



海洋委員會海洋保育署

Ocean Conservation Administration, Ocean Affairs Council

「110 年臺灣珊瑚監測交流網絡建立  
與保育策略規劃」案  
成果報告書

執行單位 | 國立海洋生物博物館

中華民國 110 年 12 月

Ocean  
Affairs  
Council

110-C-36

臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃

## 成果報告

計畫主持人：國立海洋生物博物館 樊同雲 博士

研究人員： 國立海洋生物博物館 鄭群學  
葉宗旻  
江名祺  
邱郁婷  
墨心慈  
藍國維  
張軒慈  
鄭庭卉  
林子傑  
謝昀豐  
張容嘉

執行單位：國立海洋生物博物館  
地址：屏東縣車城鄉後灣路2號

海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫

中華民國 110 年 12 月

# 目錄

目錄 .....	i
表目錄 .....	iii
圖目錄 .....	iv
摘要 .....	vi
第一章 前言 .....	1
第二章 研究方法 .....	4
一、 野外珊瑚數位照相調查與監測方法的建立 .....	4
二、 水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法的建立 .....	5
三、 珊瑚數位影像分析方法的建立 .....	5
四、 珊瑚數位照相調查與監測點建立與調查方式推廣 .....	6
五、 研擬臺灣珊瑚保育計畫 .....	7
第三章 結果 .....	7
一、 野外珊瑚數位照相調查與監測方法的建立 .....	7
二、 水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法的建立 .....	48
三、 珊瑚數位影像分析方法的建立 .....	65
四、 珊瑚數位照相調查與監測點建立與調查方式推廣 .....	67
(一) 基本問卷調查統計 .....	67
(二) 各工作坊問卷調查結果及活動合影 .....	68
(三) 舉辦工作坊之公民科學家練習成果 .....	70
五、 研擬臺灣珊瑚保育計畫 .....	72
第四章 討論 .....	72
一、 珊瑚物種多樣性 .....	72
二、 珊瑚覆蓋率 .....	72
三、 各區域目前現況 .....	74
(一) 小琉球 .....	74
(二) 恒春半島 .....	75
(三) 澎湖 .....	75

四、 面臨問題 .....	76
(一) 海洋熱浪 .....	76
(二) 控制人為的污染 .....	77
(三) 油污染 .....	77
五、 積極發展趨勢 .....	78
(一) 海洋保護區 .....	78
(二) 庇護所 .....	78
(三) 珊瑚復育 .....	79
(四) 珊瑚園藝 .....	80
(五) 發展珊瑚產業 .....	80
參考文獻 .....	82
附錄一、臺灣珊瑚保育計畫 .....	91
附錄二、「臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃」期中審查會議委員意見回覆 .....	113
附錄三、各地珊瑚礁與珊瑚群聚的威脅與解決方案表 .....	118
附錄四、臺灣珊瑚監測方法與數位影像分析標準化操作手冊 .....	119
附錄五、「臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃」期末審查會議委員意見回覆 .....	144

## 表目錄

表 1、本島與離島各珊瑚礁底棲群聚調查測站經緯度置 .....	7
表 2、本計劃調查結果在各區域、地點和深度的珊瑚覆蓋率(%)、珊瑚(硬珊瑚與 軟珊瑚)/藻類(大型藻與毛叢藻)比例、以及發況.....	41
表 3、2020 與 2021 年珊瑚礁體檢以及 2021 年本研究調查資料之珊瑚(硬珊瑚與 軟珊瑚)覆蓋率(%)比較表 .....	44
表 4、工作坊場次時間錄.....	66

## 圖目錄

圖 1、各調查地點位置圖 .....	9
圖 2、萬里桐淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	9
圖 3、合界淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	10
圖 4、出水口淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	11
圖 5、後壁湖淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	12
圖 6、眺石淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	13
圖 7、香蕉灣淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	14
圖 8、龍坑淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	14
圖 9、漁埕尾淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	16
圖 10、厚石裙礁淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	17
圖 11、杉福淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	18
圖 12、美人洞淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	19
圖 13、小野柳(加路蘭)淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	21
圖 14、杉原淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	21
圖 15、基翹淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	23
圖 16、三仙臺(南邊)淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	24
圖 17、石梯坪淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	25
圖 18、豆腐岬淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	26
圖 19、粉鳥林淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	27
圖 20、野柳淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	27
圖 21、外木山淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	28
圖 22、潮境淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	29
圖 23、番仔澳淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	30
圖 24、深澳淺礁與深礁底棲群聚結構 .....	30
圖 25、鼻頭公園淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	32
圖 26、龍洞北邊淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	33
圖 27、龍洞南邊淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	34
圖 28、卯澳淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	35
圖 29、杭灣淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	36
圖 30、山水港淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成 .....	38

圖 31、蛇頭山西淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	39
圖 32、風櫃東(青灣)淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	40
圖 33、各地點資料統整圖示.....	44
圖 34、海生館珊瑚王國館礁頂缸、礁緣缸、礁壁缸、圓柱缸、復育缸、臺灣水域館軟珊瑚缸外觀照 .....	49
圖 35、海生館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	51
圖 36、海生館水族實驗中心室內三個再循環水產養殖系統 RAS 缸底棲群聚結構 .....	52
圖 37、貢寮室內珊瑚缸.....	53
圖 38、貢寮珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	53
圖 39、貢寮室外海洋資源復育區.....	54
圖 40、貢寮海洋資源復育區實景與底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	55
圖 41、澎湖水族館前場軟珊瑚缸、海葵缸、石珊瑚缸、後場軟珊瑚缸外觀照 .....	55
圖 42、澎湖水族館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	57
圖 43、海科館珊瑚缸外觀照.....	57
圖 44、海科館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	58
圖 45、花蓮遠雄海洋公園珊瑚蟲缸、萬種風情缸.....	59
圖 46、花蓮遠雄珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	60
圖 47、Xpark 水族館珊瑚缸.....	60
圖 48、Xpark 水族館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	61
圖 49、小琉球海洋館缸體內部照片 .....	62
圖 50、小琉球海洋館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	62
圖 51、中山高中珊瑚缸.....	63
圖 52、中山高中珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成.....	64
圖 53、珊瑚網自動分析的正確率.....	65
圖 54、基本問卷調查統計.....	66
圖 55、各工作坊場次活動合影 .....	68
圖 56、CoralNet 圖表分析基翬漁港，分析者為團隊 1、團隊 2、與本團隊 .....	69

## 摘要

本計畫在臺灣本島的南部、東部、北部、和西側二離島等地區，建立野外和人工環境的珊瑚監測與保育示範點、進行珊瑚調查人員的培訓，建立珊瑚監測交流網絡，並透過結合野外近岸淺海及人工培育珊瑚之數位影像，進行資料庫儲存與標準化分析，掌握珊瑚最新狀況，並透過彙整國內外文獻資料與案例等方式，研擬規劃善用數位科技與人工智能、大數據分析的臺灣珊瑚保育具體行動，訂定臺灣珊瑚保育計畫。此次研究調查共 31 個地點，每個地點 2 個深度，以便與珊瑚礁體檢資料對照。共 62 組珊瑚與藻類資料的結果顯示，有 7 組珊瑚群聚(卯澳淺礁、萬里桐深礁、漁埕尾與厚石裙礁的淺礁與深礁、美人洞淺礁)已失去結構與功能(珊瑚覆蓋率 $<10\%$ 且珊瑚/藻類比例 $<0.1$ )，22 組珊瑚群聚衰退(珊瑚覆蓋率 10-30%且珊瑚/藻類比例 $\leq 0.5$ )，其餘為穩定或健康，主要威脅是人為的污染和破壞、海洋熱浪、颱風等。失能的地區，主要是小琉球，急需保育管理和評估復育的可行性與優先順序。也完成 7 個水族館的珊瑚覆蓋率調查、5 場工作坊和共 73 人完成教育訓練，並已建立臺灣珊瑚監測方法與數位影像分析標準化操作手冊。對於珊瑚目前所面臨的威脅提出因地制宜的保育策略，以及討論海洋熱浪、控制人為的污染、海洋保護區、庇護所、珊瑚復育、和發展珊瑚產業等議題，期待未來珊瑚的議題與保育能受到更多的重視。

關鍵字：珊瑚、調查、監測、珊瑚網、水族館、工作坊、保育策略

# Abstract

This project aims to establish coral monitoring and conservation demonstration sites in the wild and artificial environment in Southern, Eastern, Northern, and Western Taiwan, as well as conduct training workshops, and establish a network of coral citizen scientists. The digital images of natural and artificially cultivated corals are stored in the CoralNet website and analysis processes were standardized. Through the review of domestic and international literature and case studies, the strategic plan of coral conservation in Taiwan is proposed. The results of 62 sets (2 depths at each of 31 sites) of coral and algae data showed that 7 sets of coral communities have lost their structure and function (coral coverage  $<10\%$  and coral/algae ratio  $<0.1$ ). 22 sets of coral communities have declined (coral coverage 10–30% and coral/algae ratio  $\leq 0.5$ ), and the rest were stable or healthy. The main threats are man-made pollution and destruction, marine heatwaves, typhoons, etc. The disabled areas, mainly Hsiaoliuqiu, are in urgent need of conservation management and evaluation of the feasibility and priority of restoration. The work of coral coverage survey in 7 aquariums, 5 workshops, training of 73 people, as well as a standardized operation manual for coral monitoring methods and digital image analysis have also accomplished. We also proposed the conservation plan tailored to local conditions, and discuss issues such as marine heatwaves, man-made pollution control, marine protected areas, refuges, coral restoration, and the development of the coral industry.

Keywords: coral, survey, monitoring, CoralNet, aquarium, workshop, conservation strategy

# 第一章 前言

珊瑚是全球珊瑚礁和臺灣沿海最重要的基石底棲生物類群之一，珊瑚礁具有建造陸地、保護海岸、碳酸鹽生產、營養循環、孕育生物多樣性、維持漁業資源、穩固社會發展、推動生態旅遊、促進藍色經濟、培育海洋文化等的極高價值、功能與服務(Bostrom-Einarsson et al. 2020; Goergen et al. 2020; Shaver et al. 2020)，並成為自然生態與人類社會重要的資產(Maynard et al. 2017, 2019; Woodhead et al. 2019)。珊瑚礁高生物多樣性、高生產力、高生物量等特性，以及多元功能，如維持生態平衡、食物和藥物、觀賞休閒、觀光遊憩、以及教育和研究等，使其總經濟價值高，每年每平方公里價值估計可達美金 10–60 萬元；卻也是所有海洋生態系中，在受損後修復成本最高的(West & Salm 2003; De Groot et al. 2013)，並且復育一株珊瑚的成本估計為美金 10–35 元(dela Cruz & Harrison 2020)。

然而全球珊瑚的數量在近數十年正在快速減少，有些種類甚至面臨滅絕風險。珊瑚衰退的主要原因包括遭受不當的人為活動，如過漁、陸源的沈積物和廢水污染、油污染、非法或錯誤的海域遊憩行為等。氣候變遷，包括海洋熱浪、強烈颱風增加、海洋酸化、冷水入侵，以及生物交互作用，如天敵棘冠海星爆發、空間競爭者藻類、海葵、海綿過度生長等(樊, 2012a, 2012b; 葉與樊, 2019; Bostrom-Einarsson et al. 2020; Goergen et al. 2020; Shaver et al. 2020)。據估計全球珊瑚礁 33–50% 已完全衰退，許多地區甚至已失去一半或更多的活珊瑚覆蓋面積 (ISRS Consensus Statement on Climate Change and Coral Bleaching, October 2015; McCauley et al. 2015)，並且有三分之一的造礁珊瑚種類在國際自然保育組織 IUCN 紅皮書列為滅絕風險程度升高(Carpenter et al. 2008; Hughes et al. 2014)。

禁止漁撈的海洋保護區(No Take Marine Protected Area)是普遍應用的管理方式，能夠有效地保護生物多樣性和提高魚類物種的生物量，保護區域食藻動物的增加使食物網與營養階層完整，也相對增強珊瑚礁群聚對自然干擾，包括珊瑚大白化、珊瑚疾病、棘冠海星大爆發、和颱風等的適應力，進而改善當地社區的經濟收益(Edgar et al. 2014; Mellin et al. 2016; Hargreaves-Allen 2017)。不過，海洋保護區仍然會受到海洋異常暖化和污染的衝擊，降低保護的成效。

海洋暖化衝擊是造成全球造礁珊瑚大量減少的主要因素之一，過去已分別在 1998、2010 和 2015–2016 年發生全球性的珊瑚大白化和死亡事件(McCauley et al. 2015)；海洋熱浪已被認為是全球，珊瑚所面臨最急迫的威脅(樊, 2012b; Liu et al., 2014)。以臺灣所發生海洋異常暖化造成珊瑚大白化事件為例，北部的珊瑚群聚曾在 2018 和 2020 年發生，南部的珊瑚礁則曾在 1998、2007、2016–2017 和 2020 年發生(Kuo et al. 2012; Tew et al. 2014; DeCarlo et al.

2017; Lee et al. 2020)，並且 2020 年臺灣的北部、東部、西部、南部、東沙島和南沙太平島全都發生；以臺灣北部為例，美國海洋與大氣總署珊瑚白化熱點衛星遙測監測(<http://www.coralreefwatch.noaa.gov/satellite>; Liu et al. 2014)，預測珊瑚白化的周熱化度數(Degree Heating Week, DHW)排名前六名的年度與數值，依序分別為 2020 年的 12.2、2016 年的 8.6、2014 年的 8.5、2017 年的 7.7、1998 年的 5.9、2018 年的 5.6，顯示近年正在快速暖化而必須妥善規劃因應。更需要注意的是「珊瑚白化的未來：全球珊瑚礁白化狀況的降尺度預測以及對氣候政策和管理反應的影響」報告中，預測臺灣的珊瑚可能從 2037 年會每年嚴重白化，在東亞是最早發生，並且損失比例最高的(UNEP 2017)。

尋找和保護在海洋暖化威脅下，具有野外珊瑚礁高復原力或天然庇護所潛力的地區，如大振幅內波引發間歇性湧升流區或環境狀況變動較大的地點(West & Salm 2003; Chen et al. 2005; Wall et al. 2015; Schmidt et al. 2016; Maynard et al. 2017; UNEP 2017; Hsu et al. 2020)，並且全力優先保護天然庇護所礁區不受人為污染和破壞，以強化其抵抗氣候變遷的衝擊，並在受創之後能夠加速復原，是珊瑚礁長期有效經營管理的最重要工作之一(Maynard et al. 2017; McLeod et al. 2021)。

隨著珊瑚礁的快速改變和衰退，在許多珊瑚礁底棲群聚結構中，具有對緊迫敏感生活史的石珊瑚物種已呈現喪失的趨勢，並且在受到干擾後迅速擴展的耐受緊迫和機會主義物種的優勢呈現增加。在這種情況下，大型藻、毛叢藻、海葵、海綿變得優勢，並且可能會取代石珊瑚，因為它們具有更好的適應性生理、抗干擾性和營養生態的可塑性。然而，這些影響的確切原因通常不清楚，因為許多生物同時暴露於多種緊迫之下，必須考慮地方和全球緊迫之間的協同作用，以瞭解珊瑚礁在人類世的環境下對持續環境變化的耐受性(Maynard et al. 2017; McLeod et al. 2021)。

造礁珊瑚受到海洋暖化衝擊而在全球大量減少，已促使其人工培育在國際上日益受到重視(Berzinset al 2008)。所有的石珊瑚已列名於瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約，以加強資源保護與商業開採管理，有效使得野外珊瑚的採捕受到限制(Rhyne et al. 2014)；加上珊瑚逐漸成為生物與醫藥研究(Bartlett 2013; Leal et al. 2013, 2014)、生態修復(Linden & Rinkevich 2017)、海洋觀賞水族(Olivotto et al. 2016; Barton et al. 2017)的重要生物材料，價值開始高漲，成為高價值的水產養殖動物，也更加促使其人工繁養殖在國際間日益快速發展(Leal et al. 2013, 2014)；在野外，如以色列紅海(Linden & Rinkevich 2017)、商業養殖場、和私人或公立水族館，都已進行和擴大人工養殖珊瑚規模，其產量與產值的成長也有益於海洋水族產業與珊瑚礁保育(Rhyne & Tlusty 2012; Dee et al. 2014; Rhyne et al. 2014; Chang et al. 2020; Huang et al. 2020)。

因此珊瑚保育除了野外原地珊瑚的監測管理外，同時發展異地珊瑚培育，如在養殖場或水族館中養殖保護韌性物種，以避免原地養殖容易受到人為的汙染和

破壞影響，或因疾病與天敵爆發造成損失，海水異常暖化造成珊瑚大量白化死亡，以及颱風引發強勁風浪造成沿海礁區摧毀破壞的事件發生等。而經由建立具有熱韌性的活珊瑚庫，可供水族館保存、分享研究社群使用和復育野外珊瑚礁(Barton et al. 2017; 樊, 2018; Cohen et al. , 2018; 葉與樊, 2019 ; da Silva et al. 2019; Shepherd, 2019; Hein et al. 2020; Zoccola et al. 2020)。珊瑚保育包含原地保育和異地保育，注重生態保育和永續發展的水族館和養殖場也具良好保育功能，促進科技與產業發展，同時與野外互補，相輔相成，尤其適合水產養殖和生物科技進步發達的臺灣，促進達成「健康棲地」和「永續資源」的目標。

由於人為活動與氣候變遷的衝擊，全球和臺灣珊瑚的數量正在快速減少和變化，必須客觀、正確、迅速、有效地掌握珊瑚的最新狀況，以瞭解經營管理與生態保育的成效。另一方面，由於近岸淺海的天然環境容易受到人為干擾和氣候變遷的影響，是國際海洋保育的關注重點之一。如何將瀕臨絕種、滅絕風險升高的重要或保育類珊瑚，在人工環境的水族館或養殖場中進行養殖、繁殖和培育，以獲得較佳的人為保護，並提升其調適未來劇烈變化環境的韌性愈加重要。透過水族知識、經驗、技術的共享，和活體珊瑚交換的網絡，因應野外珊瑚正在快速減少和滅絕風險增加的危機。同時水族館與養殖場的珊瑚也可經由數位照相和人工智慧輔助的影像紀錄與分析，長期保有資料與掌握活體珊瑚的生長狀況，並應用於珊瑚保育。

過去珊瑚的調查與監測耗時費力，人員訓練不易，人工記錄所得的資料不僅稀少更不易標準化。隨著數位科技的進步，珊瑚生態調查已逐漸進步到使用相片、資料庫、與電腦軟體進行標準化分析，如珊瑚點計數(Coral Point Count)；近年人工智慧輔助的半自動或全自動分析，如珊瑚網 (CoralNet, <https://coralnet.ucsd.edu/>)，也逐漸發展成熟(Beijbom et al. 2015; Lozada-Misa et al. 2017; Williams et al. 2019)。因此，在野外經由橫截線數位照相調查，能夠容易、普遍與快速地獲得大量影像，儲存在網站作為永久紀錄供後續分析、比對和查考。經由珊瑚監測交流網絡建立，能快速獲得標準化且容易比較的珊瑚類群與數量的大數據，同時透過辦理工作坊，將親海與愛海的海域活動愛好者，訓練為具備基本調查能力之珊瑚調查人員，可共同合作協助珊瑚調查、監測與保育。由當地社區居民參與投入，採取實地行動來支持與強化珊瑚礁的恢復力，降低氣候變遷所產生的衝擊，並使珊瑚礁有最大機會來應對未來重大挑戰的關鍵，如此經由發展公民科學計劃，為現有的科學知識和當地珊瑚礁的保護做出寶貴的貢獻，並向當地利害關係人提供資訊，以科學化和現代化地幫助保護海洋和管理決策。

本團隊與美國加州大學聖地牙哥分校科學家合作，共同發表人工智慧輔助分析的珊瑚網研究成果(Beijbom et al. 2015)，已在恆春半島與小琉球都有各約1萬多張的相片在珊瑚網資料庫上，主要探討珊瑚礁底棲群聚的時空變化，分析珊瑚礁底棲群聚結構中、石珊瑚、軟珊瑚、藻類、基質與其他生物的覆蓋比例。

石珊瑚分析的精密度到珊瑚屬及其不同生長型，分析內容將近有 150 個左右的標籤類別。也已因應珊瑚白化事件針對白化的珊瑚類別與數量進行分析中。本團隊在小琉球也已提供現地調查的分析資料，做為當地公民科學家在珊瑚網上進行珊瑚礁監測數據分析的人工智慧訓練資料(張等 2019, 2020)。珊瑚網的珊瑚群聚結構影像自動分析可說是公民科學家的超強工具，具有大數據、機器學習、標準化、正確率高、快速等特性與優點。

本案計畫在臺灣本島的南部與離島、東部、北部、和西側離島等五個地區，建立野外和人工環境的珊瑚監測與保育示範點、進行珊瑚調查人員的培訓，建立珊瑚監測交流網絡，並期透過結合野外近岸淺海及人工培育珊瑚之數位影像，進行資料庫儲存與標準化分析，掌握珊瑚健康狀況。並透過彙整國內外文獻資料與案例等方式，研擬規劃善用數位科技與人工智能、大數據分析的臺灣珊瑚保育具體行動，訂定臺灣珊瑚保育計畫。

## 第二章 研究方法

### 一、野外珊瑚數位照相調查與監測方法的建立

建立野外珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作手冊，利用水下數位相機和適當的照相框架，記錄每條非固定橫截線的底棲生物、基質與珊瑚白化情形。在臺灣本島的南部、東部、北部、和西側二離島等五個地區，每個地區選擇 3 個過去珊瑚調查與監測資料較多的地點，分別在水深約 5 公尺的淺礁和約 10 公尺的深礁(與珊瑚礁體檢的調查深度相仿，更因臺灣珊瑚礁或岩礁的地形情況多變，調查會依實際可行狀況調整)區域，各進行 3 條 30 公尺橫截線調查；調查地點與深度包括臺灣本島南部恆春半島的合界(水深 5m、10m)、後壁湖(5m、10m)、眺石(5m、10m)；東部臺東的小野柳(3m、5m)、花蓮的石梯坪(5m、10m)、宜蘭的豆腐岬(3m、6m)；北部的基隆潮境(5m、10m)、龍洞(5m、10m)、新北市鼻頭公園(3m、10m)；和西側離島澎湖的杭灣(4m、8m)、山水港(4m、7m)、風櫃東(青灣(5m、10m))等 12 個基本地點。珊瑚部分針對硬珊瑚、軟珊瑚來做分析，10 米以下的珊瑚種類則不在本次研究範圍。圖中的珊瑚覆蓋率皆以平均(Average)±標準誤差(Standard Error) 呈現。

因計畫的執行效率高，已在臺灣本島的南部與離島、東部、北部、和西側離島等五個地區，每個地區選擇 3 至 5 個過去珊瑚調查與監測資料較多的地點，進行 3 條 30 公尺橫截線調查；調查地點與深度包括臺灣本島南部恆春半島的萬里桐(3m、6m)、合界(5m、10m)、核三廠出水口(5m、10m)、後壁湖(5m、10m)、眺石(5m、10m)、香蕉灣(5m、10m)、龍坑(5m、10m)、佳洛水；以及離島小琉球的美人洞(5m、10m)、杉福(5m、10m)、厚石裙礁(5m、10m)、漁埕尾(5m、10m)；東部包括臺東的小野柳(3m、5m)、杉原(3m、6m)、基翹(3m、6m)與三仙臺(5m、7m)、

花蓮的石梯坪(5m、10m)與和平港、宜蘭的豆腐岬(3m、6m)與粉鳥林(3m、6m)；北部的野柳(1m、3m)、外木山(5m、10m)、潮境(5m、10m)、番仔澳(5m、10m)、深澳(5m、10m)、鼻頭公園(3m、10m)、龍洞北邊(5m、10m)、龍洞南邊(5m、10m)、卯澳(5m、10m)；和西側離島澎湖的杭灣(4m、8m)、山水港(4m、7m)、蛇頭山西(1m、5m)風櫃東(青灣)(5m、10m)等，共 31 個地點，包括原定的 12 個基本地點和擴增的 19 個地點，以更完整瞭解各地區現況。地點的選擇涵蓋海洋保護區、過去珊瑚礁體檢，或有較多珊瑚調查研究、監測資料、空間分佈，以及人力、工作量與經費等考量而訂定。

潛水調查主要以岸潛，輔以船潛的方式，分別在淺區(水深 1-5 公尺)和深區(6-10 公尺)，即與珊瑚礁體檢的調查深度相近的區域，各進行 3 條 30 米橫截線的數位照相調查，利用水下數位相機(Olympus TG-5)和底部 35 乘 35 公分、高 60 公分的照相框架，照相記錄每條橫截線的底棲生物與基質，每一深度 3 條 30 米橫截線共 270 張照片，每一地點共 540 張照片。也邀請過去執行珊瑚礁體檢的當地潛水人員參與，或依據所發表的全球定位系統 GPS 資料，如林(2014)，以使調查地點與過去盡可能相同。

## 二、水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法的建立

在臺灣本島南部的海生館、東北部的新北市政府海洋資源復育園區(簡稱貢寮)、北部的基隆國立海洋科技博物館(簡稱海科館)、和西側離島的澎湖水族館等四個基本地區，以及擴增至桃園的 Xpark 水族館、小琉球海洋館、以及高雄市中山高中等三個水族館。每個地區使用水下數位相機(Olympus TG-5)，照相記錄珊瑚水族缸的底棲生物與基質，利用牛耕式攝影法將相機平貼在缸體上，比照牛隻耕田拐彎的方式，第一行的拍攝方向為上至下，第二行的拍攝方向即為由下至上，第三行再以上至下的方式拍攝，以此類推。拍攝時務必連續性地逐張拍攝，以確保缸內珊瑚都有入鏡，同時降低被重複拍攝的情況。以此建立水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作手冊。由於對象皆是珊瑚，希望建立天然與人工環境下，利用珊瑚網辨識珊瑚的高效能方法，以供未來社會大眾、水族愛好者、經營管理者的善加利用。

## 三、珊瑚數位影像分析方法的建立

前述二工項皆主要由本團隊人員進行以確保品質，同時鼓勵其他人員提供更多影像。所拍攝之相片利用數位技術進行珊瑚類群辨識、資料儲存與標準化分析，並建立珊瑚數位影像分析方法標準化操作手冊。所拍攝的每個樣框之相片，在電腦使用珊瑚網(CoralNet, Beijbom et al. 2015; Lozada-Misa et al. 2017; Williams et al. 2019; Rodriguez-Ramirez et al. 2020)分析，每個樣框記錄 50 個隨機樣點其下的底棲生物和基質，計數各樣框內底棲生物和基質的樣點數

和計算其覆蓋率(Tkachenko et al. 2007; Yang et al. 2017)。底棲生物和基質分析分為二等級，初級分為硬珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、殼狀珊瑚藻、大型藻、毛叢藻、海膽、海參、海綿與其它等大類，所得資料可與珊瑚礁體檢對應比較，適合社會大眾參與和瞭解，擴增的 19 個地點中，11 個地點分析至大類；高級則再進階將珊瑚分至屬和各生長形，如分枝形、葉形、團塊形、表覆形以及其他等，並統計珊瑚各生長形與屬的覆蓋率比較，所得資料適合學術研究，12 個基本地點和擴增的 8 個地點共 20 個地點分析至珊瑚屬。各底棲生物類別的定義如下，大型藻(Macroalgae)主要為組織較多、形態直立、高度通常大於 1 公分的大型海藻。毛叢狀海藻(Turf algae)主要為絲狀，高度通常小於 1 公分。白化珊瑚將以人工確認。儲存在珊瑚網的資料將設定不同使用權限，以管理資料品質。經由足夠數量和高品質影像的標準化分析，以建立正確而可信度高的資料，明確掌握珊瑚數量的變動，並以珊瑚覆蓋率以及珊瑚(硬珊瑚與軟珊瑚)/藻類(大型藻與毛叢藻)比例的量化資料將珊瑚的發展現況分成四級，包括 1. 珊瑚覆蓋率 $<10\%$ 且珊瑚/藻類比例 $<0.1$ ：失能、2. 珊瑚覆蓋率 10–30%且珊瑚/藻類比例 $\leq 0.5$ ：衰退、3. 珊瑚覆蓋率 30–50%且珊瑚/藻類比例 $>0.5$ ：穩定、4. 珊瑚覆蓋率 $>50\%$ ：健康，以提供客觀評估珊瑚保育成效的基礎。

#### 四、珊瑚數位照相調查與監測點建立與調查方式推廣

在臺灣本島的南部與離島、東部、北部、和西側離島等五個地區，建立野外和人工環境的珊瑚監測與保育示範點辦理工作坊，各地區一場，辦理的地點分別為小琉球的琉球管理站暨遊客中心(大鵬灣國家風景區管理處)、墾丁的墾丁國家公園遊客中心、澎湖的澎湖縣政府農漁局水產種苗繁殖場、東部的東部海岸國家風景區管理處都歷遊客中心、北部的國立海洋科技博物館；活動行程包括珊瑚保育簡介 25 分鐘，珊瑚數位照相調查與珊瑚網使用 25 分鐘，珊瑚網實作練習 50 分鐘，心得分享、意見調查與綜合討論 50 分鐘等；完成共 5 場工作坊，73 人完成完整的教育訓練，並邀請當地進行過珊瑚礁體檢，對珊瑚監測和保育有興趣的潛店、水族館、志工、水族愛好者與潛水人員，以及墾丁國家公園管理處、海洋國家公園管理處、海科館、東部海岸國家風景區管理處、澎湖海洋生物研究中心、澎湖水產種苗繁殖場、澎湖水族館與相關單位參加，以促進地方社區參與，推動長期合作和擴大效應，培訓具有基本調查與監測珊瑚能力之人員，和具備基礎珊瑚知識與繁養殖能力的水族人員，並建立交流網絡，如共同使用珊瑚網，成立 LINE 群組，分享最新的調查進度、珊瑚現況、珊瑚相關的知識、經驗、技術、以及在野外和在水族館與養殖場的珊瑚最新情形。工作坊與 LINE 群組的人員採數量與品質並重原則，適當控管人數與人員，以培訓優質、核心與長期合作的夥伴。

## 五、研擬臺灣珊瑚保育計畫

經由與當地潛水人員共同潛水，將珊瑚調查與監測影像在珊瑚網的彙整儲存、標準化分析與整理資料圖表，而使資訊掌握有良好科學基礎，再經由 LINE 群組和辦理工作坊而強化互動，以促進交流網絡的建立。然後整理國內珊瑚調查與監測的相關資料與案例(如 Dai 1991a, 1991b; Dai et al. 2002; Tkachenko & Soong 2010; 李等 2011; Wen et al. 2013; 戴 2014; Ribas-Deulofeu et al. 2016; Fan et al. 2017; 張等 2019, 2020; 陳 2018, 2019; 陳與鄭 2019; 鄭 2019; 戴與秦 2019; Denis et al. ; 2019Lin & Denis 2019; 黃 2020; 戴與鄭，2020; Dang et al. 2020; Nozawa et al. 2020)，評估臺灣周邊海域珊瑚群聚變遷的時間與空間變化，並討論其目前狀態、所承受威脅、機會與挑戰等因素，以及提出改善建議。

參考國內外珊瑚調查、監測、保育及復育措施相關文獻資料(包含 Goergen et al. (2020): Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales; Hein et al. (2020): Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services - A guide to coral restoration methods; McLeod et al. (2020): Best practice coral restoration for the Great Barrier Reef: Synthesis of results; Shaver et al. (2020): A manager's guide to coral reef restoration planning and design; 與 Marshall & Schuttenberg (2006): A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching)，於機關辦理珊瑚保育計畫相關工作坊或會議時，協助機關邀集專家學者及權益關係人，並配合相關工作以共同商討如何因應氣候變遷導致之珊瑚白化現象，研擬具體資源經營及保育之行動，完成臺灣珊瑚保育計畫，以支持聯合國生態系復育十年（2021–2030）和海洋科學促進永續發展（2021–2030）計畫(UN Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030) and Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030), Hein et al. 2020)，並促進珊瑚調適與適應人類世的環境(Isabelle & Reynolds 2006; Bellwood et al. 2019; Schmidt-Roach et al. 2020; Selmoni et al. 2020; McFarland 2021)。

## 第三章 結果

### 一、野外珊瑚數位照相調查與監測方法的建立

已完成 31 個地點，包括 12 個基本地點與 19 個擴增地點，每個地點 2 個深度的照相調查與影像分析，以下為各樣區位置與經緯度座標，並如表 1 與圖 1 所示。

表 1、本島與離島各珊瑚礁底棲群聚調查站經緯度位置。

基本調查地點			
地區	地點	緯度	經度
恆春半島	合界	21°57' 21.0"N	120°42' 47.6"E
	後壁湖	21°56' 43.3"N	120°44' 47.4"E
	眺石	21°57' 23.8"N	120°46' 03.1"E
臺東	小野柳	22°47' 40.4"N	121°11' 53.9"E
花蓮	石梯坪	23°29' 01.9"N	121°30' 50.9"E
宜蘭	豆腐岬	24°35' 03.1"N	121°52' 21.9"E
基隆	潮境	25°08' 36.4"N	121°48' 16.2"E
新北	龍洞北邊	25°06' 48.6"N	121°55' 01.7"E
	鼻頭公園	25°07' 30.2"N	121°54' 51.6"E
澎湖	杭灣	23°30' 78.4"E	119°36' 62.8"E
	山水港外東側	23°30' 36.2"E	119°35' 56.2"E
	風櫃東(青灣)	23°32' 58.5"N	119°33' 18.2"E
擴增調查地點			
地區	地點	緯度	經度
恆春半島	萬里桐	21°59' 43.8"N	120°42' 15.9"E
	核三廠出水口	21°55' 50.2"N	120°44' 44.7"E
	香蕉灣	21°55' 27.0"N	120°49' 54.1"E
	龍坑	21°54' 00.9"N	120°50' 49.0"E
小琉球	漁埕尾	22°20' 88.7"N	120°23' 45.1"E
	厚石裙礁	22°19' 28.4"N	120°22' 01.0"E
	杉福	22°20' 20.7"N	120°21' 40.3"E
	美人洞	22°21' 26.3"N	120°22' 33.3"E
臺東	杉原	22°50' 18.7"N	121°11' 24.1"E
	基翹	23°06' 59.5"N	121°23' 48.0"E
	三仙臺	23°07' 36.7"N	121°24' 27.8"E
宜蘭	粉鳥林	24°29' 51.2"N	121°50' 41.1"E
新北	野柳	25°12' 43.8"N	121°41' 24.5"E
基隆	外木山	25°09' 42.9"N	121°44' 11.3"E
	番仔澳	25°08' 12.7"N	121°49' 08.0"E
	深澳	25°07' 52.2"N	121°49' 22.8"E
新北	龍洞南邊	25°05' 57.3"N	121°55' 33.6"E
	卯澳	25°00' 59.3"N	121°59' 31.7"E
澎湖	蛇頭山西	23°33' 14.2"N	119°32' 77.7"E

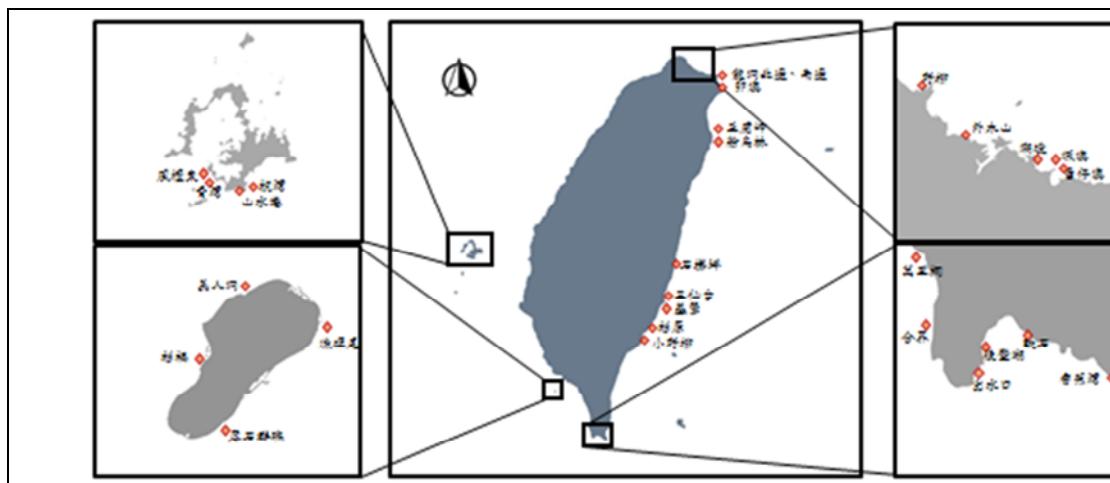


圖 1、各調查地點位置圖。

31 個地點中，20 個地點分析至珊瑚屬，11 個地點分析至大類。各地點底棲群聚結構各類別的覆蓋率方面分別敘述如下：

恆春半島地區萬里桐淺礁(3m)硬珊瑚 17.3%、軟珊瑚 0.3%、珊瑚藻 0.1%、大型藻 0%、毛叢藻 67.0%、基質或其他 15.4%；深礁(6m)硬珊瑚 8.9%、軟珊瑚 0.5%、珊瑚藻 0.03%、毛叢藻 58.0%、基質或其他 32.6%。淺礁相較於深礁的硬珊瑚數量較多，然而深淺礁的珊瑚覆蓋率皆<20%以下，而毛叢藻比例卻>50%而遠高於珊瑚覆蓋率，明顯以藻類為優勢(圖 2)。

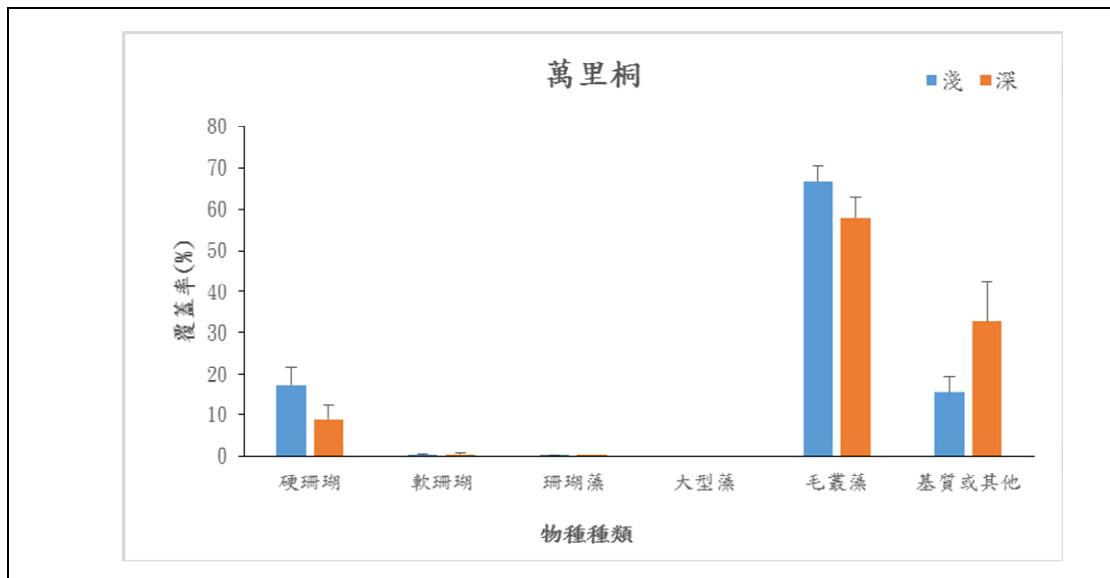


圖 2、萬里桐淺礁與深礁底棲群聚結構。

合界為淺礁(5m)硬珊瑚 25.6%、軟珊瑚 0.4%、珊瑚藻 0.9%、大型藻 1.6%、毛叢藻 71.1%、基質或其他 0.5%；深礁(10m)硬珊瑚 40.7%、軟珊瑚 0.3%、珊瑚藻 0.8%、大型藻 0.2%、毛叢藻 56.7%、基質或其他 1.3%。其中淺礁鹿角珊瑚屬 11.4%、繩紋珊瑚科 7.0%佔多數，深礁也是鹿角珊瑚屬 13.7%、繩紋珊瑚科 12.3%佔珊瑚種類中的多數，然而二礁區總體皆以毛叢藻為優勢，淺礁藻類覆蓋率更

>70%，可列為需觀察珊瑚生長狀況之區域(圖 3)。

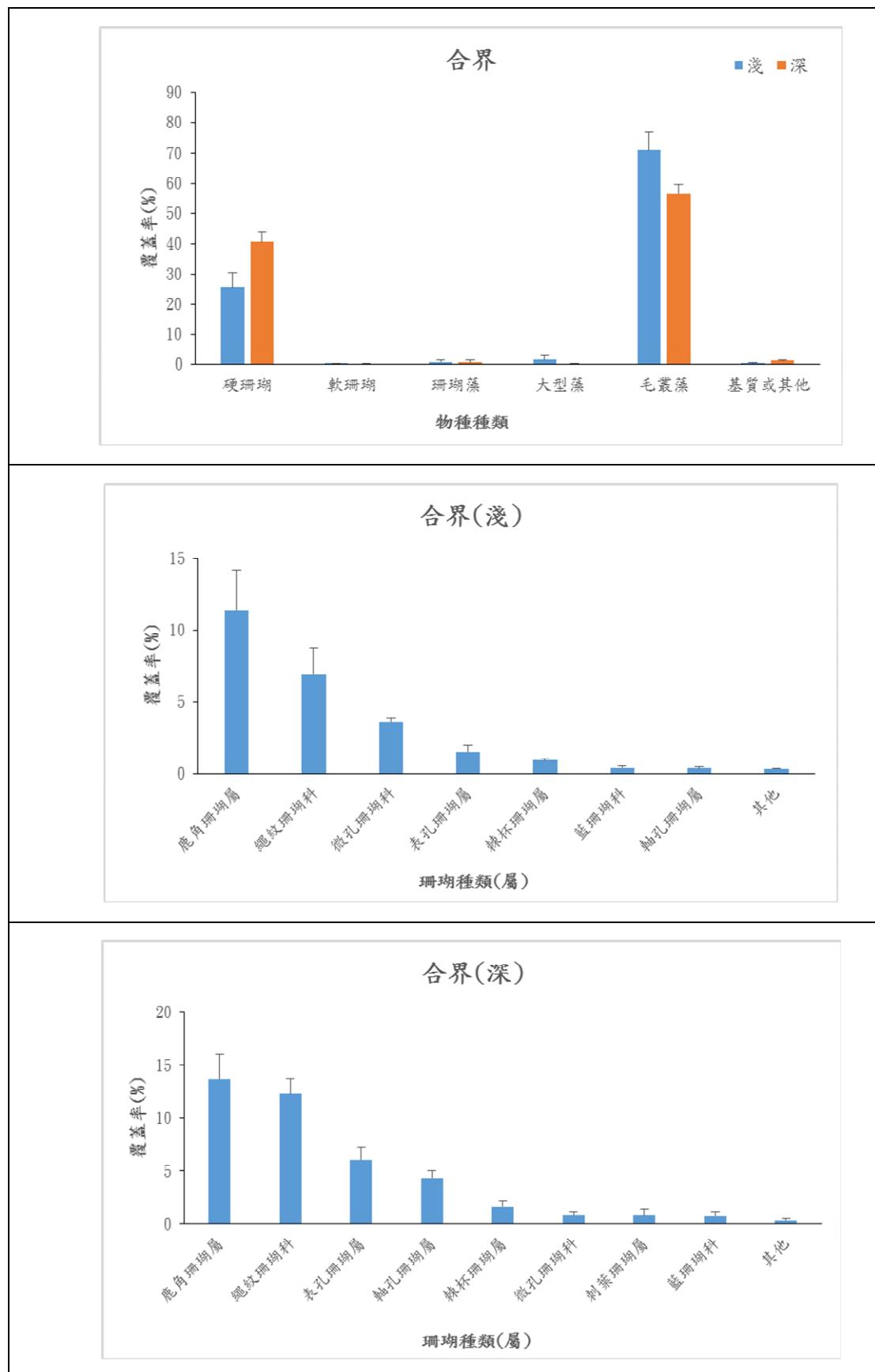


圖 3、合界淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

南部核三廠出水口淺礁(5m)物種種類分別為硬珊瑚 29.0%、軟珊瑚 0.6%、珊瑚藻 3.3%、大型藻 1.1%、毛叢藻 58.4%、基質或其他 7.7%；深礁(10m)硬珊瑚 43.9%、軟珊瑚 8.1%、珊瑚藻 1.2%、大型藻 1.0%、毛叢藻 38.7%、基質或其他 7.0%（圖 4），圖表資料顯示硬珊瑚、軟珊瑚在深礁覆蓋率比淺礁佳，但淺礁毛叢藻覆蓋率較高。

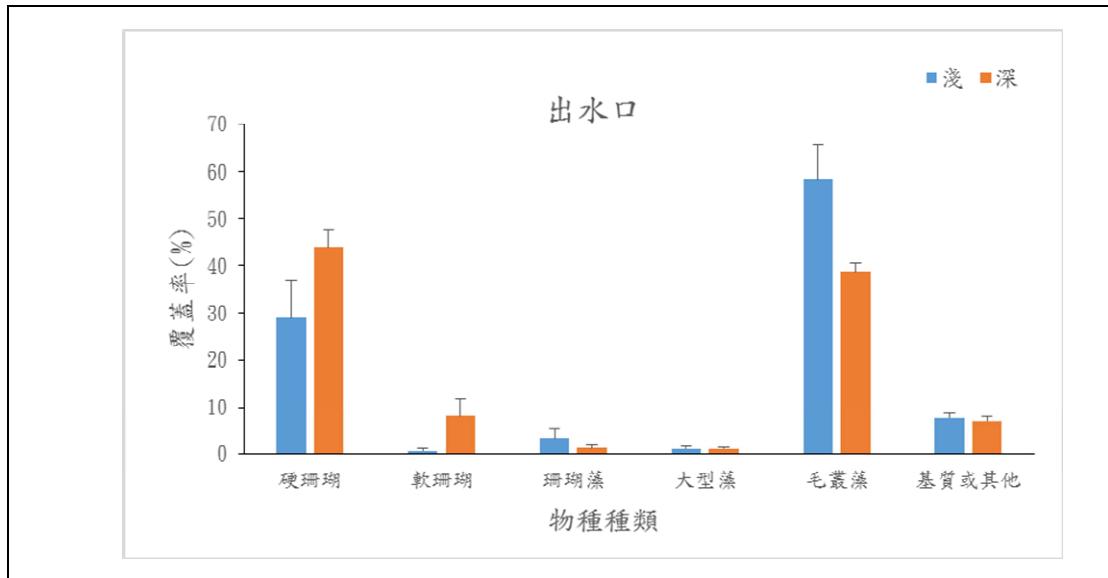
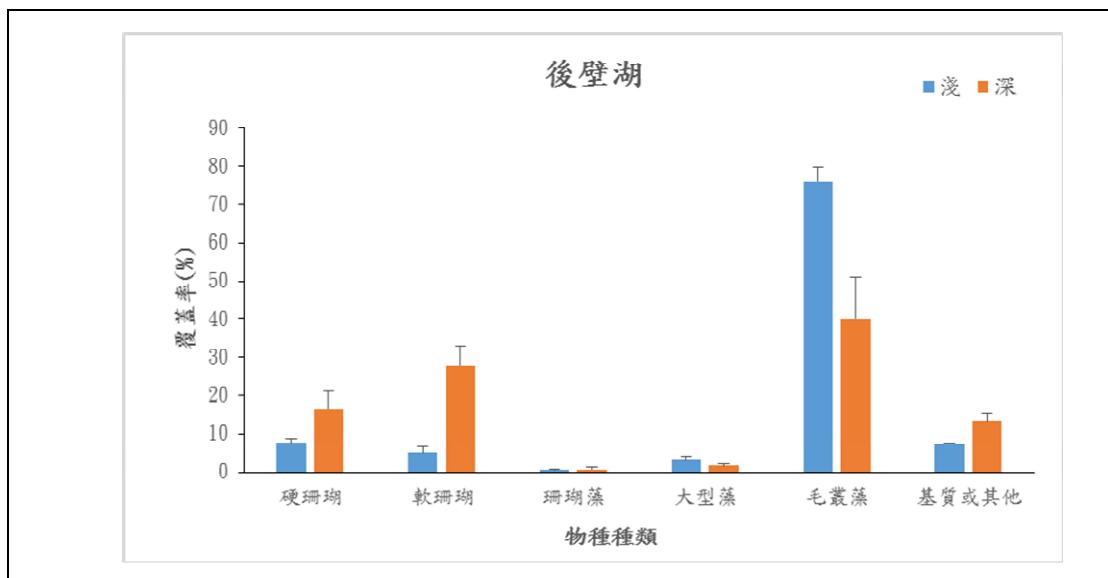


圖 4、出水口淺礁與深礁底棲群聚結構。

後壁湖淺礁(5m)硬珊瑚 7.6%、軟珊瑚 5.0%、珊瑚藻 0.6%、大型藻 3.2%、毛叢藻 76.2%、基質或其他 7.4%；深礁(10m)硬珊瑚 16.5%、軟珊瑚 27.9%、珊瑚藻 0.8%、大型藻 1.8%、毛叢藻 40.0%、基質或其他 13.2%。然而淺礁珊瑚物種種類中千孔珊瑚科 3.6%、肉質軟珊瑚屬 2.3%為多數主要種類；深礁則以指形軟珊瑚屬 14.1%、肉質軟珊瑚屬 13.1%的軟珊瑚種類佔大多數，深淺兩區域珊瑚覆蓋率範圍落在 10-30%（圖 5）。



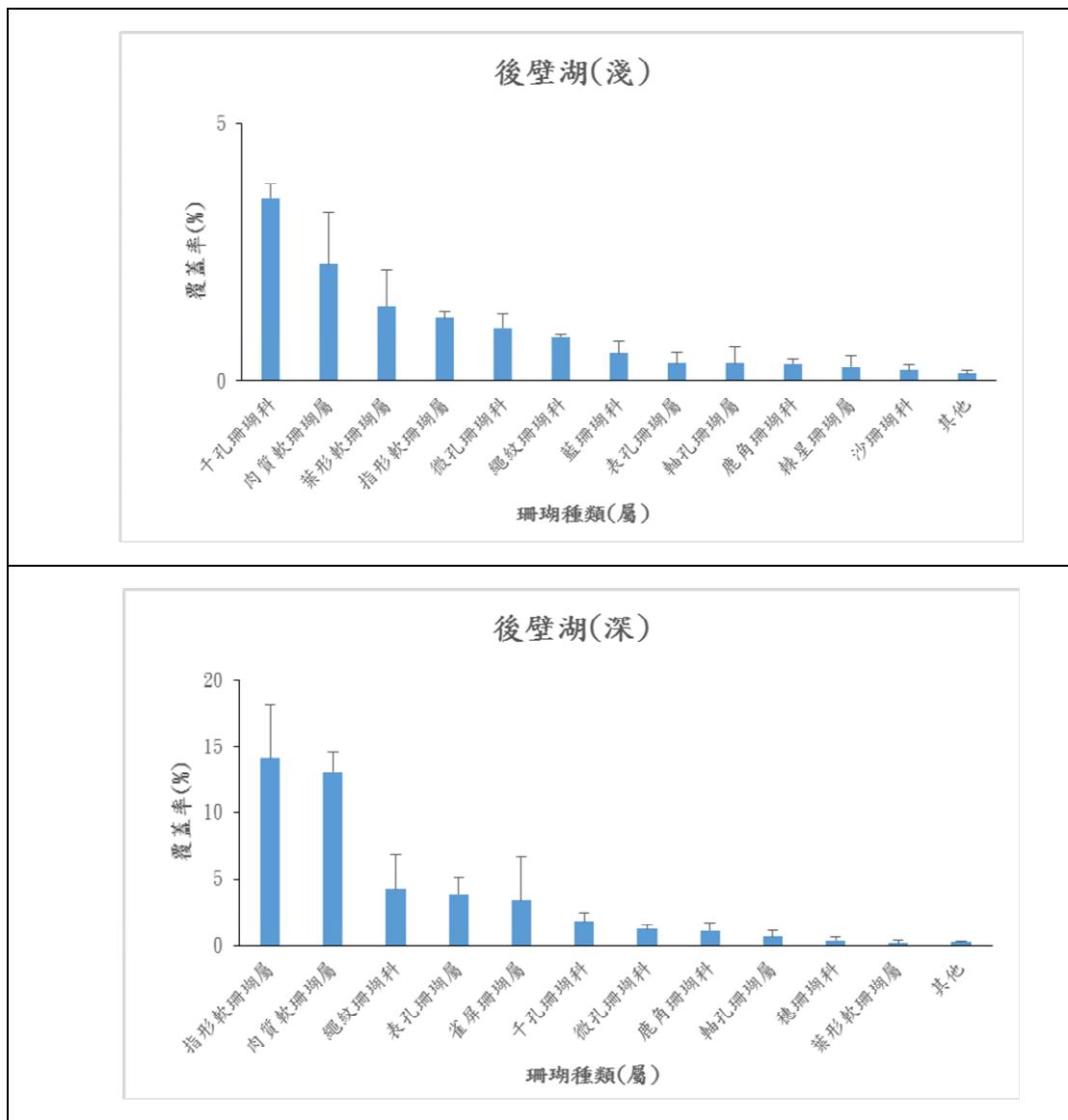


圖 5、後壁湖淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

眺石淺礁(5m)硬珊瑚 32.6%、軟珊瑚 2.3%、珊瑚藻 0.9%、大型藻 0.8%、毛叢藻 58.5%、基質或其他 4.9%；深礁(10m)硬珊瑚 40.7%、軟珊瑚 1.4%、珊瑚藻 0.3%、大型藻 0.9%、毛叢藻 52.4%、基質或其他 2.3%。其中淺礁繩紋珊瑚科 8.8%、表孔珊瑚屬 6.6%、微孔珊瑚科 6.0%為最多數種類，深礁軸孔珊瑚 15.3%、繩紋珊瑚科 9.9%、表孔珊瑚屬 7.9%為多數(圖 6)，顯示毛叢藻(>50%)大於珊瑚覆蓋率(>30%)，但深淺礁珊瑚覆蓋率皆大於 30%以上，故生長穩定。

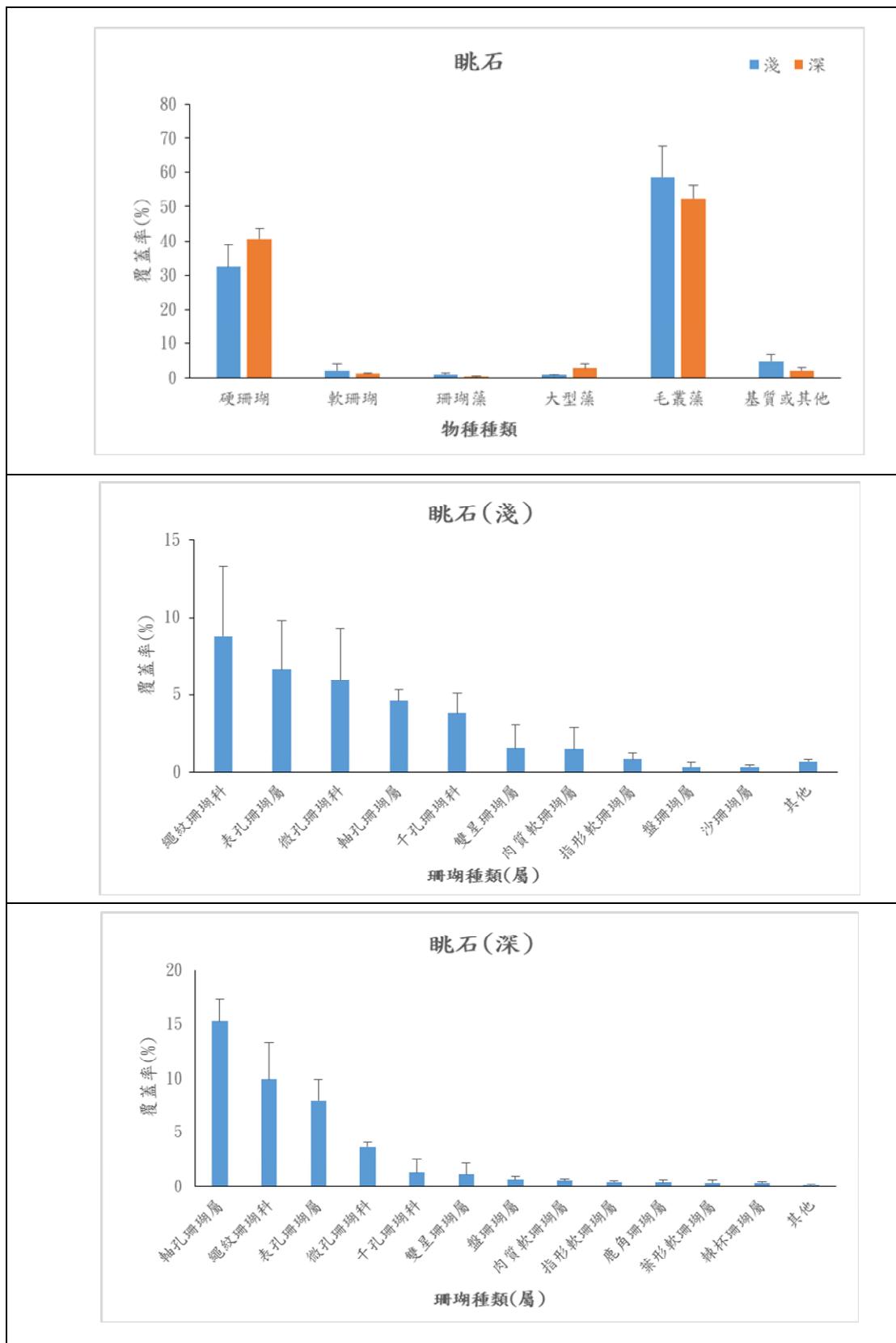


圖 6、眺石淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

香蕉灣淺礁(5m)硬珊瑚 23.8%、軟珊瑚 0.2%、珊瑚藻 1.3%、大型藻 0.6%、毛叢藻 58.1%、基質或其他 16.0%；深礁(10m)硬珊瑚 25.2%、軟珊瑚 0.1%、珊瑚藻 0.9%、大型藻 0.3%、毛叢藻 66.1%、基質或其他 6.4%，二礁區的珊瑚覆蓋率落在 10–30%，明顯毛叢藻覆蓋率(>55%)較高，於此區域為藻類優勢生長(圖 7)。

