

NAMR-S-112008 (自行研究報告)

應用水下立體攝影系統於南部海域珊瑚礁 魚類相及體長之調查

(正式報告)

主辦單位：國家海洋研究院海洋生態及保育研究中心

研究主持人：塗建銘 研究助理

研究助理：張湘翎、余佩萱

研究期程：中華民國112年1月至112年12月

研究經費：新臺幣 100 萬元整

中華民國 113年12月5日

「本研究報告僅供國家海洋研究院施政參考，並不代表該院政策，該院保留採用與否之權利。」

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願自負民、刑事責任。」

目錄

一、前言	- 1 -
二、材料與方法	- 3 -
(一) 調查樣點選擇	- 3 -
(二) 調查方法	- 4 -
(三) 水溫參數測量	- 4 -
(四) 水下立體攝影系統影像拍攝及處理	- 4 -
1. 水下立體攝影系統之設定	- 4 -
2. 魚體長參數測量	- 6 -
3. 棲地環境影像處理	- 6 -
4. 研究數據分析	- 7 -
三、結果	- 9 -
(一) 各調查樣區珊瑚礁魚種及魚體長	- 9 -
(二) 以魚體長推測其魚體重量	- 17 -
(三) 各樣區於調查期間之水溫參數變化	- 19 -
(四) 棲地環境之三維影像	- 23 -
(五) 後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 底質調查	- 27 -
四、討論	- 30 -
五、結論及建議	- 32 -

六、參考文獻..... - 33 -

七、附錄..... - 35 -

圖目錄

圖 1、本研究於墾丁國家公園海域調查樣區位置圖.....	3 -
圖 2、自製水下立體攝影系統裝置架.....	5 -
圖 3、EVENT MEASURE 作業視窗截圖.....	6 -
圖 4、AGISOFT 作業視窗截圖.....	7 -
圖 5、2023 年 4 月 24 日調查期間 KT01 樣區水深 5 公尺之海水溫度變化.....	20 -
圖 6、2023 年 4 月 24 日調查期間 KT01 樣區水深 10 公尺之海水溫度變化....	21 -
圖 7、2023 年 6 月 30 日調查期間 KT02 樣區之海水溫度變化.....	21 -
圖 8、2023 年 6 月 30 日調查期間 KT03 樣區之海水溫度變化.....	22 -
圖 9、2023 年 7 月 1 日調查期間 KT04 樣區之海水溫度變化.....	22 -
圖 10、2023 年 10 月 31 日調查期間 KT01 樣區水深 10 公尺之海水溫度變化	23 -
圖 11、2023 年 10 月 31 日調查期間 KT01 樣區水深 5 公尺之海水溫度變化..	23 -
圖 12、2023 年 4 月 24 日 KT01 樣區水深 10 公尺穿越線之三維影像.....	25 -
圖 13、2023 年 4 月 24 日 KT01 樣區水深 5 公尺穿越線之三維影像.....	25 -
圖 14、2023 年 6 月 30 日 KT02 樣區之三維影像.....	26 -
圖 15、2023 年 6 月 30 日 KT03 樣區之三維影像.....	26 -
圖 16、2023 年 7 月 1 日 KT04 樣區之三維影像.....	27 -

表目錄

表 1、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 5 公尺之珊瑚礁魚種及體長	11 -
表 2、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長	12 -
表 3、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 5 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長	12 -
表 4、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 10 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長	13 -
表 5、2023 年 6 月 30 日 KT02 之珊瑚礁魚種及魚體長	14 -
表 6、2023 年 6 月 30 日 KT03 之珊瑚礁魚種及魚體長	15 -
表 7、2023 年 7 月 1 日 KT04 之珊瑚礁魚種及魚體長	16 -
表 8、以各樣區之各魚種平均體長預測其魚體重量	18 -
表 9、2023 年各樣站於調查期間之平均溫度對照表	20 -
表 10、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 5 公尺底質覆蓋百分比	28 -
表 11、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺底質覆蓋百分比	28 -
表 12、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 5 公尺底質覆蓋百分比	29 -
表 13、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 10 公尺底質覆蓋百分比	29 -

提要

關鍵詞：水下立體攝影系統、珊瑚礁魚類相、魚體長

本研究使用水下立體攝影系統 (Diver Operated Stereo Video, Stereo-DOV) 於墾丁國家公園海域蒐集珊瑚礁魚類及棲地環境等影像，除鑑定及計算影片內魚種數量外，以 SeaGIS EventMeasure 軟體測量影片魚體長度，並使用 Agisoft Metashape 軟體建構調查測站之珊瑚礁棲地環境三維模型。水下立體攝影系統可應用於海洋生態基礎調查，以收集各式海洋生物體長資料及建立棲地環境影像模型。未來持續以水下立體攝影系統調查珊瑚礁魚類，並建立長期調查監測資料，以研析珊瑚礁魚類與其棲地環境之間交互作用。

Abstract

Keywords: diver operated stereo video, reef fish assemblages, fish body lengths

This study utilized a Diver Operated Stereo Video (Stereo-DOV) system in the waters of Kenting National Park to collect imagery of reef fish and habitat environments. Beyond identifying and counting fish species in the footage, fish length measurements were performed using SeaGIS EventMeasure software, and Agisoft Metashape software was used to create 3D models of the coral reef habitats at survey stations. The underwater stereo-video system is applicable to basic marine ecological surveys, enabling the collection of body length data for various marine organisms and the construction of habitat imagery models. Continued use of the underwater stereo-video system will facilitate the monitoring of reef fish and the establishment of long-term datasets, providing insights into interactions between reef fish and their habitats.

一、前言

珊瑚礁生態系對於人類社會經濟活動的影響層面甚廣。珊瑚礁可削弱波浪的作用以避免海岸線侵蝕，為沿海居住之民眾、財產及基礎設施提供相當程度的保護。此外，珊瑚礁生態系可提供糧食、醫藥、遊憩、文化及宗教等面向需求之天然資源。珊瑚礁魚類係指生活在珊瑚礁海域，或生活史與珊瑚有密切相關的魚類，對於維持珊瑚礁生態系平衡扮演相當重要的角色。結構複雜的棲地比結構簡單的棲地包含更多的物種及更高的總豐度 (Torres-Pulliza et al., 2020)。

根據澳洲海洋科學研究院 (The Australian Institute of Marine Science, AIMS) 研究指出，經由分析澳洲大堡礁珊瑚礁魚類的糞便及腸道內容物之環境 DNA (Environmental DNA, eDNA) 證實，至少有 18 種珊瑚礁魚類，包括青嘴龍占魚 (*Lethrinus nebulosus*)、長吻龍占魚 (*Lethrinus miniatus*)、黑斑叉鼻魨 (*Arothron nigropunctatus*)、霓虹雀鯛 (*Pomacentrus coelestis*)、烏帽龍占魚 (*Lethrinus lentjan*)、火斑笛鯛 (*Lutjanus fulviflamma*) 等會捕食珊瑚礁上幼年或成年的棘冠海星 (*Acanthaster spp.*) (Kroon et al., 2020)。後續研究指出，無論是商業及休閒漁業捕撈，珊瑚礁魚類的漁獲量影響棘冠海星的豐度表現呈正相關 (Kroon et al., 2021)。

數位珊瑚礁粗糙度 (Digital reef rugosity) 與魚類多樣性呈正相關性，即珊瑚礁結構複雜性越高，魚類多樣性越高 (Dustan et al., 2013)。利用 ROV 掛載 DOV 於中光層進行魚類群聚調查，以評估魚類群聚組成與中光層棲地結構之相關性，陡坡和地形複雜性較高的地點擁有較高的魚類豐度和生物量，較深的魚類群落 (120 m) 與地形結構複雜性及底棲覆蓋變化呈正相關。(Swanborn et al., 2022)。

根據墾丁國家公園海域魚類圖鑑增修壹版 (陳等, 2010)，墾丁海域累計紀錄到 137 科 1,382 種魚類。另查本院委託研究 110 年示範海域海洋生物資訊蒐集及資源調查-南部海域研究成果報告指出，恆春半島樣區之萬里桐測站調查計有

48 科 227 種魚類，眺石測站調查計有 46 科 254 種魚類（廖等，2021）。

魚類多樣性、豐度、群聚結構及生物量（Biomass）等相關資訊可提供作為漁業資源、保育管理及評估海洋保護區之成效指標，以了解海洋生態環境之時空變化及受人為活動影響之情形（Cinner et al., 2016; Schramm et al., 2020）。魚體長（Fish length）係重要的生物學參數之一，可為標準體長或全長，係魚類生長、年齡、物種健康狀況及族群結構之指標。不同魚種和個體之體長分佈，可以評估魚群年齡結構、性別比例、成熟度、繁殖狀況和族群結構。魚體長數據可應用於推測魚群體重及生物量（Bohnsack et al., 1988），有助於監測魚群健康、資源利用情形及整體生態系統的動態變化，然而前述相關資訊之建立有賴於精確的魚體長度資料蒐集。

由於水的折射率及水下環境之物體放大特性，傳統上魚類體長觀測多仰賴潛水員目視、雷射光測量法及捕撈採集後測量等方式，惟前述相關方式尚有目視觀測誤差、雷射光對魚群干擾及捕撈採樣對於魚群擾動等因素影響，爰更需要精確的魚體長度測量方式以了解魚類族群體型大小結構、生長率及生物量預估等（Bennett et al., 2016; Dunkley et al., 2023）。本研究運用水下立體攝影系統（Diver Operated Stereo Video，Stereo-DOV），屬光學測量法（Photogrammetry），可提供一種較為精確、標準化、非侵入式、減少魚類樣本採集且對於魚群有較低干擾方式進行魚體長度之調查測量（Knight et al., 2018）。

二、材料與方法

(一) 調查樣點選擇

本研究之調查樣點為於墾丁國家公園海域選定 4 樣區進行調查 (圖 1)，其樣點包括後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) (N21.93671, E120.74721)、南灣大啗咕北側 (KT02) (N21.9425, E120.75277)、南灣獨立礁 (KT03) (N21.94225, E120.75833) 及南灣雞仔礁 (KT04) (N21.94473, E120.75861) 等。



圖 1、本研究於墾丁國家公園海域調查樣區位置圖

(二) 調查方法

1. 2023 年 4 月 24 日及 10 月 31 日於墾丁國家公園後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 分別於深度 5 公尺及 10 公尺之等深線範圍分別進行 1 次穿越線 (100 公尺) 潛水調查，魚類調查部分使用水下立體攝影系統進行影像蒐集，並以珊瑚礁體檢方法 (Reef check) 紀錄穿越線上之底質型態。
2. 2023 年 6 月 30 日至 7 月 1 日於墾丁國家公園南灣海域 3 個測站 (KT02、KT03、KT04)，於深度 20 公尺至 30 公尺之範圍使用水下立體攝影系統並以潛水員巡航調查方式 (Roving Divers Surveying) (Rassweiler et al., 2020) 進行。
3. 調查樣區所拍攝之魚類及棲地環境影片以 SeaGIS Event Measure 軟體 [廠牌：SeaGIS，版本：6.45 (64bit)] 測量影片內之魚體長度，並鑑定種類及計算數量，另使用 Agisoft Metashape 軟體 [廠牌：Agisoft，版本：2.1.3 build18946 (64bit)] 接合影片內棲地環境影像，重建棲地環境三維模型。

(三) 水溫參數測量

執行海域生態調查時使用溫度記錄器 (HOBO MX2200) 蒐集水溫資料。

(四) 水下立體攝影系統影像拍攝及處理

1. 水下立體攝影系統之設定

- (1) 立體攝影 (Stereo Video) 屬光學測量法 (photogrammetry)，使用已知距離且水平同向之 2 臺攝影機鏡頭拍攝一目標物，並使用左、右鏡頭視

角影像測量目標物長度、與觀測者距離或應用於製作三維立體模型影像。

- (2) 本研究自製水下立體攝影裝置架 (Stereo-DOV rig, 圖 2), 將 2 臺運動攝影機之金屬防水殼 (廠牌型號: T-HOUSING Aluminium Housing for GoPro Hero 10) 固定於一長條鋁板之 2 端, 使 2 臺運動攝影機之金屬防水殼相距 800 公厘 (mm) (Goetze et al., 2019), 其鏡頭方向均向鋁板中心偏 4 度。另在鋁板上設置 2 個相距於鋁板中心 200mm 之手持握把, 以方便水下立體攝影裝置架於水下調查時之操作使用。

