

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

中華民國 108 年 12 月

108 年度珊瑚礁生態系調查計畫

成果報告

受託廠商：中央研究院

研究主持人：中央研究院生物多樣性研究中心 陳昭倫 博士

研究人員：中央研究院生物多樣性研究中心 陳昭倫 博士

郭兆揚 博士

黃雅怡 博士

鍾愛琪

陳彥嘉

陳亭儒

蕭安孜

謝孟芸

澳洲詹姆士庫克大學

蔡政翰 博士候選人

海洋委員會海洋保育署委託辦理計畫

中華民國 108 年 12 月

目錄

目錄.....	i
表目錄	iii
圖目錄	iv
摘要.....	vi
Abstract.....	viii
第一章、工作企劃與執行內容	1
一、計畫緣起	1
二、工作項目與內容.....	5
第二章、研究方法	6
一、珊瑚礁分布、生態多樣性及相關文獻蒐集	6
二、珊瑚礁生態調查與方法測試	6
三、建立珊瑚礁生態資源的標準調查方法.....	13
四、提出珊瑚礁生態資源保育管理建議	13
第三章、結果.....	14
一、珊瑚礁分佈、生態多樣性及相關文獻蒐集	14
二、珊瑚礁生態調查.....	27
三、珊瑚礁生態資源的標準調查方法	40
四、珊瑚礁生態資源保育管理建議。	61

參考文獻	64
附錄一、各條穿越線上記錄到之魚類物種與相對應功能群豐度	74
附錄二、歷年樣點 GPS 位置	78
附錄三、「108 年度珊瑚礁生態系調查計畫」期中審查會議會議紀錄	81
附錄四、「108 年度珊瑚礁生態系調查計畫」期末審查會議會議記錄	85

表目錄

表 1、常用的珊瑚礁底棲群聚取樣法.....	4
表 2、珊瑚礁生態調查的 GPS 位置	6
表 3、從 1986 至 2018 年影響台灣珊瑚群聚的擾動整理.....	19
表 4、台灣島與周邊島嶼從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚 和菟葵）覆蓋率	24
表 5、在各調查樣點使用橫截線調查法估算的各底棲類別在穿越線上的平 均覆蓋率（標準差）	28
表 6、不同魚類功能群在各調查地點的平均密度（個體數/100 立方公尺） 和平均生物量（克/100 立方公尺）以及標準差	31
表 7、不同底棲群聚調查方法特性比較整理表	39
表 8、水質監測類別、檢驗項目、監測頻率及檢驗方法表.....	51
表 9、珊瑚礁體檢魚類水下調查表.....	52
表 10、珊瑚礁體檢無脊椎動物水下調查表	53
表 11、珊瑚礁體檢底質水下調查表.....	54
表 12、魚類水下調查記錄表（15 公尺）	55
表 13、無脊椎動物水下調查記錄表（15 公尺）	56

圖目錄

圖 1、底質相變遷示意圖	2
圖 2、野柳樣點示意圖	7
圖 3、基鰲樣點示意圖	7
圖 4、眺石樣點示意圖	8
圖 5、青灣內灣樣點示意圖	8
圖 6、珊瑚礁體檢指標性魚類	10
圖 7、珊瑚礁體檢指標性無脊椎動物	11
圖 8、世界珊瑚礁分佈圖	15
圖 9、台灣造礁珊瑚分佈圖	16
圖 10、台灣島與周邊島嶼從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚和菟葵）覆蓋率變動	25
圖 11、台灣島與周邊島嶼各地區從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚和菟葵）覆蓋率變動	26
圖 12、穿越線上隨機點數與覆蓋率的累積曲線圖	33
圖 13、各條穿越線上不同隨機點數產生的 200 個虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率標準差	34
圖 14、穿越線樣框拍照取樣法上隨機點數與覆蓋率的累積曲線圖	35
圖 15、照片樣框中和將照片合併計算穿越線上不同隨機點數產生的 200 個虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率標準差	36
圖 16、珊瑚礁體檢調查範圍與區段	57

圖 17、指標性魚類圖鑑	57
圖 18、指標性無脊椎生物圖鑑	58
圖 19、底質大類圖鑑	58
圖 20、使用錄影法紀錄橫截線下底棲群聚的影像截圖	59
圖 21、固定樣樁示意圖	59
圖 22、新入添小珊瑚（軸孔珊瑚）	60

摘要

珊瑚礁生態系是海洋中生物多樣性最高、生物量也最豐富的生態系。複雜的礁體結構提供生態棲所與豐富的食物來源，涵養多樣的海洋生物，提供漁業、觀光休閒、醫學與文化發展等所需的資源，為人類社會發展重要的磐石。然而從 1980 年代起，在棲地破壞、海洋污染、過度漁業捕撈以及氣候變遷等衝擊下，許多海域的珊瑚礁急遽衰退與消失。台灣的珊瑚礁研究從 1980 年代開始至今已有許多研究成果發表，但針對台灣島與周圍島嶼珊瑚礁變化的整體分析仍缺乏，也未能一致地了解全台灣珊瑚礁生態系的現況。為了整合並提供未來台灣珊瑚礁變化的整體分析，本計畫進行了（1）文獻回顧整理台灣珊瑚的分佈與歷史變化；（2）在具代表性的珊瑚礁區測試不同調查方法的適用性；（3）建立珊瑚礁生態資源的標準調查方法；以及（4）提出珊瑚礁生態資源保育管理建議。

依據文獻回顧的結果顯示，台灣島與周圍島嶼的硬底質海岸皆有珊瑚分佈。但受到洋流和氣候等影響，珊瑚群聚組成則大致以北回歸線為界區分為北方的非礁型珊瑚群聚和南方的熱帶珊瑚礁。分析已從 1997 年持續至今、調查樣點涵蓋全台與周邊島嶼、使用統一方法的珊瑚礁體檢計畫的結果顯示，台灣的珊瑚平均覆蓋率從 1997 年至今在 30-50% 間呈現穩定的波動。然而珊瑚礁體檢每年調查的樣點也不連續，因此同樣會使資料判讀產生誤差。在研究方法的比較上，傳統的橫截線取樣法調查最精準，可提供穿越線樣點取樣法和穿越線樣框拍照取樣法無法測量的群體大小。若要使用穿越線樣點取樣法，則樣點間隔小於 3 公分的採樣頻度才可求得與橫截線調查法相似的珊瑚覆蓋率。使用樣框拍照取樣法用 25 公分 x 25 公分樣框連續拍攝 15 公尺的穿越線時，平均每個樣框內需撒 30 個隨機樣點、一條穿越線上需有 1800 點才可求得穩定的珊瑚覆蓋率。

綜合比較不同調查方法的特性，沿著橫截線錄影再回實驗室看影像的橫截線取樣法在水下工作效率和實驗室工作時間（分析影像所需時間）取得很好的平衡，一條 15 公尺的橫截線需拍攝 8 分鐘的影像，僅略慢於以 50 公分為樣點間隔的穿越線樣點取樣法（5 分鐘），遠低於使用穿越線樣框拍照取樣法所需的時間（3 小時）。更重要的是即便由公民科學家進行水下調查也可以提供最正確的底棲群聚資料，包括珊瑚族群動

態的重要因子-群體大小。用此方法每次潛水約可調查 5 條穿越線涵蓋 75 公尺的調查範圍；每條橫截線的岸上影像辨識時間約 30 分鐘。

本計劃針對使用時機建議相對應的珊瑚礁生態資源標準調查方法，進行（1）公民科學家環境教育推廣：時完全參照珊瑚礁體檢的調查方法調查魚類、無脊椎生物和底質結構。進行（2）環境擾動事件後的快速損害調查評估以及新樣點初步探勘：拉設 3~5 條 15 公尺等深穿越線，依循珊瑚礁體檢的方法沿著調查指標性無脊椎動物和所有魚類，魚類鑑定到功能群。底質調查則使用錄影的橫截線取樣法。進行（3）珊瑚礁長期生態監測與環境影響評估：可用 0-3 公尺、4-7 公尺、8-11 公尺作為深度區間，各拉設三條 15 公尺、不跨越沙地的穿越線，穿越線間需相隔至少 5 公尺。每條線以 5 公尺為間距用角鋼或營釘作為標記。除了監測環境因子之外，依循珊瑚礁體檢的方法沿著調查指標性無脊椎動物和所有魚類，魚類鑑定到功能群。底質調查則使用錄影的橫截線取樣法，並計算穿越線旁 0.25 公尺範圍內的新入添小珊瑚的豐度、大小與種類。調查頻度則以目標物種而異，目標為有明顯季節性的大型藻類等生物時則需一年兩次或一季一次；針對季節性變動較小的珊瑚則可以一年一次（春季）為基準，若遇大型擾動再於擾動後重複調查以釐清擾動造成的影響。

在珊瑚礁生態保育建議方面，本計劃提出近程和中程以及長程的管理建議，近期和中程的建議包括召開專家會議，擬定 2050 年的海洋保育藍圖與願景；持續落實海域資源執法；成立全台整合性、跨世代的珊瑚礁資源調查工作團隊，除了使用同樣的調查方法建立長期生態監測樣點以及進行台灣珊瑚礁生態系通盤普查之外，更藉由跨世代成員的參與達到經驗傳承以及培養人才與磨合默契的目的。建立珊瑚礁自動辨識系統與資料庫，期在未來可讓全民參與，使用標準的拍照方法提供全台各地海洋監測照片，一同監測大家的海洋。長程目標為落實專家會議產生的 2050 海洋保育藍圖與願景，藉由劃設分區使用的方式達成自然環境保護，保護生物多樣性和功能群多樣性及自然資源的永續利用。此外還要維持社會經濟運作，發展高品質的科學研究及環境教育等功能。具體作法包括落實有效執法、持續進行環境監測並調整相關法令、推廣不同階層海洋教育，除了讓人與海的連結從小開始扎根，提高從事海洋相關產業的意願，也建立高水準的國際研究站以提高研究能量。

Abstract

Coral reefs are one of the most biologically diverse and productive ecosystems on earth. It provides the resources needed for the development of human society, such as fisheries, tourism, medicine and cultural development. However, since the 1980s, coral reefs have been under the threat of the stress from the increased habitat destruction, population, overfishing and climate change. Since the beginning of coral reef research in Taiwan in the 1980s, several reports have pointed out the decline of coral community in Taiwan, however, an overall analysis of the changes in the reefs of Taiwan Island and surrounding islands has not been conducted yet. Therefore, the current situation of the coral reef ecosystem in Taiwan has not been consistently understood. In order to provide a standard method for monitoring the coral reefs in Taiwan, this project (1) reviewed the distribution and historical changes of corals in Taiwan; (2) tested the applicability of different survey methods on representative coral reefs in Taiwan; (3) proposed a standard survey method for monitoring the ecological resources of coral reefs; and (4) the strategy for managing the coral reef ecological resources.

Corals can be found on the hard substrata around Taiwan Island and surrounding islands with two main categories, due to the seasonal variation of sea surface temperature and current, non-reefal coral community in northern Penghu and northern Taiwan and tropical coral reefs in the rest of areas. Since 1997, the average coral cover in Taiwan was stable with the range between 30%--50%, based on Reef Check, the longest duration coral reef monitoring project using the standard method covering the highest amount of study sites in Taiwan. However, the sample of the coral reef is not continuous, which will also cause errors in data interpretation.

Survey method comparison showed that Line Intercept Transect, LIT, the most traditional survey method, is the most accurate with the benefit of providing colony size which cannot be measured using either Point Intercept Transect, PIT, nor Photographic transect, Photoquad. While using PIT, the interval between sampling points should be no bigger than 3 cm to obtain the coral cover similar to LIT. Using Photoquad, 30 random points per 25cm x 25cm sample frame and more than 1800 points per 15m long transect are required to obtain stable coral cover.

Comparing the characteristics of different survey methods showed that the LIT method using video recording instead of writing in situ achieves a good balance between the underwater working efficiency and the laboratory working time (the time required to analyze

the image). The 15-meter transect requires 8 minutes of imaging, which is only slightly slower than the PIT method (5 minutes) with 50-cm sample interval, and is much faster than the Photoguard method (3 hours). What's more important is that even underwater surveys by citizen scientists can provide the equally accurate data on benthic populations, including colony size structure, one of the important factors of coral population dynamics. With this method, about 5 transects, covering 75 meter length, can be investigated per dive. The time required for analyzing the images in the lab is about 30 minutes.

We propose the goal-oriented survey methods of coral reef ecological resources based on the timing of use. (1) Promotion of environmental education for citizen scientists: The survey methods of fish, invertebrates, and substrates are following the Reef Check method. (2) Damage investigation and assessment after environmental disturbance events and preliminary exploration of new study sites: All the surveys are conducted along 3 ~ 5 15-meter long transects. Reef Check method is used to survey Invertebrates and all fish. Also, fishes are further classified into different functional groups. Substrate surveys are conducted using LIT method with video recording. (3) Long-term ecological monitoring and environmental impact assessment of coral reefs: Three 15-meter long permanent transects, marked using camp nails, are set up on solid hard substrate without crossing sandy bottom at 0-3 meters, 4-7 meters, and 8-11 meters. The transects must be at least 5 meters apart. Except for monitoring environmental factors, the Reef Check methods are used to survey invertebrates and all fish, which are further classified into functional groups. The benthic community are studied using LIT method with video recording. The abundance, size structure and genus of juvenile corals within a range of 0.25 meters apart from the transect are recorded. The frequency of surveys is target-specific. For example, If the target creature shows distinct seasonality variation, such as macroalgae, the survey interval has to be twice a year or per season. For corals with less seasonal change, the minimum requirement of the survey is once annually. It is required to conduct a repeated investigation after a significant disturbance.

In terms of the recommendations of coral reef ecological resource conservation and management, we propose short- /medium-range and long-term management recommendations. The recent and medium-term proposals include (1) convening an expert meeting to formulate a blueprint and vision for marine conservation in 2050; (2) continue to implement sea area resource enforcement; (3) the integrated and cross-generation coral reef resource survey team. In addition to using the same survey method to establish LTER monitoring sites and to conduct a comprehensive survey of the coral reef ecosystem in

Taiwan, the more important is to enhance the exchange of experience and talents through the participation of cross-generational members and to form the network of future collaboration; (4) Establishing the database for automatic identification system of coral reef monitoring, which will enable the whole people to participate in the future, using standard photo-taking methods to provide photos of marine monitoring throughout Taiwan.

The long-term goal is to implement the 2050 marine conservation blueprint and vision generated by the expert meeting, to achieve natural environmental protection through partitioning, to protect the diversity of biodiversity and functional groups and the sustainable use of natural resources. Also, we must maintain social and economic operations and develop high-quality scientific research and environmental education. Specific practices include the implementation of effective law enforcement, continuous environmental monitoring and adjustment of relevant laws and regulations, promotion of different levels of marine education, in addition to the connection between the people and the sea from scratch. It is not only to increase the willingness to engage in marine-related industries, and the establishment of high-level international research stations Improve research energy.

第一章、工作企劃與執行內容

一、計畫緣起

珊瑚礁生態系是海洋中生產力最高、生物量也最豐富的生態系。複雜的礁體結構提供生態棲所與豐富的食物來源，並提供人類社會發展所需的資源，為漁業、觀光休閒、醫學與文化發展等重要的磐石。

然而，珊瑚礁生態系的地理位置導致此生態系經常受到不同程度擾動的影響。在無人為干擾的自然情況下，珊瑚礁生態系呈現經常性干擾的動態平衡（例如，颱風或是季節性的高溫等）。當自然擾動發生在健康的珊瑚礁區時，因珊瑚礁區物種多樣性高，生態系中的藻食性生物可抑制大型藻類的豐度，使珊瑚群聚的豐度可在擾動後之後回復且持續維持類似的架構與提供相同的生態功能（Berumen and Pratchee 2006, Adjerdoud et al. 2009, Alvarez-Filip et al. 2013）。但是，當人類活動引起的干擾（例如，過漁、棲地破壞與污染）與長期的環境變遷（例如，海洋暖化與酸化）開始介入生態系的動態平衡，可能讓大型藻類持續成長並佔領棲地，造成珊瑚幼生入添、群體成長與珊瑚群聚重建程序受阻而延緩或停止，最終導致藻類成為優勢生物而永久無法回復成以珊瑚為主的群聚，達到所謂「相變遷」（phase shift）的狀態（圖 1）。根據全球珊瑚礁監測網（Global Coral Reef Monitoring Network, GCRMN）的研究成果顯示，過去數十年間珊瑚礁受到天然災害和人類活動的影響（如過漁、沉積物遮蔽、營養鹽過高、氣候變遷等）已造成全球 19% 珊瑚礁生態系崩解（Wilkinson 2008）。例如澳洲大堡礁的平均珊瑚覆蓋率從 1985 年的 28.0% 降至 2012 年的 13.8%（Death et al. 2012）。2016 年的珊瑚白化事件更導致從托雷斯海峽（Torres Strait）往南約 600 公里，北邊三分之一個大堡礁的範圍內約 66% 的珊瑚死亡（Hughes et al. 2017）。

珊瑚優勢底質

相變 (phase-shift)

藻類優勢底質



(資料來源：本研究計畫)

圖 1、底質相變遷示意圖

台灣島周遭海域，北起東北角、南至墾丁以及離島的綠島、蘭嶼，小琉球和澎湖群島皆有珊瑚分佈。其特性受到氣候、黑潮與南中國海表面洋流的影響 (Dai 1989, Chen 1999) 大致分為非造礁珊瑚群聚 (non-reefal coral communities) 和熱帶珊瑚礁 (tropical coral reefs) (Chen 1999) 兩大群。非造礁珊瑚群聚包括北台灣和澎湖內海以及澎湖北海的岩岸，這些地區的水溫在冬季會低於造礁珊瑚的最佳生長溫度 (18°C) (Veron 1995)，因此生長在堅硬基質上的珊瑚僅能維持自身的存活而無法形成珊瑚礁。相反的，在南台灣，綠島、蘭嶼、小琉球和澎湖南海等溫度較適合珊瑚生長的地區，珊瑚的成長狀況較佳因此會形成熱帶珊瑚礁 (Chen 1999; Chen and Keshavmurthy 2009; Chen 2014)。

珊瑚礁監測計畫由許多部分組成，最重要的是依據計畫目標決定採用何種取樣法以及生物辨識的解析度。在國際上通用的底棲群聚取樣法包括樣框取樣法 (Quadrat method)、橫截線取樣法 (Line Intercept Transect, LIT, Loya 1972, 1978, Loya & Slobodkin 1971)、穿越線樣點取樣法 (Point Intercept Transect, PIT, Hodgson 1999, Hill and Wilkinson 2004)、結合樣框取樣法和穿越線的穿越線樣框拍照取樣法 (Photographic Transect, Photoquad) (表 1)。從 1980 年代至今，已有許多不同調查方法被用於台灣珊瑚群聚的量化研究。例如樣框取樣法被運用於監測和追蹤墾丁出水口和後壁湖一帶珊瑚群聚的變動 (Dai 1988)。要進行較大範圍且精細的珊瑚群聚的量化研究多採用橫截線取樣法 (張及戴 1987, 戴等 1998, 1999; Dai 1988, 1993; 陳 2014; 何等 2016)。穿越線樣點取樣法是珊瑚礁體檢使用的標準方法，自從 1997 年台

灣珊瑚礁學會引進珊瑚礁總體檢的調查方法之後，至今已在全台 114 個地點評估過當地的珊瑚礁健康狀況（Chen 2014；戴等 2001，2002，2003，2004；戴 2005，2006，2007，2009；鄭 2008；台灣海洋環境教育推廣協會與台灣環境資訊協會 2009；台灣環境資訊協會 2010，2011，2012，2013，2014，2015，2016，2017，2018）。從 2000 之後隨著數位相機的進步，穿越線樣框拍照取樣法則是近年來在墾丁國家公園海域以及台灣島與離島珊瑚礁區進行長期生態調查的主要方法（Meng et al. 2008, Kuo et al. 2012, Ho 2014, Keshavmurthy et al. 2019；方等，2004，2005，2006；王等，2007；何等，2008，2009，2010，2011；郭，2007；陳，2012，2015a，2015b，2016，2018a,b；陳等，2013；鄭等，2018；謝，2008）。

生物辨識的解析度會依照計畫的需求和目標以及執行人員的能力而有所不同。其中公民科學常用的珊瑚礁體檢將底質辨識到硬珊瑚、軟珊瑚、藻類等大類。這是最粗略但是同時也是入門最簡單、訓練時間最短、最不易有爭議的鑑別解析度。最精細的鑑別解析度則是將每個物種辨識到種，然而藉由型態辨識到種非常困難，不僅訓練時間非常長、而且也存在因人為主觀判斷差異而造成的爭議。在資料處理上，越細的鑑別解析度會提高資料的雜訊導致不易呈現整體趨勢（Murdoch 2007）。此外，在熱帶珊瑚礁生物多樣性高、個體豐度也多的生態系中，要在有限的潛水時間內將每個生物個體鑑別到種也非常耗時且不易施行（Kuo 2017）。因此珊瑚礁監測調查上往往使用較粗略的鑑識解析度，例如鑑定到屬、科、甚至僅討論如硬珊瑚、軟珊瑚和藻類等大類。有些長期的珊瑚礁監測調查計畫除了使用分類學的標準，也將物種型態列為調查的項目之一。例如已有數十年歷史，由澳洲海洋科學研究院執行的大堡礁長期監測調查計畫就僅將硬珊瑚區分為軸孔珊瑚（*Acropora*）和非軸孔珊瑚兩大類，再用型態細分這兩大類的珊瑚（English et al. 1997, Jonker et al. 2008）。

表 1、常用的珊瑚礁底棲群聚取樣法

中文名稱	英文名稱	英文縮寫		優點	缺點	參考文獻
		寫	調查方式			
樣框取樣法	Quadrat	Quadrat	用固定大小的樣框取樣，或拍照	快速，有永久記錄，較精確	資料處理時間長	
橫截線取樣法	Line Intercept Transect	LIT	底棲生物覆蓋率為穿越線總長的百分比	可詳細記錄生物資訊	時間長	Loya & Slobodkin 1971, Loya 1972, 1978
穿越線樣點取樣法	Point Intercept Transect	PIT	底棲生物覆蓋率為總樣點數的百分比	快速，容易實施	時間長	Hodgson 1999, Hill & Wilkinson 2004
穿越線樣框拍照取樣法	Photographic Transect	Photoquad	用相機或攝影機沿著穿越線進行拍照取樣。之後進行影像分析	快速，有永久記錄	資料處理時間長	

雖然從 1980 年代至今已進行過許多台灣珊瑚群聚變動的研究，然而大部分的計畫都屬於一年到三年期、並沒有持續進行長期的監測，此外每個計畫使用的方法都不盡相同，導致解釋和比較各計畫結果時會產生有偏差不客觀的結論，也無法看出以台灣為主體的變動趨勢。再加上台灣還有非造礁珊瑚群聚和熱帶珊瑚礁兩種生態系，不同調查方法在各生態系上的適用性仍未知，因此需要搜集並統整歷年有關珊瑚礁分佈和生態多樣性的研究報告，並測試不同調查方法在不同類型礁區的適用性。如此才可建立台灣珊瑚礁調查的統一標準並且提供珊瑚礁生態資源保育管理的建議。

二、工作項目與內容

依據需求說明之工作項目與內容包括：

(一) 珊瑚礁分布、生態多樣性及相關文獻蒐集

藉由文獻回顧彙整國際間珊瑚礁生態系的分佈與現況、面臨的威脅與相關研究進展，並整理臺灣之珊瑚礁生態系現況分布與既有相關文獻，歸納近年變遷狀況。

(二) 珊瑚礁生態調查

在臺灣具代表性之珊瑚礁區測試不同調查方法的適用性並瞭解其群聚組成與健康狀態現況。

(三) 建立珊瑚礁生態資源的標準調查方法

依據本計畫之生態調查成果，同時考量珊瑚礁棲地在底質不同導致分布狀態差異的前提下，尋找是否有一套適合台灣不同珊瑚礁的調查方法。並且提供標準操作流程，包含固定樣區之設置準則與後續調查與監測模式。

(四) 提出珊瑚礁生態資源保育管理建議。

第二章、研究方法

一、珊瑚礁分布、生態多樣性及相關文獻蒐集

以文獻回顧的方式彙整世界上主要幾個珊瑚礁研究地區的文獻以了解珊瑚礁分佈與現況、面臨的威脅與相關研究。同時整理我國歷年來在台灣周遭海域進行的珊瑚礁調查以歸納近年珊瑚礁生態系的變遷。

二、珊瑚礁生態調查與方法測試

珊瑚礁生態調查與方法測試的樣點選在野柳（非礁型珊瑚群聚）、基翬（珊瑚塊狀分布）、眺石（珊瑚礁）和青灣內灣（珊瑚分布範圍侷限）等四種代表台灣不同類型的珊瑚群聚（表 2，圖 2-5）。由於珊瑚礁長期生態監測著重的目標為固著在如珊瑚礁的礁岩或固定的岩石上的底棲群聚，因此為了避免穿越線跨越無法提供固著性底棲生物生長的沙地或沙溝，此計畫採用 15 公尺的穿越線為調查單位。於 2019 年 4~7 月間在各樣點的 3~5 公尺（淺區）、野柳 6 公尺（深區）和眺石的 10 公尺（深區）深處分別拉三條 15 公尺的穿越線為三重複、並沿著穿越線進行底棲群聚和指標性生物的調查。共調查 18 條等深的穿越線。調查頻度為一次。