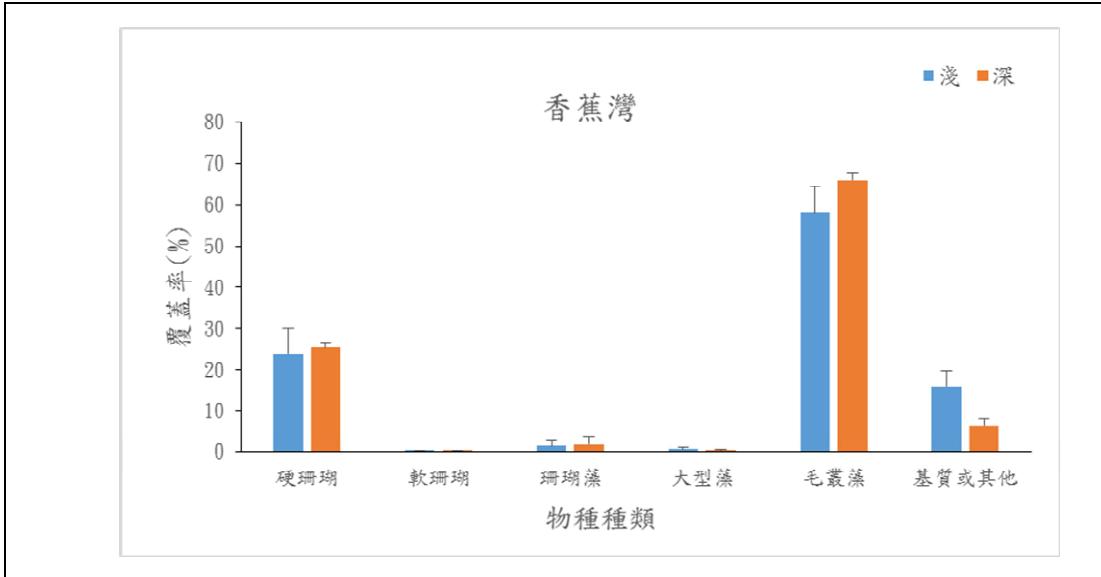


圖 7、香蕉灣淺礁與深礁底棲群聚結構。

南部龍坑淺礁(5m)硬珊瑚 34.2%、軟珊瑚 5.0%、珊瑚藻 4.0%、大型藻 49.3%、毛叢藻 1.1%、基質或其他 6.5%；深礁(10m)硬珊瑚 31.8%、軟珊瑚 1.3%、珊瑚藻 8.6%、大型藻 32.7%、毛叢藻 16.8%、基質或其他 8.9%，結果顯示大型藻類則相較毛叢藻覆蓋率較高，硬珊瑚覆蓋率於深淺礁皆>30%，故生長穩定(圖 8)。

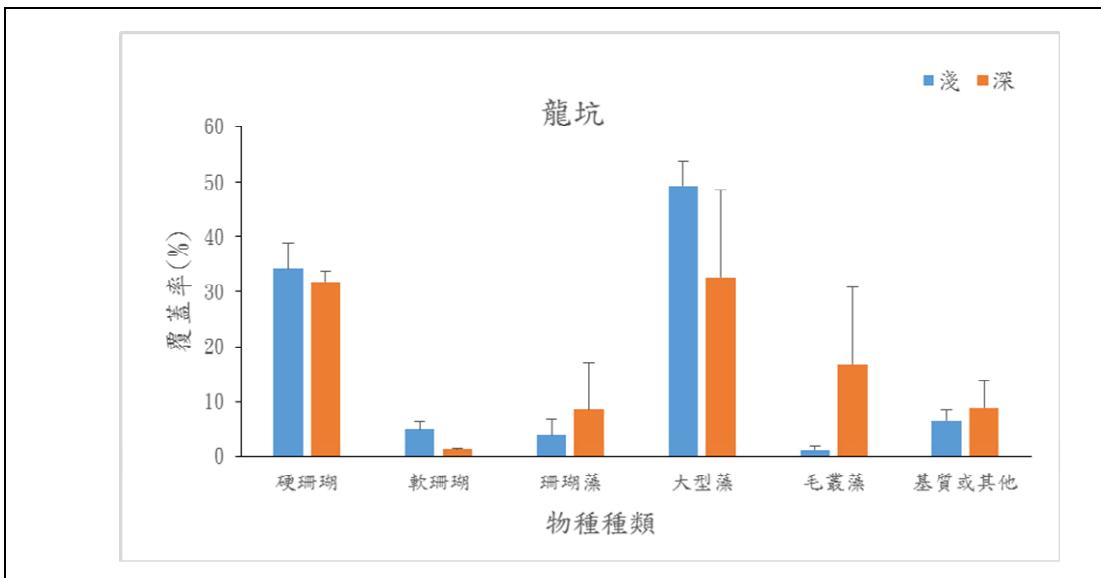
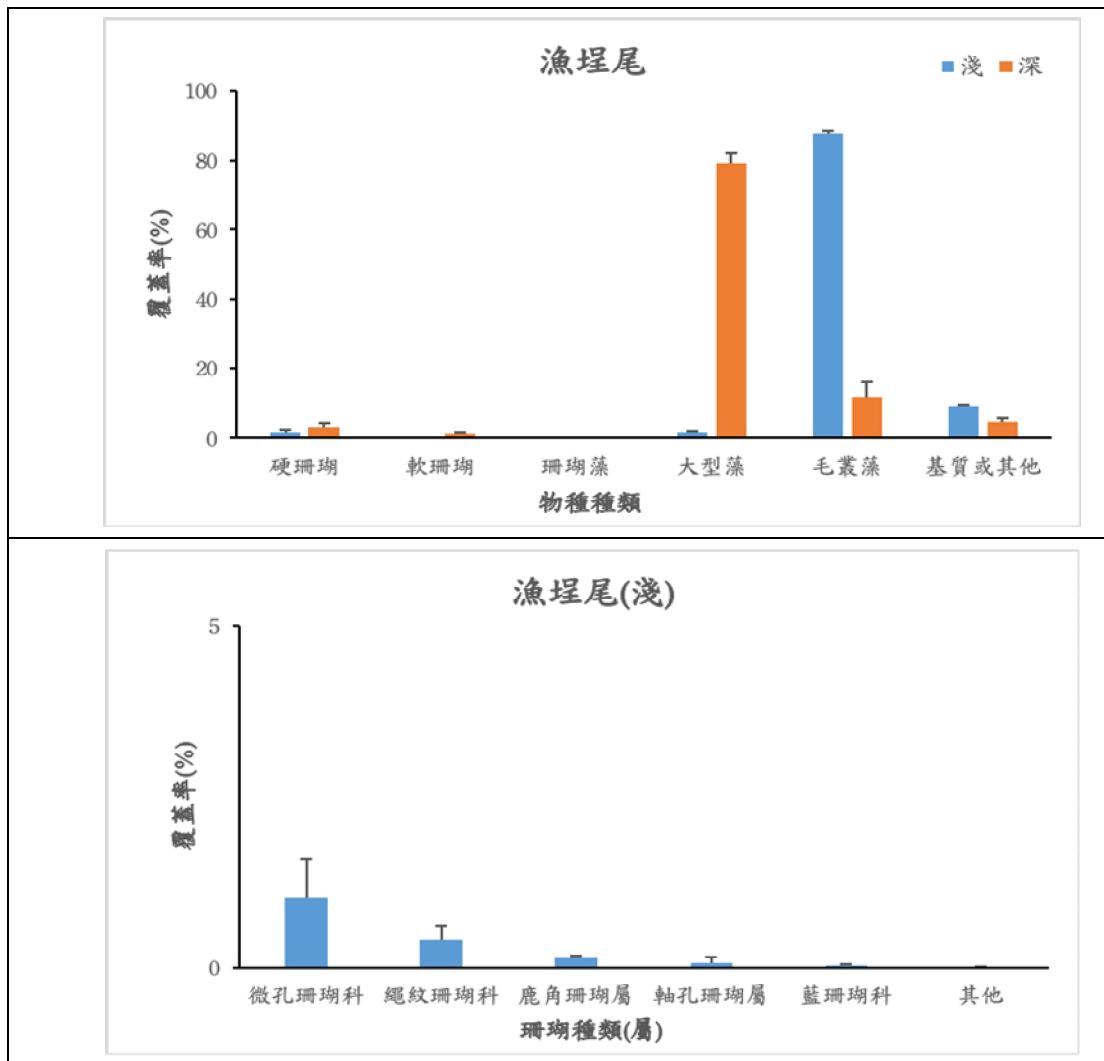


圖 8、龍坑淺礁與深礁底棲群聚結構。

小琉球漁埕尾淺礁(5m)硬珊瑚僅 1.7%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 0.09%、大型藻 1.6%、毛叢藻 87.5%、基質或其他 9.1%；深礁(10m)硬珊瑚僅 3.0%、軟珊瑚 1.3%、珊瑚藻 0%、大型藻 79.2%、毛叢藻 11.7%、基質或其他 4.8%，淺礁中以微孔珊瑚科 1.0%、繩紋珊瑚科 0.4%佔大多數，深礁以其中繩紋珊瑚科 1.2%、千孔珊瑚科 0.8%為最多種類(圖 9)。觀察深淺礁的硬珊瑚和藻類相比較下，珊瑚總覆蓋率顯示<5%，皆以毛叢藻(>80%)或大型藻類為優勢遍布生長(>75%)，以藻類為優勢。



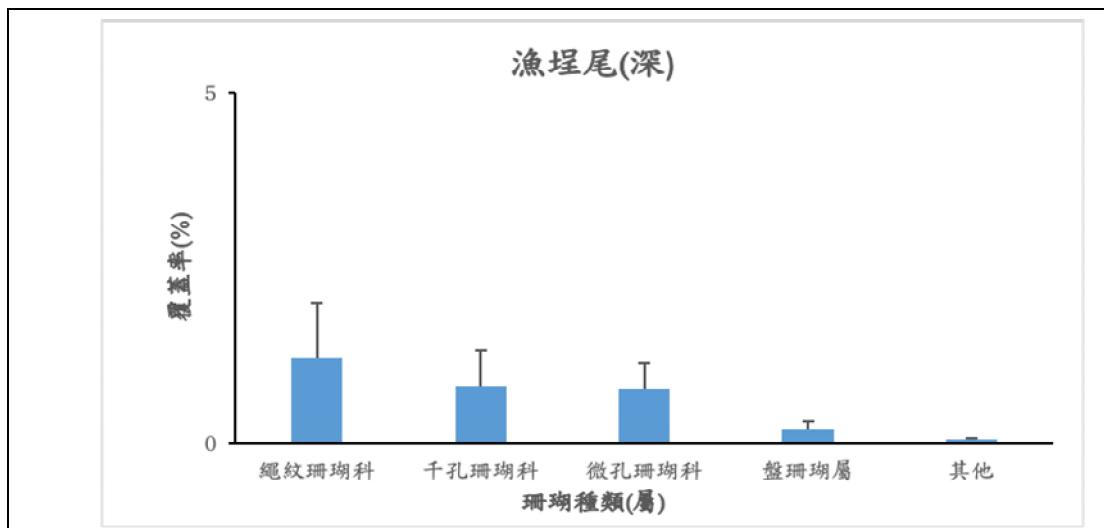
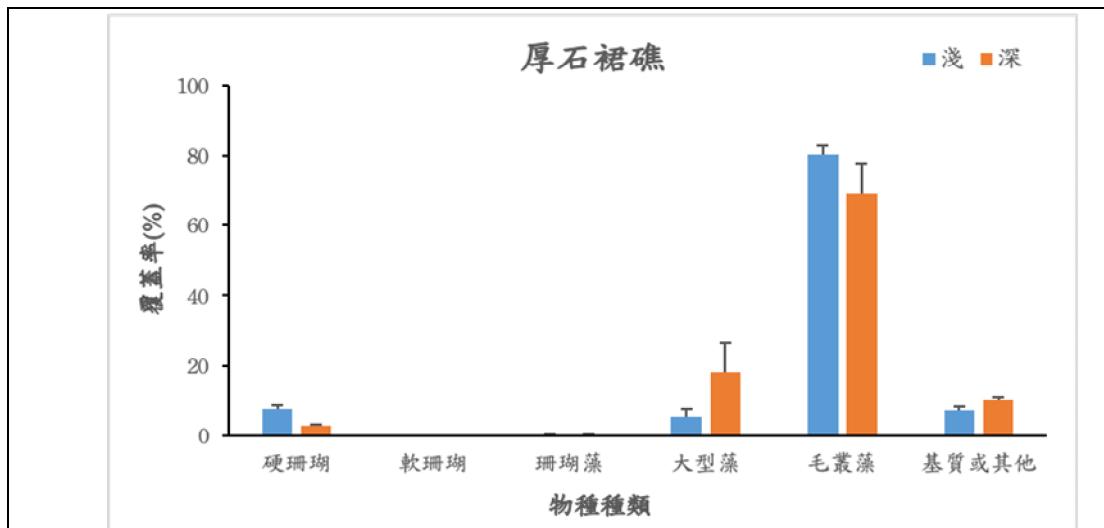


圖 9、漁埕尾淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

小琉球厚石裙礁淺礁(5m)硬珊瑚 7.4%、軟珊瑚 0.007%、珊瑚藻 0.07%、大型藻 5.1%、毛叢藻 80.4%、基質或其他 7.0%；深礁(10m)硬珊瑚僅 2.9%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 0.04%、大型藻 17.9%、毛叢藻 69.0%、基質或其他 10.2%。其中淺礁微孔珊瑚科 2.7%、繩紋珊瑚科 1.9%、鹿角珊瑚屬 1.4%；深礁則是鹿角珊瑚屬 1.5%、微孔珊瑚科 0.8%、繩紋珊瑚科 0.4% (圖 10)。深淺礁珊瑚覆蓋率低於 10%，二礁區皆以毛叢藻為優勢(>60%)，呈現以藻類為優勢的生長環境。



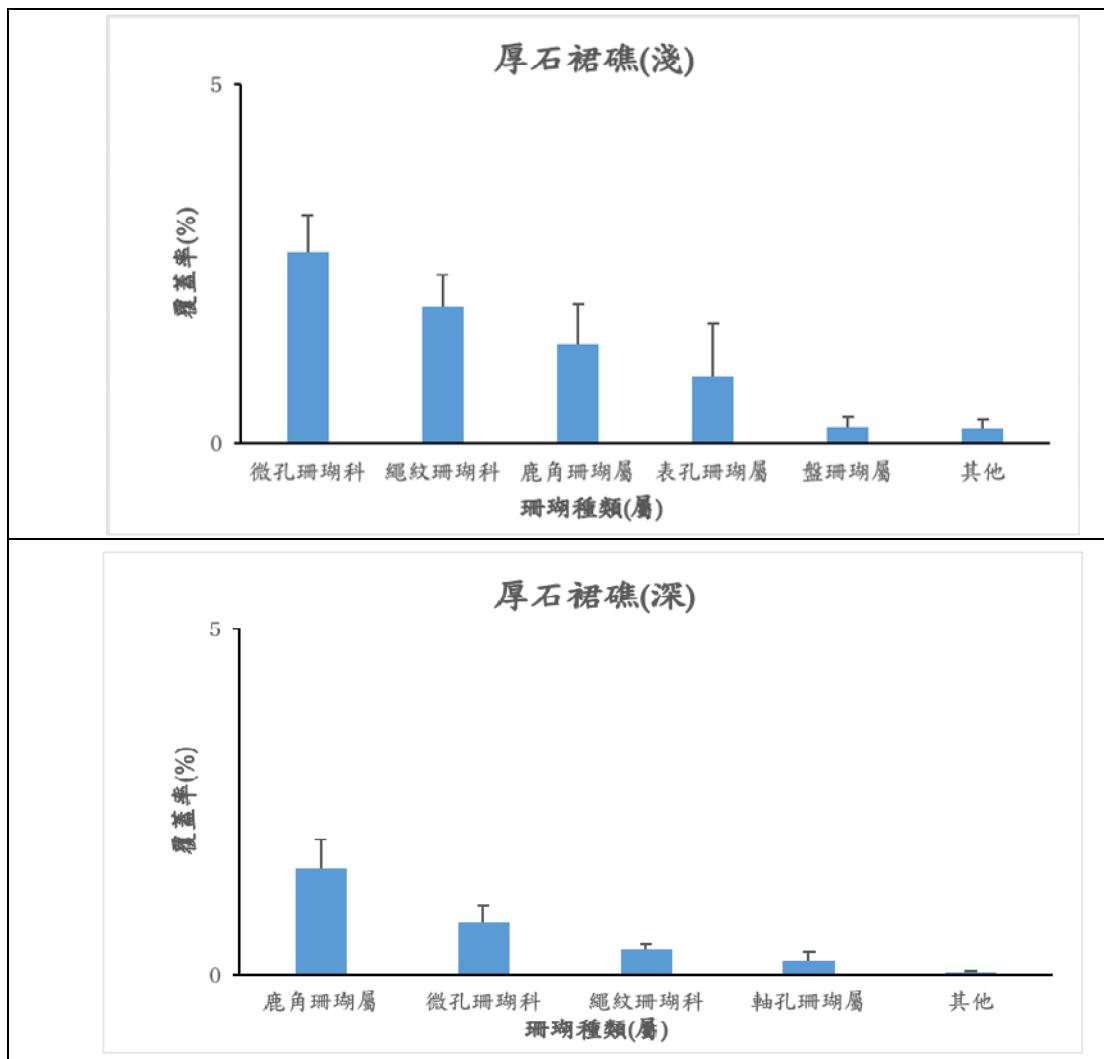


圖 10、厚石裙礁淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

小琉球杉福漁港淺礁(5m)的物種種類為硬珊瑚 14.1%、軟珊瑚 0.04%、珊瑚藻 0.2%、大型藻 1.4%、毛叢藻 74.1%、基質或其他 10.1%;深礁(10m)硬珊瑚 10.1%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 0.1%、大型藻 2.6%、毛叢藻 79.2%、基質或其他 7.9%。其中淺礁和深礁繩紋珊瑚科分別為 5.8% 和 3.9% 皆佔珊瑚種類中的多數(圖 11)。二礁區皆以毛叢藻為優勢，藻類覆蓋率 >50%。

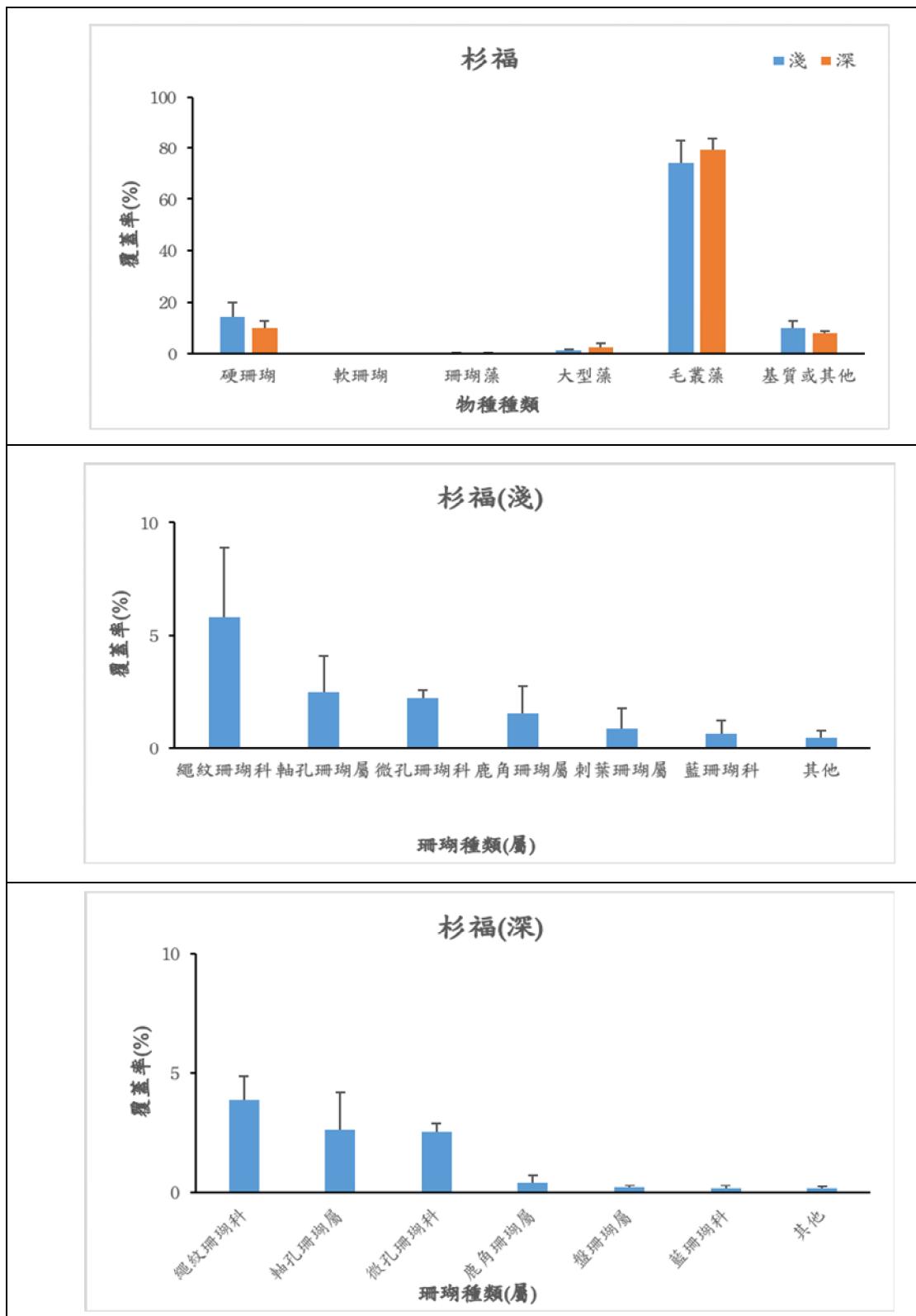


圖 11、杉福淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

小琉球美人洞淺礁(5m)硬珊瑚 9.3%、軟珊瑚 0.01%、珊瑚藻 0.1%、大型藻 2.8%、毛叢藻 83.5%、基質或其他 4.3%；深礁(10m)硬珊瑚 13.6%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 0.1%、大型藻 3.9%、毛叢藻 66.6%、基質或其他 15.7%。其中淺礁繩紋珊瑚

瑚科 4.2%、微孔珊瑚科 4.1%，深礁繩紋珊瑚科 6.3%、微孔珊瑚科 3.9%、鹿角珊瑚屬 1.9% (圖 12)。觀察二礁區的物種種類，珊瑚覆蓋率與藻類相較之下，以毛叢藻>60%為優勢生長。

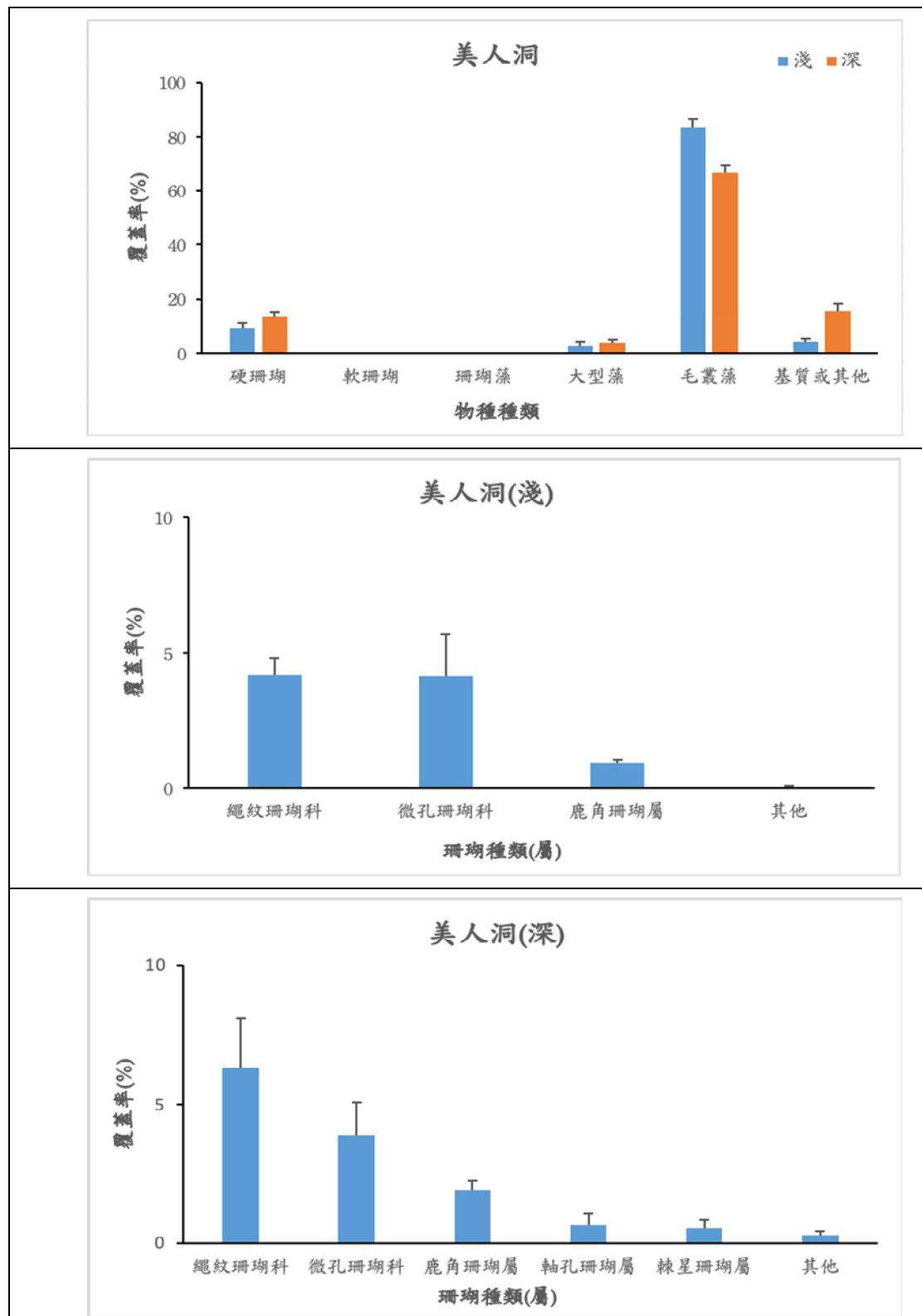
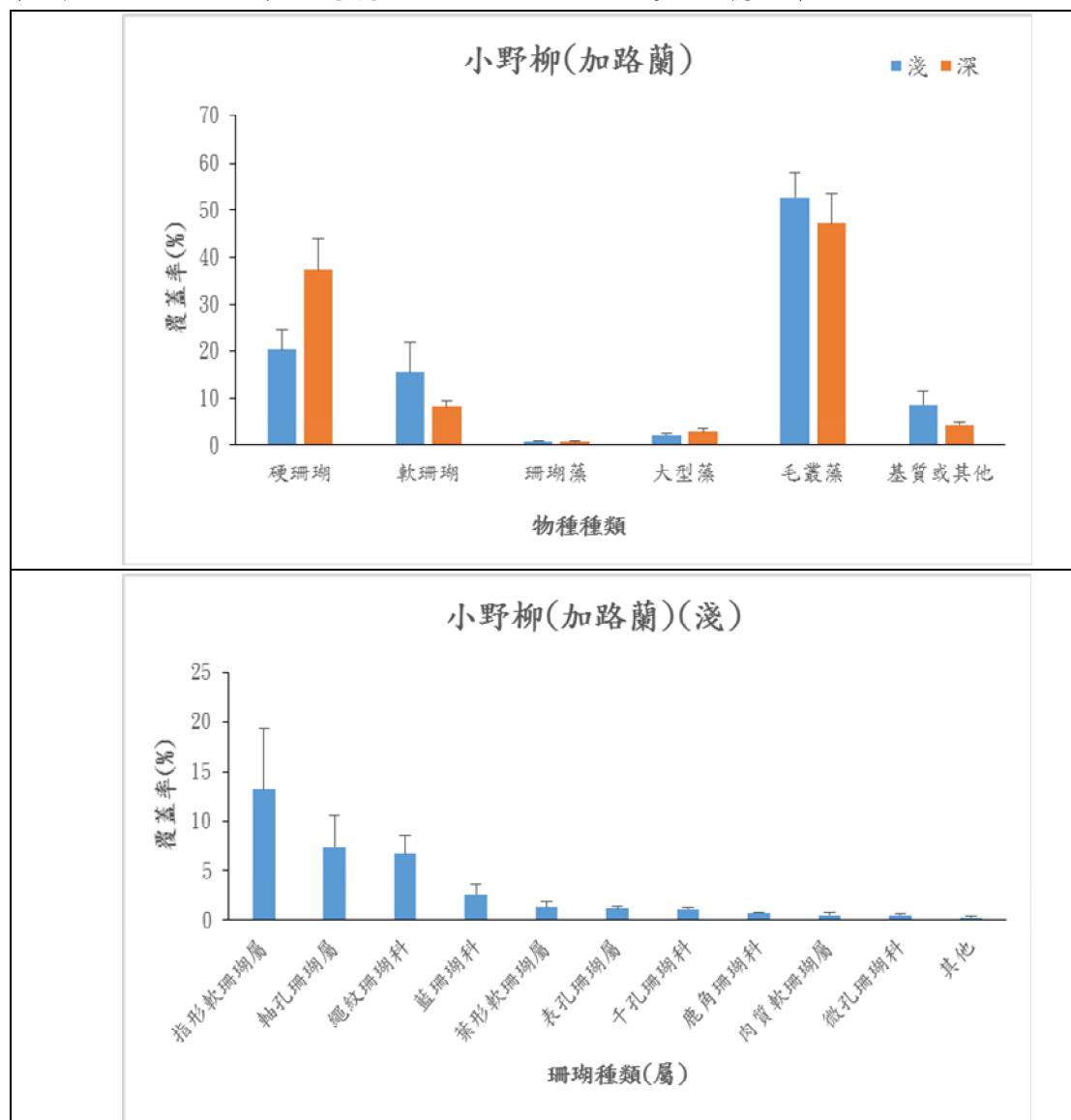


圖 12、美人洞淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

東部區域小野柳(加路蘭)淺礁(3m)硬珊瑚 20.4%、軟珊瑚 15.5%、珊瑚藻 0.8%、大型藻 2.1%、毛叢藻 52.7%、基質或其他 8.6%，其中指形軟珊瑚屬 13.2%、軸孔珊瑚屬 7.3%、繩紋珊瑚科 6.7%為此區最多的種類；深礁(5m)硬珊瑚 37.1%、軟珊瑚 8.2%、珊瑚藻 0.7%、大型藻 2.7%、毛叢藻 47.0%、基質或其他 4.2%，其中比例較高為千孔珊瑚科 21.4%、指形軟珊瑚屬 6.8%、繩紋珊瑚科 4.0%(圖 13)，深淺礁毛叢藻覆蓋率皆>45%，比硬珊瑚覆蓋率來的高，但珊瑚覆蓋率在 30-50% 範圍間，故珊瑚生長狀態穩定，且深礁區大於淺礁區覆蓋率。



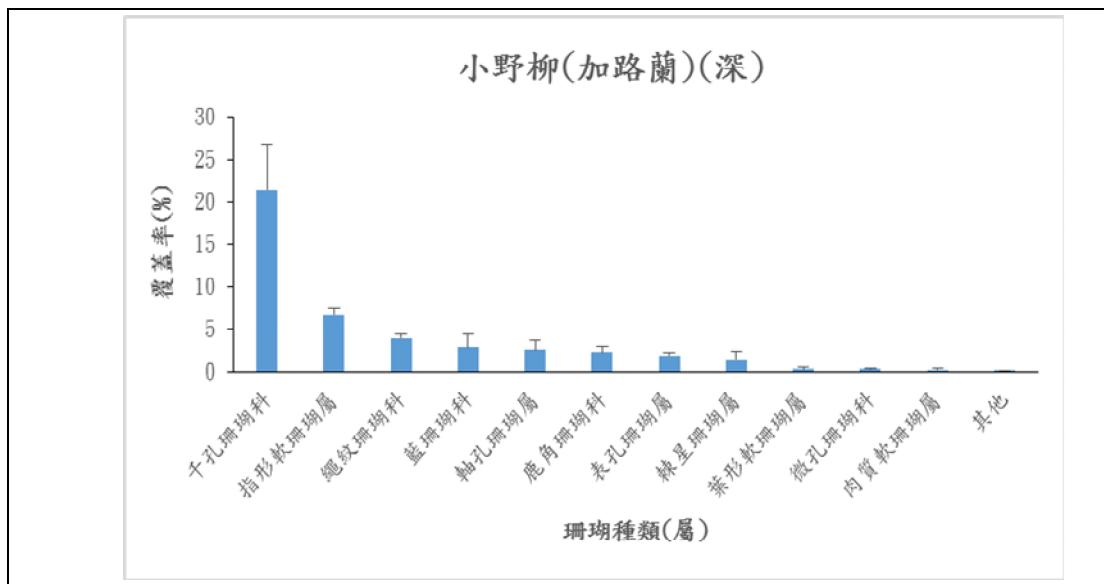


圖 13、小野柳(加路蘭)淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

杉原淺礁(3m)珊瑚物種種類為硬珊瑚 38.2%、軟珊瑚 1.8%、珊瑚藻 5.0%、大型藻 0.2%、毛叢藻 42.4%、基質或其他 12.5%；深礁(6m)硬珊瑚 13.4%、軟珊瑚 1.3%、珊瑚藻 0.2%、大型藻 1.3%、毛叢藻 70.5%、基質或其他 13.3%（圖 14），淺礁珊瑚覆蓋率大於深礁珊瑚覆蓋率，而藻類在深礁處佔大多數(>70%)。

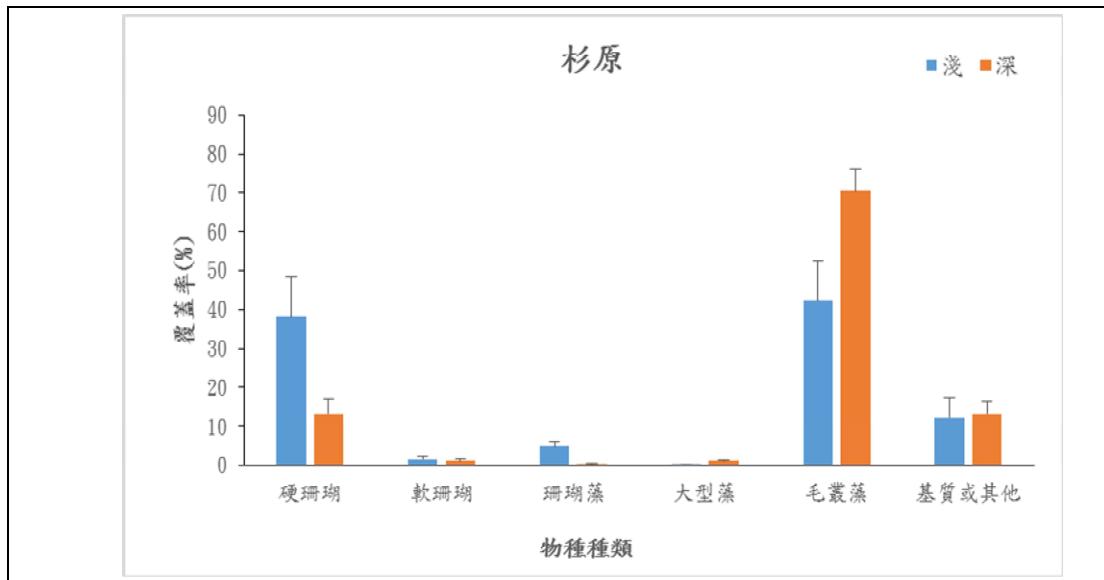
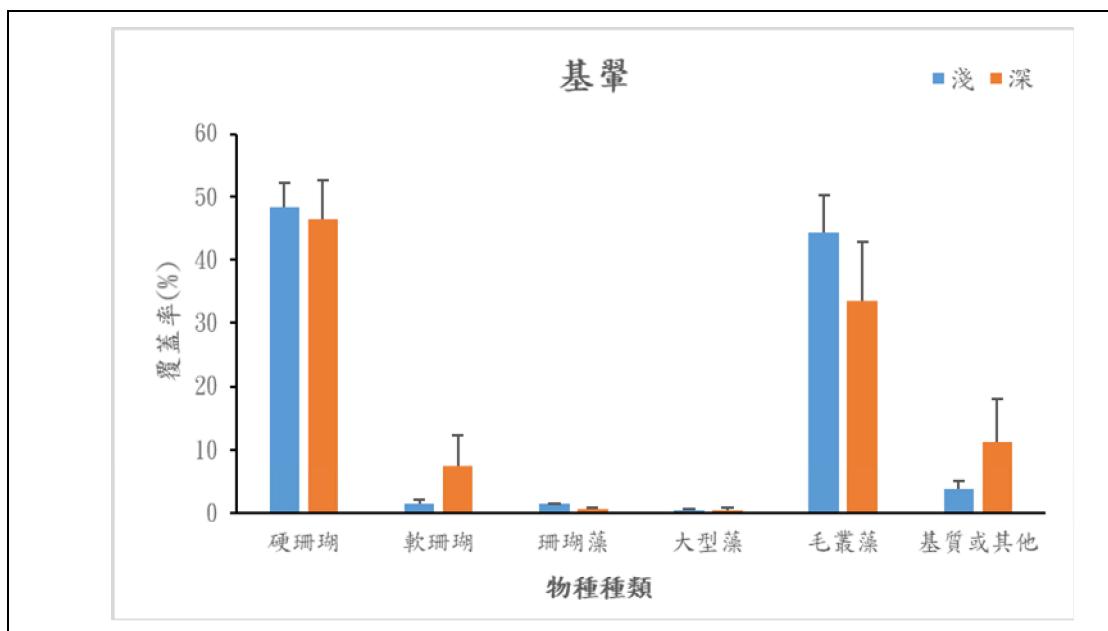


圖 14、杉原淺礁與深礁底棲群聚結構。

基翹淺礁(3m)硬珊瑚 54.1%、軟珊瑚 0.8%、珊瑚藻 2.6%、大型藻 1.4%、毛叢藻 33.8%、基質或其他 7.3%，其中藍珊瑚科 14.1%、繩紋珊瑚科 14.0%為淺礁最多數珊瑚種類(圖 15)；深礁(6m)硬珊瑚 47.6%、軟珊瑚 7.8%、珊瑚藻 0.7%、大型藻 0.8%、毛叢藻 32.6%、基質或其他 10.6%，其中繩紋珊瑚科 14.6%、微孔珊瑚科 10.3%，深淺礁珊瑚覆蓋率高(>40%)且大於大型藻以及毛叢藻覆蓋率，為珊瑚良好生長的優勢狀態(圖 15)。



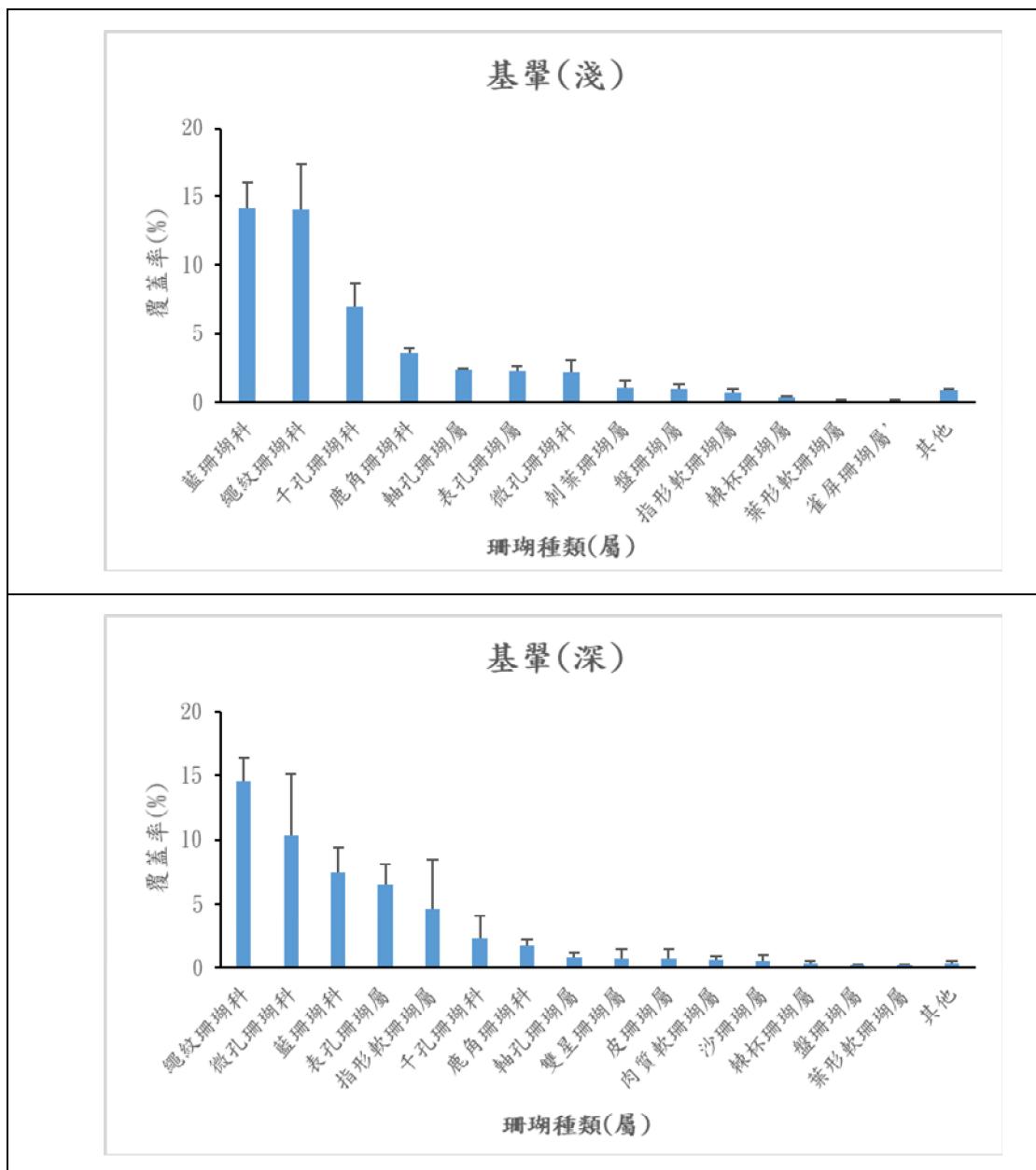


圖 15、基翹淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

三仙臺(南邊)淺礁(5m)硬珊瑚 52.9%、軟珊瑚 0.4%、珊瑚藻 0.1%、大型藻 0.1%、毛叢藻 36.6%、基質或其他 9.9%；深礁(7m)硬珊瑚 63.5%、軟珊瑚 1.1%、珊瑚藻 1.0%、大型藻 0.9%、毛叢藻 17.1%、基質或其他 16.4%，深淺礁珊瑚覆蓋率高(>50%)，且珊瑚覆蓋率大於藻類覆蓋率，顯示是珊瑚競爭優於藻類的生長良好且健康的狀態(圖 16)。

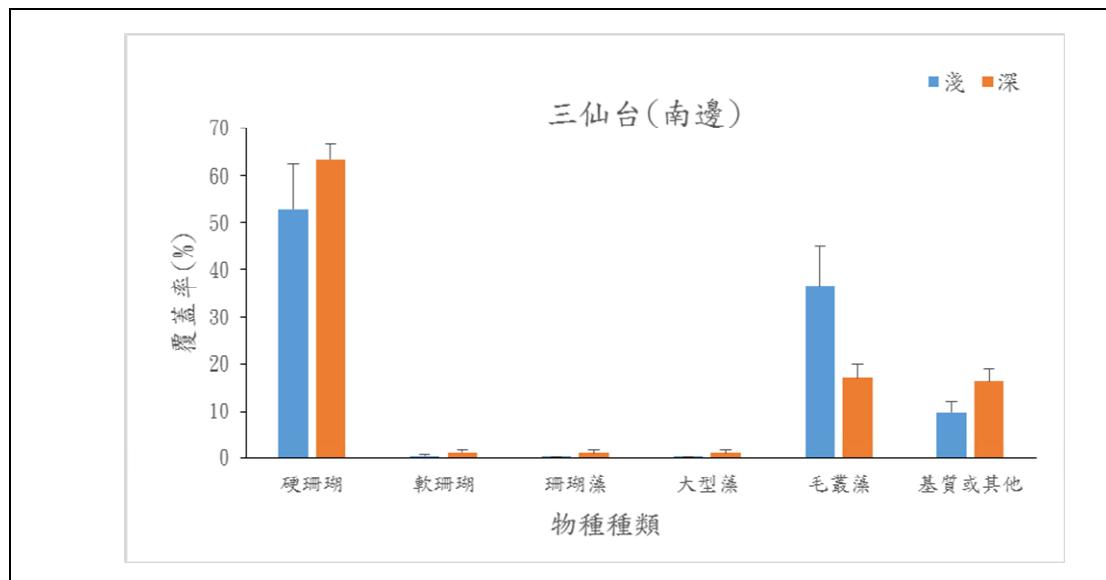
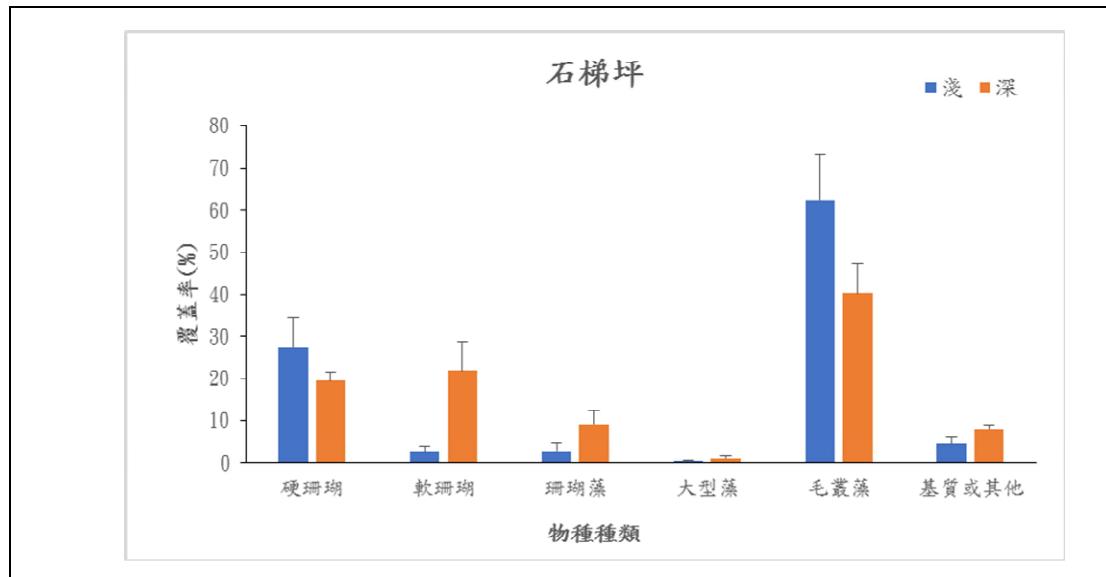


圖 16、三仙臺(南邊)淺礁與深礁底棲群聚結構。

花蓮的石梯坪淺礁(5m)硬珊瑚 27.4%、軟珊瑚 2.6%、珊瑚藻 2.7%、大型藻 0.5%、毛叢藻 62.4%、基質或其他 4.5%；深礁(10m)硬珊瑚 20%、軟珊瑚 22%、珊瑚藻 9%、大型藻 1.1%、毛叢藻 40.3%、基質或其他 8%。其中淺礁繩紋珊瑚科 9.3%、微孔珊瑚科 4.5%、鹿角珊瑚 4.0%；深礁指形軟珊瑚屬 9%、肉質軟珊瑚屬 6.6%、繩紋珊瑚科 5.1% (圖 17)。



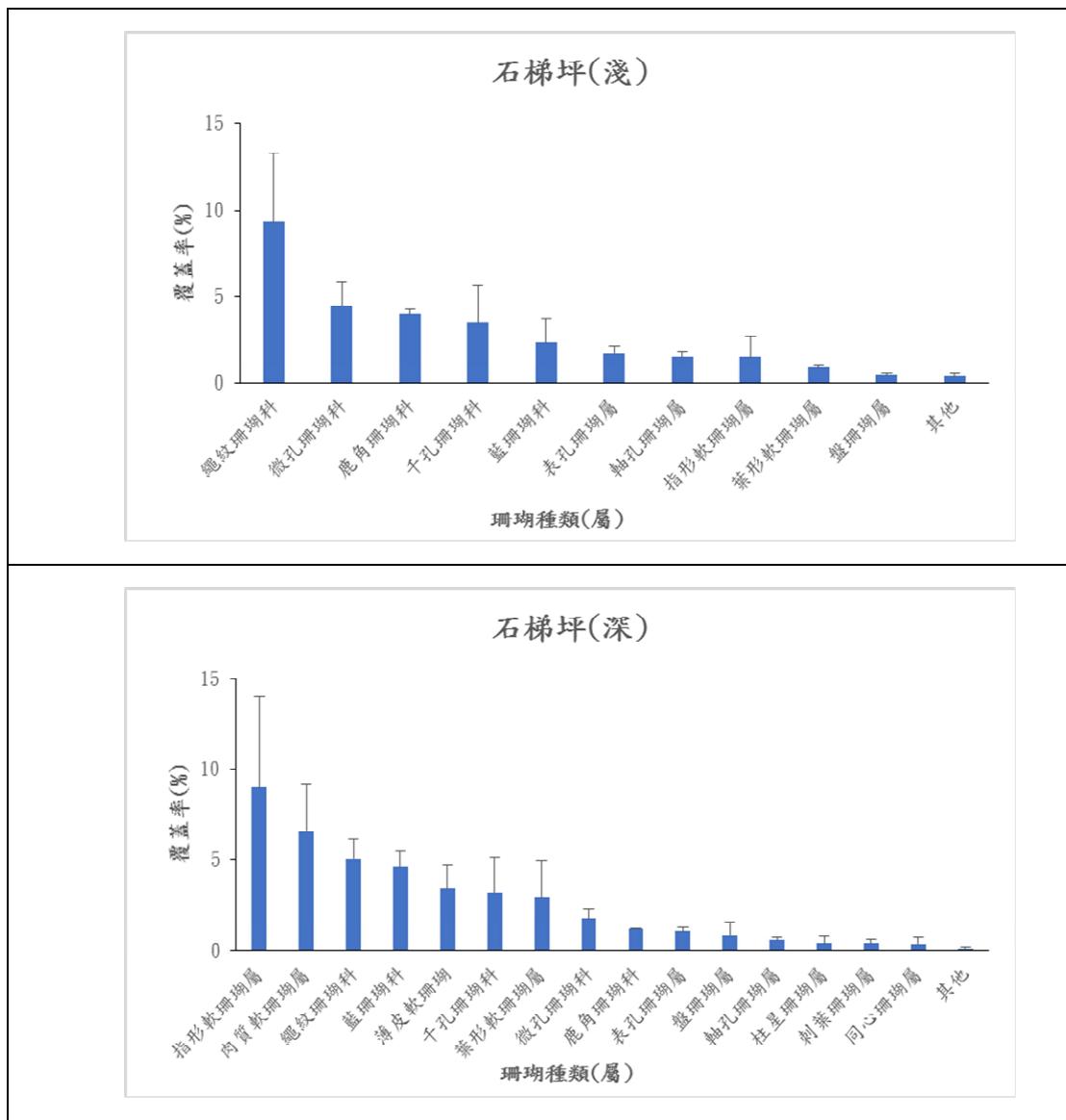


圖 17、石梯坪淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

宜蘭豆腐岬淺礁(3m)的物種種類為硬珊瑚 73.4%、軟珊瑚 0.2%、珊瑚藻 4.0%、大型藻 0.2%、毛叢藻 19.6%、基質或其他 2.6%；深礁(6m)硬珊瑚 27.1%、軟珊瑚 0.6%、珊瑚藻 5.3%、大型藻 0.02%、毛叢藻 40.8%、基質或其他 26.2%。其中淺礁軸孔珊瑚屬 23.1%、千孔珊瑚科 22.9%、表孔珊瑚屬 14.4%佔多數，深礁則是表孔珊瑚屬 10.5%、繩紋珊瑚科 7.0%佔多數。淺礁的珊瑚覆蓋率高達七成，狀態非常健康(圖 18)。

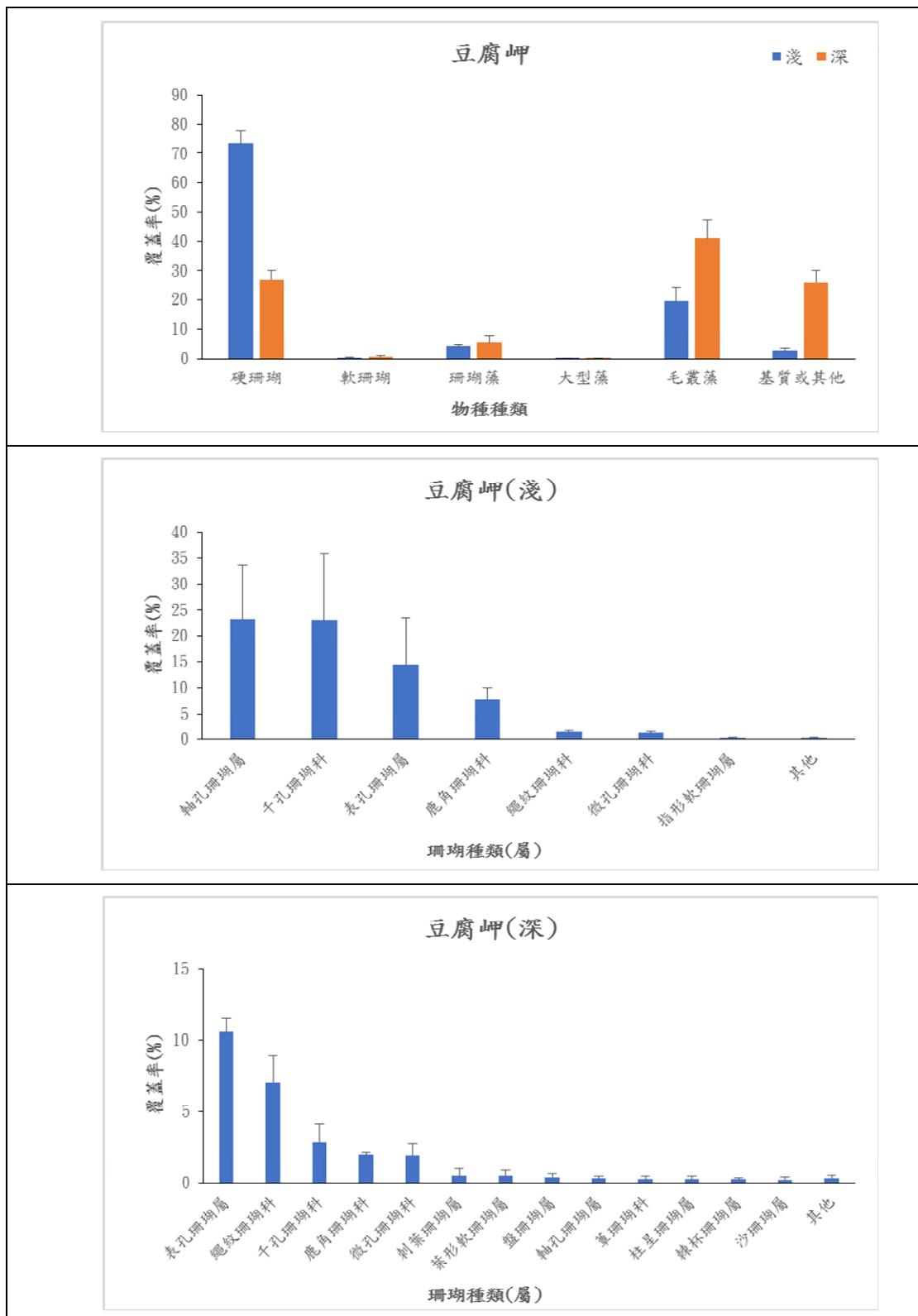


圖 18、豆腐岬淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

宜蘭粉鳥林淺礁(3m)的物種種類為硬珊瑚 6.1%、軟珊瑚 5.8%、珊瑚藻 15.5%、大型藻 3.2%、毛叢藻 44.3%、基質或其他 25.0%；深礁區(6m)硬珊瑚 0%、軟珊瑚 0.3%、珊瑚藻 2.2%、大型藻 0.2%、毛叢藻 26.3%、基質或其他 71.2%。淺礁以毛叢藻為優勢，深礁的珊瑚覆蓋率幾乎為 0%，但是當中比例最高的是「基質或其他」種類，主要是岩石(圖 19)。

