「110年度臺灣海域重要生態系及海洋保護區 調查與生態服務價值評估」案 成果報告書

(案號:110-P-38)

委託機關:海洋委員會海洋保育署

執行單位:國立臺灣大學海洋中心

計畫主持人:陳韋仁

協同主持人: 黃千芬、魏志潾、單偉彌、柯佳吟

計畫期程:中華民國110年3月至12月

計畫經費:新臺幣 16,600,000 元整

目錄

中文摘要	,	1
Abstract	3	
第一章	計畫背景	7
1.1	計畫緣起與目的	7
1.2	計畫團隊	. 10
第二章	計畫目標	. 13
第三章	工作內容、方法及預期效益	. 15
3.1	臺灣周邊海域生態系-船舶調查	. 15
	3.1.1 背景及預期效益	. 15
	3.1.2 調查範圍、作業內容及頻率	. 16
	3.1.3 採樣方法、觀測及基本資料分析	. 20
3.2	臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區—人員潛水調查	. 28
	3.2.1 背景及預期效益	. 28
	3.2.2 調查範圍、作業內容及頻率	. 29
	3.2.3 採樣方法、觀測及基本資料分析	. 34
3.3	自動監測系統調查	. 38
	3.3.1 背景及預期效益	. 38
	3.3.2 調查範圍、作業內容及頻率	. 38
	3.3.3 資料分析	. 40
	3.3.4 資料倉儲與公眾取用	. 42
3.4	臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區進階資料分析	. 43
	3.4.1 各大類生物之時空、特性資料集	. 43
	3.4.2 各類海洋相關地理資訊圖資收集彙整	. 43
	3.4.3 我國海洋保護區歷年研究報告彙整	. 44
	3.4.4 熱點分析	. 44
	3.4.5 臺灣重要海洋生態系暨海洋保護區生態系統服務評估及價值衡量	. 45
第四章言	周查結果與討論	. 49
4.1	臺灣周邊海域生態系-船舶調查	. 49
	4.1.1 溫鹽深儀 (CTD) 分析	. 53
	4.1.2 環境參數分析	. 90

4.1.3 塑膠微粒/人造物數量、型態及材質分析	145
4.1.4、浮游動物及仔稚魚群聚分析	157
4.1.5 塑膠微粒/人造物與仔稚魚整合分析	173
4.1.6 魚類環境 DNA 分析	173
4.1.7 加值調查分析-底棲生態及人為衝擊分析	180
4.2 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區—人員潛水調查	192
4.2.1 群聚生態分析	194
4.2.2 加值調查分析-底泥生物多樣性及群聚結構	205
4.2.3 加值調查分析-魚類環境 DNA 檢測	215
4.3 自動監測系統調查	220
4.3.1 自動錄音監測工作	220
4.3.2 監測海域之聲景特性	221
4.3.3 動物與船隻聲音特徵	223
4.3.4 水下聲景之動態變化	227
4.3.5 動物聲音多樣性	232
4.3.6 討論	237
4.4 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區進階資料分析	240
4.4.1 各類海洋相關地理資訊圖資收集彙整	240
4.4.2 熱點分析	242
4.4.3 海洋保護區歷年研究報告	245
4.4.4 生態系統服務評估及價值衡量	284
第五章 結論與建議	295
5.1 本年度工作項目總覽	295
5.2 結論與建議	296
5.2.1 臺灣周邊海域生態系-船舶調查	296
5.2.2 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區—人員潛水調查	297
5.2.3 新興海洋生態觀測/分析技術與工具	298
5.2.4 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區進階資料分析	301
機關特別交辦事項:觀新藻礁保護區及大潭藻礁初步探勘	303
參考文獻	313

表目錄

表 1、團隊成員與工作要項分配表。	10
表 2、本計畫規劃之以研究船方式進行船舶調查站點座標列表。	19
表 3、本計畫規劃 110~113 年以人員潛水方式調查之 100 處站點詳細經緯度座標。	30
表 4、調查站點對於海洋資源保護的具體規範之示意表格。	35
表 5、分類生物類群,轉換係數,以及體積估算方法。	36
表 6、110年度完成之以船舶進行調查各站點之座標、深度、作業日期及作業內列	
表。	49
表 7、Nested ANOVA 比較 308μm 以上塑膠微粒/人造物受不同因子影響結果。	149
表 8、春季環島採樣調查 20 個站點之浮游生物採樣資料。	157
表 9、夏季環島採樣調查 20 個站點之浮游生物採樣資料。	158
表 10、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,20 個站點的浮游生物群聚之物種豐富度(Species richness)、香農多樣性(Shannon diversity)和皮洛均勻度(Pielou's evenness)指數。	
表 11、春季環島採樣調查 20 個站點之仔稚魚採樣資料。	
表 12、夏季環島採樣調查 20 個站點之仔稚魚採樣資料。	165
表 13、110 年度春夏季兩次環島採樣調查站點仔稚魚群聚之物種豐富度 (Species richness)、香農多樣性 (Shannon diversity)和皮洛均匀度 (Pielou's	
evenness)指數。	167
表 14、110 年度位於臺灣海峽水域 13 個樣站使用 eDNA 調查方式綜合紀錄之物種數之統計。*冬季只有表水樣本。	
表 15、110 年度位於及臺灣東部、南部及西南部水域 9 個樣站使用 eDNA 調查方	
式綜合紀錄之物種數統計表。	
表 16、水試二號底拖網測站底棲魚類數量統計。	181
表 17、海底廢棄物總數量及總重表。NA 代表該航次未採集或網具損壞,零值代表拖網成功但未發現廢棄物,兩者皆以白色底色表示;該行數字前三高,則分別以橘色及黃色底色表示;其餘介於中間的數值,則以淺灰底色底色代	106
表。	
表 18、110 年度人員潛水調查站點經緯度及完成項目。區域 A: 北台灣; B: 東台灣; C: 澎湖地區。(v),完成採樣但尚未完成分析; f,實驗失敗。	
表 19、各站點不同底棲生物大類的組成。	199

表	20 \	110 年度澎湖樣區 23 個樣點使用 eDNA 調查方式綜合紀錄之物種數統計	
	表	·	. 216
表	21 \	110 年度北台灣樣區 21 個樣點使用 eDNA 調查方式綜合紀錄之物種數統計	
	表	°	. 217
表	22 >	基隆潮境錄音資料收集概況。	. 220
表	23 \	桃園觀新錄音資料收集概況。	. 221
表	24 \	本計畫執行至今所收集與彙整各類海洋相關地理資訊圖資列表。	. 240
表	25 \	海洋保護區之底質型態及覆蓋率 (MEAN±SD)。	. 252
表	26 \	海洋保護區歷年水文調查總表。	. 277
表	27 \	潮間帶各種生態情境下 Mann-Whitney U test 檢定結果。	. 291
表	28 >	亞間帶各種生態情境下 Mann-Whitney U test 檢定結果。	. 292
表	29 \	110年度工作項目與執行進度表。	. 295
表	30 \	各式魚類調查法之優缺點比較表。	. 299
表	31 \	桃園藻礁生態調查樣本採集明細。	. 305

圖目錄

邑	1	、以生態系統為基礎之管理與內涵層面示意圖。	8
圖		、近 (110~113 年)、中 (114~121 年)、長 (122 年~) 期之整體海洋研究與推廣計畫。	9
昌	3	、計畫工作流程圖。	13
置	4	、水試一號試驗船與水試二號試驗船(擷取自水產試驗所網站)。	17
置	5	、科技部委託臺大海洋研究所管理的新海研一號 (NOR1)。	17
圖		、本計畫規劃之以研究船方式進行的環島基本調查(淺藍色及黃色標記)及 特定區域之加值調查(深藍色及黃色標記)站點。紅色標記/範圍為海洋保 護區及野生動物重要棲息環境;綠色網狀方格區為離岸風機開發區。	18
圖		、船上作業實況(拍攝於新海研一號研究船)。(A)CTD採水,(B)動浮/仔稚 魚網採集,(C)底拖網採集,(D)採集之巨型底棲動物及海底垃圾。	20
国	,	、廢棄物樣本處理流程。(a) 大型廢棄漁具在樣站被底拖上船。(b) 廢棄物分樣處理示意圖。(c) 各站點廢棄物冷凍後帶回實驗室進行分樣。(d) 樣站廢棄物(分樣前)。(e) 將生物與廢棄物分開,左側為生物,右側為廢棄物。(f) 塑膠餐具、杯子等常有附著型生物附生,如:藤壺。(g) 平舖分樣前須先加以清潔,以便顯示廢棄物原始樣貌。(h) 完成廢棄物分樣示意圖。	25
回		、常用之多變量分析方法包括排序分析 (ordination analysis) 與集群合分析 (cluster analysis)。排序分析方法包括:PCA: Principal Component Analysis; CA: Correspondence Analysis; PCoA: Principal Coordinate Analysis; NMDS: Nonmetric Multi-Dimensional Scaling; RDA: Redundancy Analysis; CCA: Canonical Correspondence Analysis; db-RDA: distance-based Redundancy Analysis。上述之排序分析方法都依據共變異矩陣之特性根分析 (eigen analysis of the variance-covariance matrix),差別在於資料的常規化 (normalization) 以及拓撲投射方法不同 (different ways of topological projection methods)。這些分析將在矩陣運算語言(例如 R 或 Python)完成。	27
昌])、(a) 臺灣海域珊瑚礁生態系分佈地圖 (紅色標示部分),此圖片取自 Dai and Horng (2009); (b) 臺灣海域周圍多樣的底棲群聚,此圖片取自 Lin and Denis (2019)。	29
圖		、本計畫規劃 110~113 年以人員潛水調查之 100 處站點。淺藍色標記為研究 團隊於本計畫前已調查過的站位(本計畫將再次調查),其歷史資料可做為人 工智慧運算影像辨識之訓練數據 (training data)。紅色標記/範圍為海洋保護 區及野生動物重要棲息環境。(A)臺灣周邊海域;(B)澎湖及南方四島;(C) 東沙環礁。	33

