國立臺東大學體育學系

碩士學位論文

指導教授：溫 卓 謀　教授

臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

研 究 生 ：蔡 孟 祥　撰

中 華 民 國 一 〇 九 年 十 月

國立臺東大學
National Taitung University

國立臺東大學體育學系

碩士學位論文

臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

研 究 生 ：蔡 孟 祥　撰

指導教授：溫 卓 謀　教授

中 華 民 國 一 〇 九 年 十 月

國立臺東大學
學位論文考試委員審定書

系所班：體育學系碩士班

本班　蔡孟祥　君

所提之論文：

臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

業經本委員會通過合於　■碩士學位論文　□博士學位論文　條件

論文學位考試委員會：

（學位考試委員會主席）

（指導教授）

論文學位考試日期：109 年 6 月 24 日

國立臺東大學

National Taitung University

國立臺東大學
學位論文授權書

重要事項說明：依著作權法第十五條第二項第三款規定，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者，推定著作人同意公開發表其著作」。本校圖書資訊館就紙本學位論文之閱覽服務依前開規定，採公開閱覽為原則。如論文涉及專利申請、投稿論文、機密或其他法定事由，需延後公開紙本論文者，請另行填寫本校「學位論文延後公開申請書」。(申請書得自本館網站下載)

本授權書所授權之論文為本人在 國立臺東大學 體育學 系(所)

一〇八 學年度第 二 學期取得 (■碩士 □博士) 學位之論文。

論文名稱：臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

一、本人具有著作財產權之上列 (■學位論文 □書面報告 □技術報告 □專業實務報告) 之電子全文(含書目、摘要、圖檔、影音資料、附件等)，依著作權法規定，非專屬、無償授權予下列單位得重製、上載網站，藉由網路傳輸，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

單位	公開上網時程
本人畢業學校	(依據108學年度第一學期第3次行政會議決議：研究生畢業論文延後公開上網時程，至多以三年為原則) ■立即公開 □一年後公開 □二年後公開 □三年後公開
國家圖書館	■立即公開 □一年後公開 □二年後公開 □三年後公開
	□不同意公開
與本人畢業學校圖書資訊館簽訂合作協議之資料庫業者	■立即公開 □一年後公開 □二年後公開 □三年後公開
	□不同意公開

二、本人 (■同意 □不同意) 本人畢業學校圖書資訊館基於學術傳播之目的，在上述範圍內得再授權第三人進行資料重製。

上述授權內容均無須訂立讓與及授權契約書。依本授權之發行權為非專屬性發行權利。依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同同意授權。

學　　號：10600591

研究生簽名：蔡孟祥

指導教授簽名：溫卓謀

日　　期：中華民國 109 年 10 月 12 日

謝 誌

一路走來非常感謝指導教授溫卓謀老師的照顧，也許是溫老師的一句話讓我產生了報考碩士班的動機。記得當時的我對未來還是一片迷茫的時候，溫老師就像燈塔般指引我，從沒忘記在剛進東大時，老師如父親般的照顧，一日為師終身為父對我來說就是如此。有次跟著老師，幫忙帶學弟妹登山訓練，我接到電話我父親病危要親屬到場，當時的我慌了，溫老師知道後二話不說直接塞錢給我說當工作費，要我趕緊下山搭車回台南，這些事歷歷在目難以忘懷，溫老師總是會用他的溫柔，關心著學生，可以說沒有溫卓謀老師就不會有現在的我。

溫老師為了這個研究總是親力親為的在做著榜樣，讓學生我學習，每次下水老師都會再三確認，嚴謹的態度，不管潛幾次都一樣。非常感謝口試委員段文宏老師的專業指導以及協助測量法與鑑定，這也是體育系與生科系合作的一大步，非常榮幸能成為段老師指導的學生，生科系的專業領域中，段老師是屈指可數的專家，對於我這門外漢也孜孜不倦的教導，除了專業之外對學生也是非常得有耐心，只要不懂只要提問，段老師會用讓學生了解的方式教會我。謝謝黃景裕校長的指導，讓我的論文能看到更多的可能性發展，以前大學時代有幸被黃校長指導過，非常的嚴謹，要求也嚴格，才能造就出現在的我。此外，也要特別感謝生科系的各位學弟，一些資料經過你們的確認與校正，讓資料更加完整。謝謝體育系的學弟妹，能有你們的水下協助真的功不可沒，最後我想謝謝那些沒謝到的人，有你們才有現在的我。

完成了本研究，讓我更認識腳下這片土地，也能從大自然中學習。我們的島說大不大，說小不小，從高海拔山區到大海，物種富饒，生態多樣，各種奇景美不勝收，但人為破壞也無處不在，廢棄的垃圾無處不在，山上海裡到處都有。我們要認識大自然，了解大自然，才能愛護大自然，與大家共勉!

蔡孟祥 2020.10.8

臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

摘 要

本研究目的在於探討杉原灣海洋環境，珊瑚礁生態及水肺潛水資訊。藉由半結構式訪談，訪談四位在地居民，蒐集杉原灣海洋環境資料；透過潛水員使用水下照相設備來進行海底珊瑚礁生態調查，並輔以穿越線照相調查法，瞭解珊瑚礁覆蓋率；藉由潛水調查，搭配空拍機、潛水標示浮力棒，潛水電腦錶、水下錄影機、以及 Goole Earth 地圖，建立水肺潛水的環境資訊。研究結果顯示，杉原灣海底地形海灣內以珊瑚礁為主，部分是沙地、石頭，由淺而深，灣內深度大約在 10 公尺以內，南礁地形為珊瑚礁地形，少部分沙地，小流溝大約 5-7 米深。杉原灣的海流狀況基本上相當穩定。灣內沒有太大的海流，適合進行海洋運動，灣外黑潮就是由南往北流。在東北季風強的時候，流向的變化會受到影響。在海洋能見度的部分，由於附近開發案導致泥漿覆蓋在海床，一有潮水擺動就會混濁。杉原灣南礁內灣的珊瑚以藍珊瑚、軸孔珊瑚、微孔珊瑚以及火珊瑚等造礁硬珊瑚為主體，近岸處水深約 2-4 米處的沙地周圍，多為團塊形珊瑚。愈接近黑牛石的位置，軟珊瑚出現的頻率也相對增加，尤其是在黑牛石周圍的水下，盤據為數眾多的大型礁岩，成為軟珊瑚生長的天堂。南礁內灣海底，分布的許多小丑魚群聚，可以作為此一潛點規劃的特色，藉由小丑魚群聚位置規劃路線，連結到黑石牛，沿著潛水路線，搭配豐富的珊瑚礁生態，可以作為潛水員海洋環保教育的素材。春天結束到夏天這個季節是杉原灣最適合潛水的時間，尤其是在潮水長滿的平潮及退潮的時候最適合，然而在潛水活動規劃時應該避免遊憩壓力對於環境的衝擊。

關鍵詞：休閒潛水、生態保育、海洋教育

Marine Environment, Coral Reef and Scuba Diving Information in Shanyuan Bay, Taitung City

Abstract

The purpose of this study is to explore the marine environment, coral reef ecology and scuba diving information in Sugahara Bay. Through semi-structured interviews, four local residents were interviewed to collect information on the marine environment of Suigahara Bay; underwater coral reef ecological surveys were conducted by divers using underwater photographic equipment, supplemented by cross-line photographic surveys to understand coral reef coverage; From the diving survey, with aerial camera, diving marking buoyancy stick, diving computer, underwater video recorder, and Goole Earth map, the environmental information of scuba diving is established. The results revealed that the submarine topography of Shanyuan Bay is dominated by coral reefs, some of which are sand and stones, ranging from shallow to deep. The depth of the bay is about 10 meters or less. The topography of the south reef is coral reef topography, with a small part of sand and small ditch is about 5-7 meters deep. The current conditions in Shanyuan Bay are basically quite stable. There is not much current in the bay, which is suitable for marine sports. The Kuroshio outside the bay flows from south to north. When the northeast monsoon is strong, changes in current direction will be affected. In the part of ocean visibility, mud covering the seabed due to nearby development projects will become muddy when the tide swings. The corals in the inner bay of the South Reef of Shanyuan Bay are dominated by by reef (-building) corals which included Heliopora Coerulea, Acropora, Porites Coral, and Millepora platyphylla. They are mostly clumps around the sandy land at a depth of about 2-4 meters near the shore. The closer to the location of “Black Bull Rock”, the frequency of soft corals also increases, especially in the water around “Black Bull Rock”, where there are many large reefs, which become a paradise for soft coral growth. There are many clownfish clusters on the bottom of the inner bay of the South Reef, which can be used as a feature of this dive site planning. By planning the route of the clownfish cluster location, connecting to the “Black Bull Rock”, along the diving route, with the rich coral reef ecology, it can be used as Material for marine environmental protection education for divers. The season from end of spring to summer is the most suitable time for diving in this area, especially when the tide is full to stand tide and ebb tide. However, the impact of recreational pressure on the environment should be avoided when planning diving activities.

Keywords：recreational diving, ecological conservation, marine education

目 次

謝誌.....I

中文摘要.....II

Abstract.....III

目次.....IV

圖目次.....VI

表目次.....VI

第壹章 緒論

第一節 問題背景.....1

第二節 研究目的.....3

第三節 研究範圍與限制..... 4

第貳章 文獻探討

第一節 東海岸杉原灣海域的現況分析.....4

第二節 水肺潛水的風險、休閒效益與環境衝擊..... 8

第三節 水肺潛水潛點資訊之分析.....12

第四節 珊瑚礁生態系統之分析與調查研究.....13

第參章 研究方法

第一節 研究場域.....19

第二節 杉原灣海洋環境訪談.....19

第三節 珊瑚礁的調查.....19

第四節 研究場域潛點資訊建.....20

第五節 資料處理與分析 20

第肆章 結果與討論

第一節 杉原灣海洋環境的訪談分析..... 21

第二節 珊瑚調查分析..... 29

第三節 潛點調查與地圖建置..... 38

第伍章 結論與建議

第一節 結論..... 42
第二節 建議..... 43

參考文獻

一、中文部分..... 44
二、英文部分.....48

國立臺東大學 National Taitung University

圖目次

圖2-1 杉原灣海域遊憩活動劃分之示意圖.....7

圖 4-2-1 杉原灣南礁內灣珊瑚礁岩多樣性.....29
圖 4-2-2 杉原灣南礁內灣桌形軸孔珊瑚.....30
圖 4-2-3 杉原灣南礁內灣分枝形軸孔珊瑚.....30
圖 4-2-4 杉原灣南礁內灣板葉千孔珊瑚(又稱火珊瑚).....31
圖 4-2-5 杉原灣南礁內灣微孔珊瑚的大型群體.....32
圖 4-2-6 杉原灣南礁內灣矗立在砂質底部的團塊珊瑚.....32
圖 4-2-7 杉原灣南礁黑牛石圖繽紛絢麗的軟珊瑚花園.....33
圖 4-2-8 杉原灣南礁內灣泥土覆蓋珊瑚的景象.....34
圖 4-2-9 杉原灣南礁內灣魚網纏繞珊瑚，造成珊瑚白化甚至死亡.....34
圖 4-2-10 杉原灣南礁空拍圖.....35
圖 4-2-11 杉原灣南礁黑牛石空拍圖.....35

圖4-2-12 以35×35 公分的方框，沿著橫截線放置進行拍攝.....36
圖 4-3-1 杉原灣南礁內灣鳥瞰圖.....38
圖 4-3-2 當日海洋氣象資料.....39
圖 4-3-3 南礁內灣潛點路線鳥瞰圖-a.....40
圖 4-3-4 南礁內灣潛點路線鳥瞰圖-b.....40
圖 4-3-5 白條雙鋸魚.....41

表 目 次

表 4-1 珊瑚覆蓋率統計分析.....36

臺東杉原灣海洋環境、珊瑚礁及水肺潛水資訊之調查研究

第壹章 緒論

本章分為三節，第一節先針對問題產生的背景進行論述; 第二節列舉本研究的目的; 第三節指出本研究的範圍與限制。

第一節 問題背景

杉原海灣位於臺灣臺東縣卑南鄉富山村海岸，為台東縣唯一的沙灘。海灣原屬於阿美族加路蘭部落傳統領域，當地阿美族人稱其為「FUDAFUDAK」，意思是「閃閃發光」（維基百科，2018）。杉原灣海域的珊瑚礁分布相當廣泛，珊瑚種類高達 110 種，佔台灣珊瑚種類的 1/3，珊瑚多樣性相當高 (詹壹雯，2018)。根據程一駿教授「建立台東地區海龜保育策略及國際保育合作機制」的研究調查顯示，杉原灣曾經有海龜上岸產卵的紀錄，由於該區沙層厚，沒有礁石或是漂流木堆積，是良好的母龜產卵沙灘，因此被視為海岸保護區的潛力點。然而，台灣環境資訊協會與中研院生物多樣性中心陳昭倫博士調查報告指出，隨著東海岸各項開發案的進行，台東杉原灣海域的珊瑚礁，這幾年來死亡珊瑚的比率大幅成長，藻類也因為廢水而開始增生（國立教育廣播電台，2018）。

珊瑚礁生態的重要性，在於珊瑚礁生態可以維持海洋生態平衡，提供多樣性的效益。珊瑚礁在海洋生態中扮演著至關重要的角色，它具有非常高的生產力，能為各種海洋生物提供大量的食物來源，因此造就生物多樣性與提供生物棲息地的來源。鄭明修 (2006) 指出，珊瑚礁被稱為海中的熱帶雨林，珊瑚礁生態系是地球上最多樣與複雜的生態系之一，珊瑚造礁後形成立體的空間結構，創造出許多微棲地，讓多生物有適合的居所與環境，另外珊瑚礁區有很多無法用肉眼看到的龐大生產者，牠們是與珊瑚共生的共生藻，造就珊瑚礁生態系的傲人生產力。然而，這個具有高生產力的棲地，面臨全球環境變遷、極端氣候與人類活動衝擊而逐漸衰退，從小地方到大區域或多或少有發動保育珊瑚礁活動並推動環境管理，但是成果仍然有限。珊瑚礁面臨的危機舉世皆然，抱持「全球

視界，在地行動」(think globally, act locally)的信念，從多維觀點推行珊瑚礁保護，並長期持續努力，也許有恢復生機的可能（飛魚貳號工作室，2016）。

近年來，國際間普遍重視珊瑚礁海洋資源的保育及遊憩活動經營管理;尤其自 1997 年以來，世界各地的主要珊瑚礁區，每年都進行珊瑚礁總體檢 (Reef Check)，以監測和掌握珊瑚礁的現況，做為海域資源保育和經營管理的參考 (戴昌鳳，2009)。臺灣每年珊瑚礁體檢至少需要 100 人次以上的志工，這些志工必需具備有水肺潛水的能力，仰賴許多潛水教練、店家，甚至當地社區的支持。然而，在一些較偏遠的地區，例如蘭嶼、綠島或台東，還是經常面臨人力不足的狀況（林育朱，2017）。以杉原灣為例，杉原灣周邊的山坡上一直有整地、開發的狀況，一旦下雨，雨水就會帶著泥水流入灣裡，讓灣裡水下能見度變得很糟糕，而且常需等到 5-7 天才能夠恢復。而由於杉原灣的底質容易因為受到擾動後就再懸浮或是有大量泥沙流入等因素導致能見度降低，對於外地的調查團隊來說，要等到海況極佳可以調查的時機，不見得能夠立即趕到，因此期待未來東部有越來越多具有保育觀念的潛水志工加入，組成在地的調查小隊，才能更有利於進行此地的生態監測。