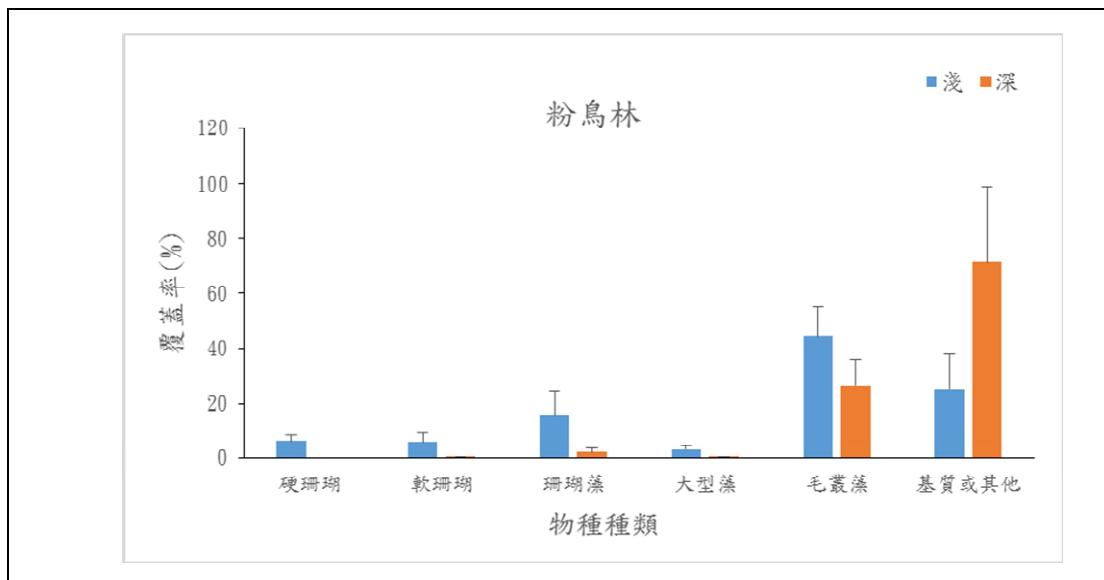


圖 19、粉鳥林淺礁與深礁底棲群聚結構。

北部區域野柳淺礁(1m) 硬珊瑚 39.4%、軟珊瑚 0.3%、珊瑚藻 12.2%、大型藻 4.2%、毛叢藻 30.2%、基質或其他 13.7%；深礁(3m)硬珊瑚 39.0%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 8.3%、大型藻 0.3%、毛叢藻 45.7%、基質或其他 5.2%，硬珊瑚基本數值落在 30–50%，呈現穩定狀態。(圖 20)

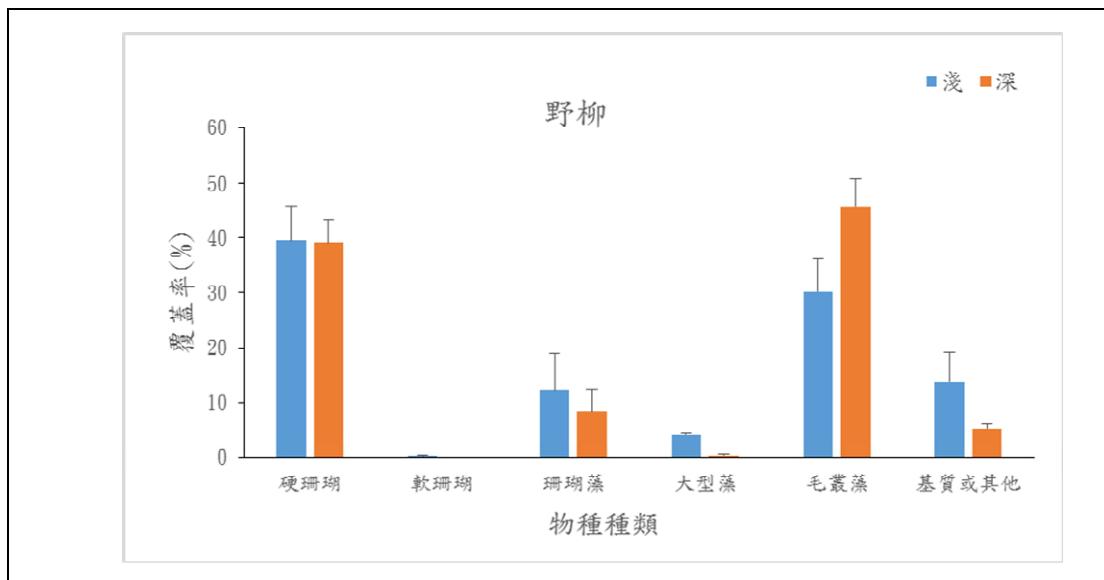


圖 20、野柳淺礁與深礁底棲群聚結構。

外木山淺礁(5m)硬珊瑚 19.7%、軟珊瑚 0.7%、珊瑚藻 50%、大型藻 0.1%、毛叢藻 12%、基質或其他 18%；深礁(10m)硬珊瑚僅 7.1%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 75.4%、大型藻 0.1%、毛叢藻 6.5%、基質或其他 10.9%，深淺礁以圖表呈現珊瑚藻為優勢>50%狀態，但因外木山是位於北臺灣基隆，屬於亞熱帶區域且其殼狀珊瑚藻類覆蓋率較多，故以珊瑚與藻類的競爭關係相較之下，外木山是歸類於珊瑚穩定生長狀態(圖 21)。

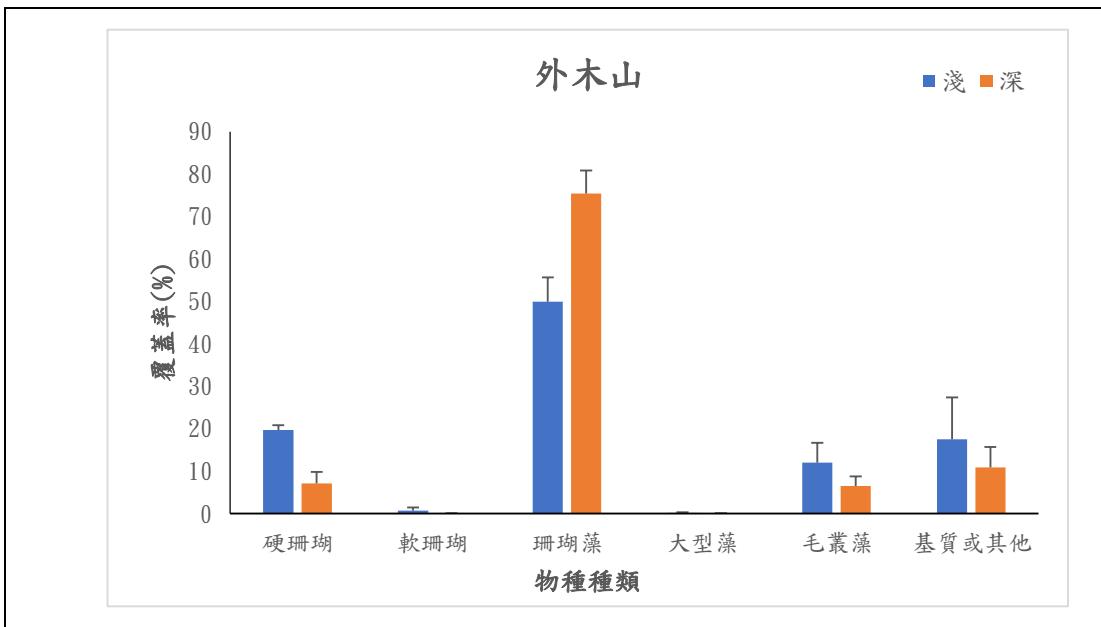


圖 21、外木山淺礁與深礁底棲群聚結構。

潮境覆蓋率為淺礁(5m)硬珊瑚 28.8%、軟珊瑚 0.4%、珊瑚藻 3.2%、大型藻 0.8%、毛叢藻 60.7%、基質或其他 6.1%；深礁(10m)硬珊瑚 44.4%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 2%、大型藻 3.6%、毛叢藻 42.5%、基質或其他 7.5%。其中淺礁繩紋珊瑚科 10.1%、萼柱珊瑚科 4.5%、軸孔珊瑚 4.0%；深礁厚絲珊瑚屬 17.9%、繩紋珊瑚科 7.6%、刺葉珊瑚科 6.3%(圖 22)。深礁區珊瑚覆蓋率>40%幾乎和藻類持平，淺礁區則是藻類覆蓋率高於珊瑚覆蓋率的現象，相對競爭環境下珊瑚覆蓋率較不理想。

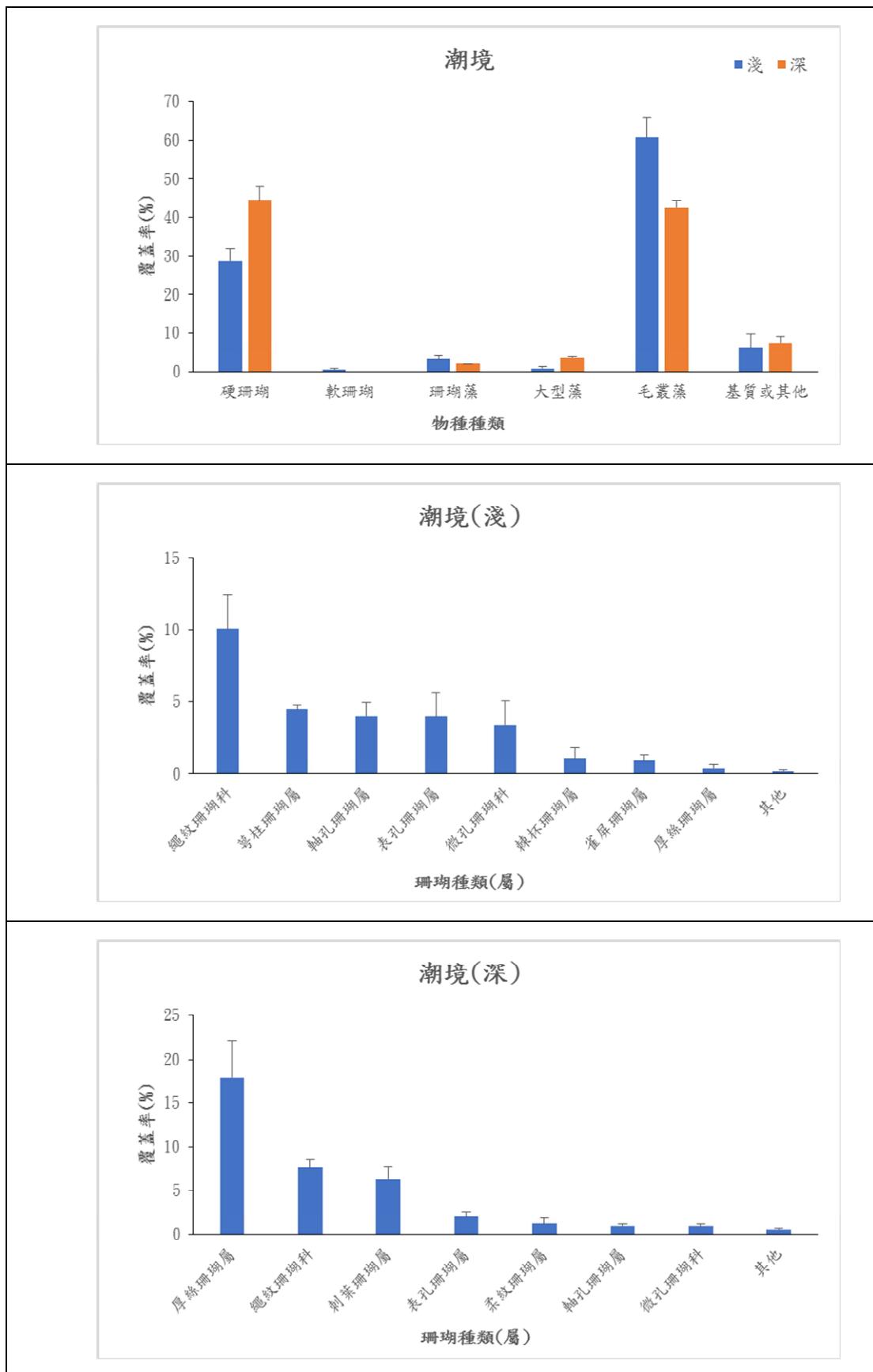


圖 22、潮境淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

番仔澳淺礁(5m)硬珊瑚 12.0%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 4.7%、大型藻 9.8%、毛叢藻 41.1%、基質或其他 10.17%；深礁(10m)硬珊瑚 29.1%、軟珊瑚 0.1%、珊瑚藻 4.5%、大型藻 1.5%、毛叢藻 51.0%、基質或其他 13.7%，硬珊瑚覆蓋率落在 10–30% (圖 23)。

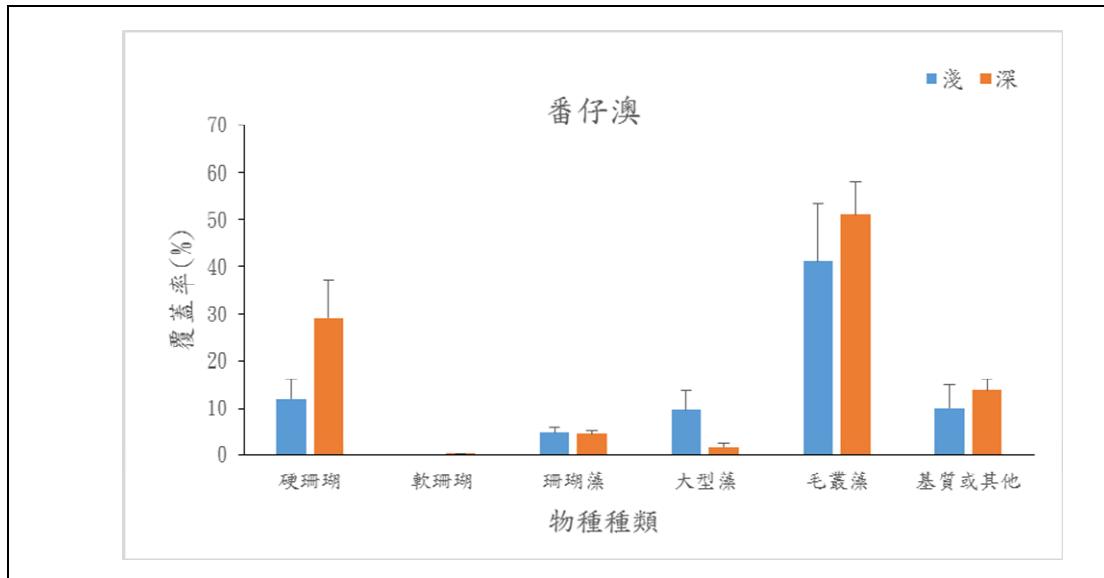


圖 23、番仔澳淺礁與深礁底棲群聚結構。

深澳淺礁(5m)物種種類分別為硬珊瑚 31.3%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 9.7%、大型 23.0%、毛叢藻 26.7%、基質或其他 9.3%；深礁(10m)硬珊瑚 25.5%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 6.4%、大型藻 8.9%、毛叢藻 47.8%、基質或其他 11.3%，珊瑚覆蓋率落在 10–30% (圖 24)。

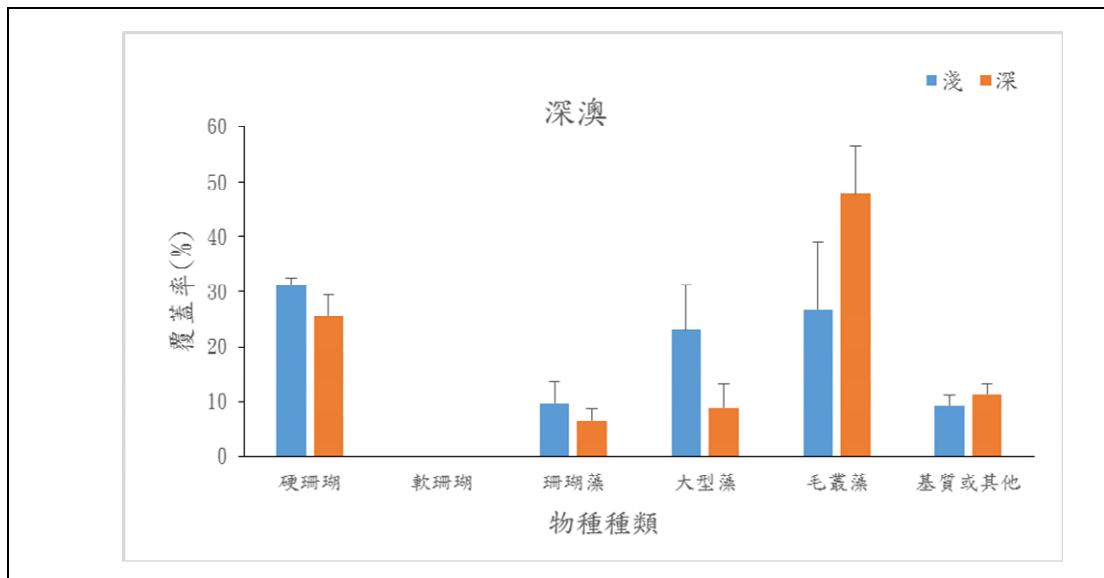
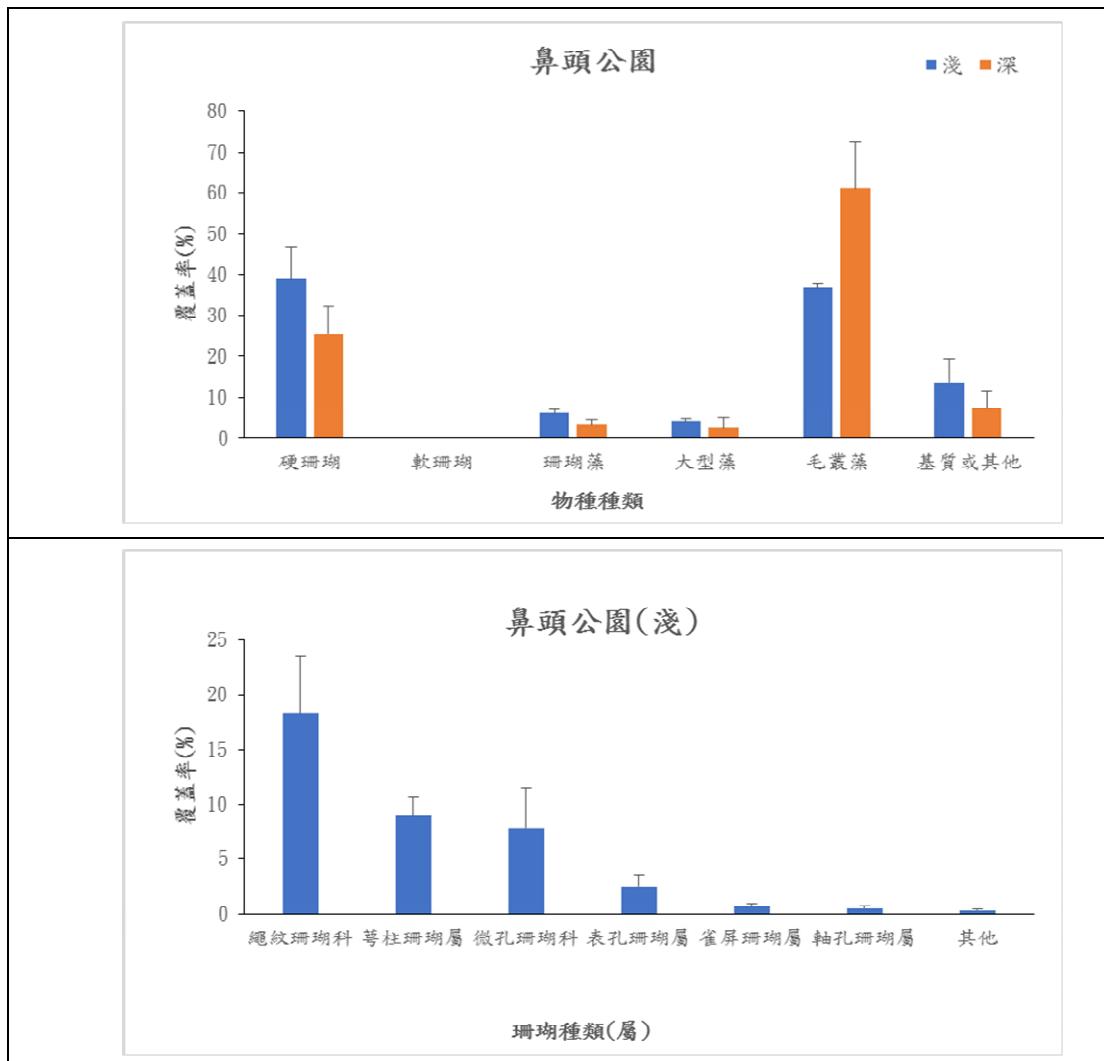


圖 24、深澳淺礁與深礁底棲群聚結構。

鼻頭公園珊瑚覆蓋率為淺礁(5m)硬珊瑚 39.1%、軟珊瑚 0.03%、珊瑚藻 6.2%、大型藻 4.1%、毛叢藻 37.1%、基質或其他 13.6%；深礁(10m)硬珊瑚 25.5%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 3.3%、大型藻 2.6%、毛叢藻 61.1%、基質或其他 7.4%；其中淺礁區繩紋珊瑚科 18.3%、萼柱珊瑚屬 9.0%、微孔珊瑚科 7.8%；深礁區繩紋珊瑚科 13.5%、雀屏珊瑚 6.9%、表孔珊瑚科 2.2% (圖 25)。淺礁區珊瑚覆蓋率 >35% 幾乎和藻類持平，深礁區則是呈現一個藻類覆蓋率高於珊瑚覆蓋率的現象。



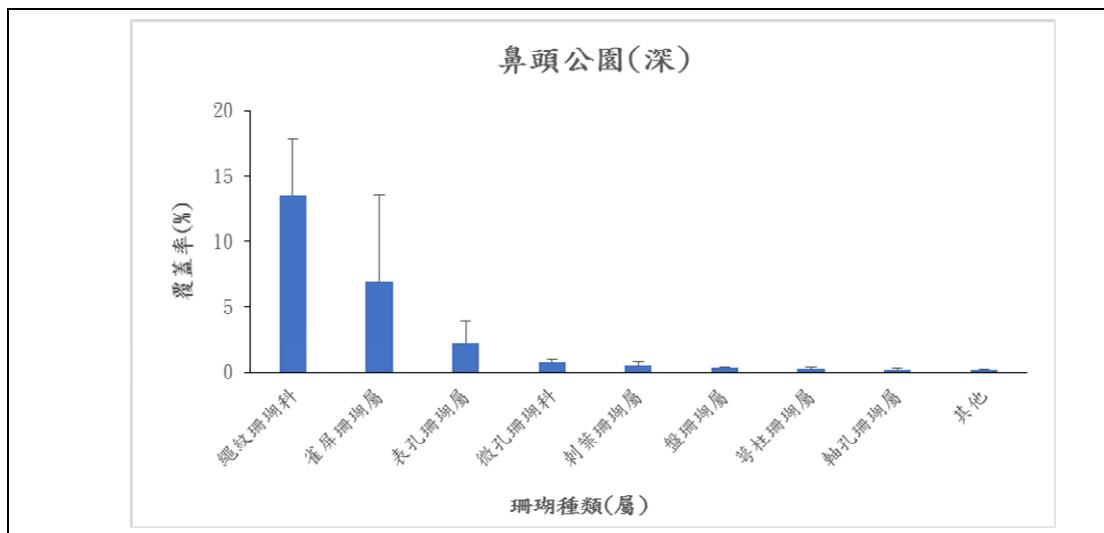
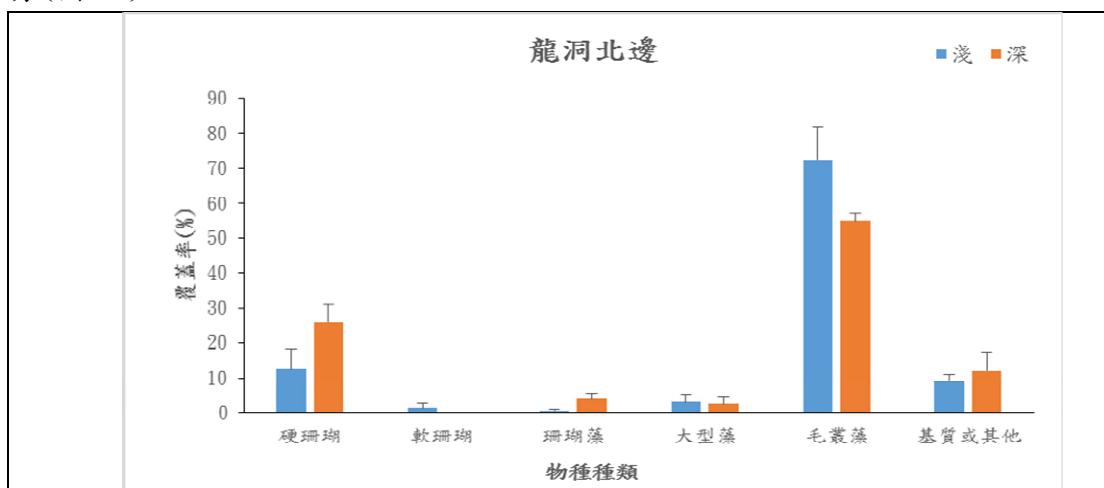


圖 25、鼻頭公園淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

龍洞北邊淺礁(5m)的物種種類為硬珊瑚 12.5%、軟珊瑚 1.6%、珊瑚藻 0.9%、大型藻 3.4%、毛叢藻 72.5%、基質或其他 9.2%；深礁(10m)硬珊瑚 25.9%、軟珊瑚 0.02%、珊瑚藻 4.2%、大型藻 2.7%、毛叢藻 54.9%、基質或其他 12.2%。其中淺礁和深礁區的繩紋珊瑚科分別為 6.3%和 16.2%佔多數。二礁區皆以毛叢藻為優勢(圖 26)。



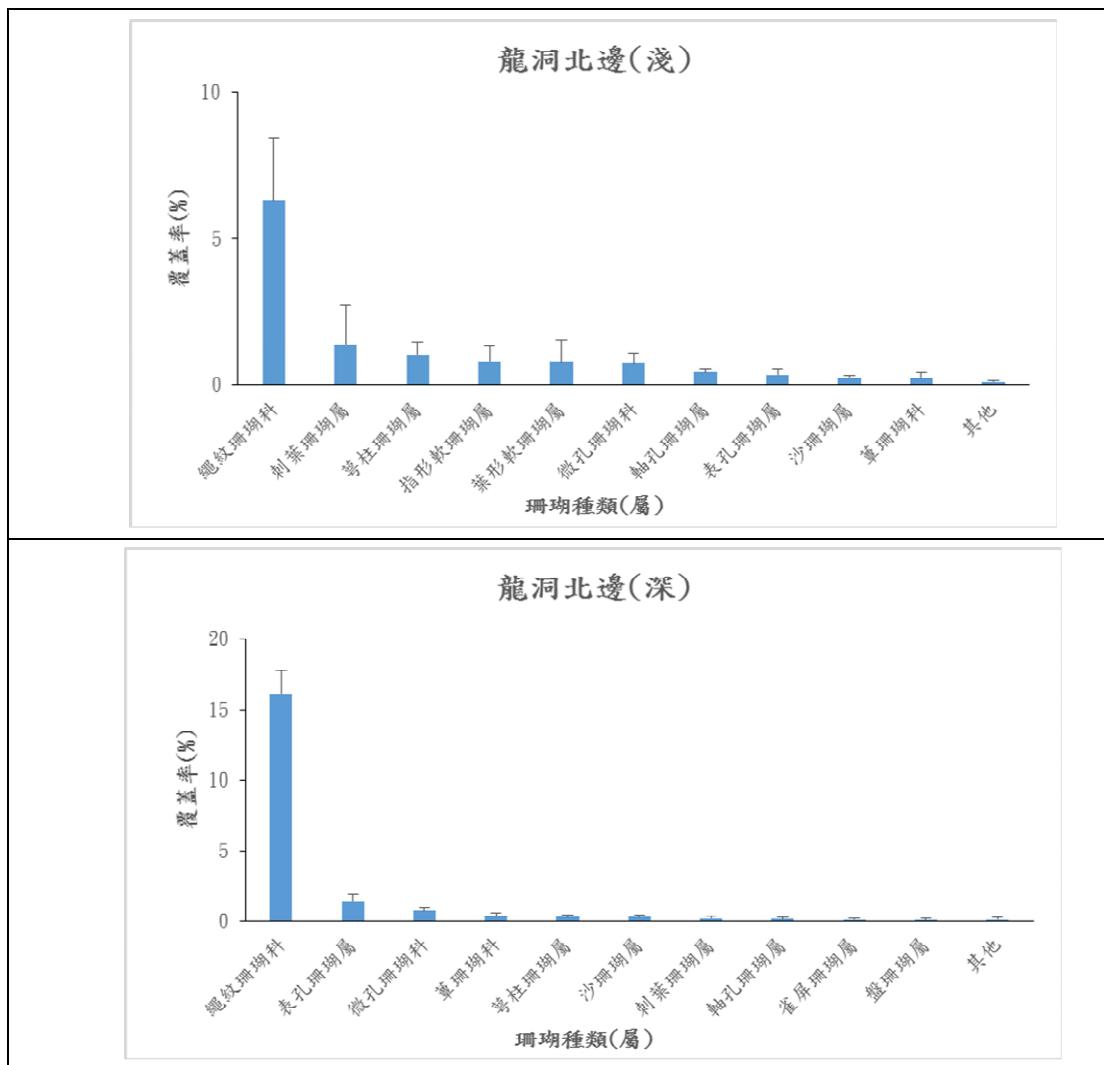


圖 26、龍洞北邊淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

龍洞南邊淺礁(5m)的物種種類為硬珊瑚 9.9%、軟珊瑚 2.1%、珊瑚藻 14.4%、大型藻 3.9%、毛叢藻 62.4%、基質或其他 7.3%；深礁(10m)硬珊瑚 19.2%、軟珊瑚 3.4%、珊瑚藻 17.9%、大型藻 0.9%、毛叢藻 38.7%、基質或其他 20.0%。其中淺礁和深礁區的繩紋珊瑚科分別為 7.4% 和 10.1% 佔多數。二礁區皆以毛叢藻為優勢（圖 27）。

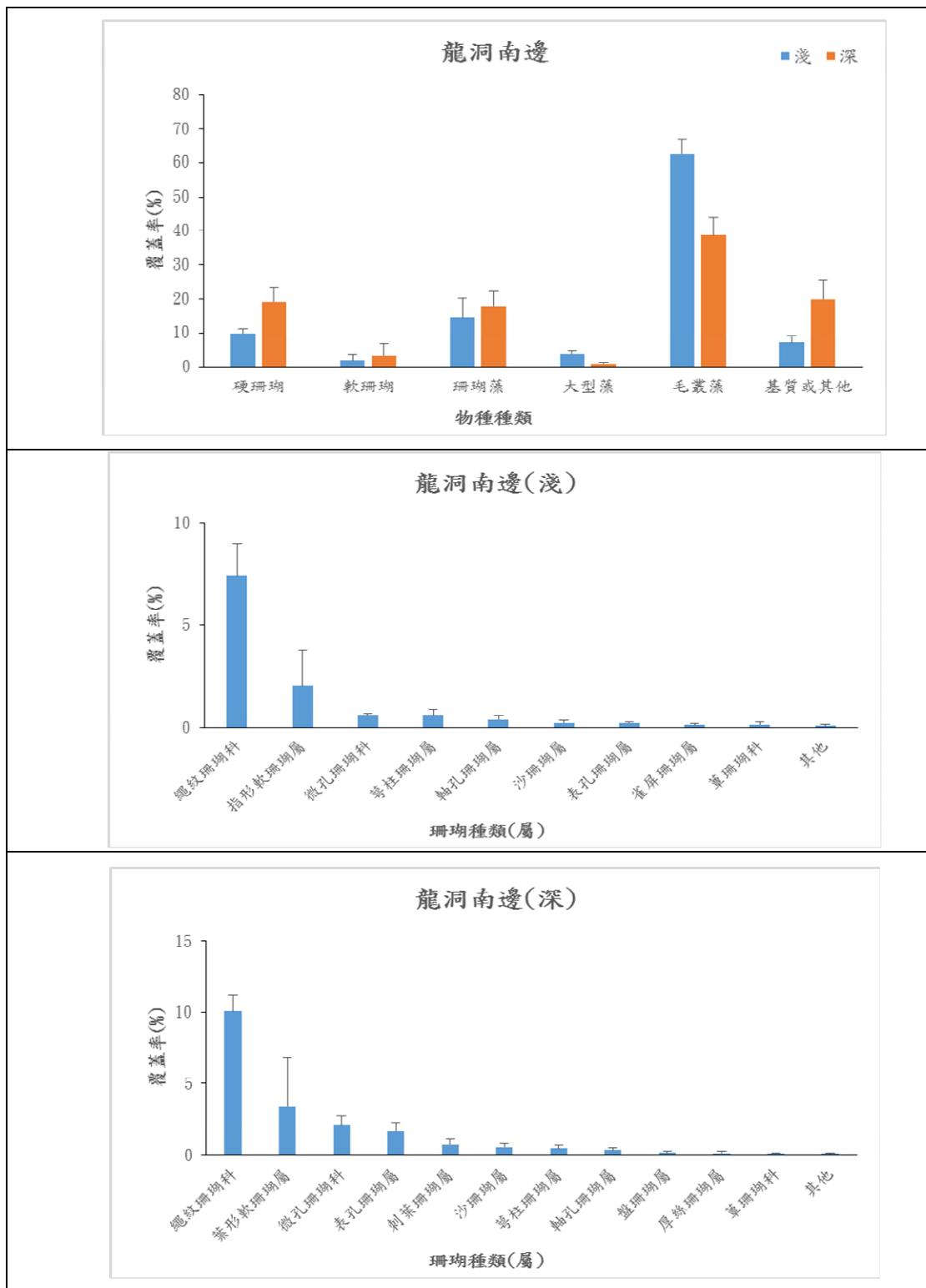


圖 27、龍洞南邊淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

卯澳珊瑚覆蓋率為淺礁(5m)硬珊瑚僅 7.7%、軟珊瑚 0.9%、珊瑚藻 5.1%、大型藻 2.2%、毛叢藻 77%、基質或其他 7.1%；深礁(10m)硬珊瑚 12%、軟珊瑚 0.1%、珊瑚藻 5.2%、大型藻 1.4%、毛叢藻 77.1%、基質或其他 4.3%。其中淺礁區繩紋珊瑚科 4.0%、微孔珊瑚科 1.1%、鹿角珊瑚 0.8%；深礁區繩紋珊瑚科 3.8%、鹿角

珊瑚 2.6%、表孔珊瑚科 2.4% (圖 28)。兩區的藻類覆蓋率皆高於 70%，珊瑚比例少於 15%，珊瑚狀況明顯較不理想。

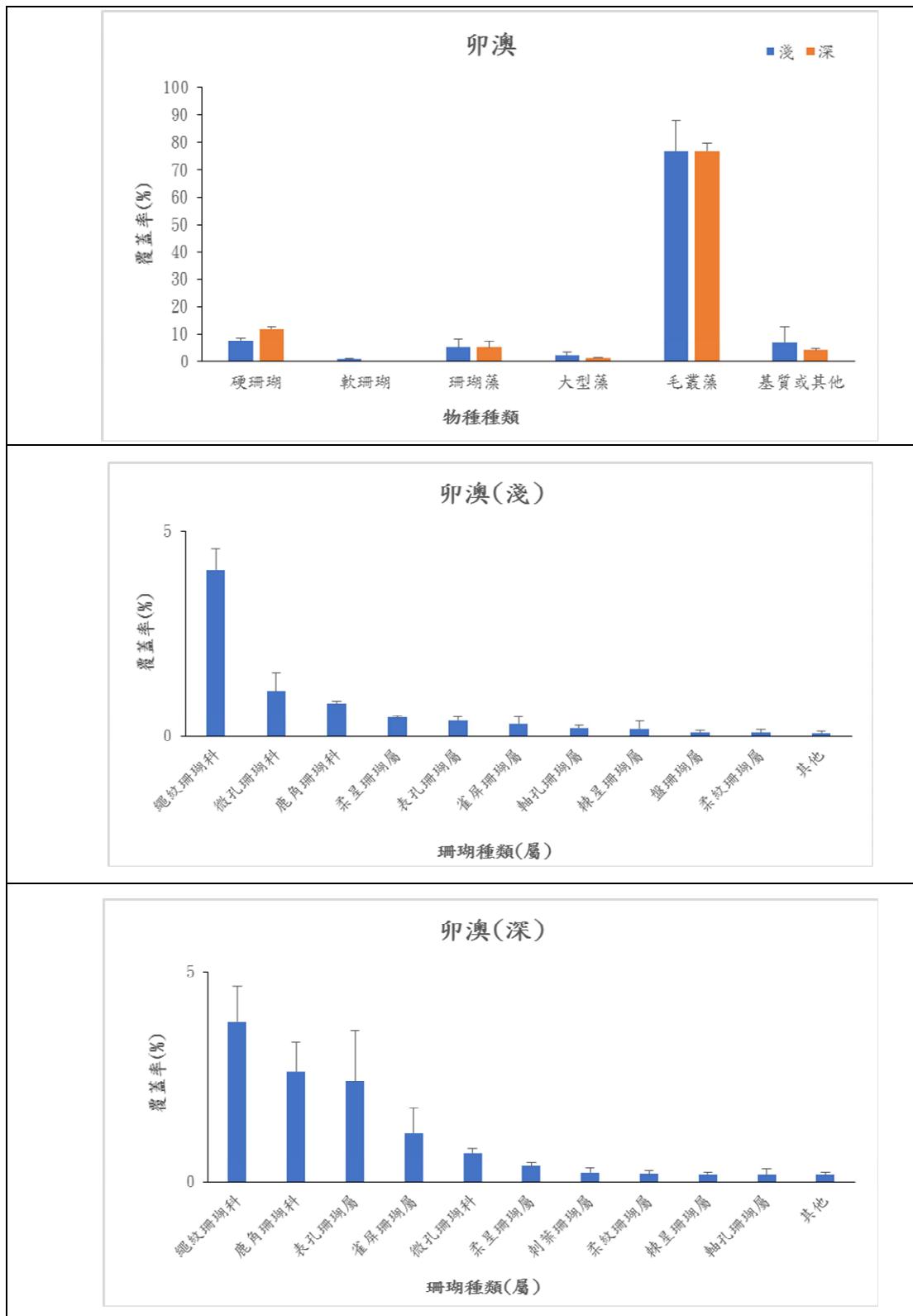


圖 28、卵澳淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

澎湖杭灣淺礁(4m)硬珊瑚 31.6%、軟珊瑚 1.4%、珊瑚藻 4.2%、大型藻 13.4%、毛叢藻 40.5%、基質或其他 8.9%；深礁(8m)硬珊瑚 23.4%、軟珊瑚 8.7%、珊瑚藻 1.7%、大型藻 1.7%、毛叢藻 57.5%、基質或其他 7.2%，其中萼柱珊瑚屬 19.3%、微孔珊瑚科 17.0%、葉形軟珊瑚屬 7.3%、盤珊瑚屬 3.4%、繩紋珊瑚科 1.2%等（圖 29）。

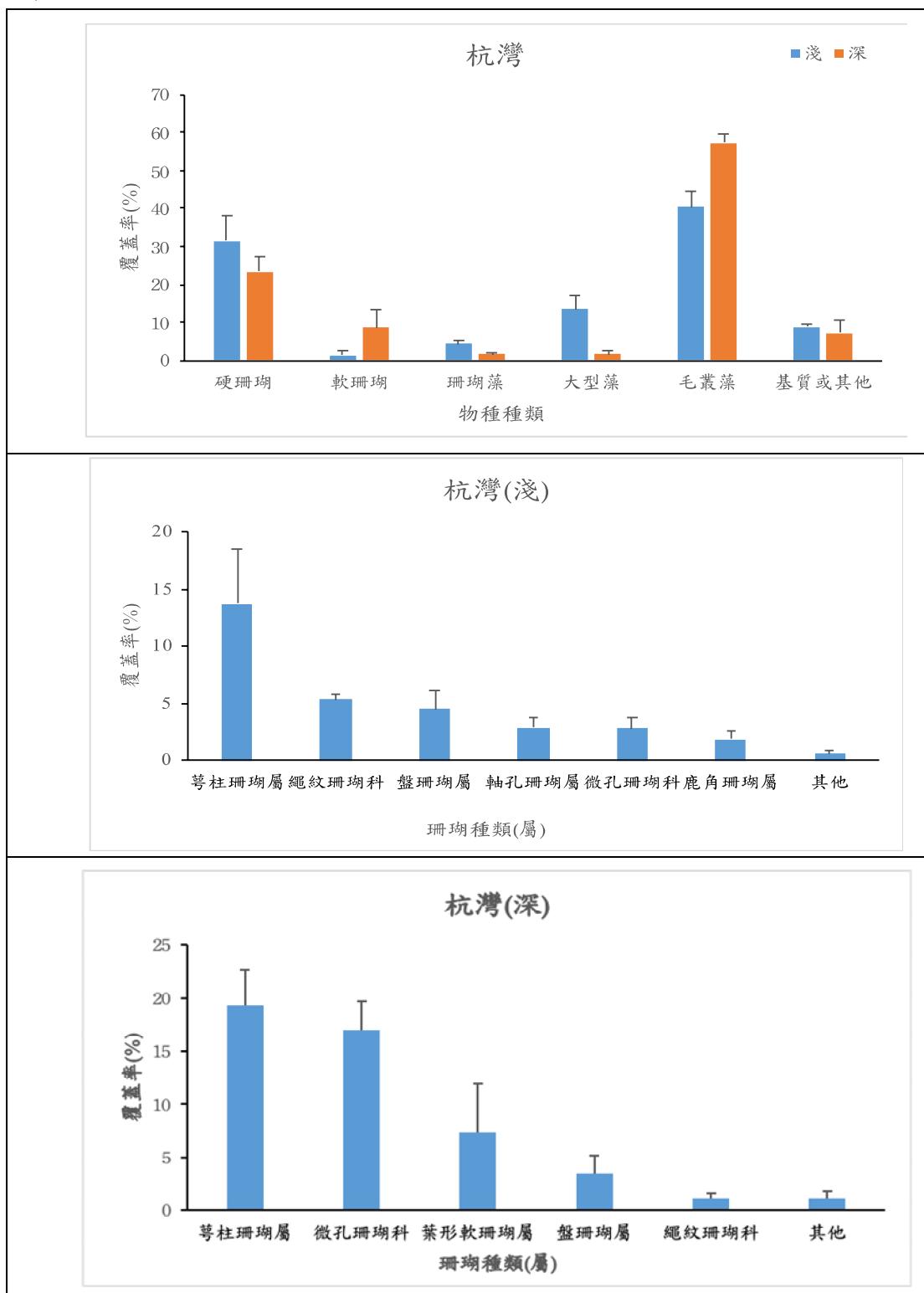
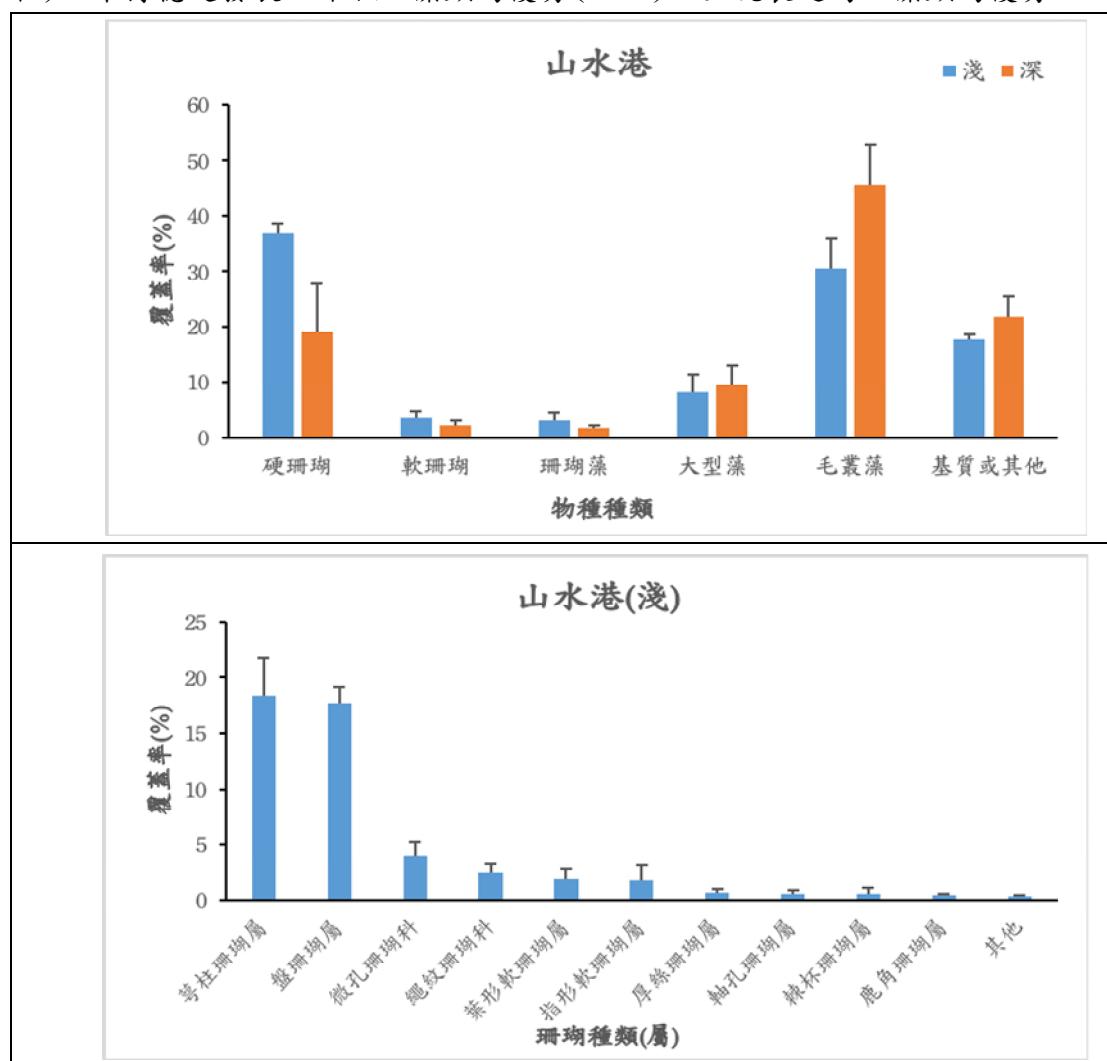


圖 29、杭灣淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

山水港淺礁(4m)硬珊瑚 36.8%、軟珊瑚 3.6%、珊瑚藻 3.2%、大型藻 8.3%、毛叢藻 30.5%、基質或其他 17.6%，其中萼柱珊瑚屬 18.3%、盤珊瑚屬 17.7%、微孔珊瑚科 4.0%、繩紋珊瑚科 2.4%、葉形軟珊瑚屬 1.8%、指形軟珊瑚屬 1.8%等；深礁(7m)硬珊瑚 19.0%、軟珊瑚 0.7%、珊瑚藻 1.8%、大型藻 9.7%、毛叢藻 45.4%、基質或其他 21.7%，其中盤珊瑚屬 10.9%、萼柱珊瑚屬 1.9%、鹿角珊瑚屬 1.8%、繩紋珊瑚科 1.8%、微孔珊瑚科 1.6%、指形軟珊瑚屬 1.4%等(圖 30)。淺礁珊瑚覆蓋率(包括硬珊瑚和軟珊瑚的總和)相近於海藻覆蓋率(包括大型藻和毛叢藻的總和)，維持穩定發展；深礁以藻類為優勢(>50%)，呈現衰退為以藻類為優勢。



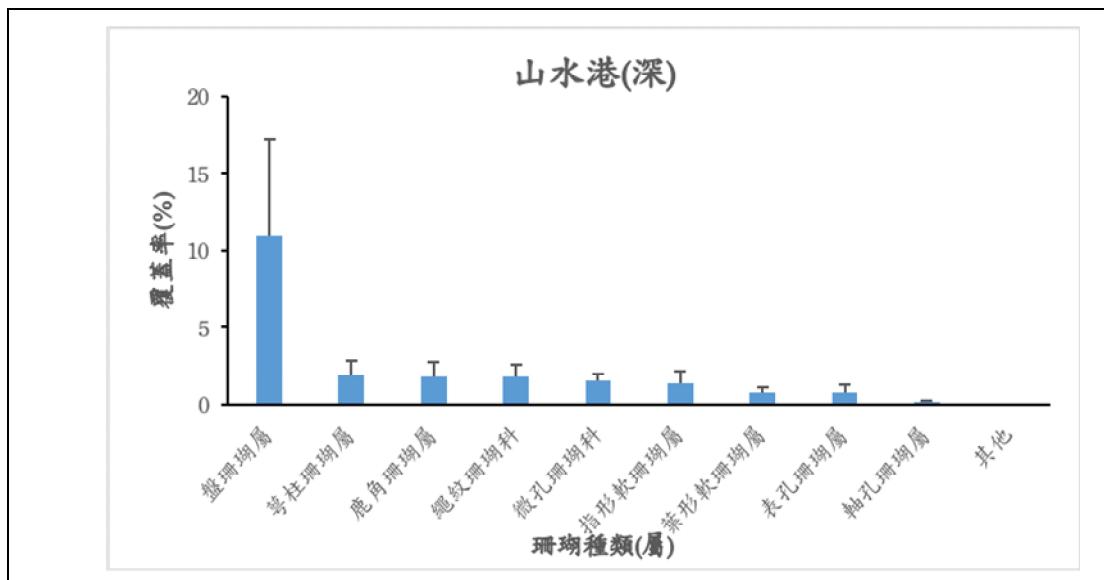
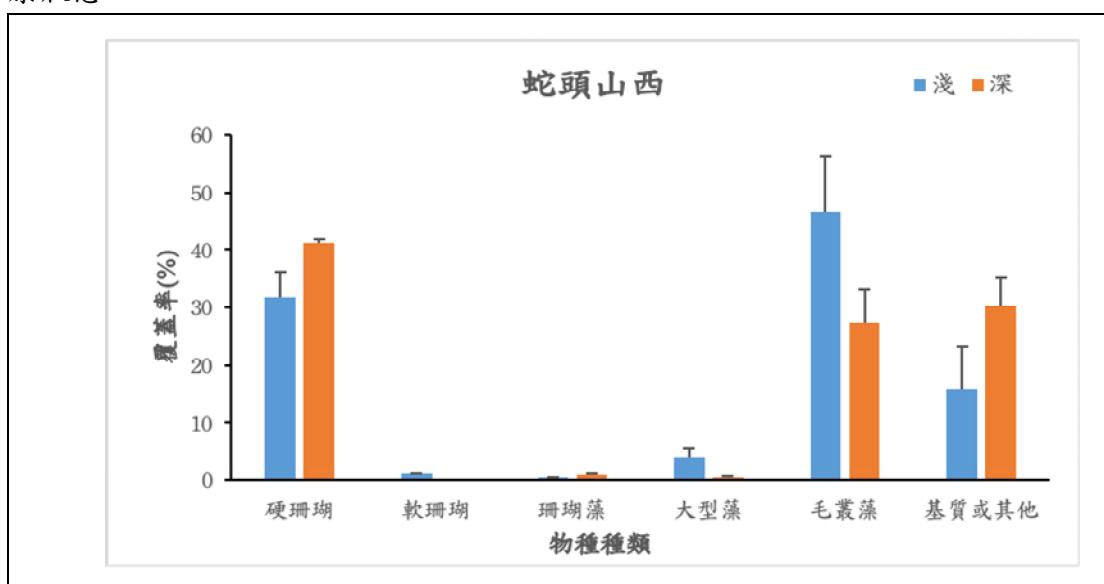


圖 30、山水港淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

蛇頭山西淺礁(1m)硬珊瑚 31.8%、軟珊瑚 1.1%、珊瑚藻 0.4%、大型藻 4.1%、毛叢藻 46.6%、基質或其他 16%，其中軸孔珊瑚屬 10.7%、繩紋珊瑚科 8.1%、盤珊瑚屬 7.9%、鹿角珊瑚屬 2.1%、微孔珊瑚科 1.4%等；深礁(5m)硬珊瑚 41.1%、軟珊瑚 0.03%、珊瑚藻 0.8%、大型藻 0.4%、毛叢藻 27.4%、基質或其他 30.2%，其中盤珊瑚屬 23.7%、軸孔珊瑚屬 8.9%、鹿角珊瑚屬 3.3%、微孔珊瑚科 1.7%、繩紋珊瑚科 1.4%等(圖 31)。淺礁以藻類為優勢(>50%)；深礁以珊瑚為優勢的健康狀態。