圖	12、從現場調查到實驗室之分析診斷臺灣珊瑚礁生態系底棲生物的多樣性,現 況和生態系中扮演的角色之工作流程圖。右側為資訊/人工智慧 (AI) 工具的 開發,未來將用於整合來自公民科學 (citizen-science) 計畫的數據。ODB:	
	Ocean Data Bank,設置於國立臺灣大學海洋研究所海洋學門資料庫平台。	. 34
昌	13、SoundTrap 300 HF 錄音系統。	. 39
置	14、水下錄音系統之固定方法示意圖與實際佈放之範例。	. 39
圖	15、聲音資料分析流程示意圖。	. 40
圖	16、InVEST 模型系統計畫標章示意圖。	. 46
圖	17、海洋保育署林文琪參加新海研一號8月航次進行隨船海漂垃圾及海洋四足類動物調查。	. 52
日回	18、110年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,臺灣東部、北部和西部海域在 海面(10米)以CTD探測之溫度、鹽度、密度(σθ)、溶氧濃度和溶氧飽和 度資料分佈圖。	. 54
圖	19×110 年春季時站點 FR 01 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	. 56
圖	20 、 110 年夏季時站點 FR 01 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	. 56
圖	21 、 110 年春季時站點 FR 05 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	. 57
圖	22×110 年夏季時站點 FR 05 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	. 58
圖	23 、 110 年春季時站點 FR 06 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 ($\sigma_{ heta}$)、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	. 59
圖	24 、 110 年夏季時站點 FR 06 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	. 59
圖	25 、 110 年春季時站點 FR 13 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 ($\sigma_{ heta}$)、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	. 60
圖	26 、 110 年夏季時站點 FR 13 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 ($\sigma_{ heta}$)、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	. 61
圖	27 、 110 年春季時站點 FR 14 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	. 62
昌	28×110 年夏季時站點 FR 14 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	. 62

置	29×110 年春季時站點 FR 15 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	63
昌	30 、 110 年夏季時站點 FR 15 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	64
昌	31 、 110 年春季時站點 Chen 16 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	65
圖	32 、 110 年夏季時站點 Chen 16 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	65
昌	33 、 110 年春季時站點 Chen 24 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	66
圖	34 、 110 年夏季時站點 Chen 24 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	67
圖	35 、 110 年春季時站點 FR 32 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	68
圖	36 、 110 年夏季時站點 FR 32 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 ($\sigma_{ heta}$)、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	68
圖	37 、 110 年春季時站點 FR 33 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 ($\sigma_{ heta}$)、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	69
圖	38 、 110 年夏季時站點 FR 33 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	70
圖	39 、 110 年春季時站點 Chen 38 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	71
圖	40 、 110 年夏季時站點 Chen 38 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	71
圖	41、110 年春季時站點 FR 39 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	72
圖	42×110 年夏季時站點 FR 39 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。	73
昌	43、110 年春季時站點 FR 40 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	74
置	44×110 年夏季時站點 FR 40 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	74

邑	45、110 年春季時站點 Chen 41 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	75
圖	46×110 年夏季時站點 Chen 41 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
邑	47、110年春季時站點 FR 42 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
邑	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
昌	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ})、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。	
圖	61、臺灣周圍海域在110年春季和夏季採樣調查中,深度50米處之等溫線圖。	85

圖	62、臺灣周圍海域在110年春季和夏季採樣調查中,深度100米處之等溫線圖。	. 86
昌	63、臺灣周圍海域在110年春季和夏季採樣調查中,深度10米處之等密度線圖。	. 87
圖	64、臺灣周圍海域在110年春季和夏季採樣調查中,深度50米處之等密度線圖。	. 87
圖	65、臺灣周圍海域在110年春季和夏季採樣調查中,深度100米處之等密度線圖。	. 88
圖	66、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之溶氧等飽和 度線圖。	. 88
邑	67、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之溶氧等飽和 度線圖。	. 89
邑	68、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之溶氧等飽和度線圖。	. 90
圖	69、110年度在臺灣周圍海域完成春季和夏季兩次環島採樣調查之22個站點位置示意圖,×為春季採樣之站點,●為夏季採樣之站點,並依CTD探測之水文特性區分為東部海域(紅色)、北部海域(綠色)和西部海域(藍色),海域分區邊界以虛線標示。	91
冒	70、對 CTD 和疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及溶氧飽和度分別做資料散佈圖,並分別對春季和夏季測量數值做區域性加權迴歸 (Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS), 曲線為迴歸曲線,陰影區域為測量數值的 95%信賴區間。	. 92
圖	71、對春季和夏季分別以 CTD 和疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及溶氧飽和度沿採樣深度做資料分佈圖,並分別對兩種方法之測量值做區域性加權迴歸(Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS), 曲線為迴歸曲線,陰影區域為測量數值的 95%信賴區間。	. 93
圖	72、110年度春季和夏季雨次環島採樣調查中,臺灣東部、北部和西部海域在海面(10米)以CTD探測之葉綠素α濃度(缺春季)資料,以及採集海水樣本測量之葉綠素α濃度、溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度和矽酸鹽濃度資料分佈圖。	95
图	73、110年春季時站點 FR 01 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集固定深度海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	. 96
昌	74、110年夏季時站點 FR 01 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集固定深度海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃	

	度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探 測之葉綠素α濃度。	97
昌	75、110 年春季時站點 FR 05 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	98
呂回	76、110年夏季時站點 FR 05 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	99
昌	77、110 年春季時站點 FR 06 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	100
国	78、110 年夏季時站點 FR 06 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	101
圖	79、110 年春季時站點 FR 13 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	102
昌	80、110年夏季時站點 FR 13 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	103
昌		
圖	82、110年夏季時站點 FR 14以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	
昌	83、110 年春季時站點 FR 15 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	106
圖	84、110年夏季時站點 FR 15以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸	

	鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	107
昌	85、110 年春季時站點 Chen 16 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	108
昌	86、110年夏季時站點 Chen 16以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝 酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠 素α濃度。	109
昌	87、110 年春季時站點 Chen 24 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	110
昌	88、110年夏季時站點 Chen 24以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	.111
置	89、110年春季時站點 FR 32 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	112
昌	90、110年夏季時站點 FR 32以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	113
昌	91、110年春季時站點 FR 33 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	
圖	92、110年夏季時站點 FR 33 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	115
圖	93、110年春季時站點 Chen 38以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	116
置	94、110年夏季時站點 Chen 38以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝	

	酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	. 117
昌	95、110年春季時站點 FR 39 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	. 118
呂回	96、110年夏季時站點 FR 39 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	. 119
昌	97、110年春季時站點 FR 40 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	. 120
圖	98、110年夏季時站點 FR 40 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	. 121
昌	99、110年春季時站點 Chen 41 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	. 122
圖	100、110年夏季時站點 Chen 41 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	. 123
昌	101、110 年春季時站點 FR 42 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝 酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	. 124
昌	102、110年夏季時站點 FR 42 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝 酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠 素α濃度。	. 125
圖	103、110 年春季時站點 FR 45 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝 酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	126
昌	104、110年夏季時站點 FR 45以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面 資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝	

	酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素 α 濃度,以及 CTD 探測之葉綠素 α 濃度。	127
邑	105、110 年春季時站點 FR 46 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	128
昌	106、110年夏季時站點 FR 46 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	129
圖	107、110 年春季時站點 FR 51 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	130
圖	108、110 年夏季時站點 FR T1 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	131
圖	109、110 年夏季時站點 FR H1 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	132
昌	110、110 年春季時站點 FR 55 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	133
昌	111、110年夏季時站點 FR 55 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	134
昌	112、110 年春季時站點 FR 62 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。	135
昌	113、110年夏季時站點 FR 62 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料,以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。	136

