

面對氣候變遷衝擊 台灣珊瑚礁長期生態研究的 過去、現在與未來

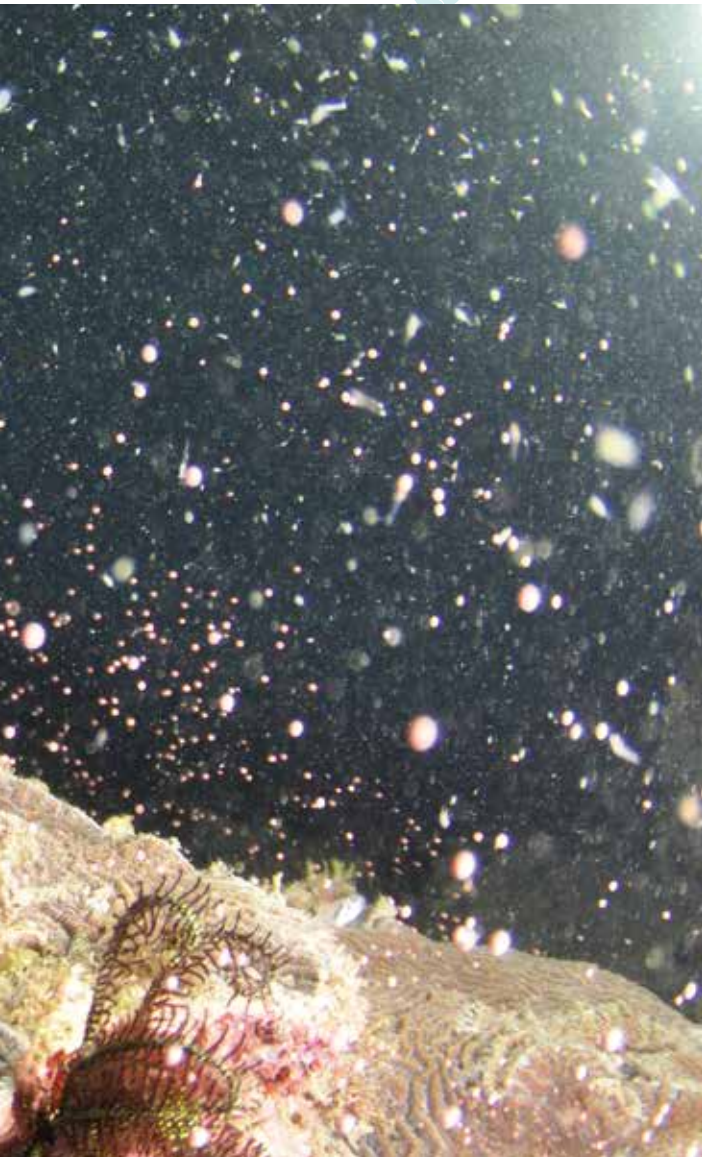
文·圖 | 陳昭倫、郭兆揚 中央研究院生物多樣性研究中心

台東基翬海岸腦紋珊瑚產卵 (郭兆揚攝)





澎湖七美月鯉珊瑚群聚 (陳昭倫攝)



台灣造礁珊瑚生物多樣性科學的研究可追溯自日治的晚期，主要是集中在南部墾丁海域。日本學者杉山敏郎1937年記錄到24屬43種，之後川口四郎於1942和1943年增至34屬78種。值得一提影響全球珊瑚研究深遠研究有二，一是時任台北帝國大學（台灣大學前身）動物學部的川口四郎博士在現今宜蘭蘇澳灣觀察到海面上有大量紅色的卵塊漂浮，後來判斷是珊瑚的集體產卵行為。這篇單頁的短文成為最早「珊瑚集體同步產卵」的論文，而西方科學家直到四十年後才在「科學」期刊發表大堡礁的珊瑚集體同步產卵。第二是戰後台大地質系馬廷英教授對於珊瑚生長年輪的研究，奠定了著名的「大陸板塊漂移」學說。