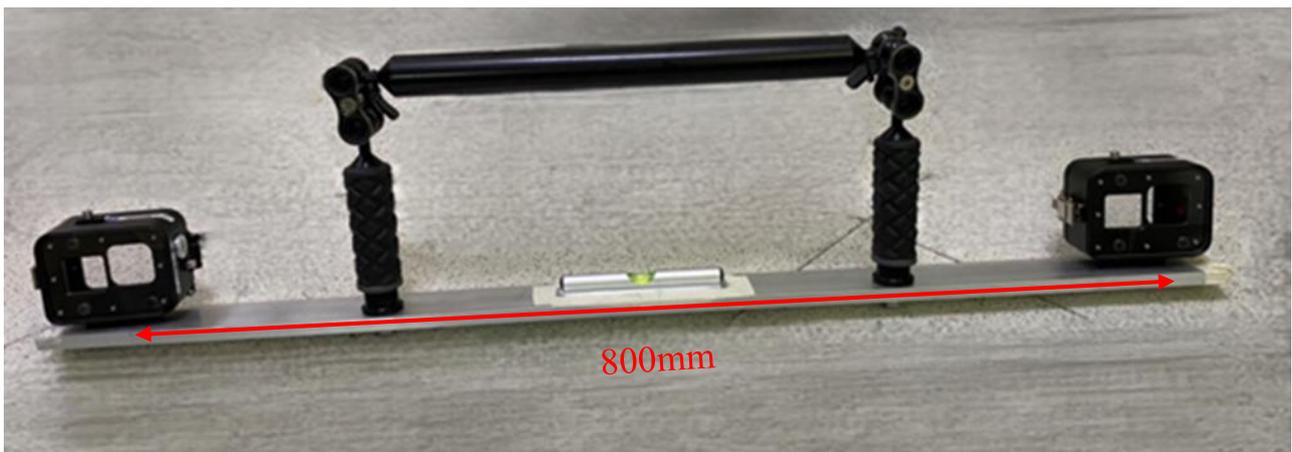


圖 2、自製水下立體攝影系統裝置架

- (3) 運動攝影機 (廠牌型號: GoPro Hero 10) 之拍攝參數設定:

- i. 影片解析度 (RES): 1080p (影片長寬比 16:9)。
- ii. 影片幀數 (FPS): 60 幀。
- iii. 攝錄視野 (FOV): 窄角 (Narrow)。
- iv. 白平衡設定: 自動白平衡。

2. 魚體長參數測量

(1) 分別就每次水下調查所連續拍攝之影像（片長 20 分鐘）匯入 SeaGIS

Event Measure 軟體，將水下立體攝影系統左右鏡頭之影片影格同步，使

用滑鼠左鍵點擊左右影片內各別魚隻之吻部前端至尾柄末端，以測量其

標準體長，並以 SeaGIS Event Measure 軟體之資料欄位建立魚種清單及

體長資料（圖 3）。

(2) 使用 SeaGIS Event Measure 軟體輸出魚種清單（檔案格式：.txt）及魚體

長資料清單（檔案格式：.txt）等供後續統計軟體分析使用。

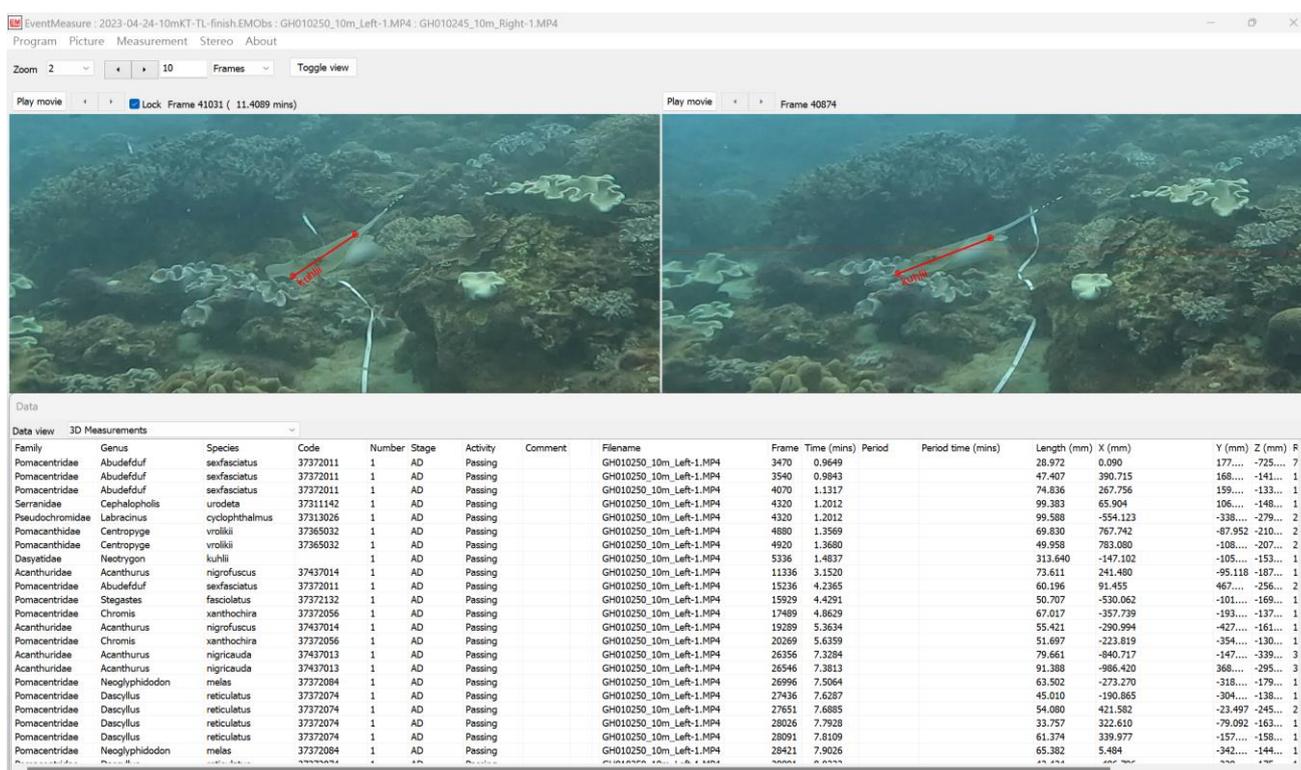


圖 3、Event Measure 作業視窗截圖

3. 棲地環境影像處理

(1) 使用 PotPlayer (64bit) 軟體將每次水下調查所連續拍攝之左右鏡頭影像

(片長 20 分鐘) 以每 50 影格擷取影片畫面，並以 JPEG 影像檔案格式儲存平面影像，供後續 Agisoft 軟體製作三維影像模型使用。

(2) 將同一調查樣點之平面影片截圖匯入 Agisoft 軟體 (圖 4)，使用該軟體對齊 (align) 照片功能進行影像處理，並後續建立點雲 (point cloud)、網格 (mesh) 及生成紋理 (texture) 等 (Short et al., 2009)。

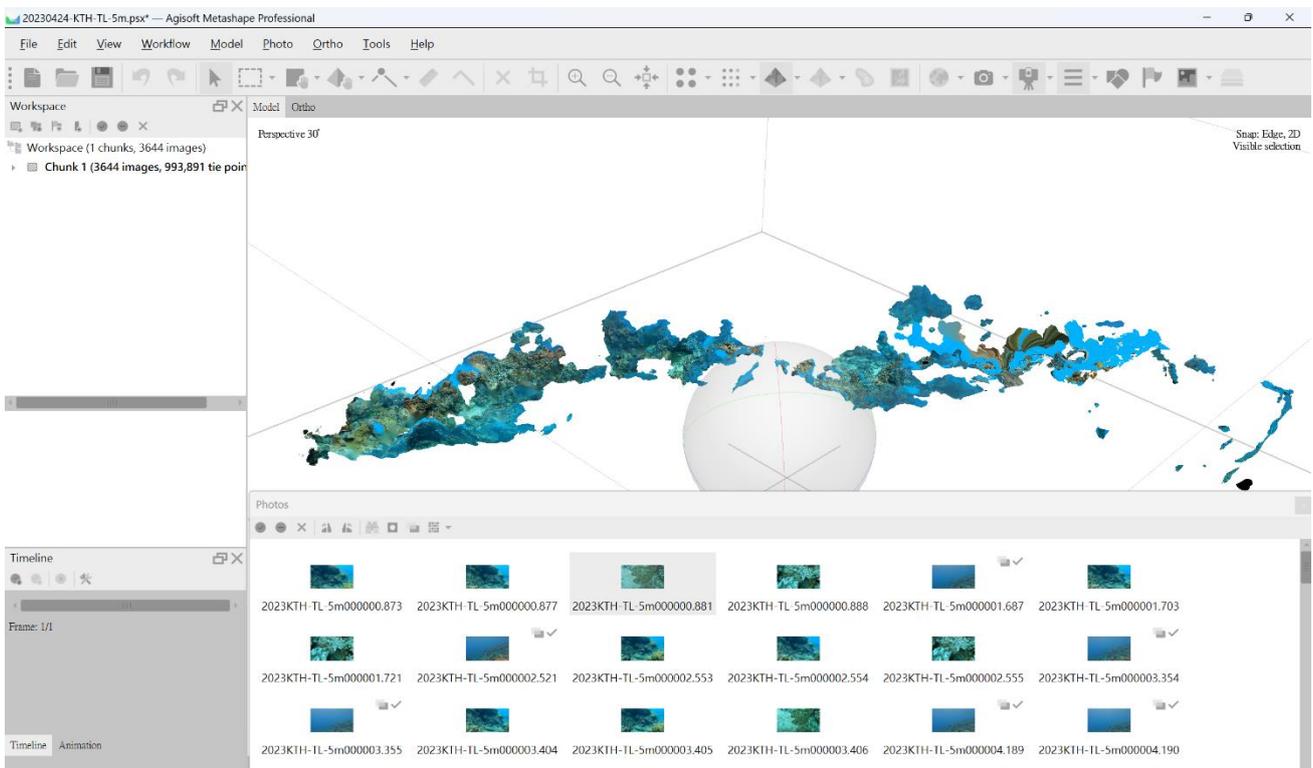


圖 4、Agisoft 作業視窗截圖

4. 研究數據分析

(1) 將魚種鑑定係依據墾丁國家公園海域魚類圖鑑增修壹版 (陳等, 2010)、臺灣魚類資料庫 (<https://fishdb.sinica.edu.tw/>) 及世界魚類資料庫 (<https://fishbase.mnhn.fr/search.php>) 等型態說明資訊進行魚種外觀特徵之比對。

(2) 魚種及魚體長等數據整理後，以 Microsoft Office Excel 進行圖表繪製及以 SPSS 作單因數變異分析 (One-way ANOVA)，並使用 Power Query 進行物種資料比對分析。

三、結果

(一) 各調查樣區珊瑚礁魚種及魚體長

1. 後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01)

- (1) 2023 年 4 月 24 日於後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 水深 5 公尺穿越線調查之珊瑚礁魚種計有 9 科 20 屬 28 種 (魚隻個體紀錄計有 46 筆, 表 1), 該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為雲斑海豬魚 (*Halichoeres hortulanus*), 其體長為 166.66mm; 而該次調查到最短體長之魚種個體為網紋圓雀鯛 (*Dascyllus reticulatus*), 其體長為 28.41mm。
- (2) 2023 年 4 月 24 日於後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 水深 10 公尺穿越線調查之珊瑚礁魚種計有 6 科 11 屬 12 種 (魚隻個體紀錄計有 25 筆, 表 2), 該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為古氏新紅 (*Neotrygon kuhlii*), 其體長為 329.89mm; 而該次調查到最短體長之魚種個體為六線豆娘魚 (*Abudefduf sexfasciatus*), 其體長為 28.97mm。
- (3) 2023 年 10 月 31 日於後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 水深 5 公尺穿越線調查之珊瑚礁魚種有 4 科 6 屬 7 種 (魚隻個體紀錄計有 11 筆, 表 3), 該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為鏡斑蝴蝶魚 (*Chaetodon speculum*), 其體長為 168.62mm; 而該次調查到最短體長之魚種個體為雙斑光鰓雀鯛 (*Chromis margaritifer*), 其體長為 38.55mm。
- (4) 2023 年 10 月 31 日於後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 水深 10 公尺穿越

線調查之珊瑚礁魚種有 4 科 5 屬 6 種（魚隻個體紀錄計有 16 筆，表 4），該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為交叉笛鯛（*Lutjanus decussatus*），其體長為 162.01mm；而該次調查到最短體長之魚種個體為藍紋高身雀鯛（*Stegastes fasciolatus*），其體長為 72.88mm。

2. 南灣大咗咕北側（KT02）

2023 年 6 月 30 日 KT02 所調查之珊瑚礁魚種有 16 科 27 屬 33 種（魚隻個體紀錄計有 62 筆，表 5），該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為金帶擬鬚鯛（*Mulloidichthys vanicolensis*），其體長為 200.38mm；而該次調查到最短體長之魚種個體為網紋圓雀鯛（*Dascyllus reticulatus*），其體長為 33.23mm。