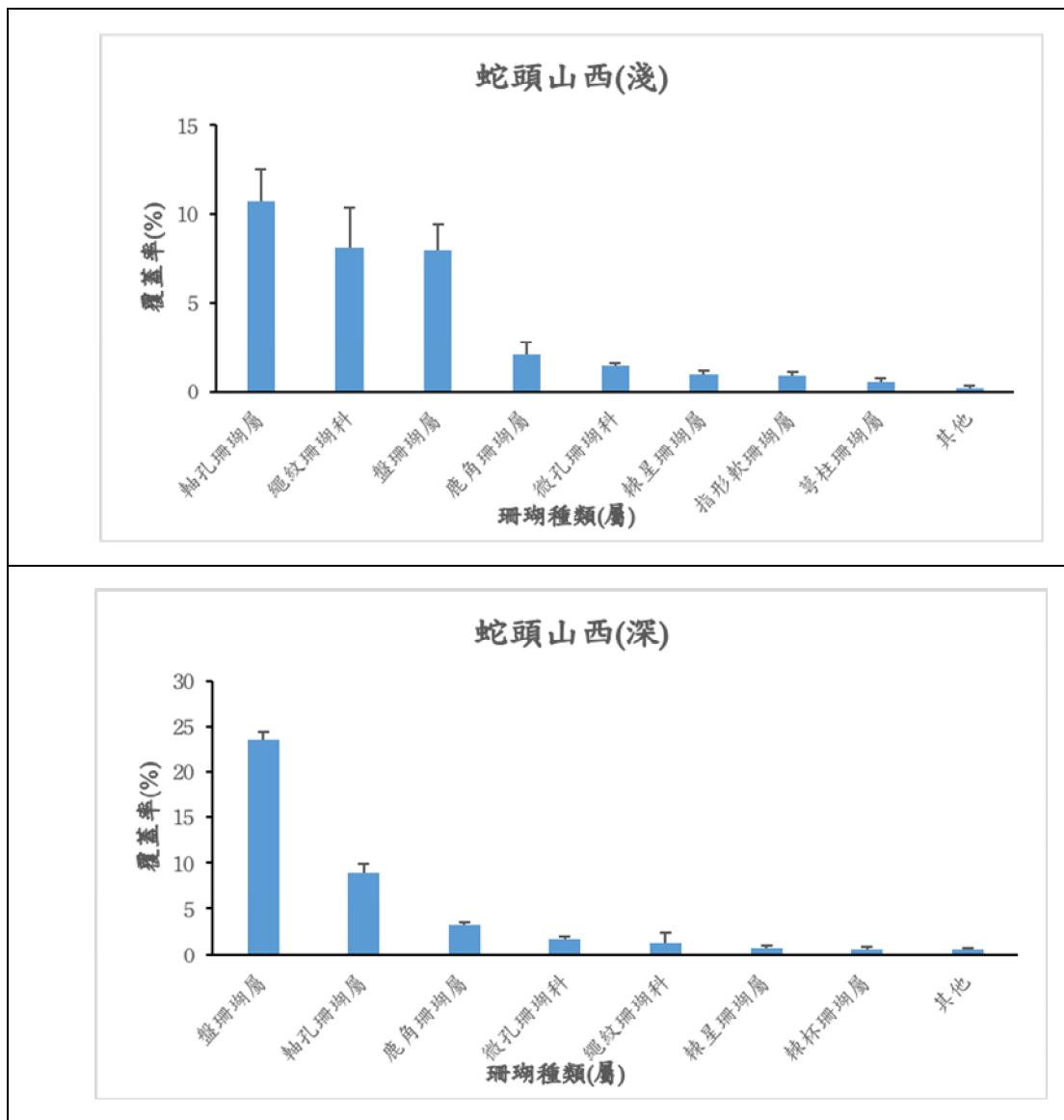


圖 31、蛇頭山西淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

澎湖風櫃東(青灣)淺礁(5m)硬珊瑚 41.4%、軟珊瑚 0.05%、珊瑚藻 1.9%、大型藻 4.8%、毛叢藻 31.5%、基質或其他 20.3%，其中軸孔珊瑚屬 9.2%、盤珊瑚屬 8.9%、雀屏珊瑚屬 8.6%、繩紋珊瑚科 5.1%、微孔珊瑚科 3.7%、棘星珊瑚屬 2.9%、鹿角珊瑚屬 1.9%等；深礁(10m)硬珊瑚 32.0%、軟珊瑚 0.007%、珊瑚藻 0.2%、大型藻 4.2%、毛叢藻 23.5%、基質或其他 40.0%，其中雀屏珊瑚屬 11.5%、軸孔珊瑚屬 8.9%、盤珊瑚屬 4.2%、微孔珊瑚科 3.3%、鹿角珊瑚屬 1.8%、棘星珊瑚屬 1.2%等(圖 32)。二礁區珊瑚覆蓋率皆大於海藻覆蓋率，因此維持以珊瑚為優勢的健康狀態。在澎湖則較易見到珊瑚的天敵，如棘冠海星(*Acanthaster planci*)、饅頭海星(*Culcita novaeguineae*)、白結螺(*Drupella cornus*)、海兔螺(*Ovula ovum*)等。

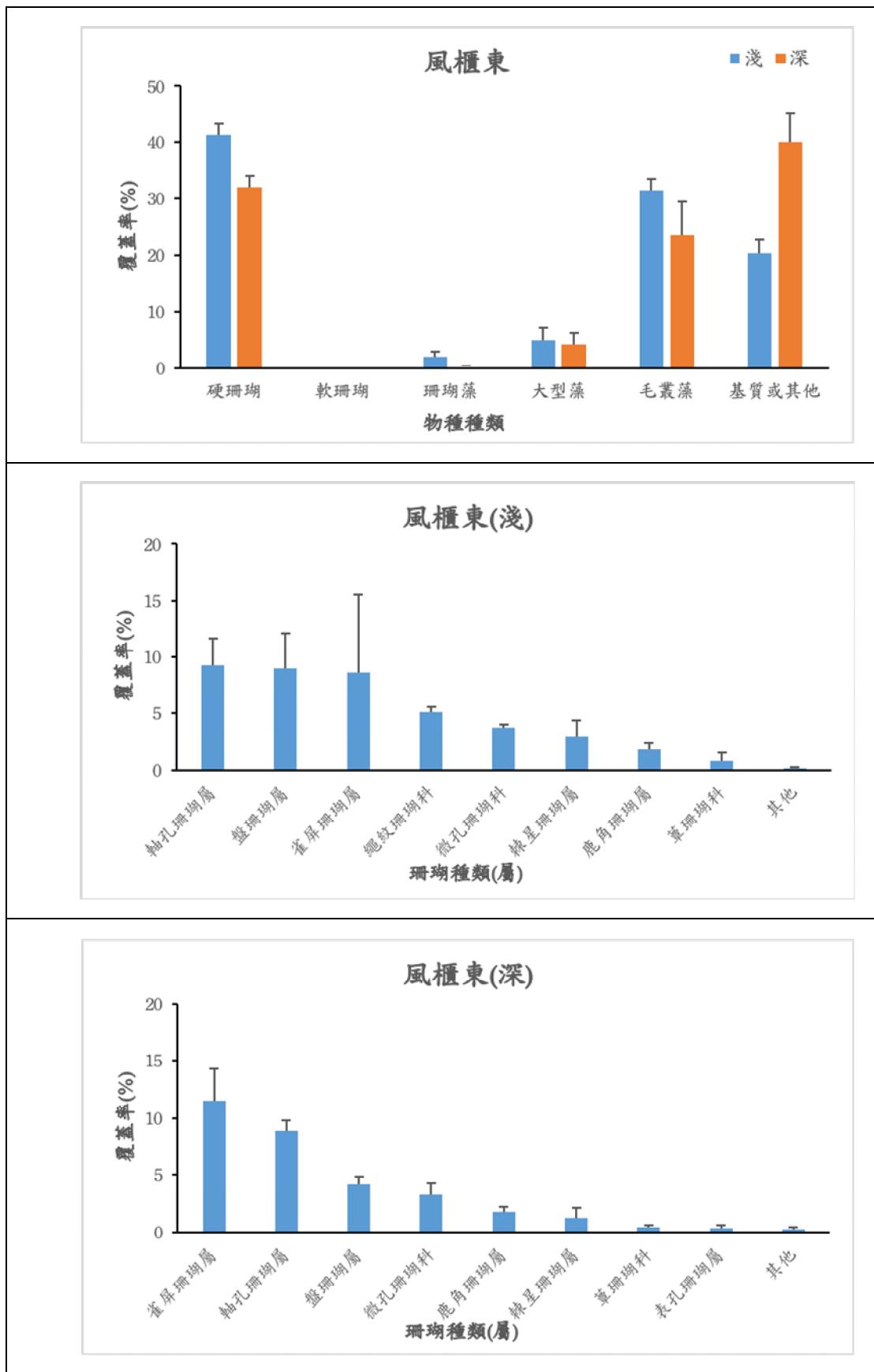


圖 32、風櫃東(青灣)淺礁與深礁底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

整理所調查 31 個地點，每個地點皆有 2 個深度，共 62 組珊瑚與藻類資料的結果顯示(表 2)，有 7 組珊瑚群聚已失去結構與功能(珊瑚覆蓋率<10%，且珊瑚/藻類比例<0.1)，包括北部的卯澳淺區、南部的萬里桐深區、以及小琉球的漁埕尾淺區和深區、厚石裙礁淺區和深區、美人洞淺區，因上述區域觀光發展積極，土地開發與人潮多，推測珊瑚礁失能主因是人為活動破壞、汙染，抑或是浮潛與潛水的踩踏或破壞為主所導致。共 22 組珊瑚群聚衰退，包括北部 8 組、東部 4 組、南部 6 組、小琉球 3 組、澎湖 1 組。共 27 組珊瑚群聚穩定，包括北部 9 組、東部 5 組、南部 6 組、澎湖 7 組。6 組珊瑚群聚健康，包括東部 5 組、南部 1 組。

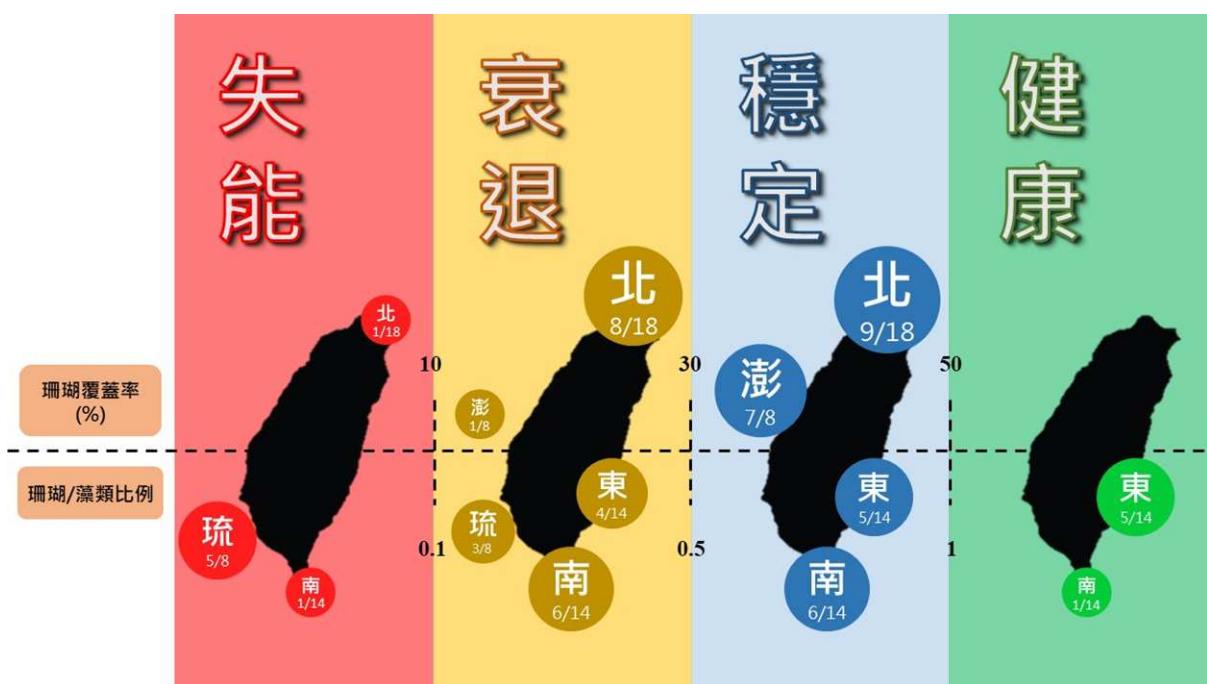
表 2、本計劃調查結果在各區域、地點和深度的珊瑚覆蓋率(%)、珊瑚(硬珊瑚與軟珊瑚)/藻類(大型藻與毛叢藻)比例、以及發展現況。發展現況：珊瑚覆蓋率<10%且珊瑚/藻類比例<0.1：失能、珊瑚覆蓋率 10-30%且珊瑚/藻類比例≤0.5：衰退(珊瑚覆蓋率 10%以下，但珊瑚/藻類比例 0.1-0.5 之間也屬之)、珊瑚覆蓋率 30-50%且珊瑚/藻類比例>0.5：穩定(珊瑚覆蓋率 30%以下，但珊瑚/藻類比例>0.5 也屬之)、珊瑚覆蓋率>50%：健康。

區域	地點	深度	珊瑚覆蓋率(%)	珊瑚/藻類比例	發展現況
北部	野柳 (國聖埔)	1m	39.7	1.2	穩定
		3m	39.0	0.8	穩定
	外木山	5m	20.4	1.7	穩定
		10m	7.1	1.1	穩定
	潮境	5m	29.2	0.5	衰退
		10m	44.4	1.0	穩定
	番仔澳	5m	12.2	0.2	衰退
		10m	29.1	0.6	穩定
	深澳	5m	31.3	0.6	穩定
		10m	25.5	0.4	衰退
	鼻頭公園	5m	39.1	0.9	穩定
		10m	25.5	0.4	衰退
	龍洞四號 北側	5m	14.1	0.2	衰退
		10m	25.9	0.4	衰退
	龍洞四號 南側	5m	11.9	0.2	衰退
		10m	22.6	0.6	穩定
	卯澳	5m	8.7	0.1	失能
		10m	12.1	0.2	衰退
宜蘭	豆腐岬	3m	73.6	3.7	健康
		6m	27.7	0.7	穩定
	粉鳥林	3m	11.9	0.3	衰退
		6m	0.3	0.01	衰退

花蓮	石梯坪	5m	30	0.5	衰退
		10m	41.5	1.0	穩定
臺東	小野柳	3m	35.9	0.7	穩定
		5m	45.3	0.9	穩定
	杉原中礁	5-8m	40	0.9	穩定
		6m	14.7	0.2	衰退
	基翹船澳	3m	54.9	1.6	健康
		6m	55.4	1.7	健康
	三仙臺南邊	5m	53.3	1.5	健康
		7m	64.6	3.6	健康
南部	萬里桐	3m	17.5	0.3	衰退
		6m	9.4	0.2	失能
	核三廠出水口	5m	29.6	0.5	衰退
		10m	51.4	1.3	健康
	眺石	5m	34.9	0.6	穩定
		10m	42.1	0.8	穩定
	後壁湖	5m	12.6	0.2	衰退
		10m	44.4	1.1	穩定
	合界	5m	26	0.4	衰退
		10m	41.1	0.7	穩定
	香蕉灣	5m	24	0.4	衰退
		10m	25.4	0.4	衰退
	龍坑	5m	39.2	0.8	穩定
		10m	33.1	0.7	穩定
小琉球	漁埕尾	5m	1.7	0.02	失能
		10m	4.3	0.1	失能
	厚石裙礁	5m	7.4	0.1	失能
		10m	2.9	0.03	失能
	杉福	5m	14.2	0.2	衰退
		10m	10.1	0.1	衰退
	美人洞	5m	9.4	0.1	失能
		10m	13.6	0.2	衰退
澎湖	杭灣	5m	33	0.6	穩定
		10m	32	0.5	穩定
	山水港	4-5m	40.5	1.0	穩定
		7m	21.3	0.4	衰退
	蛇頭山西	1m	32.9	0.6	穩定

風櫃東(青灣)	5m	41.2	1.5	穩定
	5m	41.4	1.1	穩定
	10m	32.0	1.2	穩定

# 2021 珊瑚群聚現況



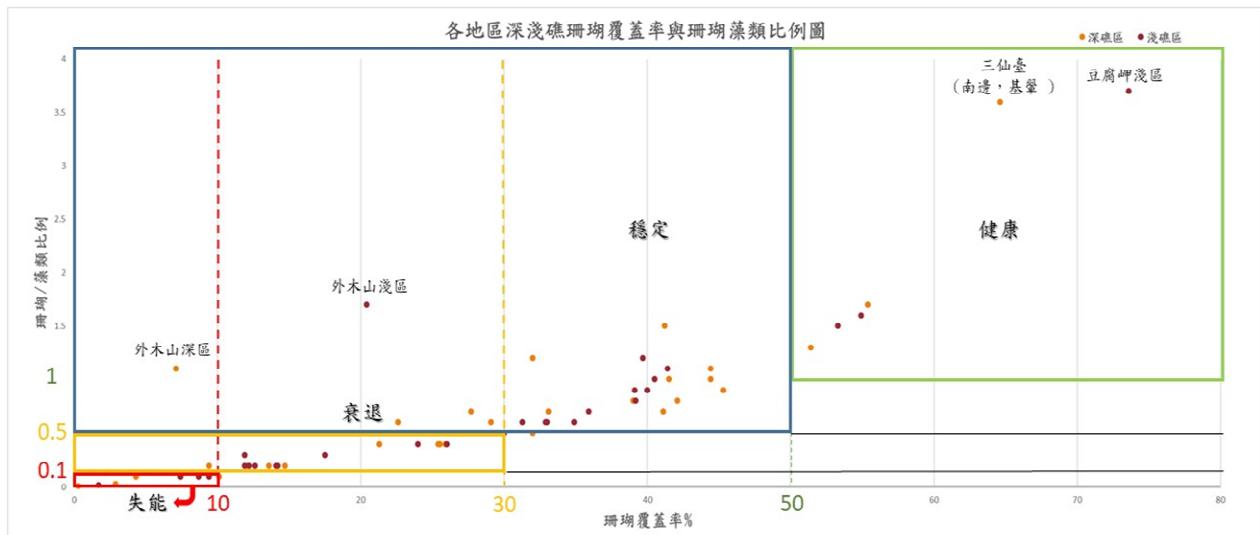


圖 33、各地點資料統整圖示。

本研究調查資料與 2020 與 2021 年珊瑚礁體檢報告資料之珊瑚(硬珊瑚與軟珊瑚)覆蓋率(%)列於表 3。

表 3、2020 與 2021 年珊瑚礁體檢以及 2021 年本研究調查資料之珊瑚(硬珊瑚與軟珊瑚)覆蓋率(%)比較表。~：由珊瑚礁體檢結果圖中點位估計數值並以 4 捨 5 入計；-：無資料。

區域	地點	深度	珊瑚礁體檢		本計畫數據 2021
			2020	2021	
北部	野柳 (國聖埔)	1m	31.3	-	39.7
		3m	-	-	39.0
	外木山	5m	-	-	20.7
		10m	-	-	8.5
	潮境	5m	-	-	29.2
		10m	37.5	-	44.4
	番仔澳	5m	19.4	-	12.2
		10m	16.9	-	29.1
	深澳	5m	-	-	31.3
		10m	-	-	25.5
	鼻頭公園	5m	25	-	39.1
		10m	-	-	25.5
	龍洞四號 北側	5m	21	-	14.1
		10m	38.8	-	25.9
	龍洞四號 南側	5m	10	-	11.9
		10m	28.1	-	22.6

	卯澳	5m	-	-	8.7
		10m	-	-	12.1
宜蘭	豆腐岬	3m	-	-	73.6
		6m	-	-	27.7
	粉鳥林	3m	-	-	11.9
		6m	-	-	0.3
花蓮	石梯坪	5m	50.6	-	30
		10m	-	-	41.5
臺東	小野柳	3m	-	-	35.9
		5m	-	-	45.3
	杉原中礁	5-8m	26.9	-	40
		6m	18.1	-	14.7
	基翹船澳	3m	48.8	-	54.9
		6m	38.6	-	55.4
		6-12m	30.7	-	-
	三仙臺南邊	5m	-	-	53.3
		7m	-	-	64.6
綠島	大白沙	5m	53.1	~60	-
		10m	~60	~60	-
		6-12m	58.1	~60	-
	龜灣	5m	68.8	~60	-
		10m	53.1	~60	-
	石朗	5m	64.4	~60	-
		10m	53.1	~60	-
		6-12m	55	~60	-
蘭嶼	玉女岩	5m	-	~60	-
		10m	69	-	-
		6-12m	65.6	-	-
	母雞岩	5m	55	-	-
		10m	~70	-	-
		6-12m	68.8	-	-
	南獅	5m	38.1	-	-
		10m	~60	-	-
		6-12m	56.3	-	-
南部	萬里桐	3m	-	-	17.5
		6m	-	-	9.4
	核三廠出水口	5m	-	-	29.6

		10m	-	-	51.4
眺石	5m	-	-	34.9	
	10m	-	-	42.1	
	2-6m	55.6	-	-	
後壁湖 5 月	6-12m	50	-	-	
	5m	41.9	-	12.6	
軟珊瑚區 9 月	10m	40	-	44.4	
	5m	40	-	-	
後壁湖花園 10 月	10m	45.6	-	-	
	2-6m	48.7	40.0	-	
合界 4 月	6-12m	59.4	50.6	-	
	5m	53.8	-	26	
合界 9 月	10m	67.5	-	41.1	
	5m	35	-	-	
合界 11 月(秋)	10m	43.1	-	-	
	5m	-	-	24	
香蕉灣	10m	-	-	25.4	
	5m	-	-	-	
龍坑	10m	-	-	39.2	
	5m	-	-	33.1	
小琉球	漁埕尾	5m	3.8	-	1.7
		10m	~10	-	4.3
	厚石裙礁	5m	18.8	-	7.4
		10m	3.8	-	2.9
	杉福	5m	-	-	14.2
		10m	-	-	10.1
	美人洞	5m	26.9	-	9.4
		10m	~20	-	13.6
		6-12m	22.5	-	-
澎湖	杭灣	5m	29.4	44.4	33
		10m	-	-	32
	山水港	4-5m	28.1	31.3	40.5
		7m	-	-	21.3
	蛇頭山西	1m	-	-	32.9
		5m	-	-	41.2
	風櫃東(青灣)	5m	-	-	41.4
		10m	-	-	32.0
	東嶼坪西側	-	63.8	78.1	-

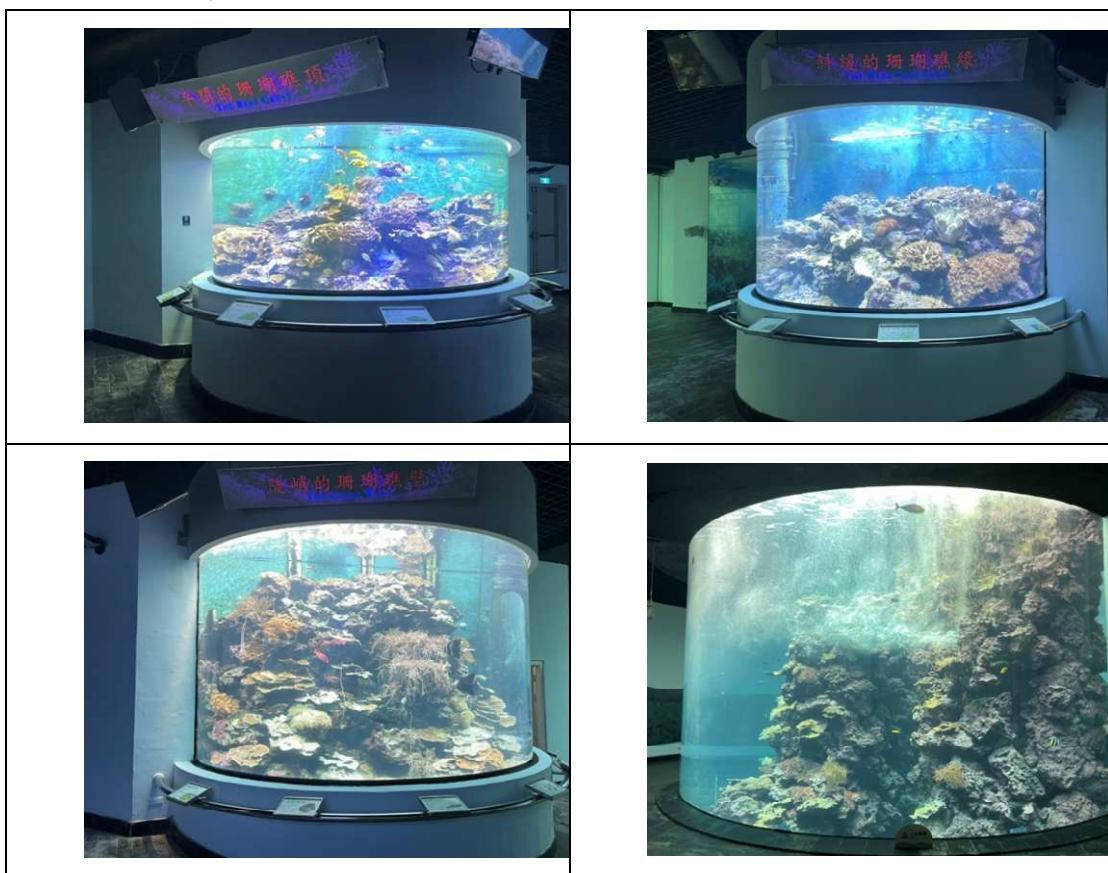
	東嶼坪東側	-	64.4	50.0	-
	西嶼坪南側	-	69.4	69.4	-

## 二、水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法的建立

調查海生館、新北市政府海洋資源復育園區(以下簡稱貢寮)、基隆國立海洋科技博物館(簡稱海科館)、和澎湖水族館等四個地區，目前皆已完成水族館的調查與影像分析。也完成擴增分析 Xpark 水族館以及小琉球海洋館、中山高中等三個地區水族館的調查與影像分析。

珊瑚平均覆蓋率方面分別為：

海生館珊瑚王國館礁頂缸硬珊瑚 40.9%，其中盤珊瑚屬 25.7%、軸孔珊瑚屬 7.4%、微孔珊瑚科 5.1%、表孔珊瑚科 1.1%、繩紋珊瑚科 1.0%等；礁緣缸軟珊瑚 41.2%，其中指形軟珊瑚屬 29.3%、葉形軟珊瑚屬 9.2%、肉質軟珊瑚屬 2.7%等；礁壁缸硬珊瑚 25.6%、軟珊瑚 21.1%，其中指形軟珊瑚屬 19.0%、表孔珊瑚屬 15.8%、盤珊瑚屬 5.0%、捲曲氣泡珊瑚 2.8%、真葉珊瑚科 1.7%等；圓柱缸硬珊瑚 7.5%、軟珊瑚 5.4%，其中表孔珊瑚屬 6.6%、穗珊瑚科 2.5%等；復育缸硬珊瑚 22.7%、軟珊瑚 8.0%，其中表孔珊瑚屬 6.6%、穗珊瑚科 2.5%等；真葉珊瑚科 14.0%、盤珊瑚屬 5.8%、穗珊瑚科 2.7%、指形軟珊瑚屬 2.7%、肉質軟珊瑚屬 1.3%、微孔珊瑚科 1.1%等；臺灣水域館軟珊瑚缸軟珊瑚 43.4%，其中肉質軟珊瑚屬 25.2%、指形軟珊瑚屬 16.2%等(圖 34、35)。整體而言六缸內的珊瑚覆蓋率為 12.9–46.7%，而大型藻和毛叢藻皆很少(<3%)，因此維持以珊瑚為優勢的健康狀態。



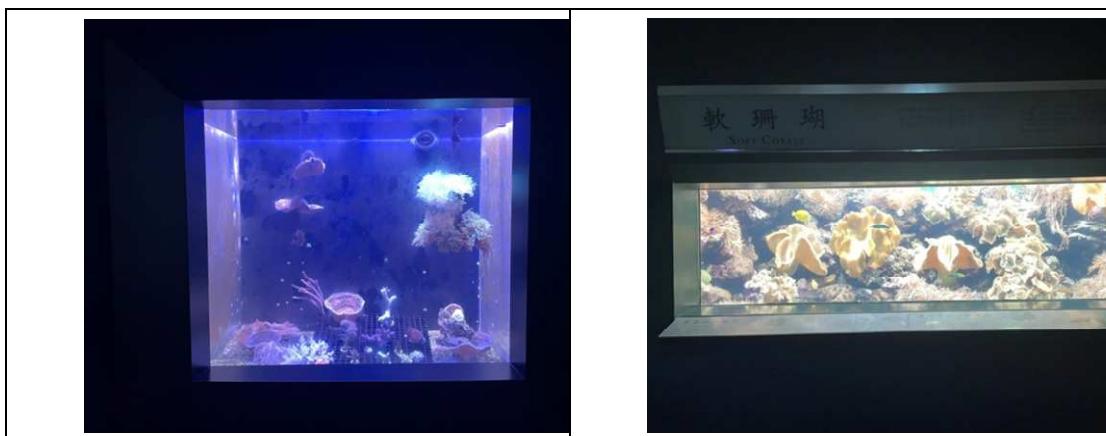
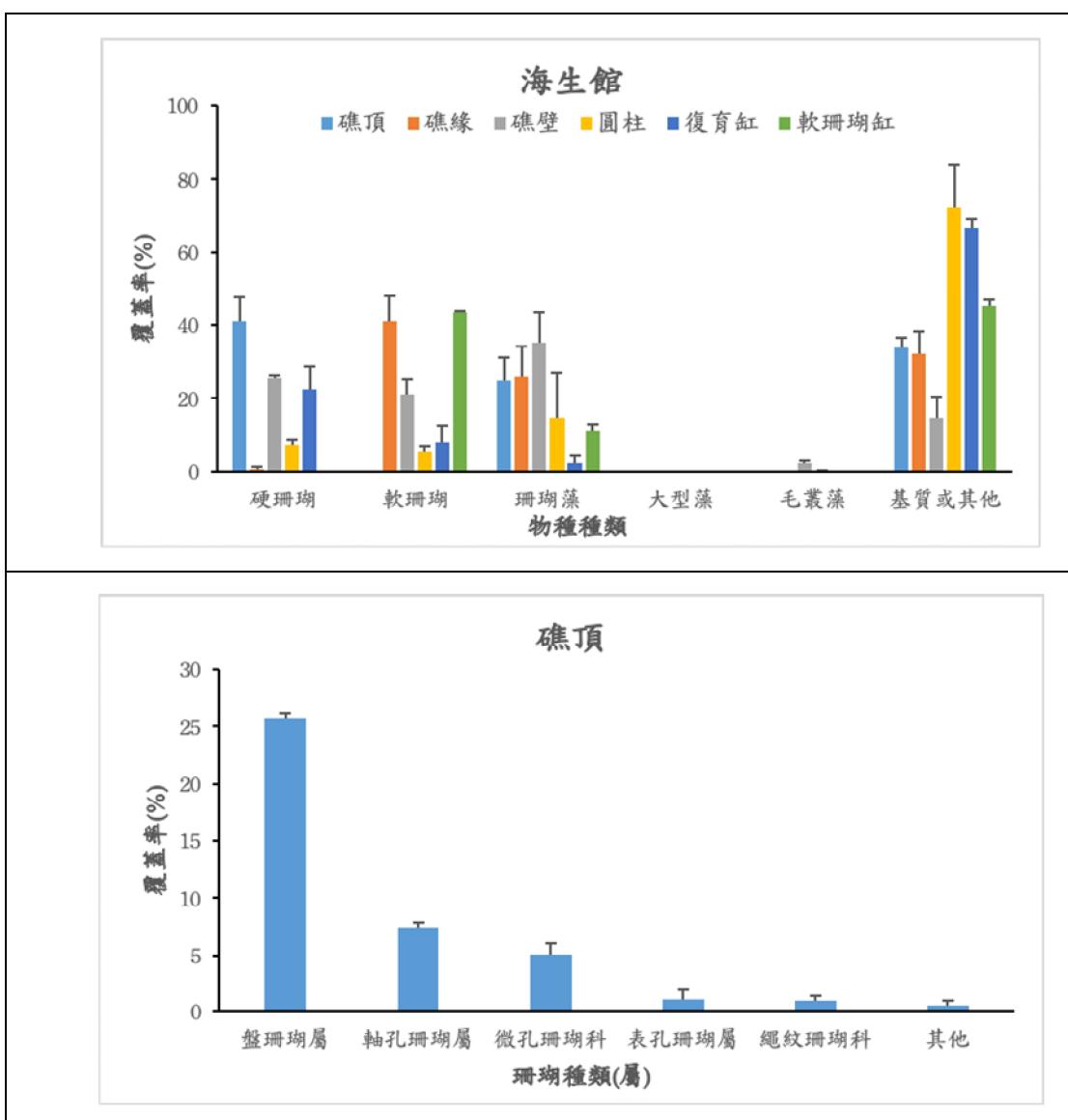
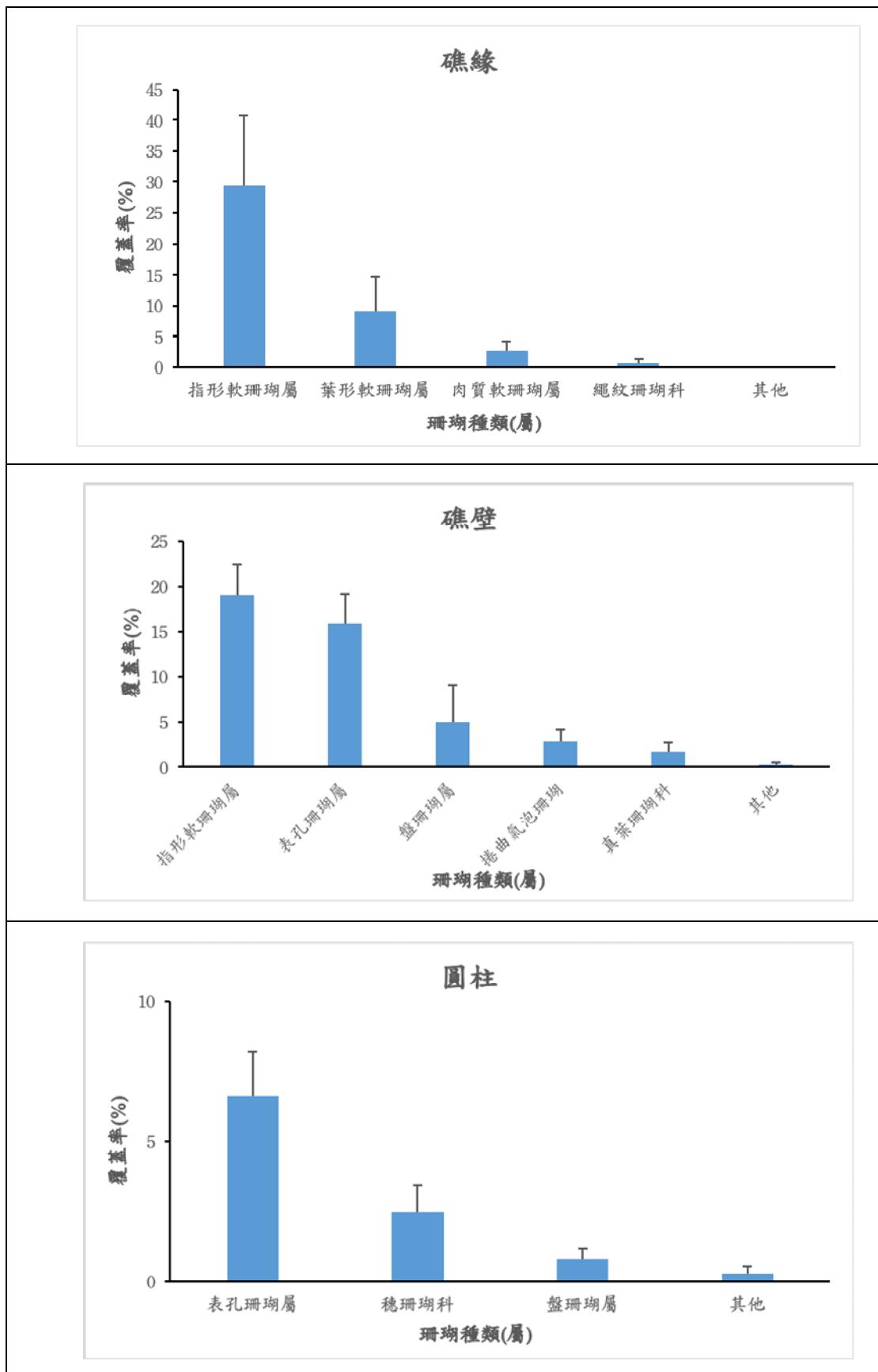


圖 34、海生館珊瑚王國館礁頂缸、礁緣缸、礁壁缸、圓柱缸、復育缸、臺灣水域館軟珊瑚缸外觀照。





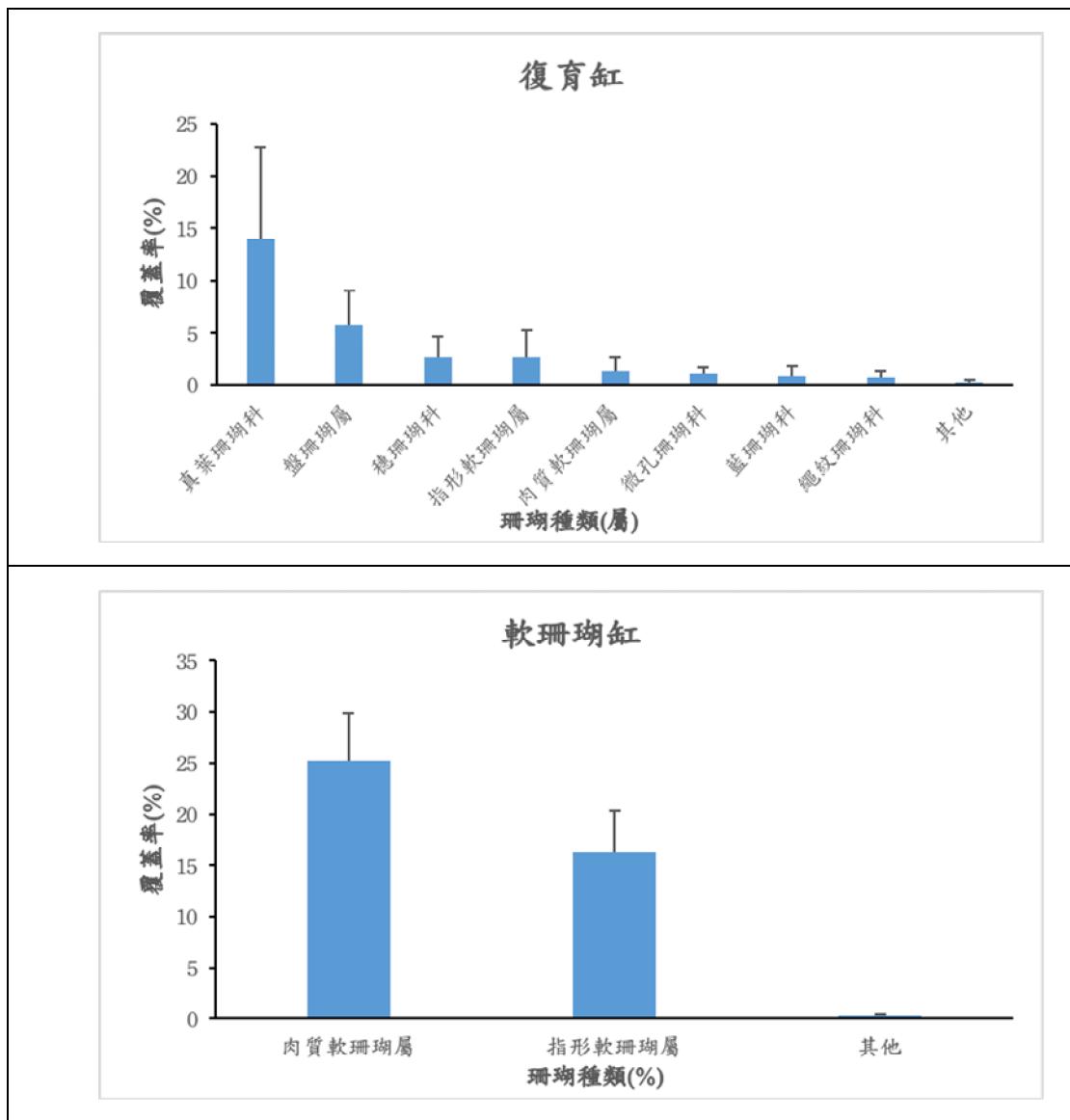


圖 35、海生館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

海生館水族實驗中心室內三個再循環水產養殖系統 RAS 缸，缸體編號 T1 缸中鹿角珊瑚 17.9%、T2 缸中鹿角珊瑚 28.7%、T3 缸中鹿角珊瑚 12.6% (圖 36)。

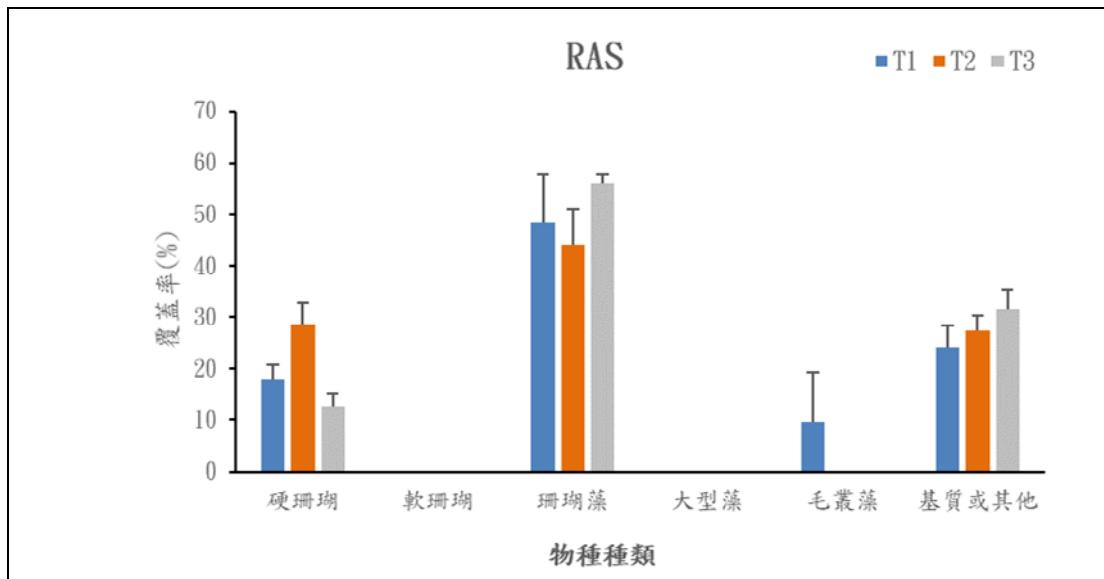


圖 36、海生館水族實驗中心室內三個再循環水產養殖系統 RAS 缸底棲群聚結構。

貢寮有兩區域分別為室內與室外，室內珊瑚缸(圖 37、38)的硬珊瑚 25.5%、軟珊瑚 1.7%、珊瑚藻 8.2%、大型藻 2.0%、毛叢藻 1.9%、基質或其他 60.7%；第二區域海洋資源復育區(圖 39、40)，硬珊瑚 29.7%、軟珊瑚 0.1%、珊瑚藻 8.8%、大型藻 0.004%、毛叢藻 14.6%、基質或其他 46.0%，整體而言，缸內的珊瑚覆蓋率為 25.5-29.7%，大型藻和毛叢藻皆很少(<20%)。

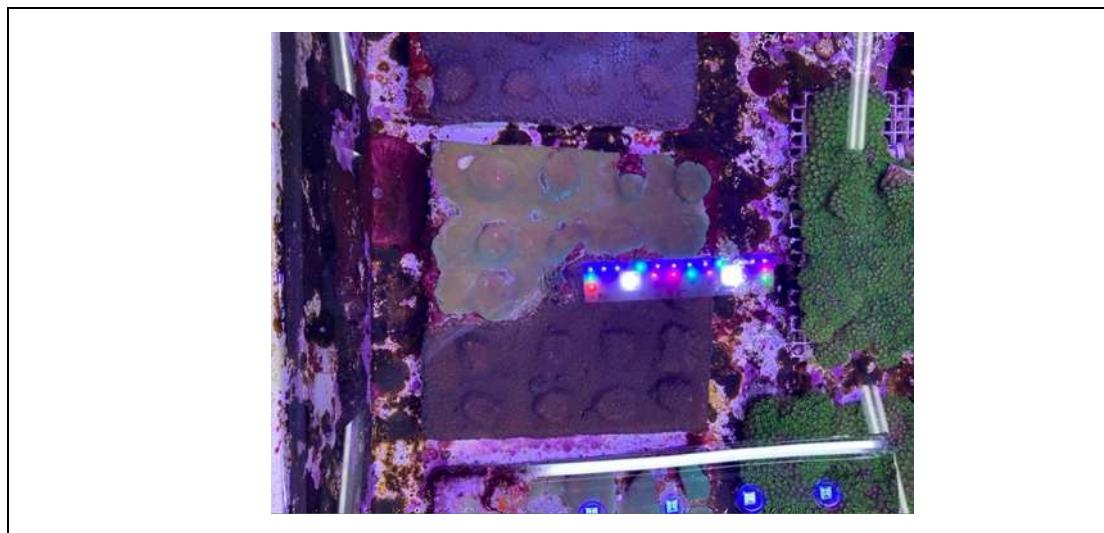




圖 37、貢寮室內珊瑚缸。

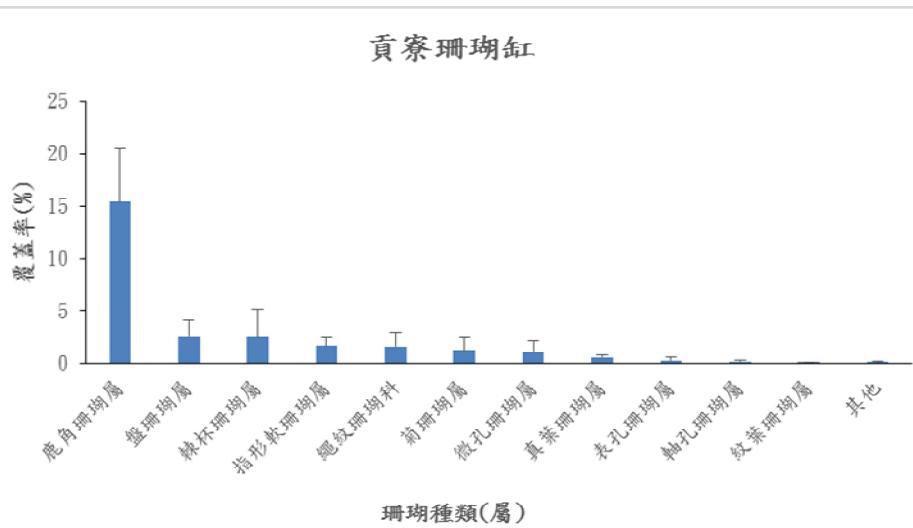
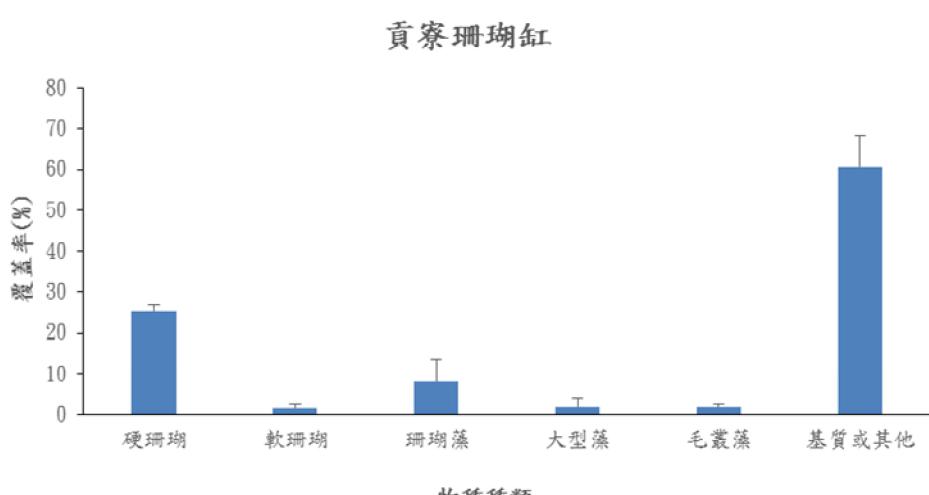
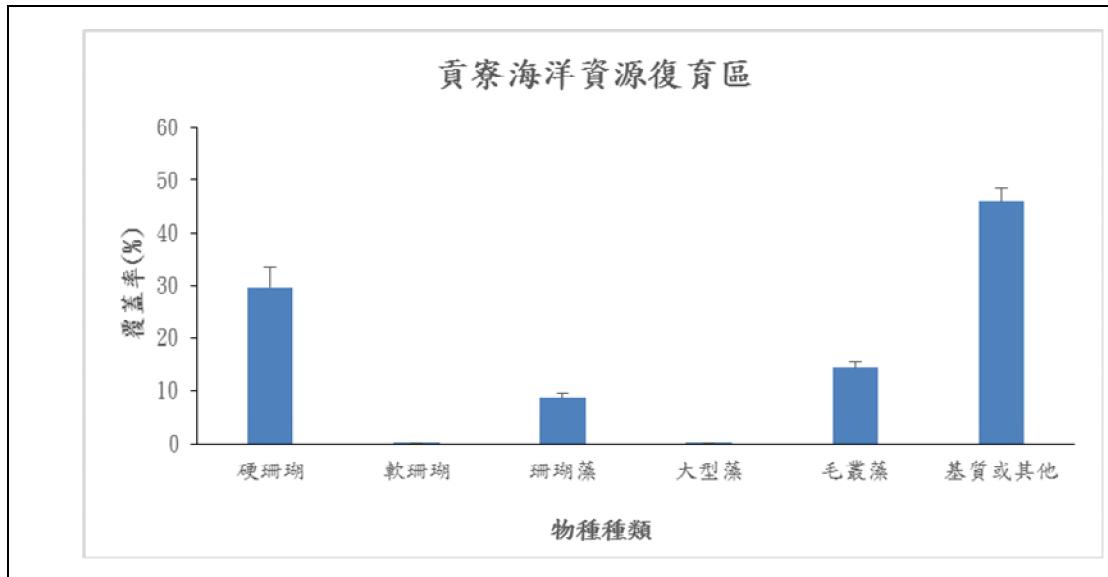


圖 38、貢寮珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。



圖 39、貢寮室外海洋資源復育區。



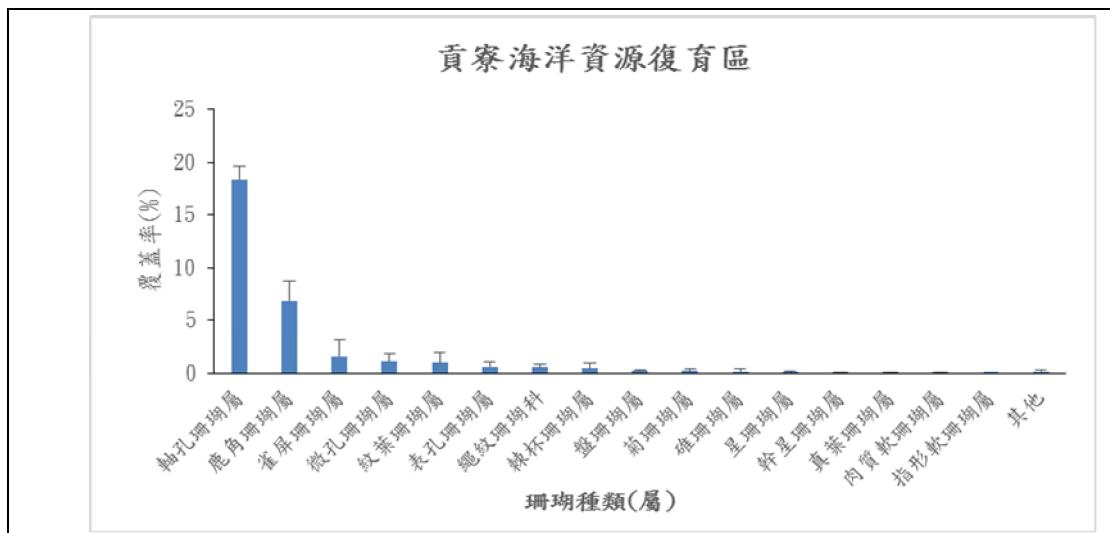


圖 40、貢寮海洋資源復育區實景與底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

澎湖水族館前場軟珊瑚缸軟珊瑚 29.0%，其中異形軟珊瑚科 15.2%、穗珊瑚科 5.6%、指形軟珊瑚屬 4.3%、肉質軟珊瑚屬 3.8 等；海葵缸沒有珊瑚而以海葵為主；石珊瑚缸硬珊瑚 26.4%、軟珊瑚 2.8%，其中盤珊瑚屬 8.4%、表孔珊瑚屬 7.7%、微孔珊瑚科 3.1%、繩紋珊瑚科 2.8%、辦葉珊瑚屬 2.5%、真葉珊瑚屬 1.9% 等；後場軟珊瑚缸硬珊瑚 4.2%、軟珊瑚 32.6%，其中肉質軟珊瑚屬 22.6%、穗珊瑚科 8.2%、真葉珊瑚屬 4.2%、指形軟珊瑚屬 1. 8%等(圖 41、42)。整體而言，珊瑚覆蓋率為 29.9–36.8%，而大型藻和毛叢藻皆很少(<2%)，因此維持以珊瑚為優勢的健康狀態。

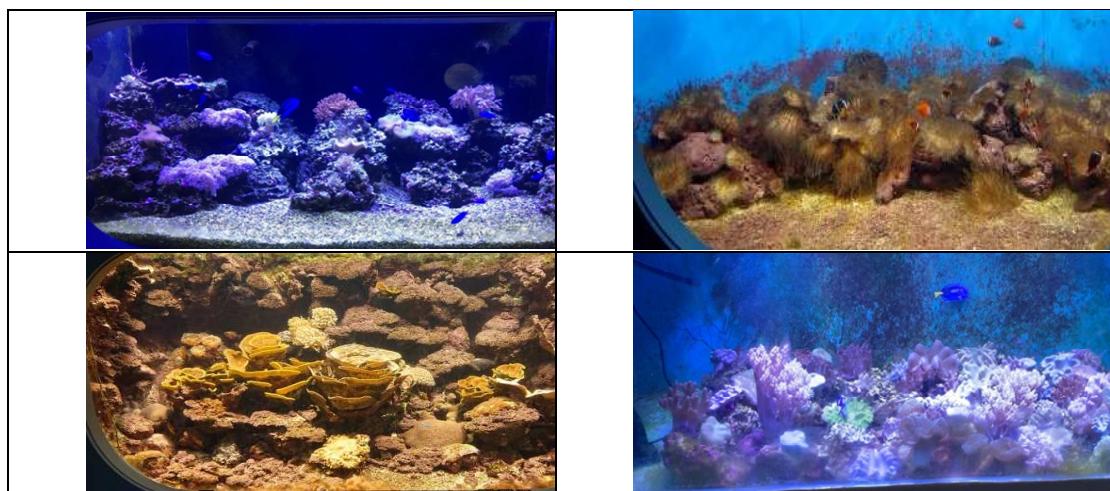
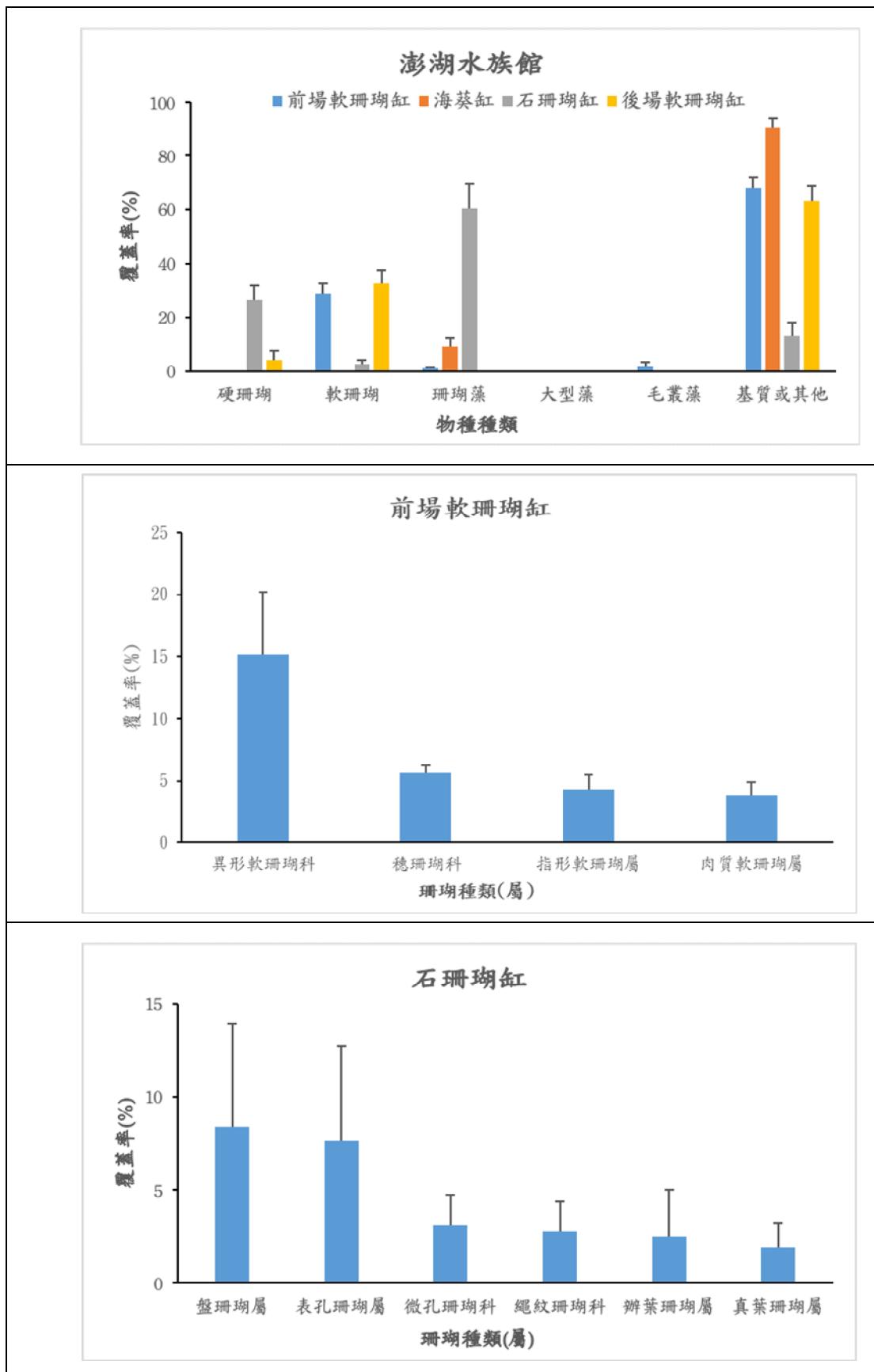