台灣珊瑚研究的過往今來

台灣在珊瑚調查研究投入較大量能開始於設定核能電廠、國家公園與國家風景特定區等，從1970年代開始開展了多次全台造礁珊瑚多樣性與珊瑚礁生態調查和監測。截至2020年為止，台灣海洋國土範圍內已記錄到的石珊瑚種類高達558種，其中在淺水海域的造礁種類亦高達450種，使得台灣海域造礁珊瑚多樣性與鄰接珊瑚金三角北界的菲律賓和位於較高緯度的日本皆相似。

雖然在造礁珊瑚多樣性研究上獲得顯著的成果，且過去數十年來各項重大開發案都曾針對珊瑚礁生態進行相關研究與監測（例如，核能電廠），但是由於經費提供都屬於短暫（1~3年）且開發案完成之後即停止，因此無法進行10年或是更長時間珊瑚礁生態資料的收集與分析。1990年代台灣成立生態研究網絡（Taiwan ecological research network, TERN），並陸續在國科會支助下於五處陸域生態熱區設立長期生態研究站（Long-term Ecological Research, LTER）。海域生態長期研究則到了2000年於墾丁國家公園海域設立珊瑚礁長期生態研究站，才開始進行各項生物多樣性、生態、海域環境、生態模擬等觀測資料的收集。然而，國科會的經費支持於2002中止，墾丁國家公園2003起接續支持人為活動對墾丁海域生態的衝擊研究至2008年。2009年之後的經費支持僅足夠支撐底棲群聚變動的監測，並於2016年起採每兩年一次辦理的方式進行委託監測至今。

恆春半島珊瑚群聚變遷

整理過去30年墾丁長期生態觀測的結果顯示，墾丁海域在本世紀之初已呈現明顯的過漁現象

(Overfishing)，而每年500~800萬至墾丁旅遊人口所需的食宿與遊憩開發所造成的棲地破壞、民生廢水排放引發的海洋污染，加上颱風與珊瑚白化的衝擊，使得珊瑚礁區沈積物增加，優養化造成與珊瑚競爭棲地的大型藻類的增加，在2010年左右墾丁海域的珊瑚礁就已呈現劣化的狀態。除了人為活動的干擾，墾丁珊瑚礁亦受到自然驅動力如颱風的影響：統計從1911至2018年通過台灣的颱風數目，55.84%直接影響墾丁珊瑚礁，其中又以東南-西北侵襲方向的頻度（26.37%）最高。進一步整理從1987至2018年的墾丁海域颱風與異常高溫的環境事件與活珊瑚覆蓋率的關係，結果顯示在這期間總共紀錄到12次颱風與7次異常高溫引起的珊瑚白化，直接衝擊墾丁各區的活珊瑚覆蓋率，其中以2009年莫拉克颱風侵襲可作為底棲群聚組成「死亡交叉」的分水嶺。莫拉克之前雖有持續上升的人為活動與自然擾動，但是墾丁珊瑚礁仍維持以石珊瑚為主的底棲群聚。而莫拉克之後則轉變成以藻類為主的群聚，且經歷了7年的時間，直到2016年的春天才再恢復至以石珊瑚為主的群聚，並回到1987年相當的覆蓋率。

以穿越線調查法拍攝珊瑚礁底棲群聚（郭兆揚攝）

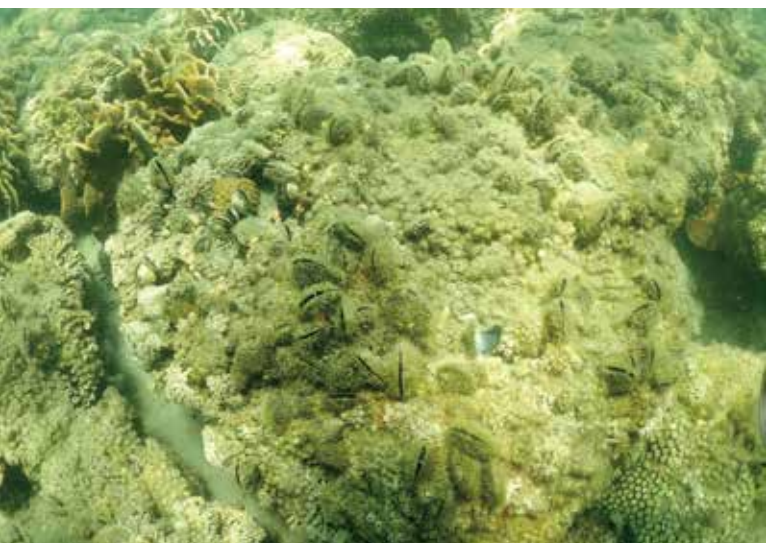




2020 東吉嶼珊瑚白化



2001 青灣內灣珊瑚群聚 (陳昭倫攝)