教育部自 107 年起推動為期 5 年的「高教深耕計畫」，以「連結在地、接軌國際及迎向未來」為主軸，鼓勵教師投入教學方法及內容之改革，提升教學品質、落實教學創新。臺東擁有得天獨厚的海洋資源與環境，如何落實在地大學課程連結在地環境保育，建立環境永續維護的機制，是一個相當值得重視且迫切性的議題。大學體育教育提倡多元化教學後，水肺潛水逐漸受到各大專院校體育教育單位的青睞，成為體育教學的熱門項目 (鄒桂禎、陳鏡清，2003)。水肺潛水是珊瑚礁海域相當普遍的水域遊憩活動，參與者必須受專業訓練，像是潛水生理、減壓計算、水下溝通與海洋 生態保育等內容的學科課程，以及裝備組合與拆卸、入水法、 出水法、調節器復位、浮力控制、中性浮力、面鏡排水及共氣等術科課程，訓練課程結束並通過測驗取得證照才可從事休閒潛水。大學潛水課程的實施會先在游泳池進行基礎課程 (稱為靜止水域課程)，然後再赴海濱進行水下實做課程 (稱為開放水域課程)，然而，因為交通、食宿、裝備以及風險管理等問題，造成授課教師與學員極大的負擔，也導致因上課時數有限而影響教學品質，甚至因初級潛水員技術不佳而造成珊瑚礁岩的衝擊與破壞。

成大研究發展基金會 (2005) 針對東部海岸水域遊憩活動規劃報告指出，杉原灣海域遊憩活動基本上可以劃分為非動力器具活動區 (游泳、潛水)、香蕉船等拖曳活動區、水上摩托車活動區等三大區塊。蔡怡俊 (2008) 針對杉原灣海岸生態景觀保育規劃之研究指出，杉原灣內原有被允許的水域活動並未具生態觀，充其量只是觀光的手法，他認為必須透過分區保育的概念劃分活動區才能維持生態資源的保護及合理使用，達到生態景觀的保育功能。杉原灣在護漁成功後更形加重發展水域遊憩的利基，產業發展是維持杉原部落永續經營重要關鍵，如何將水域遊憩與生態保育結合，是一項值得研究的重要議題。

「一個偉大的城市應該要有一所偉大的大學！」，這句話道出了大專校院的重要性。大學生是未來社會的中堅份子，也是社會進步的原動力來源，所以大專校院與社會的結合對於在地發展顯得格外重要。為強化大專校院與區域連結合作，實踐大學社會責任，培育對在地發展能創造價值的大學生，教育部自 106 年啟動「大學社會責任實踐計畫」，透過在地優勢分工合作，協助區域整合；藉由學習的過程，也讓大學生感受到「被社區需要」，凝聚對區域發展的認同 (教育部，2017)。

經由上述的探討，研究者認為，如何將大學水肺潛水課程連結海洋生態保育，做好潛點的探勘以及海洋生物的調查，一方面將有助於落實高教深耕計畫所強調的「連結在地、接軌國際及迎向未來」的主軸，另一方面也可以實踐大學社會責任。此外，更能夠透過每年課程的開設，培訓更多的潛水員參與珊瑚保育的工作，透過長期認養的方式，落實海洋保育的永續工作。

第二節 研究目的

本研究目的在於瞭解東海岸杉原灣的海洋環境、調查南礁內灣珊瑚，並進一步建立水肺潛水的潛點環境資訊。

一、瞭解杉原灣海洋環境。

二、調查杉原灣南礁珊瑚礁生態。

三、建立杉原灣南礁區域水肺潛水的潛點資訊。

第三節 研究範圍與限制

一、 研究範圍

(一) 研究場域：杉原灣南礁內灣，黑牛石以內的彎內海底區域海底。

(二) 珊瑚礁生態的調查，以影像拍攝為主，再藉由比對台灣珊瑚礁地圖（上）台灣珊瑚礁地圖（下）（戴昌鳳，2011）以及東沙八放珊瑚圖鑑（戴昌鳳、秦啟翔，2017），作為判定珊瑚名稱之依據。

二、 研究限制

(一) 珊瑚礁珊瑚覆蓋的調查採穿越線的方式辦理，由於受到海洋環境因素的影響，無法依珊瑚覆蓋率調查的方式來收集資料，所得結果在解釋上要相對保守。

(二) 本研究採訪談法探討杉原灣的海洋環境，四位受訪者均於成長過程中，因升學、就業、服役等因素，時間或長或短離開部落，口述過程中可能會有一定程度的誤失。

第貳章 文獻探討

本章節主要分為四個節次進行文獻探討，首先針對東海岸杉原灣海域的現況進行分析;接著探討水肺潛水的風險、休閒效益與環境衝擊;第三節針對水肺潛水潛點資訊之分析，最後針對珊瑚礁生態系統之分析與調查研究進行探討並進行文獻總結。

第一節 東海岸杉原灣海域的現況分析

一、富山禁漁區的劃定和刺桐部落生態旅遊中心之成立

2005 年杉原海灣在社區居民努力十數年的努力下，終獲台東縣政府的重視將杉原海灣劃定為富山禁漁區。2008 年杉原富山村阿美族莿桐部落在台東大學輔導協助下亦成立生態旅遊中心，部落老中青少皆能參與，藉由分工整合不同的部落人文及生態資源，建立以部落為主體的系列性生態旅遊行程 (李志一，2008)。刺桐部落位於台東縣卑南鄉東北角的小村落，依地域區分為漁場、大肚、莉桐、杉原四個區域，。杉原灣南端大肚海域分布著美麗的珊瑚礁，海底景觀佳，非常適合潛水活動的推動，在地居民阿美族是海的民族，深諳水性。台東地區旅遊型態與內容亟需轉型以吸引遊客，而杉原地區擁有豐富的人文與自然資源，富山禁魚區實施已有豐碩的成果，各種海洋生物魚、蝦、貝、珊瑚...等復育成功，使得當地居民建立一定的社區意識及強烈的自然保育體認。 林國柱 (2008) 針對台東縣富山村生態旅遊遊憩資源與活動規劃研究指出，以在地的人文、歷史、自然、海洋資源為素材，將當地各種遊憩源彙整與分析，依據生態旅遊的原則與遊憩資源五大特性：原始性、稀有性、觀賞性、體驗性、歷史性，選擇與評估適合生態旅遊的遊憩資源來規劃不同需求之系列活動，可以做為杉原社區部落旅遊未來規劃的參考。

二、杉原灣的魚類及珊瑚礁生態豐富

杉原部落海洋生態具生物多樣性及豐富性，為天然的「海濱生物教室」，根據「2008 年聯合國全球珊瑚總體檢計畫」，在台東東海岸進行珊瑚棲地調查發現，杉原灣的珊瑚高達一百一十種，佔了台灣珊瑚種類的三分之一，距離岸約一

公里海域，各種肉質軟珊瑚盤據在大型的礁石上，形成特殊生態景色，就像十幾年前的墾丁，且不亞於綠島、蘭嶼，且距離沙灘只有五十公尺處就有一塊發育相當完整的珊瑚礁。杉原灣擁有龐大豐富珍貴珊瑚礁生態，也是漁業資源命脈和休閒漁業、休閒旅遊的寶庫，急需妥善加以完善保護與管理 (海洋生物永續發展課程，2018)。中研院陳昭倫博士於 2007年6月及2008年3月27日，潛入東海岸杉原灣進行珊瑚礁生態調查，調查結果顯示，珊瑚分為數個生態區，且覆蓋率高達70％到80％ (李晨光，2005)。根據陳昭倫的調查發現，在離岸約五百公尺處，記錄到主要分布在西印度洋與東太平洋海域的珍稀品種─「貝氏耳紋珊瑚」(Oulophyllia bennetthae)，更是台灣海域首次記錄到的品種，可見杉原灣的珊瑚礁生態是非常值得進一步保護 (詹依雯，2018)。

三、人為開發衝擊杉原灣的海洋生態

杉原灣長年面臨「杉原棕櫚濱海渡假村」、「黃金海休閒渡假村」、「娜魯灣大酒店」、「美麗灣渡假村」等多起大型開發的威脅，當財團大量資本入侵，複製過時的觀光模式，不僅剝奪以部落為主體的發展想像，更截斷部落文化實踐的場域 (詹依雯，2018)。陳郁凱等人 (2007) 針對富山漁業資源保育區魚類多樣性調查研究指出，杉原灣是天然海灣與凸堤形成極佳的灘地，具有豐富的珊瑚礁生態及潮間帶生物。根據中華民國珊瑚礁學會 1999 年珊瑚礁總體檢調查顯示花東地區普遍有海藻繁殖過多海水優養化現象，水深 3 公尺約有 25%-45%珊瑚呈現白化情形，顯示人為嚴重過度開發。

陽雨山 (2013) 指出，珊瑚礁生態系的形成相當緩慢，對於環境的變化也非常敏感，一旦受到干擾，很快就會受損，甚至崩壞，珊瑚礁總體檢行動，經過 1997 年至今的數據累積，已在世界各地證實，過漁、非法漁業和汙染等人類負面行為，正是影響珊瑚礁健康的主因，這些現象目前也是在杉原灣仍然常見的現況。此外杉原灣長年受到來自陸地物質的嚴重影響，從水土保持不佳的集水區沖向下游的黃色泥沙，經常在大雨過後進入海灣，讓海水變混濁、並覆蓋珊瑚，衍生生態系危機。

四、杉原灣極具潛力發展海洋教育條件

近年來針對杉原灣環境生態所進行的研究都指出，杉原地區擁有豐富的人文與自然資源，相當適合生態旅遊的規劃（李志一，2008；林國柱，2008）。余偉銘與王聖銘（2007）研究指出，杉原海域擁有潮間帶以及珊瑚礁等兩個重要的自然資源，潮間帶是潮水起落的過渡地區，為許多生物的重要生活棲地，也是一般人認識海洋的窗口。珊瑚礁被稱為海洋雨林，是海洋環境中，生物種類最多的地方，這是杉原海洋生態社區呈現出自然生物多樣性的天然教室。

我國《國民中小學海洋教育議題課程綱要》納入九年一貫課程綱要，其旨意為強化學生的海洋素養基礎，使學生認識、熱愛、善用、珍惜海洋（張正杰、羅綸新，2016）。海洋教育的目標之一，就是增進社會大眾及新生代對海洋生態環境的了解與尊重（鍾國南、李展榮、方力行，2003）。杉原灣的地理位置、海洋環境及海洋生態，非常適合作為海洋教育推動的場域。

圖 2-1 杉原灣海域遊憩活動劃分之示意圖
資料來源：成大研究發展基金會（2005）

成大研究發展基金會 (2005) 針對東部海岸水域遊憩活動規劃報告中，建議在杉原灣海域遊憩的推動可以劃分為海灘活動區、非動力器具活動區 (游泳、潛水)、香蕉船等拖曳活動區及水上摩托車活動區 (圖 2-1)。 基於海洋環境保育的觀點，無動力海洋運動近年來在花東海岸成為一項熱門的主題活動，非常適合親子共遊體驗。杉原灣海底豐富的珊瑚礁生態，藉由潛水探索海底珊瑚礁世界，落實海洋環境保育的行動，將是未來可行的方向。

經由以上的文獻分析，杉原灣在地理位置以及海洋條件上，具有發展海域遊憩活動的潛能，尤其是藉由水肺潛水來連結水下的珊瑚生態。如何在兼顧生態保育、海洋教育的前題下來設計規劃，是我們必須重視的問題。

第二節 水肺潛水的風險、休閒效益與環境衝擊

一、水肺潛水的風險

水肺潛水相對於其他休閒活動，具有相對的高風險性。李明儒、陳元陽與陳宏斌 (2003) 指出，休閒潛水的風險可以區分為潛在風險（減壓症等十五項）以及環境風險（包含了水流等八項）。另外，從生理或身體的風險上來看，由於水肺潛水的岸潛在進出潛水區域時，要背著重裝行走在碎浪區的礁岩上，摔跌之事在所難免，尤其在海象不佳的情況下，潛水員在碎浪區受傷的情況屢見不鮮。根據美國的急救資料顯示 (Nicholson & McGreevy, 2014)，在送急救的潛水事故中，「肌肉骨骼有關的傷害」所佔的比率相當高。

莊鑫裕與陳銘建 (2010) 指出，嚴重的潛水意外事件甚至會造成死亡。死因未必是潛水歷程所造成，很多的因素可能是死者本身健康狀態與環境互動的結果（Ihama, et al., 2008）。冉懋謙 (2017) 採用層級分析法針對休閒水肺潛水風險指標建構進行研究，結果顯示，自我健康評估為休閒潛水風險最為重要，顯示休閒潛水活動對自身健康誠實是最有效降低風險的因素，再由專業人士從旁協助更能為安全把關。除了外傷外，潛水過程中進出水域、陸地之間，由於深度的變化，環境壓力的變化相當的快速，對人體器官或組織造成的生理損害也有文獻提及 (劉月琪、劉永芳，2010)。此外，水肺潛水亦可能有心理功能的風險，因著水下壓力的改變，深水空間可能讓人自然產生心理焦慮 (Van Wijk, 2014)，進而影響

潛水者的認知表現 (Hemelryck, Germonpre, Papadopoulou, Rozloznik, & Balestra, 2014)。

經由上述文獻分析，我們可以了解，由於海洋的環境多變，加上海水深度變化造成潛水員生理的挑戰及心理的壓力，是造成潛水風險的主要原因。參與潛水者事前自我健康評估是最有效降低風險的因素。

二、水肺潛水的休閒效益

潛水是屬於高度風險的戶外活動。吳崇旗與謝智謀 (2017) 歸納過去相關研究指出，冒險教育包含了任務挑戰、能力精熟、失衡狀態，以及產生效益等四個要素。在高度冒險的情境中，參與者置身於一個有壓力、困難的情境，促使參與者學習、使用、發展完成挑戰與任務所需要的決策、判斷、合作、溝通及信任等能力，並將這樣的能力轉化運用到日常生活中 (張昀、謝智謀，2009)，潛水運動基本上具備有上述的特質，潛者 (diver) 用身體感受存在空間的歷程，在海洋深處，讓個體有機會重新自我定位並品味幸福的感受 (Straughan, 2012)，誠如 Kler 與 Tribe (2012) 所言，在潛水運動中透過學習歷程與個人成長能充分體驗到有意義的滿足感。

章勝傑、溫卓謀與莊鑫裕 (2008) 以一門大學潛水課為田野進行質性教學研究，研究發現，大學開授潛水課對學生的效益除了增進其品格、態度與自我成長以及人際關係之外，還包含了潛水知識和技能的習得、裝備惜用與清洗習慣、海洋生態與環境教育、休閒價值、經濟效用、職涯發展、管理與領導以及良師楷模等效益。學生提及在修習潛水課後，他們等於是多了一個興趣，多了一個休閒活動。甚至，他們也提到可以到國外的海島旅行，享受潛水的活動。此外，學生所提及在海底可以促進思考或者沉沈澱反省，或是學習一個「慢下來」的態度，都是潛水休閒價值的體現。

Schoeman, Van der Merwe 與 Slabbert (2016)指出，水肺潛水者對於潛水活動的知覺價值包含有情緒價值、功能價值、社會價值、風險價值、以及知識價值。李德仁 (2009) 針對認真休閒潛水者所做的研究發現，就個人方面而言，潛水者覺知的休閒利益有自我充實、自我實現、自我表現、個人重建、成就感、提升自我形象、自我滿足及增進時間規劃休閒能力等好處；在社會方面則涵蓋了社會吸

引、增進家庭情感、團體維持以及自然環境關懷等效益。根據研究者潛水的實際經驗，我們應該可以合理揣想，在水肺潛水活動中，潛水者可能經驗忘我的心流經驗，可能增進或建立人際關係，也可能增進潛水者的海洋知識或環保態度；甚至，在精熟潛水技能後，有機會發展生態調查、水下考古或者水域救災的職涯進路。水肺潛水者可能面臨各種風險; 然而，在面對與承擔風險的同時，潛者也可能有機會獲致平時不易感受到的心流體驗 (McQueen, Kent, &Murrison, 1994; Taylor, O'Toole, & Ryan, 2003)。

綜合上述文獻分析，我們可以了解到潛水運動，因為具有高度的風險，也因此讓參與者產生了更多的價值體驗，藉由任務挑戰、能力精熟、失衡狀態等歷程之後，延伸出極大的休閒效益，提升自我價值，並促進人際關係的發展與自然環境關懷。