表 2、珊瑚礁生態調查的 GPS 位置

群聚類型	地點	深度		
		（公尺）	北緯	東經
非礁型珊瑚群聚	野柳（新北市）	3	25.203963°	121.681284°
	野柳（新北市）	6	25.204023°	121.681217°
珊瑚塊狀分布	基翬（台東縣）	3	23.116620°	121.397059°
珊瑚礁	眺石（屏東縣）	5	21.952802°	120.769397°
	眺石（屏東縣）	10	21.949711°	120.770459°
珊瑚分佈範圍侷限	青灣內灣（澎湖縣）	5	23.529575°	119.560073°



圖 2、野柳樣點示意圖



圖 3、基壁樣點示意圖

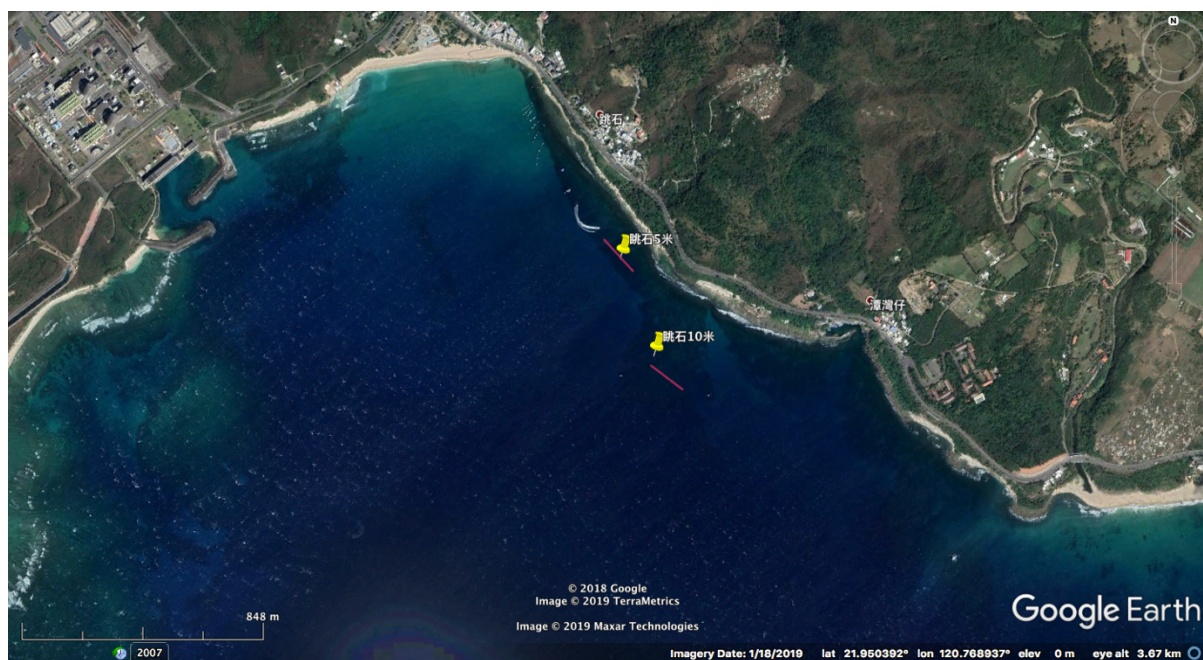


圖 4、眺石樣點示意圖

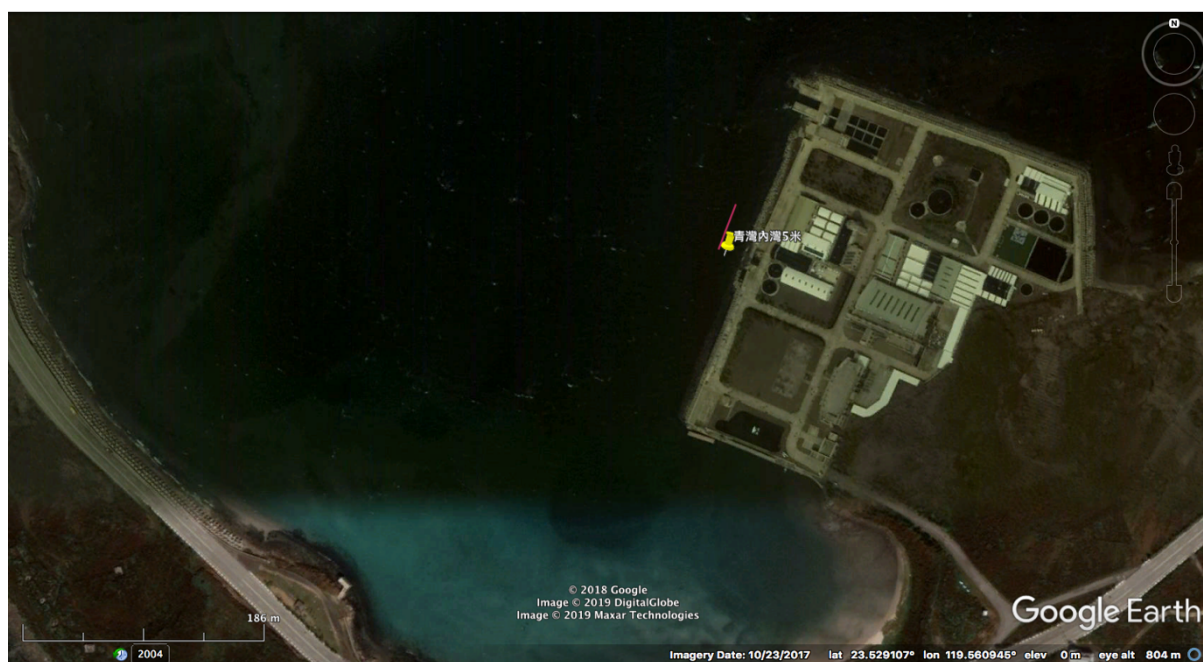


圖 5、青灣內灣樣點示意圖

底棲群聚調查

使用橫截線調查法（LIT）、穿越線樣點取樣法（PIT）和穿越線樣框拍照取樣法（Photoquad）沿著穿越線進行取樣。橫截線調查法紀錄穿越線上每一公分樣點下的底棲類別；穿越線樣點取樣法則是以每 50 公分為樣點間的間隔。穿越線樣框拍照取樣法

使用 25 公分 x25 公分的樣框為取樣單位。每個樣框的影像使用 CPCe 4.1 (Coral Point Count With Excel extensions, Kohler & Gill 2006)軟體，每個樣框撒下 150 個隨機樣點並辨識其下的底棲生物和基質種類，計數各樣框內底棲生物和基質的樣點數和計算其覆蓋率(Hsieh et al. 2016; 何等 2016)。參考國際上常使用，由澳洲海洋科學院出版的熱帶海洋資源調查手冊 (English et al. 1997)，將石珊瑚鑑定到軸孔珊瑚和其他珊瑚兩大類並更進一步細分不同生長型，其餘參考珊瑚礁體檢生態潛水員 (Eco Diver) 訓練標準分成含軟珊瑚 (軟珊瑚和菟葵)、海綿、大型藻類、草皮狀海藻、殼狀珊瑚藻、最近死亡的珊瑚、岩石、碎石、砂、泥與其它等大類。最近死亡的珊瑚的定義為珊瑚骨骼仍很明顯尚未磨損，是近期內發生環境變動的指標。

指標性生物調查

每條穿越線除調查底棲群聚外，也調查魚類的個數、體長 (圖 6) 以及大型底棲無脊椎動物的生物量 (圖 7)。大型底棲無脊椎動物的指標物種依照國際上珊瑚礁體檢活動的標準、魚類則先辨識到物種後參考國際自然保護聯盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 發展的珊瑚健康指數 (Coral Health Index, CHI) 將魚類區分到不同的功能群 (Kaufman et al. 2011, 陳 2015b)，並參考魚類資料庫 (ReefBase) 的公式將魚類體長轉換成生物量 (Biomass) (Froese et al. 2019, 陳 2015b)。



石鱸

Photo by J. Randall



七星斑/紅條

Photo by J. Randall



鸚哥魚

Photo by D. Wescott



蝶魚

Photo by B. Patzner



老鼠斑

Photo by J. Randall



裸胸鯢

Photo by R. Patzner



隆頭鸚哥魚

Photo by J. Randall



蘇眉

Photo by J. Randall



笛鯛

Photo by B. Patzner

肉食性

藻食性

食珊瑚性

(資料來源：珊瑚礁體檢手冊)

圖 6、珊瑚礁體檢指標性魚類



(資料來源：珊瑚礁體檢手冊)

圖 7、珊瑚礁體檢指標性無脊椎動物

資料分析

累積曲線 (accumulation curve) 分析

1. 橫截線調查法 (LIT) 與穿越線樣點取樣法 (PIT)

繪製每條穿越線上“隨機點數 vs 珊瑚覆蓋率”和“隨機點數 vs 珊瑚覆蓋率標準差”的累積曲線圖可用來決定穿越線樣點取樣法需要的樣點數。因為當穿越線長度固定時，沿著穿越線選取的樣點數量越低，隨機選取同數量的樣點數次求得的珊瑚覆蓋率的變異越大，表示越不具有代表性，因此要用穿越線樣點取樣法 (PIT) 取代橫截線調查法時，須調查足夠的樣點以確保穿越線樣點取樣法求得的珊瑚覆蓋率足以與橫截線調查法的結果相似。

繪製累積曲線的第一步為從每條穿越線的 1500 個樣點中隨機抽取一個樣點並求其覆蓋率，抽到珊瑚則此虛擬珊瑚群聚的覆蓋率為 100%，反之珊瑚覆蓋率為 0%，重複兩百次後計算此兩百個虛擬珊瑚群聚的覆蓋率的偏差程度 (標準差)。第二步為隨機抽取兩個樣點，同樣計算兩百個虛擬珊瑚群聚的覆蓋率和覆蓋率標準差。重複上述步驟直到使用穿越線上的全部樣點計算覆蓋率和覆蓋率標準差。由於抽取點數越多，不但相同隨機點數產生的兩百個虛擬珊瑚群聚的平均珊瑚覆蓋率會越接近實際珊瑚覆蓋率 (1500 個樣點求得的珊瑚覆蓋率)，兩百的虛擬群聚的珊瑚覆蓋率的變異程度 (標準差) 也會越小，因此當兩百個虛擬珊瑚群聚的覆蓋率的標準差小於 1.96 時，由此隨機點數調查出的珊瑚覆蓋率即落在實際覆蓋率的 95% 信賴區間之內。

2. 穿越線樣框拍照取樣法 (Photoquad)

同上所述的穿越線樣點取樣法，使用穿越線樣框拍照取樣法時也需要注意在每個樣框內的隨機樣點數和整條穿越線上使用的隨機樣點的數量，需要確保由隨機樣點求出的珊瑚覆蓋率落在實際珊瑚覆蓋率的 95% 信賴區間之內。為決定每個 25 公分 x 25 公分樣框內和每條穿越線上需要多少隨機樣點才具有代表性，使用上述方法繪製每張照片內和每條穿越線上“隨機點數 vs 珊瑚覆蓋率”以及“隨機點數 vs 珊瑚覆蓋率標準差”的累積曲線圖。

三、建立珊瑚礁生態資源的標準調查方法

參考項目二的調查結果評估最適用於台灣珊瑚礁調查方法。提供目標導向的珊瑚礁生態資源調查施行方法以利執行單位參考。目標涵蓋公民科學家環境教育推廣；發生環境擾動事件時快速損害評估、初步探勘新樣點；珊瑚礁長期生態監測與環境影響評估等範圍。包含固定樣區之設置準則與後續調查與監測模式。

四、提出珊瑚礁生態資源保育管理建議

綜合整理國內外相關文獻、項目二的調查方法比較結果、與國內外學者專家的訪談以及個人經驗，提出珊瑚礁生態資源保育管理的近程、中期與長程目標。

第三章、結果

一、珊瑚礁分佈、生態多樣性及相關文獻蒐集

(一) 珊瑚礁分佈與珊瑚多樣性

建構珊瑚礁和蓋房子一樣需要磚塊和膠合磚塊的水泥，在珊瑚礁生態系，以造礁珊瑚（scleractinian corals）為主，加上苔蟲或多毛類等會行鈣化作用堆積碳酸鈣骨骼的生物扮演磚塊的角色，殼狀珊瑚藻負責膠結碳酸鈣骨格，層層疊疊累積成珊瑚礁。因此只有在造礁珊瑚的生長速率高於生物和物理的侵蝕速率、同時也適合殼狀珊瑚藻生長的海域才會形成珊瑚礁（Kleypas et al. 1999）。一般而言，珊瑚礁分佈在介於南北緯 30 度之間、平均水溫介於 21-29.5°C、鹽度介於千分之 23.2-40.0、平均 50 公尺以淺、清澈、貧營養鹽的海域（Kleypas et al. 1999）。主要的珊瑚礁區包括北起菲律賓北端、西至馬來西亞和印尼西端、東至印尼東部索羅門群島等六國的珊瑚大三角（coral triangle）、太平洋上諸島、澳洲東部的大堡礁和西澳的珊瑚礁、加勒比海、印度洋和紅海等地區（圖 8）。在其他無法同時達到上述兩個條件，但仍適合造礁珊瑚生長的海域所出現的造礁珊瑚，稱為邊緣型珊瑚群聚（marginal coral community），又稱為非礁型珊瑚群聚（non-reefal coral communities）。

現生珊瑚礁可區分成許多不同的型態，最早達爾文將其分為群礁（fringing reefs）、堡礁（barrier reefs）和環礁（atoll）（Darwin 1842）。群礁是指分佈在陸地周圍的珊瑚礁，由於其與陸地直接相連成狹長狀（通常短於 100 公尺，但也可延伸數百公尺長）如裙邊而得名，是最常見的珊瑚礁型態。台灣本島和離島大多的珊瑚礁皆屬於群礁。堡礁分佈在陸地外緣，隔著一水域（瀉湖或者深的水道）不與主要陸地或島嶼直接連接。瀉湖的大小不一，可從數百公尺寬到數公里寬，例如最有名的澳洲大堡礁長度為兩千三百公里、最寬處可達 100 公里。環礁（atoll）是指堡礁相連幾乎成一圓形但中間僅有瀉湖而缺少陸地。成因為海洋中的火山島周圍形成群礁，在火山島因風化作用並逐漸沒入海面下或海水上升的過程中，群礁持續發育形成堡礁，當火山島完全消失則形成環礁（Darwin 1842），位於南中國海北部的東沙環礁（Dogsha Atoll, Pratas Islands）即為一發育良好的環礁。東沙環礁的瀉湖內散佈著不同大小的礁體，稱為塊礁（patch reefs）。在堡礁和環礁的外圍礁體（outer reefs）上的的珊瑚分

布呈現明顯的空間差異，通常在潟湖內側由於水流交換較差導致積沙情況較嚴重，較少珊瑚分布，面大洋側水流交換較佳，較多珊瑚分布且發育良好。



(圖片來源：Spalding et al. 2001)

圖 8、世界珊瑚礁分佈圖

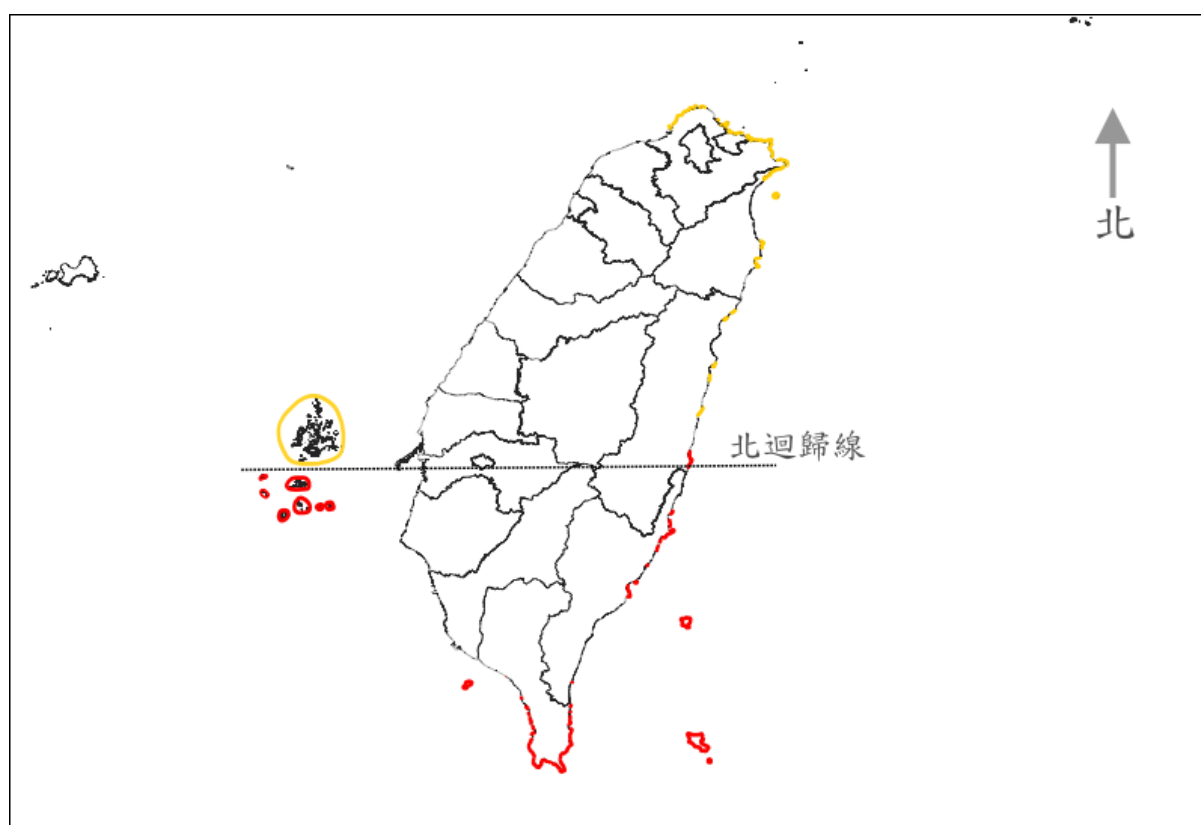
圖中的實線為赤道，虛線為南、北回歸線、綠色為陸地，藍色為海洋，黃點為珊瑚礁。

台灣島（北緯 21.897° ~ 25.302° ）和澎湖群島、綠島、蘭嶼、小琉球、彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、龜山、基隆島等台灣島周邊島嶼以及位於南中國海北部的東沙環礁和南中國海南部的南沙群島中的太平島位於熱帶至亞熱帶之間。其周圍的海洋環境主要受到氣候和黑潮以及南中國海表面洋流的影響。由菲律賓往北的黑潮在呂宋海峽一分為二，黑潮主流持續從台灣東邊往北流往日本，黑潮支流西北流入台灣海峽。然而黑潮支流的路徑受季風影響而有季節性的變化。夏季的西南季風會驅動南中國海表面洋流進入台灣海峽朝向台灣島北部；冬季的東北季風驅使中國沿岸流將黑潮支流往南推，導致冬季時溫暖的黑潮水團僅分佈在台灣海峽南側的澎湖群島的南側（Wang and Chen 1988, 1992; reviewed in Chen and Keshavmurthy 2009）。

由於冬季時溫暖的黑潮水團僅分佈在澎湖群島南側，因此雖然台灣島和周邊島嶼的硬底質上皆有造礁珊瑚分佈（圖 9）（Dai 2011a,b；戴等 2015、詹等 2018），但分佈趨勢因海水水表面溫度（sea surface temperature, SST）的季節性變化和洋流影響以北迴歸線為界可大致分為熱帶的珊瑚礁（coral reefs）和亞熱帶的非礁型珊瑚群聚（non-reefal coral communities）（Dai 1989, Chen 1999, 戴等 2015、詹等 201）。在澎湖內海、東海和北海以及台灣島北部的東北角、宜蘭和花蓮等地，由於冬季的水表面溫度會低於適合造礁珊瑚生長的 18°C (Veron 1995)，因此生長在堅硬岩石上的造礁珊瑚無法累積形成珊瑚礁。相對的，在南台灣的台東和墾丁、綠島、蘭嶼、小琉球以及澎湖群

島中在北迴歸線以南的諸島等地，環境較適宜造礁珊瑚生長因此形成熱帶珊瑚礁（Chen 1999; Chen and Keshavmurthy 2009; Chen 2014）。

台灣島與周邊島嶼北臨菲律賓珊瑚多樣性最高的珊瑚大三角（Coral Triangle）北界，同時流經台灣的黑潮又帶來豐富的珊瑚幼苗，因此珊瑚物種數高，目前已記錄至少 317 種造礁珊瑚（Dai and Horng 2009; Hsieh et al. 2016）和超過 200 種軟珊瑚（戴和秦 2019）。然而造礁珊瑚物種豐富度在台灣島與周邊島嶼有顯著的地理差異，一般而言，珊瑚物種豐富度隨緯度升高而降低，在台灣島南部珊瑚礁海域約有 300 種珊瑚，在接近北迴歸線的澎湖群島和台灣島東部的島嶼約有 150 種珊瑚、在北台灣則約只有 100 種珊瑚（Dai 1989; Chen 1999; Dai and Horng 2009）。



（參考資料：台灣區域海洋學）

圖 9、台灣造礁珊瑚分佈圖。黃色為非礁型珊瑚群聚、紅色為熱帶珊瑚礁。

（二）珊瑚礁現況

珊瑚礁生態系是一個動態的生態系，受到如颱風等自然擾動的影響時珊瑚礁健康狀況會降低，擾動過後珊瑚礁會逐漸恢復。然而當人類活動導致全球珊瑚礁因受到逐年增強的短暫但強烈（acute）和較緩和但長期（chronic）擾動的影響時，珊瑚礁沒

有足夠的時間恢復因此健康狀況逐漸降低。近年來影響全球珊瑚礁最劇烈的擾動為 2014-2017 年的全球珊瑚礁白化事件 (Hughes et al. 2017a, 2017b, 2018)。從 2016 至 2017 年, 澳洲大堡礁的北段和中段皆因為異常高溫導致珊瑚發生白化現象, 並導致 1/3 的珊瑚死亡 (Hughes et al. 2017a,b,)。位於西印度洋查戈斯群島 (Chagos Archipelago) 在 2015 到 2016 的連續珊瑚白化事件中損失了 60% 的珊瑚, 珊瑚覆蓋率從 2012 年的 30% 降到 2016 年的 12% (Head et al. 2019)。夏威夷西北方世界第二大的海洋保護區 Papahānaumokuākea Marine National Monument (PMNM) 內的珊瑚礁在 2014 年也因為白化事件導致珊瑚覆蓋率顯著降低。雖然白化的程度在不同的棲地 (迎風面/背風面/深度) 或不同島嶼跟潟湖間有所差異, 白化程度最嚴重的地方在 Lisianski 島的淺水域, 導致 Lisianski 島的珊瑚覆蓋率從 77% 降至 35%。不同物種的白化程度不一致, 最嚴重的為 *Montipora dilatata* 珊瑚 (Couch et al. 2017)。然而同一時間在台灣島和周邊島嶼的珊瑚礁生態系僅有一些地區型、小尺度的白化事件, 並不像大堡礁或查戈斯群島發生大規模的白化事件 (表 3) (台灣環境資訊協會 2016, 2017, 陳 2017, reviewed by Kuo et al. 2018)。

台灣的珊瑚礁研究始於 1980 年代, 至今主要的長期監測計畫包括由台灣電力公司支持, 委託學術界針對核能電廠排水口排出的溫排水對排水口生態系的影響的長期研究。另一個為科技部與墾丁國家公園管理處接續支持的墾丁國家公園海域珊瑚礁長期監測計畫 (方等, 2004, 2005, 2006; 王等, 2007; 郭, 2007; 何等 2008, 2009, 2010, 2016; 陳, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018)。然而這兩個監測計畫都屬於局部性和小尺度的監測計畫。至今學術界和政府部門尚未有任何一個使用相同調查方法、涵蓋台灣島以及周邊島嶼的長期珊瑚礁監測計畫。

除了由政府部門直接或委託學術界單獨執行的珊瑚礁監測計畫之外, 尚有另一類由公部門和學術界為主, 帶領公民科學家參與的珊瑚礁監測計畫- 珊瑚礁體檢。自從 1997 年台灣珊瑚礁學會引進珊瑚礁總體檢的調查方法之後, 由台灣珊瑚礁學會 (1997-2009 年) 和台灣環境資訊協會 (2009 年至今) 為主, 累計已在全台灣 114 個地點評估過當地的珊瑚礁健康狀況 (Chen 2014; 戴等 2001, 2002, 2003, 2004; 戴 2005, 2006, 2007, 2009; 鄭 2008; 台灣海洋環境教育推廣協會與台灣環境資訊協會 2009; 台灣環境資訊協會 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018)。整理歷年結果顯示, 1997 年時台灣島與周邊島嶼的珊瑚 (硬珊瑚、軟珊瑚與菟葵) 豐度為歷年中最高 (50.18%), 但因 1998 年的全球珊瑚大白化事件導致 1999 年的珊瑚覆

蓋率降至 35.23%，在 2000 年時更降至 28.70%（表 4, 圖 10）。2000 年之後除了 2005 年因為僅調查東北角以及宜蘭等較不發達的珊瑚群聚導致覆蓋率僅 23.37%之外，其餘年份珊瑚覆蓋率皆在 30~46%之間震盪無顯著變化的現象（表 4，圖 10，11）。