3. 南灣獨立礁（KT03）

2023 年 6 月 30 日 KT03 所調查之珊瑚礁魚種有 12 科 23 屬 34 種（魚隻個體紀錄計有 356 筆，表 6），該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為點帶石斑魚（*Epinephelus coioides*），其體長為 570.22mm；而該次調查到最短體長之魚種個體為短身光鰓雀鯛（*Chromis chrysurus*），其體長為 57.82mm。

4. 南灣雞仔礁（KT04）

- (1) 2023 年 7 月 1 日 KT04 所調查之珊瑚礁魚種有 12 科 19 屬 32 種（魚隻個體紀錄計有 189 筆，表 7），該次調查紀錄到最長體長之魚種個體為六帶鰺（*Caranx sexfasciatus*），其體長為 602.45mm；而該次調查到最短體長之魚種個體為絲鰭擬花鮨（*Pseudanthias squamipinnis*），其體長為 39.90mm。

表 1、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 5 公尺之珊瑚礁魚種及體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigricauda</i>	106.88	106.88	106.88	0.00	1
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	84.89	88.10	86.49	2.27	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auripes</i>	117.55	117.55	117.55	0.00	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	111.83	111.83	111.83	0.00	1
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	105.23	113.24	109.24	5.67	2
Labridae	<i>Labrichthys unilineatus</i>	139.66	139.66	139.66	0.00	1
Labridae	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>	132.59	132.59	132.59	0.00	1
Labridae	<i>Halichoeres hortulanus</i>	67.75	166.66	108.96	48.65	4
Labridae	<i>Thalassoma hardwicke</i>	61.70	113.35	92.13	27.03	3
Labridae	<i>Bodianus axillaris</i>	64.53	64.53	64.53	0.00	1
Labridae	<i>Anampses meleagrides</i>	57.88	57.88	57.88	0.00	1
Monacanthidae	<i>Paraluteres prionurus</i>	51.65	88.02	69.84	25.72	2
Mullidae	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	141.43	141.43	141.43	0.00	1
Mullidae	<i>Parupeneus barberinoides</i>	114.66	114.66	114.66	0.00	1
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	100.46	100.46	100.46	0.00	1
Pomacentridae	<i>Amphiprion clarkii</i>	84.65	84.65	84.65	0.00	1
Pomacentridae	<i>Amphiprion frenatus</i>	81.86	81.86	81.86	0.00	1
Pomacentridae	<i>Pomacentrus alexanderae</i>	80.86	80.86	80.86	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis ternatensis</i>	75.92	75.92	75.92	0.00	1
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>	43.39	76.43	61.55	13.39	5
Pomacentridae	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	45.65	74.18	59.92	20.17	2
Pomacentridae	<i>Stegastes fasciolatus</i>	58.26	58.26	58.26	0.00	1
Pomacentridae	<i>Pomacentrus lepidogenys</i>	54.87	54.87	54.87	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis viridis</i>	54.30	54.30	54.30	0.00	1
Pomacentridae	<i>Dascyllus reticulatus</i>	28.41	59.46	40.41	12.48	5
Pomacentridae	<i>Chromis margaritifer</i>	35.24	35.24	35.24	0.00	1
Ptereleotridae	<i>Ptereleotris evides</i>	93.96	95.75	94.85	1.26	2
Serranidae	<i>Epinephelus merra</i>	155.73	155.73	155.73	0.00	1

Unit of Length : mm

表 2、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	55.42	73.61	64.52	12.86	2
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigricauda</i>	79.66	91.39	85.53	8.29	2
Dasyatidae	<i>Neotrygon kuhlii</i>	313.64	329.89	321.76	11.49	2
Pomacanthidae	<i>Centropyge vrolikii</i>	49.96	69.83	59.89	14.05	2
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus imperator</i>	207.49	207.49	207.49	0.00	1
Pomacentridae	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	28.97	74.84	52.85	19.47	4
Pomacentridae	<i>Dascyllus reticulatus</i>	33.76	61.37	47.33	10.68	5
Pomacentridae	<i>Stegastes fasciolatus</i>	50.71	50.71	50.71	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis xanthochira</i>	51.70	67.02	59.36	10.83	2
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon melas</i>	63.50	65.38	64.44	1.33	2
Pseudochromidae	<i>Labracinus cyclophthalmus</i>	99.59	99.59	99.59	0.00	1
Serranidae	<i>Cephalopholis urodeta</i>	99.38	99.38	99.38	0.00	1

Unit of Length : mm

表 3、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 5 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Chaetodontidae	<i>Chaetodon speculum</i>	73.77	168.62	121.20	67.07	2
Holocentridae	<i>Myripristis kuntee</i>	141.81	141.81	141.81	0.00	1
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	99.44	99.44	99.44	0.00	1
Labridae	<i>Halichoeres hortulanus</i>	70.38	70.38	70.38	0.00	1
Pomacentridae	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	120.75	120.75	120.75	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis margaritifer</i>	38.55	60.05	53.15	9.98	4
Pomacentridae	<i>Chromis ternatensis</i>	40.91	40.91	40.91	0.00	1

Unit of Length : mm

表 4、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 10 公尺之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	124.06	157.71	140.88	23.80	2
Lutjanidae	<i>Lutjanus decussatus</i>	162.01	162.01	162.01	0.00	1
Lutjanidae	<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	106.00	142.14	124.26	11.15	7
Pomacentridae	<i>Amphiprion clarkii</i>	129.82	129.82	129.82	0.00	1
Pomacentridae	<i>Stegastes fasciolatus</i>	72.88	113.35	93.74	20.68	4
Pseudochromidae	<i>Labracinus cyclophthalmus</i>	146.95	146.95	146.95	0.00	1

Unit of Length : mm

表 5、2023 年 6 月 30 日 KT02 之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	107.19	136.38	121.29	11.19	6
Blenniidae	<i>Meiacanthus grammistes</i>	67.46	84.25	73.81	9.11	3
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auripes</i>	149.28	149.28	149.28	0.00	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon kleinii</i>	91.15	94.39	92.77	2.29	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon melannotus</i>	99.82	128.16	117.68	15.54	3
Chaetodontidae	<i>Chaetodon punctatofasciatus</i>	69.96	80.46	75.21	7.43	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon speculum</i>	103.97	103.97	103.97	0.00	1
Gobiidae	<i>Amblyeleotris sp.</i>	39.22	39.22	39.22	0.00	1
Holocentridae	<i>Myripristis kuntee</i>	92.86	143.53	125.22	14.05	12
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	117.43	117.43	117.43	0.00	1
Labridae	<i>Anampses caeruleopunctatus</i>	110.33	110.33	110.33	0.00	1
Labridae	<i>Cheilinus oxycephalus</i>	102.72	102.72	102.72	0.00	1
Labridae	<i>Coris dorsomacula</i>	70.97	70.97	70.97	0.00	1
Labridae	<i>Coris gaimard</i>	72.57	72.57	72.57	0.00	1
Labridae	<i>Halichoeres chrysus</i>	76.10	91.15	83.62	10.64	2
Labridae	<i>Thalassoma lutescens</i>	77.31	91.48	84.40	10.02	2
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulvus</i>	162.24	162.24	162.24	0.00	1
Monacanthidae	<i>Cantherhines dumerilii</i>	164.35	164.35	164.35	0.00	1
Monacanthidae	<i>Paraluteres prionurus</i>	44.60	44.60	44.60	0.00	1
Mullidae	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	200.38	200.38	200.38	0.00	1
Mullidae	<i>Parupeneus barberinoides</i>	156.98	156.98	156.98	0.00	1
Nemipteridae	<i>Scolopsis affinis</i>	160.24	160.24	160.24	0.00	1
Pempherididae	<i>Pempheris oualensis</i>	106.28	122.96	114.62	11.80	2
Pomacanthidae	<i>Centropyge vrolikii</i>	63.80	63.80	63.80	0.00	1
Pomacanthidae	<i>Pygoplites diacanthus</i>	68.40	68.40	68.40	0.00	1
Pomacentridae	<i>Cheiloprion labiatus</i>	63.11	63.11	63.11	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis chrysur</i>	74.82	93.68	84.25	13.34	2
Pomacentridae	<i>Dascyllus reticulatus</i>	33.23	33.23	33.23	0.00	1
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	94.78	94.78	94.78	0.00	1
Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	138.60	138.60	138.60	0.00	1
Scaridae	<i>Scarus forsteni</i>	79.08	99.88	89.48	14.71	2
Serranidae	<i>Cephalopholis urodeta</i>	109.56	137.25	125.21	14.20	3
Tetraodontidae	<i>Arothron sp.</i>	152.51	152.51	152.51	0.00	1

Unit of Length : mm

表 6、2023 年 6 月 30 日 KT03 之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	106.99	127.20	116.33	10.20	3
Acanthuridae	<i>Zebrasoma scopas</i>	77.77	89.81	84.05	6.04	3
Caesionidae	<i>Caesio teres</i>	161.37	197.10	179.24	25.27	2
Caesionidae	<i>Pterocaesio digramma</i>	135.46	295.55	186.50	23.78	150
Caesionidae	<i>Pterocaesio tile</i>	154.09	222.41	185.56	20.92	12
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	116.04	133.60	124.82	12.42	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon kleinii</i>	63.40	118.27	86.10	12.07	22
Chaetodontidae	<i>Chaetodon punctatofasciatus</i>	77.49	87.00	81.24	5.06	3
Chaetodontidae	<i>Chaetodon speculum</i>	88.62	88.62	88.62	0.00	1
Chaetodontidae	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	100.91	133.02	115.78	16.19	3
Chaetodontidae	<i>Chaetodon vagabundus</i>	102.48	112.72	107.60	7.24	2
Holocentridae	<i>Myripristis kumtee</i>	110.43	125.62	118.02	10.74	2
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	109.27	112.44	110.85	2.24	2
Labridae	<i>Halichoeres hortulanus</i>	96.24	136.49	116.41	17.22	5
Labridae	<i>Labroides dimidiatus</i>	62.96	77.89	70.68	7.48	3
Lutjanidae	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	413.11	413.11	413.11	0.00	1
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	131.30	173.08	154.90	16.10	5
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulvus</i>	121.92	218.04	170.32	23.66	15
Lutjanidae	<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	156.35	156.35	156.35	0.00	1
Pempherididae	<i>Pempheris oualensis</i>	99.57	109.16	105.39	5.11	3
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus imperator</i>	220.36	220.36	220.36	0.00	1
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	171.81	171.81	171.81	0.00	1
Pomacanthidae	<i>Pygoplites diacanthus</i>	132.32	132.32	132.32	0.00	1
Pomacentridae	<i>Amblyglyphidodon aureus</i>	95.65	103.18	98.56	4.05	3
Pomacentridae	<i>Chromis chrysura</i>	57.82	142.52	104.14	17.79	54
Pomacentridae	<i>Chromis ternatensis</i>	93.55	93.55	93.55	0.00	1
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	72.72	72.72	72.72	0.00	1
Scaridae	<i>Calotomus sp.</i>	237.45	237.45	237.45	0.00	1
Scaridae	<i>Chlorurus sp.</i>	220.58	220.58	220.58	0.00	1
Scaridae	<i>Scarus forsteni</i>	125.84	296.36	206.57	50.40	7
Serranidae	<i>Cephalopholis argus</i>	227.32	280.64	260.77	29.14	3
Serranidae	<i>Epinephelus coioides</i>	518.81	570.22	543.16	25.82	3
Serranidae	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	58.88	113.68	88.10	14.17	32
Zanclidae	<i>Zanclus cornutus</i>	99.19	145.53	115.84	17.03	7