邑	114、臺灣 局 圍 海域在 110 年春 李 和 夏 李 採 禄 調 查 中 , 深 度 10 米 處 之 硝酸 鹽 等 濃 度 線 圖 。	. 136
昌	115、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之硝酸鹽等 濃度線圖。	. 137
昌	116、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之硝酸鹽等 濃度線圖。	. 138
昌	117、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之亞硝酸鹽等濃度線圖。	. 138
昌	118、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之亞硝酸鹽等濃度線圖。	. 139
昌	119、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之亞硝酸鹽等濃度線圖。	. 139
圖	120、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之磷酸鹽等 濃度線圖。	. 140
昌	121、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之磷酸鹽等濃度線圖。	. 141
昌	122、臺灣周圍海域在 110 年春季採樣調查中,深度 50 米處之磷酸鹽等濃度線圖。	. 141
昌	123、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之二氧化矽 等濃度線圖。	. 142
圖	124、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之二氧化矽 等濃度線圖。	. 143
置	125、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之二氧化矽等濃度線圖。	. 143
昌	126、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之葉綠素α等 濃度線圖。	. 144
昌	127、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之葉綠素α等 濃度線圖。	. 144
昌	128、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之葉綠素α 等濃度線圖。	. 145
昌	129、對塑膠微粒/人造物數量資料進行 Box-Cox transformation 轉換前與轉換後之資料頻率分佈圖。	. 146

量	130、110年度春李和夏李兩次環島採樣調查中,在22個站點合併水層計算採 樣總水量及塑膠微粒/人造物總量,計算各站點之塑膠微粒/人造物濃度(個/m³)。	. 147
圖	131、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,北部、東部和西部海域在不同水層間 308μm 以上塑膠微粒/人造物數量,以及過濾器材中存在 308μm 以上塑膠微粒/人造物的背景值參考。	. 149
圖	132、110年度春季和秋季採樣在各站點記錄不同型態之塑膠微粒/人造物。(a) 纖維狀、(b)碎片狀和(c)球型。惟球形的塑膠微粒/人造物在全部22個站點中 皆未觀察到。	150
昌	133、110 年度春季採樣中,在 20 個站點觀察到 308μm 以上不同型態之塑膠微 粒/人造物在不同水層間的數量分布。	150
昌	134、110 年度夏季採樣中,在 21 個站點觀察到 308μm 以上不同型態之塑膠微 粒/人造物在不同水層間的數量分布。	151
置	135、春季與夏季之塑膠微粒/人造物數量在不同海域的相對比例。	152
昌	136、春季與夏季之塑膠微粒/人造物數量在不同海域中不同水層的相對比例。	152
昌	137、FR 05、FR39、FR40 在兩季採樣之塑膠微粒/人造物 FTIR 材料定性分析	
	結果。左圖為材質粗分之相對比例、右圖為塑膠材質細分之相對比例。	153
置	138、站點 FR 05、FR 39 及 FR 40 在兩季採樣之塑膠材質細分之相對比例。數字表示實際數量。	154
置	139、站點 FR 05、FR 39 及 FR 40 在兩季採樣之纖維素材質細分之相對比例。 數字表示實際數量。	154
昌	140、站點 FR 05、FR 39和 FR 40 在兩季採樣之塑膠微粒/人造物粗分之相對比例。數字表示實際數量。	155
昌	141、站點 FR 05、FR 39和 FR 40 在兩季採樣之塑膠材質細分之相對比例。數字表示實際數量。	156
置	142、站點 FR 05、FR 39和 FR 40 在兩季採樣之纖維素細分之相對比例。數字表示實際數量。	156
昌	143、春季和夏季兩次環島採樣調查中20個站點的浮游生物密度比較。	159
圖	144、春季和夏季兩次環島採樣調查中20個站點的浮游生物物種豐富度比較。	160
昌	145、春季和夏季兩次環島採樣調查中20個站點的浮游生物香農多樣性比較。	161
圖	146、春季和夏季兩次環島採樣調查中20個站點的浮游生物皮洛均勻度比較。	161

置	147、春季和夏季兩次環島採標調查中,臺灣東部、北部和西部海域浮游生物群聚之密度、物種豐富度(Species richness)、香農多樣性(Shannon diversity)和皮洛均勻度(Pielou's evenness)指數。	. 162
圖	148、春季與夏季浮游生物群聚相似度,圓圈標示各季節群聚之標準差範圍 (standard deviation ellipse)。	. 163
邑	149、臺灣東部、北部和西部海域浮游生物群聚相似度,圓圈標示各海域群聚之標準差範圍(standard deviation ellipse)。	. 163
昌	150、110年度春季和夏季兩次環島採樣調查中 20 個站點的仔稚魚量豐度 (/100m³)比較。	. 166
昌	151、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中 20 個站點的仔稚魚物種豐富度 (Species richness)比較。	. 168
圖	152、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中 20 個站點的仔稚魚香農多樣性 (Shannon diversity)比較。	. 169
圖	153、110年度春季和夏季兩次環島採樣調查中 20 個站點的仔稚魚皮洛均勻度 (Pielou's evenness)比較。	. 170
圖	154 、比較 110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中, 20 個站點的仔稚魚群聚之量豐度 (Abundance, $/100 \mathrm{m}^3$)、物種豐富度 (Species richness)、香農多樣性 (Shannon diversity)和皮洛均勻度 (Pielou's evenness)指數資料散佈圖。	. 171
圖	155、110年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,在種別層級(Species level)計算各站點之間仔稚魚群聚相似度,再標示於2D空間。綠色標示北部海域站點,紅色標示東部海域站點,藍色標示西部海域站點,星號則標示各海域之群集中心點,圓圈標示各海域群集之標準差範圍(standard deviation ellipse)。	. 172
昌	156、110年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,在科別層級(Family level)計算各站點之間仔稚魚群聚相似度,再標示於2D空間。綠色標示北部海域站點,紅色標示東部海域站點,藍色標示西部海域站點,星號則標示各海域之群集中心點,圓圈標示各海域群集之標準差範圍(standard deviation ellipse)。	. 172
邑	157、110年度春季與夏季時仔稚魚豐度與塑膠微粒/人造物濃度間相關性。	. 173
昌	158、臺灣周邊海域測站本年度於不同季節魚類 e-DNA 調查之海洋魚類多樣性在空間及時間上差異之視覺化樣本分組比較 NMDS 分析結果(以空間的角度來呈現)。	. 175
昌	159、海研一號 110 年 8 月調查航次海豚實錄 (湯淨提供)。	. 176
冒	160、臺灣周邊海域測站本年度於不同季節魚類 e-DNA 調查之海洋魚類多樣性在空間及時間上差異之視覺化樣本分組比較 NMDS 分析結果(以時間的角度來呈現)。	. 178

置	161、新海研一號研究船首航採集到的魚類新記錄種,小眼鼬鳚 Spectrunculus grandis (Günther 1877) (Ophidiidae) (上圖及下圖中間)。	. 179
置	162、本年度調查的 12 個底拖網測站海洋底棲性魚類魚類多樣性在時間及空間	
	上差異之視覺化樣本分組比較 NMDS 分析結果。註:9月份 OT3 樣本數太少	
	(只有3,且分別屬3個不同物種),該筆資料不併入分析。	. 182
圖	163、底棲魚類分布熱點圖。(a) 實際觀測物種數熱點分布;(b) 估計物種數熱點	
	分布。	. 183
圖	164、樣本數推估之物種多樣性圖。實心線條代表由實際樣本內差法獲得;虛線線條代表為外差法推估而來。	. 184
圖	165、樣本數推估努力量圖。y值越接近1,代表樣本涵蓋的實際物種數越接近推估物種數。	. 184
昌	166、樣本涵蓋物種多樣性比例圖。實心線條代表由實際樣本內差法獲得;虛線線條代表為外差法推估而來。	
昌	167、拖網站點位置圖。紫色箭頭為水深 20 公尺以 ADCP 求得之平均流場與流速。橘色圓圈代表 5 月航次中廢棄物數量最多前三名,黃色圓圈代表 9 月廢棄物數量最多前三名,藍色三角形為其餘之站點,站點 OT2-2 因兩航次均未獲得資料,故不納入。資料來源:科技部海洋學門資料庫 (Ocean Data	
	Bank) ·	. 186
昌	168、廢棄物熱點分布圖。(a)廢棄物個數熱點分布;(b)廢棄物重量熱點。	. 187
圖	169、各站點廢棄物數量比較圖。	. 187
昌	170、非度量多維度分析圖。(a)廢棄物數量組成;(b)廢棄物重量組成。水試二號5月航次、9月航次分別以淺綠色、淺藍色表示。	. 188
圖	171、廢棄物細項分類數量圖。	. 189
置	172、各航次廢棄物細項分類數量比較圖。	. 189
置	173、廢棄物細項出現頻率圖。	. 189
置	174、各站點生物組成及重量比較圖。	. 190
昌	175、生物量與廢棄物個數散佈圖。紅色代表 5 月航次;藍色代表 9 月。	. 191
昌	176、各類群生物量與廢棄物個數線性迴歸圖。	. 191
圖	177、臺灣(左上)、東台灣(右上)、澎湖地區(左下)及北台灣(右下)周邊海域;截至110年9月底為止,已完成且為預定調查之站點標示為綠色,已完成但非為預定調查之站點標示為黃色,因天氣因素影響順延至明年之站即即為松名,未來公開本文計即為淺藍名。	102
	點則為橙色,未來欲調查之站點為淺藍色。	. 192

