

出國報告（出國類別：短期研究）

行政院國家科學委員會
第47屆國外短期研究人員
研究報告書

研究人員：樊同雲

推薦機構：國立海洋生物博物館

研究期限：2009年9月8日至2010年2月8日

前往國家：美國/洛杉磯

國外研究機構：加州大學聖地牙哥分校

計畫名稱：台美合作遠距研究與展示台灣墾丁的珊瑚礁生態

摘要

國立海洋生物博物館樊同雲研究員，在國科會補助支持下，於 2009 年 9 月 8 日至 2010 年 2 月 8 日，至美國加州大學聖地牙哥分校進行短期研究，目的是推動台美合作遠距研究與展示台灣墾丁的珊瑚礁生態，過程與活動包括在 Scripps 海洋研究所與 James Leichter 博士討論湧升流對珊瑚礁的可能影響，與 Jennifer Smith 博士討論珊瑚幼生著苗與珊瑚藻和大型藻的關係，與 Dimitri Deheyn 博士討論珊瑚與珊瑚礁生物螢光的研究與展示，進行「珊瑚釋放幼生時機的適應性可塑性與制約」的論文撰寫，並受邀進行標題為「墾丁珊瑚礁對環境變遷的抵抗力與恢復力」的公開演講；在 Birch 水族館與館長 Nigella Hillgarth 博士討論進行雙邊珊瑚展示與研究，並與珊瑚專家 Fernando Nosratpour 先生工作和瞭解珊瑚缸的維護、生物的餵食、志工參與活動、La Jolla 海岸的長期觀測紀錄；在加州通信與資訊科技研究所與所長 Larry Smarrt 博士、Peter Arzberg 博士和 Jurgen Schulze 博士討論珊瑚礁即時監測與展示的後續合作。至蒙特利參加西方自然史學家年度會議，以口頭報告標題為「受內波引發湧升流影響之發育良好裙狀珊瑚礁的高珊瑚加入量」的論文，參訪蒙特利灣水族館與蒙特利灣水族館研究所，與 Peter Brewer 博士討論海洋酸化研究和參觀研究設施如水下載具。至加州大學聖塔芭芭拉分校，參加美國茉莉亞珊瑚礁長期生態研究計畫全體人員會議，並口頭報告「墾丁珊瑚礁對環境變化的抵抗力與恢復力」。心得是墾丁南灣是世界上少有在內波引發湧升流影響下，具有發育良好珊瑚礁，與珊瑚釋放幼生時機具有適應性可塑性的生態，其作為全球氣候變遷下珊瑚礁避難所的潛力值得長期監測與詳細研究；可參考學習 Scripps 海洋研究所與 Birch 水族館，以及蒙特利灣水族館與蒙特利灣水族館研究所之間，結合研究與展示教育的良好模式。建議推動建立海生館成為珊瑚承受滅絕威脅時保存種原的諾亞方舟保育機構，並經由生態即時錄影監測與網際網路散佈，促進全球共同分享參與珊瑚礁的保育。

目次

摘要.....	1
一、出國研究之背景與目的.....	2
二、研究之過程.....	3
三、研究之心得與建議.....	5

一、出國研究之背景與目的

墾丁國家公園海域珊瑚礁具有多項環境與生態的獨特組合條件，例如具有發育良好的裙狀珊瑚礁、豐富多樣和各種生長型群體的珊瑚群聚並存、潮汐引發的深層冷水團湧升流週期性地侵入淺海珊瑚礁區、海水異常暖化時呈現不同地點水溫變動與珊瑚白化程度的異質性、珊瑚釋放幼生全年每月皆進行並且釋放幼生時間具有可塑性、珊瑚的加入量高等特性，顯示墾丁珊瑚礁對於環境變化可能同時具有較高的抵抗力與恢復力，而具有珊瑚礁在全球氣候變遷威脅下的避難所潛力，也逐漸受到國內外學者的注意。