Unit of Length : mm

表 7、2023 年 7 月 1 日 KT04 之珊瑚礁魚種及魚體長

Family	Scientific name	Minimum length	Maximum length	Mean length	SD length	Count
Acanthuridae	<i>Acanthurus dussumieri</i>	207.61	212.22	209.91	3.26	2
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	88.57	209.73	122.14	29.38	34
Caesionidae	<i>Caesio caerulaurea</i>	159.23	233.67	182.55	22.32	10
Carangidae	<i>Caranx sexfasciatus</i>	598.40	602.45	600.42	2.86	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auripes</i>	88.02	132.34	111.54	18.48	7
Chaetodontidae	<i>Chaetodon kleinii</i>	56.94	117.99	85.63	15.86	10
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lunula</i>	120.22	132.43	128.29	6.99	3
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lunulatus</i>	86.02	109.26	97.64	16.43	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon melannotus</i>	96.78	109.26	103.02	8.83	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon punctatofasciatus</i>	72.87	83.97	79.63	4.84	4
Chaetodontidae	<i>Chaetodon trifascialis</i>	83.82	89.75	86.78	4.19	2
Chaetodontidae	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	80.57	99.92	90.24	13.68	2
Chaetodontidae	<i>Heniochus acuminatus</i>	92.37	92.37	92.37	0.00	1
Haemulidae	<i>Plectorhinchus lineatus</i>	200.14	200.14	200.14	0.00	1
Labridae	<i>Diproctacanthus xanthurus</i>	72.78	72.78	72.78	0.00	1
Labridae	<i>Thalassoma lutescens</i>	89.25	89.25	89.25	0.00	1
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulvus</i>	165.39	165.39	165.39	0.00	1
Lutjanidae	<i>Lutjanus monostigma</i>	115.27	201.77	158.23	18.36	32
Lutjanidae	<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	137.42	137.42	137.42	0.00	1
Lutjanidae	<i>Macolor macularis</i>	137.24	137.24	137.24	0.00	1
Pomacanthidae	<i>Centropyge ferrugata</i>	64.98	64.98	64.98	0.00	1
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	209.93	219.94	214.94	7.08	2
Pomacentridae	<i>Chromis margaritifer</i>	40.68	40.68	40.68	0.00	1
Pomacentridae	<i>Chromis xanthura</i>	76.23	115.67	89.92	12.47	12
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	83.02	93.64	88.88	4.36	5
Pomacentridae	<i>Neopomacentrus cyanomos</i>	71.91	90.05	83.97	10.45	3
Priacanthidae	<i>Priacanthus hamrur</i>	174.20	224.28	199.24	35.41	2
Scaridae	<i>Scarus forsteni</i>	75.77	178.15	102.56	28.14	10
Scaridae	<i>Scarus sp.</i>	191.80	191.80	191.80	0.00	1
Serranidae	<i>Cephalopholis argus</i>	173.02	173.02	173.02	0.00	1
Serranidae	<i>Pseudanthias pascalus</i>	91.98	91.98	91.98	0.00	1
Serranidae	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	39.90	106.69	75.39	17.64	31

Unit of Length : mm

(二) 以魚體長推測其魚體重量

1. 藉由魚體重與體長關係式 $W(g)=a*L(cm)^b$ ，可依已知魚體長推測魚體重量，惟該關係式中 a、b 值係數會隨著被調查魚種體型型態、年齡或地區等因素而有所差異，此外同一魚種經由魚體全長、叉尾長及標準長等不同觀測數值所產生之 a、b 值亦不盡相同。
2. 本研究運用世界魚類資料庫 (FishBase) 網頁資料提供經幾何平均之 a、b 值係數，再以本研究所調查之各魚種平均體長 (Mean length) 推測調查樣區之各別魚種之魚體重量如表 8 所示，其中魚體重量最重前 5 種魚種依序分別為於 K04 所調查之六帶鰱 (*Caranx sexfasciatus*) 4,078.96g，於 K03 所調查之點帶石斑魚 (*Epinephelus coioides*) 2,594.51g、銀紋笛鯛 (*Lutjanus argentimaculatus*) 1,155.02g，於 K01 所調查之古氏新魷 (*Neotrygon kuhlii*) 1032.30g，以及於 K03 所調查之斑點九刺鮨 (*Cephalopholis argus*) 304.62g 等。
3. 由上述結果可知，魚體重與體長關係式描述魚體長與其重量之正相關性，因已知珊瑚礁魚種之型態多樣性高，如運用經水下立體攝影系統調查之魚體長帶入前揭關係式，除可反映各魚種型態之差異外，加乘各魚種隻個體數亦可推算一調查區域之生物量 (Biomass)。

表 8、以各樣區之各魚種平均體長預測其魚體重量

Family	Scientific name*	a value	b value	2023/04/2 4-KT01- Depth 5m- Fish weight**	2023/04/ 24- KT01- Depth 10m-Fish weight	2023/0 6/30- KT02- Fish weight	2023/06/3 0-KT03- Fish weight	2023/07/ 01-KT04- Fish weight	2023/10 /31- KT01- Depth 5m-Fish weight	2023/10 /31- KT01- Depth 10m- Fish weight
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	0.0295	3	19.09	7.92	52.64	46.43	53.75		
Acanthuridae	<i>Zebrasoma scopas</i>	0.0302	3.01				18.31			
Acanthuridae	<i>Acanthurus nigricauda</i>	0.0339	2.9	32.66	17.11					
Acanthuridae	<i>Acanthurus dussumieri</i>	0.049	2.83					270.13		
Caesionidae	<i>Caesio teres</i>	0.0178	3.14				153.53			
Caesionidae	<i>Pterocaesio digramma</i>	0.00685	3.381				135.48			
Caesionidae	<i>Pterocaesio tile</i>	0.01388	3.134				131.16			
Caesionidae	<i>Caesio caeruleaurea</i>	0.0251	2.95					132.06		
Carangidae	<i>Caranx sexfasciatus</i>	0.0251	2.93					4,078.96		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon unimaculatus</i>	0.0533	2.833				54.95	27.13		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	0.0324	2.92	37.35			51.48			73.32
Chaetodontidae	<i>Chaetodon vagabundus</i>	0.02776	2.973				32.44			
Chaetodontidae	<i>Chaetodon kleinii</i>	0.0447	2.96			32.65	26.18	25.75		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon speculum</i>	0.06637	2.693			36.35	23.64		54.93	
Chaetodontidae	<i>Chaetodon melannotus</i>	0.0316	2.98			49.02		32.98		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lunulatus</i>	0.24009	2.099					28.68		
Chaetodontidae	<i>Heniochus acuminatus</i>	0.0257	3.08					24.20		
Chaetodontidae	<i>Chaetodon trifascialis</i>	0.0347	2.86					16.76		
Dasyatidae	<i>Neotrygon kuhlii</i>	0.0219	3.1		1,032.30					
Haemulidae	<i>Plectorhinchus lineatus</i>	0.0132	3.07					130.51		
Holocentridae	<i>Myripristis kuntzei</i>	0.0141	3.31			60.60	49.82		91.48	
Holocentridae	<i>Sargocentron diadema</i>	0.0204	2.99	25.96		32.23	27.13		19.60	
Labridae	<i>Halichoeres hortulanus</i>	0.118483	3.021	161.16			196.80		43.03	
Labridae	<i>Labroides dimidiatus</i>	0.006	3.17				2.95			
Labridae	<i>Thalassoma lutescens</i>	0.0126	3.06			8.61		10.21		
Labridae	<i>Diproctacanthus xanthurus</i>	0.0076	3.105					3.61		
Labridae	<i>Coris gaimard</i>	0.063075	3			24.11				
Labridae	<i>Labrichthys unilineatus</i>	0.020355	3	55.45						
Labridae	<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>	0.0212	3	49.42						
Labridae	<i>Thalassoma hardwicke</i>	0.0135	3.04	11.54						
Lutjanidae	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	0.0229	2.91				1,155.02			
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulvus</i>	0.0229	3			97.80	113.15	103.59		
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulviflamma</i>	0.0245	2.94				77.26			
Lutjanidae	<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	0.0158	3.03				65.57	44.35		32.70
Lutjanidae	<i>Lutjanus monostigma</i>	0.0224	2.91					69.21		
Lutjanidae	<i>Macolor macularis</i>	0.0274	2.91					55.95		
Lutjanidae	<i>Lutjanus decussatus</i>	0.0245	2.96							93.19
Monacanthidae	<i>Cantherhines dumerilii</i>	0.0406	2.792			100.69				
Mullidae	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	0.0117	3.06			112.69				
Mullidae	<i>Parupeneus barberinoides</i>	0.0182	3.1	35.02		92.72				
Mullidae	<i>Parupeneus multifasciatus</i>	0.017	3.1	62.67						

Pempheridae	<i>Pempheris oualensis</i>	0.01744	3.024		27.85	21.60		
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus imperator</i>	0.0214	2.88		132.85	157.99		
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	0.016825	3			85.33	167.07	
Pomacanthidae	<i>Pygoplites diacanthus</i>	0.01638	3		5.24	37.95		
Pomacentridae	<i>Chromis chrysur</i>	0.0263	3.16		22.12	43.21		
Pomacentridae	<i>Chromis ternatensis</i>	0.0263	3.15	15.60		30.11	2.22	
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	0.0631	2.77	37.63	32.03	15.37	26.80	
Pomacentridae	<i>Dascyllus reticulatus</i>	0.0437	2.94	2.65	4.22	1.49		
Pomacentridae	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	0.0229	3.13	6.22	4.20		55.74	
Pomacentridae	<i>Stegastes fasciolatus</i>	0.0028	4.063	3.60	2.05			24.89
Pomacentridae	<i>Neopomacentrus cyanomos</i>	0.02077	3				12.30	
Pomacentridae	<i>Chromis xanthura</i>	0.009	2.773				3.97	
Pomacentridae	<i>Chromis margaritifer</i>	0.01404	3.088	0.69			1.07	2.44
Pomacentridae	<i>Amphiprion clarkii</i>	0.0441	2.99	26.18				94.04
Pomacentridae	<i>Pomacentrus alexanderae</i>	0.0135	3.312	13.70				
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon nigroris</i>	0.01782	3.182	5.78				
Pomacentridae	<i>Pomacentrus lepidogenys</i>	0.0275	3.1	5.39				
Pomacentridae	<i>Chromis viridis</i>	0.038	2.73	3.85				
Priacanthidae	<i>Priacanthus hamrur</i>	0.0224	2.83				106.53	
Scaridae	<i>Scarus forsteni</i>	0.0275	2.93		16.90	196.09	25.21	
Scaridae	<i>Chlorurus sordidus</i>	0.0191	3.09		64.43			
Serranidae	<i>Epinephelus coioides</i>	0.0138	3.04			2,594.51		
Serranidae	<i>Cephalopholis argus</i>	0.012	3.11			304.62	85.05	
Serranidae	<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	0.0569	2.65			18.17	12.02	
Serranidae	<i>Cephalopholis urodeta</i>	0.0195	3		19.14	38.28		
Serranidae	<i>Pseudanthias pascalus</i>	0.017755	3				13.82	
Serranidae	<i>Epinephelus merra</i>	0.0112	3.1	55.66				
Zanclidae	<i>Zanclus cornutus</i>	0.0158	3.27				47.59	

*如世界魚類資料庫網頁未提供 a、b 值係數之魚種則未納入。

**Unit of weight: g

(三) 各樣區於調查期間之水溫參數變化

- 2023 年 4 月 24 日於 K01 水深 5 公尺及水深 10 公尺以溫度記錄器 (HOBO MX2200) 測得之海水水溫平均值±標準偏差分別為 26.63±0.11°C 及 26.24±0.19°C，2023 年 4 月 24 日 K01 水深 5 公尺及水深 10 公尺之水溫無顯著差異(P>0.05)；惟與 2023 年 10 月 31 日於 K01 水深 5 公尺 (28.17±0.18°C) 及水深 10 公尺 (27.63±0.22°C) 之水溫相較，則 2023 年 4 月 24 日 K01 所測得之水溫均顯著較低 (P<0.05)。
- 2023 年 6 月 30 日至 7 月 1 日於 K02、K03 及 K04 以溫度記錄器 (HOBO

MX2200) 測得之海水水溫平均值分別為 $28.36 \pm 1.44^{\circ}\text{C}$ 、 $28.72 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$ 及 $25.38 \pm 3.12^{\circ}\text{C}$ ，其中 K04 之海水溫度顯著較 K02 及 K03 等海水溫度低 ($P < 0.05$)。

3. 2023 年各樣站於調查期間之平均溫度對照表如表 9 所示，以及各站海水溫度變化圖如圖 5 至圖 11 所示。

表 9、2023 年各樣站於調查期間之平均溫度對照表

日期	測站	平均海水溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	標準偏差 (SD)
2023/4/24	K01 (Depth 5m)	26.63	0.11
2023/4/24	K01 (Depth 10m)	26.24	0.19
2023/6/30	K02	28.36	1.44
2023/6/30	K03	28.72	0.17
2023/7/1	K04	25.38	3.12
2023/10/31	K01 (Depth 5m)	28.17	0.18
2023/10/31	K01 (Depth 10m)	27.63	0.22