由於缺乏足夠的人力與物力支持以及天候不穩定等因素，從 1997 至 2018 年的 22 年間每年調查的樣點介於 6~32 個，有限的樣點無法完整涵蓋台灣島及周邊島嶼並反映珊瑚礁健康狀況的真實變動趨勢。歷年的監測樣點也沒有一致性，114 個有調查紀錄的樣點中有 54 個樣點僅有一筆調查紀錄，有超過 11 筆調查紀錄的樣點僅 5 個。造成此趨勢的原因可能是前後兩個主導單位針對的目標樣點不同，因此雖然各單位在主導期間皆盡力維持一致的樣點，合併資料分析即導致樣點不連續，導致調查結果無法反映真實的變動趨勢。以平均珊瑚覆蓋率在 2015 開始顯著上升的澎湖為例，台灣珊瑚礁學會在 1999 到 2004 年間持續調查歧頭、清灣內灣、青灣外灣和蛇頭山等四樣點。其中青灣內灣在 2004 到 2009 年間因為過漁、結螺爆發與 2008 年的寒害事件影響導致珊瑚覆蓋率從 2004 年的 79.6%（戴等 2004）降至 2008 年的 25%（鄭 2008）和 2009 年的 16%（表 3）（Hsieh et al. 2011；謝 2008）。寒害事件主要影響澎湖北海與內海，對澎湖南海的影響較小（謝 2008），然而 2008 年在澎湖調查的 26 的樣點中青灣內灣是重複樣點，其他樣點則分散於澎湖各處（鄭 2008）。2009 年後台灣環境資訊協會將調查的能量投注於南海的東嶼坪、西嶼坪、以及東吉等樣點，因此長期的覆蓋率趨勢無法看出 2008 年寒害對澎湖珊瑚礁的影響。樣點不連續的現象在台灣其他地區皆可見，因此在解釋長期調查資料時需特別小心謹慎。

文獻整理也顯示台灣島嶼周邊島嶼的珊瑚礁經常受到擾動影響（表 3），不同擾動的規模與尺度皆不同，例如颱風和全球白化事件會同時影響多個地區的珊瑚礁，屬於面的影響。人為造成的擾動影響範圍較侷限，屬於點的影響。然而同樣由於缺乏足夠的人力與物力支持以及天候不穩定等因素，僅少數擾動事件有調查團隊進行第一時間的損害評估並進行後續追蹤，大部分擾動事件皆為定量的描述而無精確的量化調查結果。如此導致無法正確的評估擾動對珊瑚礁造成的損害以及後續所需的恢復時間。

表 3、從 1986 至 2018 年影響台灣珊瑚群聚的擾動整理。Y: 報告中清楚提到有影響；N: 全台灣的調查（Reef Check）但是沒有提到有影響；NA: 地區性調查的報告，沒有提到其他地方是否受影響。此表不列入長時間的過漁影響。

年份	擾動類型	擾動	東北角	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	東沙環礁	太平島	受影響地區及影響程度	參考文獻
1986	颱風	佩姬（Peggy）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA		Dai 1988
1987	颱風	傑魯得（Gerald）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	僅對南灣西側局部地區造成嚴重破壞，移除約80%的群體，其餘地區的破壞率約20~30%	Dai 1988, 郭 1996
1987	颱風	琳恩（Lynn）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA		
1994	颱風	道格（Doug）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	報告中僅提及眺石3~10公尺深間分枝狀珊瑚群聚遭嚴重破壞，其餘地點未提。	郭 1996
1995	颱風	蓋瑞（Gary）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	報告中僅提及紅柴2~25公尺深之分枝狀珊瑚群聚均受蓋瑞颱風的嚴重影響；後壁湖航道西側礁體上部分珊瑚群體被蓋瑞、肯特和賴恩颱風清除；其餘地點未提。	郭 1996
		肯特（Kent）												
		賴恩（Ryan）												
1996	颱風	賀伯（Herb）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	報告中僅記載影響眺石淺水域珊瑚群聚	Chen and Dai 2004
1998	異常溫度	白化事件（高溫）	NA	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	NA	澎湖：30-40%珊瑚白化。蘭嶼（水表~20公尺深水域）：	Wilkinson 1998, Dai 2005, 2019.

年份	擾動類型	擾動	東北角	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	東沙環礁	太平島	受影響地區及影響程度	參考文獻
													80%珊瑚白化、死亡率約20%。	
2001	颱風	奇比 (Chebei)	N	N	N	N	N	N	N	Y	NA	NA		戴等 2001
2001	颱風	未知 (Unknow)	N	N	N	N	N	Y	N	N	NA	NA		戴等 2001
2001	船隻擱淺	阿瑪斯號 (Amorgos)	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	影響範圍局限於恆春半島東岸龍坑一帶。受船艙蓋直接影的地區珊瑚覆蓋率<1%，旁邊未受影響區可達68.3%。	方等 2002
2002	異常溫度	白化事件 (高溫)	N	N	Y	N	N	Y	N	N	NA	NA	白化地點：墾丁萬里桐、後壁湖、香蕉灣。台東石梯坪、三仙台。	戴等 2002
2005	污染	油污染	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	影響蘭嶼西南面約1公里長的海岸線	台灣環境資訊協會 2011
2006	生物爆發	星野黑皮海綿 (Terpios hoshinota) 爆發	NA	NA	NA	Y	Y	NA	NA	NA	NA	NA		Liao et al. 2007。 陳等2009
2006	颱風	珍珠 (Chanchu)	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	主要影響恆春半島西岸的珊瑚群聚，但當時在恆春半島西岸只有萬里同一個監測站	Kuo et al. 2012

年份	擾動類型	擾動	東北角	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	東沙環礁	太平島	受影響地區及影響程度	參考文獻
2007	異常溫度	白化事件（高溫）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	Y	NA	NA	NA	墾丁：出水口有50%白化；恆春半島西岸和南灣內約25%白化。小琉球約5~30%白化。	王等 2007, 戴 2007, Kuo et al. 2012；
2008	異常溫度	寒害（低溫）	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	澎湖北海和內海。	Hsieh 2008
2008	船隻擱淺	印尼籍海上作業平台（MAIMUNAH）	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	擱淺於朗島，無量化的損害調查報告	易 2008（環境資訊電子報 https://e-info.org.tw/node/38190 ）
2009	生物爆發	棘冠海星爆發	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA		邱 2013
2009	船隻擱淺	可倫坡皇后號（Colombo Queen）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	佳洛水岸邊。珊瑚受油污染白化影響範圍約0.49km ² ，撞擊前珊瑚覆蓋率約30~50%。	何等 2009
2009	颱風	莫拉克（Morakot）	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	NA	NA	萬里桐、合界、跳石和香蕉灣	台灣海洋環境教育推廣協會和台灣環境資訊協會 2009；戴 2009。Kuo et al. 2011, 2012.
2009	船隻擱淺	WO—BUDMO號	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	受莫拉克颱風影響而擱淺於後灣，無量化的損害調查報告。	何等 2009
2010	生物爆發	棘冠海星爆發	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	只有在全澎湖共16個中的3個調查站看到大量的棘冠海星。約公頃約60-160個個體。	謝等 2010。鄭 2010

年份	擾動類型	擾動	東北角	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	東沙環礁	太平島	受影響地區及影響程度	參考文獻
2010	異常溫度	白化事件（高溫）	N	N	N	N	Y	Y	N	N	NA	NA	僅蘭嶼西南面和墾丁核三廠出水口淺區發生小規模白化。	台灣環境資訊協會 2011
2011	生物爆發	棘冠海星爆發	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA		許 2011
2011	颱風	南瑪都（Nanmadol）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA		何等 2011
2012	生物爆發	棘冠海星爆發	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	每公頃可高達280個個體。	廖 2012
2012	異常溫度	寒害（低溫）	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	南方四島（東吉嶼）冬天時因為水溫過低而白化	鄭明修 未發表資料
2013	生物爆發	棘冠海星爆發	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	在西吉嶼紀錄一公頃內有190個個體。	趙和蘇 2014
2013	颱風	天兔（Usagi）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	雷打石、後壁湖和眺石。	陳等 2013
2014	異常溫度	白化事件（高溫）	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	白化最嚴重的墾丁核三廠出水口0-5米約60%白化，10米深約20%白化。國家公園內其他地點平均約30%白化。沒有量化的調查資料。	Kuo et al. 2018
2015	颱風	蘇迪勒（Soudelor）	N	N	N	N	N	N	Y	Y	NA	NA		台灣環境資訊協會 2015
2016	異常溫度	白化事件（高溫）	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	NA	從墾丁核三廠出水口到南灣沙灘間發生輕微的白化。澎湖南海的東吉島和西吉島約2000平	台灣環境資訊協會 2016。莊 2016。 Kuo et al. 2018

年份	擾動類型	擾動	東北角	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	東沙環礁	太平島	受影響地區及影響程度	參考文獻
													方公尺以葉片形表孔珊瑚為主 Montipora 的珊瑚發生白化。	
2016	颱風	莫蘭蒂 (Meranti)	N	N	N	N	N	Y	Y	N	NA	NA		台灣環境資訊協會 2016, Kuo et al. 2018
2017	污染	油污染	NA	NA	NA	N	NA	NA	NA	NA	NA	NA	在三月的時候在綠島北面和東北面共7公里長的海岸線發現油污染、但在四月調查時已不見油污。	台灣環境資訊協會 2017
2017	異常溫度	白化事件 (高溫)	N	N	N	N	N	Y	Y	N	NA	NA	恆春半島西岸發生小規模白化	台灣環境資訊協會 2017。 Kuo et al. 2018
2018	污染	沈積物	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	NA	NA	因西南季風的豪雨導致後壁湖泥沙覆蓋珊瑚情況，但無量化資料。	蔡 2018

表 4、台灣島與周邊島嶼從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚和菟葵）覆蓋率

（- 表示當年沒有進行調查調查）

	東北角	宜蘭	花蓮	台東	綠島	蘭嶼	墾丁	小琉球	澎湖	年平均
1997	-	-	-	-	56.05	-	47.25	-	-	50.18
1998	-	-	41.00	48.20	48.87	6.95	49.80	16.30	-	43.36
1999	33.75	-	31.70	38.30	57.46	25.25	39.71	5.60	29.95	35.23
2000	19.60	16.76	14.80	-	68.80	19.70	35.88	7.40	38.28	28.70
2001	20.81	21.69	36.10	47.80	64.40	28.40	41.91	8.17	26.31	32.88
2002	23.74	24.94	24.43	49.79	66.00	27.00	44.25	5.41	30.00	35.84
2003	24.18	29.10	61.25	37.20	66.55	57.07	49.33	14.60	32.75	40.44
2004	19.13	24.63	-	-	71.23	68.87	48.04	29.53	39.20	41.81
2005	24.65	15.00	-	-	-	-	-	-	-	23.37
2006	-	29.00	45.00	34.17	64.63	42.58	-	-	-	44.87
2007	-	-	-	-	-	-	34.09	27.25	-	32.63
2008	-	-	-	-	38.13	-	-	-	37.63	37.68
2009	27.05	-	-	40.63	47.38	-	36.98	18.14	31.25	31.59
2010	30.19	-	-	38.13	46.25	50.45	-	18.65	-	35.18
2011	34.75	-	-	45.63	70.63	37.50	-	39.58	34.38	42.45
2012	34.79	-	-	39.69	53.96	28.13	-	32.40	41.25	37.28
2013	29.58	-	-	81.25	52.25	51.04	-	45.00	53.75	44.11
2014	32.39	-	35.00	46.25	64.27	40.16	-	35.83	36.46	41.19
2015	31.91	-	-	-	63.85	61.15	-	36.35	44.58	46.30
2016	38.06	-	22.50	37.50	59.79	36.88	43.13	14.38	61.88	39.38
2017	26.03	-	13.75	37.97	50.42	55.10	47.19	18.33	59.79	36.78
2018	27.56	-	44.38	39.17	47.19	61.46	43.75	14.38	69.22	40.37

資料來源：歷年珊瑚礁體檢報告

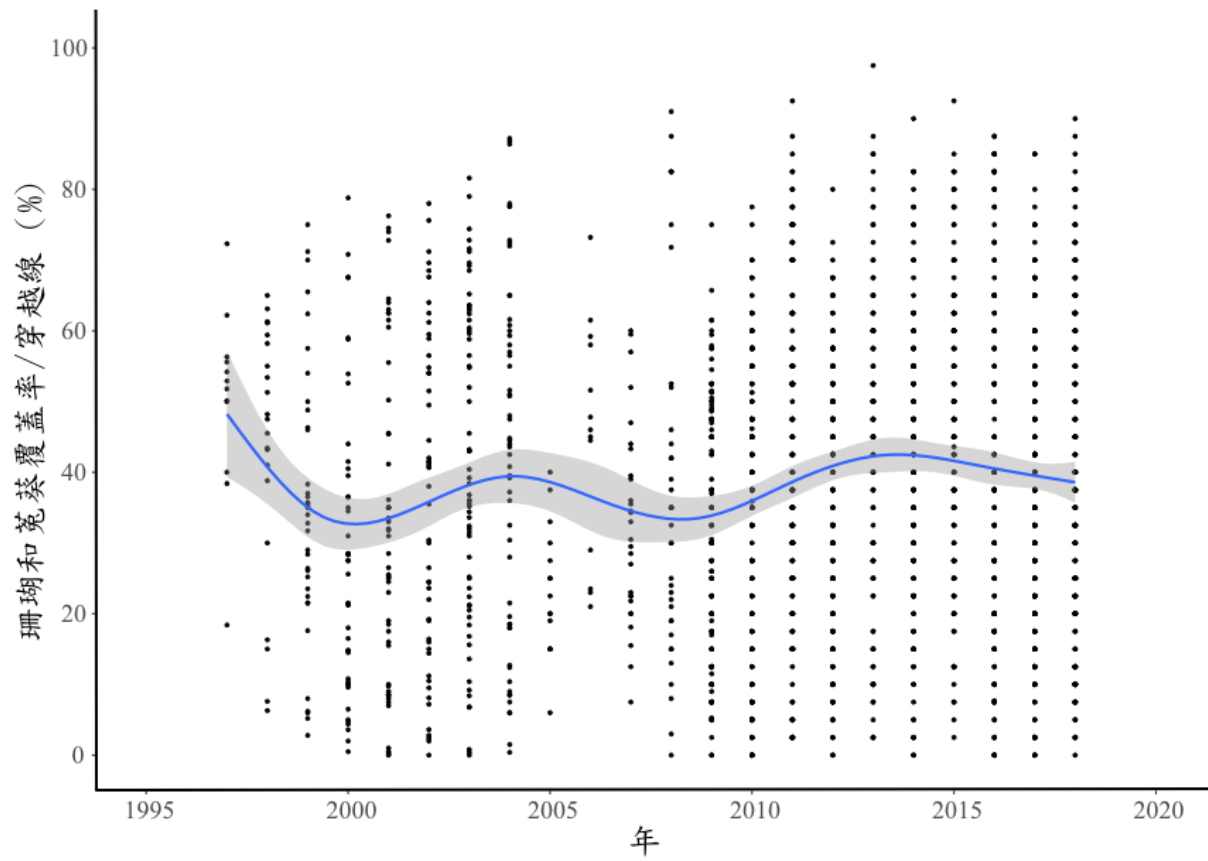


圖 10、台灣島與周邊島嶼從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚和菟葵）覆蓋率變動

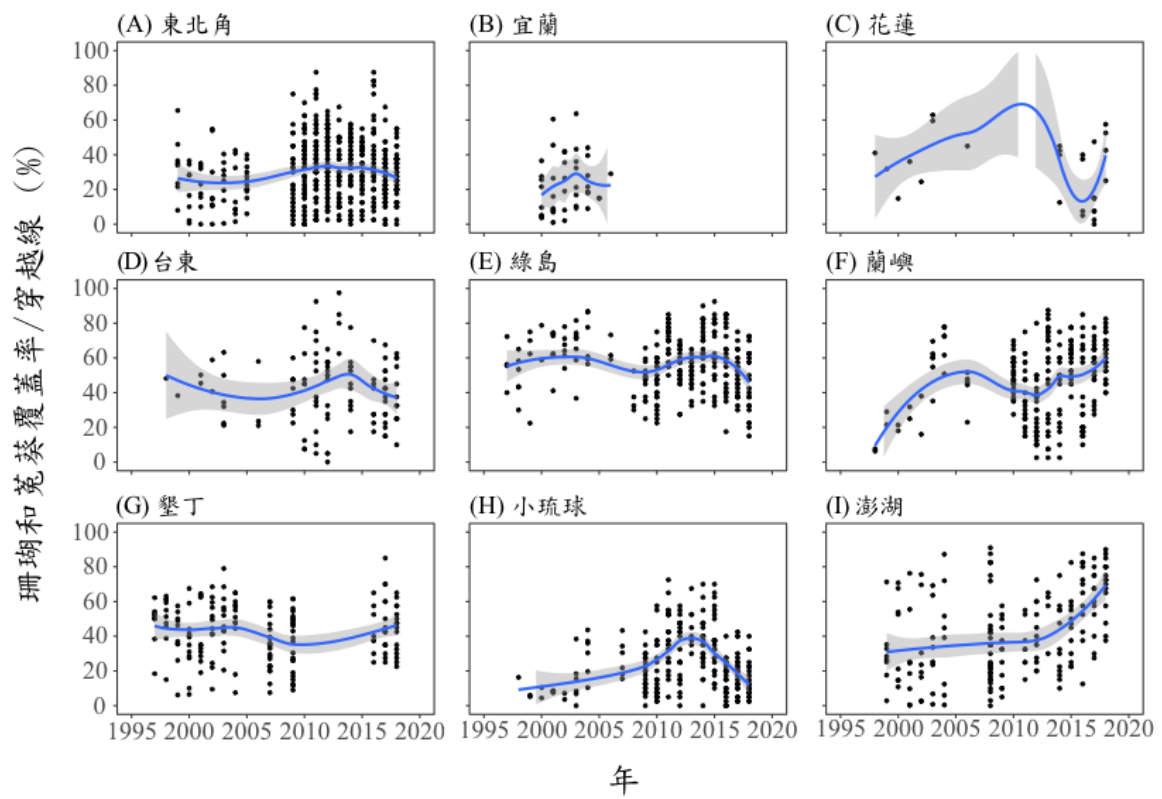


圖 11、台灣島與周邊島嶼各地區從 1998 至 2018 年的平均珊瑚（硬珊瑚、軟珊瑚和菟葵）覆蓋率變動

二、珊瑚礁生態調查

(一) 底棲群聚調查

穿越線調查法

在今年調查的四個樣點中的活珊瑚（硬珊瑚和軟珊瑚）覆蓋率介於 19.39%（野柳淺區）和 55.59%（基鰲）之間。僅基鰲的底棲群聚以珊瑚為優勢，包括 53.08% 的硬珊瑚和 2.51% 的軟珊瑚。其餘樣點的珊瑚覆蓋率皆低於 50%。以國際通用的標準（Gomez & Yap 1988），基鰲的珊瑚礁屬於「優良珊瑚礁」(50%-75%)，眺石深區和野柳淺區的珊瑚覆蓋率分別為 20.99% 和 19.39%，屬於「劣化珊瑚礁」(25% 以下)，其他包括青灣內灣（36.93%）、眺石淺區（43.29%）和野柳深區（33.58%）屬於「一般」(25%-50%)，珊瑚群聚皆以硬珊瑚為主（表 5）。

在適合珊瑚生長的基鰲和眺石，底棲群聚除了珊瑚之外較優勢的為藻類（包括大型藻類和草皮狀海藻）。其中基鰲和眺石淺區都是以草皮狀海藻為主，覆蓋率分別為 18.54% 和 25.87%；眺石深區大型藻類和草皮狀海藻的覆蓋率皆在 20-25% 之間（表 5）。在較不適合珊瑚生長的野柳和青灣內灣兩地，藻類（包括大型藻類和草皮狀海藻）和殼狀珊瑚藻的覆蓋率會較高，例如野柳淺區的底棲群聚以大型藻類為主（70.41%）、殼狀珊瑚藻覆蓋率僅為 0.6%（表 5），但在野柳深區則是以殼狀珊瑚藻為主（48.19%）、大型藻類的覆蓋率僅佔 10.93%。在青灣內灣以殼狀珊瑚藻為主（33.51%），大型藻類僅佔 1.58%（表 5）。

表 5、在各調查樣點使用橫截線調查法估算的各底棲類別在穿越線上的平均覆蓋率（標準差）。淺區為 5 公尺深、深區為 10 公尺深。

地點	深度	硬珊瑚	軟珊瑚	海綿	大型藻類	草皮狀海藻	殼狀珊瑚藻
野柳	淺	19.39 (10.92)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	70.42 (14.07)	6.82 (6.27)	0.60 (0.72)
野柳	深	33.58 (6.70)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	10.55 (14.28)	2.78 (2.44)	48.19 (4.68)
基輦	淺	53.08 (11.58)	2.51 (3.57)	0.31 (0.54)	10.93 (6.19)	18.54 (12.63)	1.31 (1.17)
眺石	淺	43.29 (8.30)	2.56 (2.26)	2.36 (1.41)	7.39 (2.71)	25.87 (14.25)	2.16 (1.41)
眺石	深	20.99 (11.41)	6.91 (7.42)	0.09 (0.15)	25.43 (14.73)	21.70 (8.26)	2.27 (2.37)
青灣內灣	淺	36.93 (2.65)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	1.58 (2.23)	3.55 (2.91)	33.51 (29.16)

地點	深度	最近死亡的珊瑚	岩石	碎石	砂	泥	其他
野柳	淺	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	2.22 (3.85)	0.56 (0.96)
野柳	深	0.16 (0.27)	0.09 (0.15)	0.00 (0.00)	0.56 (0.96)	4.11 (3.57)	0.00 (0.00)
基輦	淺	0.22 (0.38)	3.53 (5.72)	2.18 (0.84)	5.04 (3.74)	0.00 (0.00)	2.35 (3.52)
眺石	淺	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.44 (0.77)	15.74 (11.28)	0.00 (0.00)	0.19 (0.33)
眺石	深	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	22.52 (13.22)	0.00 (0.00)	0.11 (0.19)
青灣內灣	淺	0.16 (0.27)	2.42 (3.96)	0.00 (0.00)	0.56 (0.96)	16.72 (18.29)	4.57 (6.86)

(二) 指標性生物調查

魚類在各調查地點的平均密度介於每 100 立方公尺 0.45 隻 (青灣內灣) 到 96.93 隻 (野柳淺區)，其餘地點依照密度由高到低依序為野柳深區 (47.78)、基翬淺區 (34.42)、眺石淺區 (41.22) 和深區 (22.65) (表 6)。魚類功能群組成在各地點間不同。例如在魚類密度最高的野柳淺區，95% 的魚類都屬於雜食類，其餘為藻食性和無脊椎生物捕食性魚類 (表 6)，然而在野柳深處，雖然仍是以雜食性魚類為最優勢族群，但其比例降至 54%，次主要的則為浮游生物捕食性魚類，佔整體的 35%。在基翬以藻食性、無脊椎生物捕食性和雜食性等三種魚類為主且沒有明顯的優勢功能群，三者佔的比例介於 27~33% 之間 (表 6)。眺石淺區也是有藻食性魚類為優勢 (49%)、其次為無脊椎生物捕食性 (22%) 和藻食性 (16%)。魚類功能群組成在眺石深區的組成最均值，前三優勢功能群分別為無脊椎生物捕食性 (27%)、藻食性 (25%) 和浮游生物捕食性 (25%)、其次則是雜食性 (13%) 和肉食性 (9%)。魚類密度最低的青灣內灣僅記錄到食珊瑚性魚類 (表 6)。

魚類在各調查地點的平均生物量的空間分佈特性和魚類的平均密度不盡相同，整體而言平均生物量介於每 100 立方公尺 19.18 克 (青灣內灣) 到 1457.33 克 (野柳淺區)，第二高的為眺石深區 (884.09 克)、其餘地點的平均生物量介於 203.02 克 (基翬淺區) 和 291.40 克 (野柳深區) 之間 (表 6)。魚類功能群生物量組成在各地點間也呈現空間差異。例如在野柳淺區，93% 的生物量來自於雜食性魚類、但藻食性魚類提供了 6% 的生物量，密度和其相似的無脊椎生物捕食性魚類對當地生物量的貢獻僅有 0.1% (表 6)。在魚類密度第二高的野柳深區卻有顯著較低的生物量，每 100 立方公尺的魚類的平均生物量僅 291.40 克。雖然最優勢的雜食性魚類提供最高的生物量 (30%)，但其比例降至 54%，次主要的則為浮游生物捕食性魚類，佔整體的 35%。密度佔 7% 和 1% 的藻食性和食珊瑚性魚類則提供了 21% 和 24% 的生物量 (表 6)。基翬淺區平均生物量較高的為密度次高的雜食性魚類 (91.65 克) 和密度最高的藻食性魚類 (67.15 克)，密度相似的無脊椎生物捕食性魚類的生物量則顯著較兩者低，每 100 立方公尺僅 24.93 克 (表 6)。眺石深淺兩區的魚類功能群生物量組成趨勢不同，深區有密度低但體型較大的肉食性魚類貢獻 74% 的生物量 (655.07 克)，因此此區的總生物量為全部調查地點中的次高 (884.09 克)。肉食型魚類的密度在眺石淺區為眺石深區的一半，但平均生物量僅 30.65 克，佔整體生物量的 12%。雜食性魚類