昌	178、北台灣(左)、東台灣(右)各站點所調查的穿越線方向。	. 195
昌	179、澎湖地區(左)、北台灣(中)、東台灣(右)之生物大類覆蓋率。	. 195
昌	180、位於澎湖地區(左)、北台灣(中)、東台灣(右)各站點之底棲組成百分比,本研究團隊將這些圓餅圖繪製在 Leaflet 地圖上使此結果更視覺化。	. 196
昌	181、澎湖地區(左)、北台灣(中)、東台灣(右)的石珊瑚組成百分比,藍色圓圈大小表示石珊瑚在該站點的覆蓋率,本研究團隊將此覆蓋率繪製在 Leaflet 地圖上使此結果更視覺化。	. 196
昌	182、澎湖地區(左)、北台灣(中)、東台灣(右)的藻類組成百分比,綠色 圓圈大小表示藻類在該站點的覆蓋率,本研究團隊將此覆蓋率繪製在 Leaflet 地圖上使此結果更視覺化。	. 197
昌	183、澎湖地區(左)、北台灣(中)、東台灣(右)的草皮狀海藻組成百分 比,淺綠色圓圈大小表示藻類在該站點的覆蓋率,本研究團隊將此覆蓋率繪 製在 Leaflet 地圖上使此結果更視覺化。	. 197
圖	184、Leaflet 地圖中包含了海洋保護區的種類 (左)以及調查區域例如:懷恩堂(右上)、磯崎(右下)。	. 198
昌	185、CoralNet 的人工智慧分析之準確性,準確率在屬加形態下為 67.7%,而在底棲生物大類下則高達 87.1%。	. 198
邑	186、北方三島水下實驗照,可見高覆蓋率的珊瑚。	. 203
圖	187、野柳海域觀察到的人工雜交種龍虎斑 (棕點石斑魚 Epinephelus fuscoguttatus 及鞍帶石斑魚 Epinephelus lanceolatus 之雜交種)。	. 203
昌	188、額外採樣地點:協和電廠 (未來可能的填海造陸區域)。	. 204
圖	189、上岸後,目擊漁民以水肺潛水並持魚槍所獵捕到的魚(2021年9月,鼻頭)。	. 204
圖	190、沉船殘骸散落在花瓶嶼五米處(2021年8月,花瓶嶼)。	. 204
昌	191、沉船殘骸散落在花瓶嶼五米處(2021年8月,花瓶嶼)。	. 204
邑	192、在基暈水下採樣地點附近,撿拾許多廢棄寶特瓶。	. 204
昌	193、磯崎水下纏繞的漁網,鄰近區域有兩個漁業資源保育區。	. 204
圖	194、(a)澎湖與(b)北臺灣的採樣地點。尚未分樣的地點以藍色標示;納入分析的地點以紅色表示。	. 205
昌	195、北澎湖(左),南澎湖(中),與台灣東北角(右)的生物密度。	. 207
昌	196、北澎湖(左一),南澎湖(左二),台灣東北角(右二),與桃園(右一)的生物	
	星。	. 207

置	197、北澎湖(左一)、南澎湖(左二)、北台灣(右二)、桃園(右一)的各站位生物密度與生物量。	. 208
昌	198、北澎湖(左一)、南澎湖(左二)、北台灣(右二)、與桃園(右一)的各站位生物密度百分比。	. 209
昌	199、北澎湖(左一)、南澎湖(左二)、北台灣(右二)、與桃園(右一)的各站位生物量百分比。	209
圖	200、(a)生物密度與(b)生物量的聚類分析圖。北澎湖、南澎湖、與台灣東北角分別以紅色、藍色、紫色表示。	. 211
圖	201、(a)生物密度與(b)生物量的非度量多維度分析圖。北澎湖、南澎湖、與台灣東北角分別以紅色、藍色、紫色表示。	. 211
圖	202、澎湖生物密度的 (a) 聚類分析圖, (b) 非度量多維度分析圖,以及 (c) 聚類於地圖上的分布。雖然輪廓分析的顯示的最佳聚類數為 2 群,我們將該圖的聚類數增加到次佳聚類數,4 群。	212
圖	203、澎湖生物量的 (a) 聚類分析圖, (b) 非度量多維度分析圖,以及 (c) 聚類於地圖上的分布。	. 213
圖	204、台灣東北角生物密度的 (a) 聚類分析圖, (b) 非度量多維度分析圖,以及 (c) 聚類於地圖上的分布。	. 214
昌	205、台灣東北角生物量的 (a) 聚類分析圖, (b) 非度量多維度分析圖,以及 (c) 聚類於地圖上的分布。	. 215
圖	206、本年度44個珊瑚礁區調查樣點海洋魚類多樣性在空間上差異之視覺化樣本分組比較分析結果。	. 219
昌	207、基隆潮境自動錄音監測站。左上圖為水下錄音監測站之架設樣態,左下圖為潛水人員透過岸潛方式佈放水下錄音系統,右圖為自動錄音監測站與陸地之相對位置。	. 220
昌	208、桃園觀新海域之自動錄音監測站。左上圖為潛水人員和船上工作人員正在準備固定自動錄音系統所需之底碇重物與船錨之現場作業狀況。左下圖為潛水人員透過船潛方式佈放水下錄音系統,由於當地能見度較差,因此無法拍攝水下錄音監測站之架設樣態。右圖為自動錄音監測站與陸地之相對位置。	221
昌	209、以視覺化方法呈現基隆潮境的水下聲景。(A-C) 三次調查的長期時頻譜圖,挑選三個時段與頻率範圍放大呈現(D) 甲殼類動物聲音、(E) 魚類合唱,以及(F) 船隻行駛噪音。圖片橫軸代表錄音日期與時間,縱軸表示聲音頻率,顏色則代表功率頻譜密度。	222

圖 210、以稅寬化方法主規稅園觀新的水下聲京。(A-C) 三次調查的長期時期 圖,挑選三個時段與頻率範圍放大呈現(D) 甲殼類動物聲音、(E) 魚類合 以及(F) 船隻行駛噪音。圖片橫軸代表錄音日期與時間,縱軸表示聲音頻 顏色則代表功率頻譜密度。	冷唱 , 頁率,
圖 211、珊瑚礁魚類聲音之聲學特徵。(A) 時頻譜圖,顯示聲音隨時間(橫軸頻率(縱軸)的變化特性,在本範例中魚類聲音的出現時間大約在 1.4 — 秒之間。(B) 功率譜密度之平均值,可呈現出魚類聲音的峰值能量約在 6 Hz,主要能量分佈在 300 - 900 Hz之間。(C) 聲音波形圖,共有 17 個脈行波。	3.4 00 衝聲
圖 212、石首魚聲音之聲學特徵。(A) 時頻譜圖,顯示聲音隨時間(橫軸)與 (縱軸)的變化特性,在本範例中魚類聲音的出現時間大約在 0.08-0.2 之間。(B) 功率譜密度之平均值,可呈現出魚類聲音的峰值頻率約在 350 Hz,主要能量分佈在 1000-5000 Hz 之間。(C) 聲音波形圖,共有 14個展 聲波。	5 秒 0 脈衝
圖 213、甲殼類動物聲音之聲學特徵。(A) 時頻譜圖,呈現聲音隨時間(橫軸頻率(縱軸)的變化特性,每一次的脈衝聲波會以一條細長的寬頻訊號 現。(B)功率譜密度之平均值,可觀察和魚類聲音完全不同的寬頻聲音特 (C) 聲音波形圖,在本範例中甲殼類動物聲音隨機出現於整段錄音中,脈波相當多且強度不一。	呈性。
圖 214、船隻行駛噪音之聲學特徵。(A) 時頻譜圖,呈現聲音隨時間(橫軸) 率(縱軸)的變化特性,在本範例中船隻噪音的出現時間大約在 20-45 和間,頻譜圖上可清楚發現到 U型的干涉圖樣。(B) 功率譜密度之平均值,觀察到船隻噪音在頻率軸上呈現多個共振峰之特性。(C) 聲音波形圖,在例中隨著船隻接近,聲音強度在 30-35 秒達到最強。	砂之 可 E本範
圖 215、運用聲源分離模型分析水下聲景的動態變化。從上數來第一張圖為去掉背景噪音的長期時頻譜圖。第二張圖為透過聲源分離模型重建的魚類看長期時頻譜圖。第三張圖為重建的甲殼類動物聲音長期時頻譜圖。第四號為重建的船隻行駛噪音長期時頻譜圖。	合唱 張圖
圖 216、基隆潮境聲景之日夜與季節變化。(A)每五分鐘聲壓值中位數之變化勢。(B)魚類合唱相對強度變化。(C)甲殼類動物聲音相對強度變化。(D)、噪音相對強度變化。橫軸與縱軸分別代表錄音日期與 24 小時,顏色則代音強度,依據整個調查時期的最小值與最大值正規化到 0 與 1 之間的範圍空白部分代表沒有進行錄音調查之時段。(B)、(C)圖中白虛線代表滿潮時紅色虛線代表乾潮時間。	人為 表聲 圍, 手間,
圖 217、桃園觀新聲景之日夜與季節變化。(A)每五分鐘聲壓值中位數之變化。 勢。(B) 鱼類合唱相對強度變化。(C) 甲殼類動物聲音相對強度變化。(D)	