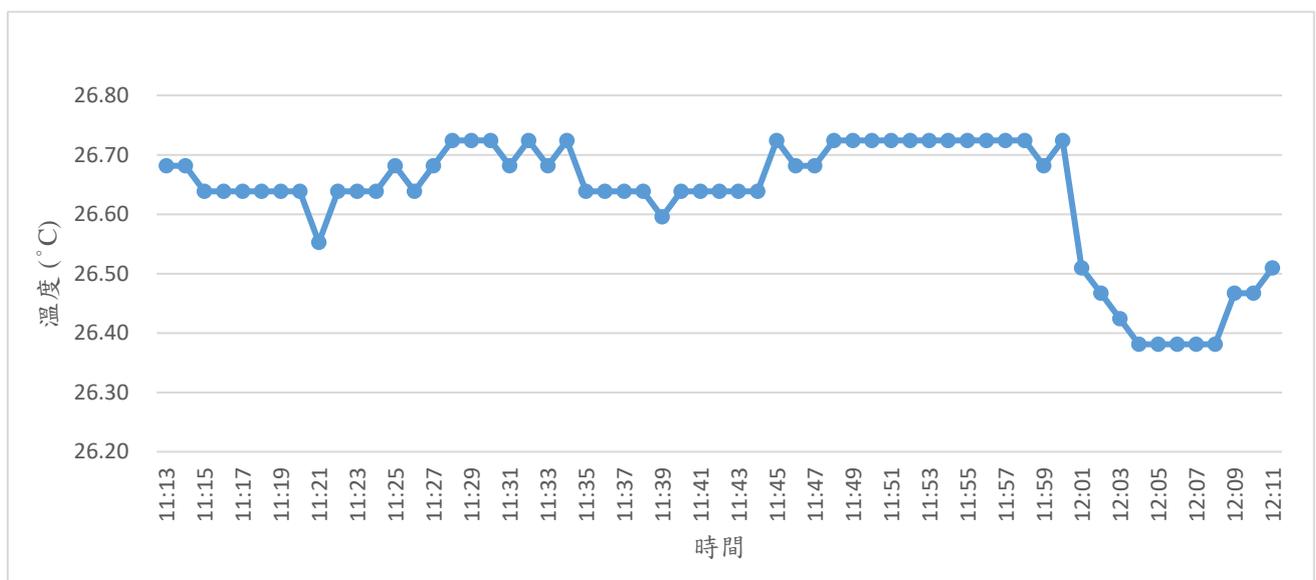


圖 5、2023 年 4 月 24 日調查期間 KT01 樣區水深 5 公尺之海水溫度變化

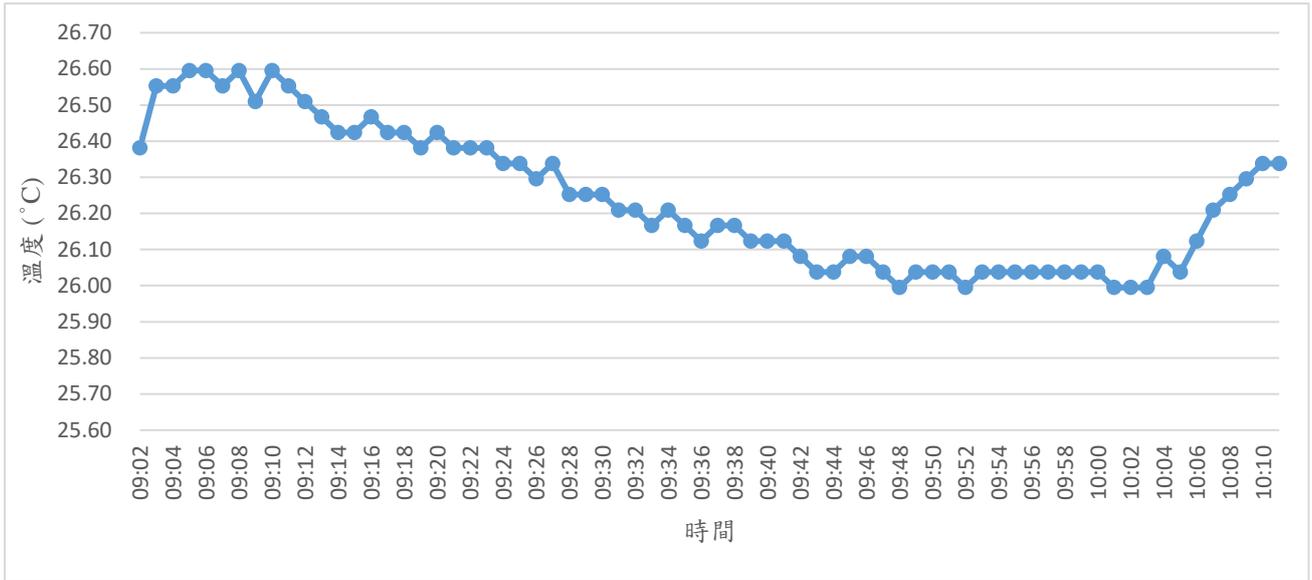


圖 6、2023 年 4 月 24 日調查期間 KT01 樣區水深 10 公尺之海水溫度變化

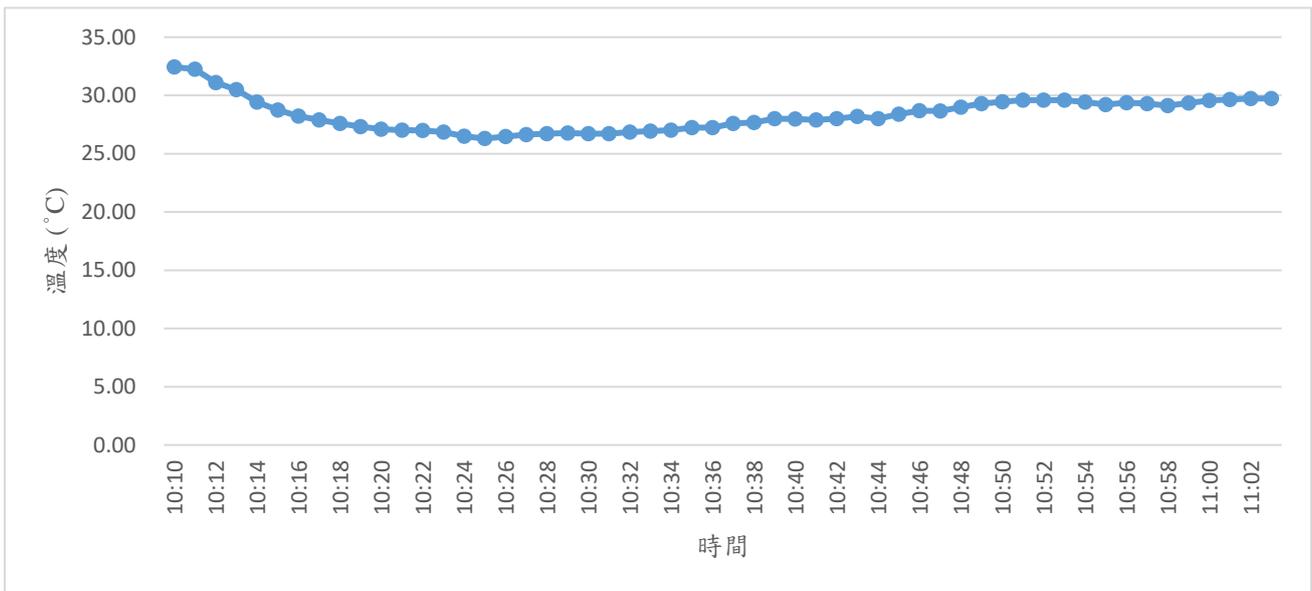


圖 7、2023 年 6 月 30 日調查期間 KT02 樣區之海水溫度變化

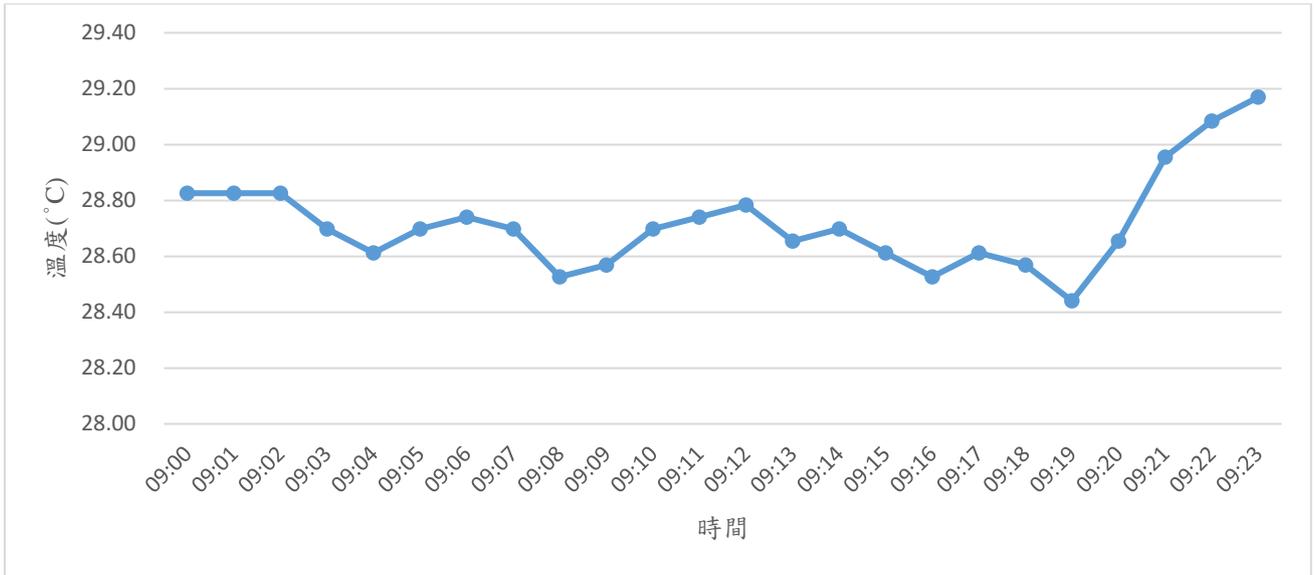


圖 8、2023 年 6 月 30 日調查期間 KT03 樣區之海水溫度變化

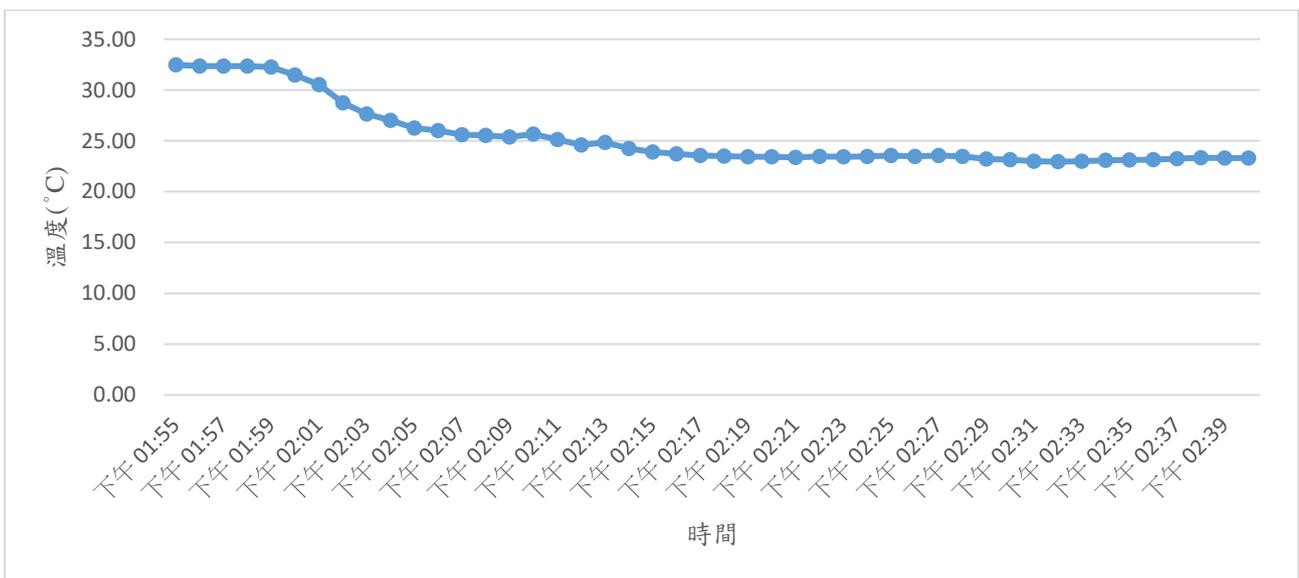


圖 9、2023 年 7 月 1 日調查期間 KT04 樣區之海水溫度變化

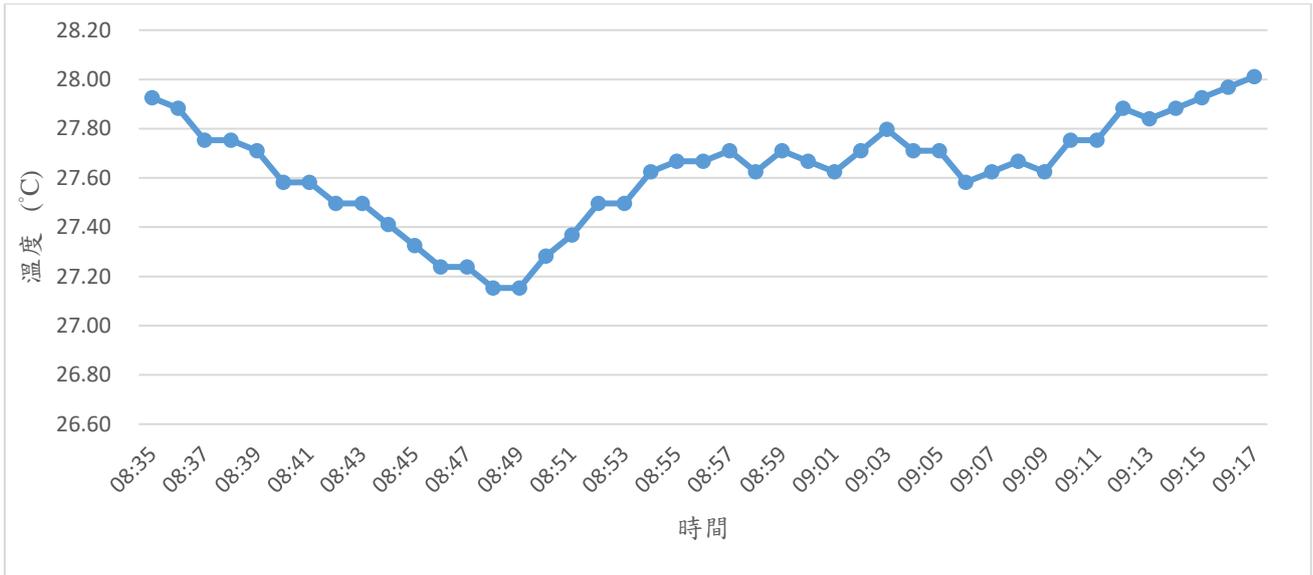


圖 10、2023 年 10 月 31 日調查期間 KT01 樣區水深 10 公尺之海水溫度變化

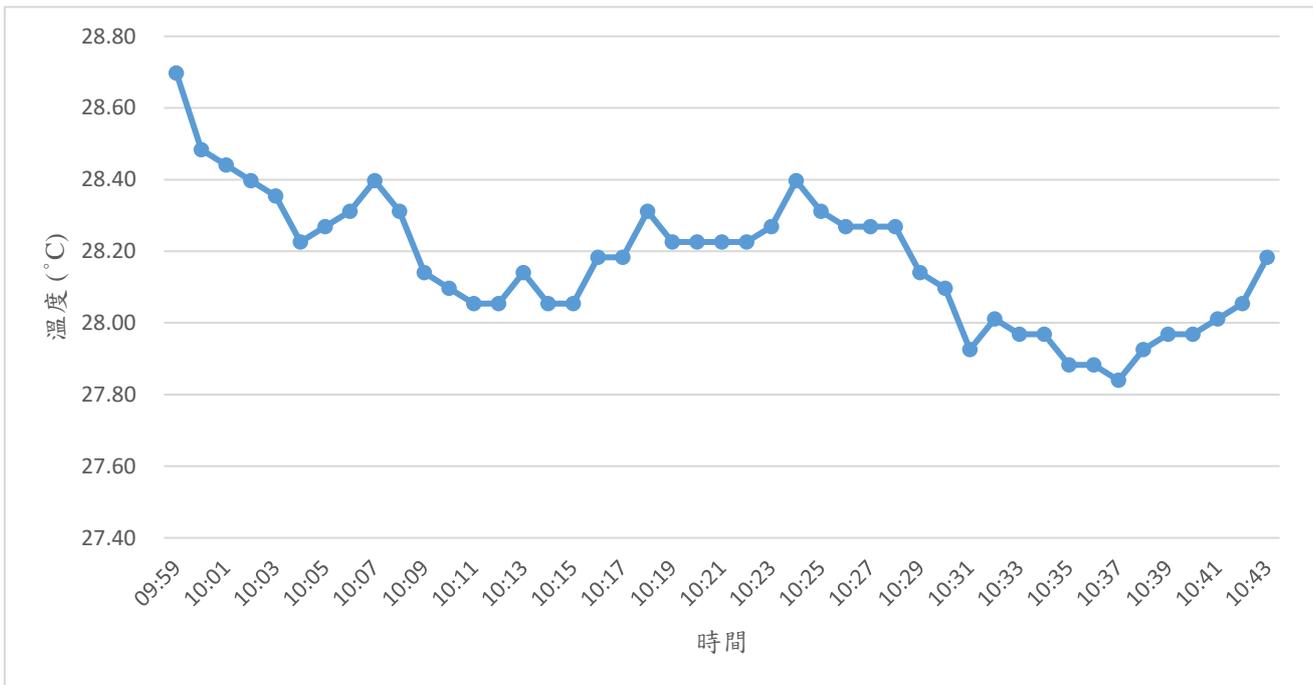


圖 11、2023 年 10 月 31 日調查期間 KT01 樣區水深 5 公尺之海水溫度變化

(四) 棲地環境之三維影像