是眺石淺區主要的生物量貢獻者，佔整體的 54%（132.68 克），但在眺石深區的密度和生物量卻較低，每 100 立方公尺內僅有 2.94 個個體，約 33.69 克（表 6）。

大型底棲無脊椎生物的數量極低，僅在基鰓的淺水域調查到魔鬼海膽，每 100 平方公尺內平均有 1.7 個個體。

表 6、不同魚類功能群在各調查地點的平均密度（個體數/100 立方公尺）和平均生物量（克/100 立方公尺）以及標準差

地點	深度	平均總個體數 (100 立方公尺)	肉食性	食珊瑚性	藻食性	無脊椎生物 捕食性	雜食性	浮游生物捕 食性
野柳	淺	96.93 (111.47)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	2.94 (1.41)	0.91 (1.57)	93.08 (109.47)	0.00 (0.00)
野柳	深	47.78 (37.81)	0.23 (0.39)	0.68 (0.96)	3.40 (1.18)	0.68 (1.18)	26.04 (15.32)	16.99 (25.32)
基翬	淺	34.42 (6.81)	1.36 (0.68)	0.45 (0.39)	11.55 (3.40)	9.74 (1.71)	11.10 (3.42)	0.23 (0.39)
眺石	淺	41.22 (35.54)	1.13 (1.04)	0.91 (0.78)	6.57 (7.96)	9.06 (9.83)	20.61 (14.77)	2.94 (2.83)
眺石	深	22.65 (14.64)	2.04 (1.80)	0.68 (0.96)	5.66 (5.70)	5.89 (5.10)	2.94 (1.57)	5.66 (5.49)
青灣內灣	淺	0.45 (0.78)	0.00 (0.00)	0.45 (0.78)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

地點	深度	總生物量 (克 /100 立方公尺)	肉食性	食珊瑚性	藻食性	無脊椎生物 捕食性	雜食性	浮游生物捕 食性
野柳	淺	1457.33 (1942.15)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	90.66 (68.55)	2.74 (4.75)	1363.92 (1931.98)	0.00 (0.00)
野柳	深	291.40 (205.68)	5.62 (9.73)	70.86 (100.20)	63.90 (39.80)	3.27 (5.67)	88.19 (67.46)	83.18 (128.52)
基翬	淺	203.02 (103.32)	11.00 (8.15)	5.91 (6.36)	67.15 (21.76)	24.93 (15.77)	91.65 (60.76)	2.39 (4.14)
眺石	淺	243.65 (297.55)	30.65 (27.25)	6.97 (9.98)	20.62 (32.76)	40.02 (37.54)	132.68 (189.52)	12.72 (20.92)
眺石	深	884.09 (1218.36)	655.07 (1065.16)	6.84 (9.68)	64.67 (68.48)	116.91 (117.76)	33.69 (17.95)	9.19 (8.85)
青灣內灣	淺	19.18 (33.22)	0.00 (0.00)	19.18 (33.22)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

(三) 累積曲線 (accumulation curve) 分析

1. 橫截線調查法 (LIT) 與穿越線樣點取樣法 (PIT)

累積曲線圖顯示穿越線上取樣的隨機點數與虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率的離散程度成反比 (圖 12、13)。隨機點數越低，相同點數產生的 200 個虛擬群聚珊瑚覆蓋率越離散，且這特性不因橫截線珊瑚覆蓋率高低而有顯著差異 (圖 12)。整體而言，在 15 公尺的穿越線上使用穿越線取樣法 (PIT) 時，隨機選取 30 個樣點 200 次求得的珊瑚覆蓋率的標準差約 7%。當 30 個樣點間隔皆為 50 公分時即為珊瑚礁體檢的標準操作方法。同理隨機選取 60 個隨機點時的標準差約 5%、選取 300、500 和 750 點時的標準差分別為 2.5%、1.5% 和 1% (圖 13)。同時考量 (1) 穿越線樣點取樣法求得的覆蓋率需介於由橫截線調查法求的實際覆蓋率 $\pm 2.5\%$ 的範圍內和 (2) 操作上的便利性，在 15 公尺內隨機取樣 500 點或每 3 公分記錄一次底質是較合理的操作方式。

2. 穿越線樣框拍照取樣法 (Photoquad)

用於繪製穿越線樣框拍照取樣法的累積曲線圖的穿越線有三條位於青灣內灣五公尺，穿越線上的照片數分別為 43 張 (圖 14a)、59 張 (圖 14b) 和 56 張 (圖 14c)、兩條位於眺石，分別為淺區 (44 張照片，圖 14d) 和深區 (46 張照片，圖 14e)。使用全部照片以及每張照片 150 個隨機樣點求得的珊瑚覆蓋率分別為 34.91%、39.29%、32.07%、53.55% 和 5.71% (圖 14a-e)。累積曲線圖顯示穿越線樣框拍照取樣法上取樣的隨機點數與虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率的離散程度成反比 (圖 14)。隨機抽取的點數越低產生的虛擬群聚珊瑚覆蓋率越不穩定，且這特性不因穿越線珊瑚覆蓋率高低而有顯著差異 (圖 14)。

每張照片使用 30 個隨機樣點時虛擬珊瑚群聚的標準差約為 7% (圖 15a-e)；將每條穿越線上的樣框合併計算時求得的覆蓋率標準差介於 1% (圖 15j) ~ 1.7% (圖 15f, i)。每張照片使用 50、75 和 100 個隨機樣點時的珊瑚覆蓋率標準差約為 4%~5%、2%~4% 和 2% (圖 15a-e)；將每條穿越線上的樣框合併計算時，每張照片使用 50 個隨機樣點求得的覆蓋率標準差皆不高於 1%、使用 100 個隨機樣點時的覆蓋率標準差則不超過 0.5% (圖 15f-j)。因此若將全部照片合併，每張照片使用 30 點即可達到 95% 信賴區間，但若考慮每張照片則每張照片需 100 個隨機樣點。

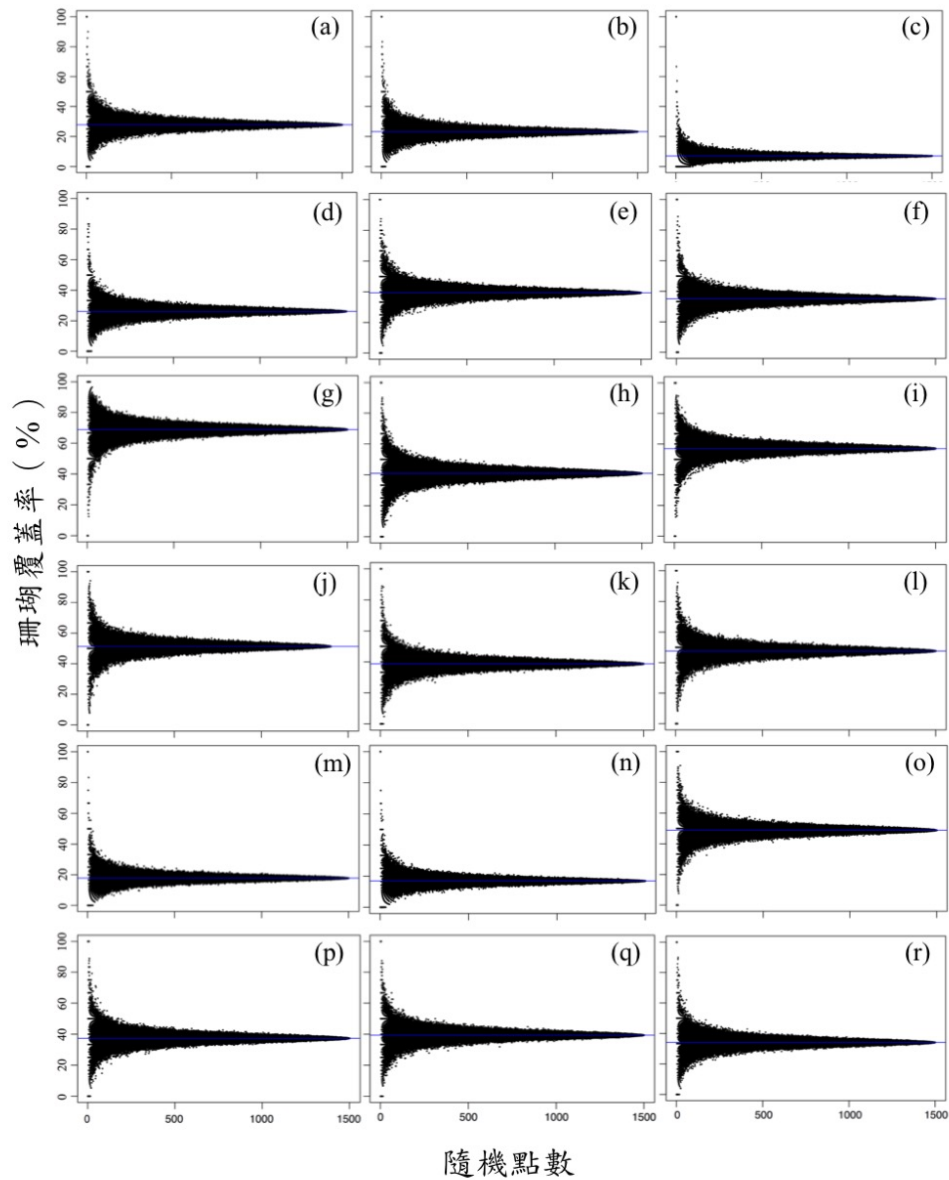


圖 12、穿越線上隨機點數與覆蓋率的累積曲線圖。穿越線包括野柳淺區 (a-c)、野柳深區 (d-f)、基輦 (g-i)、眺石淺區 (j-l)、眺石深區 (m-o) 和青灣內灣 (p-r)。深藍色水平線為各樣點由橫截線取樣法求得之珊瑚覆蓋率。

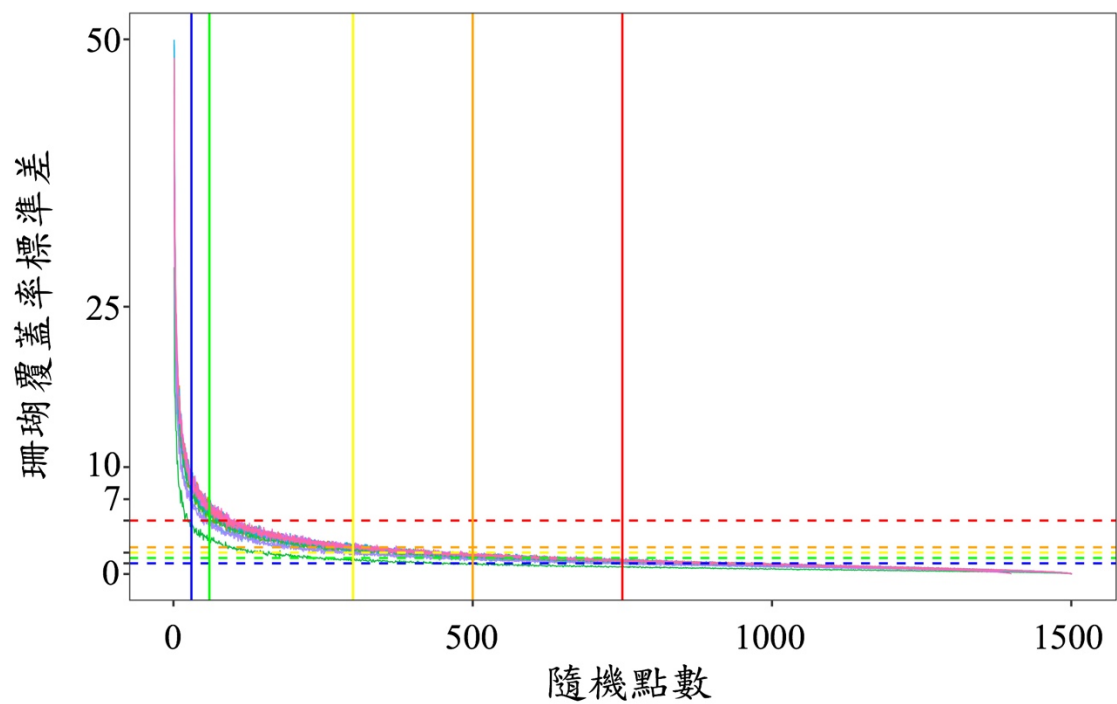


圖 13、各條穿越線上不同隨機點數產生的 200 個虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率標準差。每條實線代表圖 11 中的 a-r 穿越線。紅色、橘色、黃色、綠色和藍色的水平虛線代表 5、2.5、2、1.5 和 1 的標準差。藍色、綠色、黃色、橘色和紅色的垂直實線代表 30、60、300、500 和 750 的隨機點數。

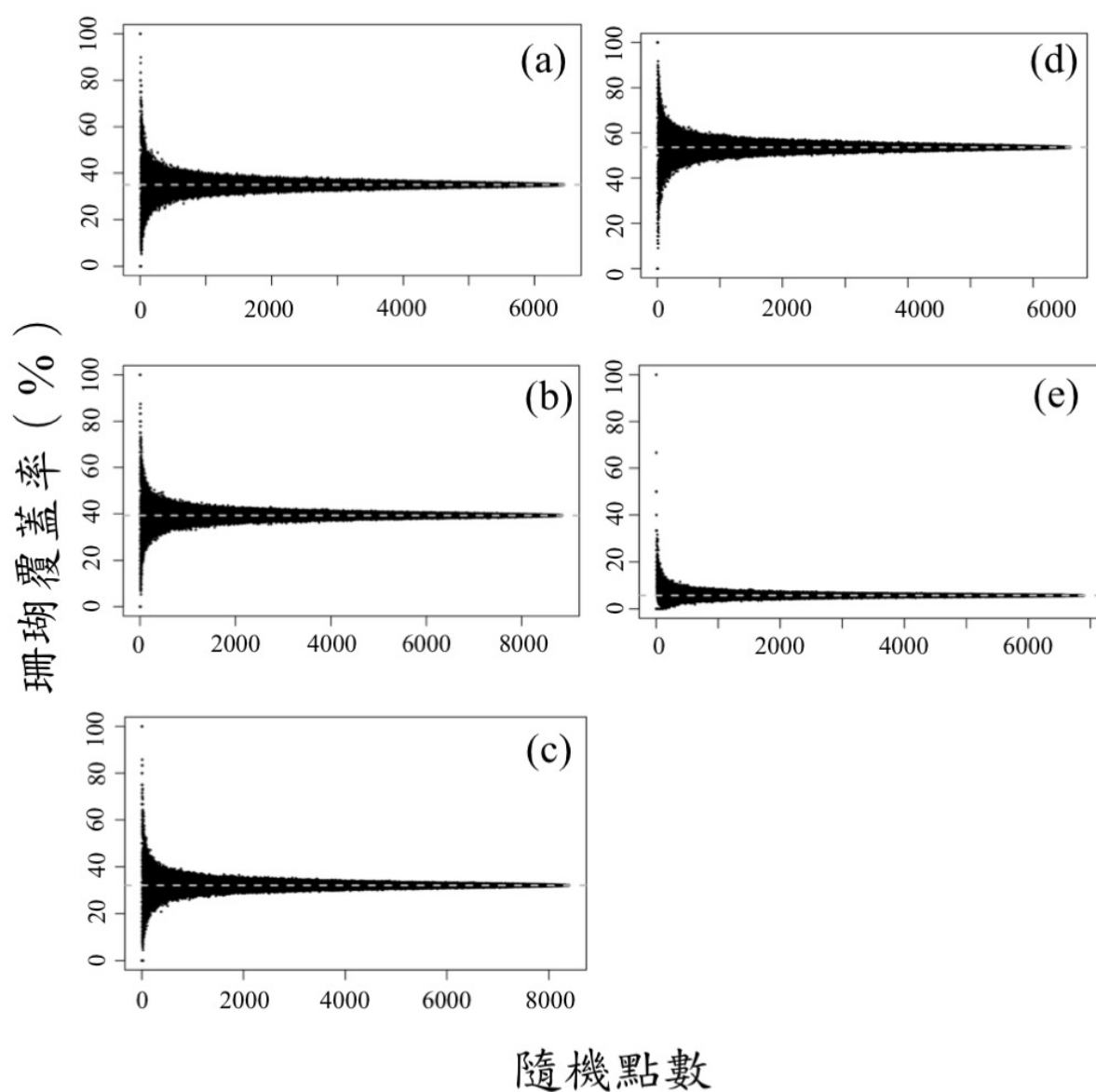


圖 14、穿越線樣框拍照取樣法上隨機點數與覆蓋率的累積曲線圖。穿越線位於青灣內灣五公尺 (a) 43 張照片、(b) 59 張照片、(c) 56 張照片、眺石五公尺 (d) 44 張照片和眺石十公尺 (e) 46 張照片。灰色水平虛線為各穿越線上使用全部照片中的 150 個隨機樣點求得之珊瑚覆蓋率。

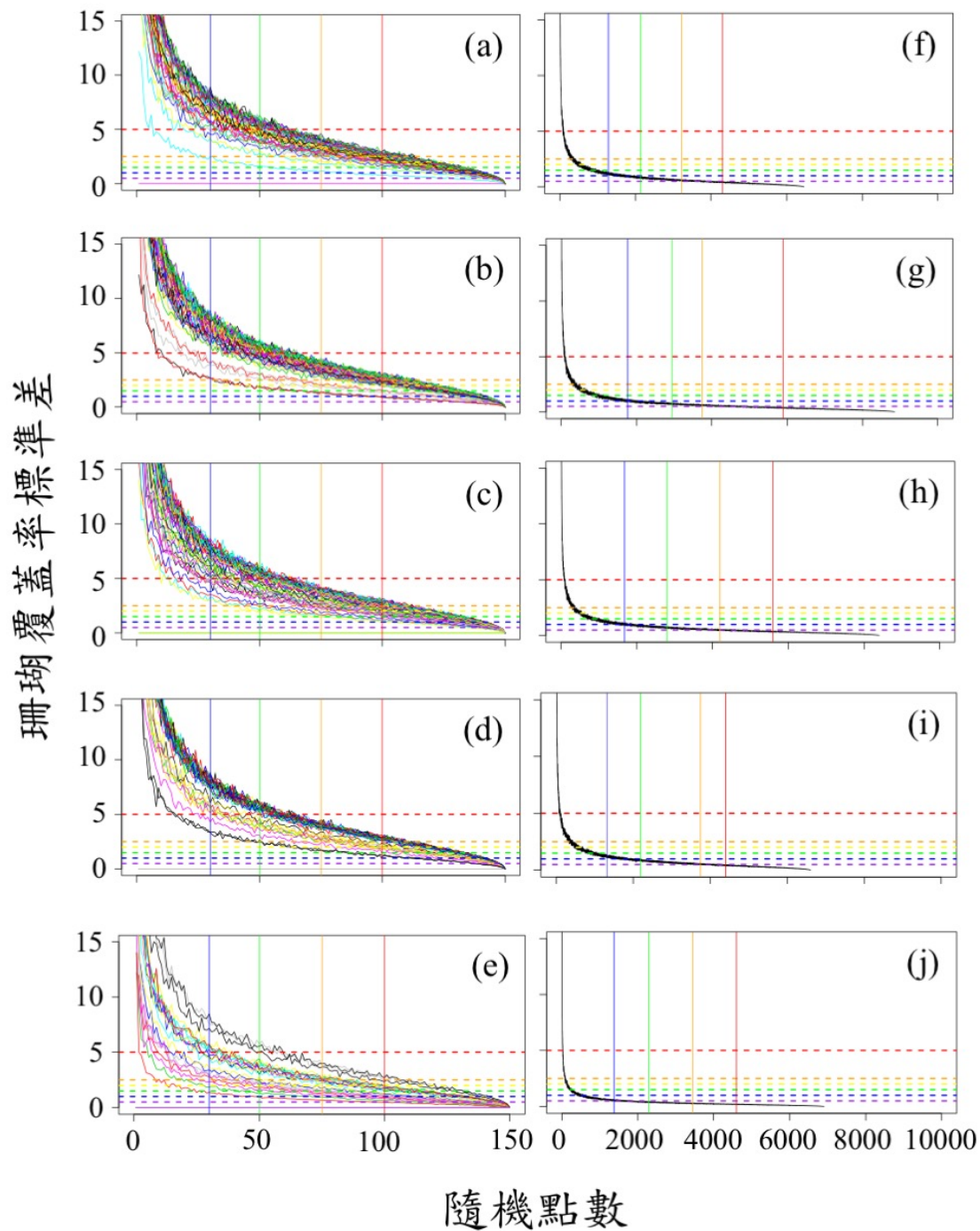


圖 15、照片樣框中和將照片合併計算穿越線上不同隨機點數產生的 200 個虛擬珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率標準差。(a-e) 各穿越線上每張照片單獨計算的標準差曲線圖；(f-j) 每條穿越線上全部樣框合併後再計算的標準差曲線圖。(a, f) 對應圖 14a；(b, g) 對應圖 14b；(c, h) 對應圖 14c；(d, i) 對應圖 14d；(e, j) 對應圖 14e。紅色、橘色、黃色、綠色、藍色和紫色的水平虛線代表 5、2.5、2、1.5、1 和 0.5 的標準差。紅色、橘色、黃色、綠色和藍色的垂直實線代表在每張照片使用 100、75、50 和 30 個隨機點數。

(三) 調查方法綜合比較

不同調查方法在水下工作時間、取樣範圍、實驗室工作時間和精確度等項目各有優缺點(表7)。撇除熟悉操作方法和珊瑚鑑種所需要的訓練時間。如使用精確度最高的橫截線取樣法,在水下直接紀錄一條15公尺穿越線需20分鐘,但使用錄影法僅需8分鐘(平均一分鐘拍攝兩公尺的穿越線)即可拍攝一條穿越線;然而在水下直接紀錄後僅需10分鐘將記錄版資料輸入電腦,錄影法則需要30分鐘觀看影片及輸入資料(表7)。

雖然橫截線調查法可收集到最精細的資料,但在水下直接紀錄每筆資料非常耗時,在5公尺深水域每次潛水僅可調查約40公尺的距離。因此在水下攝錄影器材尚未普及的年代為了擴大每次潛水可涵蓋的調查範圍,發展資料精準度較低但涵蓋範圍較廣的穿越線樣點取樣法。以50公分為樣點間隔,調查一條15公尺的穿越線僅需5分鐘,然而資料可信度不高,使用此調查方法獲得的珊瑚覆蓋率僅有約10%的機會會介於實際覆蓋率 $\pm 2.5\%$ 的誤差範圍內(圖13)。需在穿越線上隨機選取500個樣點、或以3公分為樣點間隔才可將此機率提高至95%,且所需時間與最傳統的水下直接紀錄穿越線調查法相似。如此不僅失去當初發展穿越線樣點取樣法的初衷、也無法如橫截線取樣一般提供“群體大小”這個珊瑚群聚動態的重要因子(表7)。

使用穿越線樣框取樣法為使用25公分x25公分的樣框沿著穿越線連續拍照,順利時約20分鐘可拍攝完15公尺長、共3.75平方公尺的穿越帶,但遇海況不佳時時間則會延長。此方法的後續影像分析時間最長,時間長短則依據每個樣框內隨機撒點數的多寡而定。當以穿越線為單位,每個25公分x25公分樣框內至少需撒30個隨機樣點所求得的覆蓋率才會有95%的機會介於實際覆蓋率 $\pm 2.5\%$ 的誤差範圍內,需要至少3小時分析影像;若以同樣標準分析每張照片,則每張照片需要撒100個隨機樣點,需要至少5小時分析影像。此外,穿越線樣框拍照取樣法和穿越線樣點取樣法一樣,皆無法計算群體大小(表7)。

綜合比較各調查方法的特性,沿著橫截線拍攝影像再回實驗室分析影像的橫截線調查法一改傳統上水下直接紀錄的缺點,不儘操作快速,平均一分鐘可拍攝兩公尺的影片;野外操作人員的要求門檻也較低,不需辨認珊瑚到種,僅需具有頂尖中性浮力、可拍攝高品質、清晰影像的潛水員即可。惟實驗室的物種辨識人員須熟悉當地物種組成。最重要的是僅有橫截線調查法可提供珊瑚群體大小的資料作為分析族群動態

用。因此建議使用沿著橫截線拍攝影像再回實驗室分析的橫截線調查法作為珊瑚礁底棲群聚的標準調查方法。

表 7、不同底棲群聚調查方法特性比較整理表。參考標準為沿著一條 15 公尺穿越線進行調查並且將珊瑚鑑定到種。

調查方法	水下工作時間	取樣範圍	實驗室工作時間	精確度	留存影像作其他用途	野外工作人員門檻
橫截線取樣法	直接紀錄 (20 分鐘)	15 公尺	10 分鐘	最高	無	高，需能辨識珊瑚到種
	錄影法 (8 分鐘)	15 公尺	0.5 小時 (但需要經驗)	最高	有	低，僅需可拍攝穩定的高品質、清晰影像
穿越線樣點取樣法 (每 50 公分)	直接紀錄 (5 分鐘)	15 公尺	無	最不精確	無	高，需能辨識珊瑚到種
穿越線樣點取樣法 (每 3 公分)	直接紀錄 (20 分鐘)	15 公尺	無	次高	無	高，需能辨識珊瑚到種
穿越線樣框拍照取樣法 (30 點)	20 分鐘	3.75 平方公尺	3 小時	較不精確	有	低，僅需可拍攝穩定的高品質、清晰影像
穿越線樣框拍照取樣法 (100 點)	20 分鐘	3.75 平方公尺	5 小時	精確	有	低，僅需可拍攝穩定的高品質、清晰影像