	噪音相對強度變化。橫軸與縱軸分別代表錄音日期與24小時,顏色則代表聲	
	音強度,依據整個調查時期的最小值與最大值正規化到0與1之間的範圍,	
	空白部分代表沒有進行錄音調查之時段。(B)、(C)圖中白虛線代表滿潮時間,	
	紅色虛線代表乾潮時間。	231
圖	218、基隆潮境動物聲音聚類結果。橫軸與縱軸分別代表錄音日期與24小時,	
•	顏色則代表聲音類別之編號。	233
回		
回	219、基隆潮境10類動物聲音之頻譜特性。橫軸為聲音類別之編號,縱軸代表	222
	頻率,顏色代表訊雜比。	233
啚	220、基隆潮境7月3日(左圖)與9月4日(右圖)之長期時頻譜圖,兩天均	
	為假日,可以觀察到在海域活動解封之後,大量人為活動產生的低頻噪音在	
	白天長時間持續出現。	234
昌	221、基隆潮境動物聲音多樣性於三次調查之統計變化。上方的小提琴圖呈現	
	資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率,在每一組資料中若是寬度越寬則	
	代表資料分布機率越高,小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位	
	數,黑色粗線表示四分位數範圍,黑色細線代表經過去除離群值之後的資料	
	範圍,而超過黑色細線的資料為離群值,離群值以四分位距之1.5倍進行判	
	斷。下方為多樣性指數在三次調查期間內的變化趨勢。	234
圖	222、桃園觀新動物聲音聚類結果。橫軸與縱軸分別代表錄音日期與24小時,	
	顏色則代表聲音類別之編號。	236
ान		
回	223、桃園觀新 10 類動物聲音之頻譜特性。橫軸為聲音類別之編號,縱軸代表	226
	頻率,顏色代表訊雜比。	236
圖	224、桃園觀新動物聲音多樣性於三次調查之統計變化。上方的小提琴圖呈現	
	資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率,符號說明見圖20。下方為多樣性	
	指數在三次調查期間內的變化趨勢。	237
圖	225、本計畫執行至今所收集與彙整之各類海洋相關地理資訊圖資空間分布。	
	臺灣周遭海域海底地形圖使用科技部自然司海洋學門資料庫 200 公尺網格間	
	距地形模型 (https://odbgo.oc.ntu.edu.tw/odbargo/)。	. 240
晑	226、110年度分季節仔稚魚及浮游生物量豐度熱點。	242
回	227、110年度分季節仔稚魚及浮游生物種豐度熱點。	243
昌	228、110年度年度仔稚魚及浮游生物熱點。	243
昌	229、110年度分季節底拖魚類量豐度熱點。	244
置	230、110年度分季節底拖魚類種豐度熱點。	. 244
置	231、110年度年度分季節底拖魚類熱點。	245
圖	232、國家公園海洋物種調查年度。	247

昌	233	、以野生動物保育法劃設之海洋保護區海洋物種調查年度。	248
置	234	、漁業資源保護區海洋物種調查年度。	249
圖	235	、海洋保護區之底質型態及覆蓋率。	251
圖	236	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之魚類物種數。	261
啚	237	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之軟體動物物種數。	262
圖	238	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之棘皮動物物種數。	263
啚	239	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之甲殼動物物種數。	264
啚	240	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之珊瑚物種數。	265
啚	241	、海洋保護區歷年單一年度調查最大之海藻物種數。	266
圖	242	、海洋保護區歷年調查之魚類物種總數。	269
圖	243	、漁業資源保護區歷年魚類物種數。	271
圖	244	、漁業資源保護區歷年軟體動物物種數。	271
圖	245	、漁業資源保護區歷年棘皮動物物種數。	272
圖	246	、漁業資源保護區歷年甲殼動物物種數。	273
啚	247	、漁業資源保護區歷年海藻物種數。	274
啚	248	、國家公園歷年珊瑚物種數。	275
置	249	、漁業資源保護區歷年珊瑚物種屬數。	275
啚	250	、墾丁國家公園歷年鯨豚物種數。	276
啚	251	、棉花嶼、花瓶嶼野生動物保護區與馬祖列島燕鷗保護區歷年海鳥物種	
	數	·	276
圖	252	、馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗之歷年最大量。	277
置		、2018年東沙環礁國家公園與台江國家公園之水質調查測站及台江國家公 黑水溝之各測站年度採樣最大深度。	279
啚	254	、2018年東沙環礁國家公園之推估表層水文分布圖。	280
昌	255	、2018年台江國家公園之推估表層水文分布圖。	282
圖	256	、2018年台江國家公園黑水溝航道水文剖面圖。	283
圖	257	、正向景觀點之視野評估價值。	285
圖	258	、負向景觀點之視野評估價值。	286
圖	259	、正 自相 疊 之 視 野 評 任 價 值 。	286

圖 260、年均觀光人次照片量之分布圖 (每格 100*100m)。28	37
圖 261、海洋科技博物館每月觀光人次 (2018-2021 年;資料來源基隆市觀光局:https://accounting.klcg.gov.tw/tw/Subject/ThemesService?TSerNo=0600018A)。 28	38
圖 262、基隆望海巷潮境海灣保育區願付價格問卷填答者之基本資料。	39
圖 263、基隆望海巷潮境海灣保育區願付價格問卷填答者之環境背景。29	90
圖 264、基隆望海巷潮境海灣保育區願付價格問卷填答者之願付意願及價格。 29) 1
圖 265、潮間帶各種生態情境下之願付價格。) 2
圖 266、亞潮帶珊瑚覆蓋率與物種數情境下之願付價格。) 2
圖 267、潮間帶稀有物種、魚牆及垃圾量情境下之願付價格。) 3
圖 268、本計畫規劃之以桃園藻礁樣區調查站點。淺藍色標記為 e-DNA 水樣採集 位置;黃色標記為底泥樣本採集位置; 紅色網狀方格區為觀新藻礁生態系野生 動物保護區。	04
圖 269、今年度收集到的桃園藻礁石珊瑚。(A) 3/29 於觀新藻礁生態系野生動物保護區潮間帶觀察到的柴山多杯孔珊瑚 (Polycyathus chaishanesis); (B) 3/29 於觀新藻礁生態系野生動物保護區潮間帶觀察到的疑似腋生叢杯珊瑚 (Cyathelia cf. axillaris); (C) 8/10 於觀新藻礁生態系野生動物保護區潮間帶觀察到的微孔珊瑚科 (Poritidae) 的珊瑚群體; (D)於觀新藻礁生態系野生動物保護區潮間帶採集到的微孔科珊瑚株在實驗室養殖缸培養復育的狀況 (11/01 拍攝)。	80
圖 270、本年度採集的石珊瑚樣本之 <i>COI</i> ,以及由基因資料庫 (NCBI Genbank)取得的石珊瑚樣本之同源基因序列,經 maximum likelihood 親緣關係分析方法推衍之物種親緣關係樹。	10
圖 271、今年 8/10 採集的藻礁石珊瑚物種生殖腺發育狀況。(A) 具有卵細胞的柴山多杯孔珊瑚樣本編號 7 組織切片圖;(B) 具有卵細胞的柴山多杯孔珊瑚樣本編號 8 組織切片圖;(C) 無觀察到明顯正在發育的生殖細胞之柴山多杯孔珊瑚樣本編號 6 組織切片圖;(D) 無觀察到明顯正在發育的生殖細胞之柴山多杯孔珊瑚樣本編號 9 組織切片圖;(E) 具有快成熟卵細胞之卷黑星珊瑚樣本編號 10 組織切片圖;(F) 無觀察到正在發育段的生殖細胞之史氏伯納孔珊瑚樣本編號 11 組織切片圖。Scale: 100 μm	12