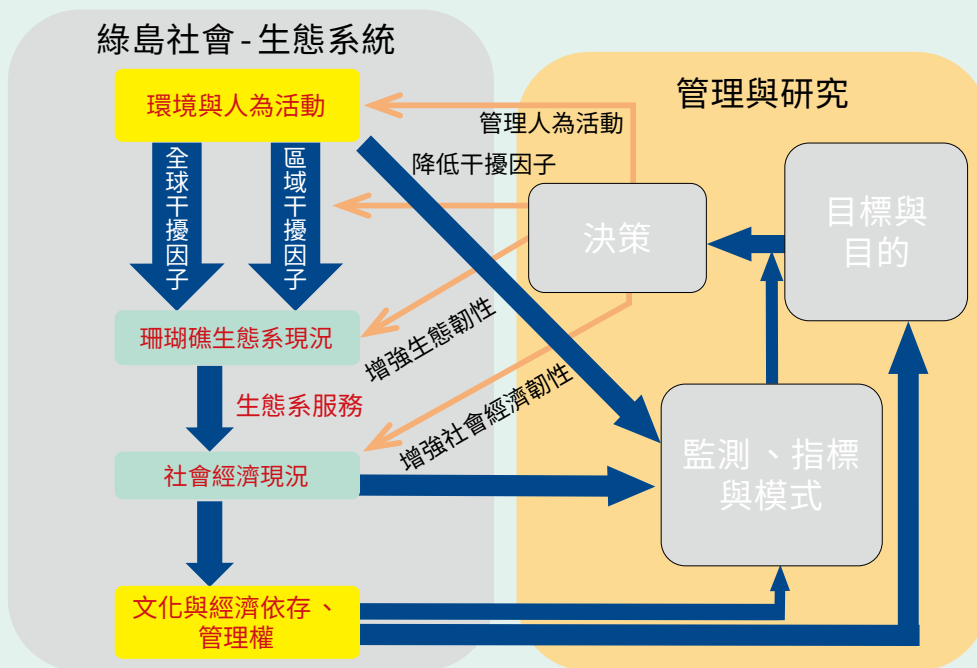


2020 青灣內灣珊瑚群聚 (陳昭倫攝)

2016夏天至2017年底連續的颱風與熱浪導致的珊瑚白化使得藻類又成為墾丁海域底棲群聚的主角，顯示氣候變遷效應的確增強熱浪發生與颱風的效應。進一步分析長期的觀測資料也可看出，墾丁珊瑚礁棲地劣化不只是整體群聚從珊瑚轉變成以大型藻類為主的底棲群聚，同時珊瑚功能群也從可形成3D立體結構生長型的物種轉變成低矮團塊狀或是匍匐狀生長型珊瑚的組成。因為缺乏其他與珊瑚礁共棲相依的生物群聚（例如，魚類及大型無脊椎動物）在同一個時空尺度長期同步觀測資料的收集，這樣底棲群聚改變是否後續影響其他生物類群組成與生態功能就不得而知。而2020年發生史無前例的全台珊瑚大白化，更可能大大降低墾丁珊瑚礁的生態韌性，延遲恢復成以珊瑚為主的底棲群聚，其影響程度仍有待進一步的分析。