三、珊瑚礁生態資源的標準調查方法

不同的調查方法有其優缺點，因此使用的時機與目的會決定要使用何種調查方法。依據不同使用時機建議的調查方法分述如下：

（一）公民科學家環境教育推廣

公民科學（Citizen Science）是指由職業研究人員帶領業餘科學家以及一般民眾進行科學研究以增進科學知識或協助收集監測計畫的資料。由於參與人員的經驗較參差不齊，因此選擇調查方法的依據為僅需短時間的訓練即可快速上手、僅針對容易辨認的目標物種收集最基礎資料即可。在珊瑚礁調查中最通用的公民科學調查法為珊瑚礁體檢（Reef Check），其調查方法敘述如下：

1. 調查人數：10 人。
2. 調查深度：2-6 公尺和 6-12 公尺。
3. 每條穿越線長度：20 公尺。
4. 每深度穿越線數量：4 條。
5. 工作分配：

工作	人數
佈線員	2
魚類調查員	2
底棲大型無脊椎動物調查員	2
底棲群聚調查員	2
科學指導員	1
安全戒護/熟悉調查樣點的潛水教練	1

6. 流程：

1. 佈穿越線：

- a. 船潛：由安全戒護教練與佈線員先行入水，找到穿越線起始點後安全戒護教練升起水面浮標通知潛水員準備入水，同時佈線員開始佈

放穿越線。船上潛水員入水後於穿越線起始點後方 5 公尺處集結等待以免干擾魚類行為。

- b. 岸潛：全體一起下水，找到穿越線起始點後佈線員開始佈放穿越線，其餘人員於穿越線起始點後方 5 公尺處集結等待以免干擾魚類行為。
- c. 佈線員佈完線後即停留在線尾等待其餘調查員。
- d. 若非固定穿越線，則保持穿越線在相同深度區間比拉一條筆直但跨越不同深度區間重要以避免棲地特性改變劇烈。

2. 魚類調查：

- a. 最佳調查時間：09:00 – 10:00。
- b. 調查範圍：5 公尺寬、20 公尺長、5 公尺高的柱狀穿越柱四條，由穿越線切為均等的兩半。兩位魚類調查員各自負責一半的調查範圍（圖 16）。
- c. 魚類調查員保持在穿越線兩側水層中間的位置，緩慢地且穩定的以直線方式前進並同時記錄指標性魚種(圖 18)。其中裸胸鯔為穴居性，在游動時容易忽略，因此通常會由無脊椎紀錄員協助進行紀錄(表 9、圖 17)。
- d. 當佈線員出發 15 分鐘、待魚群回復平常分布狀況後即可開始進行魚類調查。
- e. 在每條穿越線的線頭停留 1 分鐘，在這 1 分鐘中
 - i. 利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
 - ii. 使用穿越線再次確認 20 和 30 公分的長度。
 - iii. 潛伴間互相溝通。
 - iv. 開始紀錄在穿越線內的指標魚類魚類個體數。
- f. 由於魚類在游動中會跨越不同調查員負責的穿越線，因此兩位魚類調查員需互相溝通以避免重複計算魚類數量。
- g. 每紀錄 5 公尺後停留 1 分鐘以降低對魚類的干擾。但在這 1 分鐘內仍繼續記錄新出現的魚類、重新檢查對 2.5 公尺的估計、保持潛伴互相溝通。

- h. 記得 20 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄（若使用 50 或 100 公尺穿越線）。
- i. 調查完所有穿越線後停留在最後一條穿越線尾等待其他調查員。

3. 無脊椎調查：

- a. 調查範圍：5 公尺寬、20 公尺長的穿越帶四條，由穿越線切成左右各一半，兩位潛水員一人負責一半（圖 16）。
- b. 待魚類調查員出發 10-15 分鐘後再開始調查。
- c. 在等待期間利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
- d. 以 U 型前進，每個 U 型約 2 公尺寬。每 3-4 個 U 型後重新檢查 2.5 公尺的距離。
- e. 前進時成輕微頭上腳下姿勢以檢查礁岩縫中躲藏的無脊椎生物（表 10、圖 18）。
- f. 在紀錄時除了指標性無脊椎生物外，另外要協助留意裸胸鯙（圖 17），以及珊瑚的損害狀況與罕見生物的出現（圖 18）。
- g. 潛伴間互相溝通。
- h. 記得 20 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄（若使用 50 或 100 公尺穿越線）。
- i. 調查完所有穿越線後停留在最後一條穿越線尾等待其他調查員。

4. 底質調查：

- a. 調查範圍：20 公尺長的穿越線四條（圖 17）。
- b. 待魚類調查員出發 10-15 分鐘後再開始調查，可與無脊椎調查員同時出發。
- c. 保持良好中性浮力，頭稍微朝下。
- d. 每 50 公分紀錄一個樣點下的底質類別（表 11、圖 19）。
- e. 使用探棒或鉛錘加釣線確保是在 50 公分的位置並且降低人為觀察的誤差。
- f. 紀錄任何探棒或鉛錘首先碰到的底質，而不是其下方的底質。
- g. 若穿越線已壓在底質上可以清楚辨識，則不需要再使用探棒或鉛錘以避免對生物造成傷害。
- h. 若探棒或鉛錘落在分枝型珊瑚的分枝中則記錄為珊瑚。

- i. 記得 20 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄（若使用 50 或 100 公尺穿越線）。
5. 待最後一項調查（底質或無脊椎動物）做完後，由安全戒護教練帶領順著穿越線回到第一條穿越線的起點。佈線員游在最後面收線。

（二）發生環境擾動事件（例如船隻擱淺）時快速損害評估、初步探勘新樣點

快速損害調查與新樣點初步探勘的目標為在有限的時間內對當地環境有完整的初步了解，因此選擇調查方法的考量為在不失去資料準確度的前提下，在一次潛水的時間內可盡量擴大調查範圍。調查方法詳述如下：

1. 調查人數：8 人。
2. 調查深度：依計畫需求而定。
3. 每條穿越線長度：15 公尺。
4. 每深度穿越線數量：3~5 條，穿越線間間隔 5 公尺（由於團隊成員可能不熟悉此樣點，因此使用 100 公尺穿越線作為安全參考線並以 20 公尺區分為一虛擬穿越線（15 公尺穿越線加上 5 公尺的緩衝）進行調查。至少調查三條穿越線作為三重複，最多為 5 條）。
5. 工作分配：

工作	人數
佈線員	2
魚類調查員	2
底棲大型無脊椎動物調查員	2
底棲群聚調查員	2

6. 流程：

1. 佈穿越線：
 - a. 船潛：由佈線員先行入水，選定起始點後先升起水面浮標通知潛水員準備入水，再往事先決定好的方向佈放等深的 100 公尺穿越線。船上潛水員入水後於穿越線起始點後方 5 公尺處集結等待以免干擾魚類行為。

- b. 岸潛：全體一起下水，找到穿越線起始點後佈線員開始佈放穿越線，其餘人員於穿越線起始點後方 5 公尺處集結等待以免干擾魚類行為。
- c. 佈線員佈完線後即停留在線尾等待其餘調查員。

2. 魚類調查：

- a. 最佳調查時間：09:00 – 10:00。
- b. 調查範圍：5 公尺寬、15 公尺長、5 公尺高的柱狀穿越柱 3~5 條，由穿越線切為均等的兩半。兩位魚類調查員各自負責一半的調查範圍（圖 16）。
- c. 魚類調查員保持在穿越線兩側水層中間的位置，緩慢地且穩定的以直線方式前進並同時記錄所有魚類的體長與個體數，魚類辨識至功能群（表 12）。其中裸胸鱔為穴居性，在游動時容易忽略，因此通常會由無脊椎紀錄員協助進行紀錄。
- d. 當佈線員出發 15 分鐘、待魚群回復平常分布狀況後即可開始進行魚類調查。
- e. 在每條穿越線的線頭停留 1 分鐘，在這 1 分鐘中
 - i. 利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
 - ii. 使用穿越線再次確認 20 和 30 公分的長度。
 - iii. 潛伴間互相溝通。
 - iv. 開始紀錄在穿越線內的魚類功能群與個體數。
- f. 由於魚類在游動中會跨越不同調查員負責的穿越線，因此兩位魚類調查員需互相溝通以避免重複計算魚類數量。
- g. 每紀錄 5 公尺後停留 1 分鐘以降低對魚類的干擾。但在這 1 分鐘內仍繼續記錄新出現的魚類、重新檢查對 2.5 公尺的估計、保持潛伴互相溝通。
- h. 記得 15 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄。
- i. 調查完所有穿越線後停留在最後一條穿越線尾等待其他調查員。

3. 無脊椎調查：

- a. 調查範圍：5 公尺寬、15 公尺長的穿越帶 3~5 條，由穿越線切成左右各一半，兩位潛水員一人負責一半（圖 16）。

- b. 待魚類調查員出發 10-15 分鐘後再開始調查。
 - c. 在等待期間利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
 - d. 以 U 型前進，每個 U 型約 2 公尺寬。每 3-4 個 U 型後重新檢查 2.5 公尺的距離。
 - e. 前進時成輕微頭上腳下姿勢以檢查礁岩縫中躲藏的無脊椎生物（表 13、圖 18），並在分析資料時將無脊椎生物細分成不同的功能群（圖 7）。
 - f. 在紀錄時除了指標性無脊椎生物外，另外要協助留意裸胸鯉（圖 17），以及珊瑚的損害狀況與罕見生物的出現（圖 18）。
 - g. 潛伴間互相溝通。
 - h. 記得 15 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄。
 - i. 調查完所有穿越線後停留在最後一條穿越線尾等待其他調查員。
4. 底質調查：錄影的橫截線調查法
- a. 調查範圍：15 公尺長的穿越線 3~5 條
 - b. 等待魚類調查員出發 10-15 分鐘後再開始調查，可與無脊椎調查員同時出發。
 - c. 保持良好中性浮力，頭稍微朝下。
 - d. 一員拍攝影像、另一員幫忙固定穿越線並確定穿越線的公制單位面朝上。
 - e. 以 1 分鐘 2 公尺的速度沿著 15 公尺的橫截線拍攝底質（圖 20），攝影機或相機需依深度調整白平衡或使用水下攝影燈。確保影像焦距正確。
 - f. 在電腦上播放影片並記錄每公分下的底質類別。
 - g. 除了硬珊瑚外，其餘底質類別以珊瑚礁體檢的標準（圖 19）。
 - i. 將硬珊瑚區分為軸孔珊瑚與非軸孔珊瑚，再進一步依形態區分功能群，包括封閉的分枝形、開放的分枝形、柱形、繖形、指形、表覆形、葉片形、團塊形、亞團塊形、桌形。
5. 待最後一項調查（底質或無脊椎動物）做完後，集合沿著穿越線回到起點。佈線員游在最後面收線。

(三) 珊瑚礁長期生態監測與環境影響評估

珊瑚礁生態系資源豐富、生物多樣性高，在珊瑚礁上相距十公尺的珊瑚礁可能極為不同的生態樣貌。同時人類非水生生物，進行潛水調查作業時不僅潛水人員的活動程度以及可見視野受限；缺乏清楚的地形地貌標記物更提高潛水作業的困難度，因此進行水下調查時往往會發現調查範圍內外的生物象不完全一致。歷年來由志工進行的珊瑚體檢活動結果也發現即便沒有受到大型擾動干擾，同一樣點不同年度的體檢結果有顯著的差異，推測是由於沒有使用固定穿越線，不同年雖然監測樣點相同，但穿越線放置的位置不完全相同所致。因此要進行長期珊瑚礁生態資源調查與監測的第一且必做的一步即為設立固定樣區。

- 設立固定樣區

1. 選定樣區與深度，可將 0-3、4-7、8-11 作為粗略的劃設依據，但實際深度區間由每樣點珊瑚礁群聚特性決定。
2. 放置至少三條 15 公尺穿越線，由於計畫目標為珊瑚礁生態資源，因此需選擇至少 15 公尺長以上的礁石設置穿越線並避開沙地，每條穿越線左右 3 公尺也須為相似的棲地。若礁石夠寬則穿越線可互相平行，中間間隔至少 5 公尺；若為狹長型礁體，則穿越線可連續放置但穿越線之間間隔至少 5 公尺。若礁石面積不足以同時放置三條平行或頭尾相連的穿越線，則穿越線可分散在附近礁石上。
3. 在每條穿越線的頭尾以及中間每間隔 5 公尺在礁岩上打入營釘或角鋼做為穿越線的標記（圖 21）。注意標記需避開活珊瑚。若原選定的穿越線頭有活珊瑚則調整穿越線的起始位置；若 15 公尺標記處有活珊瑚，則可稍微延伸穿越線以避開珊瑚；若每 5 公尺的標記處有珊瑚則延穿越線前後移動標記以避開珊瑚。在每條穿越線線頭標記旁較平緩側離標記 30-40 公分處再設一根標記並綁上束線帶，此標記作為提醒後續進行監測時的方向。
4. 在最適的穿越線頭綁上沉水小浮球以提高標記的可見度，並記錄此標記的 GPS 位置以利未來找回穿越線。
5. 繪製樣區的海底地圖、標記明顯的參考地標並拍攝樣區大景作為參考資料。

- 環境因子監測

監測位置：以各樣點各深度為單位收集環境因子資料。

監測項目：

溫度：

1. 將防水的水下連續溫度計綁在固定樁或礁岩縫中。紀錄每筆溫度資料的時間間隔依據可回到重複樣點的時間而定，例如若是一年一次的監測樣點，則須確保溫度計可記錄至少一年的溫度資料，但以至少需每小時紀錄一次溫度為最低標準。在環境溫度變化較快速的地區則須依照溫度變化的頻度調整資料的時間間隔，例如在受到潮汐造成的湧升流影響的墾丁南灣內和核三廠出水口西側小灣等地，紀錄頻度可提高到每半小時或 15 分鐘一筆以記錄湧升流帶來的快速溫度變化。

沈積物：

1. 採樣頻率：以每季為原則。
2. 使用 11.5 公分長、直徑 5 公分的 PVC 管作為沈積物沈降管。一邊用水管蓋封死，另一邊在管內黏上約 1 公分網目的不鏽鋼鐵網以避免生物住到沈降管中。以至少三根為一組在固定樁上，沈降管底部需距海底 20 公分並保持沈降管開口水平朝水面。
3. 放置沈降管的時間以各地環境特徵為主，沈積物多的海域需要較頻繁回收沈降管，但沈積物少的海域仍須確保在小型生物入住沈降管之前收回。回收方式為在水下用另一個 PVC 管蓋封住沈降管，裝入夾鏈袋中帶回實驗室。
4. 將沈降管內海水與沈積物倒出，先用淡水洗掉鹽份後先盡量將淡水瀝乾再置於 60°C 烘箱烘乾後秤重。

水質

1. 採樣頻率：以每季為原則。
2. 採樣深度：依據各監測樣區而定。
3. 每樣點採取三重複的水樣分裝在不同之保存瓶，依環保署公告之方法加以保存(NIEA 102.51C)，在規定時限之內送回實驗室，並依規定之時限內進行化學分析。

4. 化學分析方法：水樣採集後使用流動注入分析儀(FIA)搭配分光光度計測定亞硝酸鹽、硝酸鹽、氨氮、磷酸鹽及矽酸鹽等。氨氮係使用流動注入分析法-靛酚法(NIEA W437.51C, Pai et al., 2001)亞硝酸鹽係按苯磺胺及奈二胺顯色後測定(NIEA W436.50C, Pai and Yang, 1990a);硝酸鹽係使用鎘絲還原為亞硝酸鹽後，按亞硝酸鹽方法測定(APHA 418F 第 16 版;NIEA W436.50C; Pai and Riley, 1994)。磷酸鹽係與鉬酸銨結合成藍色複合物後測定(NIEA W443.51C, Pai and Yang, 1990b)。矽酸鹽係與鉬酸鹽生成黃色複合物後，再使用硫酸鉀銨酚還原為藍色之鉬酸鹽化合物測定(NIEA W450.50B, APHA 425C & 425D 第 16 版)。

- 生物因子監測

1. 調查人數：8 人。
2. 調查深度：可將 0-3、4-7、8-11 作為粗略的劃設依據，但實際深度區間由當地珊瑚礁群聚特性決定。
3. 每條穿越線長度：15 公尺。
4. 每深度穿越線數量：至少 3 條。
5. 工作分配：

工作	人數
佈線員與新入添小珊瑚調查員	2
魚類調查員	2
底棲大型無脊椎動物調查員	2
底棲群聚調查員	2

6. 流程：

1. 佈穿越線：
 - a. 船潛：由佈線員先行入水，找尋到固定樁後先升起水面浮標通知潛水員準備入水，再沿著固定樁佈放穿越線。除了魚類調查員外，船上其餘潛水員入水後即分組進行調查。
 - b. 佈線員佈完線後即進行新入添小珊瑚調查（詳述如下）。
2. 無脊椎調查：

- a. 調查範圍：5 公尺寬、15 公尺長的穿越帶，由穿越線切成左右各一半，兩位潛水員一人負責一半（圖 16）。
- b. 先利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
- c. 以 U 型前進，每個 U 型約 2 公尺寬。每 3-4 個 U 型後重新檢查 2.5 公尺的距離。
- d. 前進時成輕微頭上腳下姿勢以檢查礁岩縫中躲藏的無脊椎生物（表 13、圖 18），並在分析資料時將無脊椎生物細分成不同的功能群（圖 7）。
- e. 在紀錄時除了指標性無脊椎生物外，另外要協助留意裸胸鯉（圖 17），以及珊瑚的損害狀況與罕見生物的出現（圖 18）。
- f. 潛伴間互相溝通。
- g. 調查完所有穿越線後移動到事先決定的集合地點等待其他調查員。

3. 底質調查：錄影的橫截線調查法

- a. 調查範圍：15 公尺長的穿越線 3~5 條
- b. 保持良好中性浮力，頭稍微朝下。
- c. 以 1 分鐘 2 公尺的速度沿著 15 公尺的橫截線拍攝底質（圖 20），攝影機或相機需依深度調整白平衡或使用水下攝影燈。確保影像焦距正確。
- d. 在電腦上播放影片並記錄每公分下的底質類別。
- e. 除了硬珊瑚外，其餘底質類別以珊瑚礁體檢的標準（圖 19）。
- f. 將硬珊瑚區分為軸孔珊瑚與非軸孔珊瑚，再進一步依形態區分功能群，包括封閉的分枝形、開放的分枝形、柱形、繖形、指形、表覆形、葉片形、團塊形、亞團塊形、桌形。
- g. 新入添小珊瑚（直徑 < 5 公分）調查
 - i. 調查範圍：在每條穿越線上每位調查員負責調查 0.25 公尺 x 15 公尺的範圍。
 - ii. 調查方式：拍攝每顆新入添小珊瑚與比例尺的照片作為鑑定種類的依據，珊瑚鑑定到屬（圖 22）

4. 底質與無脊椎動物調查結束後集合回到潛水船上，換魚類調查員下水進行調查。
5. 魚類調查：
 - a. 最佳調查時間：09:00 – 10:00
 - b. 調查範圍：5 公尺寬、15 公尺長、5 公尺高的柱狀穿越柱 3~5 條，由穿越線切為均等的兩半。兩位魚類調查員各自負責一半的調查範圍（圖 16）。
 - c. 魚類調查員保持在穿越線兩側水層中間的位置，緩慢地且穩定的以直線方式前進並同時記錄所有魚類的體長與個體數，魚類辨識至功能群（表 12）。其中裸胸鯔為穴居性，在游動時容易忽略，因此通常會由無脊椎紀錄員協助進行紀錄。
 - d. 當其他成員回到船上後即可準備著裝，約 15 分鐘、待魚群回復平常分布狀況後即可下水進行魚類調查。
 - e. 在每條穿越線的線頭停留 1 分鐘，在這 1 分鐘中
 - i. 利用身體和裝備確認 2.5 公尺的確切寬度。
 - ii. 使用穿越線再次確認 20 和 30 公分的長度。
 - iii. 潛伴間互相溝通。
 - iv. 開始紀錄在穿越線內的魚類功能群與個體數。
 - f. 由於魚類在游動中會跨越不同調查員負責的穿越線，因此兩位魚類調查員需互相溝通以避免重複計算魚類數量。
 - g. 每紀錄 5 公尺後停留 1 分鐘以降低對魚類的干擾。但在這 1 分鐘內仍繼續記錄新出現的魚類、重新檢查對 2.5 公尺的估計、保持潛伴互相溝通。
 - h. 記得 15 公尺結束後有 5 公尺不用紀錄。
 - i. 調查完所有穿越線後收回全部穿越線並回到潛水船。

表 8、水質監測類別、檢驗項目、監測頻率及檢驗方法表

檢驗項目	監測頻率	檢驗方法
水溫	連續溫度計	NIEA W217.51A
鹽度	每季	NIEA W447.20C
pH	每季	NIEA W424.52A
溶氧	每季	APHA 421F; NIEA W421.57C
濁度	每季	U.S.EPA method 180.1;NIEA W219.52C
水中懸浮固體	每季	NIEA W210.57A
生化需氧量	每季	NIEA W510.54B
氨氮	每季	NIEA W437.51C
硝酸鹽	每季	NIEA W436.50C
亞硝酸鹽	每季	NIEA W436.50C
磷酸鹽	每季	NIEA W443.51C
矽酸鹽	每季	NIEA W450.50B ; APHA 425C & 425D 第 16 版
葉綠素甲	每季	NIEA E507.02B

(資料來源：參閱環保署公告方法；陳等 2013)。

表 9、珊瑚礁體檢魚類水下調查表

穿越線調查表-魚類 Line Transect (Fish)

Site name 調查地點:		TS 科學指導員:			
Depth 深度:		TL調查隊長:			
Date 日期:		Time 時間:			
Data recorded by 資料記錄者:					
	0 - 20m 米	25-45m 米	50-70m 米	75-95m 米	
Butterflyfish (Chaetodontidae) 蝶魚					
Sweetlips (Haemulidae) 石鱸					
Snapper (Lutjanidae) 笛鯛					
Barramundi cod (<i>Cromileptes altivelis</i>) 老鼠斑					
Humphead wrasse (<i>Cheilinus undulatus</i>) 蘇眉					
Bumphead parrotfish (<i>Bolbometopon muricatum</i>) 隆頭鸚哥、拿破崙					
Other parrotfish (Scaridae) only >20 cm 其他種鸚哥魚					
Moray eel (Muraenidae) 裸胸鯙					
Grouper (Serranidae) sizes (cm) (count ONLY >30cm) 七星斑、紅條 (體長超過30公分者):					
30-40 cm					
40-50 cm					
50-60 cm					
>60 cm					
Total # grouper 總數					
Rare animals sighted (type/#) 罕見生物 (種類/數量)					
Comments 意見:					

表 10、珊瑚礁體檢無脊椎動物水下調查表

穿越線調查表-無脊椎動物 Line Transect (Invertebrate)

Site name 調查地點:		TS 科學指導員:			
Depth 深度:		TL 調查隊長:			
Date 日期:		Time 時間:			
Data recorded by 資料記錄者:					
Invertebrates 無脊椎動物	0 - 20m 米	25-45m 米	50-70m 米	75-95m 米	
Banded coral shrimp (<i>Stenopus hispidus</i>) 櫻花蝦、清潔蝦					
<i>Diadema</i> urchins (including <i>Echinothrix</i> spp.) 魔鬼海膽					
Pencil urchin (<i>H. mammilatus</i>) 鉛筆海膽					
Collector urchin (<i>Tripneustes</i> spp.) 馬糞海膽					
Sea cucumber (Holothuridae) 海參					
Crown of thorns (<i>Acanthaster planci</i>) 棘冠海星					
Triton (<i>Charonia tritonis</i>) 大法螺					
Lobster (Palinuridae) 龍蝦					
Giant clam (<i>Tridacna</i> sp.) sizes 碑礫貝	0 - 20m 米	25-45m 米	50-70m 米	75-95m 米	
<10 cm					
10-20 cm					
20-30 cm					
30-40 cm					
40-50 cm					
>50 cm					
Total # giant clams observed 碑礫貝總數					
Impacts: Coral Disease/ Bleaching/Trash/Other	0 = none, 1 = low, 2 = medium and 3 = high				
環境衝擊: 珊瑚疾病/白化/垃圾/其他	0 - 20m 米	25-45m 米	50-70m 米	75-95m 米	
Coral damage: Boat/Anchor 珊瑚損害: 船/錨					
Coral damage: Dynamite 珊瑚損害: 炸藥					
Coral damage: Other 珊瑚損害: 其他					
Trash: Fish nets 垃圾: 魚網					
Trash: General 垃圾: 一般垃圾					
Bleaching (% of coral population) 白化 (佔族群比例)					
Bleaching (% of colony) 白化 (佔群體比例)					
Coral Disease (% of coral affected if yes) 珊瑚疾病 (受影響比例)					
Rare animals sighted (type/#) 罕見生物 (種類/數量)					
Comments 意見:					

表 11、珊瑚礁體檢底質水下調查表

穿越線調查表-底質 Line Transect (Substrate)