國立海洋生物博物館(海生館)已建立世界最大型之一，兼具教育、研究與保育多功能的珊瑚礁中型生態箱、珊瑚的大量生產與完整生命週期培育技術、先進且超大螢幕的海洋虛擬實境與數位立體互動展示；與台電公司、中央研究院生物多樣性研究中心與國家高速網路與計算中心合作，在南灣電廠入水口海域，建立國際知名的海下珊瑚礁生態錄影與水溫和潮汐變動的連續監測，並經由網路在國內與國外即時展示生態影像和環境訊息；並吸引來自加州大學聖地牙哥分校加州通信與資訊科技研究所、Scripps 海洋研究所、Birch 水族館、加州大學聖塔芭芭拉分校和加州州立大學北嶺分校的許多位國際知名科學家，至墾丁珊瑚礁和海生館訪問或進行合作研究。這些成果非常值得加以整合，並且加強推動與國際著名研究機構和水族館合作，進行跨國和跨越太平洋的遠距科學研究與即時同步展示，將台灣保育珊瑚礁的成果，經由網際網路無遠弗屆的傳佈，以促進全球對珊瑚礁的瞭解，並且共同投入珊瑚礁的教育與保育。

筆者在國科會的經費補助支持下，出國至美國加州大學聖地牙哥分校進行短期研究，主要目的即是推動台美雙邊研究與展示墾丁珊瑚礁，進行的主要工作方式是在 Scripps 海洋研究所、Birch 水族館和加州通信與資訊科技研究所、加州大學聖塔芭芭拉分校與相關研究人員互動討論合作模式，參加西方自然史學家年度會議與美國茉莉亞珊瑚礁長期生態研究計畫全體人員會議，並在會中發表論文或演講，以促進國際對墾丁珊瑚礁研究和保育最新進展的瞭解，並撰寫墾丁珊瑚釋放幼生時機的適應性可塑性與制約的論文。

二、研究之過程

筆者於 2009 年 9 月 8 日至 2010 年 2 月 8 日，至美國加州大學聖地牙哥分校進行短期研究，過程與活動包括：

在 Scripps 海洋研究所，與研究湧升流與深海底棲群聚的 James Leichter 博士合作，其專長於沿岸生態與海洋學、內波、營養鹽動態與幼生散佈等領域，在 Florida 珊瑚礁有許多年研究湧升流的經驗與成果，也是美國在大溪地茉莉亞珊瑚礁長期生態研究團隊的成員，和曾經至墾丁珊瑚礁潛水與訪問海生館而實地瞭解此海域的生態環境條件。筆者此行主要與 Leichter 博士研討墾丁海域珊瑚礁對環境變動所可能具有的抵抗力與恢復力，和規劃後續合作研究的議題與方式。

筆者也與研究生物螢光與發光的 Dimitri Deheyn 博士，討論其之前至海生館進行珊瑚礁發光生物調查的初步結果，後續將利用螢光調查技術進行珊瑚補充量的調查與監測，以及設計展示珊瑚礁生物螢光的水族箱。與專長為大型藻和珊瑚交互作用的 Jennifer Smith 博士，討論珊瑚幼生著苗與珊瑚藻和大型藻的關係，且其博士後研究員 Nichole Price 博士曾經是美國在大溪地茉莉亞珊瑚礁長期生態研究的成員，也曾至海生館短期研究，目前則正在進行環境因子調控珊瑚釋放幼生與幼生著苗的實驗。

筆者也進行「珊瑚釋放幼生時機的適應性可塑性與制約」的論文撰寫(附錄一)，此研究發現墾丁南灣海域 2 種親緣相近、孵育幼生型的造礁珊瑚種類，其釋放幼生的月週期時間對溫度變化反應呈現條件性的適應可塑性。細枝鹿角珊瑚和尖枝列孔珊瑚都是同時性雌雄同體型，其進行體內受精和孵育幼生，幼生運動能力弱，在台灣南部南灣的裙狀珊瑚礁，他們全年釋放幼生，並具有高度同步性和明顯的月週期。最令人驚訝的發現是，2 種珊瑚之間幼生釋放高峰每月移動的相同型態，高峰在冬季約發生在滿月和大潮期間，但會逐月前進，在夏季約發生在上弦月和小潮期間，然後逐月回返。珊瑚群體釋放幼生的平均農曆日(一種幼生釋放高峰時機的常用測量方法)，與每月平均海水溫度之間顯現密切關聯，在較低溫($< 27^{\circ}\text{C}$)的月份，釋放幼生的平均農曆日隨著溫度升高而前進，然而在夏季較高溫期間則維持穩定；累積 2003、2005、2007 和 2008 年的 4 年資料中，包括 2007 年夏季異常溫暖，平均海水溫度達到最高的 29.4°C ，然而平均農曆日仍穩定；後續野外觀察發現這 2 種珊瑚因異常高溫而白化，並可能停止生殖和甚至死亡。