中文摘要

人們在利用海洋的同時也對其生態系統造成嚴重的衝擊,如何在保育基礎之下, 促進海洋的永續利用是非常重要且迫切的議題。在此,本團隊利用海洋科學中的新興 技術及整合式研究方法,如環境 DNA (eDNA)/次世代定序之生命條碼分析、智慧型 監測系統、人工智慧及影像/聲音自動辨識等,提出本研究規劃,期望在近期內(即 110~113 年)從臺灣 0~3 海浬周邊海域包括重要海洋生態系環境及保護區調查出發,瞭 解與親近臺灣沿近岸環境,隨後持續擴展至 12 海浬海洋友善區並增加深海調查計畫構 想,期待調查資料在臺灣周圍海域在受衝擊或干擾後可供其生態系韌性與可恢復的彈 性之評估。本計畫有別於以往由不同單位委託不同團隊進行調查常導致調查資料無法 整合的現象,我們使用一套標準化的調查方式,以建立我國海洋包括重要生態系及海 洋保護區固定測站之長期生態與環境基礎資料調查。其工作內容包含(1)臺灣周邊海域 生態系-船舶調查; (2) 臺灣海域重要生態系及海洋保護區(以珊瑚礁區為主)-人員潛 水調查; (3) 自動監測系統之建置與調查; (4) 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區 資料庫建立與歷年資料庫及本案生態調查之成果資料整合,並在計畫後期做到進階生 態熱點分析及生態系統服務評估與價值衡量。我們期望分析結果可作為我國海洋保育 署或其它單位/組織未來研究,或推動保育、復育、環境教育推廣等相關工作之重要參 考。

今年度我們完成了 41處的臺灣周邊海域船舶調查,並在西部海域進行了 24處的加值調查。水文調查資料顯示,臺灣周邊海域大致可依海水特性分為北、東及西三個區域,以春季較為明顯。海洋>308μm 微塑膠/人造物在春季時以西部海域數量最多,其次為北部海域;夏季時在西北與東北海域數量較高,且微塑膠/人造物的型態則幾乎皆是纖維狀。浮游生物東部海域在春、夏兩季皆有較佳生物多樣性表現,仔稚魚則樣點間差異小,東北部與澎湖海域在春、夏兩季生物多樣性較高。整年度魚類 e-DNA 調查共偵測到 141 科 570 個海洋魚類物種的序列,以及 3 科 12 種海洋哺乳類動物的序列。魚類多樣性分析結果則顯示多樣性之呈現存在有空間上與時間上的差異。從兩航次調查西部測站得到之海底垃圾結果分析,5 月份平均每平方公里收集 240 個海底廢棄物,9 月份平均每平方公里收集 186 個海底廢棄物,塑膠類約佔總數量的百分之九十九。兩航次採集的海廢總密度與總生物量或多樣性並無顯著關係,且分布熱點並不相同。

人員潛水調查部分,今年度已完成臺灣三大珊瑚礁區(澎湖、北臺灣及東臺灣) 共 53 處站點的調查。分析結果指出,在保護區內的澎湖南方四島國家公園及北方三島 的彭佳嶼及棉花嶼之珊瑚礁大多繁盛。底泥生物多樣性及群聚結構分析顯示北澎湖、南澎湖及北台灣的珊瑚礁區不論是生物密度或生物量皆明顯高於額外增加調查的桃園非珊瑚礁底泥樣站,顯示珊瑚礁的存在可能有促進底泥生物生長的效應。珊瑚礁區魚類 e-DNA 分析目前共偵測到 111 科 588 個海洋魚類物種的序列,以及 2 科 2 種的海洋哺乳類動物的序列;其個別站點的物種多樣性和珊瑚礁生態調查結果一致,大致上生態環境佳且位在保護強度高的魚類物種數較高。

本團隊在基隆潮境、桃園觀新兩處海域架設之自動錄音監測系統之分析結果顯示, 兩處測站夜間皆能夠偵測到多樣化的魚類合唱與甲殼類動物聲音,魚類合唱的聲學特 徵在兩處海域明顯不同,主要是與當地的魚類群聚結構有關。

在歷年資料生態調查之彙整方面,本計畫迄今彙整海洋保護區歷年報告共計 77 篇。本年度生態系統服務評估以完全禁漁區之基隆市望海巷潮境海灣資源保育區作為範例,先就自然休閒及旅遊價值方面進行評估,以視野價值來看,潮境保育區及北側公園有最高視野價值,長灘里漁港週遭與望海巷漁港之間則最低。當進行願付價格網路問卷調查以作為評估之參考時,以當前環境狀態而言,超過九成的受訪者願意因為「海洋資源需要更多經費來維護」支付入園費/保育金。當環境改變優於現況時願付價格會提升。

Abstract

When people use the ocean, they also cause a serious impact on the marine environment. How to promote the sustainable use of marine ecosystems is a very important and urgent issue in biological conservation. In this project, the emerging technologies concomitant with integrated approaches in marine research, such as environmental DNA (eDNA) / nextgeneration sequencing of meta-barcoding analysis, intelligent monitoring systems, artificial intelligence, and automatic image/sound recognition, etc., were used to conduct works on monitoring for guidance on marine conservation and restoration. Those are necessary steps in today's world in which the resilience of the ecosystems needs to be considered after being impacted or disturbed. In the near future (from 2021 to 2024), we expect to investigate the nearshore waters (coastal environments, e.g., 0-3 nautical miles from the shore) of Taiwan, including most of the representatives of the important marine ecosystems and protected areas around the country. Later, we further planned to expand the survey areas to the offshore (12 nautical mile marine off the coast or "ocean friendly area") and to eventually and possibly include the deep-sea environments. We are looking at defining standardized survey methods that set a baseline for future work on long-term ecological and environmental surveys. The present research work includes (1) ship-based investigations of Taiwan's surrounding marine ecosystems; (2) diving-based surveys on Taiwan's marine ecosystems and marine protected areas (mainly coral reef areas); (3) establishment and implementation of automatic monitoring system; (4) establishment of a database of important marine ecosystems and marine protected areas in Taiwanese waters from the present and past (historical) data. At the later stage of this research, the identification of ecological hotspots and the accurate evaluation of the ecosystem services may serve for better conservation of the natural heritage in Taiwan. Eventually, we hope that the obtained data and analytical results from our research can be used as an important reference for future work of the OCA or other organizations as well as for the purposes of conservation, rehabilitation, and environmental education in Taiwan.

During the course of this project, we completed 41 main plus 24 additional ship-based investigations on nearshore waters surrounding Taiwan. According to hydrological survey data, the waters surrounding Taiwan can be roughly divided into three regions: North, East, and West, with the most obvious in spring season. Marine >308µm microplastics/artificial materials have the largest number in the West in spring, followed by the North; in summer, the numbers of microplastics/artificial materials are higher in the northwest and northeast regions. The state of microplastics/artificial materials is almost all cellulous. Plankton showed higher biodiversity in

the East region both in spring and summer, while larvae showed higher biodiversity in the northeast and Penghu regions in two seasons and existed low differences among sampling sites. Throughout the year, the fish e-DNA survey has detected the sequences of 570 marine fish species in 141 families, as well as the sequences of 12 marine mammals in 3 families. The results of fish diversity analysis show that there are spatial and temporal differences in the presentation of diversity. According to the analysis of the results of the seabed debris collected from the western surveyed stations during the two cruises, an average of 240 debris were collected per square kilometer in May, and an average of 186 debris were collected per square kilometer in September. Plastics accounted for about 99% of the total quantity. The total density of marine debris collected from the two cruises has no significant relationship with the total biomass or diversity, and the distribution hot spots are not the same.

For the diving-based survey part, a total of 53 sites located in the three major coral reef areas of Taiwan (Penghu, Northern Taiwan and Eastern Taiwan) have investigated this year. The results pointed out that most of the coral reefs in South Penghu Marine National Park and the Pengjia Island and Cotton Island are in relatively good conditions. The reef sediment communities of North Penghu, South Penghu, and Northern Taiwan had significantly higher density and biomass than the non-reef sediment in Taoyuan, indicating that the coral reefs may promote the standing stock of sediment organisms. Fish e-DNA analysis in the coral reef waters in Taiwan has so far detected 111 families of 588 marine fish species sequences, as well as 2 families and 2 species of marine mammal sequences; the species diversity of individual sites seems consistent with the coral reef ecological survey results. That is, the number of fish species detected from the sites with a good environmental condition and/or high protection intensity is relatively high.

The analysis using the data collected by the acoustic loggers positioned at the sea floors of the following sites: Keelung Chaojing Park and Guanxin Algal Reefs showed that both sites can detect fish choruses and the sounds produced by crustacean during the nights. However, the acoustic characteristics of fish choruses for these two areas were obviously different, mainly due to the local structure of fish communities.

With regard to the compilation of historical data from existing ecological surveys, the project has compiled a total of 77 historical reports on marine protected areas so far. This year's ecosystem service evaluation took the Chaojing Resource Conservation Area in Wanghai Lane, Keelung, which is a completely prohibited fishing area, as an example. The evaluation was first made in terms of natural leisure and tourism value. From the perspective of vision value, the Chaojing Conservation Area and its northern park have the highest value whereas the

neighborhood of Changtanli fishing harbor and area between the harbor and fishing port of Wanghaixiang have the lowest value. When conducting a willingness-to-pay online questionnaire as a reference for evaluation, in terms of the current environmental conditions, more than 90% of the respondents are willing to pay the entrance fee/restoration fee because "the marine resources need more funds to maintain". The willingness to pay will increase when the environment changes better than the current situation.