1. 因電腦計算機之算力提升，近 10 年來水下運動恢復結構，或稱運動重建結構技術 (Structure From Motion, SfM) 光學測量法大量被應用在生態調查研究

上，從原來山林陸域調查，延伸應用到海洋水下棲地研究。該技術可使研究人員能夠對珊瑚礁表面進行詳細的三維 (3D) 重建，以對珊瑚礁物理結構進行形態測量分析，並進行大規模影像馬賽克測繪 (Bayley et al.,2020)。本研究嘗試運用水下立體攝影系統連續拍攝之左右鏡頭影像 (片長 20 分鐘)，並以每 50 影格擷取影片畫面將同一調查樣點之平面影片截圖匯入 Agisoft 軟體，使用該軟體對齊 (align) 照片功能進行影像處理，並後續建立點雲 (point cloud)、網格 (mesh) 及生成紋理 (texture) 等圖像資訊。

2. 圖 12 至圖 16 分別為 K01、K02、K03 及 K04 等測站之棲地 3D 重建圖像，可以從圖片中黑線的路徑延伸了解到該次潛水員調查之軌跡。K01 及 K02 為等深且深度變化不大之調查區域，爰可以從圖像看出調查帶之概況；K03 之棲地環境係為獨立礁之結構，所以當環繞獨立礁拍攝一圈後，可以從 K03 圖像看出為一近似梯形之立體結構；K04 調查過程之深度變化較大，爰可從 K04 圖像看出有部分黑線呈垂直抬升之情形。
3. 因本次分析僅用水下立體攝影系統左右 2 個攝影機，且以每 50 影格擷取一畫面，可能提供給軟體重建 3D 模型之圖像資訊量不夠充分，爰重建出來的 3D 圖像較為破碎。