三、潛水對於海洋環境的衝擊

在談到潛水的效益同時，我們也不可以忽略潛水對於海洋環境的衝擊。Halpern (2008) 指出，珊瑚礁生態系的健全如今正面臨嚴峻考驗，全球約有四分之一的 珊瑚礁已受到難以復原的破壞，其餘的珊瑚礁生態則約有三分之二面臨嚴重的生存威脅，主因即來自於人類活動造成的大規模破壞。比起一般旅遊方式，參與潛水旅遊的潛水員是深入珊瑚礁環境的遊客，也意味著潛水員對珊瑚礁所在的淺海生態系影響可能更大 (李育德，2019)。水下行動由於海浪、海流、浮力變化等物理環境的差異，潛水員很容易觸碰珊瑚礁 (Medio et al, 1997), Hasler 與 Ott (2008) 也進一步指出，潛水員面對變動的海洋環境，經常會有意無意的產生踐踏或膝蓋跪地的行為造成珊瑚礁的損害 。

海洋觀光發展項目中，水肺潛水屬重度仰賴珊瑚礁生態的項目，隨著水肺潛水推廣與從事人口成長，水肺潛水造成珊瑚礁生態衝擊之問題已日漸嚴重 (黃德蓉，2016)。沒有限度的發展潛水對環境帶來衝擊，岸潛尤其明顯，潛水觀光客行經潮間帶進入水中時，如果以珊瑚礁海域為例，潛水遊客對於環境的物理性傷害在珊瑚礁環境尤其明顯，潛水員不經意踩踏珊瑚，會造成珊瑚組織脫落、珊瑚枝斷裂、剛著苗的幼體死亡或使珊瑚窒息，也會將礁石上的珊瑚以及附著生物移除，除了直接傷害珊瑚，魚類群聚也會變化 (飛魚貳號工作室，2016)。此外，水肺潛

水活動對於海洋生態亦可能造成衝擊，在潛水的過程中，珊瑚礁及海底生態常是潛水者的觀賞重點，但也常在無意間受到傷害 (Terron-Sigler, Leon-Muez, Penalver-Duque, & Torre, 2016)。

陳文喜、葉時碩與曾冠暾 (2010) 指出，基於對海洋生態環境的保護與重視，農委會委託中華民國珊瑚礁協會舉辦珊瑚礁體檢，對臺灣海域珊瑚礁進行調查。發現海洋遊憩活動的破壞為珊瑚礁迫害因子之一。近年來由於臺灣各項海域休閒活動蓬勃發展，從事海域遊憩活動人口大幅成長，相對地給海域生態系帶來很大的環境壓力。例如:浮潛、水肺潛水及游泳者的踐踏珊瑚、採集珊瑚、採集貝類和潛水獵魚的行為，都會破壞珊瑚礁，前述多項礁迫害因子，在最近十年來大幅增加，已對臺灣 海域的珊瑚礁造成嚴重威脅。

McCawley 與 Teaff (1995) 的研究指出，關心負面環境衝擊議題的潛水者們也會進而關心環境保護 並更加支持相關的規範。Townsend (2000) 發現到具有較高環境知識與環境體悟的有經驗的潛水員，會對環境產生較低的衝擊。陳文喜、葉時碩與曾冠暾 (2010) 的研究也發現，並非經驗愈多，潛水執照等級越高的潛水者就愈有環境保護的概念。藉著提高海洋環境知識進而提升水肺潛水者的環境行動意願，是潛水界乃至水域活動領域的重要課題。其建議潛水產業界應該與學術界配合，系統性的建立臺灣的海域環境保護課程與教材，強化潛水員的環境保護意識。

經由以上的文獻分析，潛水的效益除了可能增進或建立人際關係之外，也可能增進潛水者的海洋知識或環保態度；甚至，在精熟潛水技能後，有機會發展生態調查、水下考古或者水域救災的職涯進路。然而，並非經驗愈多，潛水執照等級越高的潛水者就愈有環境保護的概念。也因此在潛水人員的養成過程中就應該提升其海洋環境的知識，進而提升水肺潛水者的環境行動意願。杉原灣具有發展潛水的優勢，也因此如何發展此一優勢，連結生態保育的觀念，建立海域環境保護課程與教材，以其意義及價值。

第三節 水肺潛水潛點資訊之分析

潛水活動是能創造經濟效益且廣受觀光遊客歡迎的活動。「自由潛水」、「浮潛」、「水肺潛水」是主要的活動方式。「自由潛水」是不攜帶供應氣源的裝備進行潛入深海的活動，利用閉氣下潛，水下接近觀察目標；「浮潛」的裝備通常為 面鏡、呼吸管與蛙鞋，利用呼吸管可以在水面上俯視海底，此項活動的技術性不高，很容易學習，因此參與的遊客也最多；「水肺潛水」所需裝備有面鏡、呼吸管、蛙鞋、浮力調整背心、調節器、 配重帶及空氣瓶等裝備。參與者必須接受訓練課程且通過測驗，才可取得證照從事潛水活動 (飛魚貳號研究室，2016)。

有關水肺潛水潛點探勘的研究並不多見，然而，要推廣休閒潛水活動，潛點的資訊與潛點海洋生態的調查是一個重要且必要的工作。杉原灣南礁海域，在東部海岸水域遊憩活動規劃報告中被規劃為適合發展潛水活動的區域 (成大研究發展基金會，2005)。也因此本研究擬針對杉原灣南礁海域進行探勘，評估適合的區域作為潛點，並建置潛點相關資訊。

東海岸國家公園管理處曾提出綠島潛點生態調查及安全服務設施規劃案(飛魚貳號研究室，2016)。調查單位針對綠島 15 個船潛潛點進行探勘，以潛水方式進行調查，依設定潛點，以船潛方式逐點拍照、紀錄、量測與標定，項目包括： A. 水深：做為繫纜繩索長度建議。 B. 底質類型：評估底質組成 (珊瑚礁、沙泥、礁石碎塊、礫石或其他) 給予固定錨方式建議，像是將螺旋繫泊 釘旋入(沙泥下的)安山岩。C.定位: 選定錨錠的位置後，潛水員釋出有繩索連繫的充氣浮力棒到水面，由水面人員利用衛星定位儀器測量與記錄經緯度。

有關潛點資訊的描述，楊志仁、楊清閩與李展榮於 2008 年及 2011 年，分別針對墾丁及綠島海域最佳潛點進行介紹，內容包含地圖分析、潛點說明、實景照片，並搭配潛點的生物圖鑑。痞客邦網路平台 (2016) 針對東北角潛水提供地圖資訊，內容包含有距離比例尺、海底地形的描述、水下特殊景觀區域的命名、導航方位角度以及深度等資訊。在潛進臺灣-Diving TW 的網站，採網路訂購的方式提供各潛點的地圖資訊，每個**潛點**紀錄地形、常見生物、流向並標記深度與入水點資訊。香港潛水總會於 2009 年，針對香港域內潛點進行介紹，包含的資訊有位置、經緯度、深度、範圍、環境、溫馨提示以及訓練建議等資訊。另外在

水下 30 米的網路平台，採用潛點的水下影像來協助潛水員對於潛點的認識，並建議未來在潛點加上水下地形圖以及水下 360VR，提供更完整的資訊讓潛水員更能掌控水下環境。

透過上述的文獻資料可以了解到，潛點資訊的建立對於潛水安全以及前點環境保育有極大的功效，完整的潛水資訊應該包含潛點的影像資料、潛點海底地形圖 (位置、經緯度、深度、範圍、比例尺)、潛點海洋生態 (珊瑚礁、魚類、其他海洋生物) 以及不同季節潛點海洋環境 (浪況、海流流向、海流流速、潮汐、潮差等)。

第四節 珊瑚礁生態系統之分析與調查研究

一、珊瑚礁的現況與保育

珊瑚礁的生物多樣性具有多重價值，包括經濟、生態和審美的價值。珊瑚礁生態系的破壞，將威脅到人類賴以生存的資源。因此，在國際自然保育聯盟 (IUCN)、聯合國環境保護署 (UNEP) 及世界野生動物基金會 (WWF) 所共同提出的世界保育方略 (The World Conservation Strategy) 中，就將珊瑚礁列為維繫人類食物生產、健康、生存及永續發展的重要生態系統 (戴昌鳳，2002)。為了瞭解珊瑚礁的現況和監測珊瑚礁的變遷情形，自 1997 年以來，國際間關於珊瑚礁監測和長期生態的研究在世界各地陸續展開，包括：(1) 全球珊瑚礁監測網 (Global Coral Reef Monitoring Network; http://www.coral.noaa.gov/gcrmn/)，由澳洲學者 Dr. Clive Wilkinson 領銜，集合多國學者持續對世界各地的珊瑚礁進行監測，每二年發表一本世界珊瑚礁現況報告 (Wilkinson, 2000)；(2) 珊瑚礁總體檢 (Reef Check; http://www.reefcheck.org/)，由美國學者 Dr. Gregor Hodgson 發起，召集世界各地學者和潛 水人士，每年對珊瑚礁進行定量調查 (Hodgson, 1999)；(3)世界資源研究所 (World Resource Institute) 的珊瑚礁危機計畫 (Reef at Risk; http://www.wri.org/reefatrisk/)，廣泛調查和整理全球珊瑚礁的現況(Spalding, Ravilious & Green , 2001; Burke, Selig & Spalding, 2002)。

珊瑚礁總體檢是由霍奇森 (Hodgson) 在 1999 年所提出，是以標準化的定量調查方法了解珊瑚礁的健康狀況。歷年在台灣選擇了 8 個海域（東北角、 宜

蘭、東部沿海、南部恆春半島、綠島、 蘭嶼、小琉球，澎湖）執行珊瑚礁總體檢， 每個海域調查 3～6 個地點，記錄底質類型 (包括石珊瑚、軟珊瑚、大型海藻、礫石、海綿、沙、死珊瑚、岩石、 泥及其他 10 項) 出現的頻度，做為估算珊瑚覆蓋率及各類底質所占比率的依據。同時記錄指標魚類、無脊椎動物的出現頻率， 以及各類汙染和人為破壞的情形。結果發現台灣地區的珊瑚礁正面臨氣候因素與人 為破壞的威脅，使得珊瑚礁生長棲地環境 遭受嚴重的破壞，亟需進行保護措施 (蔡雅如、施彤煒，2016)。台東的珊瑚礁面積不小，不過由於便利的潛水入水點少，海況較差，海水懸浮物較多，在此遊憩的潛客及遊客大都極少，使得台東的珊瑚礁承受水上遊憩活動的壓力較小，但也因此較少受到關注；相較之下，此處海岸珊瑚礁遭受廢棄漁具汙染、不當採捕及岸邊民宿的生活廢水等汙染壓力就來得嚴重許多 (段文宏，201）。

二、珊瑚礁的種類與樣態

珊瑚在分類上包括黑珊瑚、石珊瑚、軟珊瑚、藍珊瑚，以及海筆等四大類，前面兩大類屬於六放珊瑚亞綱，本綱的珊瑚蟲具有 6 隻或以上的觸手，觸手數目是六的倍數；後面兩大類屬於八放珊瑚亞綱，珊瑚蟲具有 8 隻觸手 (台灣珊瑚礁學會，2016)。

依據珊瑚的外表特徵，把牠們分為三大類：石珊瑚、軟珊瑚和柳珊瑚。石珊瑚共同的特徵是具有堅硬的石灰質外骨骼，包括軸孔珊瑚、鹿角珊瑚、菊珊瑚、腦紋珊瑚、圓管星珊瑚、蕈珊瑚.....等，牠們的組織大都含有共生藻，能夠進行鈣化作用，建造珊瑚礁；而軟珊瑚、柳珊瑚不似石珊瑚，不會形成碳酸鈣骨骼而是骨針。軟珊瑚外部形態柔軟，包括肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚、指形軟珊瑚……等等。軟珊瑚的群體具有許多不同的美麗造型，有的似盛開的花朵，有的呈蕈狀，有的像皇冠，有的具有許多細長的分枝。柳珊瑚外部形態則呈現樹枝狀，牠們的群體外形千變萬化，有的成扇形，或是鞭狀，還有一些像是拉長的彈簧。

硬珊瑚為珊瑚礁主要且最多樣化的造礁珊瑚，硬珊瑚有不同的棲息環境，例如常見的鹿角珊瑚偏好生長於較淺的礁石上，部分的表孔珊瑚偏好生長於鄰近於沙地的環境或者隱蔽的灣內 (Veron, 2000)。硬珊瑚多樣化的生長型也反映出珊瑚對環境的反應，例如淺礁的分枝形珊瑚分枝較其他的分枝形珊瑚短小，主要用

以避免強勁的海浪所產生的衝擊;團塊形的珊瑚，具有半球狀的外觀，寬大的基部，使團塊形的珊瑚對風暴所產生的巨浪有較高的抵抗力 (Hughes, 1987; Edmunds and Witman, 1991)。大部分的硬珊瑚組織內有共生藻，提供珊瑚所需能量，共生 藻的光合作用效率對於珊瑚的健康也是息息相關，因此水體的透光度決定了珊瑚 共生藻的光合作用效率，會影響透光度的因子包含了水體的濁度，以及珊瑚所位 於的深度 (Miller, 1995; Edmunds, 2009)。因此大部分的硬珊瑚偏好棲息於水體清澈、光線充足的環境。不同地區的硬珊瑚群聚調查顯示，各地區皆有不同的優勢硬珊瑚群聚。

郭兆陽 (2009) 統整過去相關文獻指出，以石珊瑚、藍珊瑚與千孔珊瑚等造礁硬珊瑚為主的區域，多屬於健康的珊瑚礁底棲群聚 (Done et al. 1996; Karlson et al.1996)，並且可能有優勢的生長形或種類出現。優勢的硬珊瑚種類或生長形分佈主要受波浪、水流、光線等因子影響 (Muko et al. 2000; Titlyanov et al. 2001)。在物理性因子作用強的地方，通常以團塊形硬珊瑚為主;在物理性作用弱的地方可能生物性作用較重要 (Storlazzi et al. 2005)，並以分枝形或葉片形硬珊瑚為主。團塊形硬珊瑚屬於主要的造礁珊瑚種類(Benzoni et al. 2003; Montaggioni 2005)，其生長緩慢 (Endean et al. 1997)，對環境擾動忍受力高 (Veron 1986; Rogers 1990)，較能忍受水流與波浪作用強烈、光度弱(Riegl et al. 1996; Muko et al. 2000; Montaggioni 2005)、濁度高的環境 (Montaggioni and Faure 1997; Grossman and Fletcher 2004)，且族群較穩定 (Montaggioni 2005)。

分枝形軸孔硬珊瑚，也是主要的造礁珊瑚 (Benzoni et al. 2003)，其生長在水流與波浪作用較弱，受保護或遮蔽的淺水域 (Riegl and Piller 1999; Benzoni et al. 2003; Piller and Riegl 2003; Montaggioni 2005)。牠們可藉由快速生長形成巨大群體區塊，而獨佔廣大空間並成為優勢種 (Done et al. 1988; Doherty et al. 1997)。然而，分枝形硬珊瑚易受到環境改變的影響而產生劇烈變動 (Done 1982; Karlson and Hurd 1993)。此外，有些分枝形硬珊瑚，如鹿角珊瑚，分枝較粗壯或緊實，可生長在水流與波浪作用較強處 (Montaggioni 2005)。葉片與薄片形硬珊瑚，如葉片形表孔珊瑚的造礁能力較弱，其通常生長在受保護、風浪作用較弱的地方，但可承受稍強的水流 (Montaggioni and Faure 1997) 與較高的濁度 (Takahashi et al. 1988; Kleypas 1996; Montaggioni and Faure 1997)，因此可能在水流稍強處，藉

由快速成長而形成優勢群聚 (Montaggioni 2005)。 在生態上，也可依它們的功能區分為兩大類：一為"造礁珊瑚"， 組織中具有共生藻，能堆積碳酸鈣骨骼，建造珊瑚礁，主要生活在水深50公尺以內的熱帶海洋中；另一 為"非造礁珊瑚"，其堆積鈣質骨骼速率較慢，通常生活在光線較弱的礁石洞穴或較深的海底。一般所謂的珊瑚礁，指的是以石珊瑚為主的一些生物所堆積的石灰質骨骼所形成的地質構造。