這 2 種珊瑚幼生釋放時機條件式可塑性的相似型態，是特別令人訝異的新發現。因為至目前瞭解，珊瑚的生殖時間是相當穩定且可預測的。孵育幼生型鹿角珊瑚科種類的生殖也已在數個地區被廣泛研究，如在菲律賓、安尼維托克、帛琉和大堡礁的 Heron 島等，他們釋放幼生的時間呈現地理變化，但月週期在季節間大都一致，或都固定在特定的月週期或潮汐週期期間，並且親緣相近種類之間釋放幼生的時間不同。

南灣珊瑚釋放幼生時機的奇特形態，可由生理與演化的機制解釋。在近因與生理機制方面，水溫升高可促進配子、胚胎和幼生的發育速率，縮短完成發育時間，使釋放幼生提早；水溫下降則相反；然而，當水溫過高，發育速率已達上限閾值，珊瑚的生殖時間即受到制約，以及當溫度到達或超過珊瑚耐受上限，珊瑚的生殖將受損或停止。

由於 2 種珊瑚呈現相同生殖時間型態，顯示可能由環境狀況的強烈選擇力量造成趨同演化。南灣受內潮引發的湧升流影響，其在冬季弱，僅造成 1-2°C 溫差，且月週期間差異小；而夏季較強，且到達較淺區域，造成的溫度劇烈下降呈現大潮—小潮週期，在約 6 小時內溫度下降分別達到 4-6°C 和 1-2°C。珊瑚釋放幼生在夏季移動至上弦月小潮期間，能夠避開湧升流對幼生所造成的不利影響，如溫度與水質劇烈變動造成生理不適，以及水團替換而被帶離親代礁區；例如最近發現風驅動的湧升流珊瑚礁區的珊瑚加入量低。南灣珊瑚幼生釋放時間的相變特性，使珊瑚可能能夠避開夏季湧升流發生時的不利環境狀況，如同避開捕食者的不利影響，因此可能增加其生殖成功而呈現地區性適應。

此發現的重要意義，還包括在高環境異質狀況下，因環境的選擇力量強，生物傾向在最適時間窗口期間生殖而變得相似，不同於環境同質下，生殖時間在種間傾向分化以減少競爭；並且在調控生殖時間的月週期方面，溫度能夠超越過去被認為是主要影響因子的月週期和潮汐週期。然而，儘管珊瑚釋放幼生時間具有可塑性，與水溫密切關聯而呈現物理—生物偶合現象，但是在高溫下則受到制約，反映珊瑚對海洋暖化的馴化和適應將有所限制。

另外，筆者也受邀請而進行標題為「墾丁珊瑚礁對環境變遷的抵抗力與恢復力」的專題演講，相關內容可參考樊同雲與方力行(2010，墾丁珊瑚礁的環境適應性，科學發展 445:18-23)的報告。

在 Birch 水族館，筆者與其館長 Nigella Hillgarth 博士和珊瑚專家 Fernando Nostrapaur 先生合作，學習與分享珊瑚的養殖與展示技術，並討論在 Birch 水族館與海生館，建立台灣墾丁珊瑚礁生態與環境訊息的跨國跨洋同步即時展示的可行性，後續將經由生物交換的方式建立合作管道；並且 Scripps 海洋研究所海洋生物多樣性與保育中心的博士生 Aaron Hartmann 先生，將一起參與珊瑚與其幼生的養殖工作，和利用珊瑚幼生進行實驗。除了瞭解珊瑚展示缸的維護方式，筆者也與 Birch 水族館的志工一起進行生物的餵食、海洋教育與保育推廣、以及 La Jolla 堤岸氣候與海況目測的長期觀測記錄等活動。

筆者在加州通信與資訊科技研究所則與其所長 Larry Smarrt 博士、環太平洋格網應用與中介軟體聯盟主席 Peter Arzberg 博士、以及研究高解析度錄影與立體呈現視覺