Site name 調查地點:				Date 日期:											
Depth 深度:				Data recorded by 資料記錄者:											
TS 科學指導員:				TL 調查隊長:											
Time 時間:															
簡稱代碼: 1. HC hard coral 硬珊瑚 2. SC soft coral 軟珊瑚 3. RKC recent killed coral 最近死亡的珊瑚 4. NIA nutrient indicator algae 營養鹽指標-藻類 5. SP sponge 海綿 6. RC rock 岩石 7. RB rubble 碎石 8. SD sand 沙 9. SI silt/clay 泥/黏土 10. OT other 其他															
(For first segment, if start point is 0 m, last point is 19.5 m) 以第一段為例，要是起點是 0 米，終點便是 19.5 米。															
Segment 1 第一段				Segment 2 第二段				Segment 3 第三段				Segment 4 第四段			
0 - 19.5 m 米				25 - 44.5 m 米				50 - 69.5 m 米				75 - 94.5 m 米			
0		10		25		35		50		60		75		85	
0.5		10.5		25.5		35.5		50.5		60.5		75.5		85.5	
1		11		26		36		51		61		76		86	
1.5		11.5		26.5		36.5		51.5		61.5		76.5		86.5	
2		12		27		37		52		62		77		87	
2.5		12.5		27.5		37.5		52.5		62.5		77.5		87.5	
3		13		28		38		53		63		78		88	
3.5		13.5		28.5		38.5		53.5		63.5		78.5		88.5	
4		14		29		39		54		64		79		89	
4.5		14.5		29.5		39.5		54.5		64.5		79.5		89.5	
5		15		30		40		55		65		80		90	
5.5		15.5		30.5		40.5		55.5		65.5		80.5		90.5	
6		16		31		41		56		66		81		91	
6.5		16.5		31.5		41.5		56.5		66.5		81.5		91.5	
7		17		32		42		57		67		82		92	
7.5		17.5		32.5		42.5		57.5		67.5		82.5		92.5	
8		18		33		43		58		68		83		93	
8.5		18.5		33.5		43.5		58.5		68.5		83.5		93.5	
9		19		34		44		59		69		84		94	
9.5		19.5		34.5		44.5		59.5		69.5		84.5		94.5	
Comments 意見:															

表 12、魚類水下調查記錄表（15 公尺）

穿越線調查表-魚類 **Line Transect (Fish)**

Site name 調查地點：		GPS：				
Depth 深度：		Date 日期：				
Data recorded by 資料記錄者：		Time 時間：				
記錄體長和個體數						
	0 - 15m 米	20-25m 米	30-45m 米	50-65m 米	70-85m 米	
Carnivore 肉食性						
Corallivore 食珊瑚性						
Herbivore 藻食性						
Invertivore 無脊椎生物捕食性						
Omnivore 雜食性						
Planktivore 浮游生物捕食性						
Rare animals sighted (type/#) 罕見生物（種類/數量）						
Comments 意見: 						

表 13、無脊椎動物水下調查記錄表 (15 公尺)

穿越線調查表-無脊椎動物 Line Transect (Invertebrate)

Site name 調查地點：		GPS：				
Depth 深度：		Date 日期：				
Data recorded by 資料記錄者：		Time 時間：				
Invertebrates 無脊椎動物	0 - 15m 米	20-25m 米	30-45m 米	50-65m 米	70-85m 米	
Banded coral shrimp (<i>Stenopus hispidus</i>) 櫻花蝦、清潔蝦						
<i>Diadema</i> urchins (including <i>Echinothrix</i> spp.) 魔鬼海膽						
Pencil urchin (<i>H. mammilatus</i>) 鉛筆海膽						
Collector urchin (<i>Tripneustes</i> spp.) 馬糞海膽						
Sea cucumber (Holothuridae) 海參						
Crown of thorns (<i>Acanthaster planci</i>) 棘冠海星						
Triton (<i>Charonia tritonis</i>) 大法螺						
Lobster (Palinuridae) 龍蝦						
Giant clam (<i>Tridacna</i> sp.) sizes 碑礫貝	0 - 15m 米	20-25m 米	30-45m 米	50-65m 米	70-85m 米	
<10 cm						
10-20 cm						
20-30 cm						
30-40 cm						
40-50 cm						
>50 cm						
Total # giant clams observed 碑礫貝總數						
Impacts: Coral Disease/ Bleaching/Trash/Other	0 = none, 1 = low, 2 = medium and 3 = high					
環境衝擊：珊瑚疾病/白化/垃圾/其他	0 - 15m 米	20-25m 米	30-45m 米	50-65m 米	70-85m 米	
Coral damage: Boat/Anchor 珊瑚損害：船/錨						
Coral damage: Dynamite 珊瑚損害：炸藥						
Coral damage: Other 珊瑚損害：其他						
Trash: Fish nets 垃圾：魚網						
Trash: General 垃圾：一般垃圾						
Bleaching (% of coral population) 白化 (佔族群比例)						
Bleaching (% of colony) 白化 (佔群體比例)						
Coral Disease (% of coral affected if yes) 珊瑚疾病 (受影響比例)						
Rare animals sighted (type/#) 罕見生物 (種類/數量)						
Comments 意見:						

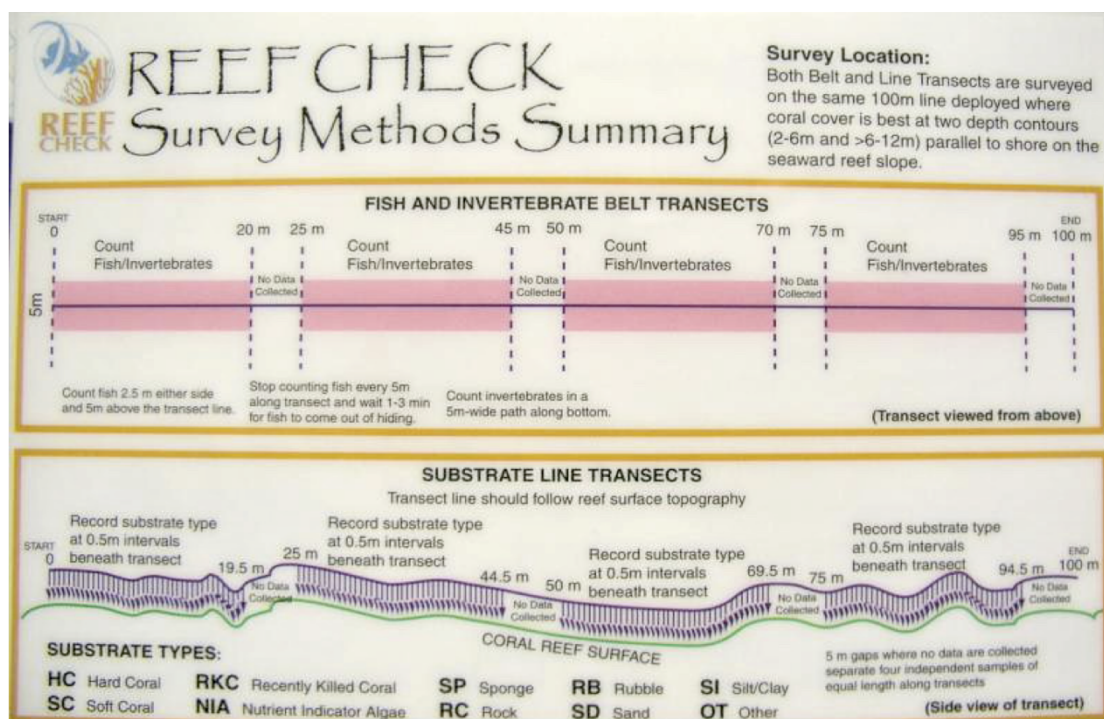


圖 16、珊瑚礁體檢調查範圍與區段



圖 17、指標性魚類圖鑑

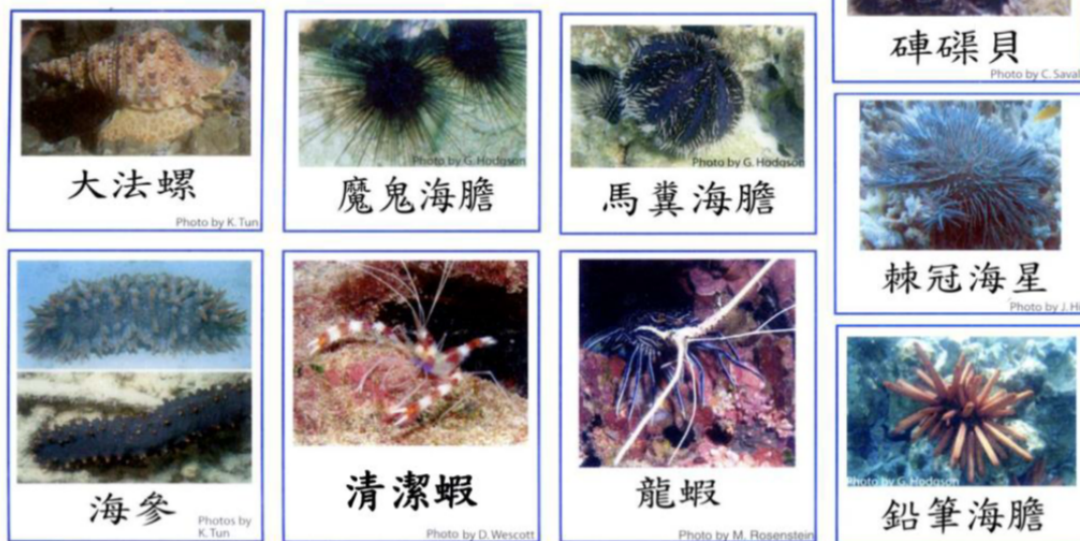


圖 18、指標性無脊椎生物圖鑑

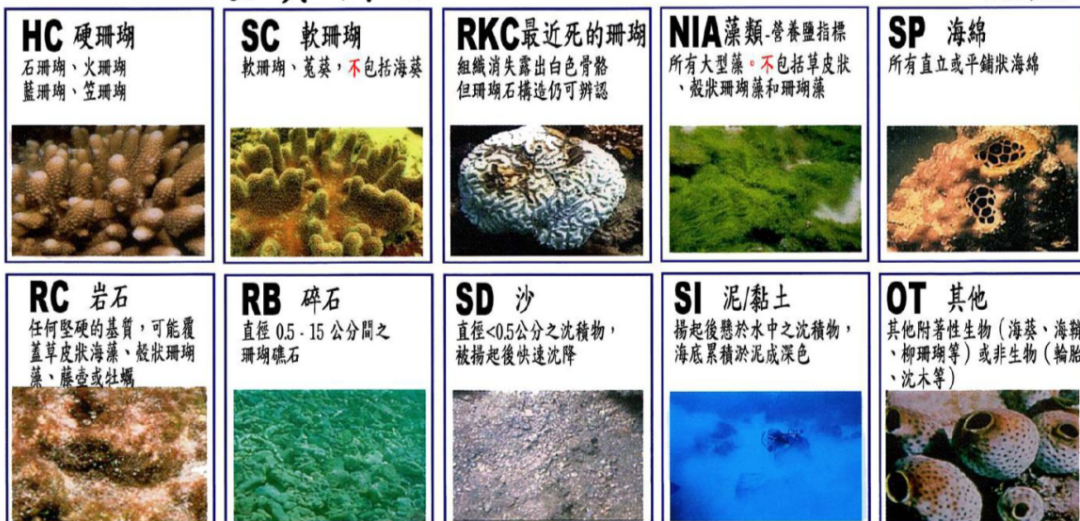


圖 19、底質大類圖鑑

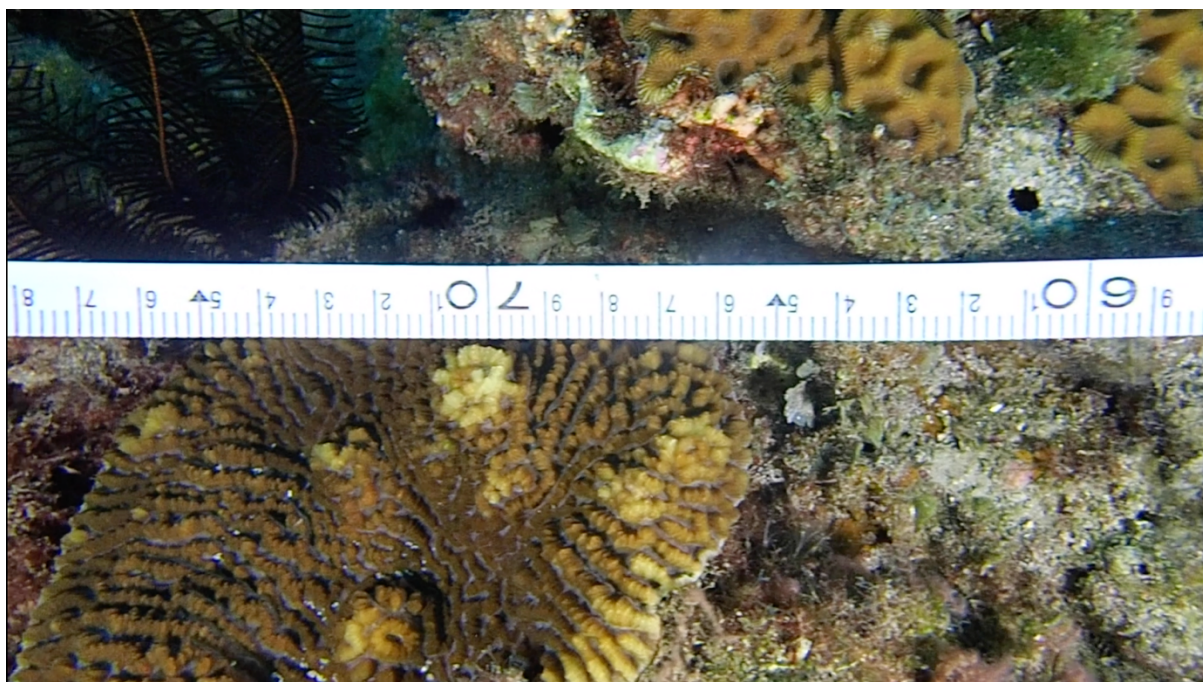


圖 20、使用錄影法紀錄橫截線下底棲群聚的影像截圖

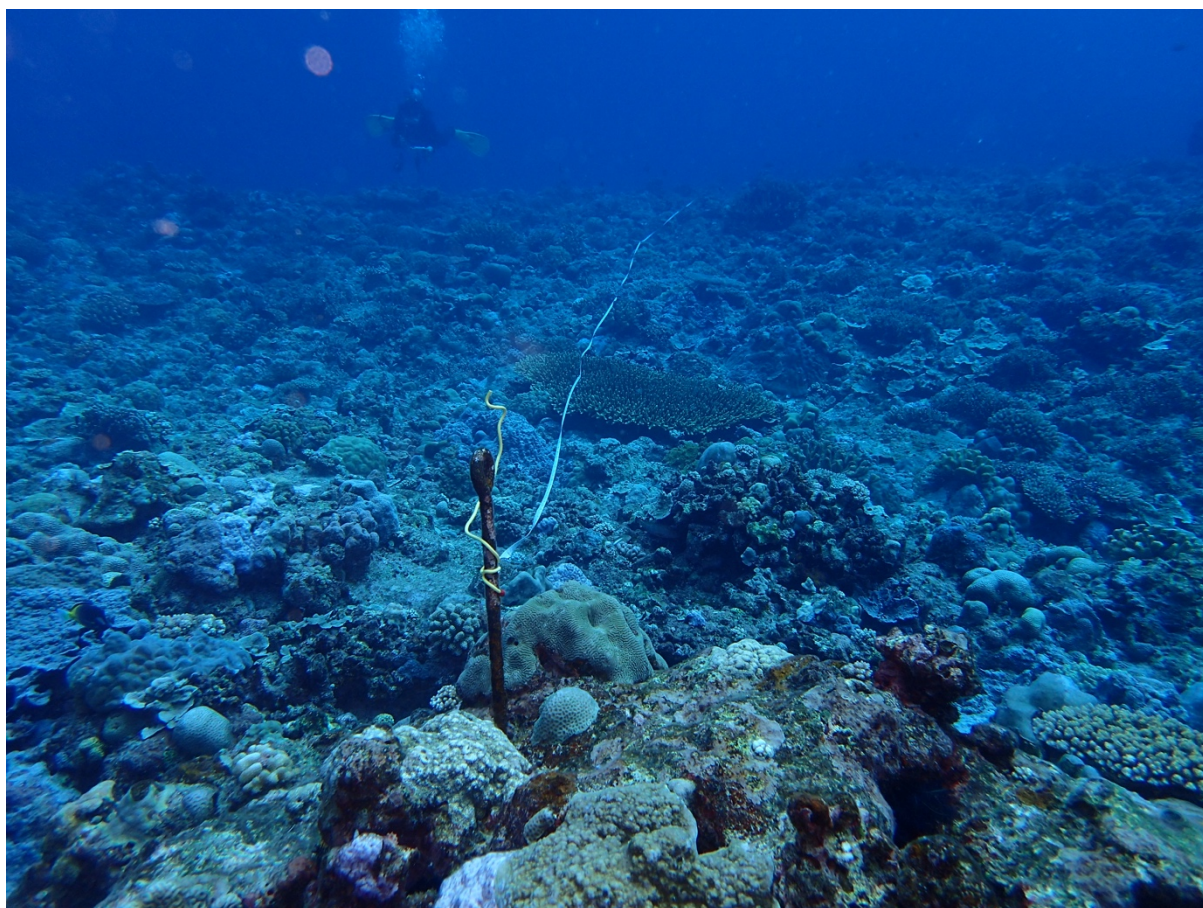


圖 21、固定樣樁示意圖

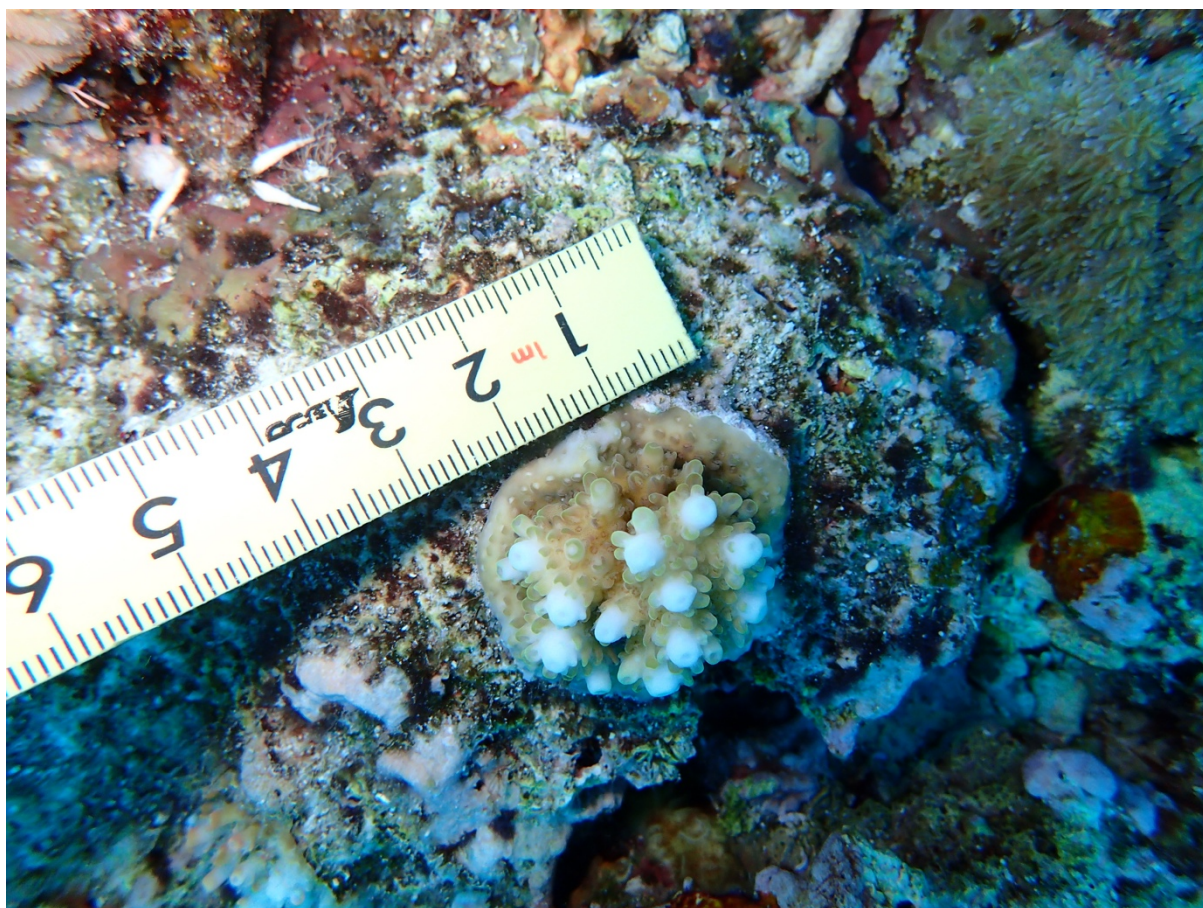


圖 22、新入添小珊瑚（軸孔珊瑚）

四、珊瑚礁生態資源保育管理建議。

珊瑚礁受到天然和人為擾動的生存壓迫而呈現衰敗，然而小尺度的經理管理對於大尺度天然擾動的功效較不顯著，因此將生態資源保育管理的重心著重於降低人為活動對生態系的影響，例如劃設保護區規範人類活動以還給大自然自行運作的能力已成為國際間的共識（Sobel & Dahlgren 2004）。自 1984 年墾丁國家公園成立之後，東沙環礁國家公園（2007 年）和澎湖南方四島國家公園（2014 年）也陸續成立，其中海域面積分別為 14891.16、353498.38、35473.33 公頃。各國家公園管理處除了支持相關研究以增進對珊瑚礁生態系的了解，在經營管理方面的努力也對降低園區內的人為影響有一定的成效。

制定保育管理方針需要大量且精準的科學研究數據支持，以免在不具代表性的資訊下擬出不合適的政策。然而依據今年的研究結果顯示，管理機關面臨的最根本問題為缺乏使用系統性調查方法收集的可靠資料。除了墾丁國家公園範圍內有持續支持研究團隊使用較精準的方法進行長期生態監測之外，其餘地區大多為短期且不連續的調查資料，不同計畫間除了調查方法與著重的面相不同之外，樣點也不一定相同。另一個使用統一方法的珊瑚礁體檢，雖然至今已累計調查過全台 114 個樣區，然而僅有少數為每年重複調查的樣點，尤其在 2008 年為一個分水嶺區分監測樣點。大多 2008 年前有調查的樣點在 2008 後的調查資料都缺乏，沒有設立固定穿越線也造成年間的監測結果變動劇烈，造成無法判讀變動趨勢，此外今年的方法比較也發現珊瑚礁體檢的底質調查方法不夠精確，產生的資料可信度較低，在規劃長期監測計畫時需重新計劃。

今年的調查結果凸顯需要由政府建立專責的正式單位，固定編列預算進行專職每年度的全台珊瑚礁資源調查。一個最好的例子即為澳大利亞海洋科學院（Australian Institute of Marine Science, AIMS）的長期監測計畫（Long-term Monitoring Program, LTMP）。此計畫從 1983 年開始即為 AIMS 內的正式長期計畫之一至今，以兩年為一個週期定期監測大堡礁內約 100 個珊瑚礁的健康狀況，監測項目包括水質、底棲群聚結構、魚類、無脊椎動物、其他珊瑚礁生物等之外，特別針對棘冠海星的族群進行詳細的監測。雖然 LTMP 早期僅使用 mount tow 進行大範圍但粗略地底棲群聚結構估計，從 2004 年開始也設置固定穿越線進行精細的監測。在這 30 年中，此計畫除了持續監測大堡礁的健康狀況並每兩年出版一次調查報告外，也出版了許多重要的珊瑚礁研究相關書籍，例如至今最完整的熱帶海洋資源調查手冊（survey manual for tropical

marine resources, English et al. 1997)。監測成果也成為澳洲制定如國家海洋科學計畫 (National Marine Science Plan 2015-2025, National Marine Science Committee & Gunn 2015) 等海洋相關政策的重要參考資料。除了科學研究之外，LTMP 也具有經驗傳承和促進交流的功能。團隊成員藉由招募有豐富潛水經驗的大學或研究生擔任志工、與大學合作共同指導博士班學生等方式持續傳承寶貴的經驗，促進不同世代間的交流以及建立合作默契。

藉此，近程和中期以及長期的管理建議，分述如下：

近程和中期目標：

- 1) 召開專家會議討論珊瑚礁保護區 (生態資源保育區) 藍圖，包括保護區 (生態資源保育區) 目標、設定保護區 (保育區) 各種指標。以及台灣珊瑚礁生態系資源保育的長程目標。
- 2) 落實海域資源保育執法：在通盤檢討現行珊瑚礁區使用方式時，持續依照現行珊瑚礁區的分區利用方式進行有效執法，降低人為影響程度。
- 3) 提撥經費成立全台珊瑚礁資源調查工作團隊，團隊成員須包含珊瑚礁區面向，例如海洋物理、海洋化學、不同海洋生物與社會經濟等不同面向的專家，使用標準化的量化調查方法進行全台珊瑚礁生態系通盤普查，以建立長期生態監測樣區，目的在於收集由專家會議產生共識的各種指標的基礎資料。更重要的是各領域皆需要有跨世代的成員參與，除了藉由執行計畫的機會傳承知識外，也培養未來的海洋相關人才與建立未來共同合作的默契。
- 4) 長期生態監測樣點的選擇可分成三個層面：
 - a. 優先調查樣點：包括本計劃報告中列出，已有珊瑚礁體檢歷史資料的樣點、各國家公園範圍內的重要監測樣點、其他不同層級保護區內的代表性樣點。
 - b. 次優先調查樣點：整理歷年來船隻擱淺的位置與海象等相關資料，使用海洋物理與水文系統模擬推估出台灣周圍海域船隻可能擱淺的潛在熱點。收集基礎資料已備不時之需。
 - c. 開發計畫相關樣點：凡遇到海岸開發計畫，則須在第一時間依照標準調查方法建立長期生態樣區以追蹤當地生態狀況的變化。