第一章 計畫背景

1.1 計畫緣起與目的

印度一西太平洋海域(包含臺灣在內)具有全球最高的物種多樣性,其中不同生態系統間的歧異度很高,彼此間的交互過程複雜,此特性不僅對海洋之生物地球化學循環影響重大,在其他研究如生物地理學、演化學,甚至是醫學研究上,也都扮演著非常重要的角色;其中豐富的生物(如漁業)及非生物(如海底礦產、石油、天然氣等)資源被人們廣為利用,同時也提供人類社會重要的生態系統服務(如生態旅遊)。然而,人們在利用海洋的同時,也對其生態系統造成嚴重的衝擊,包括:過漁、海洋污染、棲地破壞、海洋酸化/暖化/塑化等環境變遷衍生的問題,都威脅著此區域海洋生態系統的健全發展及生物多樣性的正常呈現。如何促進海洋的永續利用是非常重要且迫切的議題,而此議題的關鍵在於全盤了解區域內海洋生物多樣性、生態系現況、自然與人為活動的衝擊等,以便針對這些問題研擬妥適的保育策略。

現今全球生物多樣性與生態保育以生態系統為基礎的管理 (ecosystem-based management) 和基於自然的解決方案 (natural-based solutions) 為重要趨勢,透過可持續管理和利用自然來應對環境變化與保育挑戰,這些挑戰包括氣候變遷、生物多樣性喪失、水污染、糧食安全、生態系統服務功能破壞、人類健康和災害風險管理等問題 (Ruckelshaus et al. 2008)。海洋保育署為我國新成立的海洋保育專責機構,應該要跳脫傳統以特定旗艦 (flagship) 物種為保育對象之窠臼,用更前瞻的方式看待海洋保育議題,以生態系統為基礎,並利用海洋科學中的新興技術及整合式研究方法,如環境 DNA (eDNA)/次世代定序 (Next Generation Sequencing,簡稱為 NGS)生命條碼分析、智慧型監測系統及水下探勘工具運用、人工智慧 (artificial intelligence,現簡稱為 AI)及影像自動辨識等,進行調查、監測、保育及復育等相關工作,以確保臺灣周圍海域在受衝擊或干擾 (disturbance)之後生態系可恢復的彈性與韌性 (resilience)。(Hofmann and Gaines 2008)。

本團隊基於上述之原則,並依據投標須知補充規定附件一之「110年度臺灣海域重要生態系及海洋保護區調查與生態服務價值評估」採購需求說明,提出以生態系統為管理基礎之構想,並綜合管理層面的需求(圖1)提出本計畫,並於110年3月9日完成議價後開始執行。我們期望在近期內(即110~113年)從臺灣0~3海浬周邊海域包括重要海洋生態系環境及保護區調查出發,瞭解與親近臺灣沿近岸環境,隨後(即

114~121年)持續擴展至12海浬海洋友善區並增加深海調查計畫構想(圖2),希冀能在海洋保育署成立十年後,讓民眾共同感受「海洋也是我家」,做到即使在非保護區也能愛海洋,護海洋,並進一步建立整體國民的海洋素養,此「素養」亦即讓國民瞭解「海洋對個人之影響,以及人為活動對海洋環境所造成的衝擊」。本計畫亦確實貼近相關部門所提出之「向海致敬」五大原則:開放、透明、服務、教育及責任,從科學研究出發,繼而透過科學成果與展示,鼓勵人民「知海」(知道海洋)、「近海」(親近海洋)及「進海」(進入海洋),確保海洋之永續發展。

生態系統管理 (ecosystem-based management)

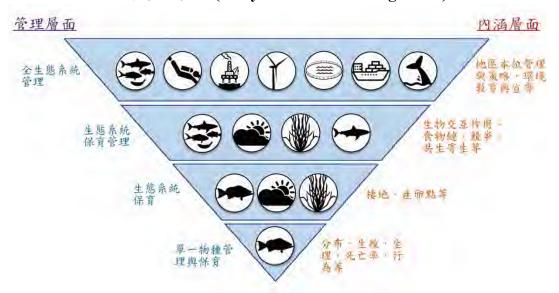


圖 1、以生態系統為基礎之管理與內涵層面示意圖。



圖 2、近 (110~113 年)、中 (114~121 年)、長 (122 年~)期之整體海洋研究與推廣計畫。

1.2 計畫團隊

本計畫由國立臺灣大學海洋研究所陳韋仁教授主持,與不同領域專長的黃千芬教授、魏志潾副教授、單偉彌副教授,以及漁業科學研究所柯佳吟副教授共同組成研究團隊。同時,亦邀請國立臺灣大學海洋研究所謝志豪特聘教授暨所長、中央研究院環境變遷研究中心夏復國研究員暨副主任、中央研究院生物多樣性研究中心林子皓助研究員及國立臺灣海洋大學海洋事務與資源管理研究所郭庭君助理教授與其研究團隊參與,擔任計畫執行相關人員。表 1 為團隊成員與工作要項分配表。

表 1、 團隊成員與工作要項分配表。

	衣 1、图	工作女员为配衣。		
姓名	任職單位與職稱	工作要項		
計畫主持	計畫主持人			
陳韋仁	國立臺灣大學海洋研究所	計畫統籌;		
	教授	魚類環境 DNA、底拖魚類分析		
協同計畫	E 主持人			
黄千芬	國立臺灣大學海洋研究所	協助計畫執行;		
	教授	自動化智慧調查及監測站之開發(應用		
		被動式聲及智慧型裝置追蹤水下鯨豚及		
		其獵物)		
魏志潾	國立臺灣大學海洋研究所	協助計畫執行;		
	副教授	底泥動物群聚生態、底拖垃圾組成調查		
		分析;資料彙整及資料庫建立,包括各		
		類海洋相關地理資訊圖資收集。		
單偉彌	國立臺灣大學海洋研究所	協助計畫執行;		
	副教授	重要海洋生態系及海洋保護區群聚生態		
		調查分析;珊瑚礁海洋保護區管理之資		
		料收集;環境因子與群聚生態關係分析		
		及預測		
柯佳吟	國立臺灣大學漁業科學研究所	協助計畫執行;		
	副教授	周邊海域環境參數、仔稚魚、海洋微塑		
		膠調查分析;生物資料彙整;環境因子		
		與生物分布模式分析及預測;歷年報告		
		彙整與建置;海洋生態系統服務評估及		
1 ± 1 /-	- la 88) B	價值衡量		
	于相關人員			
謝志豪	國立臺灣大學海洋研究所	協助計畫執行;		
	特聘教授暨所長	浮游動物分析		
夏復國	中央研究院環境變遷研究中心	協助計畫執行;		
	研究員暨副主任	環境參數分析		

林子皓	中央研究院生物多樣性研究中心 助理研究員	協助計畫執行; 水下聲景智慧調查及監測之開發與執行
郭庭君	國立臺灣海洋大學海洋事務與資 源管理研究所 助理教授	協助計畫執行; 歷年報告彙整與建置;海洋生態系統服 務評估及價值衡量分析

第二章 計畫目標

本計畫預期建立我國海洋(含重要生態系及海洋保護區)固定測站之長期生態與環境基礎資料調查,期望其資料整合分析的結果,可作為我國海洋保育署或其它單位/組織未來研究,或推動保育、復育、環境教育推廣等相關工作之重要參考。為達成此目標,本團隊依循海洋保育署之需求設定相關工作內容如圖 3,包含 (1)臺灣周邊海域生態系-船舶調查;(2)臺灣海域重要生態系及海洋保護區(以珊瑚礁區為主)-人員潛水調查;(3)自動監測系統之建置與調查;(4)臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區資料庫建立與歷年資料收集彙整,再整合本案生態調查之成果,進行進階生態熱點分析及生態系統服務評估與價值衡量。各項工作之背景及本年度工作內容詳述如下一章節。



圖3、計畫工作流程圖。

第三章 工作內容、方法及預期效益

3.1 臺灣周邊海域生態系-船舶調查

3.1.1 背景及預期效益

臺灣位於歐亞大陸與西太平洋的交會區與熱帶至溫帶的過渡帶,南邊有黑潮和南海水團把太平洋低緯度熱帶海域的豐富海洋生物帶來臺灣,北邊則有東海海流把東海陸棚的溫帶生物送到臺灣海域,加上臺灣沿岸海域多樣的棲地、地形和水文環境等生態條件,使得臺灣成為全球海洋生態系統上重要的輻合帶,擁有高度的海洋生物物種多樣性(戴與陳 2018)。四十多年來,我國海洋科學團隊及與其他國家的合作研究,對臺灣周邊海域的洋流、海洋地質特徵,以及生物多樣性和生態系統過程已有大致的了解,但仍然有許多複雜或是跨領域的議題還需要進一步以多重尺度及定量或定性的方法進行長期調查與研究。這些議題包括如瞭解這個區域不同生態系統間(或是生物地理區域)的生物多樣性之歧異性、各個生態系統(或區域)內及彼此間的複雜交互過程,以及其在海洋生物地球化學循環中扮演之角色等。此外,近年來我國的海洋生物棲地環境受到日趨密集的人類活動如漁業、遊憩等,以及其他如全球氣候變遷等因素的嚴重衝擊,已造成生物多樣性的嚴重流失,海洋保育也因此為當前迫切的課題。