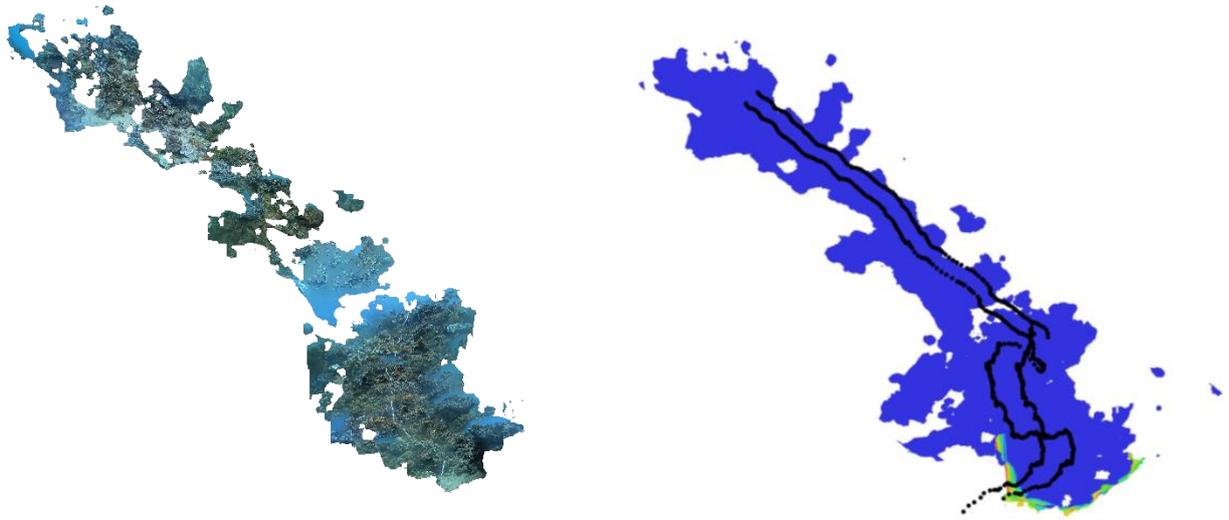


圖 12、2023 年 4 月 24 日 KT01 樣區水深 10 公尺穿越線之三維影像

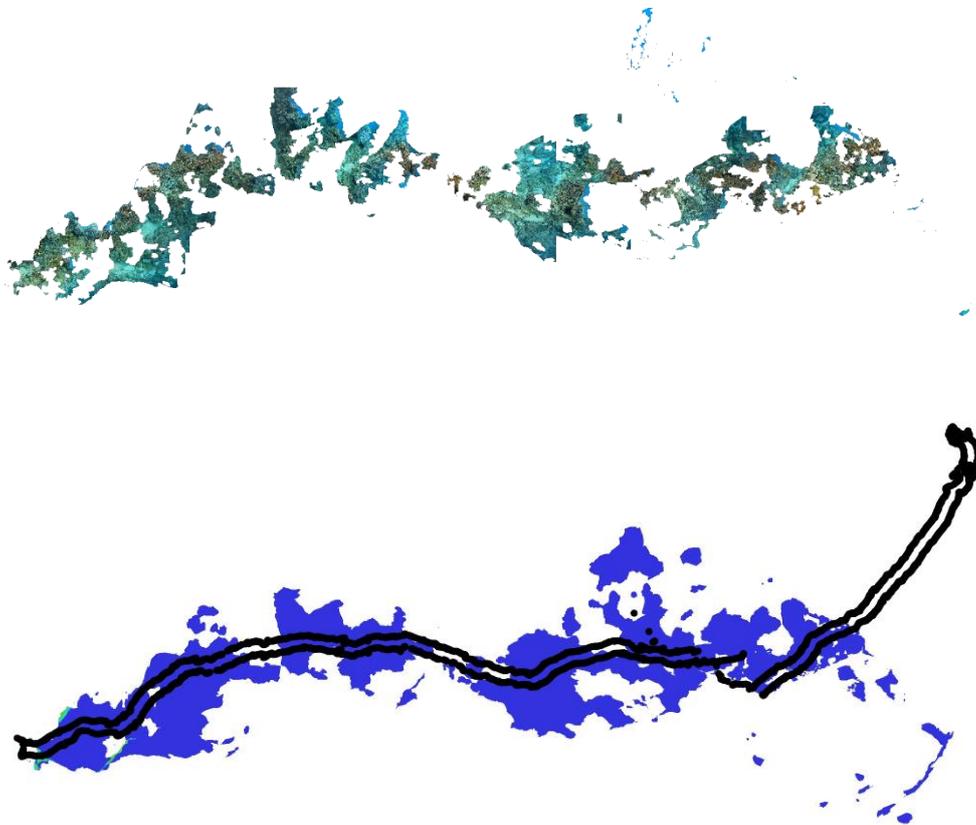


圖 13、2023 年 4 月 24 日 KT01 樣區水深 5 公尺穿越線之三維影像

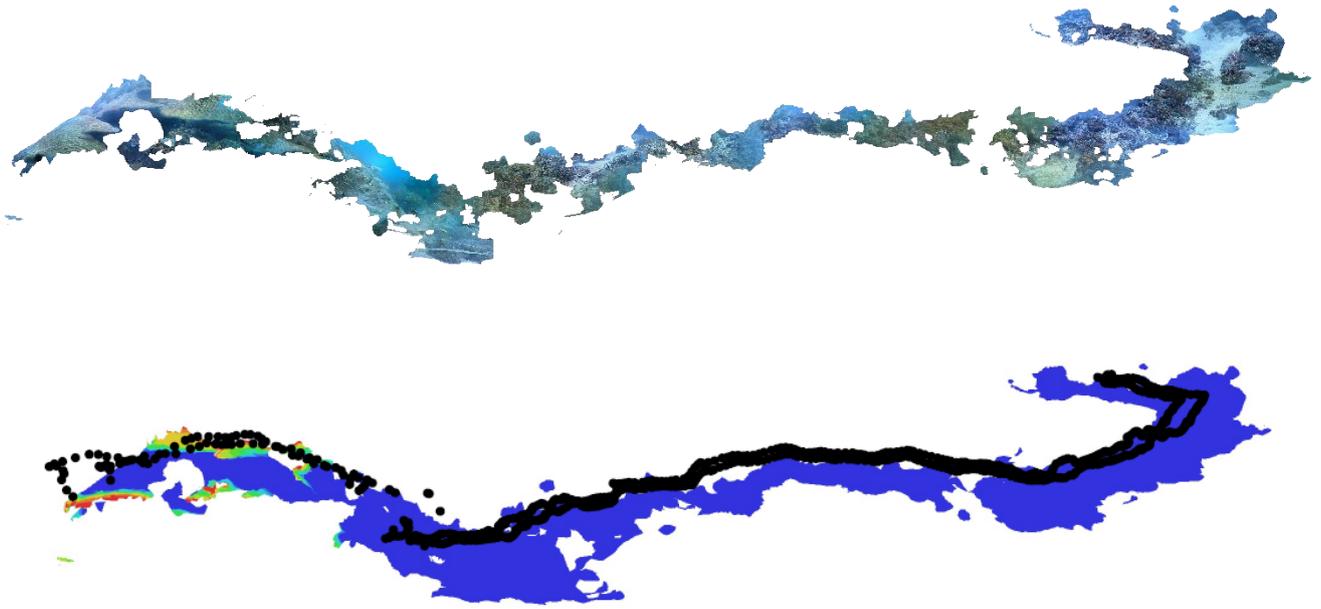


圖 14、2023 年 6 月 30 日 KT02 樣區之三維影像

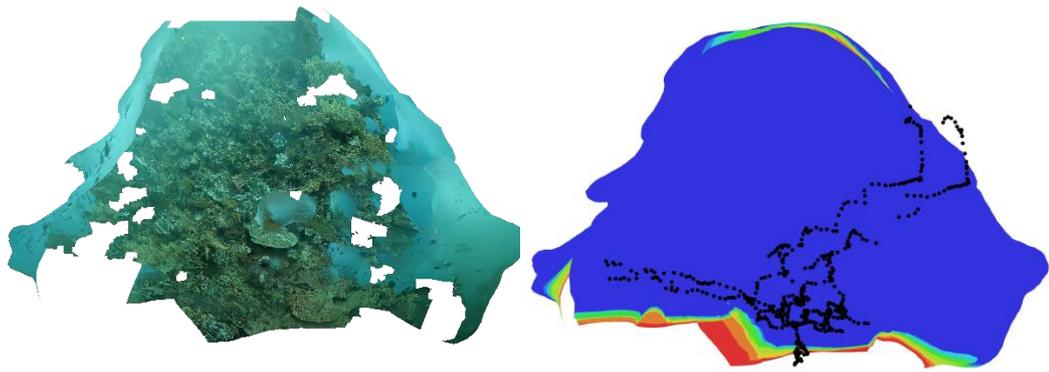
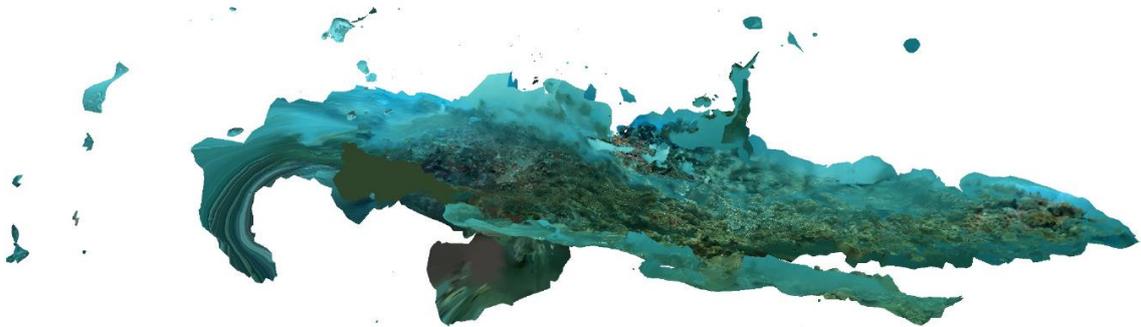


圖 15、2023 年 6 月 30 日 KT03 樣區之三維影像



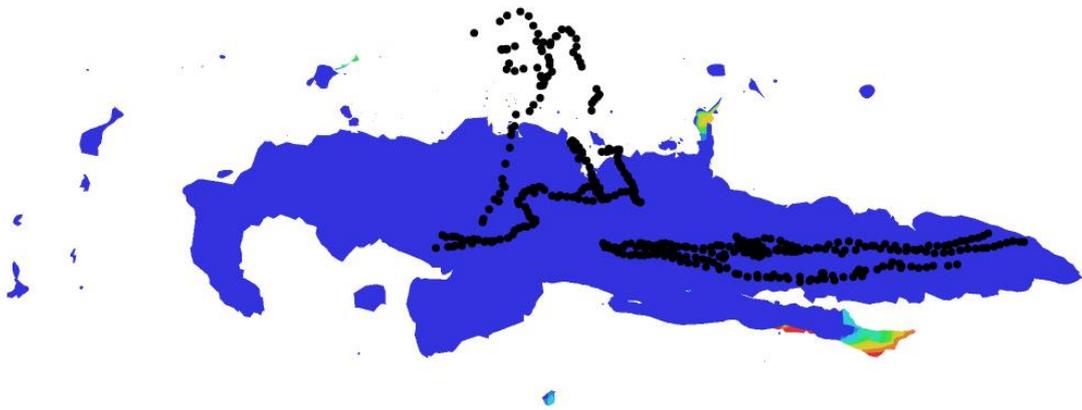


圖 16、2023 年 7 月 1 日 KT04 樣區之三維影像

(五) 後壁湖海洋資源保護示範區 (KT01) 底質調查

1. 本研究於 KT01 以珊瑚礁體檢方法 (Reef check) 紀錄穿越線上之底質型態。調查結果顯示 2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 5 公尺之硬珊瑚平均百分比為 31% 及軟珊瑚平均百分比為 20% (表 10)，KT01 水深 5 公尺之珊瑚覆蓋率為 51%；2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺之硬珊瑚平均百分比為 13% 及軟珊瑚平均百分比為 21% (表 11)，KT01 水深 10 公尺之珊瑚覆蓋率為 34%；2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 5 公尺之硬珊瑚平均百分比為 36% 及軟珊瑚平均百分比為 38% (表 12)，KT01 水深 5 公尺之珊瑚覆蓋率為 74%；2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 10 公尺之硬珊瑚平均百分比為 22% 及軟珊瑚平均百分比為 39% (表 13)，KT01 水深 10 公尺之珊瑚覆蓋率為 61%。
2. 綜上，K01 於水深 5 公尺之珊瑚覆蓋率較水深 10 公尺有較高之趨勢，除 2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺之珊瑚覆蓋率低於 50% 外，其餘均在 50% 以上。

表 10、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 5 公尺底質覆蓋百分比

底質種類 (Substrate)	每調查區段之平均百分比 (Mean % per segment)	標準偏差 (SD)
硬珊瑚 (Hard Coral, HC)	31%	4%
軟珊瑚 (Soft Coral, SC)	20%	4%
新死珊瑚 (Recently Killed Coral,RKC)	0%	0%
營養鹽指標藻類 (Nutrient Indicator Algae, NIA)	14%	3%
海綿 (Sponge, SP)	3%	2%
岩石 (Rock, RC)	13%	3%
礫石 (Rubble, RB)	2%	1%
沙 (Sand, SD)	0%	0%
泥/灰 (Silt/clay, SI)	10%	5%
其他(含生物) (Other, OT)	7%	3%

表 11、2023 年 4 月 24 日 KT01 水深 10 公尺底質覆蓋百分比

底質種類 (Substrate)	每調查區段之平均百分比 (Mean % per segment)	標準偏差 (SD)
硬珊瑚 (Hard Coral, HC)	13%	3%
軟珊瑚 (Soft Coral, SC)	21%	6%
新死珊瑚 (Recently Killed Coral,RKC)	0%	0%
營養鹽指標藻類 (Nutrient Indicator Algae, NIA)	11%	2%
海綿 (Sponge, SP)	0%	0%
岩石 (Rock, RC)	19%	1%
礫石 (Rubble, RB)	3%	1%
沙 (Sand, SD)	1%	1%
泥/灰 (Silt/clay, SI)	32%	8%
其他(含生物) (Other, OT)	1%	1%

表 12、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 5 公尺底質覆蓋百分比

底質種類 (Substrate)	每調查區段之平均百分比 (Mean % per segment)	標準偏差 (SD)
硬珊瑚 (Hard Coral, HC)	36%	10%
軟珊瑚 (Soft Coral, SC)	38%	11%
新死珊瑚 (Recently Killed Coral,RKC)	3%	2%
營養鹽指標藻類 (Nutrient Indicator Algae, NIA)	6%	2%
海綿 (Sponge, SP)	0%	0%
岩石 (Rock, RC)	10%	2%
礫石 (Rubble, RB)	4%	3%
沙 (Sand, SD)	3%	2%
泥/灰 (Silt/clay, SI)	1%	1%
其他(含生物) (Other, OT)	0%	0%

表 13、2023 年 10 月 31 日 KT01 水深 10 公尺底質覆蓋百分比

底質種類 (Substrate)	每調查區段之平均百分比 (Mean % per segment)	標準偏差 (SD)
硬珊瑚 (Hard Coral, HC)	22%	2%
軟珊瑚 (Soft Coral, SC)	39%	7%
新死珊瑚 (Recently Killed Coral,RKC)	0%	0%
營養鹽指標藻類 (Nutrient Indicator Algae, NIA)	2%	1%
海綿 (Sponge, SP)	0%	0%
岩石 (Rock, RC)	7%	3%
礫石 (Rubble, RB)	21%	4%
沙 (Sand, SD)	9%	5%
泥/灰 (Silt/clay, SI)	0%	0%
其他(含生物) (Other, OT)	0%	0%

四、討論

(一) 本研究於 2023 年 4 月、6 月及 10 月以水下立體攝影系統調查墾丁國家公園後壁湖海洋資源保護示範區及南灣海域之珊瑚礁魚類相及其長度，合計記錄魚類相達 23 科 56 屬 97 種（魚隻個體紀錄計有 734 筆）。因水下立體攝影系統之左右相機鏡頭距離達 800mm，且本研究所使用之運動攝影最短對焦距離為 600mm，對於大型珊瑚礁魚類調查有相當助益，惟就小型珊瑚礁魚類及隱蔽性魚種等調查則相當受限，如小型珊瑚礁魚類及隱蔽性魚種具保護色，則增加以影像辨識魚種之難度，爰此本研究所調查之魚種類數較前人研究少（陳等，2010；廖等，2021），但也同時新增累積魚體長度資料。

(二) 後壁湖海洋資源保護示範區之魚類相對豐度結果為金鱗魚科（35%）、雀鯛科（28%）、隆頭魚科（12%）、蝴蝶魚科（6%）、笛鯛科（6%）、刺尾鯛科（2%）、石鱸科（2%）、單棘魷科（2%）、鬚鯛科（2%）、蓋刺魚科（2%）、凹尾塘鱧科（2%）、擬金眼鯛科（1%）、擬雀鯛科（1%）及鮫科（1%）等。

(三) 南灣海域之魚類相對豐度結果為烏尾鮫科（29%）、雀鯛科（14%）、蝴蝶魚科（12%）、鮫科（12%）、笛鯛科（10%）、刺尾鯛科（8%）、鸚哥魚科（4%）、隆頭魚科（3%）、金鱗魚科（3%）、蓋刺魚科（1%）、角蝶魚科（1%）及擬金眼鯛科（1%）等，其餘鰺科、鰲科、單棘魷科、鬚鯛科、大眼鯛科、鰕虎科、石鱸科、金線魚科及四齒魷科等均未達 1%。

- (四) 運用水下立體攝影系統拍攝之連續動態影像經影片固定幀數截圖後，應用 SfM 技術可產出影像投影重建之珊瑚礁棲地環境 3D 結構模型，並藉由攝影機視角及姿態計算了解水下調查作業之路徑軌跡。
- (五) 運用魚體重與體長關係式【 $W_{(g)}=a*L_{(cm)}^b$ 】推測魚體重量，可提升水下立體攝影系統所蒐集之魚體長資料應用範圍。本研究運用世界魚類資料庫 (FishBase) 網頁資料提供之 a、b 值係數，推算調查樣區之魚體重量，惟部分魚種之 a、b 值係數仍缺乏，仍有待未來持續蒐集研析期刊報告相關資料。

五、結論及建議

- (一) 水下立體攝影系統之影片受到水下光線強度、能見度、水色、攝影機解析度及對焦距離長短等影響，而部分魚種具有與棲地環境類似保護色，或不同魚種混群現象，則增加電腦端魚種影像辨識困難及鑑種正確性。此外，如魚體處於彎曲姿態，則亦影響魚體長度測量之精確性，雖如此，水下立體攝影系統可作為配合海洋生態基礎調查之研究工具，減少研究所需之魚類樣本採集，並廣泛應用於空中及水下無人系統載具 (Saunders et al., 2021; Piacenza et al., 2022; Hellmrich et al., 2023) 之相關研究，以收集各式海洋生物體長資料及建立棲地環境影像模型。
- (二) 在潛水調查過程中發現有珊瑚礁魚類之追尾行為及觀察到附著於礁岩之沈性卵(demersal eggs)，未來可針對產卵季之樣區內魚種及其體長增再詳加調查，以進一步建立珊瑚礁魚類性成熟體長資訊。
- (三) 珊瑚礁魚類相及其體長資訊蒐集仍有賴於長期監測調查，以累積不同時空分布之資料進行比對。魚類調查除探究新種魚類或新紀錄種外，亦須同步藉由長期調查不同季節地區之已知魚種體長、年齡結構、性成熟體長及魚類族群消長分布，進而研析海洋生態環境變化對魚類族群之影響。

