環境研究所 (Institute of Oceanography and Environment, INOS)，參訪其專注於收集馬來西亞水域 (南海和馬六甲海峽) 所發現海洋多樣性之南海生物典藏中心 (South China Sea Repository and Reference Centre, RRC)，與中心管理者 Azwarina Azmi Mohd Ramasamy 及 Dr. Seah Ying Giat 副教授交流各式海洋生物典藏策略；並由 Dr. Siti Tafzil Meriam binti Sheikh Abdul Kadir 陪同導覽 INOS 研究展廳 (Research Gallery) 內的各式海洋科學、考古、生態及生物多樣性等展件 (圖十二)。結束全天緊湊的行程後，隨即搭機前往吉隆坡，短暫入宿機場過境飯店，準備銜接 7 月 9 日 (二) 返臺的班機，結束此次考察行程。



圖十一、Dr. Lee Jen Nie陪同檢視保存於UMT FSSM之珊瑚切片 (左上及右上) 和珊瑚骨骼典藏 (右下)，並進行珊瑚成長率分析討論 (左下)。



圖十二、Azwarina Azmi Mohd Ramasamy及Dr. Seah Ying Giat陪同導覽UMT INOS RRC之海洋生物標本典藏 (左上及右上)，Dr. Siti TafzilMeriam binti Sheikh Abdul Kadir陪同導覽UMT INOS研究展廳 (左下及右下)。

參、心得與建議

成功推動國際合作的步驟，必須先由雙方或多方的共同關注點切入，營造合作契機，再輔以適度的資源挹注以持續深化。馬來西亞登嘉樓大學成立於 1979 年，是馬來西亞第十四間國立大學，同時也是馬來西亞東海岸規模最大、排名頂尖的大學；新加坡國立大學是新加坡第一所高等學府，於 1905 年創辦，在 QS 世界大學排名為世界第 8 名。回顧本院近兩年來與該兩校持續維持相關合作如下：

- 112 年 3 月邀請馬來西亞登嘉樓大學科學與海洋環境學院 Dr. Lee Jen Nie 及新加坡國立大學聖約翰島國家海洋實驗室 Dr. Jani Tanzil，與本院團隊共同赴南沙進行珊瑚礁環境變遷相關的國際研究合作；
- 112 年 7 月受邀參加馬來西亞生物多樣性考察暨研究調查，共同參與獲得馬來西亞漁業部支持之「探索性研究機會：馬來西亞雪蘭莪州和霹靂州之關鍵及復原棲地資訊蒐集 (Exploratory Research Opportunity: Data Collection for Critical and Resilient Habitats in Selangor and Perak, Malaysia)」研究計畫案；
- 112 年 11 月由登嘉樓大學 Dr. Mazlan Abd Ghaffar 校長親自帶隊來臺，簽署與本院的合作備忘錄；
- 113 年 4 月再次邀請 Dr. Lee Jen Nie 來臺參加本院舉辦的第一屆海洋願景國際學術研討會 (Vision Marine Conference, VMC) 暨五周年院慶相關活動；
- 113 年 7 月初本案由我方人員赴新加坡大學及馬來西亞登嘉樓大學進行回訪，促進臺灣鄰近海域及南海珊瑚樣本之合作分析；
- 113 年 7 月底甫知悉由登嘉樓大學 Dr. Seah Ying Giat 與本院同仁共同申請該校的國際夥伴研究獎助 (International Partnership Research Grant, IPRG) 已獲核定，雙方將共同進行為期三年的「馬來半島西岸現生魚類調查 (Cataloguing the present-time marine fish species in the west coast of Peninsular Malaysia for future research acquisition)」研究計畫。

透過本次的交流，除了持續深化既有研究合作外，建議應特別著重建立與本院業務職掌類似且研究目標相近單位之研究連結，如馬來西亞登嘉樓大學的海洋與環境研究所 (INOS) 及新加坡國立大學的熱帶海洋科學研究所 (TMSI)，也期待透過上述既有合作模式的延伸，加強臺灣-馬來西亞-新加坡參方研究合作效益的提升，透過合作備忘錄的簽訂提供各方研究人員技術或學術交流的平台，逐步推動區域海洋科學研究及拓展海洋相關事務連結。