圖 41、澎湖水族館前場軟珊瑚缸、海葵缸、石珊瑚缸、後場軟珊瑚缸外觀照。



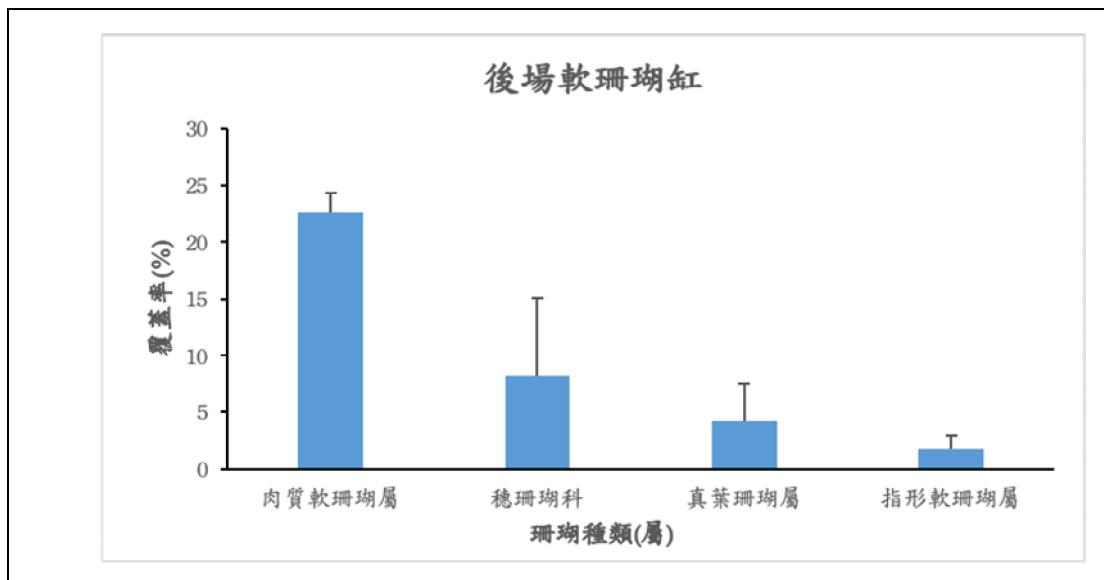


圖 42、澎湖水族館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

北部海科館的硬珊瑚 18.3%、軟珊瑚 10.2%、珊瑚藻 13.3%、大型藻 1.7%、毛叢藻 17.3%、基質或其他 39.2%；其中皮軟珊瑚屬 8.0%、盤珊瑚屬 4.6%、表覆形硬珊瑚 4.0%、表孔珊瑚屬 3.9%、繩紋珊瑚科 2.2%、指形軟珊瑚屬 2.1%、鹿角珊瑚屬 0.8%、雙星珊瑚屬 0.7%、真葉珊瑚屬 0.5%、棘星珊瑚屬 0.5%、蕈珊瑚科 0.4%、棘葉珊瑚屬 0.3%、微孔珊瑚科 0.1%、棘杯珊瑚屬 0.1%、肉質軟珊瑚屬 0.1%、瓣葉珊瑚屬 0.04%、葉軟珊瑚屬 0.02%、氣泡珊瑚屬 0.01%，以表孔珊瑚、盤珊瑚、表覆形硬珊瑚、皮軟珊瑚為最多數(圖 43、44)。

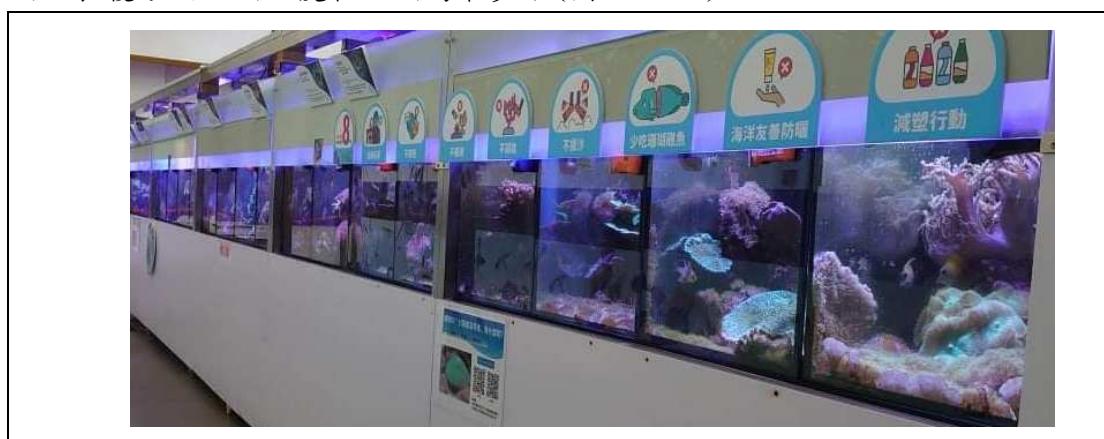


圖 43、海科館珊瑚缸外觀照。

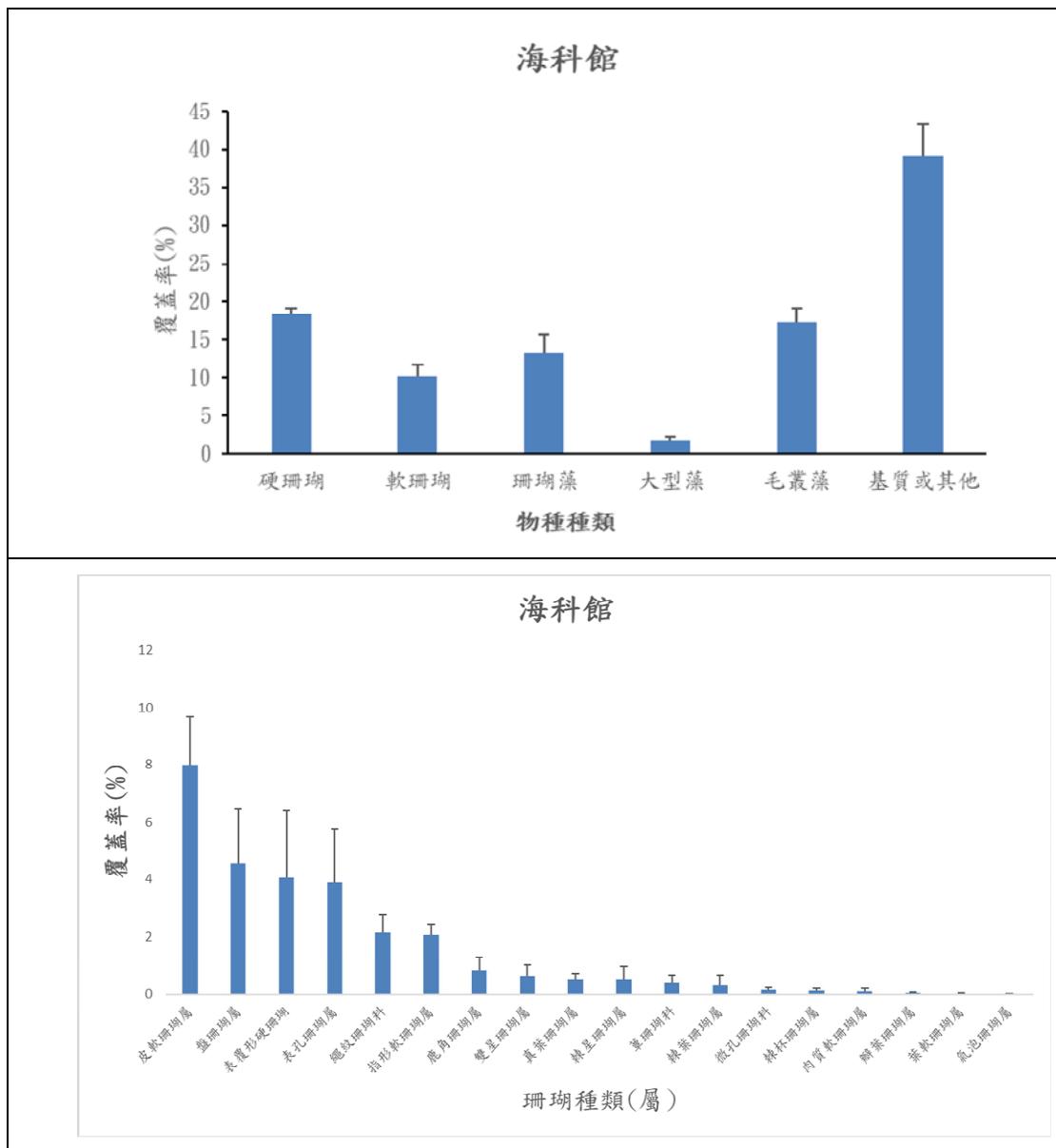


圖 44、海科館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

花蓮遠雄珊瑚蟲缸(圖 44)硬珊瑚 3.9%、軟珊瑚 0%、珊瑚藻 20.1%、大型藻 0%、毛叢藻 0%、基質或其他 76.1%，其中盤珊瑚屬佔最大為 2.6%、表覆形硬珊瑚 1.3%，以及萬種風情缸(圖 44)硬珊瑚 6.9%、軟珊瑚 11.0%、珊瑚藻 60.0%、大型藻 0%、毛叢藻 5.9%、基質或其他 16.2%，其中指形軟珊瑚屬 10.8%、微孔珊瑚科 4.1%、繩紋珊瑚科 1.0%、表孔珊瑚屬 0.9%、真葉珊瑚屬 0.7%、肉質軟珊瑚屬 0.2%、雀屏珊瑚屬 0.2%(圖 46)。

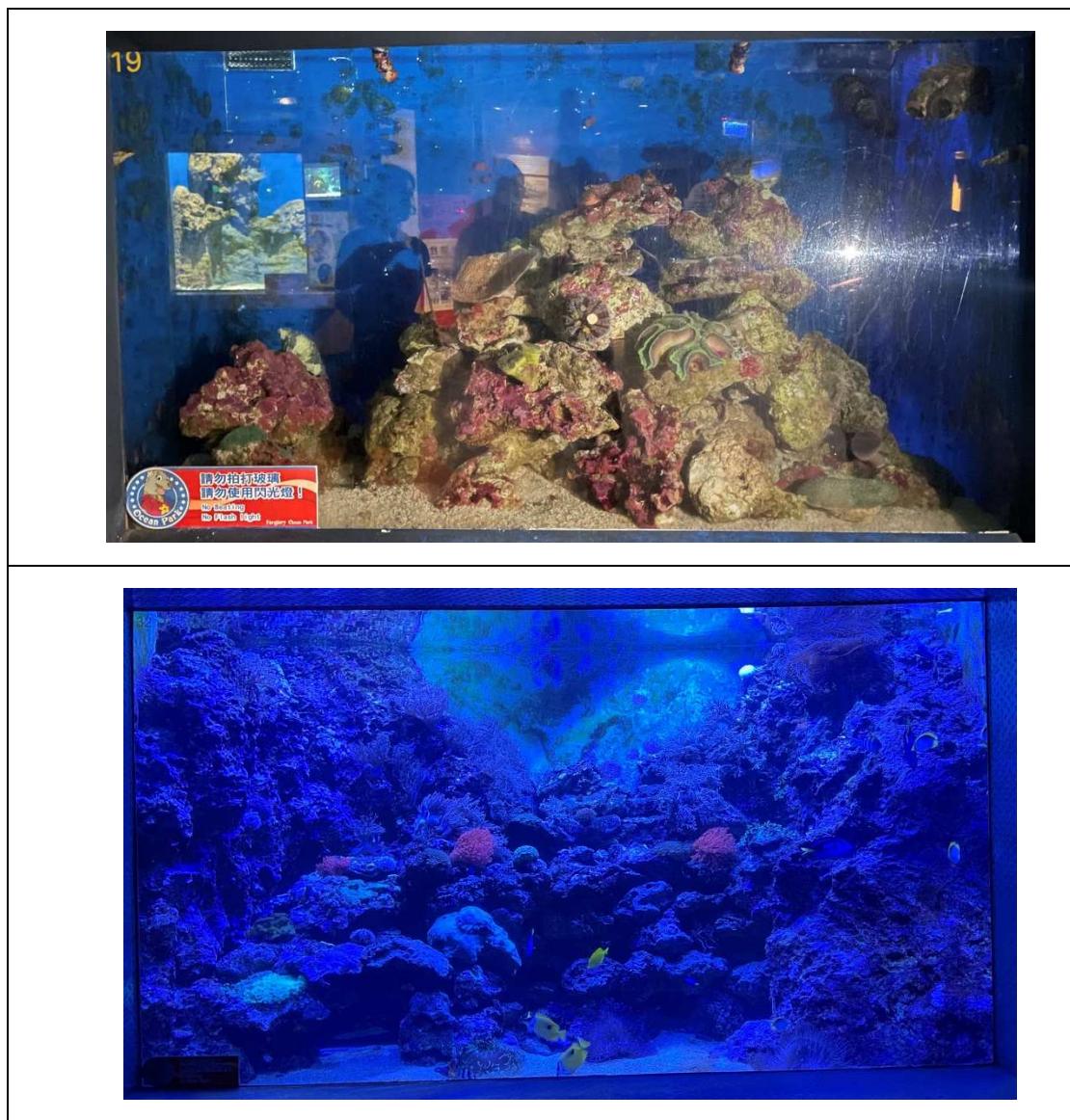
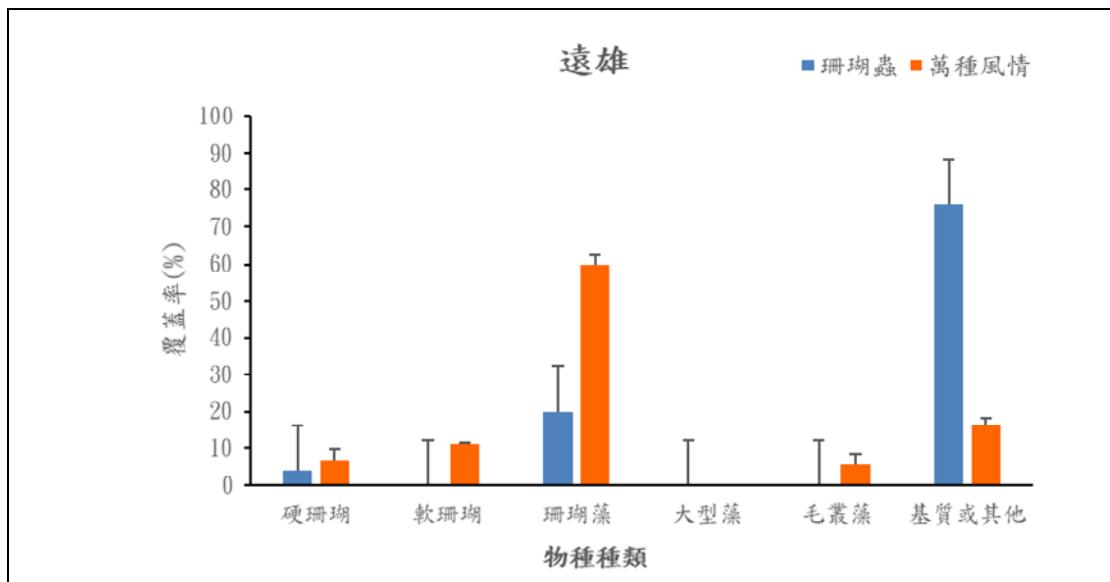


圖 45、花蓮遠雄海洋公園珊瑚蟲缸、萬種風情缸。



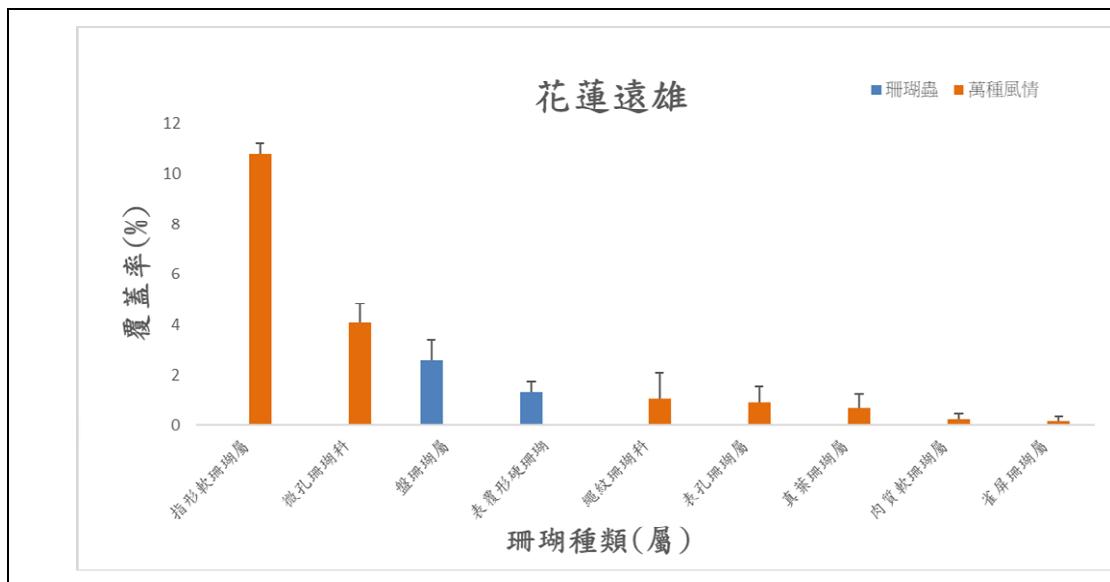


圖 46、花蓮遠雄珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

Xpark 水族館(圖 46)硬珊瑚 2.2%、軟珊瑚 6.5%、珊瑚藻 34.2%、大型藻 1.3%、毛叢藻 11.3%、基質或其他 44.3%，其中肉質軟珊瑚屬 2.9%、指形軟珊瑚屬 2.4%、穗珊瑚科 1.0%、表覆形硬珊瑚 0.5%、管星珊瑚屬 0.4%、蕈珊瑚科 0.3%、鹿角珊瑚屬 0.2%、真葉珊瑚屬 0.2%、微孔珊瑚科 0.2%、表孔珊瑚屬 0.1%、皮軟珊瑚屬 0.1%、棘星珊瑚屬 0.1%、其他硬珊瑚 0.1%、其他軟珊瑚 0.1%、瓣葉珊瑚屬 0.1%、繩紋珊瑚科 0.1%、葉軟珊瑚屬 0.05%、雀屏珊瑚屬 0.03%(圖 48)。

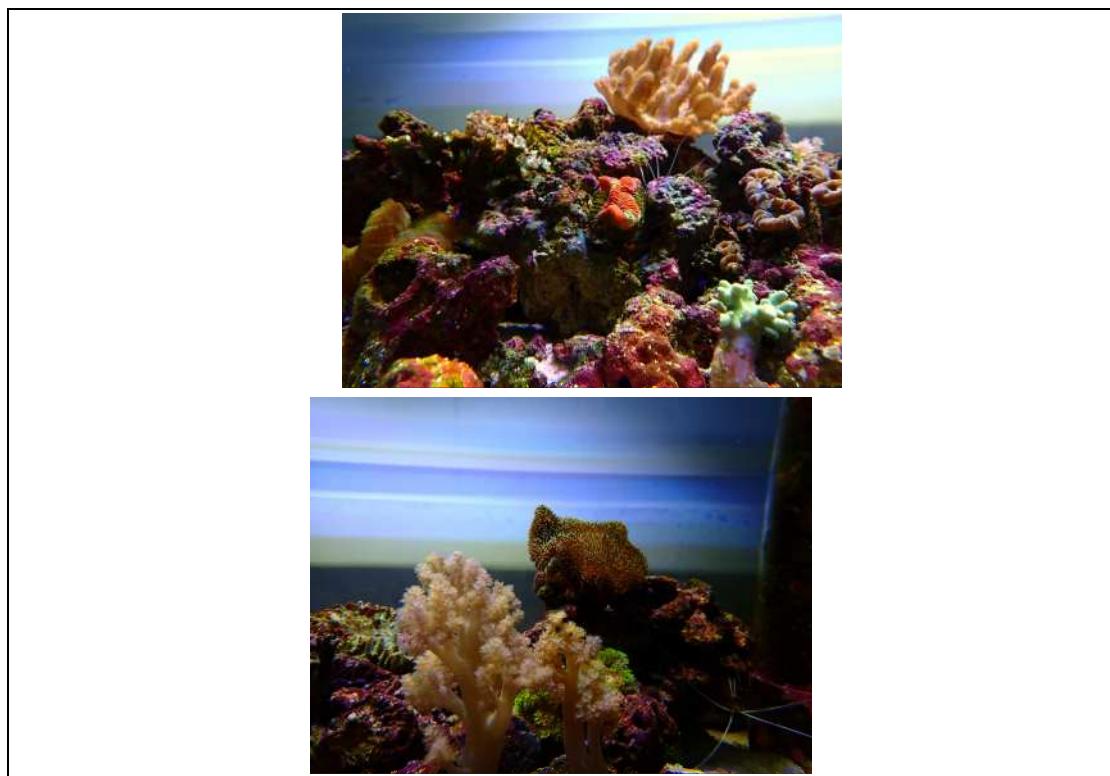


圖 47、Xpark 水族館珊瑚缸。

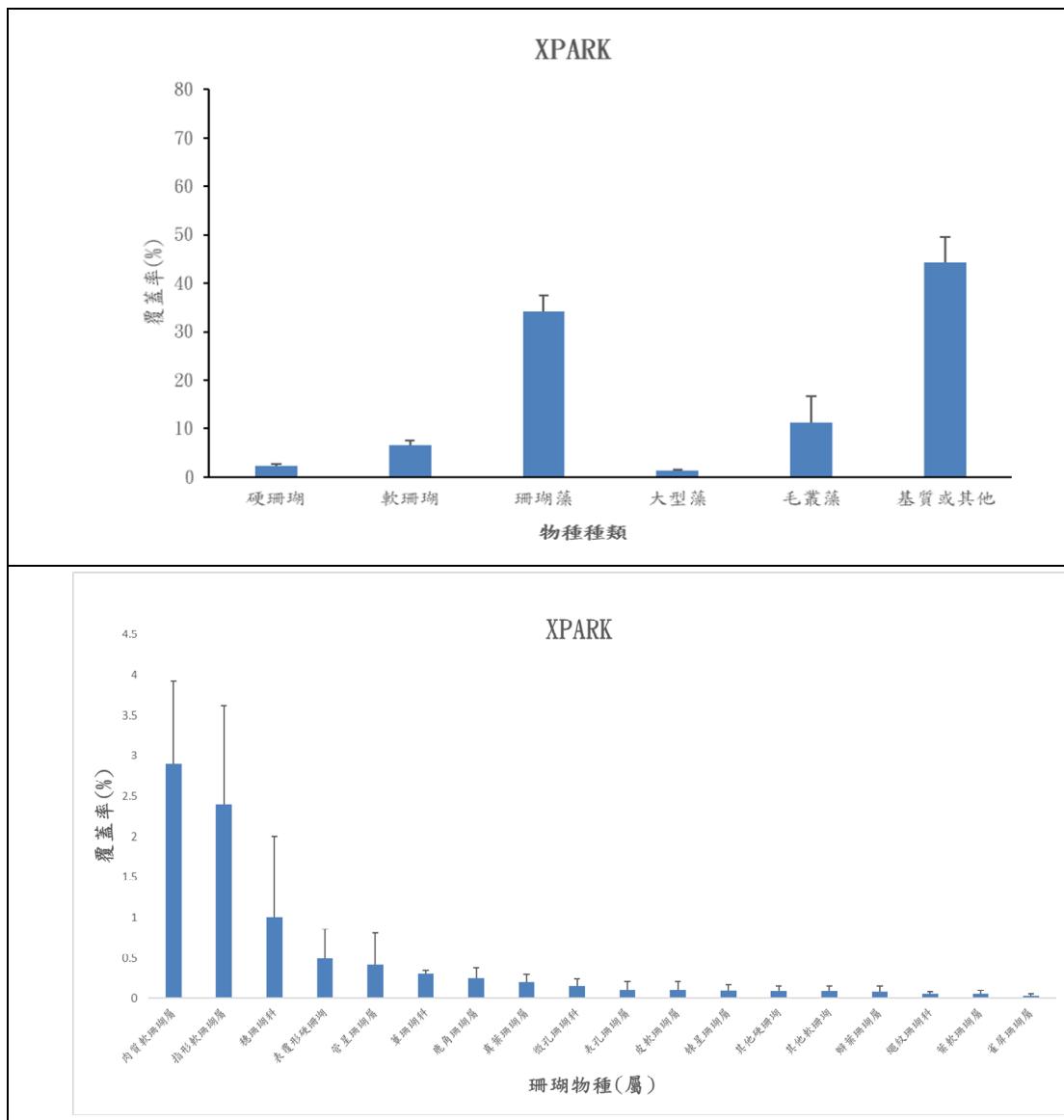


圖 48、Xpark 水族館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

小琉球海洋館(圖 48)硬珊瑚 7.6%、軟珊瑚 14.0%、珊瑚藻 5.3%、大型藻 0.3%、毛叢藻 17.9%、基質或其他 55.0%，其中指形軟珊瑚屬 9.7%、泡紋珊瑚屬 4.2%、肉質軟珊瑚屬 2.3%、鞭珊瑚科 1.4%、瓣葉珊瑚屬 0.9%、表孔珊瑚屬 0.7%、管星珊瑚屬 0.6%、表覆形硬珊瑚 0.5%、八放珊瑚屬 0.4%、真葉珊瑚屬 0.2%、盤珊瑚屬 0.1%、其他軟珊瑚 0.1%、微孔珊瑚科 0.1%、棘杯珊瑚屬 0.1%(圖 49)。

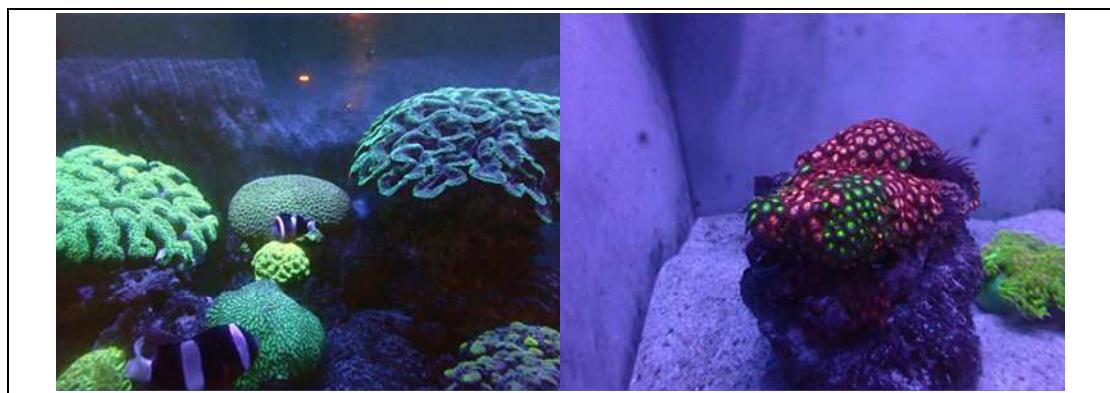


圖 49、小琉球海洋館缸體內部照片。

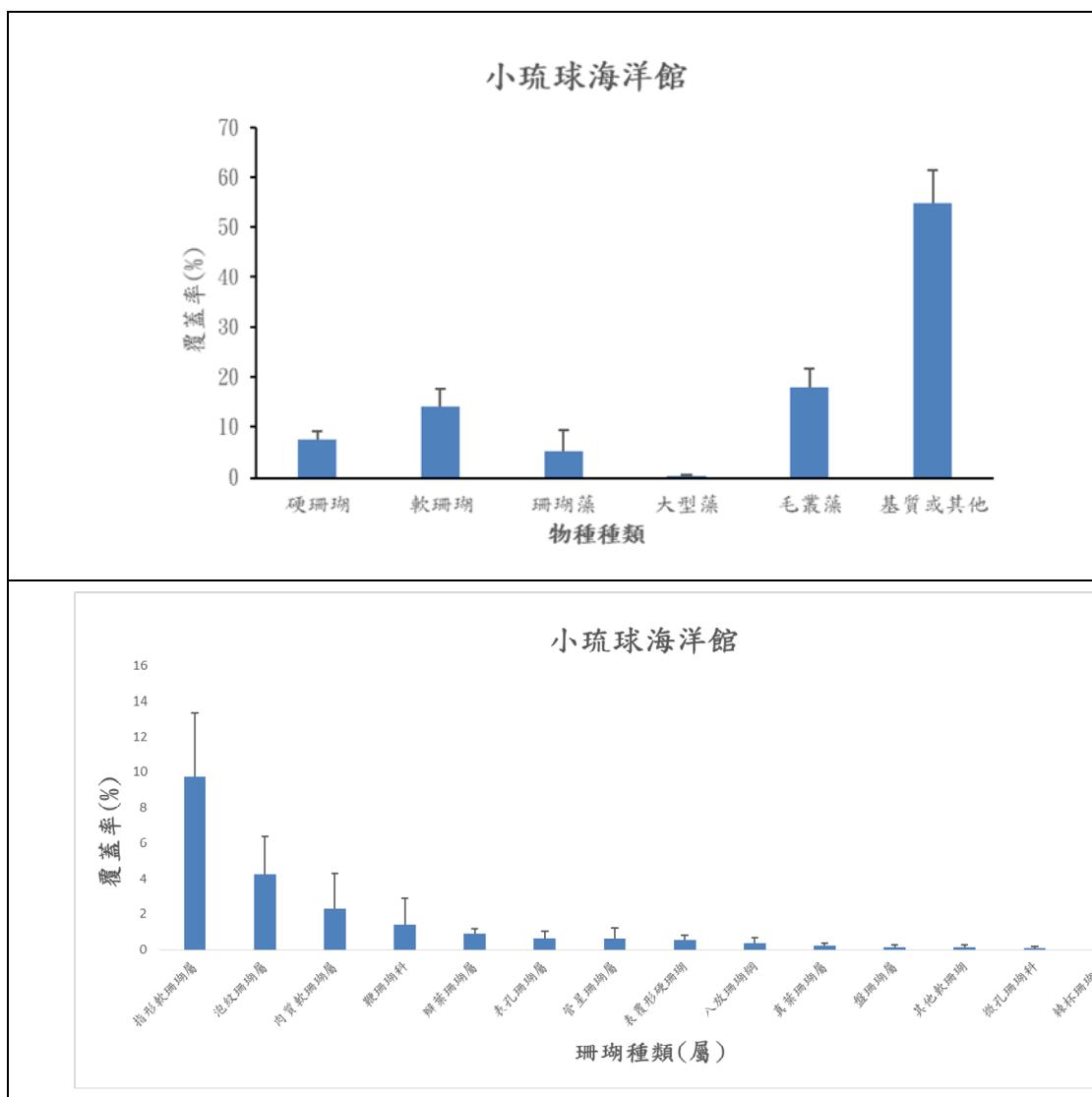


圖 50、小琉球海洋館珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

高雄市中山高中珊瑚缸(圖 51)硬珊瑚 17.7%、軟珊瑚 4.1%、珊瑚藻 12.5%、大型藻 0.1%、毛叢藻 11.7%、基質或其他 53.9%，其中棘星珊瑚屬 4.9%、鹿角珊瑚屬 4.5%、表覆形硬珊瑚 1.9%、表孔珊瑚屬 1.7%、皮軟珊瑚屬 1.6%、指形軟珊瑚屬 1.3%、真葉珊瑚屬 1.2%、肉質軟珊瑚屬 1.2%、繩紋珊瑚科 1.0%、瓣葉珊瑚屬 1.0%、盤珊瑚屬 0.5%、蕈珊瑚科 0.3%、軸孔珊瑚屬 0.3%、棘葉珊瑚屬 0.3%、微孔珊瑚科 0.1%、棘杯珊瑚屬 0.1%、泡紋珊瑚屬 0.1%(圖 52)。

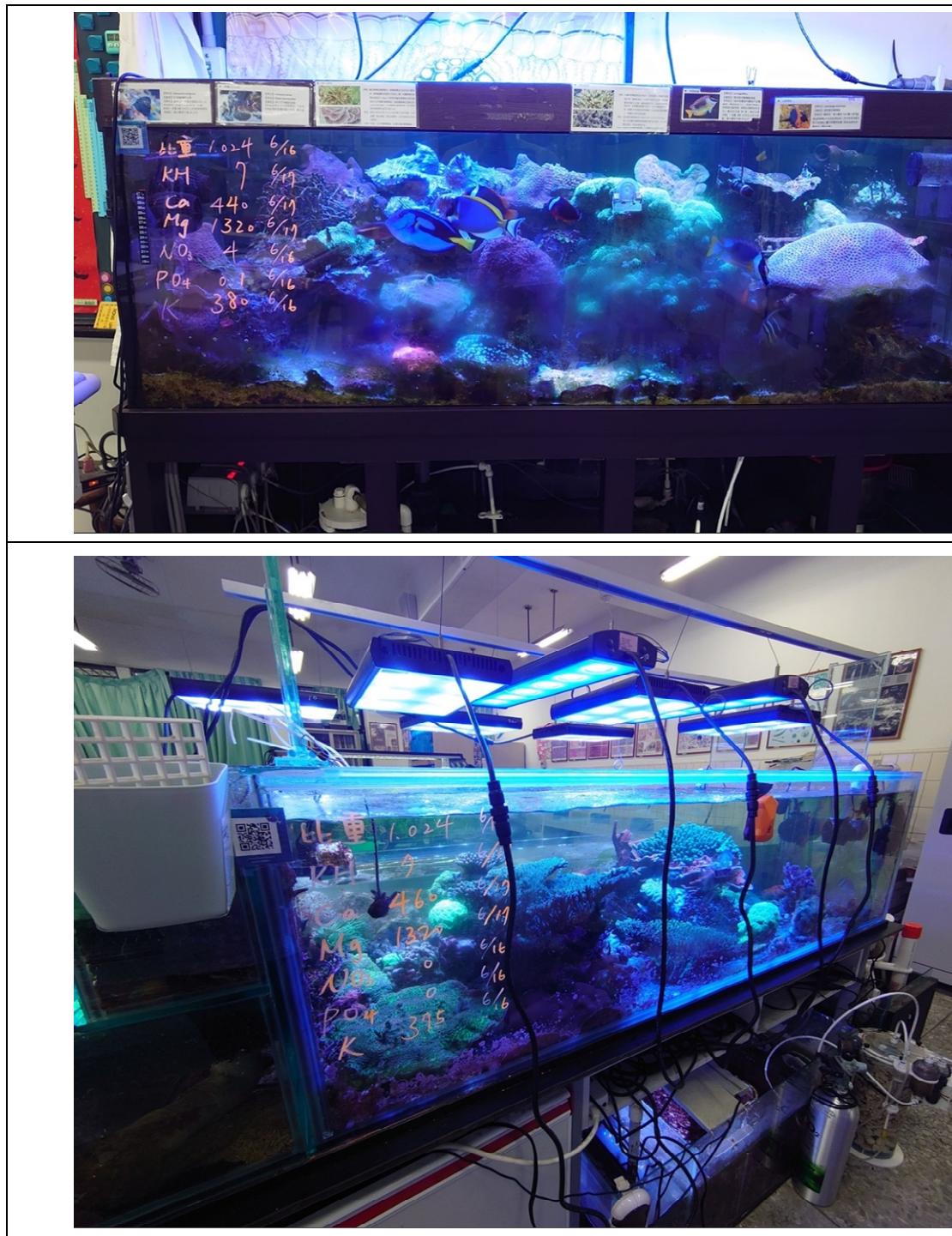


圖 51、中山高中珊瑚缸。

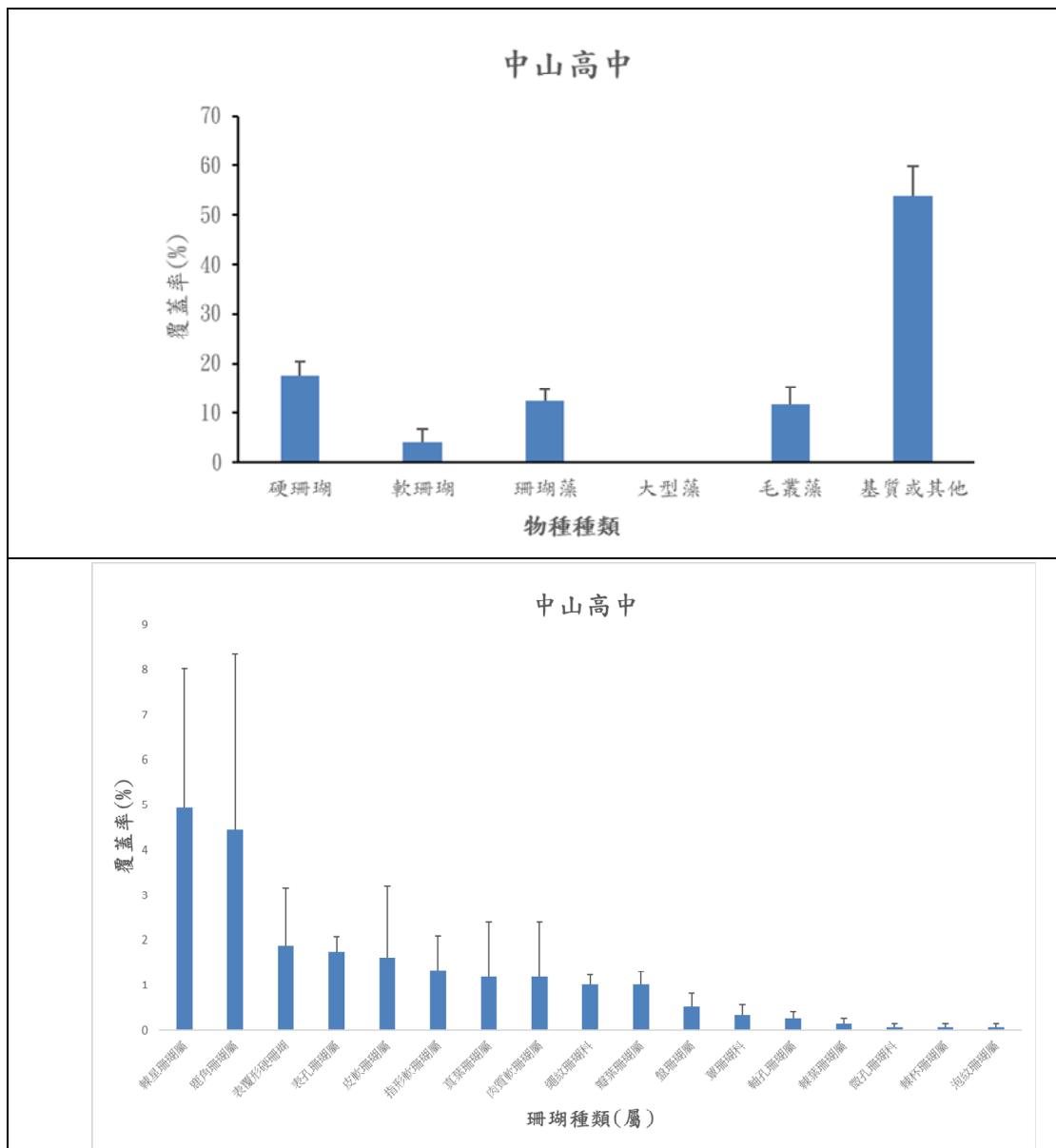


圖 52、中山高中珊瑚缸底棲群聚結構與主要珊瑚組成。

### 三、珊瑚數位影像分析方法的建立

影像數目方面，目前在各地點累積相片張數如下：

1. 野外珊瑚的預期目標是累積至少 6480 張(90 張/30 公尺]乘 3 測線乘 2 深度乘 12 地點)影像。

- 小琉球 2094 張
- 澎湖 2152 張
- 墾丁 3846 張
- 東部 3526 張
- 北部 4883 張

-----累計共 16501 張。

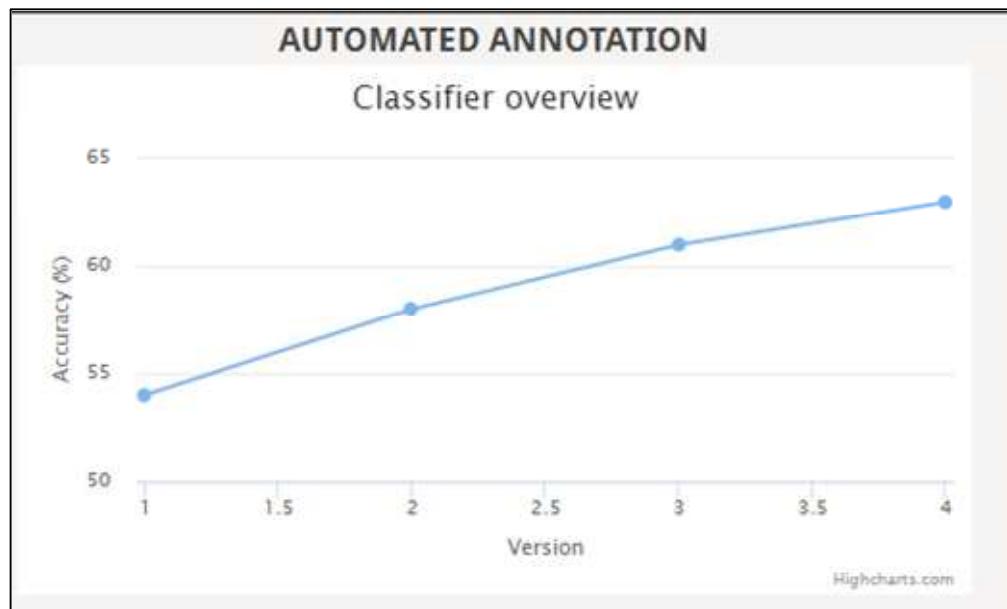
2. 水族館與養殖場珊瑚的預期目標是累積至少 2000 張影像(平均 500 張乘 4 個水族館)。

- 海生館 312 張
- 水族實驗中心 741 張
- 澎湖水族館 72 張
- 小琉球海洋館 40 張
- 中山高中珊瑚缸 30 張
- Xpark 水族館 80 張
- 海科館 215 張
- 貢寮珊瑚實驗缸 37 張
- 貢寮海洋資源復育園區 477 張
- 花蓮遠雄水族館 39 張

-----累計共 2043 張。

珊瑚網(CoralNet)自動分析的正確率在野外珊瑚是 63%，水族館與養殖場珊瑚是 66% (圖 53)。

( A ) 野外珊瑚 63%。



( B ) 水族館與養殖場珊瑚 66%。

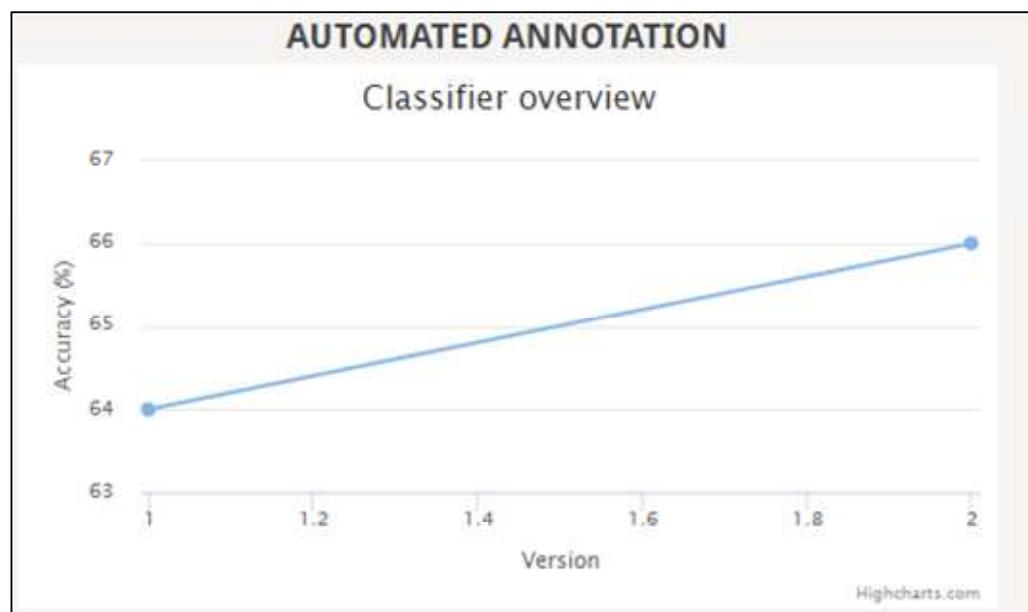


圖 53、珊瑚網自動分析的正確率。

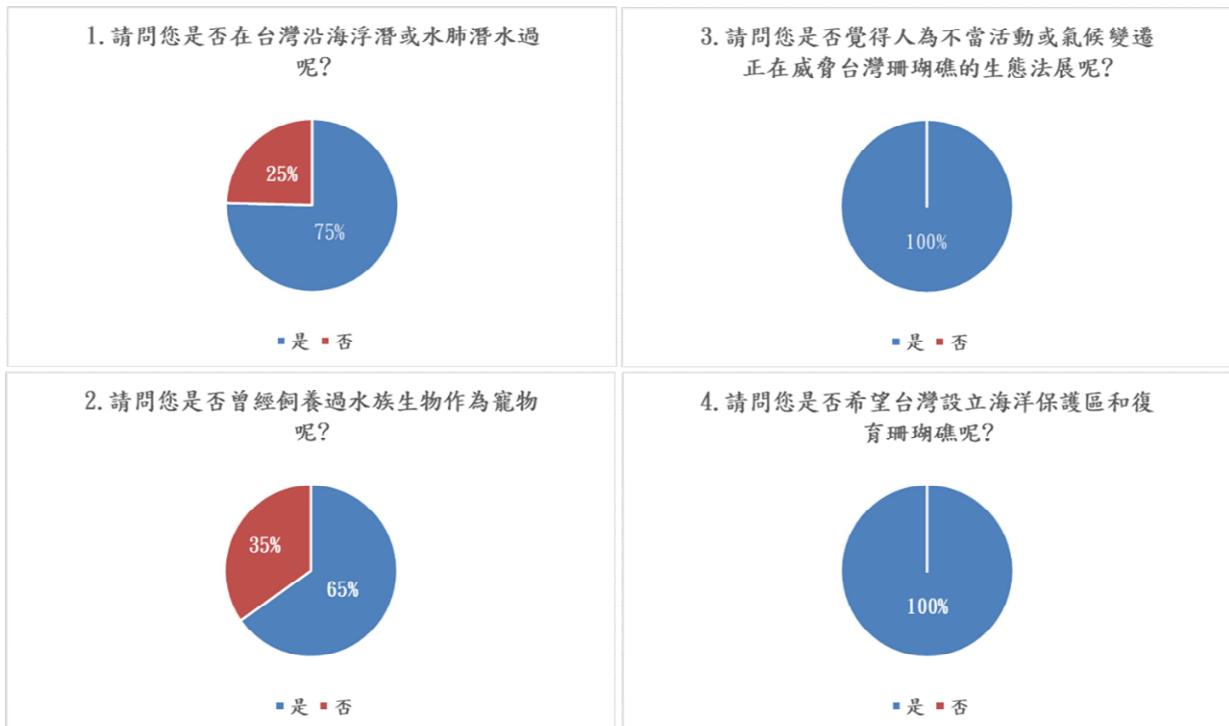
## 四、珊瑚數位照相調查與監測點建立與調查方式推廣

原先預期在各地完成 5 場工作坊和預估至少 60 人完成教育訓練，目前皆已完成 5 場工作坊以及 73 人完成教育訓練，並製作臺灣珊瑚監測方法與數位影像分析標準化操作手冊，詳如附錄。活動行程包括珊瑚保育簡介，珊瑚數位照相調查與珊瑚網使用，珊瑚網實作練習，心得分享、意見調查與綜合討論等。

表 4、工作坊場次時間紀錄

場次	時間	地點
小琉球工作坊	110/03/31(星期三)上午	琉球管理站暨遊客中心
澎湖工作坊	110/05/03(星期一)上午	澎湖縣政府 農漁局水產種苗繁殖場
墾丁工作坊	110/09/11(星期六)上午	墾丁國家公園管理處 生態研習中心
臺東工作坊	110/09/23(星期四)下午	都歷遊客中心月光劇場
基隆工作坊	110/09/25(星期六)下午	國立海洋科技博物館

### (一)基本問卷調查統計



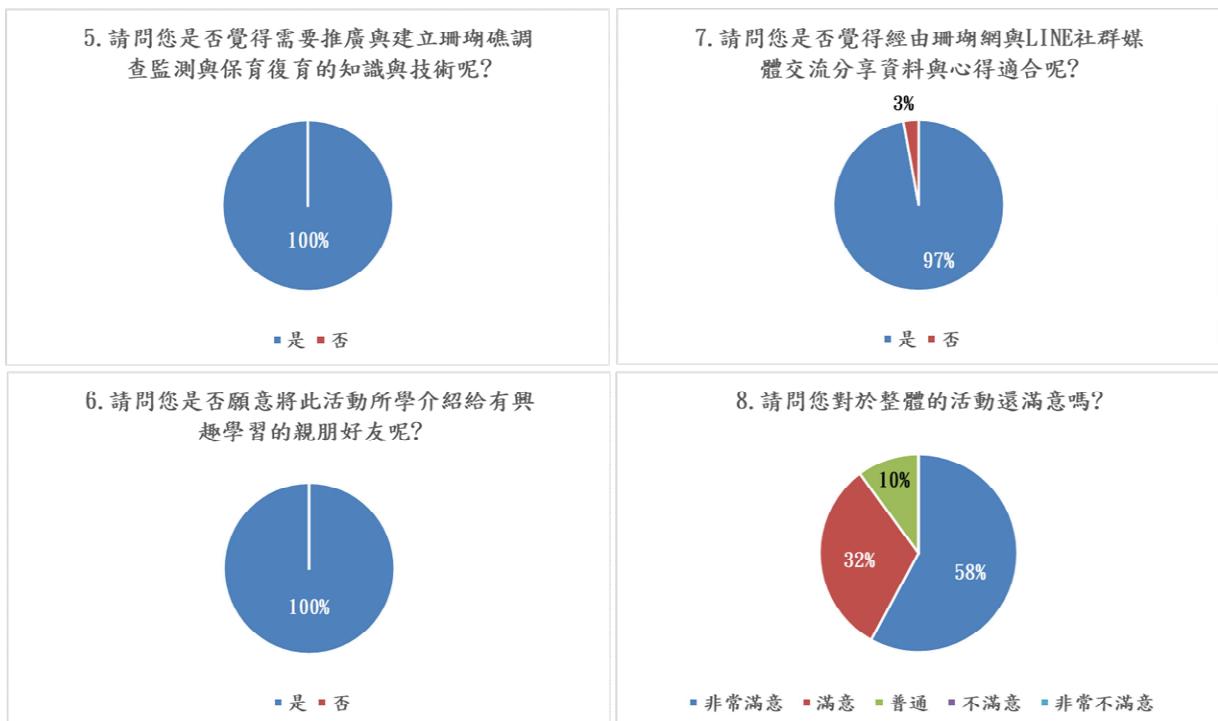


圖 54、基本問卷調查統計。

## (二)各工作坊問卷調查結果及活動合影

針對工作坊的辦理，幾場次的來賓間有些許意見回復，統整如下：

### 1. 小琉球場工作坊：

民眾多半以正面方向回饋。希望可以跨大活動規模，也感謝舉辦此類工作坊，有民眾提出珊瑚網(CoralNet)普及化可以讓民眾有參與感，有參與感則會帶動保育意識，更加期待 CoralNet 的隨手拍可以更方便操作，讓一般民眾可以幫忙資訊分享，一致同意保育珊瑚方面是需要大家共同努力。其餘針對工作坊講師意見方面，建議可多分享實際操作經驗，及監測過程中常遇見的問題。

### 2. 澎湖場工作坊：

確切的認識到海底生態是需要大家共同努力去維護，也感謝團隊提供學習有關海洋知識的機會，期待後續能有實作的參與。也期望下次能從水下課程、拍照設定、資料上傳整個步驟細節完整提供學習。來賓更提出是否能夠以區域性的方式，在澎湖組一個線上群組，讓各公私單位了解目前現況，並且為這件急迫需要改變的事情努力。有項回應表示日前知道活動的人數稀少，建議可以從不同管道推廣，例如一些政府機關或學校，以及可以與當地的潛水業者合作意或普及性教育大眾。

### 3. 基隆場工作坊：

因此場工作坊人數較為眾多，參與活動的來賓皆鼓勵工作坊活動持續，認為非常有趣可以多加推廣辦理，對於講師方面回饋正面積極，講解內容方式活潑可愛，對於助教專業度也讚賞有佳，更敬邀講師與助教於北部潛水同樂。其餘批評指教方面，提出書面資料最終之匯出是否能開發自動轉成圖表之方式，如此一來可縮短時間以及人力，更建議參與活動能夠從頭學習，希望與團隊下水共同實作潛水，然後續資料分析中的辨識標籤部分，有兩標籤為 CCA、硬基質二者的定義，以及對一般大眾的判別提示不夠清楚，誠心能夠改善。

以上為統整意見回應，團隊謙虛接受指教，感謝出席民眾詳細且用心之參與，以及對團隊提出需要改進事項。



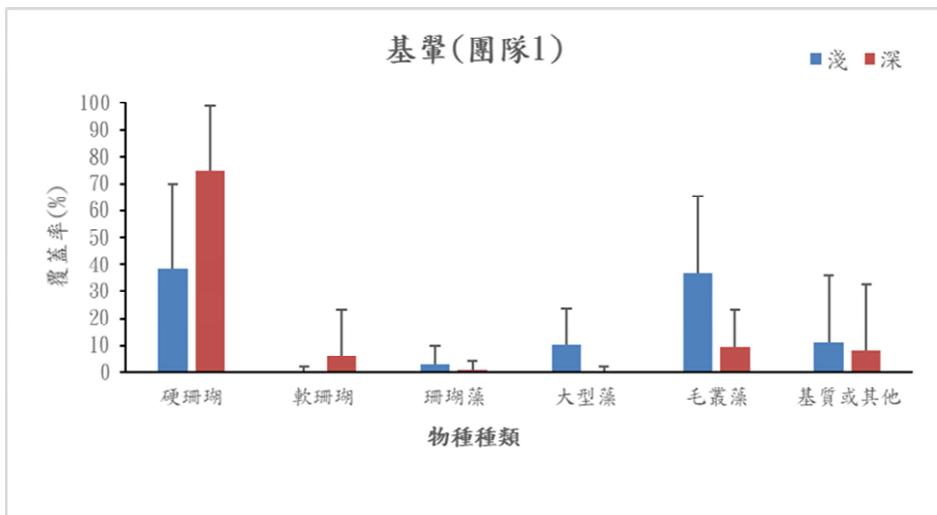
## 5. 基隆



圖 55、各工作坊場次活動合影。

### (三) 舉辦工作坊之公民科學家練習成果

本計畫共舉辦工作坊五場，參加人員共 73 人，培訓的潛水公民科學家 20 人，潛水公民科學家培訓工作包含行前工作內容講解、下水後進行 1 條 10 m 測線佈放、底棲群聚照相調查、上岸後調查過程檢討與後續資料分析工作，本團隊也創立 Line 群組協助成員對相關問題解惑，經團隊協助共有 2 組團隊完成後續資料分析(圖 58)。