段文宏 (2016) 指出，在杉原灣是沙岸地形，但在此海域有些獨立的礁石，上面的造礁珊瑚的生長良好。而在礫石岸海域上的大型卵石也可以常常看到珊瑚幼生著床，生長發育成小珊瑚株。台東的珊瑚幼生入添量豐富，只要有穩固底質的海域，多有造礁珊瑚生長，然而由於河川輸沙量大，造成海域懸浮物過多而影響光照強度，沉積物過多容易掩蓋住珊瑚，卵石底質容易滾動，在這些不利因素的狀況下，雖然珊瑚幼生入添量或許不少，但是並不容易長大形成珊瑚礁。

三、珊瑚礁生態調查之研究

郭兆陽 (2007)，以臺灣南部海域珊瑚礁底棲群聚的結構與變化為研究主題，於 2003 至 2005 年針對台灣南部珊瑚礁四個不同地點底棲群聚進行定量調查，參考 English et al.(1994) 與 Tkachenko et al. (2007)，使用固定橫截線上方塊取樣法 (sample quadrates on transect)。將底棲類別分為硬珊瑚 (鑑定至種)、軟珊 (包含柳珊瑚，海雞頭目鑑定至種)、底棲性藻類、基質、沙及 礫石與其他 (包含海綿、海葵與其他) 六大類。底棲性藻類包括大型海藻 (macroalgae) 與草皮狀海藻 (turf algae) ;空基質包括可供珊瑚著苗的裸露礁岩與可促進珊瑚著苗的表覆型殼狀珊瑚藻(crustose coralline algae)。硬珊瑚生長形分為分枝形 (branching)、葉片&薄片形 (foliaceous & laminar)，簡稱葉片形、團塊&表覆形 (massive & encrusting)，簡稱團塊形，與其他 (other) 四種。 結果共紀錄硬珊瑚 45 屬 154 種， 軟珊瑚 10 屬 45 種，佔已知珊瑚種類的 67%。底棲生物與硬珊瑚生長形的數量在三年間皆穩定，但在地點間的生物數量與群聚結構皆有顯著差異。

陳威達 (2012) 針對台灣南部珊瑚礁底棲群聚結構及珊瑚補充量的時空變化進行縱慣性調查，每 1 至 2 個月進行調查並為期 1 年，珊瑚礁底棲群聚結構以固定橫截線方框取樣法 (sample quadrates on transect) (Tkachenko et al., 2007;

郭兆揚，2007) 調查，以裝設營釘的方式固定 10 公尺橫截線， 深度介於 3-9 公尺，每個地點拉取 3 條平行海岸的測線，彼此間隔約 10m，使用 35 x 35 cm 的金屬框架連續拍攝，使照片形成連續帶狀，並使用 CPCe v3.5 (Coral Point Count With Excel 6 extensions) 系統軟體進行照片分析 (Kohler and Gill, 2006)，隨機撒取 50 個標示，辨識標定物性質。 楊東霖 (2012) 以潛水員利用水肺潛水，沿著穿越線利用水下數位相機 (Olympus C-5050) 和特製照相框架 (Tkachenko et al. 2007)，採固定橫截線方框取樣法，拍照記錄每條穿越線上底棲生物與底質組成，小琉球珊瑚礁底棲群聚結構之時空變化進行研究。

鄭憲成、宋王夫 與宋一夫 (2004) 以水肺潛水方式，配合多位潛水教練於綠島海域內，進行生態實驗珊瑚礁探索，採用 GPS 定位系統，針對綠島海域四個測驗站的底棲無脊椎動物，魚類及珊瑚和生態環境進行研究，作為推動綠島珊瑚礁潛水休閒運動以及建立綠島潛水運動據點之基礎資料。監測項目及監測內容包括 (一)底棲無脊椎動物(種類組成、個體量、群聚結構) (二)魚類(種類組成、魚群量估計種類與數量) (三)珊瑚，以期初步瞭解該海域之生態環境。底棲動物及魚類之調查部份，以珊瑚礁總體檢之方式進行，調查方法基本上是以「穿越線」（transect）調查法為基礎。調查人員在海底分別沿著 5m 和 10m 等深線，以捲尺拉出一條 50m 長的穿越線。然後再調查以穿越線為中心、半徑 5m 的範圍內的底棲動物。除現場鑑定外，並以照相計錄，部份難以鑑別之物種攜回船上，核對參考文獻後釋回， 記錄種類及出現次數及藉瞭其底棲動物群落。珊瑚覆蓋率的調查，採兩人一組以潛水方式沿著 5m 和 10m 等深線，進行 50 m 線的穿越線調查，每隔 0.2 公尺的間隔記錄正下方的海底底質構成物質，並且分類記錄底質為活珊瑚、死珊瑚、岩礁、礫石、沙、泥、藻、軟珊瑚、硨螺貝或其它生物如海綿、海鞘等等，並且在水下逐一填入記錄表中。記錄結果經過分析計算以後，計算出個種物種的出現。

鄭憲成 (2009)以水肺潛水調查棲地多樣性對海岸生物之影響，調查目地在於了解墾丁國家公園內，潮間帶及亞潮帶海域的珊瑚礁底棲生物的分佈，以其中最易受到潮間帶觀查及潛水觀光者所接觸的貝類進行調查，以提供將發展休閒潛水觀光及潮間帶旅遊之經營管理及教育解說之參考。潮間帶調查採樣進行時，於海岸線各選取一段 30 公尺的平行海岸的實驗範圍，其中間格 15 公尺取一穿越

線，每站共取三條，以穿越線調查法進行定量分析。每條線上取三個 50*50 平方公分的採樣方格，查其豐富度。亞潮帶以休閒水肺潛水方式進行調查，於小灣及眺石兩處海域分別在水深 5 公尺及 10 公尺處拉 25 公尺測線，測線左右各 1.5 公尺的範圍進行定量分析，查其豐富樣品處理與分析方式，先將軟體動物以穿越線調查法進行定量採集，標本保持活體狀態，攜回實驗室後進行比對及鑑定工作，隨即對每個個體進行測量，包括數量及生物量。調查結果共紀錄潮間帶軟體動物 19 科 57 種。

綜合上述文獻分析，有關珊瑚礁生態調查，基本上都是採用潛水方式，採用固定穿越線調查法進行，藉由潛水相機或攝影機進行方格樣區的照片拍攝，再透過系統軟體進行照片分析。在珊瑚群聚結構特徵的分析上以穿越線為單位，統計珊瑚種類的數目，計算每種珊瑚的平均覆蓋率和進行排序。

第參章 研究方法

本章分五節論述，第一節說明研究的場域、第二節針對海洋環境的訪談進行說明、第三節說明珊瑚礁岩的調查、第四節說明研究場域潛點資訊的建立。第五節說明資料的處理與分析。

第一節 研究場域

本研究於2018年8-11月於台東杉原灣海域，本研究先藉由水肺潛水進行8次的杉原灣南礁區域海底珊瑚礁探勘，選取杉原灣南礁內灣作為本研究的樣區。

第二節 杉原灣海洋環境訪談

採用半結構訪談的方式，由研究者初擬並經指導教授審閱修訂後確定，包含了五個問題。以四位在地居民作為訪談對象，進行資料蒐集。

第三節 珊瑚礁的調查

一、影像紀錄調查法

安排潛水員於研究場域進行潛水，透過三次的潛水，每次安排三位潛水員，藉由水中錄影的方式，隨機錄影海底珊瑚的影像，彙整完錄影影像之後，透過影像定格分析以及截圖的方式，記錄珊瑚礁的種類與海底珊瑚礁群聚。

二、固定穿越線調查法

珊瑚礁底棲群聚結構調查使用固定穿越線調查法，採潛水調查的方式，在5 m左右深度處，拉設長度3條30 m之穿越線，使用35x35 cm大小的特製照相金屬樣框 (Tkachenko et al., 2007)，裝置於相機(Canon G15裝於防水殼內) 前方，由上而下進行拍攝，每條穿越線各拍攝90-100張照片。照片帶回後，接著使用隨機灑點軟體 CPCe 3.5 (Coral Point Count With Excel extensions, Kohler & Gill, 2006)進行統計分析，在每張照片中，以軟體在樣框之範圍內進行隨機標定50個點，辨識每一點底下的底棲類別，將底棲類別分為硬珊瑚、軟珊瑚、沙及礫石等三大類。

第四節 研究場域潛點資訊建立

採潛水調查的方式，本研究於2018年8月至2020年6月藉由水肺潛水進行的杉原灣南礁區域海底探勘，綜合相關資訊，最後安排於2020年6月18日，透過空拍機，潛水標示浮力棒，潛水電腦錶、水下錄影機，搭配Goole Earth地圖，建立水肺潛水的環境資訊。

第五節 資料處理與分析

一、訪談資料處理與分析

研究者首先將訪談錄音內容轉錄為逐字稿，再由研究者再次聽讀校對，力求逐字稿內容精確。逐字稿本為一受訪者一個檔案，共計四個檔案，每個檔案會受訪者對這 5 個問題的回答，。因此，針對訪談問題共建立了 4 位受訪者 5 個問題的檔案，作為主要的分析文本。為便於日後確認引用之文本來源，研究文本的編碼，採取「大綱問題碼- 受訪者姓名碼-行碼」的方式為之；例如，「Q01-陳Ｏ岳-18~25」代表文字引自逐字稿問題 1 受訪者陳Ｏ岳回答的第 18~25 行。

二、珊瑚覆蓋率分析

在珊瑚群聚結構特徵的分析上以穿越線為單位，統計珊瑚種類的數目，使用PRIMER 5.0 (Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK)套裝軟體，計算珊瑚的平均覆蓋率。

三、潛點資訊的建立

採用潛水田野調查，透過影像紀錄及記錄文件，針對潛點的特性，繪製潛點的路線圖，透過影像擷取技術，針對潛水所錄製的影像，擷取潛點路線周遭珊瑚種類與特性，海洋污染物等作為海底生態導覽的素材。

第肆章 結果與討論

本章首先針對海洋環境的訪談結果進行分析與討論，接著呈現珊瑚調查結果，最後針對杉原灣潛點調查與地圖建置進行分析。

第一節 杉原灣海洋環境的訪談分析

一、研究結果

訪談四位男性在地居民，皆為男性，年齡介於 45 歲到 71 歲之間，居住在地都有 20 年以上的時間，對於在地環境有相當深入的了解。以下針對訪談主題，針對杉原灣海底地形、海洋生態、海洋氣象以及潛水環境，整理分析如下：

(一) 杉原灣海底地形

杉原灣是典型的海灣地形，海灣內以珊瑚礁為主，部分是沙地、石頭，由淺而深，南礁地形為珊瑚礁地形，少部分沙地，小流溝大約 5-7 米深。南礁當地居民台語稱之為「大肚」，意識是指這個地區有一大片的珊瑚礁。（Q01-陳 O 煌-C04）

杉原灣的這裡海底地形，從潮間帶出去大概 1000 公尺至 1200 公尺就變成深海。我們這裡海灘大概都是在 20-30 米，到了 1000 公尺以外就下深溝了。這裡有一個海溝很深。垂直深度就有 600-700 公尺。因為我們現在這個地方的海域過去抓魚都沒有在限制，沒有限制都是濫捕... 三層網、什麼網都一直丟進去，我們現在這裡的海床下面全部是魚網。（Q01-陳 O 煌-C26~30）

南礁旁邊有一條溪，由於山上度假村的開發多用大行機具，造成大量土質流失，對南礁生態造成衝擊。最大的黑石頭，我們叫那顆黑石牛。我們從小時候聽這些老一輩的就說最外面的那顆就是黑石牛，那邊不深，那邊大概最深不到十米，黑石牛那邊進來這一片珊瑚礁都很淺，都是淺灘。如果退潮的時候人幾乎都可以下去走路。

過去那邊的珊瑚非常多...就是珊瑚以前被人家敲走了太多了。以前有人在收購珊瑚（Q01-陳 O 煌-C40~42）

這個灣原本在老一輩的說法就是以前這都是竹筏，以前這竹筏都是用竹子做的，所以他們都會出去在這附近的珊瑚礁區塊做採捕的行為，抓魚拉延繩釣拉這樣釣魚拉放網子都在這個區塊，所以他們如果碰到有風還是怎樣，以前沒有偵測的東西都是憑感覺，他們就會說，诶~來兜阿來兜阿來，就是這個灣裡面這個灣裡面躲風浪這樣，以前這個有沙灘的部分都是放竹筏的。（Q01-陳 O 岳-C18）

我們小時候這裡的地叫海防陣地，做戰用的，這裡附近有碉堡，打仗要用的部分。北礁這個區塊出去，第一層就是裸露出來的，它屬於獨立礁，獨立礁它這裡石頭一般可以分成三種。第一種就是白色那種，叫做火山灰岩。黑色的叫火山岩，禿出的部分，在海底裸露第一層，這個部分一般我們下去看都是火山岩，被珊瑚礁包覆住，屬於是獨立礁的部分，中間有三層，第一層，第二層，第三層，有三層珊瑚礁區，比如說這一排就分部就這樣一排，有珊瑚在水裡的一段是沙子後來是珊瑚（Q01-陳 O 岳-C32~38）

南礁的也是獨立礁阿，它也是擠壓出來的，屬於獨立礁，可是它比較特別的是，因為水流的問題嘛!水流這樣子，流過來會打到我們的就是都蘭鼻。所以這裡會比較多生物會聚集在這，比如說以前在抓大隻的龍蝦都在這，大隻的鶯歌都在這，比較奇特的東西都會在這裡這樣子。因為它微生物多，小魚也聚集多，所以就會有大型魚種聚集在這裡（Q01-陳 O 岳-C40~44）

那個時代好像都會採這邊(南礁內灣)的珊瑚，這邊珊瑚礁還蠻遠的。到最後有一顆石頭，我們叫黑石牛。那邊...有時候會去那邊釣魚。然後下面有鯊魚。然後這整片都是珊瑚礁。然後的就是在這一片，就是他外圍他會圍住，那裏面，剛好有一些礫石這樣，可以在這邊潛水。（Q01-張 O 勇-C26）

這邊沙有堆積，所以之前有所謂的海水浴場，北邊也是有珊瑚礁。2005 年以後他就有成立一個那個...就是禁止捕獵的那個保育區。那現在才變成一個觀光景點。然後南礁這邊也是有珊瑚礁，就在南邊。（Q01-張 O 勇-C29）

綜合上述訪談結果，杉原灣海底地形海灣內以珊瑚礁為主，部分是沙地、石頭，由淺而深，灣內深度大約在 10 公尺以內，南礁地形為珊瑚礁地形，少部分沙地，小流溝大約 5-7 米深。北礁有三層海底珊瑚礁石，是帶狀分布的礁體，在礁盤和礁盤之間為沙底。

(二) 杉原灣海洋生態

岸上幾乎都有所謂的寄居蟹，然後海裡面也有海生的寄居蟹。有一些那個熱帶魚...熱帶魚都會在這附近。然後我們常去釣的那邊有掉的那個所謂的厚殼仔那種，就是線鯛那種的，還有什麼那種，倒吊魚那種。大部分都是所謂的那個...所謂的熱帶魚，很多種，熱帶魚有很多種。（Q02-張 O 勇-C 42~44）

沙灘的底區魚類，就那個什麼青鱗魚那種。但是因為這邊有護魚區，現在魚類好像就比較單純，他們有什麼豆仔魚那種，他們有放生。像我們現在在用那個海藻饅頭餵養那個就是所謂的吊仔魚還是烏魚那些。我們有曾經在這邊有看過那個硨磲貝（Q02-張 O 勇-C 50）

這裡很多那個豆仔，以前這都有這裡都聚集，海藻也多生物海藻石斑也很多，石斑類的部分蝶魚的部分也很多。（Q02-陳 O 岳-C68）

白紋方蟹白底仔，抓起來醃或者是抓起來水煮肉質很甜，不然就是抓一些榮螺，我們這裡的榮螺就有 34 種， 一般下去你就看得到鶯歌跟河豚沿岸比較多的臭肚魚，過來就是五線笛鯛，不然就是水針魚過來就是章魚這些螺類， 採捕這些下去起來就是一個籃子的量，以前的藍子是我背包的 6 倍大這樣一包（Q02-陳 O 岳-C92）