- 5) 評估導致已有樣點珊瑚礁群聚呈現衰敗的主因並建立改善方法。
- 6) 建立珊瑚礁生態調查自動辨識系統：目前主流的調查方法皆由專業人員進行實地或影像辨識，然而專業人員養成不易，要專精就需專門投入單一類群的生物。珊瑚礁生態系生物多樣性高，需要更多的專業人員進行辨識工作，因此較好的策略為發展人工智慧（AI）進行影像自動辨識，專業人員僅需校正和勘誤。雖然目前 AI 自動辨識的物種辨識解析度仍需要加強，但一旦建立自動辨識系統，可架設網站廣請潛水員使用標準工具拍攝影像並上傳，一同監測大家的海洋。

長程目標

台灣珊瑚礁生態系資源保育的長程目標為以 2050 年的氣候條件為前提下，藉由劃設分區使用的方式達成自然環境保護，保護生物多樣性和功能群多樣性及自然資源的永續利用。此外還要維持社會經濟運作，發展高品質的科學研究及環境教育等功能。具體作法包括落實有效執法、持續進行環境監測並調整相關法令、推廣不同階層海洋教育，除了讓人與海的連結從小開始扎根，提高從事海洋相關產業的意願，也建立高水準的國際研究站以提高研究能量。

參考文獻

- 方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、田文敏、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2004。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（IV）與環境教育之應用（I）。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。262 頁。
- 方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2005。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（五）環境教育之應用（二）基本生態資料之建立（二）與環境生態資料庫資訊系統之建立（一）。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。295 頁。
- 方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2006。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（六）環境教育之應用（三）基本生態資料之建立（三）與環境生態資料庫資訊系統之建立（二）。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。233 頁。
- 王維賢、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、張揚祺、林幸助、何平合。2007。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（七）環境教育之應用（四）基本生態資料之建立（四）與環境生態資料庫資訊系統之建立（三）。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。226 頁。
- 台灣海洋環境教育推廣協會、台灣環境資訊協會。2009。2009 台灣珊瑚礁總體檢（Reef Check）結案報告。台灣海洋環境教育推廣協會、台灣環境資訊協會，86 頁。
- 台灣環境資訊協會。2010。2010 台灣珊瑚礁總體檢（Reef Check）成果報告書。台灣環境資訊協會，97 頁。
- 台灣環境資訊協會。2011。2011 台灣珊瑚礁總體檢成果報告。台灣環境資訊協會，88 頁。

台灣環境資訊協會。2012。2012 台灣珊瑚礁總體檢成果報告。台灣環境資訊協會，137 頁。

台灣環境資訊協會。2013。2013 台灣珊瑚礁總體檢成果報告。台灣環境資訊協會，67 頁。

台灣環境資訊協會。2014。2014 台灣珊瑚礁體檢成果報告。台灣環境資訊協會，73 頁。

台灣環境資訊協會。2015。2015 台灣珊瑚礁體檢成果報告。台灣環境資訊協會，82 頁。

台灣環境資訊協會。2016。2016 台灣珊瑚礁體檢成果報告。台灣環境資訊協會，116 頁。

台灣環境資訊協會。2017。2017 台灣珊瑚礁體檢成果報告。台灣環境資訊協會，109 頁。

台灣環境資訊協會。2018。2018 台灣珊瑚礁總體檢成果報告。台灣環境資訊協會，54 頁。

何平合、陳昭倫、陳宏瑜、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2008。墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（八）、環境教育之應用（五）基本生態資料之建立（五）與環境生態資料庫資訊系統之建立（四）。墾丁國家公園管理處委託研究報告。270 頁。

何平合、陳昭倫、孟培傑、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2009。墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究（九）。墾丁國家公園管理處委託研究報告。276 頁。

何平合、陳昭倫、孟培傑、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2010。墾丁國家公園海域珊瑚礁長期生態監測計畫。墾丁國家公園管理處委託研究報告。300 頁。

何平合、陳昭倫、孟培傑、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺、劉弼仁。2011。墾丁國家公園海域珊瑚礁長期生態監測計畫。墾丁國家公園管理處委託研究報告。330 頁。

何旻杰、鄭念昀、陳彥嘉、郭兆揚、溫國彰、徐巧玲、陳昭倫。2016。以生物多樣性分析檢討墾丁國家公園海域分區現況。國家公園學報 26(2):60-71。台灣。中華民國。

邱怡詮。102 年澎湖南方四島海域珊瑚礁總體檢及突棘行動-保護澎湖南方四島珊瑚礁生態。海洋國家公園通訊 (18)。

<http://marine.cpami.gov.tw/epaper/EpaperDetailNewsShow5aa7.html?Cond=7c04d3dc-ae5f5-45f0-9b07-9635da6427e7>

張崑雄、戴昌鳳。1987。墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物生態研究－海域珊瑚類的分佈及群聚生態生態學之研究。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託調查報告。

郭兆揚。2007。台灣南部海域珊瑚礁底棲群聚的結構與變化。國立中山大學海洋生物研究所碩士論文。64 頁。

陳昭倫。2012。墾丁國家公園海域珊瑚礁長期生態監測計畫。墾丁國家公園管理處委託調查報告。73 頁。

陳昭倫。2014。墾丁國家公園海域分區的檢討與規劃。墾丁國家公園管理處委託調查報告。133 頁。

陳昭倫。2015a。墾丁國家公園草食性魚類之永續利用及其對珊瑚礁底棲群聚結構之影響調查。墾丁國家公園管理處委託調查報告。83 頁。

陳昭倫。2015b。珊瑚健康指標之建立與保護區管理應用：以墾丁國家公園珊瑚礁生態系為例。墾丁國家公園管理處。168 頁。

陳昭倫。2016。墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫。墾丁國家公園管理處委託調查報告。81 頁。

陳昭倫。2017。氣候變遷下東沙環礁生態韌性空間異質形式與形成機制研究（第二年）。科技部。台灣。38 頁。

陳昭倫。2018a。墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫。墾丁國家公園管理處委託調查報告。100 頁。

陳昭倫。2018b。氣候變遷下東沙環礁生態彈性的空間異質的形式與機制研究-東沙內環礁珊瑚礁群聚空間異質形式與形成機制探討(III)。科技部。70 頁。

陳昭倫、孟培傑、邱郁文。2013。墾丁國家公園海域珊瑚礁底棲群聚、水質與貝類資源量現況調查。墾丁國家公園管理處委託調查報告。118 頁。

陳淑麗、郭兆揚、陳昭倫。2009。綠島珊瑚及星野黑皮海綿覆蓋率之空間分布及年間變動調查。國家公園學報 19(4):32-45。

許逸民。2011。守護珊瑚 獵 120 隻棘冠海星。蘋果日報 2011 年 8 月 12 日。

<https://tw.appledaily.com/headline/daily/20110812/33591971>

詹森。2018。台灣區域海洋學（二版）。國立台灣大學出版中心。台灣。524 頁

廖靜蕙。2012。海管處以珊瑚之名 清除澎湖西吉嶼棘冠海星。台灣環境資訊中心電子報 2012 年 6 月 27 日。<https://e-info.org.tw/node/78059>

莊惠惠。2016 年 8 月 25 日。逾 5 個籃球場珊瑚死亡，東西吉白化嚴重。澎湖日報。

[https://blog.xuite.net/penghu.dialy/blog/444250813-](https://blog.xuite.net/penghu.dialy/blog/444250813-%E9%80%BE%E5%80%8B%E7%B1%83%E7%90%83%E5%A0%B4%E7%8F%8A%E7%91%9A%E6%AD%BB%E4%BA%A1+%E6%9D%B1%E8%A5%BF%E5%90%89%E7%99%BD%E5%8C%96%E5%9A%B4%E9%87%8D)

[%E9%80%BE%E5%80%8B%E7%B1%83%E7%90%83%E5%A0%B4%E7%8F%8A%E7%91%9A%E6%AD%BB%E4%BA%A1+%E6%9D%B1%E8%A5%BF%E5%90%89%E7%99%BD%E5%8C%96%E5%9A%B4%E9%87%8D](https://blog.xuite.net/penghu.dialy/blog/444250813-%E9%80%BE%E5%80%8B%E7%B1%83%E7%90%83%E5%A0%B4%E7%8F%8A%E7%91%9A%E6%AD%BB%E4%BA%A1+%E6%9D%B1%E8%A5%BF%E5%90%89%E7%99%BD%E5%8C%96%E5%9A%B4%E9%87%8D)

鄭明修。2008。台灣海域珊瑚礁分布及多樣性調查研究(IV)。行政院農業委員會漁業署九十七年度科技計劃研究報告，42 頁。

鄭明修。2010。澎湖西吉島海域棘冠海星大爆發事件與管控。海巡雙月刊（48）：44-50。

鄭明修、陳昭倫、湯森林、溫國彰、劉少倫、劉弼仁、李俊鴻、陳韻如、柯佳吟。

2017。南沙群島海域水產動植物資源調查及生態系統服務評估。行政院農業委員會。

趙世民、蘇焉。2014。珊瑚殺手：棘冠海星。科學人（149）

<http://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?Unit=featurearticles&id=2469>。

戴昌鳳。2005。台灣海域珊瑚礁分布及多樣性調查研究(I)。行政院農業委員會漁業署九十四年度試驗研究計劃研究報告，52 頁。

戴昌鳳。2006。台灣海域珊瑚礁分布及多樣性調查研究(II)。行政院農業委員會漁業署九十五年度科技計劃研究報告，42 頁。

戴昌鳳。2007。台灣海域珊瑚礁分布及多樣性調查研究(III)。行政院農業委員會漁業署九十六年度科技計劃研究報告，49 頁。

戴昌鳳。2009。墾丁國家公園海域珊瑚礁總體驗。墾丁國家公園管理處委託調查報告。83 頁。

戴昌鳳。2011a。台灣珊瑚礁地圖 上 台灣本島篇。天下文化。台灣。255 頁。

戴昌鳳。2011b。台灣珊瑚礁地圖 下 台灣離島篇。天下文化。台灣。255 頁。

戴昌鳳。2014。台灣區域海洋學。國立台灣大學出版中心。台灣。456 頁。

- 戴昌鳳、宋克義、黃將修、陳昭倫、樊同雲。2001。台灣海域珊瑚礁現況調查。行政院農業委員會委託研究計劃報告，54 頁。
- 戴昌鳳、宋克義、黃將修、陳昭倫、樊同雲。2002。台灣珊瑚礁現況調查。行政院農業委員會委託研究計劃報告，8 頁。
- 戴昌鳳、宋克義、鄭明修、陳昭倫、樊同雲。2003。台灣海域珊瑚礁現況調查。行政院農業委員會委託研究計劃報告，72 頁。
- 戴昌鳳、宋克義、鄭明修、陳昭倫、樊同雲。2004。台灣海域珊瑚礁現況調查。行政院農業委員會委託研究計劃報告，90 頁。
- 戴昌鳳、秦啟祥。2019。墾丁國家公園八放珊瑚圖鑑。墾丁國家公園管理處。台灣。
- 戴昌鳳、陳永澤、郭坤銘、莊正賢。1998。墾丁國家公園南灣海域珊瑚群聚的變遷：1987 至 1997 年。國家公園學報 8 (2) :79-99。台灣。中華民國。
- 戴昌鳳、郭坤銘、陳永澤、莊正賢。1999。墾丁國家公園東岸與西岸海域珊瑚群聚的變遷。國家公園學報 9 (2) :112-130。台灣。中華民國。
- 謝恆毅。2008 澎湖海域亞熱帶石珊瑚群聚之研究。國立台灣大學海洋生物研究所 博士論文。234 頁。
- 謝恆毅、鐘金水、陳高松、洗宜樂、黃文卿、林羿涵。2010。棘冠海星大爆發調查與建立大法螺人工繁殖技術。水產試驗所 2010 年報：13。
- Adjeroud M, Michonneau F, Edmunds PJ, Chancerelle Y, Lison Loma T, Penin L, Thibaut L, Vidal-Dupiol J, Salvat B, Galzin R (2009) Recurrent disturbances, recovery trajectories, and resilience of coral assemblages on a South Central Pacific reef. *Coral reefs*. 28:755
- Alvarez-Filip L, Carricart-Ganivet JP, Horta-Puga G, Iglesias-Prieto R (2013) Shifts in coral-assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality. *Scientific Report*, 3:3486. doi: 10.1038/srep03486
- Berumen ML, Pratchett MS (2006) Recovery without resilience: persistent disturbance and long-term shift in the structure of fish and coral communities at Tiahura Reef, Moorea. *Coral Reefs* 25:647-653.
- Chen CA (1999) Analysis of scleractinian distribution in Taiwan indicating a pattern congruent with sea surface temperatures and currents: examples from *Acropora* and *Faviidae* corals. *Zool. Stud.* 38:119–129.

- Chen CA (2014) Status of Coral Reefs in Taiwan. In: Kimura T, Tun K, Chou LM (ed.) Status of Coral Reefs in East Asian Seas Region: 2014, pp. 69-78. Ministry of Environment, Japan.
- Chen CA, Keshavmurthy S (2009) Taiwan as a connective stepping-stone in the Kuroshio Triangle and the conservation of coral ecosystems under the impact of climate change. *Kuroshio. Sci.* 3:15-22.
- Couch CS, Burns JHR, Liu G, Steward K, Gutlay TN, Kenyon J, Eakin MC, Kosaki RK (2017) Mass coral bleaching due to unprecedented marine heatwave in Papahānaumokuākea Marine National Monument (Northwestern Hawaiian Islands). *PLoS ONE* 12(9):e0185121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185121>
- Darwin C (1842) *The Structure and Distribution of Coral Reefs*. Berkeley, CA: University of California Press, 214pp.
- Dai CF (1988) Coral communities of southern Taiwan. *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia* 2:647-652.
- Dai CF (1989) Scleractinia of Taiwan. I. Families Astrocoeniidae and Pocilloporidae. *Acta Oceanogr. Taiwanica* 22:83-101.
- Dai CF (1993) Patterns of coral distribution and benthic space partitioning on the fringing reefs of southern Taiwan. *Mar. Ecol.* 14:185-204.
- Dai CF (1997) Assessment of the present health of coral reefs in Taiwan. In: Grigg RW, Birkeland C (eds) *Status of coral reefs in the Pacific*. University of Hawaii, Honolulu pp123–131
- Dai CF (2005) Dongsha atoll in the South China Sea: Past, present and future, in 10th International Coral Reef Symposium Proceedings [CD-ROM], edited by Y. Suzuki et al., pp. 1587–1592, Jpn. Coral Reef Soc., Tokyo.
- Dai CF (2019) July 21. Retrieved March 19th, 2019, from <https://np.cpami.gov.tw/scholars-experts/3540-chang-fong-dai-.html>
- Dai CF, Horng S (2009) *Scleractinia fauna of Taiwan I. The complex group Taipei, Taiwan*: National Taiwan University; 172pp.
- Dai CF, Soong K, Chen CA, Fan TY, Hsieh HJ, Jeng MS, Chen CH, Horng S (2004) Status of coral reefs of Taiwan. *GCRM Report of East China Sea Region*. 3:153–163.
- De'ath G, Fabricius KE, Sweatman H, Puotinen M (2012) The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109:17995–17999.

- Eakin CM, Liu G, Gomez AM, De La Cour JL, Heron SF, Skirving WJ, Geiger EF, March BL, Tirak KV, Strong AE (2017) Ding, dong, The witch is dead (?) - three years of global coral bleaching 2014-2017. *Reef Encounter* 45:33–38.
- (https://data.nodc.noaa.gov/coris/library/NOAA/CRCP/NESDIS/STAR/Project/915/Eakin2017_2014-2017_Coral_Bleaching.pdf)
- English S, Wilkinson C, Baker V (1997) Survey manual for tropical marine resources (2nd). Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia.
- Froese R, Pauly D. (ed) (2019) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (08/2019).
- Gomez, E. D., Yap, H. T. (1988). Monitoring reef condition. Coral Reef Management Hand Book. Unesco Regional Office for South East Asia. Jakarta, 171–178.
- Head CEI, Bayley DTI, Rowlands G, Roche RC, Tickler DM, Rogers AD, Koldewey H, Turner J R, Andradi-Brown DA (2019). Coral bleaching impacts from back-to-back 2015–2016 thermal anomalies in the remote central Indian Ocean. *Coral Reefs*. Doi:10.1007/s00338-019-01821-9
- Hill J, Wilkinson C (2004) Methods for ecological monitoring of coral reefs. Resource managers, Version 1, Australian Institute of Marine Science, Townsville, 177p
- Ho MJ (2014) Studies on the Coral Communities in Yenliao Bay, Northern Taiwan. PhD Thesis, Institute of Oceanography, National Taiwan University
- Hodgson G (1999) A global assessment of human effects on coral reefs. *Mar. Poll. Bull.* 38:345-355
- Hsieh HJ, Hsien YL, Jeng MS, Tsai WS, Su WC, Chen CA (2008) Tropical fishes killed by the cold. *Coral Reefs* 27:599.
- Hsieh HJ, Chen KS, Lin YI, Huang YA, Baird AH, Tsai WS, Su WC, Chen CA (2011) Establishment of a No-take area (NTA) could not guarantee the preservation of coral communities in Chinwan Inner Bay, Penghu, Taiwan. *Zool. Stud.* 50:443-453.
- Hsieh HJ, Wen CKC, Huang YC, Chen KS, Dai CF, Chen CA (2016) Spatial Patterns and Environmental Settings of Non-reefal Coral Communities Across the Tropic of Cancer in the Penghu Archipelago (Pescadores), Taiwan. *Zool. Stud.* 55:45.
- Hughes TP, Barnes ML, Bellwood DR, et al. (2017a) Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546, 82-90. doi: 10.1038/nature22901.
- Hughes TP, Kerry JT, Álvarez-Noriega M, et al. (43 more authors) (2017b) Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543 (7645):373-377.

- Hughes TP, Anderson KD, Connolly SR, Heron SF, Kerry JT, et al (2018) Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359(6371), 80-83. doi: 10.1126/science.aan8048
- Jokiel PL, Rodgers KS, Brown EK, Kenyon JC, Aeby G, Smith WR, Farrell F (2015), Comparison of methods used to estimate coral cover in the Hawaiian Islands. *PeerJ* 3:e954; doi: 10.7717/peerj.954
- Jonker M, Johns K, Osborne K (2008) Surveys of benthic reef communities using underwater digital photography and counts of juvenile corals. Long-term monitoring of the Great Barrier Reef. Standard Operational Procedure 10. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia.
- Kaufman L, Sandin S, Sala E, Obura D, Rohwer F, and Tschirky T (2011) Coral Health Index(CHI): measuring coral community health. Science and Knowledge Division, Conservation International, Arlington, VA, USA.
- Kleypas JA, McManus JW, Menez LAB (1999) Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *Am. Zool.* 39:146-159. doi:10.1093/icb/39.1.146.
- Keshavmurthy S, Kuo CY, Huang YY, Carballo-Bolaños R, Meng PJ, Wang JT, Chen CA (2019) Coral reef resilience in Taiwan: Lessons from long-term ecological research on the coral reefs of Kenting National Park (Taiwan). *J. Mar. Sci. Eng.* 7: 388. doi:10.3390/jmse7110388
- Kuo CY (2017) Adaptive strategies in reef-building corals. PhD thesis. James Cook University. Australia
- Kuo CY, Meng PJ, Ho PH, Wang JT, Chen JP, Chiu YW, Lin HJ, Chang YC, Fan TY, Chen CA (2011) Damage to the reefs of Siangjiao Bay marine protected area in Kenting National Park, Taiwan during Typhoon Morakot. *Zool. Stud.* 50: 85.
- Kuo CY, Yuen YS, Meng PJ, Ho PH, Wang JT, Liu PJ, Chang YC, Dai CF, Fan TY, Lin HJ, Baird AH, Chen CA (2012) Recurrent disturbances and the degradation of hard coral communities in Taiwan. *PLoS ONE*. 7:e44364. doi: 10.1371/journal.pone.0044364
- Kuo CY, Ho MJ, Chen YC, Yang SY, Huang YY, Hsieh HJ, Jeng MS, Chen CA (2018) Status of coral reefs in East Asian Seas Region: 2018. pp:33-40. Ministry of the Environment of Japan and Japan Wildlife Research Center, Tokyo, Japan.
- Liao M, Tang S, Hsu C, Wen K, Chen W, Wang J, Meng P, Twan W, Lu C, Dai C, Soong K, Chen C (2007) The “black disease” of reef-building corals at Green Island, Taiwan—

- outbreak of a cyanobacteriosponge, *Terpios hoshinota* (Suberitidae: Hadromerida). *Zool. Stud.* 46:520
- Loya Y (1972) Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Bio.* 13:100-123.
- Loya Y (1978) Plotless and transect methods. In: Stoddart, D.R., Johannes, R.E. (Eds.), *Coral Reefs: Research Methods*. UNESCO, Paris, pp. 197-218.
- Loya Y, Slobodkin LB (1971) The coral reefs of Eilat (Gulf of Eilat, Red Sea) *Symp. zool. Soc. Lond.* 28:117–139.
- Meng PJ, Lee HJ, Wang JT, Chen CC, Lin HJ, Tew KS, Hsieh WJ (2008) A long-term survey on anthropogenic impacts to the water quality of coral reefs, southern Taiwan. *Environ Pollut* 156: 67-75.
- Murdoch TJT (2007) A functional group approach for predicting the composition of hard coral assemblages in Florida and Bermuda. PhD Dissertation, Department of Marine Science. University of South Alabama, Alabama.
- National Marine Science Committee (Australia) & Gunn, John, (organizer.) (2015). *National Marine Science Plan 2015-2025 : driving the development of Australia's blue economy*. National Marine Science Committee, [Canberra]
- Pai SC, Tsau Y J, Yang TI (2001) pH and buffering capacity problems involved in the determination of ammonia in saline water using the indophenol blue spectrophotometric method. *Analytica Chimica Acta*.434:209-216
- Pai SC, Yang CC (1990a) Formation kinetics of the pink azo dye in the determination of nitrite in natural waters. *Analytica Chimica Acta*.232:345-349
- Pai SC, Yang CC (1990b) Effects of acidity and molybdate concentration on the kinetics of the formation of the phosphoantimonymolybdenum blue complex. *Analytica Chimica Acta*.229:115-120
- Pai SC, Riley JP (1994) Determination of nitrate in the presence of nitrite in natural waters by flow injection analysis with a non-quantitative on-line cadmium reductor. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* Vol.57pp.263-277.
- Sobel J, Dahlgren C (2004) *Marine Reserves: A guide to science, design and use*. Island Press, Washington DC, USA, 383 p.
- Spalding MD, Ravilious C, Green EP (2001) *World Atlas of Coral Reefs*. Berkeley (California, USA): The University of California Press. 436 pp.