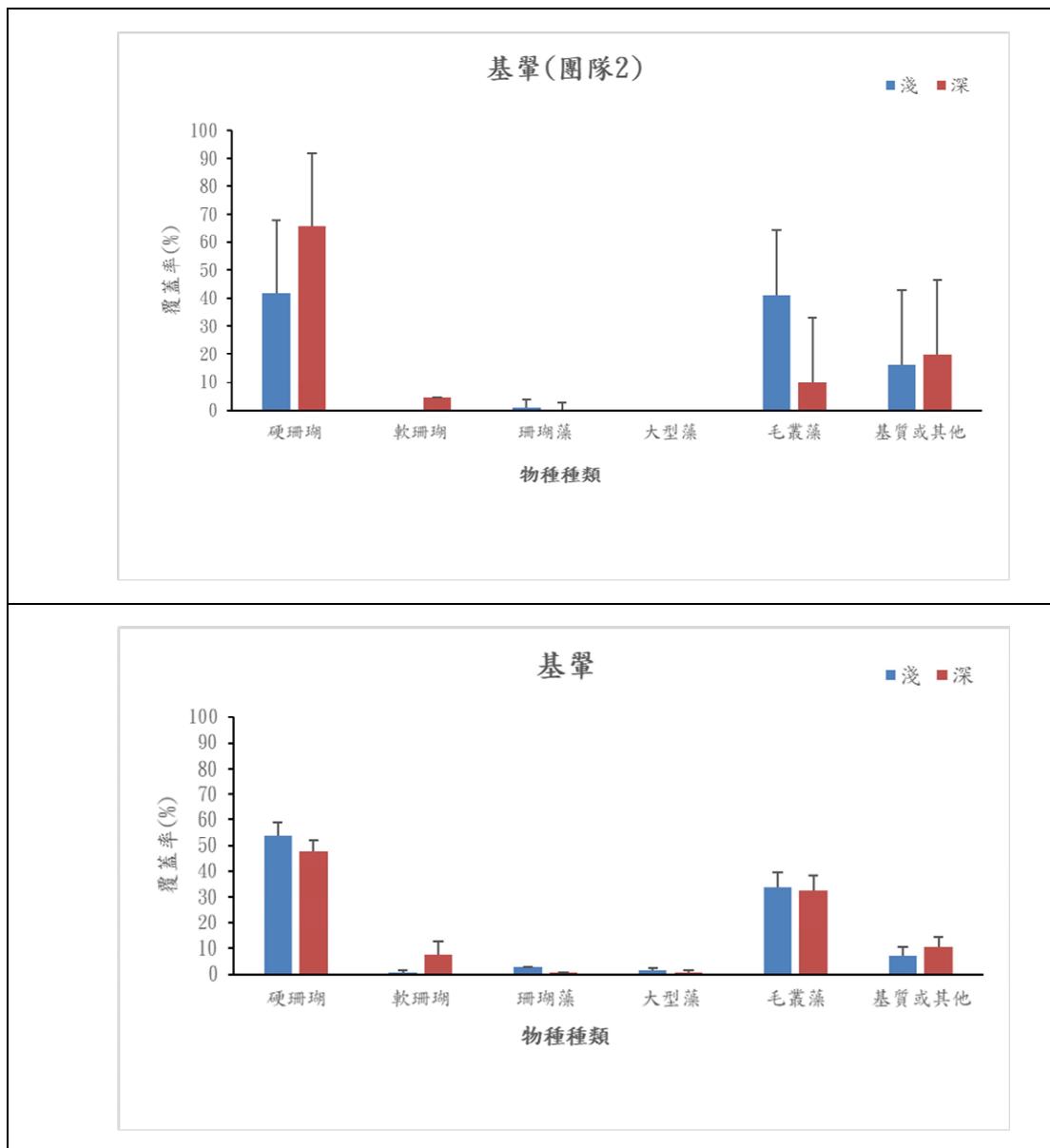


圖 56、CoralNet 圖表分析基翹漁港，分析者為團隊 1、團隊 2、與本團隊。

兩團隊分析趨勢大致一致，但數值有些許差異，基翹漁港珊瑚覆蓋率 3 米深珊瑚覆蓋率兩團隊分析結果分別為 38 與 42%，5 米深結果分別為 64 與 74%，造成分析結果數值差異且與本團隊(圖 58)分析結果有所出入主因有二：

1. 潛水員進行底棲群聚調查時必須沿測線輕觸珊瑚礁「連續」拍攝，但對初次進行底棲調查的潛水員來說頗具挑戰性，因其過程中必須控制身體保持良好的中性浮力，此外初次進行調查的潛水員容易依照本身的注意力密集拍攝珊瑚覆蓋率較高區域，因此容易造成高估該區珊瑚覆蓋率的情形發生。
2. 潛水培訓以練習為目的，因此僅佈放 1 條 10m 測線，誤差較大，而本團隊標準調查方法為佈放 3 條 30m 測線，因取樣範圍廣且進行調查的皆為專業潛水員，因此較能準確呈現該區珊瑚礁現況，從此次培訓潛水公民

科學家經驗來看，培訓需要多進行數次培訓過程才較能使公民科學家累積經驗，提升調查品質。

## 五、研擬臺灣珊瑚保育計畫

目前已完成實地潛水調查與當地潛水人員共同討論水下作業，並將珊瑚調查與監測影像在珊瑚網彙整儲存、標準化分析與整理資料圖表，使資訊掌握有良好科學基礎。也經由成立目前成員 96 人名稱為 CoralNet 練功團的 LINE 群組，陸續辦理 5 場工作坊，以促進交流網絡的建立與強化人員互動，並綜合本研究團隊和參與相關活動人員的意見與建議，彙整各地區珊瑚特色，以研擬臺灣珊瑚保育計畫，內容如附錄一。

# 第四章 討論

經由此計畫調查後，在臺灣各地珊瑚的多樣性與數量的豐富度呈現高度變化，但有的區域的珊瑚覆蓋率卻明顯下降當中，例如小琉球因人為的污染、恆春半島 2016–2017 年珊瑚大白化事件、澎湖受到人類活動強烈影響、污水徑流、極端低水溫事件等，研擬進行因地制宜的規劃積極發展，設立海洋保護區結合珊瑚庇護所，發展珊瑚園藝推動珊瑚復育計畫，以促進未來發展珊瑚新興產業等，以下內容就上述各點進行討論。

### 一、珊瑚物種多樣性

臺灣海域目前已記錄到的石珊瑚有 558 種(戴與鄭, 2020)，墾丁國家公園海域的八放珊瑚有 223 種(戴與秦, 2019)，並呈現明顯的緯度與地理差異。造礁珊瑚的物種豐富度會隨著緯度升高而減少，在南部恆春半島、綠島、蘭嶼、小琉球、東沙及南沙太平島海域約有 300 種以上；在接近北迴歸線的澎湖群島和花蓮、臺東約有 200 種；在北臺灣則只有 100 種左右。有珊瑚分布的區域都有豐富的海洋生態資源，也是優良的觀光遊憩資源，因此幾乎都已劃設為國家公園或國家風景區，在南部有墾丁國家公園、東沙環礁國家公園、大鵬灣國家風景區；在中部有澎湖南方四島國家公園、澎湖國家風景區、東部海岸國家風景區；在北部有東北角暨宜蘭海岸國家風景區、北海岸及觀音山國家風景區等，因而具有不同程度珊瑚資源的調查、研究、管理和保護(戴與鄭, 2020)。

### 二、珊瑚覆蓋率

珊瑚覆蓋率在不同地區和地點呈現相當大的差異，以 2020 年珊瑚礁體檢成

果報告的結果來看(表 3)，珊瑚覆蓋率在基隆潮境保護區約 40%，番仔澳約 20%，鼻頭公園約 30%，龍洞四號約 10-40%；花蓮石梯坪約 50%，臺東杉原中礁約 30%，基翹船澳約 40-50%；綠島大白沙、石朗和龜灣等 3 處約 50-70%，蘭嶼玉女岩、母雞岩和南獅(雙獅岩)等 3 處約 40-70%；墾丁合界和後壁湖花園軟珊瑚區等 2 處 9 月約 40-70%，合界 55%珊瑚白化，後壁湖花園軟珊瑚區 5 米 58%珊瑚白化，10 米 15%珊瑚白化，合界 11 月約 40%；小琉球美人洞、漁埕尾和厚石裙礁等 3 處約 0-30%，美人洞 5 米及 10 米處分別有 23% 及 17% 的硬珊瑚白化，漁埕尾 10 米處有 43% 的軟珊瑚白化；澎湖本島的杭灣和山水港東測約 30%；東嶼坪東側、東嶼坪西側及西嶼坪南側約 60-70%。2021 年珊瑚礁體檢成果報告綠島大白沙、石朗和龜灣等 3 處約 60%；合界約 40-50%；澎湖本島的杭灣和山水港東測約 30-40%；東嶼坪東側、東嶼坪西側及西嶼坪南側約 50-80% (表 3)。

依據臺電公司調查報告於 2020 年在 4、9 和 12 月，監測墾丁國家公園海域的 4 個淺海地點(3 公尺)，包括合界、後壁湖、核三廠的出水口與進水口內，以及 1 個深海地點(7 公尺，進水口外)，珊瑚礁底棲群聚結構、珊瑚白化和死亡率的時空變化。深海地點珊瑚(包括石珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚和水螅珊瑚)覆蓋率在白化前後皆約為 50%，珊瑚白化率低於 10%，顯示珊瑚礁健康，因水溫未異常暖化而影響小。4 個淺海地點珊瑚覆蓋率在白化前皆約 50-60%，顯示珊瑚礁健康，但是珊瑚白化率為約 60-90%，白化後皆劇烈下降為約 20-30%，呈現明顯衰退和相變為以藻類(包括大型藻和毛叢藻)為優勢，原因主要是水溫劇烈異常暖化(樊等 2021a)。在珊瑚白化事件之前、中、後的監測結果顯示，墾丁珊瑚的死亡率高達 4-7 成，2020 年底在合界、後壁湖和出水口的珊瑚覆蓋率降為 20-30%，並且珊瑚數量最多的優勢種類也劇烈改變，在合界是表孔珊瑚被鹿角珊瑚取代，在後壁湖是由列孔珊瑚被千孔珊瑚取代。

屏縣府海漁所於 2020 年調查小琉球 7 個浮潛熱門地點，包括花瓶岩、美人洞、杉福港外南側、蛤板灣、厚石裙礁、大福西港外和龍蝦洞，比較浮潛活動密集區與鄰近非浮潛活動密集區的底棲群聚結構，硬珊瑚覆蓋率在浮潛活動密集區為約 0-10%，皆顯著低於鄰近非浮潛活動密集區為約 10-30%，顯示浮潛活動的踩踏對珊瑚礁有明顯不利的影響，建議應提升導潛管理與嚴格限制浮潛活動的範圍，維持現狀促進社會經濟與生態保育的平衡發展(張等 2020)。

過去常依珊瑚覆蓋率分為  $>50\%$  為優質、 $25-50\%$  為尚可、 $<25\%$  為劣質。由於珊瑚數量可能因颱風、大白化事件、污染、或遊憩活動而快速減少，並被藻類取代，建議再加上以珊瑚相對大型藻和毛叢藻數量的比例較高，維持以珊瑚為優勢、或是比例相近維持穩定、或是較低而衰退和相變以藻類為優勢，作為較詳細和完整評估珊瑚礁或珊瑚群聚健康狀況的依據；此外，國外的研究結果顯示 10% 的硬珊瑚覆蓋率是珊瑚礁碳酸鈣生產的最低閾值(Darling et al. 2019)，因此，建議將低於 10% 珊瑚覆蓋率的礁區列為已失去珊瑚礁特有和關鍵的結構與功能，縮寫為失能；整體而言，依珊瑚覆蓋率、珊瑚相對藻類數量的比例、是否保有珊瑚礁特有和關鍵的結構與功能，建議將珊瑚發展現況分為珊瑚覆蓋率  $<10\%$  且珊瑚/藻

類比例 $<0.1$ ：失能、珊瑚覆蓋率 10–30% 且珊瑚/藻類比例 $\leq 0.5$ ：衰退、珊瑚覆蓋率 30–50% 且珊瑚/藻類比例 $>0.5$ ：穩定、珊瑚覆蓋率 $>50%$ ：健康(表 2)。失能的礁區建議評估是否需要進行適當的復育。本計畫調查 31 個地點，每個地點 2 個深度，共 62 組珊瑚與藻類資料的結果顯示，有 7 組珊瑚群聚已失去結構與功能，22 組珊瑚群聚衰退，其餘為穩定或健康，主要威脅是人為的污染和破壞、海洋熱浪、颱風等。失能的地區，主要是小琉球，急需保育管理和評估復育的可行性與優先順序。

### 三、各區域目前現況

#### (一)小琉球

小琉球環島沿海的珊瑚覆蓋率則由 1970 代的 60–80%，劇烈減少至 2011–2014 年的 0–50%，接著主要是受 2014 年鳳凰颱風和 2016 年莫蘭蒂颱風嚴重破壞，至 2020 年僅剩 0–30%，沿海遊憩活動，如游泳、浮潛、獨木舟、立槳、水肺潛水、和自由潛水的熱門地點，包括花瓶岩、美人洞、杉福港外南側、蛤板灣、厚石裙礁、大福西港外與龍蝦洞等，珊瑚覆蓋率在遊憩活動密集區僅剩 0–10%，顯著低於鄰近非遊憩活動密集區的 10–30%，尤其是人數最多最熱門的花瓶岩、美人洞和杉福等潮間帶地區，因大量且密集的遊客踩踏而成為平坦荒蕪的礁體，幾乎完全失去珊瑚礁特有的立體複雜結構，也不再具有維持生物多樣性、吸引生態旅遊活動、與蘊育漁業資源的生態功能與價值(張等 2019, 2020)。國外的研究結果亦顯示 10% 的硬珊瑚覆蓋率是珊瑚礁碳酸鈣生產的最低閾值(Darling et al. 2019)，由於小琉球低於 10% 珊瑚覆蓋率的失能礁區相當多，建議必須進行適當的保育管理，然後評估是否需要復育，以及復育地點的可行性與優先順序。

2020 年夏季發生前所未有的海洋熱浪，並且沒有颱風大範圍攪動深海冷水來降溫，造成臺灣有記錄以來最嚴重且範圍最廣的珊瑚大白化事件，加上因新冠肺炎疫情引發國內報復性旅遊，大量且密集的遊客湧進小琉球而加重衝擊。小琉球的珊瑚覆蓋率則降至 0–20%，所有地點的珊瑚礁狀況都普遍呈現嚴重衰退，轉變為以藻類為優勢。不過 2021 年小琉球調查意外地發現，杉福漁港海堤外的消波塊和港內南側的珊瑚覆蓋率分別約 40 和 20%，高於其他天然珊瑚礁區，顯示這個人為工程改造過的珊瑚礁區對於熱緊迫有更高的抵抗力。在災難性事件之後，仍然能夠持續保有較高的珊瑚數量，以及具有重要生態維持功能，如造礁以及提供其他生物穩固和多樣棲所的分枝形軸孔珊瑚和鹿角珊瑚等工程師物種，因此可能成為未來耐受氣候變遷和人為干擾的珊瑚礁庇護所(樊等 2021a)。

由於目前珊瑚數量的劇烈減少，尤其是小琉球在 1970 年代珊瑚數量居全臺灣之冠，如今卻淪落為最低，並且已持續約 5 年未見好轉，而科學研究預測未來海洋熱浪的衝擊將更加頻繁與劇烈，同時還有強烈颱風的不定期威脅，並

且野外的珊瑚礁可能在未來的數十年面臨滅絕的風險，因此必須審慎地評估與規劃南臺灣珊瑚礁的保育策略，以及思考與討論是否需要經由人為努力來主動積極地復育受損礁區的珊瑚。

## (二)恆春半島

臺灣南部的珊瑚資源豐富，孕育高度的海洋生物多樣性，恆春半島的珊瑚更有長期的調查與研究資料。近期結果顯示恆春半島合界的珊瑚覆蓋率從2010至2020年間升高後穩定；在南灣西側的後壁湖和出水口原本豐富的珊瑚則因2016–2017年的大白化事件而降低。2020年夏季發生前所未有的海洋熱浪，加上沒有颱風大範圍攪動深海冷水來降溫，造成臺灣有記錄以來最嚴重且範圍最廣的珊瑚大白化事件，在珊瑚白化事件的前、中、後的監測結果顯示，墾丁珊瑚的死亡率高達4–7成。除了數量降低，優勢種類也發生改變：合界的表孔珊瑚被鹿角珊瑚取代，後壁湖的列孔珊瑚被千孔珊瑚取代(樊等2021b)。

## (三)澎湖

澎湖群島由90多個島嶼和小島組成，位在臺灣西部橫跨北迴歸線，南北延伸70公里，其潮間帶平臺發育良好分佈廣泛，寬廣的岸邊平臺可達3–5公里。颱風經過臺灣中央山脈時，颱風強度大幅減弱，因此很少引起明顯的颱風潮與相關災害(Lu et al. 2019)。澎湖海域共記錄石珊瑚28屬103種，根據石珊瑚物種組成，生態可分為三個主要區域，即東北部、南部和內部，南部和東北部主要受海水溫度強烈影響，內部主要受人類活動造成的濁度或營養鹽影響(Hsieh et al. 2016)，不過可能有助於減少珊瑚白化的不利影響(Sully & van Woesik 2020)。澎湖本島珊瑚群聚容易受到人類活動的強烈影響，包括牡蠣養殖、海水網箱和附近城市地區的污水徑流，導致海灣高度沉積和富營養化。2008年初發生的極端低水溫事件導致近海生物的高死亡率，並觀察到軸孔珊瑚(*Acropora formosa*)大範圍白化；冷水入侵後，珊瑚礁魚類群聚的物種豐富度和多樣性需要53個月才能達到穩定狀態(Chen et al. 2020)。魚類的族群遺傳結構研究也顯示澎湖北部和南部的族群之間有顯著的遺傳差異，基因交流較低，而澎湖北部和臺灣東北部的族群之間則無顯著的遺傳差異，基因交流高(Hsu et al. 2017)。

澎湖在珊瑚復育方面受到多方重視，例如媒體標題「澎湖棲地復育有成杭灣珊瑚海洋花園吸睛」，報導澎湖縣政府自民國105年起，斥資新臺幣300萬，設立縣府水產種苗繁殖場在馬公鎖港杭灣，打造全臺首座人造珊瑚海洋花園有成。澎湖建構海洋棲地復育基礎導入生態旅遊，杭灣珊瑚海洋公園開放迄今已吸引了數十萬遊客蒞臨造訪，創造了超過6000萬元經濟效益，更期許未來將成功經驗複製繁根全澎湖各海域。另一篇媒體標題“龍門國小學生動手護珊瑚 獲教育部環境教育實作競賽第三名”，報導澎湖縣龍門國小師生團隊

以「珊瑚來池，潮池珊瑚復育與研究」為主題，110 年 4 月初前往高雄參加教育部第三屆學校環境教育實作競賽決賽，在全國 50 多組參賽隊伍中脫穎而出，榮獲全國第三名佳績。

## 四、面臨問題

### (一) 海洋熱浪

2020 年是海洋史上最熱的一年，全臺灣各地包括北部、東部、西部、南部、東沙島和南沙太平島海域的珊瑚群聚和珊瑚礁區，前所未有的首次同時都發生海洋熱浪水溫過高，造成珊瑚大白化和大量死亡事件，其損失也是歷年來最嚴重，經歷此事件必須警覺珊瑚與海洋生態已面臨急迫的威脅與劇烈的改變。

預測珊瑚大白化發生的時間和地區，可由美國海洋與大氣總署珊瑚礁觀測(Coral Reef Watch)所建立的衛星遙測海表面水溫，計算週熱化度數(Degree Heating Week, DHW)，其為最近 12 週內所累積的珊瑚白化熱緊迫(stress)，當此度數達到 4，通常會發生嚴重的珊瑚白化，達到 8 則可能會發生嚴重且廣泛的珊瑚白化，並且預計會導致嚴重的死亡。珊瑚礁觀測中臺灣有三個站點包括北臺灣、南臺灣、與東沙，而鄰近其他國家適合參考對照的站點則分別是北臺灣與南琉球、南臺灣與北菲律賓、東沙與香港。

根據聯合國環境保護署 2017 年發表的《珊瑚白化的未來：全球珊瑚礁白化狀況的降尺度預測以及對氣候政策和管理反應的影響》報告中預測，臺灣的珊瑚可能從 2037 年會每年嚴重白化，並可能成為東亞地區最早發生每年嚴重白化、並且損失比例最高的區域(UNEP 2017)。這些警訊在經歷 2020 年全臺珊瑚大白化事件後，更加值得我們關切和重視規劃因應對策，並執行適切的行動。

雖然臺灣是全球珊瑚礁中珊瑚白化的熱點，但社會經濟和科學技術發達，適合發展將珊瑚礁復育作為改善此珍貴又脆弱生態系統服務的策略。回顧臺灣珊瑚保護和保育的歷史發展，由 1984 年第一個國家公園——墾丁國家公園成立、2007 年東沙環礁國家公園成立、2014 年澎湖南方四島國家公園成立，使得擁有發育良好珊瑚礁的這三個海域的海洋保護區網絡具體形成；加上 2000 年海生館開館，建立國際著名的大型活珊瑚展示和陸上珊瑚農場；進而至中央級部會「海洋委員會」與「海洋保育署」於 2018 年成立，開啟海洋保育元年，努力邁向「潔淨海水」、「健康棲地」、「永續資源」的目標。期許經由結合珊瑚原地和異地的保育與復育，也支持聯合國生態系復育十年(2021-2030)和海洋科學促進永續發展(2021-2030)計畫，並強化珊瑚調適與適應人類世劇烈和巨大改變的環境，使珊瑚礁與人類繼續共存共榮(樊等 2021b)。

## (二)控制人為的污染

國內外已有眾多案例與研究成果顯示，珊瑚復育之前首先必須優先控制好人為的污染，主要包括廢水排放和泥沙沈積物等，例如過去墾丁和恆春的污水開始截流和處理運作，水質優養化情形改善，以及注重集水區河流和沿岸的水土保持，減少大量泥土沖刷入海，造成水質混濁和掩埋珊瑚窒息而死的情形改善，珊瑚即陸續恢復成長和數量明顯增加；小琉球目前已有 3 座聚落式污水處理設施啟用，預期污水排放造成污染的情形將有所改善，不過大雨過後來自臺灣的河川逕流和小琉球島上大量泥土沖刷入海的現象仍有待解決。

## (三)油污染

小琉球與恆春半島西岸於 6 月受中油公司大林煉油廠外海原油外洩影響，污染主要在花瓶岩、白沙尾漁港至中澳沙灘，而此時亦是臺灣南部珊瑚生殖期間(Dai et al. 1992)。石油污染是海洋環境最引人關心的威脅之一，石油洩漏事件對具有高度生態重要性棲息地的珊瑚礁又特別受到重視，其衝擊可能相當嚴重，並且持續數十年，在珊瑚礁附近發生石油洩漏事件後，對建造棲息地形成的物種，如造礁珊瑚會產生特殊生態後果的影響，珊瑚可能白化或死亡，若發生在珊瑚生殖或子代散佈、著苗和補充期間，因他們會漂浮在海表面，並對污染更敏感和脆弱，影響也可能更大，而強光和高溫會使油污染的毒性升高，更需要特別注意(Turner & Renegar 2017; Nordborg et al. 2020)。

原油是指烴（烷烴、環烷烴和芳烴）和非烴化合物的混合物。多環芳烴 (PAH) 被認為對浮游動物有劇毒影響，可通過食物網積累和轉移。在浮游動物之中，微型浮游動物 (20-200 微米) 在中上層食物網中佔據關鍵位置，正因為它們將物質從初級轉移到更高階營養級方面發揮著作用。石油洩漏後，物理（如風和浪光）、化學（如增溶劑和分散劑）和生物（如攝入）機制負責將這種化合物轉化為小液滴（直徑 1-100  $\mu\text{m}$ ），有效地懸浮在水柱中，導致其分散。海水中油濃度和液滴大小的信息，被認為對減少表面油的水平擴散、海洋生物對油的吸收和懸浮顆粒物對油的吸附，以及隨後在海底的沉積都很重要。研究記錄石油污染物對橈足類食物、生存、產卵、孵化、發育和形態異常的影響，溢油對此類生物生存的負面影響，可直接影響浮游植物和微生物群落。因橈足類無節幼體除了影響魚類生產外，還是海洋浮游生物食物網中的重要食草動物，更因為此類生物是許多魚幼蟲的主要食物來源。研究的一個重要點是珊瑚礁棲息地中珊瑚幼蟲的豐度高，這可能是採樣時間接近繁殖期的結果 (de Santana Campelo et al. 2021)。

珊瑚礁因珍貴且脆弱，故具有最高級別優先保護。最近的一項研究表明，這些沿海珊瑚礁具有高生物生產力，是鄰近海域浮游動物的重要食源，尤其是在旱季新月夜的幼體生產高峰期，因此有必要調查石油洩漏對這些壓力敏感的棲息地形成生物的影響。近期石油污染污染相關的損害顯著降低了珊瑚群

的繁殖力，此外石油污染會改變珊瑚幼蟲的游泳行為，抑制浮游生物的沉降，或導致高幼蟲死亡率(Guzmán & Holst 1993)。大多數沒有立即死亡的珊瑚表現出部分死亡或亞致死效應，並表現出嚴重的應激反應，例如粘液產生增加、組織腫脹、漂白和隨後的細菌感染。近期受傷的頻率特別高，反映中期(3-5年)繁殖力和生長速度降低。(Guzman et al. 2020)

## 五、積極發展趨勢

### (一) 海洋保護區

禁止漁撈的海洋保護區(No Take Marine Protected Area)是普遍應用的管理方式，能夠有效地保護生物多樣性和提高魚類物種的生物量，增加食藻動物而使食物網與營養階層完整，也可以增強珊瑚礁群聚對自然干擾，包括珊瑚白化、疾病、天敵爆發、和颱風等的適應力，進而改善當地社區的經濟收益(Edgar et al. 2014; Mellin et al. 2016; Hargreaves-Allen 2017)。因此經由成立海洋保護區，並且嚴格執法管理是最有效維護棲地和促進生物多樣性與漁業資源永續利用的方法，尤其是經由維持食藻動物，如海龜、魚類、螺貝類、蝦蟹類和海膽等的數量與功能，有效控制與珊瑚競爭空間而危害珊瑚生存的毛叢藻和大型藻不至過量，可盼日後促進珊瑚補充量增加(Chen et al. 2019; Cheng et al. 2019; Cardona et al. 2020)。因此建議在小琉球優先保護杉福附近海域，並將潮間帶的潮池與鄰近週邊劃設為保護區，管制遊客不得進入踩踏與接觸生物，減少人為的干擾與破壞，使所剩不多的生物獲得休養生息和繁衍補充。

### (二) 庇護所

海洋保護區可以幫助增加當地的生物多樣性、恢復功能性食物網、保護受威脅的物種和敏感的棲息地、並支持鄰近的漁業等其他利益，不過氣候變遷和極端化已使全球珊瑚礁發生快速和前所未有的變化，並可能將海洋保護區破壞，因此需要結合海洋保護區與庇護所。珊瑚礁庇護所是具有物理、生物和生態特徵的棲息地，使其有可能相對抵禦未來的氣候變遷衝擊(Carter et al. 2020)。確定庇護所的位置對於確保進行適當的海洋保護計劃，以保護現在和未來能夠更長期和更好地維護珊瑚生態系統至關重要。在規劃和設立具有庇護所功能的海洋保護區過程中，重要的是包括利益相關者的參與、評估保護的社會經濟影響、考慮氣候變遷衝擊和管理有效性的不確定性，整個規劃過程可能需要隨著時間的推移和監測數據的結果而重複和調整(Wilson et al. 2020)。

### (三)珊瑚復育

為挽救受損的珊瑚礁與珊瑚，世界各國早於 1970 年代即開始進行珊瑚復育，企圖修復受損的珊瑚群聚、增加珊瑚數量以持續其生態、漁業與觀光旅遊的功能和價值(樊 2008)。累積至今所研發的珊瑚復育方法相當多元，包括無性繁殖法，如直接移植、包含苗圃與移植二階段的珊瑚園藝、和小裂片等；以及有性繁殖法，如幼生強化；以及基質強化法，如泥沙清除、藻類移除等。珊瑚復育應採取因地制宜策略，並以 1-3 年為最基礎，4-10 年較能評估長期復育成果是否穩定。

選擇適合的珊瑚種類也很關鍵，過去養殖復育的珊瑚大部分以分枝形軸孔珊瑚為主，因其生長快，一年可達約 10 公分、分枝之間容易吸引魚類和其他共生動物在此活動，因此短期內即可呈現明顯效果，但是也最容易受到人為的污染和破壞、熱浪和颱風等因素變化影響而劇烈受損，被認為是屬於高生長率，但低存活率的類別；相對而言，屬於低生長率一年僅約 1 公分，但高存活率的團塊形微孔珊瑚，和其他更多類別的珊瑚，則被建議一起共同養殖復育，以提高生物多樣性，並獲得更完整和長期的成效。

而各類珊瑚移植作業的難易程度也有很大的差別，就培訓學生新手或公民科學家認識與學習珊瑚移植的入門物種而言，最適合的是團塊形微孔珊瑚，牠們不但在各項環境因子的快速劇烈變化、遊客海域遊憩活動造成的踩踏、和人為操作所造成緊迫的耐受能力最好，團塊型外型和堅實穩固的群體也最不容易受損斷裂，也是目前許多礁區最常見的珊瑚，例如小琉球潮池就有許多團塊形微孔珊瑚，牠們被人為固定在基質上的成功率、以及長期存活率都是最高，不過生長就較緩慢，需要較長時間才能看到長大的成效，另外是採集珊瑚時也容易在健康群體表面留下較大的傷口，相對周邊褐色的活體肉質組織，傷口曝露出的白色骨骼非常明顯，也需要較長時間傷口才會逐漸癒合復原。

珊瑚的移植和復育若能與社區參與結合，培訓當地海洋志工、潛水教練與業者作為公民科學家，則效果較能扎根落實和長期持續(臺 2019)。不過大部分的潛水人員對於珊瑚、有利於珊瑚的藻類、對珊瑚發展較不利的大型藻和毛叢藻的正確辨認，以及珊瑚採集、清理基質、然後固定珊瑚的適當處理等的專業知識與技能，並不瞭解與熟悉。需要進一步提升，因此進行珊瑚移植工作之前需要辦理說明會與工作坊，內容包括基礎珊瑚生物學與珊瑚礁生態學的講解、移植工作流程設計與實務操作的說明、個人與團隊在海下分工合作的討論與模擬演練等，然後帶領潛水人員實際海底觀摩和參與珊瑚移植，例如由取得採集證的研究人員採集珊瑚，示範以鋼刷將基質表面的泥沙、大型藻和毛叢藻清理至珊瑚藻或礁岩露出，選擇珊瑚底部斷面與基質表面形狀比較能夠互相搭配吻合的位置，然後以水下塑鋼土或水泥將珊瑚固定於基質上，之後也需要討論如何改進技術和持續維護才能獲得更好的移植復育成效。

#### (四)珊瑚園藝

早期珊瑚復育發展以直接移植為主，隨著海洋熱浪的頻率和強度增加，尤其是 2015–2017 年，連續三年發生全球第三次珊瑚大白化與大量死亡事件後，傳統直接移植的被動復育被認為已不足以解決珊瑚所面臨環境快速改變的威脅，因此提倡主動復育，包括建立珊瑚苗圃，尤其是使用耐熱珊瑚作為種原。因此，目前野外珊瑚的復育，不僅需要改善當地的環境、有效管理人為的影響、改良珊瑚移植的技術、也同時必須調適氣候變遷，尤其是海洋熱浪的衝擊，為因應愈益劇烈與頻繁的海洋熱浪衝擊，建議尋找適合的地點試辦珊瑚苗圃並培育耐熱珊瑚，此復育作為近年在國際已開始積極發展與推廣。

小琉球耐熱珊瑚種原的來源地點則可能是在杉福、龍蝦洞、及海子口港西側等三個潮間帶的潮池，2020 年設置在杉福與龍蝦洞潮池中的溫度記錄器顯示，水溫明顯受潮位變化影響，夏季低潮期間最高溫度會上升至 34–36°C，甚至比核三廠出水口的最高水溫還高，但仍有耐受環境劇烈變動的團塊形和表覆形珊瑚，包括微孔珊瑚等在此生存與發展。此外是杉福漁港內的南側具備發展成為人工培育復育用珊瑚之苗圃場域的良好條件，包括消波塊堤岸和漁港航道形成降低颱風湧浪和人為活動干擾的庇護所，低潮期間的水流交換仍佳，並有較多食藻動物，如海龜、魚類和海膽，使得藻類受到控制，促進珊瑚生長良好，不過港內仍有許多消波塊和基質表面，因泥沙堆積，或被藻類覆蓋生長而限制珊瑚數量增加，需要人為照顧與維護(張等 2020)。

#### (五)發展珊瑚產業

全球珍貴且稀少的珊瑚礁與其主要建造者—石珊瑚，在近四十年來由於人為不當活動和氣候變遷衝擊而快速減少，所有的石珊瑚已列名於瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約，以加強資源保護與商業開採管理，有效使得野外珊瑚的採捕受到限制(Rhyne et al. 2014)；加上珊瑚逐漸成為生物與醫藥研究(Bartlett 2013; Leal et al. 2013, 2014)、生態修復(Linden & Rinkevich 2017)、海洋觀賞水族(Olivotto et al. 2016; Barton et al. 2017)的重要生物材料，價值開始高漲，成為高價值的水產養殖動物，也更加促使其人工繁養殖在國際間日益快速發展(Leal et al. 2013, 2014; 樊 2018; Huang et al. 2020)，使得珊瑚的異地養殖，並且使用高效能的再循環水產養殖系統正在快速發展，以便未來能夠永續供應前述產業發展所需的大量珊瑚。

再循環式水產養殖系統近年愈益受到重視，此系統可使用天然或人工海水，品質穩定且無汙染，並可以依靠系統中的維生系統和外加滴定微量元素(如：鹼度、鈣離子、鎂離子)的設備來保持水質的穩定性，在維生系統中可選擇加入蛋白除沫器以物理性方式有效降低水體中營養鹽濃度，加入活岩石而透過大量的生物菌群、殼狀珊瑚藻處理水體中累積的營養鹽，以生物性方式維持整個系統的平衡。經由穩定控制環境因子，以實現最佳的物理化學條件，例

如：光照、溫度、水流和水質，以及生物方面，例如：互利共生生物或食物的供應，而優化珊瑚的人工養殖、繁殖、保育、復育、學術研究與海洋生物科技發展(黃 2012; Leal et al. 2013, 2014; 張 2016; 樊 2018; Chang et al. 2020; Huang et al. 2020; 松 2021)。

## 參考文獻

- 臺灣咾咕嶼協會。2019。小琉球海洋監測公民科學家培育工作坊成果報告。海洋委員會海洋保育署非科技計畫。
- 李逸環、楊清閔、李展榮、樊同雲。2011。環境與氣候變遷下珊瑚礁可能的庇護所與保育管理。珊瑚世界的探索與了解，7-17 頁。國立海洋生物博物館。
- 松。2021。海水魚、珊瑚觀賞與飼養指南。文國書局。
- 林家魁。2014。南中國海珊瑚礁底棲群聚結構的空間與時間比較。國立東華大學海洋生物多樣性及演化研究所碩士論文。
- 張水鍇、劉莉蓮、樊同雲。2019。108 年琉球鄉海洋社區三生永續發展整合計畫 (I) 委託服務工作期末進度報告。屏東縣海洋及漁業事務管理所委託服務工作計畫。
- 張水鍇、劉莉蓮、樊同雲。2020。109 年琉球鄉海洋社區三生永續發展整合計畫 (II) 委託服務工作期末進度報告。屏東縣海洋及漁業事務管理所委託服務工作計畫。
- 張暉。2016。給新手的珊瑚飼育指南。楓葉社文化出版社。
- 黃之暘、何源興、陳文義、郭慶老。2012。觀賞水族產業發展與管理。行政院農業委員會水產試驗所。
- 黃佳琳。2020。海洋臺灣：大藍國土紀實。經典雜誌。
- 陳昭倫。2018。107 年墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫成果報告。墾丁國家公園管理處辦理計畫。
- 陳昭倫。2019。108 年度珊瑚礁生態系調查計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。
- 陳昭倫、鄭明修。2019。108 年度南沙太平島海洋生態系調查計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。
- 葉宗旻、樊同雲。2019。打造屬於珊瑚的挪亞方舟—為珊瑚未來可能的巨變預作準備。奧秘海洋 98:4-7。
- 鄭有容。2019。東沙環礁國家公園海域資源評析。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 樊同雲。2008。海洋生態重建復育不是夢-以珊瑚礁復育為例。海洋新世紀:21 世紀藍色革命新時代，高雄市政府海洋局。128-134 頁。
- 樊同雲。2012a。珊瑚對海水溫度變動反應的探索。科學月刊 509:392-393。
- 樊同雲。2012b。全球氣候變遷對珊瑚礁的衝擊與調適。海洋高雄 33:16-19。
- 樊同雲。2018。珊瑚水產養殖的興起。科學發展 551: 16-20。
- 樊同雲、林芳邦、邵廣昭。2021a。南灣海域珊瑚礁生態系調查監測期中報告。臺灣電力股份有限公司。
- 樊同雲、葉宗旻、藍國維。2021b。恆春墾丁珊瑚大白化怎麼辦?危機，轉機，利基!奧秘海洋 110: 14-21。

- 戴昌鳳。2014。臺灣區域海洋學。國立臺灣大學出版中心。
- 戴昌鳳、秦啟翔。2019。墾丁國家公園八放珊瑚生態圖鑑。墾丁國家公園管理處。
- 戴昌鳳、鄭有容。2020。臺灣珊瑚全圖鑑(上)：石珊瑚。貓頭鷹出版。
- Bartlett TC. 2013. Small scale experimental systems for coral research: Considerations, planning, and recommendations. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 165 and CRCP 18. 68pp.
- Barton JA, Willis BL, Hutson KS. 2017. Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. *Reviews in Aquaculture* 9: 238–256.
- Beijbom O, Edmunds PJ, Roelfsema C, et al. 2015. Towards automated annotation of benthic survey images: Variability of human experts and operational modes of automation. *PLoS ONE* 10: e0130312.
- Bellwood DR, Pratchett MS, Morrison TH, et al. 2019. Coral reef conservation in the Anthropocene: Confronting spatial mismatches and prioritizing functions. *Biological Conservation* 236: 604–615.
- Berzins IK, Czaja R, Coy C, et al. 2008. Aquacultured coral and restoration. *Advances in coral husbandry in public aquariums. Public aquarium husbandry series, Vol. 2.* Leewis RJ, Janse M (eds.), pp. 375–389.
- Bostrom-Einarsson L, Babcock RC, Bayraktarov E, et al. 2020. Coral restoration – A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS ONE* 15: e0226631.
- Cardona L, Campos P, Vela squez-Vacca A. 2020. Contribution of green turtles *Chelonia mydas* to total herbivore biomass in shallow tropical reefs of oceanic islands. *PLoS ONE* 15(1): e0228548.
- Carpenter KE, Abrar M, Aeby G, et al. 2008. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science* 321:560–563.
- Carter AL, Wilson AMW, Bello M, et al. 2020. Assessing opportunities to support coral reef climate change refugia in MPAs: a case study at the Revillagigedo Archipelago. *Marine Policy* 112: 103769.
- Chang TC, Mayfield AB, Fan TY. 2020. Culture systems influence the physiological performance of the soft coral *Sarcophyton glaucum*. *Scientific Reports* 10: 20200.
- Chen H, Chen CY, Shao KT. 2020. Recovery and variation of the coastal fish community following a cold intrusion event in the Penghu Islands, Taiwan. *PLoS ONE* 15(9): e0238550.
- Chen LS, Liu WH, Yen HL. 2019. Applying the system conservation

planning method to the South Penghu Marine National Park marine protected area in Penghu. In: Yu TS. (ed.), Environmental Sustainability: Water Resources Integrated Management and the Development of Coastal Environments. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 96, pp. 50–61. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

- Chen CC, Shiah FK, Lee HJ, et al. 2005. Phytoplankton and bacterioplankton biomass, production and turnover in a semi-enclosed embayment with spring tide induced upwelling. *Marine Ecology Progress Series* 304:91–100.
- Cheng WH, Chan YT, Hong H, et al. 2019. Using programming languages and geographic information system to determine spatial and temporal variability in a green turtle foraging population on Liuchiu Island, Taiwan. *Zoological Studies* 58:18.
- Cohen AL, Trautwein S, Schubel JR. 2018. Aquarium protection of climate resilient corals. *The Aquarium of the Pacific*.
- da Silva R, P Pearce-Kelly, B Zimmerman, et al. 2019. Assessing the conservation potential of fish and corals in aquariums globally. *Journal of Nature Conservation* 48:1–11.
- Dai CF. 1991a. Reef environment and coral fauna of southern Taiwan. *Atoll Research Bulletin* 354:1–28.
- Dai CF. 1991b. Distribution and adaptive strategies of alcyonacean corals in Nanwan Bay, Taiwan. *Hydrobiologia* 216/217: 241–246.
- Dai CF, Soong K, Fan TY. 1992. Sexual reproduction of corals in northern and southern Taiwan. *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium*. 1: 448 – 455.
- Dai C, Soong K, Chen CA, et al. 2002. “The status of coral reefs in Taiwan and the conservation problems,” in *The Proceedings of the IUCN/WCPA EA4 Taipei Conference*, Taipei, 265 – 276.
- Dang VDH, Cheung PY, Fong CL, et al. 2020. Sea urchins play an increasingly important role for coral resilience across reefs in Taiwan. *Front. Mar. Sci.* 7: 581945.
- Darling ES, McClanahan TR, Maina J, et al. 2019. Social – environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. *Nature Ecology & Evolution* 3:1341–1350.
- De Groot RS, Blignaut J, Van Der Ploeg A, Aronson J, Elmqvist T, Farley J. 2013. Benefits of investing in ecosystem restoration. *Conservation Biology* 27: 1286–1293.

- de Santana Campelo RP, de Lima CDM, de Santana CS, et al. 2021. Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. *Marine Pollution Bulletin* 167:112281.
- DeCarlo TM, Cohen AL, Wong GT, et al. 2017. Mass coral mortality under local amplification of 2°C ocean warming. *Scientific Reports* 7(1):1-9.
- Dee LE, Horii SS, Thornhill DJ. 2014. Conservation and management of ornamental coral reef wildlife: Successes, shortcomings, and future directions. *Biological Conservation* 169: 225–237.
- dela Cruz DW, PL Harrison. 2020. Enhancing coral recruitment through assisted mass settlement of cultured coral larvae. *PLOS ONE* 15: e0242847.
- Denis V, Soto D, de Palmas S, et al. 2019. Taiwan. In Loya Y, Puglise K, Bridge T. (Eds.). *Mesophotic coral ecosystems*. Coral reefs of the world (Vol. 12, Chap. 14, pp. 249 – 264). Cham: Springer.
- Edgar GJ, Stuart-Smith RD, Willis TJ, et al. 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506:216.
- Fan TY, Hsieh YC, Lin KH, et al. 2017. Plasticity in lunar timing of larval release of two brooding pocilloporid corals in an internal tide-induced upwelling reef. *Marine Ecology Progress Series* 569:117-127.
- Goergen EA, Schopmeyer S, Moulding AL, et al. 2020. Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 279. Silver Spring, MD. 145 pp. doi: 10.25923/xndz-h538
- Guzmán HM, Holst I. 1993. Effects of chronic oil-sediment pollution on the reproduction of the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*. *Marine Pollution Bulletin* 26:276 – 282.
- Guzman HM, Kaiser S, Weil E. 2020. Assessing the long-term effects of a catastrophic oil spill on subtidal coral reef communities off the Caribbean coast of Panama (1985 – 2017). *Marine Biodiversity* 50:28.
- Hargreaves-Allen VA, Mourato S, Milner- Gulland EJ. 2017. Drivers of coral reef marine protected area performance. *PLoS ONE* 12(6):e0179394.
- Hein MY, McLeod IM, Shaver EC, et al. 2020. Coral reef restoration as a strategy to improve ecosystem services – A guide to coral restoration methods. United Nations Environment Program, Nairobi,

Kenya.

- Hsieh HJ, Wen CKC, Huang YC, et al. 2016. Spatial patterns and environmental settings of non-reefal coral communities across the tropic of cancer in the Penghu Archipelago (Pescadores), Taiwan. *Zoological Studies* 55: 45.
- Hsu TH, Gwo JC. 2017. Fine-scale genetic structure of rabbitfish, *Siganus fuscescens*, in Penghu Archipelago following a mass mortality event caused by extreme cold winter weather. *Genes Genom* 39:645 – 652.
- Hsu PC, Lee HJ, Zheng Q, et al. 2020. Tide-induced periodic sea surface temperature drops in the coral reef area of Nanwan Bay, southern Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125:e2019JC015226.
- Huang YL, Mayfield AB, Fan TY. 2020. Effects of feeding on the physiological performance of the stony coral *Pocillopora acuta*. *Scientific Reports* 10: 19988.
- Hughes TP, DR Bellwood, SR Connolly, et al. 2014. Double jeopardy and global extinction risk in corals and reef fishes. *Current Biology* 24:2946–2951.
- Isabelle MC, Reynolds JD. 2006. Coral reef conservation. Cambridge University Press, New York.
- Kuo CY, Yuen YS, Meng PJ, et al. 2012. Recurrent disturbances and the degradation of hard coral communities in Taiwan. *PLoS ONE* 7 (8):e44364
- Leal MC, Calado R, Sheridan C, et al. 2013. Coral aquaculture to support drug discovery. *Trends in Biotechnology* 31:555–561.
- Leal MC, Ferrier-Pages C, Petersen D, et al. 2014. Coral aquaculture: applying scientific knowledge to ex situ production. *Reviews in Aquaculture* 6:1–18.
- Lee IH, Fan TY, Ko DS, et al. 2020. Temporal variations of daily temperature minima in coral reefs in Nanwan Bay, southern Taiwan. *Scientific Reports* 10:8656.
- Lin YV, Denis V. 2019. Acknowledging differences: number, characteristics, and distribution of marine benthic communities along Taiwan coast. *Ecosphere* 10: e02803.
- Linden B, Rinkevich B. 2017. Elaborating an eco-engineering approach for stock enhanced sexually derived coral colonies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 486:314–321.
- Liu G, Heron S, Eakin C, et al. 2014. Reef-scale thermal stress

- monitoring of coral ecosystems: New 5-km global products from NOAA Coral Reef Watch. *Remote Sensing* 6(11):11579–11606.
- Lozada-Misa P, Schumacher BD, Vargas-Ángel B. 2017. Analysis of benthic survey images via CoralNet: a summary of standard operating procedures and guidelines. Pacific Islands Fisheries Science Center., National Marine Fisheries Service., NOAA, Honolulu, HI 96818–5007. Pacific Islands Fish. Science Center. Admin. Rep. H-17-02, 175 p.
- Lu CH, Yen JY, Chyi SJ, et al. 2019. Geological records of South China Sea tsunamis on Penghu Islands, Taiwan. *Journal of Asian Earth Science* 177:263–274.
- Marshall P, Schuttenberg H. 2006. A reef manager's guide to coral bleaching. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australia.
- Maynard JA, Marshall PA, Parker B, et al. 2017. A guide to assessing coral reef resilience for decision support. Nairobi, Kenya: UN Environment.
- Maynard N, Cha`teau PA, Ribas-Deulofeu L, et al. 2019. Using internet surveys to estimate visitors' willingness to pay for coral reef conservation in the Kenting National Park, Taiwan. *Water* :11:1411.
- McCauley DJ, Pinsky ML, Palumbi SR, et al. 2015. Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science* 347:248–254.
- McFarland BJ. 2021. Conservation of tropical coral reefs: A review of financial and strategic solutions. Palgrave Macmillan, Switzerland.
- McLeod IM, Bourne D, Ceccarelli DM, et al. 2020. Best practice coral restoration for the Great Barrier Reef: Synthesis of results. Report to the National Environmental Science Program. Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns (36pp.).
- McLeod E, Shaver EC, Beger M, et al. 2021. Using resilience assessments to inform the management and conservation of coral reef ecosystems. *Journal of Environmental Management* 277:111384.
- Mellin C, MacNeil MA, Cheal AJ. 2016. Marine protected areas increase resilience among coral reef communities. *Ecology Letters* 19:629–637.
- Nordborg FM, RJ. Jones, M Oelgemöller, et al. 2020. The effects of ultraviolet radiation and climate on oil toxicity to coral reef organisms - A review. *Science of the Total Environment* 720:137486.
- Nozawa Y, Lin CH, Meng PJ. 2020. Sea urchins (diadematids) promote coral recovery via recruitment on Taiwanese reefs. *Coral Reefs*

39:1199–1207.

- Olivotto I, Chemello G, Vargas A, et al. 2016. Marine ornamental species culture: From the past to ‘‘Finding Dory’’. *General and Comparative Endocrinology* S0016-6480(16):30050-8.
- Pratchett M, Caballes C, Messmer V, et al. 2020. Vulnerability of commercially harvested corals to fisheries exploitation versus environmental pressures, James Cook University, Townsville. July. CC BY 3.0
- Rhyne AL, Tlusty MF. 2012. Trends in the marine aquarium trade: the influence of global economics and technology. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 5:99–102.
- Rhyne AL, Tlusty MF, Kaufman L. 2014. Is sustainable exploitation of coral reefs possible? A view from the standpoint of the marine aquarium trade. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 7: 101–107.
- Ribas-Deulofeu L, Denis V, De Palmas S, et al. 2016. Structure of benthic communities along the Taiwan latitudinal gradient. *PLoS ONE* 11(8):e0160601.
- Rodríguez-Ramírez A, González-Rivero M, Beijbom O, et al. 2020. A contemporary baseline record of the world’s coral reefs. *Scientific Data* 7:355.
- Schmidt GM, Wall M, Taylor M, et al. 2016. Large-amplitude internal waves sustain coral health during thermal stress. *Coral Reefs* 35:869–881.
- Schmidt-Roach S, Duarte CM, Hauser CAE, et al. 2020. Beyond reef restoration: Next-generation techniques for coral gardening, landscaping, and outreach. *Frontiers in Marine Science* 7:672.
- Selmoni O, Lecellier G, Ainley L, et al. 2020. Using modern conservation tools for innovative management of coral reefs: The MANACO Consortium. *Frontiers in Marine Science* 7:609.
- Shaver EC, Courtney CA, West JM, et al. 2020. A manager’s guide to coral reef restoration planning and design. NOAA Coral Reef Conservation Program. NOAA Technical Memorandum CRCP 36, 128 pp.
- Shepherd B. 2019. SAFE (Saving Animals From Extinction): Atlantic Acropora corals, 2018–2021 Conservation Action Plan. Association of Zoos & Aquariums.
- Sully S, van Woesik R. 2020. Turbid reefs moderate coral bleaching under climate related temperature stress. *Global Change Biology*

26:1367 – 1373.

- Tew KS, Leu MY, Wang JT, et al. 2014. A continuous, real-time water quality monitoring system for the coral reef ecosystems of Nanwan Bay, southern Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 85(2):641–647.
- Tkachenko KS, Wu BJ, Fang LS, et al. 2007. Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching *Acropora* corals and an outbreak of anemones. *Marine Biology* 151:185–194.
- Tkachenko KS, Soong K. 2010. Protection of habitat types: A case study of the effectiveness of a small marine reserve and impacts of different habitats on the diversity and abundance of coral reef fishes. *Zoological Studies* 49:195–210.
- Turner NR, Renegar DA. 2017. Petroleum hydrocarbon toxicity to corals: A review. *Marine Pollution Bulletin* 119:1–16.
- UNEP. 2017. Coral bleaching futures – Downscaled projections of bleaching conditions for the world's coral reefs, implications of climate policy and management responses. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Wall M, Putchim L, Schmidt GM, et al. 2015. Large-amplitude internal waves benefit corals during thermal stress. *Proceedings of the Royal Society B* 282:20140650.
- Wen CK, Chen KS, Hsieh HJ. 2013. High coral cover and subsequent high fish richness on mature breakwaters in Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 72:55–63.
- West JM, Salm RV. 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology* 17:956–967.
- Williams ID, Couch C, Beijbom O, et al. 2019. Leveraging automated image analysis tools to transform our capacity to assess status and trends of coral reefs. *Frontiers in Marine Science* 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00222.
- Wilson KL, Tittensor DP, Worm B, et al. 2020. Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning. *Global Change Biology* 26:3251 – 3267.
- Wood E, Malsch K, Miller J. 2012. International trade in hard corals: review of management, sustainability and trends. *Proceedings 12th International Coral Reef Symposium* 1:9–13.
- Woodhead AJ, Hicks CC, Norstrom AV, et al. 2019. Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology* 33:1023 – 1034.

Yang TL, Lee STM, Tsai PY, et al. 2017. Spatial variation in the benthic community structure of coral reefs of Hsiaoliuchiu, Taiwan. *Platax* 14:62–81.

Zoccola D, Ounals N, Barthelemy D, et al. 2020. The World Coral Conservatory (WCC): A Noah's ark for corals to support survival of reef ecosystems. *PLoS Biology* 18(9): e3000823.