過去我們這裡非常多綠蠵龜，他最怕的就是魚網，它被纏住就不能上來呼吸，但它是要呼吸的東西，不能換氣它就一定要死了。所以說，我們這個地方的海面以及海灘經常都會有綠蠵龜的屍體漂上來，都是漁網(造成)的問題。Q02-陳 O 煌-C30）

現在有那個...雲鯧、黑鯛...還有這個... 鯵，什麼鯵，那個叫什麼鯵牛港鯵那種...那個都進來在這裡吃...吃我們的那個豆仔魚。南礁內灣在這片珊瑚礁這裡，魚種現在真的是不多。那魚也非常少，因為那邊都有人在破壞，有人在抓。魚就是...跟人一樣嘛，你去傷害它，看到人就跑了，他就不敢過來了（Q02-陳 O 煌-C59~66）

厚殼仔(豆娘魚)，雀鯛，還有那個...紅尾冬，大部分就是釣這些。還有那個秋姑魚(緋鯉)。秋姑魚(緋鯉)比較少一點，都是那個赤殼仔(豆娘魚)這類的魚最多。抓魚的時段最好的季節就是在入秋以後是最好，因為天氣涼，水涼。那個水太熱，魚就會比較不喜歡進來。（Q02-陳 O 煌-C74~82）

螃蟹啊龍蝦啊還有那個什麼龍蝦皮亞，海龜啊， 海龜很多 最近很多。生態很髒， 我昨天釣到一條那個鬼頭刀 我把它殺下去裡面可以找到到塑膠袋 很奇怪 連魚也吃塑膠袋。很多魚都會在歐姐夫（黑石牛）這個地方出現，就黑毛，德鯛啊，紅雞仔，鸞哥，石斑，紅魚頭啊 唸不完啊（Q02-潘 O 榮-C 34~40）

綜合上述訪談結果，杉原灣早期海洋生態相當豐富，近年來受到人為的污染及破壞，海洋生態受到相當大的衝擊。除了珊瑚礁魚類之外，海龜也會在這個海灣經常出沒。天下雜誌 39 週年特刊，針對「海龜產卵等了十年，讓美麗灣真正的美麗」為主題，進行深入報導(蔡立勳，2020)，海洋大學教授程一駿表示，台灣本島因為沙灘消失嚴重，海龜無法上岸產卵，這次在本島首度全記錄，意義重大。程一駿說，過去大武和東河海邊還有海龜上岸，現在因沙灘消失，海龜無法上岸產卵，這塊區域是台灣本島僅存的海龜上岸產卵海灘，若有適當規畫，可成

國內生態保育標竿，而這也是台灣本島首次完整的海龜產卵紀錄，對於縣府及護漁區志工而言，意義重大（莊哲權，2019）。

(三) 杉原灣海洋氣象-海流、能見度

1.流況大概什麼季節?會怎麼流?

我們這裡的流況大概都是會...差不多都一樣，沒有什麼季節，我們這裡，外面那黑潮就是往北流。漲潮就是去沖到都蘭鼻打回來，往這個島回來，就是我們這個流就是走退潮回來往南衝到都蘭鼻再繞回來我們就講渴流(台語)。來到這裡又來到富岡鼻，就出去又變南流又沖回來。所以說我們這個島...這個灣...這個都蘭灣這個裡面，大部分就是那個...由南往北再由北往南繞回來（Q03-陳 O 煌-C94~96）

你注意喔!因為這一帶都是石頭，所以沙子會集中在美麗灣一帶，它就會蠻高的，蠻多的，可是等一段時間，颱風打的時候這些沙子又會被刮下來，到下面，都會拉到下面來，這邊的沙子會減少，後來像現在，你注意看東北季風又出現了，沙子又會被從這裡打上來，又從這邊跑回來，又會跑到我們保育區這個點，所以保育區這裡你會常常颱風天過後就會看到都沒有沙子，可是一段時間來你又發覺為什麼沙子變那麼多，之前有人炒作說美麗灣因為開發之後造成沙子都不見了，一直亂唬爛拉，我說這次來你來拍，甚麼時候，東北季風來的時候你來拍，怎麼沙子全部跑來，我說我的「朋友」又回來了，它一段時間就會一個循環，它這樣打過來海浪打它會拉過來這裡，可是等到東北季風在槌的時候，這樣浪打，沙子又通通回來了，像譬如說這個步道只要颱風天你來看的時候，要走到步道還有一段路，都是石頭沒辦發跟步道連結，可是像這段時間來怎麼那個沙子到步道的那邊去了，沙子又回來了它是一個循環，它是這樣走。（Q03-陳 O 岳-C114）

這邊有那個所謂的那個黑潮，大部分都是從這邊往上流(由南往北)，然而在東北季風強的時候，流向的變化就會受到影響。東北季風從九月、十月以後開始變強，現在(十二月初)最強，十一、十二月的時候最強。隔年一月、二月就會慢慢趨緩。因為颱風很大的時候，就是海邊的海象就會變化很大。就是有時候，像我剛剛講的，它本來是沙灘跟那個珊瑚礁會連起來，颱風，因為這邊海象是這邊，那這邊海象是這樣，兩個海象是相衝，然後這邊的沙子就會全部被弄掉，然後過一段時間，這邊才會又黏起來，要不然中間會有一條溝，你不能直接到珊瑚礁，你要經過這條溝才能到珊瑚礁。（Q03-張 O 勇-C63~71 ）。

2.杉原灣水底/海裡能見度分析

主要受到的就是旁邊的溪流，這條伽溪。比如說颱風來了，洪水很大，就整個可能能見度就是都很差，因為有泥水下來。要不然一般都是蠻清澈的，都可以看到底下的一些東西。（Q04-張 O 勇-C82）

下雨，風浪，東北季風一強，攪浪下去就會混濁，颱風天也會影響沙子會反滾往上帶。這邊是受到小溪的影響比較多，北側增砂橋，廟這邊，潮來橋，這邊有三條，山上的土方非常鬆散，一般叫做烙賽石，以前比較沒有像現在這樣糟糕，以前是種甘蔗有人在耕作水土保持比較好，現在沒有人再耕作，下雨的話砂土都跟著流下來，這邊主要是這個影響（Q04-陳 O 岳-C132-134）

現在能見度很差...受到就是那些下雨的泥水流下去...從山坡流下去的。泥水流下去就是泥漿覆蓋在這個海床上面，珊瑚礁、海床都會年這個泥漿。泥漿沉澱在那邊，一有潮水又擺動，就會渾濁，所以說我們這個地方的水，你去浮潛，看起來都不適很清澈，會渾渾的...沒有下雨會清澈一點點...也不是說沒有下雨會清澈，如果沒有大風浪，就會比較清澈，一有風浪，就會擺動那些泥漿，就會比

較渾濁...最近我們這個地方也汙染得很厲害。汙染得很厲害就是這裡有一個開發案，叫做中旅開發。這個中旅開發案有一個飯店，我們後面這個地方。他現在就大量在這裡，用怪手來開挖。那每逢下雨就是大量的泥水就流進來。（Q04-陳 O 煌-C108~114）

綜合上述訪談結果，杉原灣的海流狀況基本上相當穩定。灣內沒有太大的海流，適合進行海洋運動，灣外黑潮就是由南往北流。然而在東北季風強的時候，流向的變化就會受到影響。在海洋能見度的部分，由於附近開發案導致泥漿覆蓋在海床，一有潮水又擺動，就會渾濁。如果沒有大風浪，就會比較清澈，一有風浪，就會擺動那些泥漿，就會比較渾濁。

(四) 杉原灣海洋的潛水環境

適合潛水的時間是就是春天結束到夏天這個部分，然後比如說潮水大退潮的時候最適合，因為你可以走到很遠，然後下去看。如果你比較遠的地方，這個外圍的珊瑚礁會更漂亮。（Q05-張 O 勇-C105）

夏天最適合，冬天它的水流強，根本抓不住，游就游死了。夏天到了風平浪靜的，水很平，那段時間去這個地方才適合，颱風天東北季風大的時候水流就變大不適合，最適合的是過完年到颱風季節這一段（Q05-陳 O 岳-C138~140）

如果要深潛就在在那個黑石牛以北這條線裡面是最安全，因為我們這裡潮流是最穩的，最穩的，沒有強流。（Q05-陳 O 煌-C123~127）

春天到夏天都很適合潛水。夏天就是陽光比較充足，你下水也會看得比較清楚一點。除了颱風天，除了颱風就不適合，那如果有下大雨...那個海水混濁，這樣下去也...你下水也看不到東西。如果是沒有下大雨，那就是好天氣的話就適合下水。冬天就是風浪很大。（Q05-陳 O 煌-C139~145）

綜合上述訪談結果，春天結束到夏天這個季節是杉原灣最適合潛水的時間，尤其是在潮水大退潮的時候最適合，此時能見度會比較好，潛水的區域從黑牛石以北這條線裡面是最安全，潮流是最穩定，沒有強流。

二、討論

根據「2008 年聯合國全球珊瑚總體檢計畫」，在台東東海岸進行珊瑚棲地調查，發現杉原灣擁有龐大豐富珍貴珊瑚礁生態，在杉原海域的珊瑚高達一百一十種，佔了台灣珊瑚種類的三分之一，距離岸約一公里海域，各種肉質軟珊瑚盤據在大型的礁石上，形成特殊生態景色，急需妥善加以完善保護與管理。中研院生物多樣性中心陳昭倫博士調查報告指出，隨著東海岸各項開發案的進行，台東杉原灣海域的珊瑚礁，這幾年來死亡珊瑚的比率大幅成長，藻類也因為廢水而開始增生 (國立教育廣播電台，2018)。本研究的訪談結果呼應了陳昭倫博士的研究結果，杉原灣早期海洋生態相當豐富，近年來海洋環境受到人為的污染及破壞，海洋生態受到相當大的衝擊。長期居住於此的居民，從小到老看到了杉原灣的美麗與哀愁。余偉銘、王聖銘 (2007) 研究指出，珊瑚礁區也是海洋環境中生物種類最多的地方，這是杉原海洋生態社區呈現出自然生物多樣性的天然教室。由於漁業資源的匱乏，如何協助沿岸居民利用現有海洋環境發展海洋觀光是近年來經常被討論的議題。對珊瑚礁岸來說，觀光被看作是一條可能的出路，藉由非消耗性的利用帶來觀光收益，以杉原灣豐富的海底自然生態為賣點，達成保育目標，是台灣海洋資源永續發展的重要課題。

本研究結果進一步呼應成大針對東部海岸水域遊憩活動規劃報告 (成大研究發展基金會，2005) 的調查結果。在其研究中將杉原灣南礁內灣設定為潛水的活動區域。本研究透過訪談所獲得的結果也發現，杉原灣南礁內灣在四至八月這段期間，海洋環境的條件非常適合發展潛水活動。陳澤仁 (2009) 以台東杉原海洋生態社區為研究場域，探討遊客以及在地民眾對海洋生態旅遊推展過程中所造成之衝擊認知。未來如果在生態旅遊中的遊憩體驗，善用南礁內灣的海洋環境，發展體驗潛水、水肺潛水或自由潛水，將可以為社區帶來更多的就業機會，也可以藉此推動海洋保育的觀念。

第二節 珊瑚調查分析

一、研究結果

(一)珊瑚礁種類與型態分析

潛水員針對潛水路線所經過區域所拍攝珊瑚影像，經由分類分析，發現以下的結果：

1.杉原灣南礁內灣近岸區域以石珊瑚為主

在灣內深度大約在 1.5-4 公尺，出現較多的石珊瑚，石珊瑚是指具有石頭堅硬骨骼的種類，牠們是包括軸孔珊瑚、表孔珊瑚、鹿角珊瑚、菊珊瑚、腦紋珊瑚…等，牠們大多含有共藻，能夠進行鈣化作用，建造珊瑚礁；大多數的六放珊瑚都屬於這一類。石珊瑚的種類繁多，有的形成枝枒交錯的分枝狀；有的分枝密集或癒合成為平坦的桌面；有的呈團塊形或半球形，群體表面還有各種奇特的花紋；有的呈葉片狀，如瓦片一般層層相疊；有的則如一層表皮，覆蓋在礁石表面。

(1)珊瑚礁岩多樣性 (圖 4-2-1)，包含有網狀角星珊瑚、密集迷紋珊瑚、分枝形微孔珊瑚、藍珊瑚等礁岩棲底，偶爾出現鹿角珊瑚

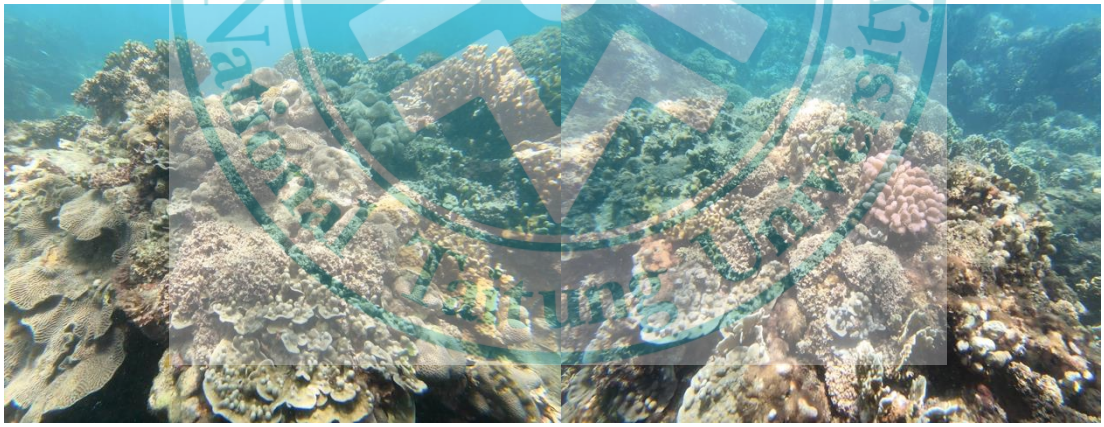


圖 4-2-1 杉原灣南礁內灣珊瑚礁岩多樣性

(2)石珊瑚的群落中，以軸孔珊瑚出現的次數較多，其次為火珊瑚

- 軸孔珊瑚

  軸孔珊瑚是石珊瑚家族中的最大宗，是珊瑚礁上長得最快的珊瑚，在現今的珊瑚礁生態系中，可說是最主要的造礁生物，因而被認為是珊瑚礁是否健全的指標物種。

- 桌形軸孔珊瑚 (圖 4-2-2)

桌形軸孔珊瑚群體由密集而互相聯合的分枝構成，表面分枝短而分布均勻，外形像平坦的桌面，生活群體為一致的淡黃、褐、灰或綠色，邊緣有時為發光的藍色。通常生長在珊瑚礁海流較強的礁台或斜坡上段。

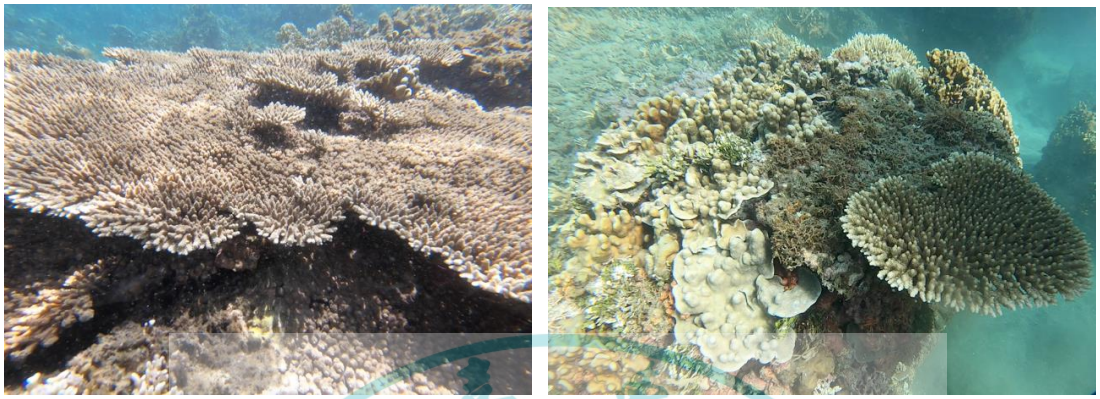


圖 4-2-2 杉原灣南礁內灣桌形軸孔珊瑚

- 分枝形軸孔珊瑚形成緻密空間，可有效聚集各種生物 (圖 4-2-3)