化技術的 Jurgen Schulze 博士合作，討論墾丁珊瑚礁的海底錄影機升級為高解析度錄影機，並應用於珊瑚礁的即時監測研究。

另外，筆者也利用此行出國至加州的機會，到加州的蒙特利參加於 11 月 12 日至 15 日舉行的西方自然史學家年度會議，以口頭報告發表「受內波引發湧升流影響之發育良好裙狀珊瑚礁的高珊瑚加入量」論文，順道參訪國際著名的蒙特利灣水族館與蒙特利灣水族館研究所，並與研究海洋酸化的專家，也曾至台灣訪問演講的 Peter Brewer 博士討論海洋酸化研究和參觀研究設施，如水下載具和控制溫度與二氧化碳對海洋生物生理生態影響研究的實驗設施等。回程則至加州大學聖塔芭芭拉分校，參加於 11 月 17 日至 18 日舉行的美國茉莉亞珊瑚礁長期生態研究計畫全體人員會議，會中口頭報告「墾丁珊瑚礁對環境變化的抵抗力與恢復力」之研究概況，以及與此計畫的共同主持人，現職為加州州立大學北嶺分校生物系教授的 Peter Edmunds 博士討論，合作研究探討環境變遷如海洋暖化與酸化對珊瑚幼生生理生態的影響。

三、研究之心得與建議

湧升流區珊瑚礁的特色發展研究。墾丁南灣是世界上少數在內波引發湧升流影響下，具有發育良好的珊瑚礁，並且珊瑚的生殖時間長，珊瑚釋放幼生時機具有適應性可塑性，以及珊瑚加入量高等良好特性的生態系；而湧升流區的珊瑚礁，也被科學家認為具有珊瑚礁面臨海洋暖化威脅下的避難所潛力。累積過去的研究調查成果，我們已對墾丁珊瑚的生殖、加入量與復原能力有基本瞭解；然而，由於自然與人為因素造成的環境變異日益增加，並且難以預測，未來應審慎評估，並挑選具有高度生態與保育價值的地區，進行長期重點式的生態監測研究，以適時掌握後續墾丁珊瑚礁的變動與發展，和正確瞭解影響變動的驅動力、過程與機制，提供有效科學經營管理的依據。

大型水族館與海洋研究站的整合發展。此行所參訪的 Scripps 海洋研究所與 Birch 水族館，以及蒙特利灣水族館與蒙特利灣水族館研究所，都是國際著名的大型水族館與海洋研究站，其地理位置都鄰近海洋，並且當地具有特色的生態系，如聖地牙哥的湧升流和蒙特利灣的近岸深海，而大型水族館有效寓教於樂地展示海洋生物的多樣性並有研究人員將研究成果轉化為科普展示教育，協助促進社會大眾瞭解陌生的各類海洋生物，以及接觸最新科技發展與生態保育現況，實為結合科學研究與展示教育的良好互動模式。海生館結合大型水族館的社會教育與研究所的高等教育，鄰近稀有受湧升流影響，卻有發育良好且對環境變化具有較高抵抗力和恢復力的珊瑚礁，並已建立相當大規模和兼具教育、研究與保育多功能的珊瑚礁中型生態箱，與珊瑚的大量生產與完整生命週期培育技術，建議在此特色優勢的發展基礎上，持續推動建立海生館成為珊瑚承受滅絕威脅時保存種原的諾亞方舟保育機構，並經由生態錄影的即時監測，與網際網路迅速且無遠弗屆地傳播，促進國內外喜愛與珍惜海洋的人士，共同分享台灣墾丁珊瑚礁的美麗，促進參與和推動全球珊瑚礁的保育。

培養具備 E 世代智慧能力的海洋人才。網際網路與資訊技術的創新發展，已為人類文明與地球生態開創新局，如何善用現代先進資訊技術，如高解析度水下數位錄影機、3D 立體實境視覺化影像和感測器網路，以掌握結構複雜、環境多變、色彩豐富、又充滿生命活力的海洋與珊瑚礁生態，並利用光纖網路或衛星快速傳輸影像與訊息，結合世界各地的人員及時掌握生態變化、有效迅速溝通，並進行及時研判與反應；同時海洋與珊瑚礁生態現場，有善長水域活動和優秀野外觀察判斷能力與經驗的研究調查人員，提供實地正確的訊息以相互驗證。這些跨領域的新 E 世代海洋人才的培育，是未來台灣維持海洋科學研究與展示教育領先地位的根基。