- Veron JEN (1995) Corals in Space and Time: The Biogeography & Evolution of the Scleractinia. UNSW PRESS
- Wang J, Chern CS (1988) On the Kuroshio branch in the Taiwan Strait during wintertime. Prog. Oceanogr. 21:469-491. doi:10.1016/0079-6611(88)90022-5.
- Wang J, Chern CS (1992) On the distribution of bottom cold waters in Taiwan Strait during summer time. La mer 30:213-221.
- Wilkinson CR (ed) (1998) Status of coral reefs of the world: 1998. Australian Institute for Marine Science, Townsville
- Wilkinson CR (ed) (2008) Status of coral reefs of the world: 2004. Australian Institute for Marine Science, Townsville

附錄一、各條穿越線上記錄到之魚類物種與相對應功能群豐度

功能群	物種	基 羣			青 灣 內 灣			眺 石			野 柳		
		淺			淺			淺			深		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
食肉性	<i>Amblyeleotris wheeleri</i>											2	
	<i>Cephalopholis miniata</i>												1
	<i>Cephalopholis urodeta</i>							1				1	
	<i>Labracinus cyclophthalmus</i>		1	2				1			1		
	<i>Lethrinus harak</i>											2	
	<i>Paracirrhites forsteri</i>	1	2										
	<i>Pempheris oualensis</i>								3				
	<i>Scolopsis bilineata</i>											1	2
食珊瑚性	<i>Chaetodon trifascialis</i>							1					
	<i>Chaetodon baronessa</i>							1					
	<i>Chaetodon kleinii</i>											2	
	<i>Chaetodon lunulatus</i>								1				
	<i>Chaetodon octofasciatus</i>					2							
	<i>Chaetodon ornatissimus</i>		1										
	<i>Chaetodon trifascialis</i>								1				
	<i>Heniochus monoceros</i>												2
	<i>Plectroglyphidodon johnstonianus</i>			1									
食藻性	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>		5	5								5	

功能群	物種	基 羣			青 灣 內 灣			眺 石			野 柳								
		淺			淺			淺			深			淺			深		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	<i>Calotomus carolinus</i>												1						
	<i>Ctenochaetus binotatus</i>												1						
	<i>Ctenochaetus striatus</i>		3	1															
	<i>Pomacentrus bankanensis</i>	4	3	2				3											
	<i>Scarus forsteni</i>										3	1							
	<i>Scarus schlegeli</i>											3							
	<i>Scarus</i> spp.			1				19	5	1		9	2						
	<i>Stegastes fasciolatus</i>	8	11	8										5	2	6	6	6	3
	<i>Zebrasoma scopas</i>							1											
無脊椎生物捕食性																			
	<i>Anampses meleagrides</i>							2				2							
	<i>Anampses twistii</i>											1							
	<i>Centropyge vroloki</i>											2	3						
	<i>Chaetodon auripes</i>		1										2						
	<i>Coris batuensis</i>	1	1	2															
	<i>Coris gaimard</i>	1										1							
	<i>Gomphosus varius</i>	5	3	3				6					1						
	<i>Halichoeres hortulanus</i>		1																
	<i>Halichoeres nebulosus</i>								1			1							
	<i>Hemigymnus fasciatus</i>		1																
	<i>Istigobius decoratus</i>							1			1								
	<i>Labroides dimidiatus</i>	2						2	2			1							
	<i>Macropharyngodon meleagris</i>							4		1									
	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>							1				1	1						
	<i>Parapercis pacifica</i>									2									
	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>											1							

功能群	物種	基 羣			青 灣 內 灣			眺 石			野 柳								
		淺			淺			淺			深			淺			深		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
雜 食 性	<i>Pseudocheilinus evanidus</i>	1																	
	<i>Pseudocheilinus hexataenia</i>							3	2			2	1						
	<i>Pteragogus enneacanthus</i>											1							
	<i>Stethojulis bandanensis</i>		1					3	1	1									
	<i>Stethojulis trilineata</i>	1	1																
	<i>Thalassoma hardwicke</i>	4	5	6				6											
	<i>Thalassoma lunare</i>							1											
	<i>Thalassoma lutescens</i>	1		1				1				3	1	4					
	<i>Thalassoma quinquevittatum</i>	1																	
	<i>Thalassoma</i> sp.																	3	
	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>		4															1	
	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	2																	
	<i>Canthigaster valentini</i>								4			2	1						
	<i>Centropyge bicolor</i>										1								
	<i>Chaetodon auriga</i>		2																
	<i>Dascyllus reticulatus</i>							29	1	12									
	<i>Dascyllus trimaculatus</i>							10					2						
	<i>Eviota guttata</i>								1										
	<i>Gnatholepis cauerensis</i>							3											
	<i>Neoglyphidodon melas</i>			1															
	<i>Neoglyphidodon nigrosis</i>		4	2				1	2	1	2								
	<i>Paragobiodon</i> spp.							3		2									
	<i>Pervagor janthinosoma</i>							1											
	<i>Plectroglyphidodon dickii</i>	10	7	7				5	2	2									
	<i>Plectroglyphidodon lacrymatus</i>	5	3	1				1		2									

功能群	物種	基 羣			青 灣 內 灣			眺 石			野 柳								
		淺			淺			淺			深			淺			深		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	<i>Pomacentrus brachialis</i>		1																
	<i>Pomacentrus coelestis</i>													23	40	15	60	10	40
	<i>Pomacentrus vaiuli</i>								4	3									
	<i>Pomacentrus vaui</i>							2				1	4						
	<i>Siganus fuscescens</i>													30		33		4	
														0					
食浮游生物性																			
	<i>Amphiprion clarkii</i>							4					1						
	<i>Chromis margaritifer</i>							1				1	11						
	<i>Chromis notatus</i>															68	5	2	
	<i>Chromis weberi</i>												1						
	<i>Chromis xanthochira</i>											1							
	<i>Cirrhilabrus cyanopleura</i>									1		1							
	<i>Cirrhilabrus exquisitus</i>										1								
	<i>Cirrhilabrus</i> spp.												4						
	<i>Helcogramma striata</i>											3							
	<i>Meiacanthus grammistes</i>								1										
	<i>Ptereleotris evides</i>							4	2										
	<i>Sargocentron spinosissimum</i>		1																
	<i>Thalassoma amblycephalum</i>											1							

附錄二、歷年樣點 GPS 位置

地區	樣點	緯度	經度
東北角	桂安	25.02497	121.95004
東北角	和美	NA	NA
東北角	卯澳	25.07000	121.98889
東北角	澳底	25.05614	121.93111
東北角	鼻頭角	25.12599	121.91481
東北角	火焰山	25.01000	121.92778
東北角	麟山鼻	25.30655	121.47715
東北角	馬崗	25.01522	121.99979
東北角	深澳	25.13556	121.82194
東北角	石門	25.29354	121.47715
東北角	外木山	25.16261	121.72739
東北角	野柳	25.20884	121.69518
東北角	鹽寮	25.04413	121.92735
東北角	潮境保護區	25.14553	121.80628
東北角	基隆嶼	25.18931	121.78180
東北角	龍洞	25.01837	121.98268
東北角	龍洞一號	25.11891	121.91948
東北角	龍洞一號半	25.11581	121.91700
東北角	龍洞二號	25.11394	121.91311
東北角	龍洞四號	25.11345	121.91985
宜蘭	豆腐峽	NA	NA
宜蘭	蕃薯寮	NA	NA
宜蘭	內埤	NA	NA
宜蘭	鶯歌石	NA	NA
宜蘭	石城	NA	NA
花蓮	石梯坪	23.48408	121.51378
花蓮	新社	23.65457	121.54412
台東	三仙台	NA	NA
台東	杉原	NA	NA
台東	新蘭	NA	NA
台東	小野柳	NA	NA
台東	加母子灣	22.86328	121.20712
台東	基翬	23.11636	121.39708
台東	杉原中礁	22.82972	121.18889
台東	杉原南礁	22.82505	121.19403
綠島	柴口	22.68139	121.48278
綠島	公館	22.67722	121.49258
綠島	石朗	22.65483	121.47351
綠島	大白沙	22.63921	121.49196

地區	樣點	緯度	經度
綠島	將軍岩	22.67750	120.49750
綠島	睡美人	NA	NA
綠島	公館鼻	22.67971	121.49057
綠島	龜灣	22.64289	121.48371
蘭嶼	蘭嶼機場	NA	NA
蘭嶼	八代灣	NA	NA
蘭嶼	土地公廟	22.07051	121.50824
蘭嶼	開元港	NA	NA
蘭嶼	蘭嶼高中	NA	NA
蘭嶼	椰油	22.05102	121.51105
蘭嶼	玉女岩	22.08222	121.51778
蘭嶼	母雞岩	22.08306	121.55778
蘭嶼	虎頭坡	22.03984	121.51983
蘭嶼	朗島港	22.08111	121.52972
蘭嶼	朗島自來水廠	22.08288	121.54078
蘭嶼	雙獅岩	22.08497	121.56876
蘭嶼	乳頭山	22.06621	121.57087
蘭嶼	坦克岩	22.08782	121.50535
蘭嶼	軍艦岩	22.06621	121.57087
蘭嶼	野銀	22.04180	121.56826
墾丁	後壁湖	NA	NA
墾丁	佳樂水	21.99610	120.87040
墾丁	出水口	21.93091	120.74442
墾丁	香蕉灣	21.02413	120.83207
墾丁	眺石	21.95156	120.77040
墾丁	萬里桐	21.99793	120.70077
墾丁	合界	21.95558	120.71189
墾丁	後壁湖餵魚區	21.93590	120.74708
墾丁	後壁湖瀉湖	21.94634	120.75561
墾丁	後灣	22.03927	120.69365
墾丁	紅柴	21.97234	120.71565
墾丁	龍坑	21.90787	120.86192
墾丁	砂島	21.91233	120.84719
小琉球	美人洞	22.35392	120.36889
小琉球	大福漁港	22.33049	120.37123
小琉球	蛤板灣	22.33750	120.35806
小琉球	厚石群礁	22.32306	120.36556
小琉球	軟珊瑚區	22.34607	120.38980
小琉球	花瓶岩	22.35572	120.38063
小琉球	肚仔坪	22.35022	120.36486
小琉球	魚塢尾	22.34928	120.38989
澎湖	歧頭	NA	NA

地區	樣點	緯度	經度
澎湖	青灣內灣	23.51888	119.55027
澎湖	青灣外灣	NA	NA
澎湖	蛇頭山	NA	NA
澎湖	屈爪	23.82222	119.89166
澎湖	大白沙	23.87611	119.70970
澎湖	大蹺	23.98444	119.74055
澎湖	東吉	23.30138	119.72055
澎湖	東吉港口南	23.25218	119.66571
澎湖	東嶼坪	23.49138	119.69888
澎湖	東嶼坪東	23.26031	119.51956
澎湖	東嶼坪南	23.25460	119.51241
澎湖	東嶼坪西	23.26439	119.51633
澎湖	風櫃	23.77305	119.55083
澎湖	吉貝	23.75250	119.62944
澎湖	菓葉	23.56805	119.66888
澎湖	姑婆	23.94861	119.68166
澎湖	虎井	23.63027	119.68472
澎湖	將軍岩	23.52055	119.56972
澎湖	目斗嶼	23.84527	119.79499
澎湖	內垵	23.74805	119.61444
澎湖	鳥嶼	23.85638	119.71916
澎湖	山水	23.73222	119.76277
澎湖	通樑	23.79277	119.63638
澎湖	桶盤	23.71666	119.61250
澎湖	外垵	23.60777	119.61861
澎湖	望安北	23.62638	119.71500
澎湖	望安東南	23.59333	119.62250
澎湖	小台灣	23.36333	119.61722
澎湖	西吉	23.45833	119.82805
澎湖	西嶼坪東北	23.34416	119.69472
澎湖	西嶼坪北	23.27346	119.50741
澎湖	月鯉	23.40805	119.68333
澎湖	鐵砧東	23.27573	119.50494

GPS 系統為 WGS84。NA：樣點確切位置不可考。

附錄三、「108 年度珊瑚礁生態系調查計畫」期中

審查會議會議紀錄

壹、 時間:108 年 8 月 6 日(星期二) 上午 10 時 00 分 記錄:董于瑄

貳、 地點:海洋委員會第三會議室

參、 主持人:黃署長向文

肆、 出席人員:如會議簽到單

伍、 主席致詞:(略)

陸、 業務單位報告事項:(略)

柒、 受託單位簡報:(略)

捌、 審查意見(依委員發言順序):

委員提問	廠商回覆
戴委員昌鳳: 1. 本計畫執行內容,經討論調整之後,符合計畫目標的需求,且成果豐富,進度符合預期。 2. 本計畫有關歷史文獻與資料的整理,頗具價值,值得深入分析及探討台灣珊瑚礁變遷的過程。 3. 未來提出珊瑚礁生態監測方法,期能保持一些彈性,以因應經費、人力、時間或目標等的差異。	1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員肯定。 3. 已在期末報告中提出針對不同目標的監測方法。
宋委員克義: 1. 整理歷年「珊瑚礁總體檢」結果很有啟發性,由各地多年覆蓋率資料看來,「公民科學家」的作法可以大幅提升民眾的參與和保育意識。但是由於在量化方法上不得不的妥協,使得珊瑚礁的狀況如霧裡看花。例如一年內某地覆蓋率可以增加 20%(約 9 例)。顯然為了提供可信度較高的比較性變化,方法上必	1. 謝謝委員肯定,已在期末報告中提出針對不同目標的監測方法。

須修改，從工具、人員都有可以改變的方向。原則上要有精確地點、固定地點(橫截線或方格)、影像紀錄且有集中歸檔以便往後比較。在期末提出 SOP，讓往後 reef check 具備同樣測線、影像紀錄的方法，利用集中的影像分析。 2. 東沙環礁的珊瑚礁被國外學者視為 Super Reef-未來 10 年至 100 年可能不受白化影響的珊瑚礁，若是東沙環礁成為珊瑚礁的諾亞方舟，監測方法將應有所差異。 3. 如何利用 reef check 的人力，提升監測的水準，提供更佳的狀況指標，同時提升參與人的榮譽感，將可大幅提升對臺灣珊瑚礁的掌握。	2. 謝謝委員指教，針對東沙環礁的調查方法需要針對研究議題以及執行者的能力與經驗而設計。 3. 已在期末報告中提出針對不同目標的監測方法。然而 Reef Check 有其標準操作流程，要提升 Reef Check 的水準需要與參與 Reef Check 的單位以及人員溝通。
劉委員莉蓮： 1. 由計畫名稱看起來涵蓋之研究範圍頗大，於一年內完成是很大之挑戰，建議將工作目標依重要性分配工作比重。 2. 文獻收集部分建議增加影響珊瑚礁因子之討論，區域環境因子之成效可能多大，提供後續改善策略之訂定。 3. 研究方法敘述十分簡略，建議大幅修正。底棲群聚所有調查方法在每一樣點是否都做？調查結果標準化以 75m² 為基準，是否可以用 100m² 為單位，以利不同文獻之比較。 4. 資源保育管理建議會議之專家邀請，會因目標不同而有極大差異，建議具體目的及早確定。	1. 謝謝委員提點。 2. 由於影響珊瑚礁的因子眾多，包括水質、沈積物和人為活動等小尺度的區域因子和颱風以及白化事件等大尺度的影響因子。由於目前並沒有針對全台珊瑚和珊瑚礁的調查，因此僅列出文獻整理中提到的擾動事件。此外已在期末報告中列出建議監測的環境因子。 3. 已在期末報告中修正。 4. 會再與海保署溝通協調。
林委員天賞： 1. 未來海保署若將進行其他地點調	1. 已在期末報告中提出不同優先

查或是設置長期監測樣點，除了今年度四處調查點外，建議進行那些地區調查？	等級的監測樣點。
宋委員欣真： 1. 監測標準方式規劃誠如剛剛委員所述可分為三區塊，隨著目的性不同，需要的工具及具備的條件也將不同，請將其更完整列出。	1. 已在期末報告中提出。
黃委員向文： 1. 臺灣已有長期環境因子監測，例如水質、溶氧量，在生物方面，也希望能設立相關因子監測，甚至發展自動監測方式，利於即時回報。 2. 許多政府部門亦長期進行生態監測，例如東沙、綠島…等，請研究團隊協助盤點，以利未來經費優先投入較缺乏地區或是建立資源整合平臺。 3. 除了目前監測地點外，若有其他需要積極復育的地點，請研究團隊協助提供。 4. 珊瑚礁生態是否亦有健康指數，例如海洋健康指數的概念，可有利於大眾瞭解各地珊瑚礁現況。	1. 生物因子的自動監測值得作為未來的研究方向。 2. 很多政府部門進行的生態監測屬於內部活動，一般研究人員取得資料不易，如需資料盤點需透過署內先行聯繫收集資料以便後續整合。 3. 已在期末報告中提出需要優先進行監測的樣點。 4. 珊瑚礁相關的指數眾多，最常用且簡單明瞭的是珊瑚覆蓋率，然而珊瑚覆蓋率並不足以涵蓋珊瑚礁生態系不同面向的問題。因此目前尚未發展出可以囊括不同環境影響因子的綜合性指標。
海洋生物保育組： 1. 請再加強報告書中調查方法的描述，須清楚描述樣點選擇、樣線選擇及調查方法等並輔以相關照	1. 已在期末報告提出標準調查方法。

片說明，並且請敘明提出之標準調查方法依據。 2. 本署刻正規劃 110 年至 113 年中長程計畫，期望研究團隊可以提供珊瑚礁長期監測未來分區分年規劃的建議。 3. 期末及成果報告請附上中英文摘要，此外目錄及內文多有用字及標點符號錯漏，請予以修正。 4. 圖 5 臺灣造礁珊瑚分布圖，請加入東沙及南沙太平島，並請補充圖說。 5. 表 2 請調整文字排列方式，並請確認阿瑪斯號油污染事件是否須增列於表中。 6. 目前是否有發現小範圍區域受人為干擾而影響珊瑚礁生態，而急需進行復育之地點及復育的可能方式，可增列於經營管理建議中。	2. 已在期末報告提出珊瑚礁長期監測的建議 3. 已在期末報告中修正 4. 本計劃當初的目標為針對台灣島與周邊島嶼，東沙環礁和太平島不在計畫範圍內。。 5. 請見附錄，會在期末報告最終版中增訂。 6. 需要先進行完整的生態監測或者問卷調查以釐清小區域受人為影響的熱點以及人為影響的種類與程度。
--	---

玖、 會議結論：

本次期中審查原則通過，請執行單位參考委員意見修改，並將委員意見及回應說明以附錄方式於報告書中表列。

拾、 散會：同日上午 11 時 30 分

附錄四、「108 年度珊瑚礁生態系調查計畫」期末 審查會議會議記錄

壹、時間:108 年 12 月 3 日(星期二) 下午 15 時 00 分記錄:董于瑄

貳、地點:海洋委員會第三會議室

參、主持人:黃署長向文

肆、出席人員:如會議簽到單

伍、主席致詞:(略)

陸、業務單位報告事項:

一、本案係委託中央研究院團隊執行之委託案,依據契約第七條履約期限之規定,廠商應於 108 年 11 月 15 日前提出期末報告 10 份,供召開期末審查會進行審查,並完成下列工作:

1. 提出歷年文獻回顧等相關之彙整成果。
2. 提出珊瑚礁生態資源調查成果。
3. 建立珊瑚礁生態資源的調查方法。
4. 提出珊瑚礁生態資源保育管理建議。

二、該院送抵時間為 108 年 11 月 15 日,符合契約規定之履約工作進度及工作項目。

柒、受託單位簡報:(略)

捌、審查意見與廠商回覆(依委員發言順序):

委員提問	廠商回覆
戴委員昌鳳: 1. 本計畫在文獻整理、現地調查、不同調查法分析及珊瑚礁保育建議方面,都有豐富的結果,基本上符合本計畫之目標。	1. 謝謝委員肯定。

2. 在調查線長度方面，本計畫採用 15 公尺，但歷年珊瑚礁調查在 2005 年以前採用 50 公尺，2009 年以後用 100 公尺調查線，請補充說明採用 15 公尺的原因。 3. 用字或用詞請統一，如跳石或眺石；公尺、米或 m，以避免混淆。 4. 第 39 頁建議公民科學家級調查的參與人數為 9 人，應該不需要如此多人，基本上 3 至 4 人即足夠，太多人下水對於魚類調查的影響會很大。	2. 已在期末報告內補充。 3. 已修正期末報告內容。 4. 水下環境與陸地不同因此需要遵守潛伴制度以降低風險。潛伴制度為互相為伴的潛水員需要在三公尺之內（參考國際潛水教練協會 NAUI 2019 年標準與準則）以在意外發生的第一時間進行救援。當調查項目中多時下水的人數即必須增加。人數眾多時可在施放穿越線後將主要團隊帶離穿越線，靜待十分鐘以上讓魚類回到正常狀態，由調查魚類的潛水員先行調查再進行其他調查。用此方法可降低對魚類調查的影響。
宋委員克義： 1. 目前影像紀錄門檻低，所有調查都可以以水下影像方式存檔，以供後人比較，以各種量化方法直接比較；存檔方式同時加入政府及民間資料庫，公開、透明為原則。 2. 全球變遷中，珊瑚礁扮演先鋒生態系，另一方面”Super Reef”亦即歷年來一直未曾發生大量白化的珊瑚礁，例如東沙外環，更值得研究其機制，以及列入優先保育。	1. 謝謝委員建議。 2. 同意委員的意見，但由於今年的邀標書中明確將東沙環礁與太平島摒除在本計畫中，因此本計劃並未討論這兩個島嶼，在此將此東沙環礁納入有顯突兀，建議署內統整今年各報告後可提出實質掌控海域的珊瑚礁監測計畫並將東沙環礁與太

3. 監測項目建議太多，可行性不實際。 4. 環境因子監測應屬於不同專長領域，頻率關係不見得合適，利用珊瑚骨骼能記錄環境因子的特性，來比較各珊瑚礁比較可行。	平島列入計畫中。 3. 珊瑚礁生態系物種豐富且變異大，需要監測不同的指標以釐清珊瑚礁的變化趨勢，因此需要成立國家級的研究單位專職進行台灣珊瑚礁生態監測。 4. 珊瑚骨骼的確可用以推估過往的環境變化，然而此方法僅可用以推估過往的氣候變遷而不是即時資訊。和本計畫所針對的問題不同，是屬於相輔相成的關係。
劉委員莉蓮： 1. 本計畫著重於珊瑚礁調查方法之檢視，對未來相關研究之進行極具參考價值。 2. 摘要部分，計畫進行項目有文獻回顧，請確認研究珊瑚或珊瑚礁。 3. 研究方法敘述十分簡略，甚至缺如(四)提出珊瑚礁生態資源保育之管理建議，請加以補充。以下問題建議加以說明：測線長度 15 公尺之依據？第 6 頁調查深度決定之依據？樣點選擇考量？第 8 頁生物量換算請加以說明？ 4. 結果部分： (1)文獻整理世界主要珊瑚礁分佈，敘述可以更豐富。 (2)台灣珊瑚礁整理(表三)，建議東沙、太平島或其他文獻是否也可加以參考？擾動因子之整理是否也可多些分析。 (3)名詞解釋請加入，如魚類功能群，大概舉例有哪些生物。 (4)如何決定出 3 公分記錄一次？	1. 謝謝委員肯定。 2. 期出時有詢問海保署，署內表示文獻回顧著重於台灣的珊瑚分佈、物種數和變化，因此在摘要中寫“台灣珊瑚的分佈與歷史變化”。 3. 已修正期末報告內容。 4. (1) 已修正期末報告內容。 (2) 已修正期末報告內容。 (3) 已修正期末報告內容。 (4) 因從 1500 點隨機抽取 500 點、重複 200 次所求得的

(5)固定樣區選擇之環境考量，建議加以說明。測線長度宜一致。 (6)環境因子監測樣點選擇，請加以補充。 (7)資源保育管理建議部分，建議背景資訊及相關建議多些說明。	200 個覆蓋率的標準差會小於 2，表示隨機抽取 500 點求得的覆蓋率會落在實際覆蓋率的 95%信賴區間內，因此建議需要隨機抽取 500 點，為了操作上方便即設定為每 3 公分紀錄一次。 (5) 已在期末報告中修改，由於監測方法改成以目標為導向，公民科學方法的現有教材已很成熟且普及，因此仍建議沿用其方法。其他目標的調查方法測線長度統一。 (6) 已在期末報告中補充。 (7) 已修正期末報告內容。
林委員天賞： 1. 澎湖青灣環境劣化只因過漁，抑或還有其他因素(如水質)？ 2. 目前珊瑚礁體檢的 115 個調查點中，未來若要進行監測或調查是否有優先建議地點。	1. 青灣內灣為澎湖內海最角落一個半封閉的海灣，因此先天上水流交換即不佳。也無魚群補充量。 2. 台灣不僅地狹人稠、珊瑚礁多樣性也高，這些樣點在過往被選為調查樣點即因有其代表性，因此皆屬於優先建議樣點。
黃委員向文： 1. 請補充提供 115 個珊瑚礁體檢與擱淺船隻的地點經緯度或加以地圖呈現，目前本署有一些水質監測樣點，若與上述樣點相同，或許日後可以增加珊瑚礁監測。 2. 目前珊瑚礁生態系保育中只有 2 種珊瑚列為保育類，也並無針對珊瑚礁劃設的保護區，是否有哪些珊瑚礁生態系物種或許可參考 IUCN 或是 CITES 的標準考慮列	1. 已補充於期末報告中。 2. 目前 IUCN 正在修訂新的名錄，可再參考新版本修改保育物種名錄、劃設重要棲息地和保護區。

入保育物種或是依據野生動物保育法劃設重要棲息環境或保護區？ 3. 本案可提出一套標準調查方法，不須遷就現有執行方式。	3. 已修正期末報告內容。
海洋生物保育組： 1. 預計未來公開本案的標準調查方法，希望各級的調查方法皆能完整描述，避免以”同上”的方式描述。 2. 目前的標準調查方式以對象作為區分，是否應改以目的作為區分。 3. 請補充說明樣區調查時所記錄到的魚類與大型無脊椎動物。 4. 建議各級標準調查方法詳述後，可增加表格對照，以利瞭解各級調查方式之差異。 5. 環評調查方法中似尚未明訂調查方式，本案規劃的各級標準調查方法建議何者較適合用於環評？可供建議環保署增修海洋生態評估技術規範。 6. 我國目前 AI 辨識珊瑚的發展現況為何？	1. 已修正期末報告內容。 2. 已修正期末報告內容。 3. 已補充於期末報告中。 4. 謝謝委員指教。 5. 已補充於期末報告中。 6. 雖然整體而言 AI 辨識珊瑚的技術尚未純熟，且目前的珊瑚辨識技術皆掌握於國外。但發展成熟後會是進行珊瑚礁監測的一大助力。台灣不論是硬體設備或撰寫辨識軟體皆有充足的經驗，只缺一個將不同領域專家整合起來的媒介。是一個值得規劃資助的跨領域合作發展項目。

玖、 會議結論：

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，並於 108 年 12 月 13 日前以公文檢送修改後之期末報告書，經業務單位確認後通過，後續依契約規定辦理驗收結案。

拾、 散會：同日下午 17 時 00 分