由於分枝型珊瑚建構的立體空間形成緻密空間，可有效聚集各種生物可提供生物安全的躲避空間，對海域生物資源量之恢復扮演著相當重要的角色。枝列孔珊瑚的枝條比鉛筆心粗不了多少，很容易被折斷。

圖 4-2-3 杉原灣南礁內灣分枝形軸孔珊瑚

- 板葉千孔珊瑚 (圖 4-2-4)

板葉千孔珊瑚（又稱火珊瑚），珊瑚體由垂直的板葉構成，板葉常互相垂直，生長在水深 5 公尺以內的珊瑚礁區，尤其以波浪區較常見。三度空間生長的珊瑚，提供小生物最好的躲藏棲所。通常分布在淺海，是很重要的造礁珊瑚，形態並不突出，色彩平淡，卻是很重要的造礁珊瑚。千孔珊瑚含有毒性強烈的刺絲胞，這些觸手由小孔伸出捕食浮游生物，由於刺絲胞毒性特強，不小心碰觸到皮膚會有被火灼傷的劇痛感，故稱為火珊瑚。

圖 4-2-4 杉原灣南礁內灣板葉千孔珊瑚（又稱火珊瑚）

(3)微孔珊瑚的大型群體，層疊覆蓋在礁石表面 (圖 4-2-5)

微孔珊瑚具有多種形態，可能呈板葉形、表覆形、團塊形；群體的表面可能形成柱狀或不規則分枝，葉形表孔珊瑚，群體呈表覆形，邊緣部份則伸展為葉片形，並互相層疊成瓦片形或螺旋形。

圖 4-2-5 杉原灣南礁內灣微孔珊瑚的大型群體

(4)大型團塊珊瑚經常獨立矗立在砂質底部 (圖 4-2-6)

杉原灣南礁內灣團塊珊瑚的類型包含有團塊微孔珊瑚、團塊菊珊瑚，由於團快珊瑚嗜好混濁度高的淺水域，也因此在砂底處最常見。珊瑚體的尺寸在演化上佔有重要的意義，尺寸越大的珊瑚擁有越老的年齡，也就暗示著在這個環境下生存許久。團塊微孔珊瑚在杉原南礁內灣近岸處常見的珊瑚。

圖 4-2-6 杉原灣南礁內灣矗立在砂質底部的團塊珊瑚

（二）杉原灣南礁內灣的軟珊瑚花園 (圖 4-2-7)

杉原灣南礁內灣，從小丑魚區往黑石牛方向移動，在黑石牛的海底區域的南側，成群的礁石覆蓋滿各式各樣的軟珊瑚，形成了一座繽紛絢麗的軟珊瑚森林，各種肥厚的肉質軟珊瑚，以鬱鬱蒼蒼的姿態綿延生長。軟珊瑚的身體柔軟，由肉質組織構成，包括肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚、指形軟珊瑚…等。軟珊瑚的群體具有許多美麗的外形，有的似盛開的花朵，有的呈蕈狀，具有明顯的盤部和注部；有的像皇冠，表面有一環環粗短的手指狀突起。大片的軟珊瑚覆蓋在海底礁岩時，有如美麗的絲絨地毯，讓人駐足流連。

圖 4-2-7 杉原灣南礁黑牛石圖繽紛絢麗的軟珊瑚花園

(三)海下污染物種類與型態分析

杉原灣長年受到來自陸地物質的嚴重影響，從水土保持不佳的集水區沖向下游的黃色泥沙，經常在大雨過後進入海灣，讓海水變混濁、並覆蓋珊瑚，衍生生態系危機。在本研究的潛水調查過程中發現了不少的類似場景，圖 4-2-8 為泥土覆蓋珊瑚，遮蔽珊瑚的光線，造成珊瑚白化甚至死亡。

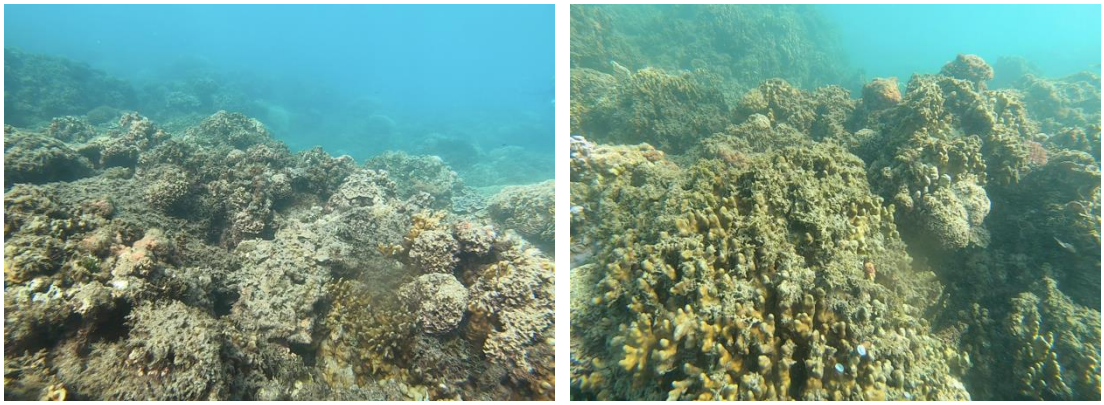


圖 4-2-8 杉原灣南礁內灣泥土覆蓋珊瑚的景象

另外，「幽靈漁網」也是其他海洋生物的殺手（圖 4-2-9），我們總計發現四處魚網纏繞珊瑚的區域，有些漁網綿延數十公尺，造成海洋生態的浩劫。

圖 4-2-9 杉原灣南礁內灣魚網纏繞珊瑚，造成珊瑚白化甚至死亡

(四)南礁內灣黑牛石水下珊瑚調查分析

1.調查地點：杉原灣南礁 (內灣大礁石，當地人稱為黑牛石)，如圖 4-2-10、4-2-11 ，藉由 Goole Earth 尺規測量，入水點至黑牛石直線距離為 560 公尺，水深在 7-8 米之間。

圖 4-2-10 杉原灣南礁空拍圖（取自 Goole Earth）

圖 4-2-11 杉原灣南礁黑牛石空拍圖（研究者自行拍攝）

2.調查時間：2019/8/26 0830-1030

3.調查採樣方法

調查方法參考 English et al.（1994）與 Tkachenko et al.（2007），盡量避開底棲生物無法作為基質的沙地，以 35×35 公分的不銹鋼方框，沿著橫截線放置進行拍攝(圖 4-2-12)。使用 CPCe（Coral Point Count With Excel extensions）〔National Coral Reef Institute, Nova Southeastern University Oceanographic Center (NSUOC) 〕（Kohler and Gill 2006）軟體，在每張照片中，方框所圍住的投影面積灑下 20 個隨機樣點，辨識每一點底下的底棲類別，將底棲類別分為硬珊瑚、軟珊瑚、沙及礫石等三大類。

本次調查目的為試行珊瑚礁底棲群聚監測方法是否適用於此潛水站設置計畫，所以進行時並未正式於觀測站逢機放置 5 條 10 公尺長的橫截線，而是以觀測站為中心，向四周各拉一條穿越線做較大範圍的基本資料收集。

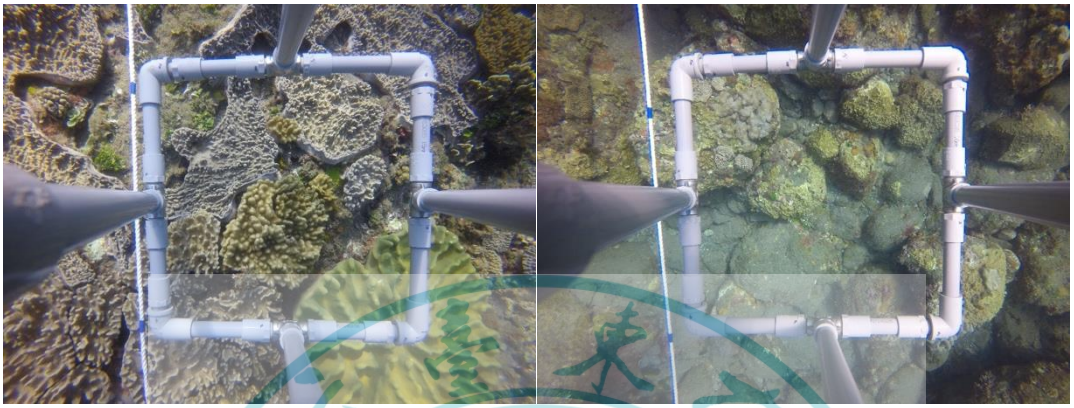


圖4-2-12 以35x35 公分的方框，沿著橫截線放置進行拍攝

4.珊瑚覆蓋率分析

杉原灣-內灣大礁石-東側，硬珊瑚覆蓋率為 32.13%，軟珊瑚佔 20.82%，沙、礫石佔 42.71%。杉原灣-內灣大礁石-東側(北向南)，硬珊瑚覆蓋率為 42.26%，軟珊瑚佔 14.43%，沙、礫石佔 40.1%。杉原灣-內灣大礁石-東側(東向西)，硬珊瑚覆蓋率為 28.62%，軟珊瑚佔 35.43%，沙、礫石佔 34.61%。杉原灣-外礁右側-南邊，硬珊瑚覆蓋率為 8.17%，軟珊瑚佔 35.73%，沙、礫石佔 51.77%。

調查結果顯示，杉原灣-內灣大礁石活珊瑚覆蓋率(硬珊瑚+軟珊瑚)為 54.40%，根據珊瑚礁體檢基金會的標準，活珊瑚覆蓋率（硬珊瑚+軟珊瑚）在 25%以下為「劣化」、「不佳」；25-50%為「一般」、「尚可」；50-75%為「優良」；75%以上為「極優」。杉原灣-內灣大礁石活珊瑚覆蓋率屬於優良等級。

表 4-1 珊瑚覆蓋率統計分析

地點	硬珊瑚覆蓋率	軟珊瑚覆蓋率	沙、礫石覆蓋率
內灣大礁石-東側	32.13%	20.82%	42.71%
內灣大礁石-東側(北向南)	42.26%	14.43%	40.1%
內灣大礁石-東側(東向西)	28.62%	35.43%	34.61%
外礁右側-南邊	8.17%	35.73%	51.77%
平均	27.80%	26.60%	42.30%

二、討論

段文宏 (2016) 指出台東的珊瑚幼生入添量豐富，只要有穩固底質的海域，多有造礁珊瑚生長。例如在杉原灣是沙岸地形，但在此海域有些獨立的礁石，上面的造礁珊瑚的生長良好。從圖4-1-2的空拍圖可以清楚發現，杉原灣南礁黑牛石區域，由許多獨立礁石堆疊在海底，形成了一個穩固的底質海域，也因此提供了珊瑚很好的生長環境。

從本次的調查發現，杉原灣南礁內灣，近岸處水深約2-4米處的沙地周圍，多以團塊形珊瑚為主，這一個現象也呼應了郭兆陽 (2009) 的論述，團塊形硬珊瑚對環境擾動忍受力高，較能忍受濁度高的環境。團塊形的珊瑚，具有半球狀的外觀，寬大的基部，使團塊形的珊瑚對風暴所產生的巨浪有較高的抵抗力 (Hughes, 1987; Edmunds and Witman, 1991)。團塊形硬珊瑚屬於主要的造礁珊瑚種類 (Benzoni et al. 2003; Montaggioni 2005)，也因此在杉原灣珊瑚保育的策略上，應該從如何促進團塊形珊瑚的穩定成長、避免死亡等策略著手。

除了團塊形硬珊瑚之外，杉原灣南礁內灣以藍珊瑚、軸孔珊瑚、微孔珊瑚以及火珊瑚等造礁硬珊瑚為主體，隨著深度的變化，愈接近黑牛石的位置，軟珊瑚出現的頻率也相對增加，尤其是在黑牛石周圍的水下，盤據為數眾多的大型礁岩，成為軟珊瑚生長的天堂。肉質軟珊瑚的群聚除了形成繽紛多元的海底公園之外，近年來的研究也發現肉質軟珊瑚 (Sarcophyton) 屬之軟珊瑚也被證實可得到多種不同種類的活性二次代謝產物 (李文亮，2015)。蘇瑞欣、張祐嘉、吳淑黎 (2012) 也指出，大部分的珊瑚沒有自由移動的能力，屬於附著性生物，因此會生產一些化學物質，這些物質在生態上，可能有防禦掠食者、抗拒其他生物附著等功能；在應用上，可能有抗發炎等治療人類疾病的生物活性，這些「活性物質」或許能發展成為藥物。從這個觀點來看，或許可以藉由淨化杉原灣的海洋環境，讓更多的軟珊瑚得以生長，作為未來藥物的發展來源，促進沿岸居民的生計。

在本研究的調查過程中，也發現了很多廢棄漁網纏繞珊瑚礁岩的景象，造成珊瑚的白化與死亡。另外也發現許多的珊瑚被泥粉所覆蓋而失去了生息，究其原因，不難發現附近的山坡上，度假村開發案與潮間帶僅一條馬路之隔，恐對海洋環境形成重大威脅。

第三節 潛點調查與地圖建置

一、研究結果

自 2018-2020 多次潛水踏查後發現，杉原灣南礁內灣要發展成為潛點應該以小丑魚群落作為特色，搭配潛水路線周遭的珊瑚礁海底景象。最佳的潛水月份為四月至八月（排除颱風及豪雨情況），最佳的潛水能見度為退潮期間。累積過去經驗，本研究以 2020 年 6 月 18 日潛水紀錄進行分析，本次共有 6 名潛水人員協助調查，說明如下:

(一) 潛點調查基本資料

1.調查日期/時間：2020/06/18　08:48-11:20

2.調查地點：杉原灣南礁內灣

3.天氣：晴朗　水溫：攝氏 29 度

4.深度：平均深度 4.2 米，最大深度 6.4 米

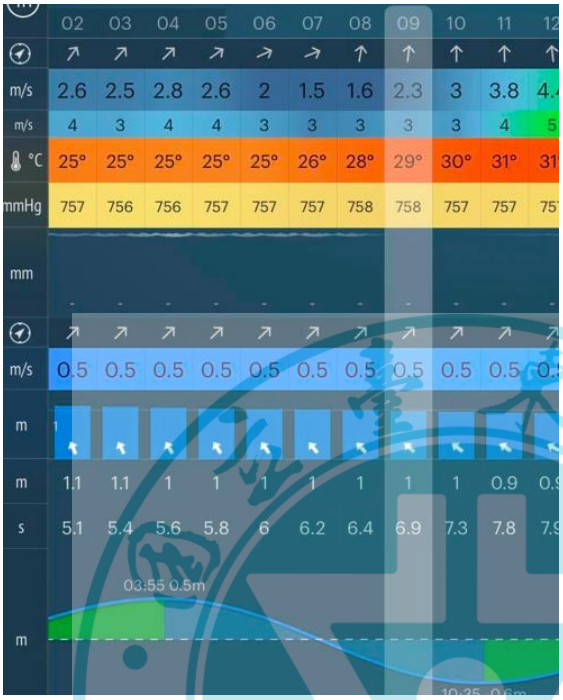
5.能見度：12 米以上

6.海底地形：藉由潛水員實際潛水踏查，搭配 Goole Earth 地圖，顯現杉原灣南礁內灣有著多元樣貌的珊瑚礁地形，其間穿插一些砂質地形(圖 4-3-1)。根據中研院陳昭倫老師 2008 年在台東東海岸進行珊瑚礁棲地調查結果發現，杉原灣杉原海域的珊瑚礁分布相當廣泛，珊瑚多樣性相當高。