六、參考文獻

- 陳正平，邵廣昭，詹榮桂，郭人維，陳靜怡。2010。墾丁國家公園海域魚類圖鑑（增修壹版）。墾丁國家公園管理處。屏東縣。656頁。
- 廖德裕，李澤民，劉莉蓮，劉商隱，黃蔚人。2021。示範海域海洋生物資訊蒐集及資源調查-南部海域研究（成果報告）。高雄市。368頁。
- Bayley, D. T. I., & Mogg, A. O. M. (2020). A protocol for the large-scale analysis of reefs using Structure from Motion photogrammetry. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 11, issue 11, pp. 1410-1420.
- Bennett, K., Wilson, S. K., Shedrawi, G., McLean, D. L., Langlois, T. J. (2016). Can diver operated stereo-video surveys for fish be used to collect meaningful data on benthic coral reef communities? *Limnology and Oceanography: Methods*, vol. 14, issue 12, pp. 874-885.
- Bohnsack, J. A., & Harper, D. E., (1988). Length-weight relationships of selected marine reef fishes from the southeastern United States and the Caribbean. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-215, 31 p.
- Cinner, J. E., Huchery, C., MacNeil, M. A., Graham, N. A. J., McClanahan, T. R., Maina, J., Maire, E., Kittinger, J. N., Hicks, C. C., Mora, C., Allison, E. H., D'Agata, S., Hoey, A., Feary, D. A., Crowder, L., Williams, I. D., Kulbicki, M., Vigliola, L., Wantiez, L., Edgar, G., Stuart-Smith, R. D., Sandin, S. A., Green, A. L., Hardt, M. J., Beger, M., Friedlander, A., Campbell, S. J., Holmes, K. E., Wilson, S. K., Brokovich, E., Brooks, A. J., Cruz-Motta, J. J., Booth, D. J., Chabanet, P., Gough, C., Tupper, M., Ferse, S. C. A., Sumaila, U. R., Mouillot, D. (2016). Bright spots among the world's coral reefs. *Nature*, Volume 535, Issue 7612, pp. 416-419.
- Dunkley, K., Dunkley, A., Drewnicki, J., Keith, I., Herbert-Read, J. E. (2023). A low-cost, long-running, open-source stereo camera for tracking aquatic species and their behaviours. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 14, issue 10, pp. 2549-2556.
- Goetze, J. S., Bond, T., Mclean, D. L., Saunders, B. (2019). A field and video analysis guide for diver operated stereo-video. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 10, Issue 7, pp. 1083-1090.
- Hellmrich, L. S., Saunders, B. J., Parker, J. R. C., Goetze, J. S., Harvey, E. S., (2023). Stereo-ROV surveys of tropical reef fishes are comparable to stereo-DOVs with reduced behavioural biases. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Volume 281.
- Knight, A., Watson, J., Dixon, J., Aylesworth, L., Don, C., Fox, D. (2018). A stereo video system for monitoring Oregon's Marine Reserves: Construction, testing, and pilot study of a convertible stereo system for lander and SCUBA surveys. Oregon Department of Fish and Wildlife. 2018-06.

- Piacenza, S. E. H., Piacenza, J. R., Faller, K. J. 2nd., Robinson, N. J., Siegfried, T. R. (2022). Design and fabrication of a stereo-video camera equipped unoccupied aerial vehicle for measuring sea turtles, sharks, and other marine fauna. *PLoS One*, 17(10):e0276382.
- Rassweiler, A., Dubel, A. K., Hernan, G., Kushner, D. J., Caselle, J. E., Sprague J. L., Kui, L., Lamy, T., Lester, S. E., & Miller, R. J. (2020). Roving Divers Surveying Fish in Fixed Areas Capture Similar Patterns in Biogeography but Different Estimates of Density When Compared With Belt Transects. *Front. Mar. Sci.*, Volume 7.
- Saunders, B. J., Galaiduk, R., Inostroza, K., Myers, E. M.V., Goetze, J. S., Westera, M., Twomey, L., McCorry, D., Harvey, E. S. (2021). Quantifying patterns in fish assemblages and habitat use along a deep submarine canyon-valley feature using a remotely operated vehicle. *Front. Mar. Sci.*, Volume 8.
- Schramm, K.D., Harvey, E. S., Goetze, J. S., Travers, M. J., Warnock, & B., Saunders, B. J. (2020). A comparison of stereo-BRUV, diver operated and remote stereo-video transects for assessing reef fish assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 524.
- Short, N. (2009). 3-D Point Cloud Generation from Rigid and Flexible Stereo Vision Systems. Master of Science in Computer Engineering. Blacksburg, VA.
- Swanborn, D. J.B., Stefanoudis, P. V., Huvenne, V. A. I., Pittman, S. J., & Woodall, L. C. (2022). Structure-from-motion photogrammetry demonstrates that fine-scale seascape heterogeneity is essential in shaping mesophotic fish assemblages. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(6), 904-920.

七、附錄

附錄 1、本研究所調查之魚種科名及學名中英文對照表

Family	科名*	Scientific name	學名*
Acanthuridae	刺尾鯛科	<i>Acanthurus dussumieri</i>	杜氏刺尾鯛
		<i>Acanthurus nigricauda</i>	黑尾刺尾鯛
		<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	褐斑刺尾鯛
		<i>Zebрасoma scopas</i>	小高鰭刺尾鯛
Blenniidae	鰺科	<i>Meiacanthus grammistes</i>	黑帶稀棘鰺
Caesionidae	烏尾鯨科	<i>Caesio caeruleaurea</i>	烏尾鯨
		<i>Caesio teres</i>	黃藍背烏尾鯨
		<i>Pterocaesio digramma</i>	雙帶鱗鰭烏尾鯨
		<i>Pterocaesio tile</i>	蒂爾鱗鰭烏尾鯨
Carangidae	鯷科	<i>Caranx sexfasciatus</i>	六帶鯷
Chaetodontidae	蝴蝶魚科	<i>Chaetodon auriga</i>	揚旛蝴蝶魚
		<i>Chaetodon auripes</i>	耳帶蝴蝶魚
		<i>Chaetodon kleinii</i>	克氏蝴蝶魚
		<i>Chaetodon lunula</i>	月斑蝴蝶魚
		<i>Chaetodon lunulatus</i>	弓月蝴蝶魚
		<i>Chaetodon melannotus</i>	黑背蝴蝶魚
		<i>Chaetodon punctatofasciatus</i>	點斑橫帶蝴蝶魚
		<i>Chaetodon speculum</i>	鏡斑蝴蝶魚
		<i>Chaetodon trifascialis</i>	川紋蝴蝶魚
		<i>Chaetodon unimaculatus</i>	一點蝴蝶魚
		<i>Chaetodon vagabundus</i>	飄浮蝴蝶魚
		<i>Heniochus acuminatus</i>	白吻雙帶立旗鯛
		Dasyatidae	魟科
Gobiidae	鰕虎科	<i>Amblyeleotris sp.</i>	鈍鯊屬
Haemulidae	石鱸科	<i>Plectorhinchus lineatus</i>	條紋胡椒鯛
Holocentridae	金鱗魚科	<i>Myripristis kuntee</i>	康德鋸鱗魚
		<i>Sargocentron diadema</i>	黑鰭棘鱗魚
Labridae	隆頭魚科	<i>Anampses caeruleopunctatus</i>	青斑阿南魚
		<i>Anampses meleagrides</i>	黃尾阿南魚
		<i>Bodianus axillaris</i>	腋斑狐鯛
		<i>Cheilinus oxycephalus</i>	尖頭唇魚
		<i>Coris dorsomacula</i>	背斑盔魚
		<i>Coris gaimard</i>	蓋馬氏盔魚
		<i>Diproctacanthus xanthurus</i>	黃尾雙臀刺隆頭魚

		<i>Coris dorsomacula</i>	背斑盃魚
		<i>Coris gaimard</i>	蓋馬氏盃魚
		<i>Diproctacanthus xanthurus</i>	黃尾雙臀刺隆頭魚
		<i>Halichoeres chrysus</i>	黃身海豬魚
		<i>Halichoeres hortulanus</i>	雲斑海豬魚
		<i>Labrichthys unilineatus</i>	單線突唇魚
		<i>Labroides dimidiatus</i>	裂唇魚
		<i>Oxycheilinus unifasciatus</i>	單帶尖唇魚
		<i>Thalassoma hardwicke</i>	哈氏錦魚
		<i>Thalassoma lutescens</i>	胸斑錦魚
Lutjanidae	笛鯛科	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	銀紋笛鯛
		<i>Lutjanus decussatus</i>	交叉笛鯛
		<i>Lutjanus fulviflamma</i>	火斑笛鯛
		<i>Lutjanus fulvus</i>	黃足笛鯛
		<i>Lutjanus monostigma</i>	單斑笛鯛
		<i>Lutjanus quinquelineatus</i>	五線笛鯛
		<i>Macolor macularis</i>	斑點羽鰓笛鯛
Monacanthidae	單棘魨科	<i>Cantherhines dumerilii</i>	杜氏刺鼻單棘魨
		<i>Paraluteres prionurus</i>	鋸尾副革單棘魨
Mullidae	鬚鯛科	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	金帶擬鬚鯛
		<i>Parupeneus barberinoides</i>	鬚海緋鯉
		<i>Parupeneus multifasciatus</i>	多帶海緋鯉
Nemipteridae	金線魚科	<i>Scolopsis affinis</i>	烏面眶棘鱸
Pempherididae	擬金眼鯛科	<i>Pempheris oualensis</i>	烏伊蘭擬金眼鯛
Pomacanthidae	蓋刺魚科	<i>Centropyge ferrugata</i>	鏽紅刺尻魚
		<i>Centropyge vrolikii</i>	福氏刺尻魚
		<i>Pomacanthus imperator</i>	條紋蓋刺魚
		<i>Pomacanthus semicirculatus</i>	疊波蓋刺魚
		<i>Pygoplites diacanthus</i>	雙棘甲尻魚
Pomacentridae	雀鯛科	<i>Abudefduf sexfasciatus</i>	六線豆娘魚
		<i>Amblyglyphidodon aureus</i>	黃背寬刻齒雀鯛
		<i>Amphiprion clarkii</i>	克氏雙鋸魚
		<i>Amphiprion frenatus</i>	白條雙鋸魚
		<i>Cheiloprion labiatus</i>	厚唇雀鯛
		<i>Chromis chrysurus</i>	短身光鰓雀鯛
		<i>Chromis margaritifer</i>	雙斑光鰓雀鯛
		<i>Chromis ternatensis</i>	三葉光鰓雀鯛
		<i>Chromis viridis</i>	藍綠光鰓雀鯛

		<i>Neopomacentrus cyanomos</i>	藍黑新雀鯛
		<i>Pomacentrus alexanderae</i>	胸斑雀鯛
		<i>Pomacentrus lepidogenys</i>	頰鱗雀鯛
		<i>Stegastes fasciolatus</i>	藍紋高身雀鯛
Priacanthidae	大眼鯛科	<i>Priacanthus hamrur</i>	寶石大眼鯛
Pseudochromidae	擬雀鯛科	<i>Labracinus cyclophthalmus</i>	圓眼戴氏魚
Ptereleotridae	凹尾塘鱧科	<i>Ptereleotris evides</i>	黑尾凹尾塘鱧
Scaridae	鸚哥魚科	<i>Calotomus sp.</i>	鸚鯉屬
		<i>Chlorurus sordidus</i>	藍頭綠鸚哥魚
		<i>Chlorurus sp.</i>	綠鸚哥魚屬
		<i>Scarus forsteni</i>	福氏鸚哥魚
		<i>Scarus sp.</i>	鸚哥魚屬
Serranidae	鮨科	<i>Cephalopholis argus</i>	斑點九刺鮨
		<i>Cephalopholis urodeta</i>	尾紋九刺鮨
		<i>Epinephelus coioides</i>	點帶石斑魚
		<i>Epinephelus merra</i>	網紋石斑魚
		<i>Pseudanthias pascalus</i>	厚唇擬花鱸
		<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	絲鰭擬花鮨
Tetraodontidae	四齒魨科	<i>Arothron sp.</i>	叉鼻魨屬
Zanclidae	角蝶魚科	<i>Zanclus cornutus</i>	角蝶魚

*中文科名及中文學名均引用臺灣魚類資料庫 (<https://fishdb.sinica.edu.tw>) 網頁所示資料。