## 附錄一、臺灣珊瑚保育計畫

### 臺灣珊瑚保育計畫

計畫主持人：國立海洋生物博物館 樊同雲 博士

研究人員： 國立海洋生物博物館  
鄭群學  
葉宗旻  
江名祺  
邱郁婷  
墨心慈  
藍國維  
張軒慈  
鄭庭卉

執行單位：國立海洋生物博物館

地址：屏東縣車城鄉後灣路 2 號

海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫  
中華民國 110 年 12 月

## 目錄

目錄 .....	92
表目錄 .....	94
第一章 目的 .....	94
第二章 珊瑚簡介 .....	94
第三章 珊瑚物種保育 .....	94
第四章 珊瑚礁簡介 .....	95
第五章 珊瑚礁的功能與價值 .....	95
第六章 交互作用 .....	95
第七章 面臨的威脅 .....	96
一、 海洋熱浪 .....	96
二、 颱風 .....	97
三、 沉積物汙染 .....	97
四、 油汙染 .....	97
五、 廢水汙染 .....	98
六、 人為破壞 .....	98
七、 過度捕撈 .....	98
八、 船隻觸礁擱淺 .....	98
九、 未來可能的新威脅—防曬產品 .....	99
第八章 調查與監測 .....	99
一、 目前對珊瑚的保育和復育概述 .....	100
(一) 保育 .....	100
(二) 復育 .....	101
第九章 珊瑚保育策略 .....	103
一、 棲地保護與管理 .....	103
二、 水域管理 .....	103
三、 漁業管理 .....	103
四、 產品轉型 .....	104

五、社會教育 .....	104
六、人才培育 .....	104
第十章 結語 .....	108
主要參考文獻 .....	109

## 表目錄

表 1、珊瑚保育策略方案表.....105

# 第一章 目的

本計畫目的是建立臺灣珊瑚保育的架構概念與基本資料，內容包括珊瑚基本生物學、臺灣珊瑚的分布、面臨的威脅、與可能的解決方案，以淺海造礁的硬珊瑚保育為主要討論對象。

## 第二章 珊瑚簡介

珊瑚的定義為會形成碳酸鈣骨骼的刺胞動物，其型態分類包括石珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、寶石珊瑚、黑角珊瑚、水螅珊瑚等；可依分布深度分為淺海和深海珊瑚；可依造礁能力分為造礁珊瑚和非造礁珊瑚，造礁珊瑚物種數在臺灣南部，如恆春半島、綠島、蘭嶼、小琉球、東沙，及南沙太平島海域約300種以上，澎湖、花蓮、臺東的礁岩海岸約200種，臺灣北部及東北部約100多種。臺灣南部造礁珊瑚種類約300種以上，佔了世界約三分之一的珊瑚種類，又擁有熱帶珊瑚礁分佈，使臺灣躋身於世界十大最重要的生物多樣性海洋熱點地區。

## 第三章 珊瑚物種保育

國際上將石珊瑚目(Scleractinia, Stony corals)、藍珊瑚科(Helioporidae, Blue corals)、笙珊瑚科(Tubiporidae, Organ-pipe corals)、千孔珊瑚科(Milleporidae, Fire corals)、柱星珊瑚科(Stylasteridae, Lace corals)、紅珊瑚科(Corallidae)、黑角珊瑚目(Antipatharia, Black corals)的所有物種列為《瀕危野生動植物種國際貿易公約》(簡稱《華盛頓公約》)附錄二的保護，屬瀕臨危險絕種動物，主要管理商業採捕、觀賞水族和寶石珊瑚的進出口。

臺灣特有保育類珊瑚現有兩種。農委會於2016年修訂「保育類野生動物名錄」，新增2種臺灣特有種：福爾摩沙偽絲珊瑚(*Pseudosiderastrea formosa*)及柴山多杯孔珊瑚(*Polycyanthus chiashanensis*)都屬瀕臨絕種之物種。保育類野生動物名錄原則兩年檢討、修正一次。建議參考美國列管定期評估瀕臨絕種珊瑚，建立和提供野外辨認圖鑑的防水版本，設立專案計畫，發起產官學研各界和潛水人員，主動積極尋找瀕臨絕種珊瑚的新分布與新族群，給予重要發現者高額獎勵，以有效推動珊瑚瀕臨絕種珊瑚保育與復育的管理成效。

## 第四章 珊瑚礁簡介

珊瑚最重要的功能與價值是形成珊瑚礁，珊瑚礁依型態可分為裙礁、堡礁和環礁，裙礁分布在臺灣本島、綠島和蘭嶼，東沙是環礁，小琉球則是珊瑚礁島。現生珊瑚礁的發育狀態在臺灣南部的恆春半島、綠島、蘭嶼和澎湖南部海域屬於良好；臺灣東部從臺東到宜蘭，和澎湖北部海域僅有塊狀礁；臺灣北部及東北部屬於非礁型珊瑚群聚。以特殊海洋生態環境則有湧升流珊瑚礁，如恆春半島的南灣，和東沙外環礁受間歇性湧升流影響。依礁區內不同環境可分為潮間帶的潮池和礁平臺，潮下帶的礁溝、礁斜坡和中光層等。

除了珊瑚礁，臺灣還有以珊瑚藻為主的藻礁、以牡蠣為主的牡蠣礁等，而以珊瑚礁的生物多樣性最高、生物量最高，以及生產力最高。

## 第五章 珊瑚礁的功能與價值

珊瑚礁具有建造陸地、保護海岸、孕育生物多樣性、維持生態平衡、供應食物和藥物、穩固社會發展、推動觀光休閒旅遊、促進藍色經濟、教育研究、培育海洋文化等極高的價值、功能與服務，並成為自然生態與人類社會重要的資產，每年每平方公里價值估計可達美金 10 至 60 萬元。

臺灣針對油汙染對墾丁國家公園珊瑚礁損失進行的經濟評估研究發現，個人年均支付意願為 44.66 美元。而利用數位線上調查工具，以圖片和生態數據估算墾丁國家公園珊瑚礁保護的支付意願，結果顯示個人年均支付意願約為 35.75 美元，年度支付意願總額約為 4.3 億美元，並且保護退化的珊瑚礁生態系統比健康的生態系統帶來更大的價值增長。在估計保護臺灣所有珊瑚礁免受氣候變化而願意支付費用，個人年均支付意願約為臺幣 1187 元(約 35.96 美元)。

## 第六章 交互作用

### 天敵—海星

棘冠海星大爆發造成珊瑚受損嚴重的現象，在澎湖和南沙太平島都曾經發生過。饅頭海星攝食珊瑚的情形在澎湖較常見。

### 天敵—螺類

白結螺攝食珊瑚的情形在衰退或汙染的珊瑚礁區較常見。

### 競爭者—大型藻與毛叢藻

珊瑚礁以珊瑚為主要造礁者，大型藻與毛叢藻是其空間的競爭者。若珊瑚覆蓋率(包括石珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚和水螅珊瑚的總和)大於或相似於海藻覆蓋率(包括大型藻和毛叢藻的總和)，則其間的比例大於或接近 1，代表維持以珊瑚為優勢的健康狀態或穩定發展；若比例為小於 1，則呈現明顯衰退和相變(Phase shift)以藻類為優勢。

### 競爭者—海葵

過去在墾丁南灣發生過水質惡化，海葵大爆發取代珊瑚的現象，在水質改善後，海葵數量消退，珊瑚逐漸恢復生長。

### 寄生者—濾食性動物

海綿與二枚貝等濾食性動物寄生生長在珊瑚表面，在澎湖較常見。

## 第七章 面臨的威脅

全球珊瑚的數量在近數十年正在快速減少，有些種類甚至面臨滅絕風險。珊瑚衰退的主要原因包括遭受不當的人為活動，如過漁、陸源的沈積物和廢水汙染、油汙染、非法或錯誤的海域遊憩行為等；氣候變遷包括海洋熱浪、強烈颱風數量增加、海洋酸化、冷水入侵；生物交互作用失衡，如天敵棘冠海星的爆發、空間競爭者藻類、海葵、海綿過度生長等。據估計，全球珊瑚礁的 33% 至 50% 已完全衰退，許多地區甚至已失去一半或更多的活珊瑚覆蓋面積，並且有三分之一的造礁珊瑚種類在國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN) 紅皮書列為滅絕風險程度升高。珊瑚礁是所有海洋生態系中在受損後修復成本最高，復育一株珊瑚的成本估計為美金 10 至 35 元。

依影響衝擊的嚴重性，探討珊瑚所面臨的威脅如下：

### 一、海洋熱浪

自 18 世紀工業革命以來，人類活動產生大量的溫室氣體，使得地球溫度節節升高，海洋水溫也不例外，海洋熱浪衝擊是造成全球造礁珊瑚大量減少的主要因素之一，過去已分別在 1998、2010、2015、2016 和 2020 年發生全球性的珊瑚大白化和死亡事件。

以臺灣所發生海洋異常暖化造成珊瑚大白化事件為例，北部的珊瑚群聚曾在 2018 和 2020 年發生，南部的珊瑚礁則曾在 1998、2007、2016、2017 和 2020 年發生，並且 2020 年臺灣的北部、東部、南部、西部、東沙島和南沙太平島全都發生；以臺灣北部來看，美國海洋與大氣總署珊瑚白化熱點衛星遙測監測 (<http://www.coralreefwatch.noaa.gov/satellite>) 預測珊瑚白化的周熱化度數 (Degree Heating Week, DHW) 排名前六名的年度與數值，依序分別為 2020 年的 12.2、2016 年的 8.6、2014 年的 8.5、2017 年的 7.7、1998 年的 5.9、2018 年的 5.6，顯示近年正在快速暖化，必須妥善規劃因應。

臺灣於 2020 年夏季發生前所未有的海洋熱浪，並且沒有颱風大範圍攪動深海冷水來降溫，造成有記錄以來最嚴重且範圍最廣的珊瑚大白化事件，恆春半島西側海域的珊瑚死亡率高達 7 成，並且珊瑚數量最多的優勢種類也遭劇烈改變，如在合界是表孔珊瑚被鹿角珊瑚取代，在後壁湖是列孔珊瑚被千孔珊瑚取代，受創嚴重。值得注意的是，《珊瑚白化的未來：全球珊瑚礁白化狀況的降尺度預測以及對氣候政策和管理反應的影響》報

告中，預測臺灣的珊瑚可能從 2037 年起會每年嚴重白化，在東亞是最早發生，並且損失比例最高的國家。

## 二、颱風

以小琉球珊瑚礁底棲群聚結構為例，在 2019 年調查結果與 2011 至 2014 年的結果比較顯示，珊瑚資源由優至劣，排名大翻轉，過去較佳的東南與東北區珊瑚劇烈減少，呈現嚴重衰退的現象。其主因是 2014 年的輕度颱風鳳凰和 2016 年強烈颱風莫蘭蒂造成嚴重破壞所致。

## 三、沉積物汙染

海岸和集水區的開發，容易造成水土未能保持良好。大雨過後大量泥土沖刷入海，容易造成水質混濁，使得珊瑚遭泥沙掩埋，窒息而死，造成大面積的永久傷害。現今臺灣各地的珊瑚礁區仍時常見到這般景象。

## 四、油汙染

石油汙染是海洋環境最引人關心的威脅之一。石油主要由不同的脂肪族和芳香族烴組成，石油烴存在於所有海洋環境中，許多微生物能夠利用碳氫化合物作為生長所需的碳源，而多環芳香烴碳氫化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH)是石油的次要成分，對水生生物具有急性毒性和亞致死作用。

石油洩漏事件對具有高度生態重要性的珊瑚礁又格外受到重視。油汙染對建造棲息地形成的物種，如造礁珊瑚，因其固著生活、吸收與捕食水中營養與食物的特性，可能會產生特殊生態後果的影響，如珊瑚白化、生長與生殖能力減弱或停止，甚至死亡。若發生在珊瑚生殖或子代散佈、著苗和補充期間，因牠們會漂浮在海的表面，對汙染會更加敏感，影響也會更大，可能降低幼生的活動力、抑制著苗和變態成珊瑚蟲、降低成功補充量和幼體的生理功能與生長等。整體而言，珊瑚的早期生活史階段，如幼生、補充量和幼體對油汙染比成體珊瑚還要敏感與脆弱。然而，珊瑚幼生的散佈與補充量對珊瑚的族群維持與群聚動態，以及珊瑚礁受損後的復原皆扮演關鍵角色。

此外，油汙染在強光和高溫下會使毒性增強數倍，因此夏季期間的油汙染衝擊會比其他時節來說更嚴重。在石油汙染開始時，許多汙染源附近的珊瑚礁生物可能死亡，分解的生物體釋放出養分，進而導致藻類大量繁殖和珊瑚覆蓋率下降。

## 五、廢水汙染

珊瑚生長的地區容易因為廢水排放而造成優養化的營養汙染，舉凡家庭、商家、工廠所排放的廢水，以及假日期間遊客來訪珊瑚礁區，短時間內累積大量的垃圾和廢水，因此廢水處理是重要的基礎建設。舉例來說，過去墾丁和恆春的汙水開始進行截流和處理運作後，水質優養化的情形逐漸改善，珊瑚即陸續恢復成長，數量明顯增加；而小琉球目前已有3座聚落式汙水處理設施啟用，預期汙水排放造成汙染的情形將有所改善。然而，即使已有汙水處理設備，仍有不肖人士可能暗自傾倒，或是排污措施安放不當，導致珊瑚仍有遭受汙染危機。

## 六、人為破壞

以小琉球七個浮潛熱門地點，包括花瓶岩、美人洞、杉福港外南側、蛤板灣、厚石裙礁、大福西港外和龍蝦洞為例，2020年以「浮潛活動密集區」與「鄰近非浮潛活動密集區」之珊瑚礁底棲群聚情形做比較，發現浮潛活動密集區的硬珊瑚數量(覆蓋率為0.3%至5.5%)，皆低於鄰近非浮潛活動密集區的數量(覆蓋率為6.5%至31.8%)，顯示浮潛活動的踩踏對珊瑚有明顯不利的影響，尤其是人數最多、最熱門的花瓶岩、美人洞和杉福等潮間帶地區，因大量且密集的遊客踩踏而成為平坦荒蕪的礁體，幾乎完全失去珊瑚礁特有的立體複雜結構；進行獨木舟、水肺潛水等活動時，也可能會不小心將珊瑚體弄斷，造成損害。長久下來，珊瑚礁區將不再具有維持生物多樣性、吸引生態旅遊活動、與蘊育漁業資源的生態功能與價值。

至於民眾會破壞珊瑚礁區，可能的原因是因為民眾對於珊瑚的不認識所導致。若藉由平時一點一滴接收相關訊息，雖然成效不會立即顯現，但在長期耳濡目染之下，內心之中愛護海洋的種子將會逐漸萌芽。

## 七、過度捕撈

以海洋資源為業的漁民在珊瑚礁區捕撈漁獲時，容易將食藻動物(如海膽、珊瑚礁魚等)一網打盡並於魚市場販售。由於珊瑚礁區生物大部分有食藻的特性，若大量地將食藻動物捕撈上岸，海藻因天敵減少而大量繁殖，被海藻覆蓋的珊瑚將無法行光合作用而逐漸凋零，棲息於珊瑚礁縫隙的海洋生物也將居無定所，影響整體珊瑚礁生態系。雖然現今已有相關法令(漁業法、風景特定區管理規則等)支持禁止捕撈規定海域之水產資源，然而市面上仍然看得到珊瑚礁水產的身影。

## 八、船隻觸礁擱淺

墾丁國家公園海域曾發生船隻擱淺或油汙造成珊瑚損失事件，包括2001年1月的阿瑪斯號貨輪在龍坑擱淺漏油、2009年6月可倫坡皇后號油輪在佳樂水擱淺、2009年6月W-O BUDMO油輪在後灣擱淺、2021年10月巴拿馬籍貨輪「FORTUNE(信燕輪)」擱淺在澎湖吉貝北方珊瑚礁淺灘等。船隻本身的強力撞擊會直接破壞當地的珊瑚礁，若又不幸石油外漏，將對

當地生態造成難以挽回的傷害。

## 九、未來可能的新威脅—防曬產品

遊客進行海域活動時，習慣擦上防曬產品，以防紫外線直接傷害皮膚。經研究發現，有些防曬產品當中的化學成分，如二苯甲酮(Oxybenzone)和甲氧基肉桂酸辛酯(Octinoxate)等，確實會對珊瑚造成傷害，可能使得珊瑚直接死亡，或是新生珊瑚株的補充量下降。

以珊瑚礁生態聞名的島國—帛琉，已於 2020 年起禁止販售和使用含有十種特定成分的防曬產品，而夏威夷也於 2021 年禁止使用含有二苯甲酮(Oxybenzone)和甲氧基肉桂酸辛酯(Octinoxate)的防曬產品。同為珊瑚礁生態及海域活動盛行的臺灣，可參考他國案例研擬相關預防性措施。

## 第八章 調查與監測

由於人為活動與氣候變遷的衝擊，全球和臺灣珊瑚的數量正在快速減少和變化，必須客觀、正確、迅速、有效地掌握珊瑚的最新狀況，以了解經營管理與生態保育的成效。另一方面，由於近岸淺海的天然環境容易受到人為干擾和氣候變遷的影響，是國際海洋保育的關注重點之一。

過去珊瑚的調查與監測耗時費力，人員訓練不易，人工記錄所得的資料不僅稀少，也不易標準化。隨著數位科技的進步，珊瑚生態調查已逐漸進步到使用相片、資料庫、與電腦軟體進行標準化分析，如珊瑚點計數(Coral Point Count)；近年人工智慧輔助的半自動或全自動分析，如珊瑚網(CoralNet, <https://coralnet.ucsd.edu/>)也逐漸發展成熟。因此，在野外經由橫截線數位照相調查，能夠容易與快速獲取大量影像，作為永久紀錄供後續分析、比對和查考。經由珊瑚監測交流網絡建立，能快速獲得標準化且容易比較的珊瑚類群與數量的大數據。

過去常依珊瑚覆蓋率分為:>50%為優質、25-50%為尚可、<25%為劣質。由於珊瑚數量可能因颱風、大白化事件、汙染、或遊憩活動而快速減少，並被藻類取代，建議再加上以珊瑚相對大型藻和毛叢藻數量的比例是較高而維持以珊瑚為優勢、或是比例相近而維持穩定、或是較低而衰退和相變為以藻類為優勢，作為較詳細和完整評估珊瑚礁或珊瑚群聚健康狀況的依據。此外，國外的研究結果顯示 10%的硬珊瑚覆蓋率，是珊瑚礁碳酸鈣生產的最低閾值，因此建議將低於 10%珊瑚覆蓋率的礁區列為已失去珊瑚礁特有和關鍵的結構與功能，縮寫為失能。因此，建議將珊瑚發展現況以珊瑚覆蓋率以及珊瑚(硬珊瑚與軟珊瑚)/藻類(大型藻與毛叢藻)比例的量化資料將珊瑚的發展現況分成四級，包括 1. 珊瑚覆蓋率<10%且珊瑚/藻類比例<0.1：失能、2. 珊瑚覆蓋率 10-30%且珊瑚/藻類比例 $\leq 0.5$ ：衰退、3. 珊瑚覆蓋率 30-50%且珊瑚/藻類比例 $> 0.5$ ：穩定、4. 珊瑚覆蓋率>50%：健康，以提供客觀評估珊瑚保育成效的基礎。失能的礁區目前主要在小琉球，建議評估是否需要進行適當的復育。

# 一、目前對珊瑚的保育和復育概述

## (一)保育

有珊瑚分布的區域都有豐富的海洋生態資源，也是優良的觀光遊憩資源，因此幾乎都已劃設為國家公園或國家風景區，在南部有墾丁國家公園、東沙環礁國家公園、大鵬灣國家風景區；在中部有澎湖南方四島國家公園、澎湖國家風景區、東部海岸國家風景區；在北部有東北角暨宜蘭海岸國家風景區、北海岸及觀音山國家風景區等，因而具有不同程度珊瑚資源的調查、研究、管理和保護。

### 海洋保護區

海洋保護區是最有效維護棲地、促進生物多樣性與漁業資源永續利用的方法，尤其是經由食藻動物(如海龜、魚類、螺貝類、蝦蟹類和海膽等)的數量與習性，能有效控制與珊瑚競爭空間而危害珊瑚生存的毛叢藻和大型藻不至於過量，並促進珊瑚補充量增加。禁止漁撈的海洋保護區(No Take Marine Protected Area)是普遍應用的管理方式，保護生物多樣性和提高魚類物種的生物量，增加食藻動物使食物網與營養階層完整，也可以增強珊瑚群聚應對自然干擾，包括珊瑚大白化、珊瑚疾病、棘冠海星大暴發、和颱風等的適應力，進而改善當地社區的經濟收益。不過，海洋保護區仍然會受到海洋熱浪和汙染的衝擊，降低保護的成效。

### 庇護所

尋找和保護在海洋熱浪威脅下，具有野外珊瑚礁高復原力，或天然庇護潛力的地區，如大振幅內波引發間歇性湧升流區，或是環境狀況變動較大的地點，並且全力優先保護天然庇護所礁區不受人為汙染和破壞，以強化其抵抗氣候變遷的衝擊。在受創之後能夠加速復原，是珊瑚礁長期有效經營管理的重要工作之一。

在經歷 2020 年臺灣史上最強大的氣候變遷和人為干擾的聯合衝擊後，調查和監測的研究結果卻意外發現，墾丁出水口的最高水溫( $34.1^{\circ}\text{C}$ )即使高於其他地點約  $2^{\circ}\text{C}$ ，但是珊瑚的白化率和死亡率卻比其他地點更低或相似，珊瑚群聚結構組成並未明顯改變；而核三廠進水口的珊瑚組成也未明顯改變，仍然是以「分枝形軸孔珊瑚」的數量最多；2021 年在小琉球的調查也發現，杉福漁港海堤外的消波塊和港內南側的珊瑚覆蓋率分別約為 40% 和 20%，高於其他天然珊瑚礁區。以上區域顯示，人為工程改造過的珊瑚礁區，對於熱緊迫有更高的抵抗力，在災難性事件之後，仍然保有較高的珊瑚數量，具有重要的生態功能，如造礁、提供其他珊瑚礁生物穩固，和多樣棲所的分枝形軸孔珊瑚和鹿角珊瑚等工程師物種，因此可能成為未來耐受氣候變遷和人為干擾的珊瑚礁庇護所。

## 生態港

墾丁南灣核三廠進水口海域是珊瑚與珊瑚礁生物的保護區已廣為人知。高雄永安中油液化天然氣(Liquefied Natural Gas, LNG)接收站港區能夠阻擋汙水和提供堅硬底質，而使珊瑚大量出現和生長；花蓮和平工業區專用港，和雲林麥寮工業區專用港的轉型，改善作業管理和人為汙染，進行環境生態監測和經由認證而升級成為生態港，不但能讓珊瑚在港內生存，再創經濟發展與生態保育共存共榮的具體案例，也促進鄰近海域珊瑚的恢復。

### (二)復育

珊瑚復育(Restoration)的最新定義為：任何積極的干預措施，在氣候和人為壓力不斷上升的情況下，幫助恢復珊瑚礁生態的結構、功能和主要造礁珊瑚物種，提升珊瑚礁的復原力和持續提供珊瑚礁生態系統服務，而不只是改善棲地(rehabilitation)；常用的定義為：協助恢復已經退化、損壞或破壞的生態系統的過程。

#### 原地復育

為挽救珊瑚，世界各國於 1970 年代即開始進行珊瑚復育，企圖修復受損的珊瑚群，以增加珊瑚的數量與功能。至今累積多種珊瑚復育的方式，包含無性生殖法(如直接移植、珊瑚園藝(Gardening)，包含苗圃(Nursery)階段與移植階段、和小裂片(Micro-fragmentation)等)、有性生殖法(幼生強化)，以及基質強化法(投放人工魚礁、基質穩固、泥沙清除、藻類移除等)。

早期珊瑚復育發展以直接移植為主，隨著海洋熱浪的頻率和強度增加，尤其是 2015 至 2017 年，連續三年發生全球第三次珊瑚大白化與大量死亡事件後，傳統直接移植的被動復育被認為已不足以解決環境快速改變的威脅，因此提倡主動復育，並使用「耐熱珊瑚」作為種原。此外，野外珊瑚的復育不僅需要改良珊瑚移植的技術、改善當地的環境、有效管理人為的影響，也同時必須調適氣候變遷，尤其是海洋熱浪的衝擊。

珊瑚移植是將珊瑚群體和碎片直接種植在珊瑚礁基質上，包括重新安置受威脅的珊瑚。過往以無性生殖法來移植珊瑚為最常見的做法，主要關注在快速生長的分枝形珊瑚(佔研究的 59%，如軸孔珊瑚、鹿角珊瑚、柱珊瑚)，其次為團塊形和葉片形珊瑚，但是在原棲息地直接移植，大多數的珊瑚復育空間規模相對較小。近年來的復育趨勢為建立珊瑚園藝(Gardening)，將珊瑚移植在人工堤岸或是其他礁石上，此作法不僅打破空間上的限制，也可促使珊瑚行有性生殖，增加棲地複雜度和生物多樣性，而且在許多情況下，減少了從野外獲取珊瑚作為珊瑚來源的需求。在當今的修復項目中，首選使用珊瑚園藝的方式。

## 異地復育

造礁珊瑚受到海洋熱浪影響，野外數量逐漸減少，因而促使人工繁養殖在國際上日益受到重視。所有的石珊瑚已列名於《瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約》，以加強資源保護與商業開採管理，有效使得野外珊瑚的採捕受到限制。加上珊瑚逐漸成為生物與醫藥研究、生態修復、海洋觀賞水族的重要生物材料，價值開始高漲，成為高價值的水產養殖動物，促使其人工繁養殖在國際間日益快速發展。在野外，如以色列紅海、商業養殖場，和私人或公立水族館，都已進行和擴大人工養殖珊瑚規模，其產量與產值的成長也有益於海洋水族產業與珊瑚礁保育。

除了原地珊瑚培育，同時發展異地珊瑚培育，如在養殖場或水族箱中養殖保護韌性物種，以避免原地養殖容易受到天然和人為的影響。透過建立具有熱韌性的活珊瑚庫，供水族館保存、分享於研究社群使用和復育野外珊瑚礁。

再循環式水產養殖系統(Recirculating aquaculture systems)近年日益成為趨勢。自野外採集韌性物種後，利用天然或人工調配海水，藉由維生系統，外加滴定微量元素(如鹼度、鈣離子、鎂離子)的設備來維持水質的穩定性。其中，可選擇加入蛋白除沫器，以物理性方式，降低水體中營養鹽濃度；加入活岩石，搭配大量的生物菌群、殼狀珊瑚藻處理水體中累積的營養鹽，以生物性方式維持整個系統的平衡；生物方面，放入互利共生的生物或食藻動物，以優化缸內的食物鏈循環。此外，在人工養殖環境下還能透過異營餵食的方式投放豐年蝦，使珊瑚獲得更充足的養分。完整的水缸系統建置後，再經由穩定控制環境因子，如光照、溫度、水流，以實現最佳的物理化學條件。

國際上也有建議珊瑚復育的流程，包括計劃與設計(設定目標與地理焦點、界定排序與選擇地點、界定排序與選擇介入方法、發展復育行動計畫)，執行、監測、書面文件化、評估進度與報告等；以決策樹評估是否適合進行復育，或是復育以哪種方法較適合進行，結合驅動力-壓力-現狀-衝擊-回應(Driving force-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR)架構發展復育計畫，如驅動力是沿岸開發、壓力是物理性破壞、現狀是沈積物汙染、衝擊是珊瑚的種類與數量、回應是在所選復育地點移植珊瑚的情況；珊瑚復育的設計包括選擇復育地點(Restored site)、參考地點(Reference site)和對照地點(Control site)；復育監測的時程安排，經由社區參與以增強社會生態系統的適應力，以及與權益相關者共享創新的知識與技術等，提供珊瑚復育規劃的參考依據。

國內外已有眾多案例與研究成果顯示，珊瑚復育之前首先必須優先控制好人為的汙染，主要包括廢水排放和泥沙沈積物等，例如過去墾丁和恆春的汙水開始截流和處理運作，水質優養化情形改善，以及注重集水區河流和沿岸的水土保持，減少大量泥土沖刷入海，造成水質混濁和掩埋珊瑚窒息而死的情形改善之後，珊瑚即陸續恢復成長和數量明顯增加。

人為協助珊瑚進化，如發展珊瑚園藝，建立珊瑚苗圃培育耐熱珊瑚，淨灘淨海後加上清除珊瑚骨骼上的泥沙和藻類，再移植復育耐熱珊瑚，或在陸地受保護環境打造珊瑚方舟，保存珊瑚種原，已在越來越多國家如澳洲、美國、新加坡、以色列開始主動積極發展，以促進珊瑚與人類的永續發展。然而，海洋保育和復育原則是預防重於治療，節能減碳目標應該要盡快達成。

## 第九章 珊瑚保育策略

### 一、棲地保護與管理

#### 劃設海洋保護區(野生動物保護區)

以《野生動物保育法》第十條為依據，為全臺珊瑚礁遊憩區熱點劃設「珊瑚保護區」：將珊瑚礁生態完好之區域劃為「核心區」，為達教育或其他目的劃設為「緩衝區」並規範人流上限，以及一般民眾皆可進出的「永續利用區」，避免遊客不必要的踩踏及破壞珊瑚礁。

#### 設立「管制站」，落實規範宣導

於全臺珊瑚礁遊憩區熱點設立「管制站」，安排人員不定時巡察，向遊客宣導環境基本觀念(珊瑚不蓄意踩踏、不撞斷、不觸摸、垃圾不落地)，若遊客有明顯違法事宜，則依《野生動物保育法》第十條，再擬定相關法條加以受罰。同時，管制站可結合救護功能，即時為有難之遊客提供救援。

#### 加強取締廢水汙染

加派海巡人力、提高民眾檢舉獎金等方式，強力取締非法排放廢水行為，避免珊瑚礁區受到更嚴重的危害。

### 二、水域管理

#### 制定、協調和實施「流域管理計畫」

與政府和民間相關業者共同合作，對於可能會直接影響珊瑚的關鍵流域進行規畫管理，如水質的控制、一次性泥沙排放的上限等，並研擬災害(如強降雨、颱風等)來襲時的應變措施，以應付天災造成短時間內珊瑚遭到泥沙覆蓋。

### 三、漁業管理

#### 再增設「水產動植物繁殖保育區」

盤點全臺在珊瑚礁區漁獲種類，若有過多的珊瑚礁水產捕獲紀錄，可安排增設「水產動植物繁殖保育區」，並加強取締非法捕撈事宜。

## 鼓勵漁業合作夥伴參與珊瑚礁區的漁業研究和監測

首先讓漁民了解食藻動物在珊瑚礁區的重要性，不採捕牠們固然會影響生計，但政府可輔導業者進行易上手的珊瑚礁區的漁業研究與監測，並提供經費實施。

## 四、產品轉型

### 汰「毒」換新，促使海洋友善防曬產品問世

評估長遠的影響，逐步禁止讓有害珊瑚礁生態之化學成分的防曬產品販售與使用，並同時促使海洋友善防曬產品的研發、產出和推廣。

## 五、社會教育

### 強化民眾對珊瑚的認識，帶入保護概念

活用社會教育機構(圖書館、美術館、博物館等)功能，不定期舉辦珊瑚教育相關活動或展覽，邀請民眾參與；運用媒體的渲染力，鼓勵電視臺或民間團體製作珊瑚生態相關報導或紀錄片，更結合新媒體的力量，將文字、影像上傳至社群網站或影音平臺(如 Facebook、Youtube 等)；促使政府和民間單位積極推動環境教育活動，如淨灘、淨海，讓民眾得以直接接觸珊瑚礁區環境，觀看實際樣貌；比照友善海龜、鯨豚的做法，設計「友善珊瑚」指南(不蓄意踩踏、不撞斷、不觸摸、多欣賞)。

### 持續宣導溫室氣體排放，加深暖化對珊瑚、人類的影響

「減少溫室氣體排放」是人類對於減緩全球暖化的速度所要達成的目的，「節能減碳」、「少吃肉」等觀念已經流傳於環保標語當中數年，這樣的觀念應該持續推廣，並加入「海洋熱浪、珊瑚、人類」三者之間的利害關係元素，時時刻刻提醒民眾。

### 鼓勵民眾參考「臺灣海鮮選擇指南」選擇對的海鮮

利用臺灣海洋保育與漁業永續基金會與中央研究院數位文化中心共同發布的「臺灣海鮮指南」，帶領民眾認識對海洋友善的海鮮選擇方式，將觀念推廣出去。

## 六、人才培育

### 積極培育「珊瑚公民科學家」

邀請海洋志工、潛水教練或是喜愛海洋的民眾參與成為「珊瑚公民科學家」，訓練為具備基本調查能力之珊瑚調查人員，可共同合作協助珊瑚的調查、監測與保育。透過舉辦工作坊或固定時段課程，引領他們從最基本的珊瑚開始認識，包含基礎珊瑚生物學與珊瑚礁生態學的講解、移植工作流程設計與實務操作的說明、個人與團隊在海下分工合作的討論與模擬演練等，並帶領人員實際到海底觀摩和參與珊瑚維護與移植實作，後續也需要討論如何改進技術和持續維護，才能

獲得更好的保育和復育成效。

### 與在地居民長期合作

積極募集在地社區有意願之民眾或潛水業者，共同參與珊瑚調查計畫。因其地域優勢，除了對當地海域有一定程度的熟悉外，相較於從外縣市前來的研究學者，還節省往來目的地的時間。

引導在地志願民眾實際採取行動來支持與強化珊瑚礁區的恢復力，不僅讓他們能夠覺得做這樣的事情意義非凡，未來他們在帶領遊客，也順勢會向遊客介紹自己的「成果」，甚至教導遊客正確的觀念和做法，傳承下去。

構想：某海域是許多水域活動，如浮潛、水肺潛水、自由潛水和獨木舟等的熱門地點，吸引大量遊客前來旅遊、休閒與運動。藉由受過訓練的在地民眾或業者的引領下，一同淨灘、淨海清除垃圾、漁網和塑膠等人造廢棄物之外，也可選擇適當的較大型珊瑚群體，如團塊形微孔珊瑚、表覆形表孔珊瑚、桌形軸孔珊瑚等，清理其已死亡珊瑚表面上堆積的泥沙沈積物，和不利珊瑚生存發展的大型藻和毛叢藻等，接著將已經歷熱緊迫而倖存的活體珊瑚，將其分株和分散移植固定在同株群體但已死亡的部份。由於珊瑚體型小，生長較快，鄰近的小群體會逐漸接近並癒合成大群體，加速珊瑚復原，進而促進已衰退為海藻為優勢的礁區，重新恢復成珊瑚為優勢的健康群聚。

表 1、珊瑚保育策略方案表

工作面向	策略行動
<b>一、棲地保護與管理</b>	
(一)劃設「海洋保護區」 (野生動物保護區)	以《野生動物保育法》第十條為依據，為全臺珊瑚礁遊憩區熱點劃設「珊瑚保護區」：將珊瑚礁生態完好之區域劃為「核心區」，為達教育或其他目的劃設為「緩衝區」並規範人流上限，以及一般民眾皆可進出的「永續利用區」。
(二)設立「管制站」，落實規範宣導	於全臺珊瑚礁遊憩區熱點設立「管制站」，安排人員不定時巡察，向遊客宣導環境基本觀念。同時，管制站可結合救護功能，即時為有難之遊客提供救援。
(三)加強取締廢水汙染	加派海巡人力、提高民眾檢舉獎金等方式，強力取締非法排放廢水行為。
<b>二、水域管理</b>	
(一)制定、協調和實施「流域管理計畫」	與政府和民間相關業者共同合作，對於可能會直接影響珊瑚的關鍵流域進行規畫管理，如水質的控制、一次性泥沙排放的上限等，並研擬災害(如強降雨、颱風等)來襲時的應變措施。
<b>三、漁業管理</b>	

<p><b>(一)再增設「水產動植物繁殖保育區」</b></p>	<p>盤點全臺在珊瑚礁區漁獲種類，若有過多的珊瑚礁水產捕獲紀錄，可安排增設「水產動植物繁殖保育區」，並加強取締非法捕撈事宜。</p>
<p><b>(二)鼓勵漁業合作夥伴參與珊瑚礁區的漁業研究和監測</b></p>	<p>首先讓漁民了解食藻動物在珊瑚礁區的重要性，不採捕牠們固然會影響生計，但政府可輔導業者進行易上手的珊瑚礁區的漁業研究與監測，並提供經費實施。</p>
<p><b>四、產品轉型</b></p>	
<p><b>(一)汰「毒」換新，促使海洋友善防曬產品問世</b></p>	<p>評估長遠的影響，逐步禁止讓有害珊瑚礁生態之化學成分的防曬產品販售與使用，並同時促使海洋友善防曬產品的研發、產出和推廣。</p>
<p><b>五、社會教育</b></p>	
<p><b>(一)強化民眾對珊瑚的認識，帶入保護概念</b></p>	<p>活用社會教育機構(圖書館、美術館、博物館等)功能，不定期舉辦珊瑚教育相關活動或展覽，邀請民眾參與；運用媒體的渲染力，鼓勵電視臺或民間團體製作珊瑚生態相關報導或紀錄片，更結合新媒體的力量，將文字、影像上傳至社群網站或影音平臺(如 Facebook、Youtube 等)；促使政府和民間單位積極推動環境教育活動，如淨灘、淨海，讓民眾得以直接接觸珊瑚礁區環境，觀看實際樣貌；比照友善海龜、鯨豚的做法，設計「友善珊瑚」指南(不蓄意踩踏、不撞斷、不觸摸、多欣賞)。</p>
<p><b>(二)持續宣導溫室氣體排放，加深暖化對珊瑚、人類的影響</b></p>	<p>「減少溫室氣體排放」是人類對於減緩全球暖化的速度所要達成的目的，「節能減碳」、「少吃肉」等觀念已經流傳於環保標語當中數年，這樣的觀念應該持續推廣，並加入「海洋熱浪、珊瑚、人類」三者之間的利害關係元素，時時刻刻提醒民眾。</p>
<p><b>(三)鼓勵民眾參考「臺灣海鮮選擇指南」選擇對的海鮮</b></p>	<p>利用臺灣海洋保育與漁業永續基金會與中央研究院數位文化中心共同發布的「臺灣海鮮指南」，帶領民眾認識對海洋友善的海鮮選擇方式，將觀念推廣出去。</p>
<p><b>六、人才培育</b></p>	
<p><b>(一)積極培育「珊瑚公民科學家」</b></p>	<p>邀請海洋志工、潛水教練或是喜愛海洋的民眾參與成為「珊瑚公民科學家」，訓練為具備基本調查能力之珊瑚調查人員，可共同合作協助珊瑚的調查、監測與保育。透過舉辦工作坊或固定時段課程，引領他們從最基本的珊瑚開始認識，後續也需要</p>

	討論如何改進技術和持續維護，才能獲得更好的保育和復育成效。
(二)與在地居民長期合作	積極募集在地社區有意願之民眾或潛水業者，共同參與珊瑚調查計畫。因其地域優勢，除了對當地海域有一定程度的熟悉外，相較於從外縣市前來的研究學者，還節省往來目的地的時間。未來他們在帶領遊客，也順勢會向遊客介紹自己的「成果」，甚至教導遊客正確的觀念和做法，傳承下去。

## 第十章 結語

雖然臺灣是全球珊瑚礁中珊瑚白化的熱點，但社會經濟和科學技術發達，適合發展將珊瑚礁復育作為改善此珍貴又脆弱生態系統服務的策略。回顧臺灣珊瑚保護和保育的歷史發展，由 1984 年第一個國家公園—墾丁國家公園成立、2007 年東沙環礁國家公園成立、2014 年澎湖南方四島國家公園成立，使得擁有發育良好珊瑚礁的這三個海域的海洋保護區網絡具體形成。加上 2000 年海生館開館，建立國際著名的大型活珊瑚展示和陸上珊瑚農場，進而至中央級部會「海洋委員會」與「海洋保育署」於 2018 年成立，開啟海洋保育元年，努力邁向「潔淨海水」、「健康棲地」、「永續資源」的目標。期許經由結合珊瑚原地和異地的保育與復育，也支持聯合國生態系復育十年(2021-2030)和海洋科學促進永續發展(2021-2030)計畫，強化珊瑚調適與適應人類世劇烈和巨大改變的環境，使珊瑚礁與人類繼續共存共榮。

## 主要參考文獻

- 王立志、王瑞香、吳海音等。2017。生態學：概念與應用。東華書局。
- 王瑋龍、劉少倫、林謬伯。2020。墾丁海藻圖鑑。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 臺灣咾咕嶼協會。2019。小琉球海洋監測公民科學家培育工作坊成果報告。海洋委員會海洋保育署非科技計畫。
- 吳佳珍。2020。復育與療癒之路——種珊瑚的人。經典 265: 1-18。
- 松。2021。海水魚・珊瑚觀賞與飼養指南。文國書局。
- 邵廣昭。1998。海洋生態學。明文書局。
- 李逸環、楊清閔、李展榮、樊同雲。2011。環境與氣候變遷下珊瑚礁可能的庇護所與保育管理。珊瑚世界的探索與了解, 7-17 頁。國立海洋生物博物館。
- 林家魁。2014。南中國海珊瑚礁底棲群聚結構的空間與時間比較。國立東華大學海洋生物多樣性及演化研究所碩士論文。53-54 頁。
- 海洋委員會。2021。臺灣白海豚保育計畫。海洋委員會。
- 張水鍇、劉莉蓮、樊同雲。2019。108 年琉球鄉海洋社區三生永續發展整合計畫(一)。屏東縣政府。
- 張水鍇、劉莉蓮、樊同雲。2020。109 年琉球鄉海洋社區三生永續發展整合計畫(二)。屏東縣政府。
- 張暉。2016。給新手的珊瑚飼育指南。楓葉社文化。
- 黃之暘、何源興、陳文義、郭慶老。2012。觀賞水族產業發展與管理。行政院農業委員會水產試驗所。
- 黃佳琳。2020。海洋臺灣：大藍國土紀實。經典雜誌。
- 陳明德、陳宏瑜、周文臣等。2020。海洋科學概論暨其時代議題。國立臺灣海洋大學出版中心。
- 陳昭倫。2018。107 年墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫成果報告。墾丁國家公園管理處辦理計畫。
- 陳昭倫。2019。108 年度珊瑚礁生態系調查計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。
- 陳昭倫、鄭明修。2019。108 年度南沙太平島海洋生態系調查計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫。
- 葉宗旻、樊同雲。2019。打造屬於珊瑚的挪亞方舟——為珊瑚未來可能的巨變預作準備。奧秘海洋 98:4-7。
- 鄭有容。2019。東沙環礁國家公園海域資源評析。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 樊同雲。2008。海洋生態重建復育不是夢——以珊瑚礁復育為例。海洋新世紀：21 世紀藍色革命新時代，高雄市政府海洋局。128-134 頁。
- 樊同雲。2012a。珊瑚對海水溫度變動反應的探索。科學月刊 509:392-393。
- 樊同雲。2012b。全球氣候變遷對珊瑚礁的衝擊與調適。海洋高雄 33:16-19。
- 樊同雲。2018。珊瑚水產養殖的興起。科學發展 551: 16-20。
- 樊同雲、蔡喬欣(2014)小琉球的海洋生態保育。臺灣濕地雜誌 95:24-27。
- 樊同雲、葉宗旻、藍國維。2021a。恆春墾丁珊瑚大白化怎麼辦？危機，

- 轉機，利基！奧秘海洋 110: 14-21。
- 樊同雲、葉宗旻、譚之叡、墨心慈、鄭群學、藍國維。2021b。搶救珊瑚大作戰！奧秘海洋 111: 28-35。
- 賴榮興。2019。寶石珊瑚：臺灣紅金傳奇。宜蘭縣立蘭陽博物館。
- 戴昌鳳。2014。臺灣區域海洋學。國立臺灣大學出版中心。
- 戴昌鳳、林松霖。2011a。臺灣珊瑚礁地圖(上)：臺灣本島篇。天下文化。
- 戴昌鳳、林松霖。2011b。臺灣珊瑚礁地圖(下)：離島篇。天下文化。
- 戴昌鳳、鄭有容。2020。臺灣珊瑚全圖鑑(上)：石珊瑚。貓頭鷹出版。
- 戴昌鳳、秦啟翔。2017。東沙八放珊瑚生態圖鑑。內政部營建署海洋國家公園管理處。
- 戴昌鳳、秦啟翔、鄭安怡。2013。東沙珊瑚生態圖鑑。內政部營建署海洋國家公園管理處。
- 羅凱安。2009。小琉球生態旅遊資源調查及規劃執行案。屏東科技大學。
- Allen GR. 2008. Conservation hotspots of biodiversity and endemism for Indo-Pacific coral reef fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18: 541 - 556.
- Bostrom-Einarsson L, Babcock RC, Bayraktarov E, et al. 2020. Coral restoration - A systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLOS ONE* 15: e0226631.
- Carpenter KE, Abrar M, Aeby G, et al. 2008. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science* 321:560-563.
- Chen CC, Tew KS, Ho PH, et al. 2017. The impact of two oil spill events on the water quality along coastal area of Kenting National Park, southern Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 124: 974 - 983.
- Cote IM, Reynolds JD. 2006. Coral reef conservation. Cambridge University Press.
- Darling ES, McClanahan TR, Maina J, et al. 2019. Social-environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. *Nature Ecology & Evolution* 3:1341-1350.
- dela Cruz DW, PL Harrison. 2020. Enhancing coral recruitment through assisted mass settlement of cultured coral larvae. *PLOS ONE* 15: e0242847.
- De Groot RS, Blignaut J, Van Der Ploeg A, et al. 2013. Benefits of investing in ecosystem restoration. *Conservation Biology* 27: 1286-1293.
- Goergen EA, Schopmeyer S, Moulding AL, et al. 2020. Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 279. Silver Spring, MD. 145 pp.
- Hartmann AC, Sandin SA, Chamberland VF, et al. 2015. Crude oil

- contamination interrupts settlement of coral larvae after direct exposure ends. *Marine Ecology Progress Series* 536: 163 – 173.
- Hughes TP, DR Bellwood, SR Connolly, et al. 2014. Double jeopardy and global extinction risk in corals and reef fishes. *Current Biology* 24: 2946–2951.
- Maynard JA, Marshall PA, Parker B, et al. 2017. A guide to assessing coral reef resilience for decision support. Nairobi, Kenya: UN Environment.
- Maynard N, Cha`teau PA, Ribas-Deulofeu L, et al. 2019. Using internet surveys to estimate visitors' willingness to pay for coral reef conservation in the Kenting National Park, Taiwan. *Water* 11: 1411.
- McCauley DJ, Pinsky ML, Palumbi SR, et al. 2015. Marine defaunation: Animal loss in the global ocean. *Science* 347:248–254.
- Morikawa MK, Palumbi SR. 2019. Using naturally occurring climate resilient corals to construct bleaching-resistant nurseries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116: 10586–10591.
- Negri AP, Brinkman DL, Flores F, et al. 2016. Acute ecotoxicology of natural oil and gas condensate to coral reef larvae. *Scientific Report* 6: 21153.
- Nordborg FM, Flores F, Brinkman DL, et al. 2018. Phototoxic effects of two common marine fuels on the settlement success of the coral *Acropora tenuis*. *Scientific Report* 8.
- Oladi M, Shokri MR. 2021. Multiple benthic indicators are efficient for health assessment of coral reefs subjected to petroleum hydrocarbons contamination: A case study in the Persian Gulf. *Journal of Hazardous Materials* 409: 124993.
- Prideaux B, Pabel A. 2018. Coral reefs: Tourism, conservation and management. Australia: Routledge.
- Rinkevich B. 2020. Ecological engineering approaches in coral reef restoration. *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsaa022.
- Shaver EC, Courtney CA, West JM, et al. 2020. A manager's guide to coral reef restoration planning and design. NOAA Coral Reef Conservation Program. NOAA Technical Memorandum CRCP 36, 128 pp.
- Tseng WWC, Hsu SH, Chen CC. 2015. Estimating the willingness to pay to protect coral reefs from potential damage caused by climate change: The evidence from Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 101: 556 – 565.
- Turner NR, Renegar DA. 2017. Petroleum hydrocarbon toxicity to

- corals: a review. *Marine Pollution Bulletin* 119: 1 - 16.
- West JM, Salm RV. 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology* 17:956-967.
- Woodhead AJ, Hicks CC, Norstrom AV, et al. 2019. Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Functional Ecology*. 33:1023 - 1034.

## 附錄二、「臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃」期中審查會議委員意見回覆

壹、時間：110 年 7 月 15 日（星期四）上午 10 時

貳、地點：線上視訊會議

參、主持人：林組長美朱 紀錄：邱炤茹

肆、出席人員：（詳如會議簽到單）

伍、主席致詞：（略）

陸、業務單位報告：（略）

柒、委辦廠商簡報：（略）

捌、與會人員與單位代表發言內容及書面意見：

委員一：

問題	回答
1. 使用目前的方法調查珊瑚礁，缺乏參考以及比較上的價值，只有引起注意的效果，適合地方級、社團級活動，不適合中央級資金投入型。專家審查的計畫，應運用專業及民間力量，建立可行的長期監測固定測線與框架，減少人為因素的影響。（請參考「珊瑚總體檢」計畫結論）	1. 此為國際和學術珊瑚研究認可的方法，然後再簡化工作量與分析到珊瑚和藻類等容易辨識的生物類別，因此本團隊能夠積極培育各地區當地的公民科學家，希望透過民間的力量得到較多樣社群支持和可靠的科學調查數據，藉以讓政府單位在支持調查珊瑚礁時，也吸引更多的民間資源進來，促進永續經營的發展。 2. 短期，如一年期計畫並不適用固定測線，因為成本高、固定標記不易維護和再次找到。而本團隊訓練培育的人員，以當地潛水業者和教練為主，他們對當地珊瑚礁地形最熟習，也經常潛水，並鼓勵使用固定測線與框架以長期監測。
2. 監測系統網絡重點應指網路上（Internet）建立一個有效的東西，而不只是研習會上的交流，兩者效果差很多，影響力更是前者的潛力大。	網路上是使用珊瑚網，珊瑚資料庫分為專業人員和公民科學家來使用，以開放較為簡易分析的資料庫給社會大眾去做學習以及認識珊瑚的推廣教育。工作坊是面對面教學與交流，兩者相輔相成，成效與影響力更大。

3. 設置人工場域的監測系統，有「所為何來」的疑慮，因為結果無利於公共事務，且可操控性大，業主須考量。	野外和人工場域珊瑚的調查都有其意義與價值，能夠正確掌握實際狀況才能有效管理和保育，也應該表揚那些珊瑚繁養殖技術優良和注重保育的水族館，涉及公立和民間水族館即是公共事務，有資料才能分析與比較，然後改進。
4. 「Coral Net」適合專家，民間意願待考驗。應請民間提供大量照片，再由專家進行分析，意願可能會提高，因為大家都想了解當地早期與現今狀況的差異。	現今越來越多人投入珊瑚礁的調查，線上珊瑚網(CoralNet)不單單只是專家做影像分析，公民科學家也可以先從珊瑚和藻類等容易辨識的生物類別人機合作地進行學習。
5. 各地點的特色威脅和解決方案、權責單位，是否列一張表？以利推動與改進。	將製作簡明的表說明各地點的特色威脅和解決方案、權責單位(詳如附錄三)。

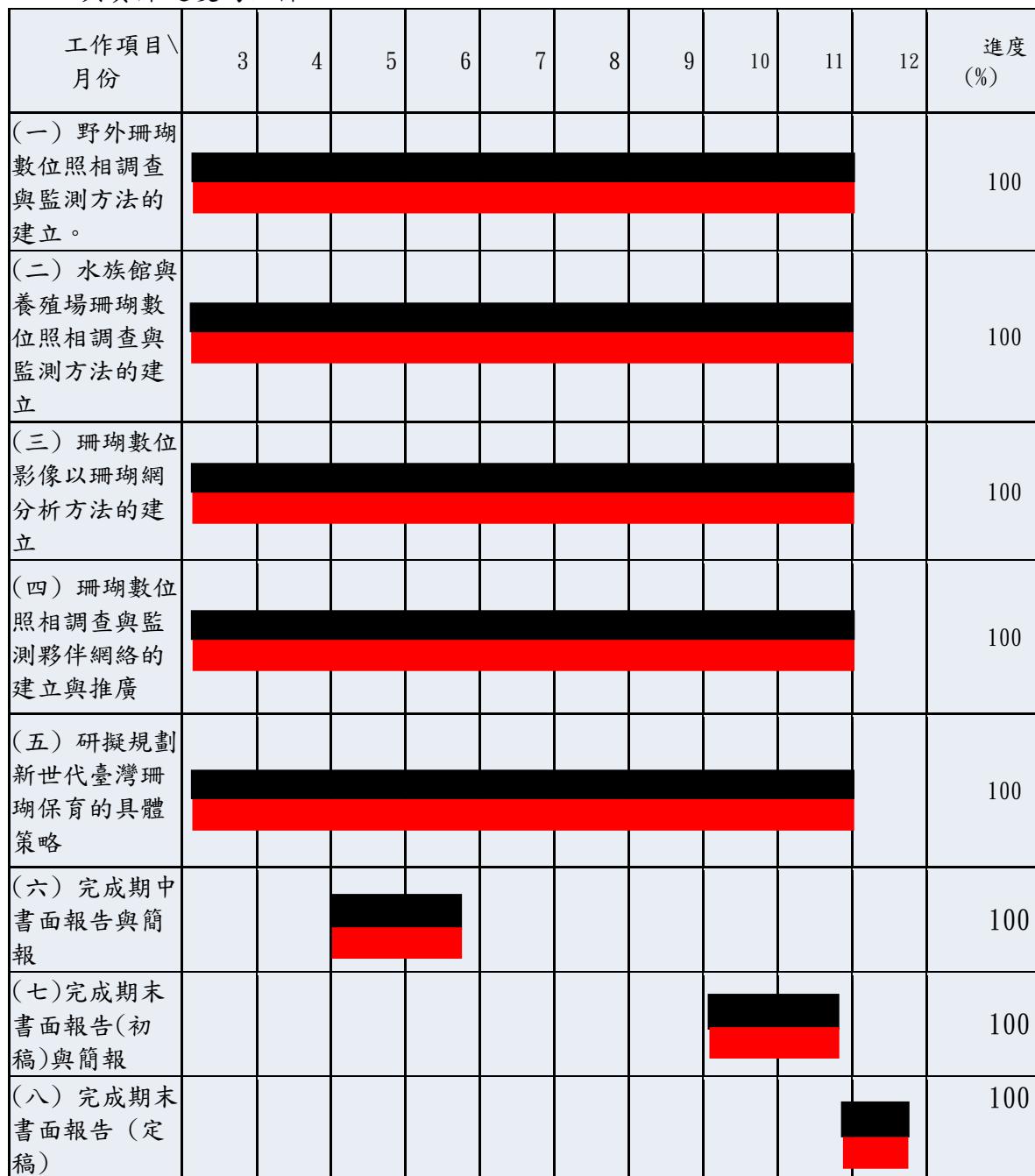
委員二：

問題	回答
1. 請附地圖說明每一個調查地點位置。	遵照辦理。
2. 基質是否有細分為沙、泥、岩石等？若有，能否寫出各樣點的基質。	在珊瑚網上分析時，點擊的標籤會顯示基質的細項分類，但最終圖表的統整會整合基質在一起，因其數量少，以及此調查著重在珊瑚和藻類的數量。
3. 覆蓋率的圖宜有樣本數量，樣本數的多寡會影響可信度。在方法上也應說明每一橫截線各取多少照相框架。	覆蓋率的調查基本上每個地點的不同深度會有3條各30公尺的橫截線，1條線上拍攝約90張照片，一個深度約270張照片，一個地點共有二個深度，故共約540張照片。
4. 調查資料中是否有海草出現在樣點？尤其是小琉球。	調查地點在潮下帶的珊瑚礁或岩礁區，並無海草出現。
5. 在澎湖調查中提出較易看見珊瑚的天敵海星，此狀況在小琉球是否也有發現？海星是珊瑚掠食者資料可放入報告。另外此發現是透過照片還是在潛水調查時會一併查看？	吃珊瑚的海星在澎湖較易看見，小琉球並未發現。資料已放入報告。此發現在照片有，潛水調查時也會一併查看。
6. 白化珊瑚是否可在圖表中表示？	目前分析的結果並未呈現珊瑚大白化現象，如果有會就結果資料

	去加以討論。
7. 大型藻、毛叢藻如有種類亦可列出。	因為著重在珊瑚的分析，所以藻類僅分為珊瑚藻、大型藻和毛叢藻。

委員三：

請將預定進度與實際進度做出對照表，以利本署查核。預定進度為黑條與實際進度為紅條。



委員四：

問題	回答
1. 全文內包括摘要、前言以及材	基本設計是本島的南部、東部、北

<p>料方法，談到有關野外及保育監測等示範點，選擇數量並不一致，有時是四個，有時五個，請說明原因。</p>	<p>部、和西側離島等四個地區，每個地區選擇至少3個過去珊瑚調查與監測資料較多的地點。由於使用珊瑚網分析影像可大幅提升工作效率，因此加上擴增站點，以更全面和完整瞭解各地珊瑚數量現況。</p>
<p>2. 本計畫工作內容較多，建議以表列說明完成項目，與預訂事項進行比對，也請說明相關工作是否因疫情影響而調整。</p>	<p>遵照辦理。因為今年疫情，部分野外調查和工作坊的執行都需要等到該地方政府單位核准才能進行而有調整。人員訓練和數據分析的部分則已提前進行。</p>
<p>3. 在前言各個主題段落，建議加上標題(盡量與本案工作項目切合)，而這些項目也盡量與結果討論能夠彼此對應，便於閱讀及理解。</p>	<p>好的，謝謝提點細項。關於報告內容會再進行改進，以利閱讀及理解。</p>
<p>4. 結果中談到有關珊瑚礁小琉球漁埕尾藻類為轉為優勢，請問比較的基礎是依據過去資料或者經驗判斷？請說明。此外，承上藻類優勢是否因此造成海龜數量上升的原因，兩者之間該如何取捨平衡。</p>	<p>1. 小琉球有過去不同時間的調查報告資料可比較，也結合學者和當地居民的經驗，皆顯示珊瑚大量減少，轉變為海藻為優勢。 2. 團隊並無海龜專業，期望未來能有相關藻類研究以及海龜數量變動的專業學者，在未來能一同合作探討。</p>
<p>5. 表二第15頁說明珊瑚礁體檢的資料，南部的後壁湖及和界皆有出現"月份"，此月份是否"特別"，需要提出，若然，請標註說明。同樣P15-16頁有關在發展狀況欄位中多數為空白，請說明原因。部分完成調查(?)在發展狀態欄位標註"失能、衰退或者穩定"的狀況，請在材料方法章節時，及時提出這三種健康狀態的判斷原則，如目前編排是在討論時才說明(P29)，這樣在成果表閱讀時不易理解</p>	<p>1. 月份標註主要是因為去年發生珊瑚大白化的現象，所以珊瑚礁體檢團隊在年初做一次調查，後續又在年底做一次，因此標注月份。 2. 發展狀況是新建議的分類標準，珊瑚覆蓋率<math>&lt;10\%</math>且珊瑚/藻類比例<math>&lt;0.1</math>：失能、珊瑚覆蓋率10-30%且珊瑚/藻類比例<math>\leq 0.5</math>：衰退、珊瑚覆蓋率30-50%且珊瑚/藻類比例<math>&gt;0.5</math>：穩定、珊瑚覆蓋率<math>&gt;50\%</math>：健康。已在研究方法中說明。</p>
<p>6. 有關內容圖表：內圖例的字體太小，加上不同項目以灰階區隔造成不易判讀，此外P.13為例，說明杭灣覆蓋率兩個深度間圖示之縱座標尺度並不一</p>	<p>圖例已改進以同樣顏色、樣式呈現。不同深度的比較放在同一張圖中，珊瑚屬因數量差異大，分成不同圖和縱座標尺度而較易看出差異。問卷調查結果暫先保</p>

<p>致，閱讀時可能第一時間會造成困混淆，建議一致化，甚至兩圖可以合併，更可以看出深度間優勢物種的差異。在 P. 23-25 問卷調查結果，圖表標示以灰階呈現，字體也太小，也請思考這些同性質具比較性質的圖進行整合。</p>	<p>留，或之後移至附錄。</p>
<p>7. 工作坊的參加成員資料補列簽到表外，是否有造冊？計畫完成後將成為署內推動珊瑚礁保育的在地人力資源。</p>	<p>每個工作坊場次都有成員名冊和簽到表，如果需要在地人力名冊的話，可以另行提供。</p>
<p>8. 是否可由這一次油汙影響事件，檢討珊瑚礁生態系在島嶼地形或者保護區內，面臨危機處理時，所需要的 SOP，以及目前環保署所規範海洋污染危機應變在人力與及物力上，針對珊瑚礁生態，需要加強或防災料件庫存的質與量的實際需求檢討，提供海保署建議。</p>	<p>油汙處理改善並非此計畫工作，抱歉無法提供。油污影響調查結果建議詢問小琉球和墾丁的主管機關。</p>