圖 4-3-1 杉原灣南礁內灣鳥瞰圖（取自 goole earth）

7.氣象資料

藉由 Windy App 取得氣象資料如圖 4-3-2，在此氣象資料中，呈現當日潛水的海洋氣象。以當日上午九點的資料為例



風向:西南風
風速:每秒 2.3 公尺
最大陣風:每秒 3 公尺
溫度:29 度
海平面氣壓:758㎜Hg
海流方向:西南
海流速度:每秒 0.5 公尺
最大浪高:1 公尺
海浪平均週期:6.9 秒
潮汐：退潮

圖 4-3-2 當日海洋氣象資料

依照中央氣象局定義，波高超過 1.5 公尺，平均週期在 8 秒以上，稱之為湧浪，由於杉原灣內灣深度不深，當湧浪發生時，潛水員在淺水區很容易受到湧浪影響在水中劇烈晃動，甚至受到湧浪推擠撞上礁石而受傷。以當天的海洋氣象而言，是一個適合潛水的日子，潛水時間適逢退潮，且該週並沒有豪雨發生，也因此在海底會有較佳的能見度。

(二) 潛點路線規劃與海底生態分析

要將杉原灣發展成為一個潛點，必須找到該處水下生態的特性來進行潛水路線的規劃，從實際的潛水踏查發現，杉原灣南礁內灣海底，分布的許多小丑魚群聚，可以作為此一潛點規劃的特色，藉由小丑魚群聚位置規劃路線，進一步連結到黑牛石（圖 4-3-3,4-3-4）。透過 Goole Earth 的尺規量測，從入水點到下潛點的距離為 140 公尺，從下潛點到小丑魚 A 區為 90 公尺，小丑魚 A 區到 B 區為 150 公尺，小丑魚 B 區到 C 區為 147 公尺，小丑魚 C 區到黑牛石為 342 公尺，，全區平均深度約為 4.6 公尺 最大深度約 7.5 公尺，依據

實際潛水測量，總潛水時間約為 90 分鐘，使用標準 11.5 公升的氣瓶，潛水耗氣約 150BAR。

小丑魚（Clownfish）是對雀鯛科底下的海葵魚亞科（Amphiprioninae）魚類的俗稱，是一種熱帶海水魚。小丑魚與海葵有著密不可分的共生關係，因此又稱海葵魚（Anemonefish）。帶毒刺的海葵保護小丑魚，海葵則吃小丑魚消化後的殘渣，形成一種互利共生的關係。」在本研究的調查範圍內，共發現三處克氏海葵魚群聚（圖 4-3-5），本區發現的小丑魚為白條海葵魚（俗稱紅小丑），體色為紅色到暗紅色，幼魚有 3 條白斑，隨成長而白斑會消失到僅剩眼後一條，成熟母魚體色較暗紅，雄魚則呈鮮紅色，鰭為橘紅色。

圖 4-3-3 南礁內灣潛點路線鳥瞰圖-a（取自 goole earth）

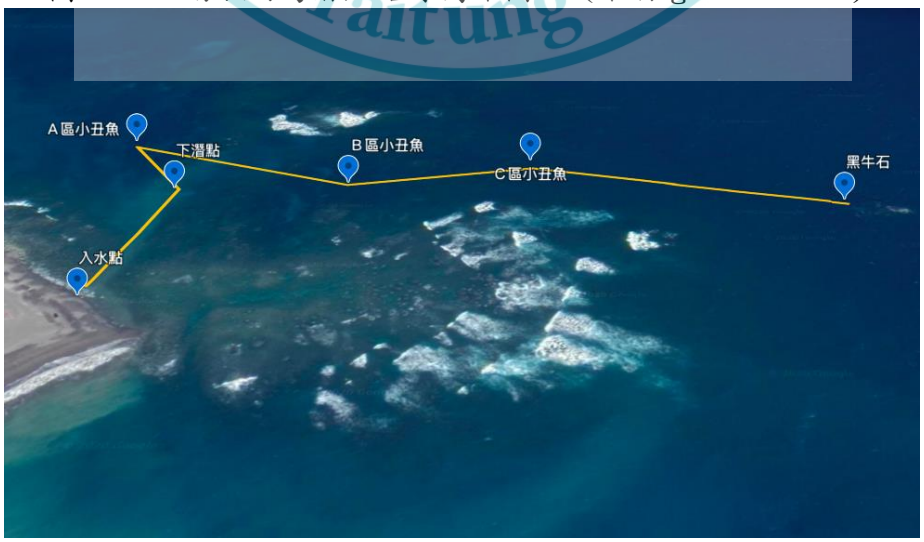


圖 4-3-4 南礁內灣潛點路線鳥瞰圖-b（取自 goole earth）

圖 4-3-5 白條雙鋸魚（研究者自行拍自於杉原灣南礁內灣）

二、討論

《海底總動員》（Finding Nemo），這部由 2003 年推出首集，描繪了海洋世界下，小丑魚尼莫和擬刺尾鯛多莉（Dory）彼此之間所發生的冒險故事，不僅劇情完美、畫面瑰麗，也從最身歷其境的感悟，喚醒人們對海洋生物珍惜和環境保護的重要性。小丑魚隨即成了全世界最有名的魚種，特別是牠和海葵、珊瑚相互依偎的樣貌。牠美麗又可愛的樣貌，吸引不少遊客在熱帶國度浮潛或潛水時，爭相欣賞的海中瑰寶（魯皓平，2019)。近年來針對杉原灣環境生態所進行的研究都指出，杉原地區擁有豐富的人文與自然資源，相當適合生態旅遊的規劃（李志一，2008;林國柱，2008）。余偉銘與王聖銘 (2007) 的研究指出，杉原海域擁有潮間帶以及珊瑚礁等兩個重要的自然資源，潮間帶是潮水起落的過渡地區，為許多生物的重要生活棲地，也是一般人認識海洋的窗口。珊瑚礁被稱為海洋雨林，是海洋環境中，生物種類最多的地方，這是杉原海洋生態社區呈現出自然生物多樣性的天然教室。從本研究發現，小丑魚可以成為杉原灣南礁內灣牠特色魚種，透過人們對於小丑魚的喜愛，可以開發體驗潛水、自由潛水或浮潛的活動，推動觀光旅遊，協助漁村轉型。另外，藉由對於小丑魚的報導與保護，喚起更多的人關心杉原灣海域的環境，投入更多的人力及物力資源，保育這片海域。

比起一般旅遊方式，參與潛水旅遊的潛水員是深入珊瑚礁環境的遊客，也意味著潛水員對珊瑚礁所在的淺海生態系影響可能更大 (李育德，2019)。水下行動由於海浪、海流、浮力變化等物理環境的差異，潛水員很容易觸碰珊瑚礁 (Medio et al，1997)， Hasler 與 Ott (2008) 也進一步指出，潛水員面對變動的海洋環境，經常會有意無意的產生踐踏或膝蓋跪地的行為造成珊瑚礁的損害 。也因此在談到潛水活動推動的同時，我們也不可以忽略潛水對於海洋環境的衝擊。

第伍章 結論與建議

第一節 結論

一、杉原灣海洋環境

（一）杉原灣海底地形海灣內以珊瑚礁為主，部分是沙地、石頭，由淺而深，灣內深度大約在 10 公尺以內，南礁地形為珊瑚礁地形，少部分沙地，小流溝大約 5-7 米深。北礁有三層海底珊瑚礁石，是帶狀分布的礁體，在礁盤和礁盤之間為沙底。

（二）杉原灣早期海洋生態相當豐富，近年來受到人為的污染及破壞，海洋生態受到相當大的衝擊。除了珊瑚礁魚類之外，海龜也會在這個海灣經常出沒。

（三）杉原灣的海流狀況基本上相當穩定。灣內沒有太大的海流，適合進行海洋運動，灣外黑潮就是由南往北流。然而在東北季風強的時候，流向的變化就會受到影響。在海洋能見度的部分，由於附近開發案導致泥漿覆蓋在海床，一有潮水擺動，就會混濁，影響能見度。風平浪靜的期間都會有相當不錯的能見度。

二、珊瑚生態

（一）杉原灣南礁內灣以藍珊瑚、軸孔珊瑚、微孔珊瑚以及火珊瑚等造礁硬珊瑚為主體，近岸處水深約2-4米處的沙地周圍，多以團塊形珊瑚為主。

（二）愈接近黑牛石的位置，軟珊瑚出現的頻率也相對增加，尤其是在黑牛石周圍的水下，盤據為數眾多的大型礁岩，成為軟珊瑚生長的天堂。在黑石牛區域，軟珊瑚生態豐富，將之命名為「軟珊瑚花園」，可以讓潛水者感受到海底珊瑚之美。

三、潛水環境資訊

（一）杉原灣南礁內灣海底，分布的許多小丑魚群聚，可以作為此一潛點規劃的特色，藉由小丑魚群聚位置規劃路線，連結到黑石牛，沿著潛水路線，搭配豐富的珊瑚礁生態，以及覆蓋珊瑚礁的漁網，可以作為潛水員海洋環保教育的素材。

（二）春天結束到夏天這個季節是杉原灣最適合潛水的時間，尤其是在潮水漲滿之後的平潮期到退潮的時間點最適合，此時能見度會比較好，海流也較為穩定。

第二節 建議

一、 杉原灣在春季及夏季擁有穩定的海洋氣象，距離沙灘約 50 公尺，就有完整的珊瑚礁群落，海底生態豐富，可以藉由潛水來推動海洋教育。

二、 杉原灣保育已經成為一個社會關注的議題，國立臺東大學長期以來推動潛水教育，應該進一步延伸潛水的專業，成立海洋環境保育志工，並協助在地青年取得潛水專業證照，定期至杉原灣進行海底環境維護的工作，同時強化潛水員珊瑚相關專業能力，參與珊瑚礁體檢工作。

三、 杉原灣受到人為污染嚴重，臺東縣政府應該重視杉原灣附近山坡地開發以及水土保持的議題。在此同時，也應該積極思考如何進行珊瑚的復育，把杉原灣建置為海底珊瑚礁公園。

四、 杉原灣南礁內灣近岸處珊瑚礁岩，水深不深，在乾潮及退潮時，水深甚至不及一公尺。進行潛水活動的規劃時，務必要做好入水點擊路線的安排，避免造成珊瑚踩踏，破壞珊瑚生態。

五、 杉原灣推動水域活動必須以生態保育為優先考量，透過分區保育的概念劃分，避免對於環境造成過度的衝擊，維持生態資源的保護及合理使用，達到生態景觀的保育功能。

參考文獻

一、中文部分

冉懋謙 (2017)。*休閒水肺潛水風險指標建構之研究*(未出版碩士論文)。樹德科技大學，高雄市。

台灣珊瑚礁學會 (2016)。*珊瑚的分類*。取自 http://taiwanesecoralreefsociety.blogspot.com/search/label/%E8%AA%8D%E8%AD%98%E7%8F%8A%E7%91%9A

成大研究發展基金會 (2005)。*東部海岸水域遊憩活動規劃報告*。台南:國立成功大學。

余偉銘、王聖銘(2007)。永續的未來不是夢－守護東海岸的家鄉 台東杉原海洋社區。*生態臺灣，14*，55-59。

李文亮 (2015)。台灣產肉質軟珊瑚 Sarcophyton glaucum 所含天然物之研究 (未出版碩士論文)。國立中山大學，高雄市。

李志一 (2008)。*台東杉原社區生態旅遊解說內容之規劃研究* (未出版碩士論文) 。國立臺東大學，台東市。

李育德 (2019)。台灣休閒潛水員環境行為守則內涵建構 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學，台北市。

李明儒、陳元陽、陳宏斌 (2003) 。休閒潛水者的風險管理之研究。*戶外遊憩研究，16*(2)，49-67。

李晨光（2005）。*珊瑚礁生態旅遊與保育策略之經濟分析* (未出版碩士論文)。國立台北大學，台北市。

李德仁 (2009)。認真休閒者之潛水休閒利益。*北體學報，18*，99-110。

何立德、王鑫 (2002)。 *台灣的珊瑚礁*。台北市:遠足文化。

林育朱 (2017)。【公民科學家】潛水不只為賞景 累積9年台灣海洋資料的珊瑚礁體檢。取自 https://e-info.org.tw/node/208415。

林家魁 (2014)。*南中國海台灣珊瑚礁底棲群聚結構的空間與時間比較* (未出版碩士論文)。國立東華大學，花蓮縣。

林國柱（2008）。*台東縣富山村生態旅遊遊憩資源與活動規劃研究* (未出版碩士論文)。國立臺東大學，台東市。

邵惠琴（2008.04.01） 台東版 中國時報。

香港潛水總會 (2009)。*香港域內潛點進行介紹*。取自 http://www.hkua.org.hk/dl/HKUA_Trainning_Suggestion_for_HKDiveSite_20090703.pdf

段文宏 (2016)。*台東海岸的珊瑚礁生態*。取自 https://www.cet-taiwan.org/node/2309

莊鑫裕、陳銘建（2010）。*台灣水肺潛水意外事件之探討*。2010 國際水域活動學術研討會。桃園市：國立體育大學。

海洋生物永續發展課程 (2018)。*珊瑚礁*。取自 https://smbrcourse.wordpress.com/coralreef/。

張正杰、羅綸新（2016）。分析海洋教育議題學習內涵之重要性。*課程與教學季刊，19*(2)，53 ~ 82。

教育部 (2017)。*大學社會責任計畫*。取自 http://www.usr.nkfust.edu.tw/WebContent/index.aspx?sid=9&mid=995。

章勝傑、溫卓謀、莊鑫裕 (2018)。在他人未敢想望的場域冒險-大學潛水課程學生學習歷程之研究。*臺東大學教育學報，29*(2)，1-34。

陳文喜、葉時碩、曾冠暾 (2010)。專門化對水肺潛水者的環境知識與行為之影響。*運動與遊憩研究，4*(3)，1-14。

陳正平 (2003)。魚類的生態。取自：http://mscloud.nmmst.gov.tw/other/B97-wc.pdf。

陳立文 (1989)。*臺灣南部珊瑚礁魚類群聚結構及其穩定性之研究* (未出版之碩士論文)。國立臺灣大學，臺北市。

陳蓉 (2012)。*海洋保護區與棲地型態對珊瑚礁魚類群聚結構的影響* (未出版碩士論文)。國立東華大學，花蓮縣。

陳郁凱、江偉全、林富家、傅信欽、許紅虹、陳文義、劉燈城、蘇偉成 (2007)。富山漁業資源保育區魚類多樣性調查研究。*水試專訊，19*。行政院農業委員會水產試驗所。

陳澤仁 (2009)。*推展海洋生態旅遊之衝擊性分析~以台東杉原海洋生態社區為例* (未出版碩士論文)。國立臺東大學，台東市。

國立教育廣播電台 (2018)。*失去杉原灣-東部海案近年大型開發問題*。取自 https://www.ner.gov.tw/programex press/5ac1e89a541897000513bb01。

郭兆陽 (2009)。*臺灣南部海域珊瑚礁底棲群聚的結構與變化* (未出版碩士論文)。國立中山大學，高雄市。

飛魚貳號工作室 (2016)。*綠島潛點生態調查及安全服務設施規劃案」成果報告*。

痞客邦網路平台 (2016) *東北角潛水地圖*。取自 http://josephlkc.pixnet.net/album/set/18570428-%E6%9D%B1%E5%8C%97%E8%A7%92%E6%BD%9B%E6%B0%B4%E5%9C%B0%E5%9C%96-3d%E7%AB%8B%E9%AB%94%E7%89%88%282016%29。