澎湖海域珊瑚群聚變遷

台灣海峽澎湖群島的非礁型珊瑚群聚自1998年起在中研院與水試所澎湖海洋生物研究中心有限經費支持下，亦陸續累積珊瑚群聚的研究，尤其是位於澎湖本島馬公灣的青灣內灣。青灣內灣水深6公尺之內的活珊瑚覆蓋率曾高達 $80.9\% \pm 10.8\%$ 為全台之冠，且是以枝狀、桌狀與叢狀等3D立體結構的軸孔珊瑚為主的群聚，2005年亦透過漁業法劃設成台灣首座設計有禁捕區 (no-take zone, NTA) 的海洋保護區。然而，青灣內灣長期承受來自澎湖內海箱網養殖與百年來牡蠣養殖的污染，使得青灣內灣的珊瑚群聚面臨甚大的環境壓力，加上長期過度漁業捕撈珊瑚礁魚類與大型無脊椎動物，以及食珊瑚的結螺 (*Drupella* spp.) 大爆發，使得活珊瑚覆蓋率在6年之內降至 $16.3\% \pm 8.4\%$ ，且原本3D立體結構的礁體瓦解成平坦且高沈積物的狀態。加上2008年澎湖寒害的衝擊，青灣內灣從以枝狀珊瑚為主的群聚轉變成團塊狀生長型珊瑚與



綠島珊瑚礁社會生態觀測平台示意圖

藻類為主的群聚，至2020年最新的調查顯示青灣內灣群聚仍無恢復的跡象。

現今台灣珊瑚礁生態呈現持續衰退，主要是受到過漁、污染、棲地破壞等人類活動以及氣候變遷持續增強熱浪與颱風影響。至於台灣其他擁有珊瑚生態系的海域，例如台灣東北角與北海岸、宜花東海岸以及離島的綠島與蘭嶼，更因無長期的觀測資料收集，導致當相關環境問題產生時，都缺乏科學資料佐證進行分析。

台灣珊瑚礁生態研究的未來：整合社會生態系統的長期觀測

面對人類活動與氣候變遷交織複雜的衝擊，台灣珊瑚礁生態研究已無法僅進行傳統珊瑚礁生物多



國科會綠島長期社會生態觀測平台於中央研究院綠島海洋研究站設置微氣象觀測塔 (葉元芸攝)



樣性、生態機制研究以及環境資料觀測與收集，而忽略或是漠視「人」在整體社會與生態系統中造成的干擾。相反的，必須將人類活動的社會生態系統加入到問題的釐清與解決方案的產生。例如，集水區流域的開發、城市發展的經濟活動、以及排入珊瑚礁污水的流域整治等，這些會對珊瑚礁產生衝擊的治理轉型，都是協助珊瑚礁生態系增加對氣候變遷衝擊的生態韌性。

因此，面對氣候變遷不可預測嚴峻的挑戰，生態研究必須進行跨領域合作加入社會經濟與人文社科等學科，建立一個長期社會生態系統觀測平台 (Long-term social-ecological research, LTSER)。長期社會生態系統首先選定一特定區域 (本文以綠島為例)，從環境與人為活動的觀測、收集綠島社會經濟現況，同時確認區域性與全球性的干擾下所呈現出綠島珊瑚礁生態現況。然後，進一步分析在這樣的生態系狀態下所擁有 (或剩餘) 生態系服務功能為何，再透過與綠島擁有管理、文化與經濟依存的各權益關係人確認後，社會生態系

統所觀測的資料匯進到監測、指標與模式的倉儲，並回饋到綠島珊瑚礁社會生態管理目標與研究的調整。最終，依照管理目標與研究調整所形成的決策，擬出降低人為活動、環境干擾、增強綠島珊瑚礁生態韌性，以及依靠綠島珊瑚礁生態服務的社會經濟韌性等各項作為。

在國科會自然處核心設施建置計畫的經費支持與中央研究院合作下，2022年9月於中央研究院生物多樣性研究中心轄下的綠島海洋研究站，成立「綠島長期社會生態觀測平台」辦公室 (<https://reurl.cc/klXj8d>)。未來三年觀測平台將派員長駐綠島，並結合中研院、台灣大學、嘉義大學以及東海大學在環境、生態、社會經濟等專業研究人員，以跨領域整合的方式進行相關資料收集與倉儲，再以視覺化的方式將這些資訊即時的提供給包括政府、民間團體、商家以及關心綠島永續發展的權益關係人使用。期待在所有權益關係人之間達成共識之後，真正落實綠島珊瑚礁生態治理。 ■



以綠島永續發展為願景的示意圖 (江勻楷繪)