#### 玖、結論：

本次審查原則通過，請執行單位參考委員意見修改，並將意見及回應說明於期末報告書附錄中表列。

拾、散會：上午 11 時 30 分。

### 附錄三、各地珊瑚礁與珊瑚群聚的威脅與 解決方案表

地區	特色	面臨威脅	解決方案	權責單位
小琉球	1. 热帶珊瑚礁孤島。 2. 全年適合海域活動。 3. 海龜數量多。 4. 由早期全臺珊瑚最佳嚴重衰退為最差，珊瑚群聚現況不是失能就是衰退。	過漁 人為污染 人為破壞 海藻爆發 颱風 熱浪	1. 海洋保護區。 2. 土地管理與汙水處理。 3. 遊客控管。 4. 教育宣導。 5. 珊瑚復育。	海保署 屏縣府 鵬管處 漁業署 環保署
恆春半島	1. 受黑潮水、南海水和間歇性湧升流交替影響的熱帶珊瑚礁半島。 2. 核三廠進水口礁區為完全保護區，出水口礁區為耐熱珊瑚培育地。 3. 擁有第一個國家公園、國家水族館。	過漁 人為污染 人為破壞 海藻爆發 熱浪 颱風	1. 海洋保護區。 2. 土地管理與汙水處理。 3. 遊客控管。 4. 教育宣導。 5. 珊瑚復育。	海保署 墾管處 屏縣府 漁業署 環保署
東臺灣	1. 亞熱帶珊瑚群聚零星分布。 2. 海岸湧浪持續且強勁。	過漁 人為污染 人為破壞 颱風	1. 海洋保護區。 2. 土地管理與汙水處理。 3. 遊客控管。 4. 教育宣導。	海保署 東管處 縣市政府 漁業署 環保署
北臺灣	1. 亞熱帶珊瑚群聚與岩礁生態系。 2. 已發展養殖池珊瑚苗圃。 3. 政治經濟中心	過漁 人為污染 人為破壞 海藻爆發 颱風 熱浪	1. 海洋保護區。 2. 土地管理與汙水處理。 3. 遊客控管。 4. 教育宣導。 5. 珊瑚復育。	海保署 北觀處 縣市政府 漁業署 環保署
澎湖	1. 棲地廣大且多樣的群島，擁有熱帶珊瑚礁與亞熱帶珊瑚群聚。 2. 珊瑚復育與經濟旅遊發展共榮。	過漁 人為污染 人為破壞 海藻爆發 棘冠海星 爆發 寒害 颱風 熱浪	1. 海洋保護區。 2. 土地管理與汙水處理。 3. 遊客控管。 4. 教育宣導。 5. 珊瑚復育。	海保署 澎湖縣市政府 漁業署 環保署

## 附錄四、臺灣珊瑚監測方法與數位影像分析標準化操作手冊

110-C-36

臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃

## 臺灣珊瑚監測方法與數位影像分析 標準化操作手冊

海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫  
中華民國 110 年 12 月

# 目錄

第一章、野外珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作法 .....	121
一、前置作業 .....	121
(一) 所需裝備 .....	121
(二) 水下數位相機設定 .....	121
二、監測方法 .....	122
三、操作流程 .....	122
(一) 分工 .....	122
(二) 注意事項 .....	124
第二章、水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作法 .	125
一、前置作業 .....	125
二、監測方法 .....	125
三、操作流程 .....	125
(一) 牛耕式攝影法 .....	125
(二) 注意事項 .....	126
第三章、珊瑚數位影像分析方法標準化操作法 .....	128
一、前置作業—照片彙整 .....	128
(一) 整理照片 .....	128
(二) 裁切照片 .....	128
(三) 變更照片名稱 .....	129
二、操作流程—CoralNet 使用方法 .....	129
(一) 加入會員 .....	129
(二) 上傳照片(含建立照片資訊) .....	131
(三) 照片分析 .....	133
三、取得分析數據—下載 Excel 檔案 .....	136
(一) 操作步驟 .....	136
(二) 分析數據呈現 .....	136
附件、各 Source 標籤名稱中英文對照表 .....	138

# 第一章、野外珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作法

## 一、前置作業

### (一) 所需裝備

皮尺(拉測線<sup>1</sup>)、水下數位相機(Olympus TG 系列)、照相框架(底部長寬 35 公分\*35 公分、高度 60 公分)。



▲ 皮尺



▲ 水下數位相機



▲ 照相框架

### (二) 水下數位相機設定

- a. 攝影模式：水下廣角模式
- b. 白平衡：水下自動白平衡
- c. 畫質設定：4000\*3000 pixel (相機像素)
- d. 壓縮：Fine
- e. ISO：自動
- f. 自動對焦
- g. 關閉閃光燈

---

<sup>1</sup>測線(survey line)：按照一定的比例尺，沿著觀測點連成的一條觀測線。

## 二、監測方法

- (一) 調查深度：淺區(水深約 1-5 公尺)和深區(水深約 6-10 公尺)。
- (二) 測線數量：每條 30 公尺，拉 3 條，共 90 公尺。
- (三) 照相影像數量：每條測線拍 90 張照片，每樣點拉 3 條測線，總共 270 張照片。
- (四) 人力配置：2 至 3 人。
- (五) 裝備分配：

[二人團隊]

1. 底棲調查員 A：3 組 50 公尺皮尺、一組照相框架、一臺水下數位相機。
2. 底棲調查員 B：一組照相框架、一臺水下數位相機。

[三人團隊]

1. 佈線員 A：3 組 50 公尺皮尺、一臺水下數位相機。
2. 底棲調查員 B 和 C：各別攜帶一組照相框架和一臺水下數位相機。

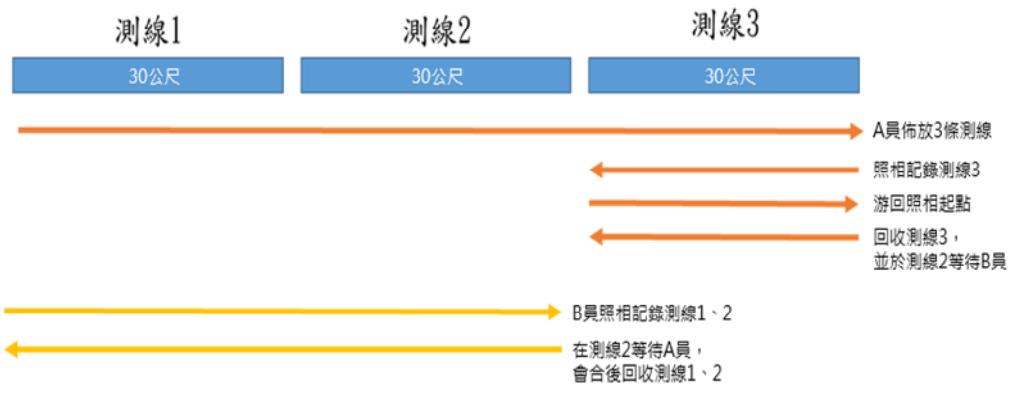
## 三、操作流程

### (一) 分工

[二人團隊]

1. 潛伴彼此檢查潛水裝備、作業工具與相機設定。
2. 潛水到達深區調查點後，由底棲調查員 A 沿等深線佈放 3 條的 30 公尺測線(每一條測線拉出 30 公尺後，將皮尺繼續串接或固定於某處)，並照相記錄測線 3 的底棲生物與基質，完成照相紀錄後，回收測線 3 的皮尺。
3. 底棲調查員 B 照相記錄測線 1 與 2，完成照相紀錄後，在測線 2 等待另一名潛水員返回，再一同回收測線 1 與 2。

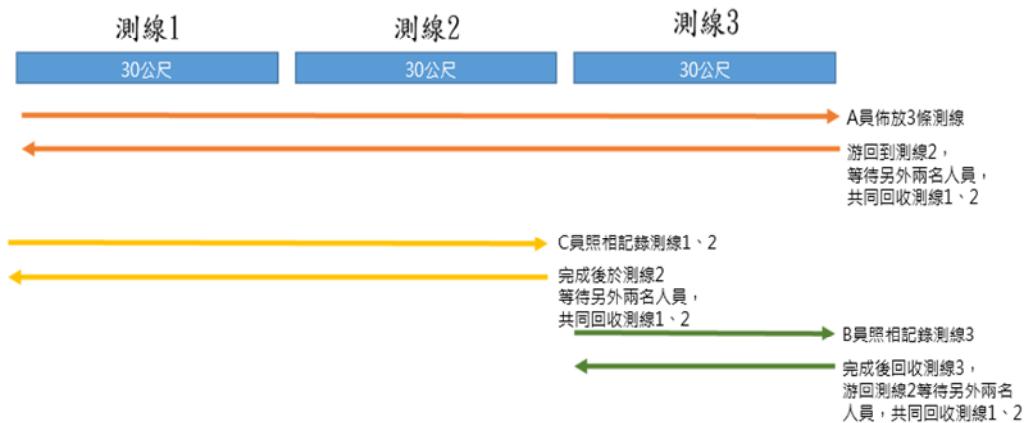
4. 深區作業完成後一同游至淺區，重複流程 1.~3.。



▲ 人員作業示意圖  
(橘線為底棲調查員 A，黃線為底棲調查員 B)

[三人團隊]

1. 潛伴彼此檢查潛水裝備、作業工具與相機設定。
2. 潛水到達深區調查點後，由佈線員 A 沿等深線佈放 3 條的 30 公尺測線(每一條測線拉出 30 公尺後，將皮尺繼續串接或固定於某處)。
3. 底棲調查員 B 游至測線 3，利用水下數位相機和照相框架，照相記錄測線上的底棲生物與基質，完成紀錄後回收測線 3 皮尺。
4. 底棲調查員 C 照相記錄測線 1 與 2，完成照相紀錄後於測線 2 等待其餘兩名潛水員返回，再一同回收測線 1 與 2。
5. 深區作業完成後一同游至淺區，重複流程 1.~4.。



▲ 人員作業示意圖  
(橘線為佈線員 A，綠線為底棲調查員 B、黃線為底棲調查員 C)

## (二) 注意事項

1. 每次拍攝時，照相框架輕碰珊瑚，確保距離「盡量一致」，也避免手指入鏡和照片模糊。
2. 須「沿著測線」逐張拍攝，不得隨意更換方向，測線盡量也以不入鏡為原則。
3. 建議每條測線至少拍 90 張以上的照片，以免最後數量不足或其他照片不適用時可以替補。



▲ 拍攝時留意珊瑚、距  
離與手指入鏡



▲ 正確、標準的照

## 第二章、水族館與養殖場珊瑚數位照相調查與監測方法標準化操作法

### 一、前置作業

(一) 所需裝備：水下數位相機(Olympus TG 系列)。

雖然水族館與養殖場的照片皆在陸地上拍攝，但由於拍攝主體是水中珊瑚，故建議使用水下數位相機拍攝較為合適。

(二) 水下數位相機設定：

- a. 攝影模式：水下廣角模式
- b. 白平衡：水下自動白平衡
- c. 畫質設定：4000\*3000 pixel(相機像素)
- d. 壓縮：Fine
- e. ISO：自動
- f. 自動對焦
- g. 關閉閃光燈

### 二、監測方法

(一) 拍攝原則：只要缸內有珊瑚的缸體皆為拍攝對象。

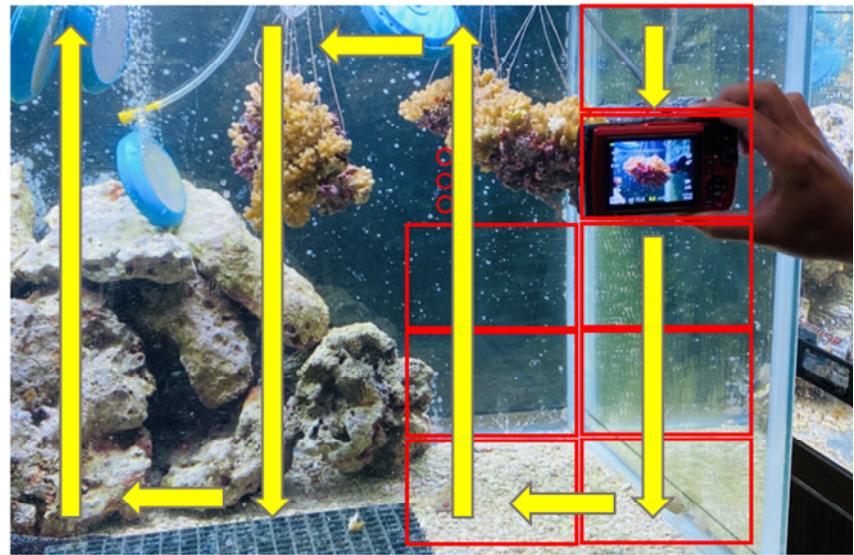
(二) 照片影像數量：依有珊瑚的缸體數量多寡而定。

(三) 人力配置：可1人作業。

### 三、操作流程

(一) 牛耕式攝影法

水族館與養殖場的調查方法相較於野外來說較為簡單。將相機平貼在缸體上，採用「牛耕式」攝影法，比照牛隻耕田拐彎的方式，第一行的拍攝方向為上至下，第二行的拍攝方向即為由下至上，第三行再以上至下的方式拍攝，以此類推。拍攝時務必連續性地逐張拍攝，以確保缸內珊瑚都有入鏡。



▲ 水族缸與養殖場照片採「牛耕式」攝影法逐張拍攝

## (二) 注意事項

1. 由於各家缸體大小、高度皆不同，故無固定之照片張數。但是照片畫面盡量不要重複，否則會影響整體數據呈現。
2. 若因光源波長不同，導致相機呈現的畫面難以觀看時，需手動調整相機內部設定。以 Olympus TG 系列為例：

a. 按 OK 鍵，找到「測試白平衡」的選項後，按下 INFO 鍵。



b. 將相機鏡頭對準缸內的底部(沙子部分)後按下快門。



c. 若顏色校正正確，選取「執行」後按下 OK 鍵；校正不正確則選到「取消」再拍一次直到校正正確。



## 第三章、珊瑚數位影像分析方法標準化操作法

### 一、前置作業—照片彙整

#### (一) 整理照片

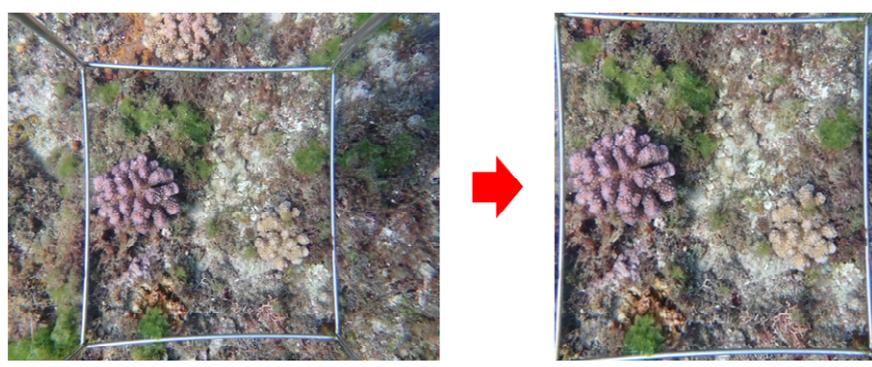
1. 按照地點、深度、測線編號來分類照片，並建立資料夾。
2. 刪除模糊失焦與樣框不完整的照片。
3. 確保取樣照片數量能夠滿足需求，各深度的照片數量皆要一致。

#### (二) 裁切照片

1. 裁切照片的用意是刪去多餘的地方(框外)，以免其他影像資料干擾到分析系統。可使用本實驗室開發的裁切小工具「box\_detect」。
2. 將照片放入小工具中的 input 資料夾。
3. 執行程式後，裁切好的照片會放置在 output 資料夾。



▲ 裁切小工具



▲ 照片裁切標準

4. 若有裁切失敗的照片，或是某張照片使得裁切小工具停止執行時，須以手動的方式裁切該照片(使用小畫家或其他圖片軟體)。

### (三) 變更照片名稱

1. 統一命名格式，以方便日後搜尋照片。
2. 建議檔名命名方式(可日後視需求調整)：

[野外照片]

日期(西元年月日)\_地區\_採樣點\_深度\_測線\_檔案名稱. jpg

[水族館與養殖場照片]

日期(西元年月日)\_缸體名\_檔案名稱. jpg

範例：

[野外]

20210401\_LQ(小琉球)\_HS(厚石裙礁)\_5m\_T1(第一條測線)\_4010094

(3). jpg

[水族館與養殖場]

20210401\_海生館尖枝鹿角缸\_405(3). jpg

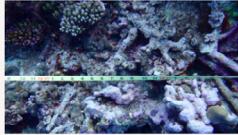
3. 可將同日期、同地區、同採樣點、同深度、同一條測線之照片檔案分類在一起重新命名(水族館與養殖場照片命名比照辦理)。

\*步驟：全選照片檔案→右鍵「重新命名」→輸入名稱→Enter  
(若後悔更改檔名，按 Ctrl+Z 復原)。

## 二、操作流程—CoralNet 使用方法

### (一) 加入會員(若已經是會員且已進入指定 Source 者可跳過)

1. 至 CoralNet 網站(<https://coralnet.ucsd.edu/>)依網站步驟註冊。



**CORALNET**  
A WEB SOLUTION FOR CORAL REEF ANALYSIS  
Upload coral reef images, organize and annotate images, and view annotation statistics.

[Sign In](#) [Register](#) [About](#)



Map Satellite

Google Imagery ©2021 NASA, TerraServer, Terms of Use

**REGISTER A NEW ACCOUNT**

Please read our data policy on the [About page](#).

用戶名(帳號) *	<b>Username:</b> <input type="text"/> Allowed characters: Letters, numbers, _ + . + @
* Email address:	<input type="text"/> For account activation, password recovery, site announcements, and correspondence about any labels you create
密碼 *	<b>Password:</b> <input type="password"/> Your password can't be too similar to your other personal information. Your password must contain at least 10 characters. Your password can't be a commonly used password. Your password can't be entirely numeric.
再次確認密碼	<b>Password confirmation:</b> <input type="password"/> Enter the same password as before, for verification.

Since we have open registration, we'd like to know a little more about you so we have confidence that you're a legitimate user. If you prefer, you can edit your account profile later to hide your personal details from public view.

名 *	<b>First name:</b> <input type="text"/>
姓 *	<b>Last name:</b> <input type="text"/>
所屬單位 *	<b>Affiliation:</b> <input type="text"/> Your university, research institution, etc.
* Reason for registering:	<b>註冊原因:</b> <input type="text"/>
* Project description:	<b>計畫描述:</b> <input type="text"/>

\* How did you hear about us?:  您是如何知道我們的?

\* I agree to the data policy:

**Register**

Problems with registration or activation? [Let us know](#) so we can help.

2. 提供用戶名(帳號)給該 Source 管理員，再透過後續操作獲得編輯權限。

Invites      Account (smerk)      Sign out

SITE NEWS

CoralNet is off out of Beta

A new Anno poster

Home Labels Invites Account

YOUR SOURCES

Source	Your Role
Taiwan coral reef survey	Admin
公民科學珊瑚	Admin

+ Create a new Source

SITE NEWS

CoralNet now estir  
CoralNet is official  
A new deep learnin

## (二) 上傳照片(含建立照片資訊)

- 野外珊瑚的 Source 為「Taiwan coral reef survey」，水族館與養殖場的 Source 為「Aquarium」，點進即將進行作業的 Source。

YOUR SOURCES

Source	Your Role
Aquarium	Admin
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
Taiwan coral reef survey	Admin
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]

- 點選 Upload，選擇 Upload Images，選取欲上傳的照片(可一次選多張)，再點選 Start upload 開始上傳。

Example source

Admin Upload Labelset Images Patches M

Source created: March 9, 2021, 10:01 p.m.

Default image annotation area: Y: 0 - 1000

Example source

MEMBERS AUT

Upload

UPLOAD

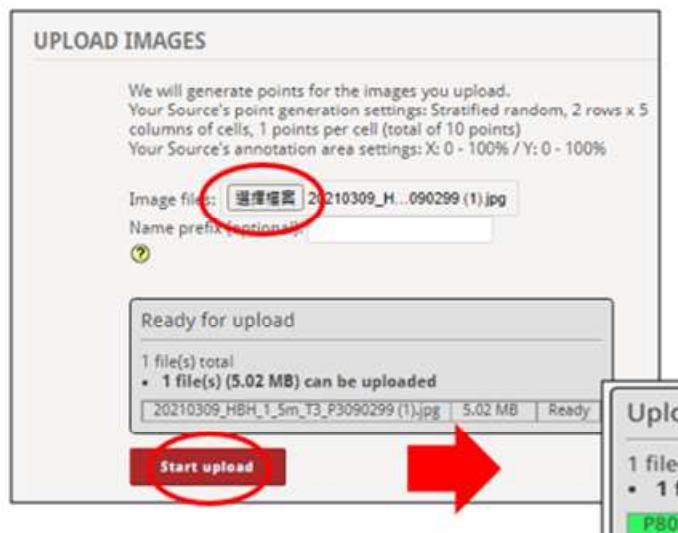
Choose what you want to upload.

Upload Images

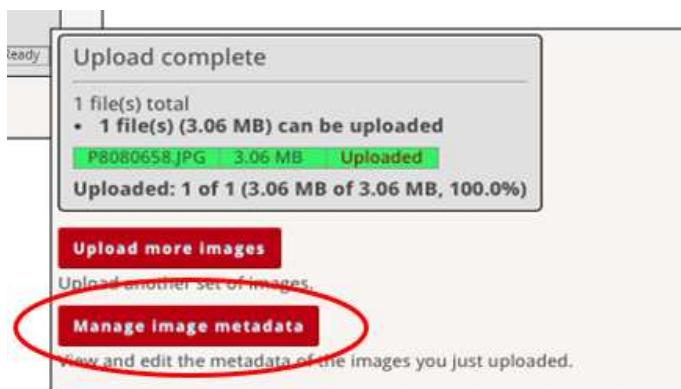
This is the first step: uploading the images you want to an

Upload Metadata

Adding metadata to your images makes it easier to search



3. 上傳完成後，點選 Manage Image Metadata(管理影像數據)。



4. 填寫日期、採樣點、測線、深度、拍攝者等，未來搜尋時就能透過這些資訊找到該照片。可參考已建立之分類標籤來輸入(上方搜尋條件點開即可看到)，分類更確實！

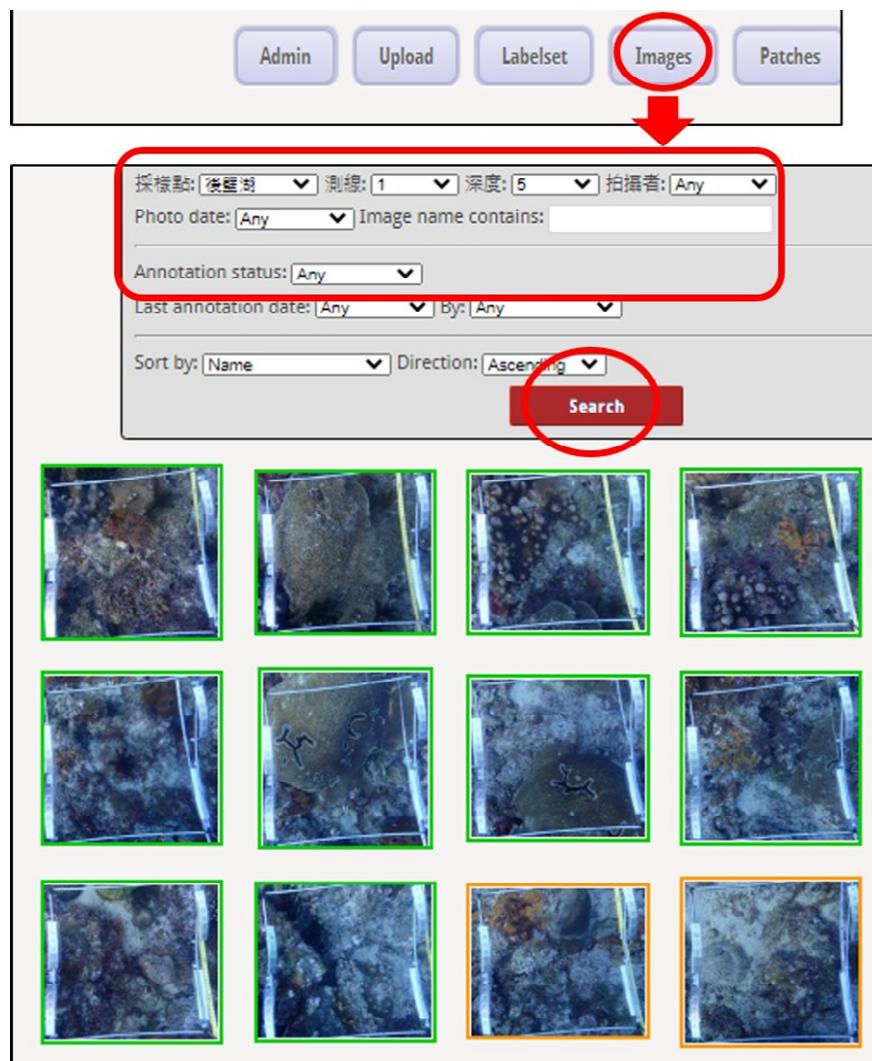
採樣點:	Any	測線:	Any	深度:	Any	拍攝者:	Any
Photo date:	Any	Image name contains:					
Annotation status:	Any						
Last annotation date:	Any	By:	Any				
<b>Search</b>							
<input type="checkbox"/>	Name	Link/Status	Date	採樣點	測線	深度	拍攝者
	20210401_LQ_HS_5m_T1_P123456.	Unconfirmed	2021-04-01	後壁湖	1	5	John

Showing 1 image results

**Save Edits** There are unsaved changes

### (三) 照片分析

1. 回到該 Source 首頁，點選 Images 後，設定分類選項來搜尋待分析的照片。



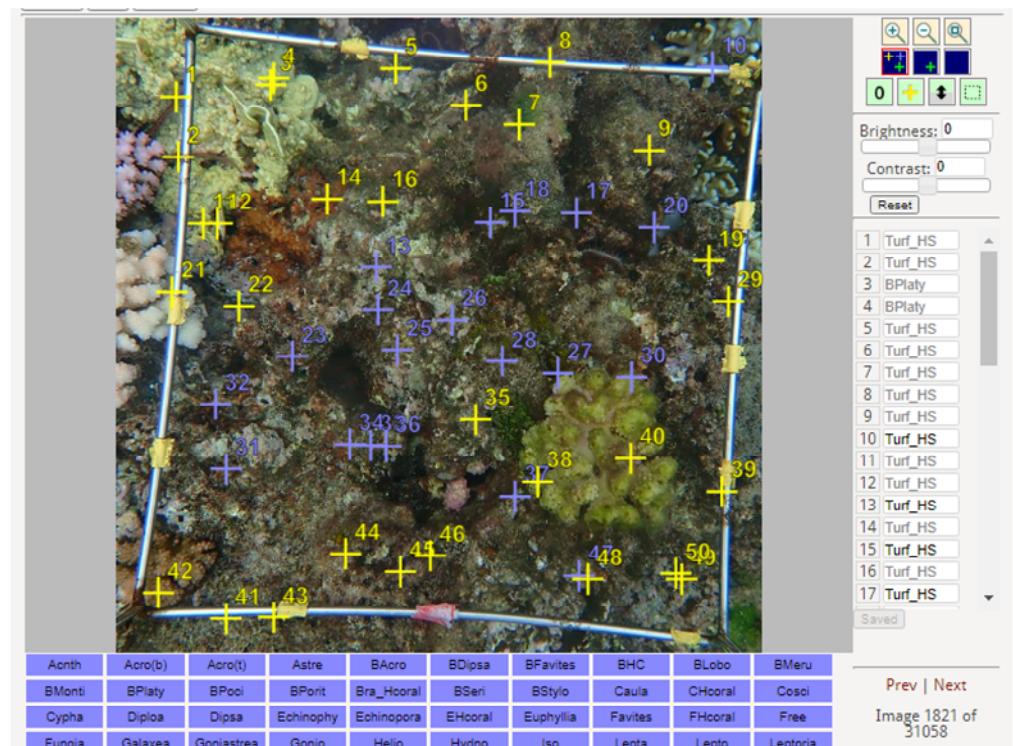
2. 照片外框顏色：

綠框→已鑑定；橘框→待人工鑑定；紅框→(電腦和人工)未鑑定

3. 點選「橘框」之外框照片，再點選 Annotation Tool(標註工具)。



4. 一張照片會隨機分散數個十字點，以手動的方式去確認種類。



## 5. 功能介紹：

左鍵→畫面拉近；右鍵→畫面拉遠；

Ctrl+左鍵→選取十字點；

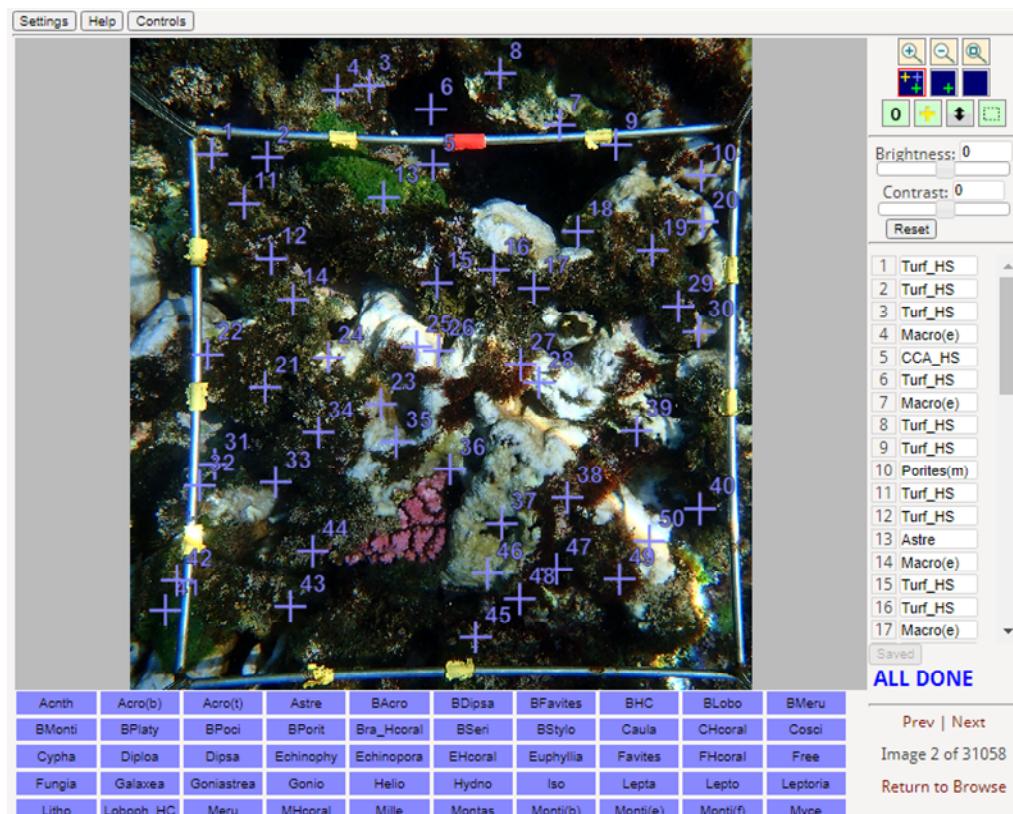
黃色十字→未被選取；綠色十字→已被選取；

紫色十字→已設定標註

6. 選取幾個自己可辨識種類的十字點(Ctrl+左鍵點選後變綠色)，畫面上會自動跳出「標註建議」，選擇當中的建議或是下方的「標籤」後，再按右上方的「0」，綠色十字會轉為紫色十字，代表該十字標註完成。



7. 記得隨時按下 Save progress 儲存！若全部標註完成會顯示「ALL DONE」，即可按下方的 Next 繼續標註。



8. 各 Source 標籤中英文對照表詳如附錄。

### 三、取得分析數據—下載 Excel 檔案

#### (一) 操作步驟

1. 點選 Images，與搜尋欄位設定所需資訊後按下 Search。
2. 確定所顯示的照片為需要的數據資料，於下方 IMAGE ACTIONS 處依序設定後按 Go 開始下載檔案：

Export → Image Covers → A11 XXX(照片數量) image results  
 →Short code 或 Full name(依需求設定) → Excel  
 workbook with meta information

#### (二) 分析數據呈現

1. 將下載的檔案開啟後，即可看見每一張照片的分析數據。可依研究需求再延伸出其他計算方式。

\*以「列」觀看：每一張照片底棲物種覆蓋率，加總為 100%。

\*以「行」觀看：在當初搜尋設定的範圍中，某物種種類的平均覆蓋率，數據會在最下方顯現。

## 附件、各 Source 標籤名稱中英文對照表

[野外]

Acnth	Acro(b)	Acro(t)	Astre	BAcro	BDipsa	BFavites	BHC	BLobo	BMeru
BMonti	BPlaty	BPocl	BPorit	Bra_Hcoral	BSeri	BStylo	Caula	CHcoral	Cosci
Cypha	Diploa	Dipsa	Echinophy	Echinopora	EHcoral	Ephyllia	Favites	FHcoral	Free
Fungia	Galaxea	Goniastrea	Gonio	Helio	Hydro	Iso	Lepta	Lepto	Leptoria
Litho	Loboph_HC	Meru	MHcoral	Mille	Montas	Monti(b)	Monti(e)	Monti(f)	Myce
Other_HC	Oulo	Oxyp	Pachy	Pavo(e)	Pavo(f)	Pavo(m)	Phymas	Physo	Platy
Plero	Poci	Porites(b)	Porites(m)	Psammo	Scapo	Seria	Stylo	Sym	Tubas
Turbi	Anemone	BHelio	Biva	BMille	Briare	BSC	Coralmorph	Giant clam	Gorgo
Hydrocoral	Junc	Lobophy_SC	Nephthya	Octocoral	Other_SC	Sarco	Sea urchin	Sinu	Sponge
Zoan	Fine	Sand	CCA_HS	CCA_rubble	HS	Turf_HS	Turf_rubbl	M fauna	Shadow
Transect	Un	BG_macro	Bro_macro	Dead_HC	G_macro	Macro(e)	Macro(up)	R_macro	

標籤名	中文名
Acnth	棘星珊瑚屬
Acro(b)	(分枝形)軸孔珊瑚屬
Acro(t)	(桌形)軸孔珊瑚屬
Astre	星孔珊瑚屬
BAcro	白化的軸孔珊瑚
BDipsa	白化的盤星珊瑚
BFavites	白化的角菊珊瑚
BHC	白化的活石珊瑚
BLobo	白化的瓣葉珊瑚
BMeru	白化的繩紋珊瑚
BMonti	白化的表孔珊瑚
BPlaty	白化的腦紋珊瑚
BPocl	白化的鹿角珊瑚
BPorit	白化的微孔珊瑚
Bra_Hcoral	分枝的活石珊瑚
BSeri	白化的列孔珊瑚
BStylo	白化的萼柱珊瑚
Caula	幹星珊瑚屬
CHcoral	柱狀石珊瑚
Cosci	篩孔珊瑚屬
Cypha	細星珊瑚屬
Diploa	雙星珊瑚屬
Dipsa	盤星珊瑚屬
Echinophy	刺葉珊瑚屬
Echinopora	棘孔珊瑚屬
EHcoral	表覆形石珊瑚
Ephyllia	真葉珊瑚屬
Favites	角菊珊瑚屬

FHcoral	葉形石珊瑚
Free	游離形石珊瑚
Fungia	蕈珊瑚屬
Galaxea	棘杯珊瑚屬
Goniastrea	角星珊瑚屬
Gonio	角孔珊瑚屬
Helio	藍珊瑚屬
Hydno	碓珊瑚屬
Iso	同孔珊瑚屬
Lepta	柔星珊瑚屬
Lepto	柔紋珊瑚屬
Leptoria	迷紋珊瑚屬
Litho	靈芝珊瑚屬
Loboph_HC	瓣葉珊瑚屬
Meru	繩紋珊瑚屬
MHcoral	團塊形石珊瑚
Mille	千孔珊瑚屬
Monti(b)	(分枝形)表孔珊瑚屬
Monti(e)	(表覆形)表孔珊瑚屬
Monti(f)	(葉形)表孔珊瑚屬
Myce	斜花珊瑚屬
Other_HC	其他石珊瑚
Oulo	耳紋珊瑚屬
Oxyp	銳孔珊瑚屬
Pachy	波紋珊瑚屬
Pavo(e)	(表覆形)雀屏珊瑚屬
Pavo(f)	(葉形)雀屏珊瑚屬
Pavo(m)	(團塊形)雀屏珊瑚屬
Physo	泡紋珊瑚屬
Platy	腦紋珊瑚屬
Plero	氣泡珊瑚屬
Poci	鹿角珊瑚屬
Porites(b)	(分枝形)微孔珊瑚屬
Porites(m)	(團塊形)微孔珊瑚屬
Psammo	沙珊瑚屬
Scapo	紋柱珊瑚屬
Seria	列孔珊瑚屬
Stylo	柱珊瑚屬
Tubas	管星珊瑚屬
Turbi	盤珊瑚屬
Anemone	海葵
BHelio	白化的藍珊瑚
Biva	二枚貝

BMille	白化的千孔珊瑚
Briare	皮軟珊瑚屬
BSC	白化的軟珊瑚
Coralmorph	擬珊瑚海葵
Giant clam	碑碟貝
Gorgo	柳珊瑚科
Hydrocoral	水螅珊瑚
Junc	蘆莖珊瑚屬
Lobophy_SC	葉形軟珊瑚屬
Nephthya	棘穗軟珊瑚屬
Octocoral	八放珊瑚綱
Other_SC	其他軟珊瑚
Sarco	肉質軟珊瑚屬
Sea urchin	海膽
Sinu	指形軟珊瑚屬
Sponge	海綿
Zoan	菟葵
Fine	沉積物
Sand	沙
CCA_HS	殼狀珊瑚藻長在硬基質上
CCA_rubble	殼狀珊瑚藻長在砂礫上
HS	硬基質
Turf_HS	毛叢藻長在硬基質上
Turf_rubble	毛叢藻長在砂礫上
M fauna	魚、螺等移動生物
Shadow	陰影
Transcet	穿越線&框架
Un	無法辨識
BG_macro	藍綠大型藻
Bro_macro	褐大型藻
Dead_HC	死亡的石珊瑚
G_macro	綠大型藻
Macro(e)	表覆形大型藻
Macro(up)	豎立形大型藻
R_macro	紅大型藻

[水族館與養殖場]

Acnth	Acro(b)	Acro(t)	Astre	BAcro	BDipsa	BFavites	BHC	BLobo	BMeru
BMonti	BPlaty	BPodi	BPorit	Bra_Hcoral	BSeri	BStylo	Caula	CHcoral	Cosci
Cypha	Diploa	Dipsa	Echinophy	Echinopora	EHcoral	Euphyllia	Favites	FHcoral	Fimbri
Free	Fungia	Galaxea	Goniastrea	Gonio	Helio	Hydro	Iso	Lepta	Lepto
Leptoria	Litho	Loboph_HC	Meru	MHcoral	Mille	Montas	Monti(b)	Monti(e)	Monti(f)
Myce	other_HC	Oulo	Oxyp	Pachy	Pavo(e)	Pavo(f)	Pavo(m)	Phymas	Physo
Platy	Plero	Poci	Porites(b)	Porites(m)	Psammo	Scapo	Seria	Stylo	Sym
Tubas	Turbi	Anemone	BHelio	Biva	BMille	Briare	BSC	Coralmorph	Giant clam
Gorgo	Hydrocoral	Junc	Lobophy_sc	Nephthya	Octocoral	Other_SC	Sarco	sea urchin	Sinu
Sponge	Zoan	Fine	Sand	CCA_HS	CCA_rubble	HS	Turf_HS	Turf_rubbl	art
M fauna	Shadow	Transect	Un	BG_macro	Bro_macro	CCA	Dead_HC	G_macro	macro(e)
macro(up)		R_macro							

標籤名	中文名
Acnth	棘星珊瑚屬
Acro(b)	(分枝形)軸孔珊瑚屬
Acro(t)	(桌形)軸孔珊瑚屬
Astre	星孔珊瑚屬
BAcro	白化的軸孔珊瑚
BDipsa	白化的盤星珊瑚
BFavites	白化的角菊珊瑚
BHC	白化的活石珊瑚
BLobo	白化的瓣葉珊瑚
BMeru	白化的繩紋珊瑚
BMonti	白化的表孔珊瑚
BPlaty	白化的腦紋珊瑚
BPodi	白化的鹿角珊瑚
BPorit	白化的微孔珊瑚
Bra_Hcoral	分枝的活石珊瑚
BSeri	白化的列孔珊瑚
BStylo	白化的萼柱珊瑚
Caula	幹星珊瑚屬
CHcoral	柱狀石珊瑚
Cosci	篩孔珊瑚屬
Cypha	細星珊瑚屬
Diploa	雙星珊瑚屬
Dipsa	盤星珊瑚屬
Echinophy	刺葉珊瑚屬
Echinopora	棘孔珊瑚屬
EHcoral	表覆形石珊瑚
Euphyllia	真葉珊瑚屬
Favites	角菊珊瑚屬
FHcoral	葉形石珊瑚

Fimbriaphllia	紋葉珊瑚屬
Free	游離形石珊瑚
Fungia	蕈珊瑚屬
Galaxeaa	棘杯珊瑚屬
Goniastrea	角星珊瑚屬
Gonio	角孔珊瑚屬
Helio	藍珊瑚屬
Hydno	碓珊瑚屬
Iso	同孔珊瑚屬
Lepta	柔星珊瑚屬
Lepto	柔紋珊瑚屬
Leptoria	迷紋珊瑚屬
Litho	靈芝珊瑚屬
Loboph_HC	瓣葉珊瑚屬
Meru	繩紋珊瑚屬
MHcoral	團塊形石珊瑚
Mille	千孔珊瑚屬
Monti(b)	(分枝形)表孔珊瑚屬
Monti(e)	(表覆形)表孔珊瑚屬
Monti(f)	(葉形)表孔珊瑚屬
Myce	斜花珊瑚屬
Other_HC	其他石珊瑚
Oulo	耳紋珊瑚屬
Oxyp	銳孔珊瑚屬
Pachy	波紋珊瑚屬
Pavo(e)	(表覆形)雀屏珊瑚屬
Pavo(f)	(葉形)雀屏珊瑚屬
Pavo(m)	(團塊形)雀屏珊瑚屬
Physo	泡紋珊瑚屬
Platy	腦紋珊瑚屬
Plero	氣泡珊瑚屬
Poci	鹿角珊瑚屬
Porites(b)	(分枝形)微孔珊瑚屬
Porites(m)	(團塊形)微孔珊瑚屬
Psammo	沙珊瑚屬
Scapo	紋柱珊瑚屬
Seria	列孔珊瑚屬
Stylo	柱珊瑚屬
Tubas	管星珊瑚屬
Turbi	盤珊瑚屬
Anemone	海葵
BHelio	白化的藍珊瑚
Biva	二枚貝

BMille	白化的千孔珊瑚
Briare	皮軟珊瑚屬
BSC	白化的軟珊瑚
Coralmorph	擬珊瑚海葵
Giant clam	碑碟貝
Gorgo	柳珊瑚科
Hydrocoral	水螅珊瑚
Junc	蘆莖珊瑚屬
Lobophy_SC	葉形軟珊瑚屬
Nephthya	棘穗軟珊瑚屬
Octocoral	八放珊瑚綱
Other_SC	其他軟珊瑚
Sarco	肉質軟珊瑚屬
Sea urchin	海膽
Sinu	指形軟珊瑚屬
Sponge	海綿
Zoan	菟葵
Fine	沉積物
Sand	沙
CCA_HS	殼狀珊瑚藻長在硬基質上
CCA_rubble	殼狀珊瑚藻長在砂礫上
HS	硬基質
Turf_HS	毛叢藻長在硬基質上
Turf_rubble	毛叢藻長在砂礫上
art	實驗器具
M fauna	魚、螺等移動生物
Shadow	陰影
Transcet	穿越線&框架
Un	無法辨識
BG_macro	藍綠大型藻
Bro_macro	褐大型藻
CCA	殼狀珊瑚藻
Dead_HC	死亡的石珊瑚
G_macro	綠大型藻
Macro(e)	表覆形大型藻
Macro(up)	豎立形大型藻
R_macro	紅大型藻

## 附錄五、「臺灣珊瑚監測交流網絡建立與保育策略規劃」期末審查會議委員意見回覆

壹、時間：110 年 12 月 7 日（星期二）下午 3 時 30 分

貳、地點：海洋委員會第三會議室及線上視訊會議

參、主席：吳副署長龍靜 紀錄：邱炤茹

肆、出(列)席人員：(詳如會議簽到單)

伍、業務單位事項：(略)

陸、委辦廠商簡報：(略)

柒、與會人員與單位代表發言內容及書面意見(依發言順序)：

委員一：

問題	回答
1. 報告內容與簡報資料呈現有所差異，建議簡報中的統計圖表一併放入報告書，如 2021 年珊瑚群聚現況分析圖，增加閱讀的引導性。	遵照辦理。
2. 摘要太過精簡，建議加入細項成果簡單描述內容，也建議加入關鍵字。	遵照辦理。
3. 有關彙整資料的樣點，調查深淺點的水深並非一致，(p37)是否可以調整？	<ol style="list-style-type: none"><li>「深」與「淺」的基準無法固定，因為在不同地區會有不同的地形變化，須因地制宜地做適當調整。</li><li>同一地區進行不同深度的調查，有助於地點資料更加完整，珊瑚礁體檢也是依循此模式和目的。</li><li>報告裡的圖表，為簡化訊息故以「深」、「淺」表示，各地詳細深度列於 p44。</li></ol>
4. 水族維生系統的珊瑚缸，不同場域系統間的差異不同，會影響到比較呈現，建議說明。	<ol style="list-style-type: none"><li>水族館的珊瑚分析就沒有進一步探討以避免可能會引起爭議(經費、人力、企業文化等因素)。</li><li>國際上愈來愈重視水族館珊瑚養殖與保育的發展，此次研究是一個很好的開始，未來如何持續改進可以再討論。</li></ol>

<p>5. 物種鑑別率正確率 63-66% 左右，如此系統資料比較是高或低，是否能建議提升系統效能？如建立各地的資料庫，提高辨識準確率，建議後續持續努力。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 物種鑑別正確率六成已經是不錯的成績，一般人辨識珊瑚礁生物與珊瑚的話還無法辨識到六成，像是珊瑚和海葵就難以分辨。</li> <li>2. 建議利用這套系統「人機合作」，新手先向人工智慧的辨識學習，自身辨別能力提升後，再進一步修正人工智慧辨別錯誤的部分。</li> <li>3. 珊瑚網需要用電腦操作，且為英文網站，可能會讓不擅長英文或電腦的人在操作上有困難，建議讓比較專業的人員如專任助理，或對此感興趣的人來學習，效果較好。</li> <li>4. 若要建立特定地點的珊瑚監測資料庫，建議加入與當地有興趣之研究人員和民眾長期合作，資料庫品質將會更佳。</li> </ol>
<p>5. 選擇小琉球、澎湖、墾丁。建議工作坊成效資料整合，可以發掘更多資訊，此外工作坊成果回饋與小琉球的珊瑚狀況差，是否可以看出連結。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工作坊成果會再做整合分析，不會以條列式的方式呈現。</li> <li>2. 從調查資料結果來看，小琉球的珊瑚復育有其迫切性，來參與工作坊的民眾也表示支持小琉球珊瑚現況的改善，但當地民眾有不同的意見，不會像北部、澎湖一樣容易推動。建議當地居民可跟北部、澎湖的復育珊瑚人士交流。</li> </ol>
<p>3. 資料分析後保護區保育成效是否有差異？</p>	<p>調查地點的設計並未針對保護區內外進行比較，所得資料也未呈現保護區保育成效。</p>
<p>4. 標準化手冊文字描述建議更親民一點。</p>	<p>標準化操作手冊有提供給今年參與工作坊的民眾參考，團隊中也有人員來自非海洋相關科系，皆有請他們閱讀過。內容會再調整為更容易理解的描述，並且搭配舉辦工作坊與 Line 羣組的網絡建立，學員有疑問就能提出和提供協助。</p>

5. P81 討論的各段落的標題有以地點討論，有環境變遷主題，有保育議題乍看稍嫌雜亂，建議前面進行將議題組織化，(如簡報架構)分章分段。	遵照辦理。
6. 本計畫針對造礁珊瑚，並不包括軟珊瑚及貴重珊瑚，建議在前言說明釐清。	此計畫調查時的深度最深為 10 米左右，且包含硬珊瑚、石珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚等種類，10 米以下的珊瑚(如珠寶珊瑚)就非此次調查範圍內，詳細敘述列於 p4。。

委員二：

問題	回答
1. 各地區都有珊瑚群聚結構，但主要珊瑚組成並非各區都有呈現，是否可一致化？	因工作量龐大(珊瑚網分析後還需要人工確認)，無法將 62 個測站全部分到珊瑚種類組成。基本上合約要求的 12 個基本地點，再額外加上擴增的 8 個地點，共 20 個地點已經有分析到珊瑚屬。
2. 北部、宜蘭、小琉球珊瑚發展現況有衰退情況，甚至達到失能，在文章裡提到可能與遊客、浮潛人數有關，建議增加觀察的論述，於表 2 加強遊客狀況。	1. 針對衰退和失能的地點會再補充於報告中。 2. 小琉球的島嶼又小又孤立，不受天候限制，加上遊客大量湧入所造成；南部萬里桐和北部卯澳皆是人為活動頻繁的地方。雖然氣候變遷也是影響原因之一，但在人為活動的加乘之下，會讓部分地區的珊瑚礁衰退狀況變得更加嚴重。
3. 工作坊 5 場的問卷結果為 100% 支持海洋保護區及復育珊瑚礁，但會參與工作坊多數為愛護海洋的民眾，在地居民是否也持贊成的立場？團隊是否有訊息，可大概知道在地民眾的意見。	1. 原本在地居民意見不一，但最近辦了幾場珊瑚相關活動，他們也意識到小琉球珊瑚衰退的嚴重性，漸漸地對珊瑚礁生態有所關心。 2. 小琉球海域本來就有設立海洋保護區(漁業資源類型)，當中也有規定珊瑚禁採，但卻沒有確切執法和管理，希望未來在執法與管理方面能夠改善。
4. 核三廠出水口淺礁珊瑚發展為衰	1. 核三廠出水口淺礁列為衰

<p>退，深礁是健康，大概原因為何？萬里桐正好相反，深礁較差，大概原因為何？萬里桐是否遊客壓力大，或是其他原因導致而成。</p>	<p>退，是因為去年珊瑚大白化與大量遊客活動所致，而深礁受到海洋熱浪的影響較小，所以比較健康。而且該處的珊瑚屬耐熱型珊瑚，溫排水對他們的影響不大。</p> <p>2. 萬里桐的深礁衰退現象也是人為污染和大量遊客活動所致。</p>
<p>5. 小琉球衰退十分驚人，除了減低遊客量外，有無其他復育方面的建議。</p>	<p>1. 加強海洋保護區的執法和管理。</p> <p>2. 團隊今年在核三廠進水口、基隆協和電廠進水口有做珊瑚移植復育。在小琉球的厚石裙礁、杉福漁港也有移植復育作業，且國外研究發現海膽多的地方藻類數量也會減少，乾淨的基質有助於珊瑚著苗生長，未來可結合當地人力一同執行移植復育計畫。</p> <p>3. 近期小琉球開發過度(蓋民宿)，導致大量泥沙排入海中，以及陸源性汙染的問題皆要處理。</p>
<p>6. 珊瑚礁調查覆蓋率為3個30公尺測線，測線有至少90張照片，所以應有270個以上的方框照片來(1.2m<sup>2</sup>)分析，樣本大小宜說明(平均覆蓋率、標準誤差、樣本尺寸)。</p>	<p>遵照辦理。已在第二章的研究方法內文說明。</p>
<p>7. 水族館珊瑚照相牛耕式應有幾條線？一條線大概照幾張？建議標準化。另，臺灣是否已有從水族館或養殖場移植至野外成功的案例？</p>	<p>1. 有鑑於每個人使用的相機品牌可能不同，且各水族館和養殖場的缸體大小和高度皆不同，故沒辦法以固定的照片數量或高度界定。牛耕式拍攝法的細節會再描述清楚，並強調照片內容避免重複太多。</p> <p>2. 目前臺灣從陸地養殖的珊瑚移植回野外的案例不多。團隊以前有協助漁業署將室內養殖的珊瑚移到人工</p>

	魚礁。近期全力培育種珊瑚，目前有持續收到珊瑚釋放的幼苗，下一步預計將幼苗釋放到野外合適的地方，讓其著苗生長。國外的案例像澳洲、加勒比海、紅海等地的相關技術發展良好，也有發表移植成功率等數據，預計此作法將會愈來愈普及。
8. 文中引用文獻 “et al.”，其中 “al.” 是縮寫，後面要加 “.”，et 是一字不用加 “.”。	遵照辦理。
9. 標準化照相框架的高度應列出。	遵照辦理。

### 委員三：

問題	回答
1. 從報告看出小琉球珊瑚狀況呈現失能、衰退，推測是受遊客量影響，但外木山狀況也不太好的可能原因為何？東部珊瑚狀況相對穩定，是因為較少遊客下水干擾嗎？是否能補充之間的因素？	1. 外木山的珊瑚健康狀況應為「穩定」，圖表標示不夠清楚，會再更正。 2. 珊瑚礁狀態好壞的定義，團隊有擬訂一套分類準則： 珊瑚覆蓋率 $<10\%$ ，且珊瑚/藻類比例 $<0.1$ ：失能； 珊瑚覆蓋率在 10-30%之間，且珊瑚/藻類比例 $\leq 0.5$ ：衰退(珊瑚覆蓋率 10%以下，但珊瑚/藻類比例 0.1-0.5 之間也屬之)； 珊瑚覆蓋率在 30-50%之間，且珊瑚/藻類比例 $>0.5$ ：穩定(珊瑚覆蓋率 30%以下，但珊瑚/藻類比例 $>0.5$ 也屬之)； 珊瑚覆蓋率 $>50\%$ ：健康。 3. 東部珊瑚狀況相對穩定，是因為較少遊客下水干擾外，污染少、湧浪大、天候海況限制多都有影響。
2. 墾丁及臺東工作坊的問卷結果發現參加人員沒有任何建議或想法，感覺有點奇怪，是否有收到任何回饋可提出分享？	大部分的民眾仍有提供意見。有些民眾可能有其他行程要趕，在問卷填寫時就沒有多做評論。

委員四：

問題	回答
1. 調查 12 個基本地點的測線是否有設固定的位置？樣框的高度及密度是否有固定？若已有固定 GPS 點位資料，未來珊瑚監測調查是否可能不下水也可執行，例如透過 ROV。	<p>1. 先前委員有提過，在做珊瑚礁體檢時建議用固定測線的方式作業，但除非每年都要監測且經費人力足夠，又有定期維護的前提下才適合，否則固定的樁容易遺失，美國的珊瑚礁監測做法也是不固定測線。再者，在監測初期時還無法確定調查地點的代表性夠不夠好，需要多次的下水調查才能掌握，以及臺灣地形的空間異質性高，即使有固定的樁，如遇海況不佳，測線佈放也容易受到變動。團隊做調查時的下水路徑都相似，皆在調查範圍內，以非固定測線的優點來看，每次到周圍不同的地方調查更能夠掌握該地珊瑚數量的變化，還有可能發現珊瑚數量更高的新地點。另外，例如臺電有一個計畫是提供穩定的經費和人力，請團隊長期監測核三廠附近珊瑚，才有固定測線。建議也培育當地的公民科學家，較能在當地海域進行長期調查。</p> <p>2. 若 ROV 結合 AI 的話的確是未來趨勢，但以臺灣目前的情況來看，以人力的方式下水調查較佳(民間的珊瑚礁體檢活動和海洋志工隊的長期監測)，ROV 下去的話成本太高，品質也可能良莠不齊。</p>
2. 珊瑚調查聯絡網絡該如何持續運作？希望能夠長期了解各地區狀況，持續累積資料。	團隊已建立 LINE 群組並將公民科學家加入其中，若研究人員有需要相關資料的話，團隊樂意協助。
3. 從報告看出外木山的狀況不佳，可能原因是否與四接有關？	外木山狀況為穩定，調查地點是在基隆市海興游泳協會的附近海域，並非協和電廠的四接海域。

捌、結論：

本案期末報告書內容請執行單位參考委員意見修正，委員意見及回應說明請以附錄方式於報告書中表列。修正版期末報告書經業務單位確認後通過，後續依本案契約規定辦理驗收結案。

玖、散會：下午 5 時。



Ocean Conservation Administration,  
Ocean Affairs Council