黃元宏 (2009)。*龜山島海域珊瑚礁魚類群聚之研究* (未出版碩士論文)。國立臺灣海洋大學，基隆市。

黃將修 (2006)。潛水實務與應用。*海洋及水下科技，15* (4), 1-40。

黃德蓉 (2016)。*水肺潛水對珊瑚礁衝擊之研究* (未出版之碩士論文)。國立臺中教育大學，臺中市。

楊志仁、楊清閩、李展榮 (2008)。*墾丁海域最佳潛點深入介紹*。屏東縣，國立海洋生物博物館。

楊志仁、楊清閩、李展榮 (2011)。*綠島海域最佳潛點深入介紹*。屏東縣，國立海洋生物博物館。

陽雨山（2013）。*全民監督美麗灣 杉原灣設生態研究永久樣區*。取自 https://e-info.org.tw/node/86152

楊東霖 (2012)。*小琉球海域珊瑚礁底棲群聚結構之時空變化* (未出版之碩士論文)。國立東華大學，花蓮縣。

鄒桂禎、陳鏡清 (2003)。一項極待開發的體育教學-潛水。*雲科大體育，6*, 94-99。

詹壹雯 (2018)。*讓杉原灣繼續微笑*。取自 https://www.cet-taiwan.org/node/3284)

蔡立勳 (2020)。海威產卵等了十年，讓美麗灣真正的美麗。*天下雜誌，週年特刊*，168-176。

蔡怡俊 (2008)。*杉原海岸生態景觀保育規劃之研究* (未出版碩士論文)。國立臺東大學，台東市。

蔡雅如、施彤煒（2016）。東北角珊瑚礁的現況與復育策略。*科學發展，516*，12-18。

維基百科 (2018)。*杉原海灣*。取自 https://zh.wikipedia.org/zh/%E6%9D%89%E5%8E%9F%E6%B5%B7%E7%81%A3。

魯皓平 (2019)。*搶救尼莫大作戰！研究證實：大海暖化讓小丑魚面臨嚴重威脅*。取自：https://www.gvm.com.tw/article/69985

鄭明修(2006)。*海天菊島:鏡頭下的澎湖記憶攝影專輯*，澎湖縣文化局。

鄭憲成 (2009)。以水肺潛水調查棲地多樣性對海岸生物之影響。*休閒保健期刊 (1)*，33-48。

鄭憲成、宋壬夫、宋一夫 (2004)。以水肺潛水進行綠島海域的珊瑚礁生態調查。*高應科大體育，3*， 67-76。

潛進臺灣-Diving TW (2018)小琉球潛水地圖。 取自 https://divingtw.com/product/liuqiu-diving-map/

劉月琪、劉永芳 (2010)。潛水活動之健康危害及其處置與預防。*中華職業醫學雜誌，17* (4)，267-277。

鍾國南、李展榮、方力行（2003）。*海洋教育的方向*。載於邱文彥主編，海洋永續經營，海洋與臺灣：過去現在未來（叢書之四）（頁 205-223）。臺北：胡氏圖書。

戴鳳昌 (2002)。氣候變遷、珊瑚白化與珊瑚礁的未來。*全球變遷通訊雜誌，35*，25-33。

戴昌鳳 (2009)。*墾丁國家公園珊瑚與珊瑚礁*。屏東縣，墾丁國家公園管理處。

戴昌鳳 (2011)。*台灣本島珊瑚礁地圖*（上）。天下遠見，台北市。

戴昌鳳 (2011)。*台灣本島珊瑚礁地圖*（下）。天下遠見，台北市。

戴鳳昌、宋克義、鄭明修、陳昭倫、樊同雲、洪聖雯、陳建勳 (2004)，*台灣海域珊瑚礁現況*，「2004 年珊瑚礁生物研討會」，台北：中央研究院。

戴昌鳳、秦啟翔 (2017)。*東沙八放珊瑚生態圖鑑*。海洋國家公園管理處。

蘇瑞欣、張祐嘉、吳淑黎 (2012)。藍色珍寶：珊瑚活性物質的開發。*科學發展，479*，12-17。

二、英文部分

Barans, C.A.and Bortone, S.A. (1983). The visual assessment of fish populations in the southeastern United States: 1982 Workshop. *Technical Report 1* (SC-SG-TR-01-83), South Carolina GrantConsortium, Charleston.

Benzoni, F., C. N. Bianchi, and C. Morri. (2003). Coral communities of the 18 northwestern Gulf of Aden (Yemen): variation in framework building related to environment factors and biotic conditions. *Coral Reefs, 22*,475-484.

Birkeland, C. (1997). *Life and Death of Coral Reefs*. New York: Chapman and Hall

Bohnsack, J.A. (1996). Maintenance and recovery of reef fishery productivity. In: Polunin, N.V.C., Roberts, C.M. (Eds.), *Reef Fisheries*. Chapman and Hall, London, pp. 283–313.

Bortone, S.A, and Bohnsack, J.A. (1991). Sampling and studying fish on artificial reefs. In: Halusky, J.G. (Ed.), Artificial Reef Research Diver's Handbook. *Technical paper 63*, Florida Sea Grant College, University of Florida, Gainesville. 4(1): 77-85.

Burke, L., E. Selig and M. Spalding. (2002). *Reefs at risk in southeast Asia*. World Resource Institute, Washington D.C., USA, 72.

Done, T. J. (1982). Patterns in the distribution of coral communities across the central Great Barrier Reef. *Coral Reefs, 1*,95-107.

Done, T. J., J. C. Ogden, W. J. Wiebe, and B. R. Rosen. (1996). Biodiversity and 20 ecosystem function of coral reefs. Pages 393-429 in H. A. Mooney, J. H. Cushman,

E. Medina, O. E. Sala, and E. D. Schulze, editors. Functional roles of biodiversity: A Global Perspective. John Wiley and Sons Ltd.

Done TJ, Osborne K , Navin KF. (1988). *Recovery of corals post Acanthaster: progress and prospects*. Presented at Sixth International Coral Reef Symposium Townsville.

Doherty PJ, Meekan MG, Miller IR, Osborne K, Thompson AA. (1997). *Catastrophic loss of coral cover from reefs in the southern Great Barrier Reef and the impact on fish recruitment.* Prceeings of The 8th Int. Coral Reef Symposium. Panama.

Edmunds P. (2009) Effect of acclimatization to low temperature and reduced light on the response of reef corals to elevated temperature. *Marine Biological,156,1797-1808.*

Edmunds P. and Witman J. D.(1991) Effect of Hurricane Hugo on the primary framework of a reef along the south shore of St. John, US Virgin islands. *Marine Ecology Progress Series, 78,*201-204 .

Endean, R., A. M. Cameron, H. E. Fox, R. Tilbury, and L. Gunthorpe. (1997). Massive corals are regularly spaced: pattern in a complex assemblage of corals. *Marine Ecology Progress Series ,152,*119-130.

Engilsh, S. C., C. Wilkinson, and V. Baker. (1994). *Survery manual for tropical marine resources.* Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.

Grossman, E. E., and C. Fletcher. (2004). Holocene reef development where wave energy reduces accommodation space, Kailua Bay, Windward Oahu, Hawaii, U.S.A. *Journal of Sediment Research ,74,*49-63.

Harmelin-Vivien, M.L., Harmelin, J.G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Lejeune, P., Barnabe´, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J. and Lasserre, G. (1985). Evaluation visuelle des peuple-E. Tessier et al. / J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 315 (2005) 17–30 29 ments et populations de poissons: me´thodes et proble`mes. *Rev. E´ col.* (Terre Vie) 40, 467–539.

Hasler, H., & Ott, J. A. (2008). Diving down the reefs? Intensive diving tourism threatens the reefs of the northern Red Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 56(10): 1788-1794.

Hemelryck, W., Germonpre, P., Papadopoulou, V., Rozloznik, M., & Balestra, C. (2014). Long term effect of recreational SCUBA diving on higher cognitive function. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 24,* 928-924.

Hodgson, G. (1999). A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin, 38,*345-355.

Hughes T. P. (1987) Skeletal density and growth form of corals. *Marine Ecology Progress Series, 35,*259-266.

Ihama, Y., Miyazaki, T., Fuke, C., Mukai, T., Ohno, Y., & Sato, Y. et al. (2008). Scuba-diving related deaths in Okinawa, Japan, from 1982 to 2007. *Legal Medicine, 10,* 119-124.

Karlson, R. H., T. P. Hughes, and S. R. Karlson. (1996). Density-dependent dynamics of soft coral aggregations: the significance of colonal growth and form. *Ecology, 77,*1592-1599.

Karlson, R. H., and L. E. Hurd. 1993. Disturbance, coral reef communities, and changing ecological paradigms. *Coral Reefs, 12,*117-125.

Kleypas, J. (1996). Coral reef development under naturally turbid conditions: fringing reefs near Broad Sound, Australia. *Coral Reefs , 15,*153-167.

Kler, B. K. & Tribe, J. (2012). Flourishing through scuba: Understanding the pursuit of dive experiences. *Tourism in Marine Environment, 8(1),* 19-32.doi: 10.3727/154427312X13262430524027

Kohler K. E. and Gill S. M. (2006) Coral point count with Excel extension (CPCe): a visual basic program for determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computer Geoscience,32,*1259-1269.

Malakoff, D. (1997). Extinction on the high seas. *Science, 277,*487-488.

McClanahan, T. R. 2000. Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral 24 reefs. *Marine Pollution Bulletin, 40,* 587-597.

McCawley, R., & Teaf, J. (1995). *Characteristics and environmental attitudes of coral reef divers in Florida Keys.* In S. E McCool & A. E. Watson (Eds.), Linking tourism, the environment, and sustainability (Tech. Rep. INT-GTR-323, pp. 63-68). Ogden, UT: U.S. Forest Service.

McQueen, D., Kent, G., & Murrison, A. (1994). Self-reported long-term effects of diving and decompression illness in recreational SCUBA divers. *British Journal of Sports Medicine, 28*(2), 101-104. doi:10.1136/bjsm.28.2.101

Medio, D., Ormond, R. F. G., & Pearson, M. (1997). Effect of briefings on rates of damage to corals by scuba divers. *Biological Conservation, 79*(1): 91-95.

Michalopoulos, C., Auster, P.J. and Malatesta, R.J. (1992). A comparison of transect and species time counts for assessing faunal abundance from video surveys. *MTS Journal*, 26 (4), 27– 31.

Miller M. W. (1995) Growth of temperate coral: effects of temperature, light, depth, and heterotrophy. *Marine Ecology Progress Series,122,* 217-225.

Montaggioni, L. F. 2005. History of Indo-Pacific coral reef systems since the last glaciation: development patterns and controlling factors. *Earth-Science Review, 71*,1-75.

Montaggioni, L. F., and G. Faure. 1997. Response of reef coral communities to sea-level rise: a Holocene model from Mauritius (western Indian Ocean). *Sedimentology ,44*,1053-1070.

Muko, S. K., K. Sakai Kawasaki, F. Takasu, and N. Shigesada. 2000. Morphological plasticity in the coral *Porites sillimaniani* and its adaptive significance. *Bulletin of Marine Science ,66,* 224-239.

Nicholson, B. & McGreevy, J. (2014) Epidemiology of SCUBA diving-related injuries presenting to the emergency department between 2012-2014. Abstracts from *The 7th World Congress of Mountain & Wilderness Medicine,* 432-433.

Pielou, E.C. (1966). Shannon's formula as a measure of species diversity: Its use and misuse. *Am. Nat., 100*,463-465.

Piller W. E. and Riegl B. (2003). Vertical versus horizontal growth strategies of coral frameworks (Tulamben, Bali, Indonesia). *International Journal of Earth Sciences, 92*, 511-519.

Potts, G.W., Wood, J.W., Edwards, J.M. (1987). Scuba diver operated low-light-level video system for use in underwater research and survey. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K., Plymouth, 67*, 299– 306.

Randall, J.E. (1963). An analysis of the fish population of artificial and natural reefs in the Virgin Islands. *Carib. J. Sci., 3*(1):1-16.

Randall, J.E. (1967). Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud:* Trop. *Oceanogr, 5*, 665-847.

Riegl, B., C. Heine, and G. M. Branch. (1996). Function of funnel-shaped coral growth in a high-sedimentation environment. *Marine Ecology Progress Series, 145*,87-93.

Riegl B. and Piller W. E. (1999) Coral Frameworks revisited-reefs and coral carpets in the northern Red Sea. *Coral Reefs, 18*:241-253.

Risk, M. J. (1972). Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands. *Atoll Res. Bull, 153*, 1-6.

Rogers, C. S. (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series, 62*, 185-202.

Russell, B.C., G. R. Anderson and F. H. Talbot. 1977. Seasonality and recruitment of coral reef fishes. *Aust. J. Mar. Freshwater, Res. 28*, 532-528.

Samoilys, M.A., 1997. Underwater visual census surveys. In: Samoilys, M. (Ed.), *Manual for Assessing Fish Stocks on Pacific Coral Reefs*. Department of Primary Industries, Townsville, Australia.

Schoeman, K., Van der Merwe, P., & Slabbert, E. (2016). The perceived value of a Scuba diving experience. *Journal of Coastal Research, 32*, 1071-1080.

Shannon, C.E. and W. Weaver. (1963). *The mathematical theory of communication*. University Illinois Press. Urbana, 1 L.

Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature, 163*, 688-695.

Spalding, M. and Grenfell, A. (1997). New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs, 16*, 225-230.

Spalding, M. D., C. *Ravilious and E. P. Green.* (2001). World atlas of coral reefs. University of California Press, Berkeley, CA., USA, 424.

Storlazzi, C. D., E. K. Brown, M. E. Field, K. Rodgers, and P. L. Jokiel. (2005). A model of wave control on coral breakage and species distribution in the Hawaiian Island. *Coral Reefs, 24*, 43-55.

Straughan, E. R. (2012). Touched by water: The body in scuba diving. *Emotion Space, and Society, 5*, 19-26. doi: 10.1016/j.emospa.2010.10.003

Takahashi, T., M. Kobe, and H. Kan. (1988). Relationship between reef growth and sea level on the northwestern coast of Kume island, the Ryukyus: data from drill holes on the Holocene coral reef. Proceedings 6th International Coral Reef Symposium. *Townsville, 3*, 491-496.

Taylor, D. McD., O'Toole, K. S., & Ryan, C. M. (2003). Experienced scuba divers in Australia and the United States suffer considerable injury and morbidity. *Wilderness and Environmental Medicine,14*,83-88. doi:10.1580/1080-6032(2003)014[0083:ESDIAA]2.0.CO;2

Terron-Sigler, A., Leon-Muez, D., Penalver-Duque, P., & Torre, F. E. (2016). The effects of SCUBA diving on the endemic Mediterrannean coral Astroides Calycalraris. *Ocean & Coastal Management, 122*, 1-8.

Tipping, M.J. (1994). Measuring fish by video image processing. *Prog. Fish-Cult, 56*, 299– 300.

Titlyanov, E. A., T. V. Titlyanova, K. Yamazato, and R. van Woesik. (2001). Photo-acclimation dynamics of the coral *Stylophora pistillata* to low and extremely low light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 263*, 211-225.

Tkachenko K. S., Wu B.J., Fang L. S. and Fan T. Y. (2007) Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching Acropora corals and an outbreak of anemones. *Marine Biological, 151*, 185-194

Townsend, C. (2000). *The effects of environmental education on the behavior of divers: A case study from the British Virgin Islands.* Unpublished master's thesis, The University of Greenwich, London, England.

Tresher, R.E., Gunn, J.S. (1986). Comparative analysis of visual census techniques for highly mobile, reef associated piscivores (Carangidae). *Environ. Biol. Fishes, 17*, 93– 116.

Van Wijk, C. H. (2014). The use of Spielberger's State-Trait Personality Inventory (Trait Anxiety Subscale) with naval subaquatic specialists. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 27*, 959-966.

Veron, J. E. N. (1986). *Corals of Australia and the Indo-Pacific*. Angus and Robertson, Sydney Australia.

Veron J. E. N. (2000). *Corals of the World. Australian Institute of Marine 7 Sciences*. Townsville.

Wilkinson, C. R. (ed.) 2000. Status of coral reefs of the world: 2000. *Australian Institute of Marine Science*, Townsville, Australia, 361 pp

Wilkinson, C. R., Cesar, L. O., Hodgson, H., Rubens, G. and Strong, A. E. (1999). Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian ocean: An ENSO impact and a warming of future change?, *AMBIO, 28* (2), 188-196.