海洋保護區(Marine Protected Areas,簡稱為 MPA)的設置為海洋保育執行的重要策略之一。事實上,按日前政府之台灣的生物多樣性推動方案,參考「2010 年的生物多樣性愛知目標 (Aichi target)」及「2015 年的聯合國永續發展目標 (SDGs)」,認為臺灣領海內 10%的海域應劃為 MPA,甚至在 2030 年前要達到 30%的目標,且依國際的標準,還需要建立保護區的網絡,其中更應保留一定面積做為不准任何漁獲行為的「海洋保留區」或是「完全禁漁區」,才能達到保育的成效。然而,目前有些保護區形同虛設,功能不彰,更只是執行單位執著於數字上的迷思之工作,疏不知海洋保護區網絡的設計極需完整的臺灣海域生態資料及生態系統服務評估與價值之衡量。

另外,近年來海洋生物因誤食廢棄物或被網具纏繞而受傷或死亡的新聞時有所聞,根據最近的科學報告 (Jambeck et al. 2015),全球在 2010 年約有 4.8 到 12.7 百萬噸未妥善管理的塑膠廢棄物由陸地進入海洋,但全球的大洋環境卻只有約 6.6 到 35.2 千噸的海漂塑膠廢棄物,這代表了全球海漂塑膠廢棄物的總重竟不到 2010 年由陸地進入海洋塑膠廢棄物的百分之一或接近千分之一,其中巨大的差異顯示,成千上百萬噸進入海洋的塑膠廢棄物並沒有停留在海面上,一方面很可能因浪擊、日曬而逐漸分解成塑膠微

粒,另一方面可能早已沉降到海底,但兩者皆因採樣困難而無法估計,也因此臺灣至 今沒有一個完整的,有計畫性的海洋廢棄物,包括微塑膠的調查計畫或報告。

有鑑於此,本計畫規劃於臺灣周邊海域進行長期較大規模的生態調查,以及人為活動對生態系統衝擊之調查研究,並對重要生態區域(如臺灣西部中華白海豚野生動物重要棲息地及離岸風機開發/潛在區,或是已成為政治口水論戰的桃園藻礁保護區)進行加值調查分析。在加值調查分析的部分,本計畫進行底棲生態 (benthic ecology) 調查,旨在藉由底棲生物生物量及多樣性(主要聚焦於大型底棲生物,如魚類)及非生物(海底垃圾、污染等)之調查與分析,以了解人類影響下之環境變遷對生態系統的可能衝擊。

最後,本計畫提出的整體目標是完成生態網路之連結與跨食階生物多樣性 (Multiple trophic-level biodiversity) 的調查工作,以期在將來進一步研究後,了解以下問題及生態機制:(1)臺灣周邊海域海洋物理、化學過程,甚至是人類的活動如何影響各食階生物多樣性(包括:浮游植物,浮游動物,魚類、底泥生物等);(2)食階間生物多樣性之交互作用;(3)食階生物多樣性如何影響海洋食物網、生態系統功能,以至於生物地球化學循環;(4)物種的生物地理分佈及其族群或群聚之間的連通性。亦希冀可以根據研究結果提供政府相關部會/部門研擬妥適的保育策略,並促進海洋生物資源的永續利用。

3.1.2 調查範圍、作業內容及頻率

針對臺灣本島北、中、南、東部周邊海域(優先針對 3 海浬範圍內之海洋保護區及野生動物重要棲息環境,以掌握當地海洋生態及海洋廢棄物熱區與海域環境特徵),每季或半年(頻率視海況而定,每年至少兩次)配合行政院水產試驗所(簡稱水試所)的兩艘研究船(水試一號及二號,見圖 4)於臺灣海域進行例行調查之航次,或是計畫總主持人執行科技部計畫之新海研一號(NOR1)調查航次(圖 5),共同探勘,以完成環島基本調查及特定區域之加值調查。本團隊在參與航次時需分擔研究船執行雙方任務時之油料、採樣及作業分析費用,該分擔費用由本計書經費支出。



圖 4、水試一號試驗船與水試二號試驗船(擷取自水產試驗所網站)。



圖 5、科技部委託臺大海洋研究所管理的新海研一號 (NOR1)。

計畫規劃之調查站點及其經緯度座標見圖 6 及表 2。實際站點之位置包括經緯度座標會依當下航次作業狀況及海況進行微調(見第四章結果部分)。基本調查(每次或半年調查點至少 20 處)之作業內容包括以研究船上配置的輪狀採水器 (rosette) 及溫鹽深儀 (CTD) 進行水樣採集(無機營養鹽、葉綠素、溶氧等環境參數、水體中之微塑膠以及魚類環境 DNA 之分析);動浮/仔稚魚網採集(水體中較大型之微塑膠或小型廢

棄物、浮游動物及仔稚魚)。加值調查(每次或半年調查點至少 10 處)之作業內容包括底拖網採集作業(大型底棲動物如魚類及海底垃圾)。船上作業實況,見圖 7。若研究船床位空間許可,在白天航行期間可由海洋保育署派員進行海漂垃及海洋四足動物之調查。

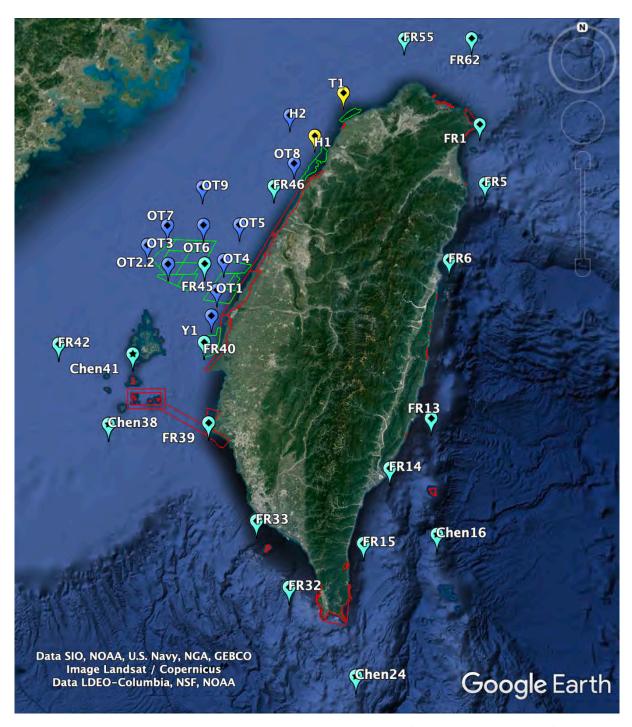


圖 6、本計畫規劃之以研究船方式進行的環島基本調查(淺藍色及黃色標記)及特定 區域之加值調查(深藍色及黃色標記)站點。紅色標記/範圍為海洋保護區及野生動 物重要棲息環境;綠色網狀區/範圍為離岸風機開發區。

表 2、本計畫規劃之以研究船方式進行船舶調查站點座標列表。

緯度	經度	地點	水深 (m)	測站名稱	生態系類型
24°54'N	122°0'E	宜蘭外海	146	FR1	大陸斜坡
24°30'N	122°0'E	宜蘭外海	754	FR5	大陸斜坡
24°0'N	121°42'E	花蓮外海	300	FR6	大陸斜坡
23°0'N	121°30'E	臺東外海	1968	FR13	海槽
22°42'N	121°12'E	臺東外海	261	FR14	大陸斜坡
22°15'N	121°0'E	臺東外海	1072	FR15	海槽
22°17.51'N	121°29.52'E	綠島蘭嶼海域	152	Chen16	海山
21°28'N	120°54.76′E	恆春海脊	250	Chen24	海脊
22°0'N	120°30'	枋寮海脊	320	FR32	海脊
22°24'N	120°18'E	小琉球海域	100	FR33	大陸斜坡
23°0'N	120°0'E	臺南外海	73	FR39	大陸棚
23°0'N	119°20'E	七美海域	50	Chen38	大陸棚
23°26'N	119°30'E	望安海域	56	Chen41	大陸棚
23° 30'N	119°E	澎湖海域	53	FR42	大陸棚
23°30'N	119°59'E	嘉義外海	25	FR40	大陸棚
24°0'N	120°0'E	彰化外海	45	FR45	沙脊
24°30'N	120°30'E	臺中外海	53	FR46	大陸棚
25°30'N	121°30'E	新北外海	55	FR55	大陸棚
25°30'N	122°0'E	基隆嶼海域	126	FR62	大陸棚
23°49.80'N	120°04.8'E	雲林外海	32	OT1	大陸棚
24°0'N	119°45'E	雲林外海	35	OT2.2	大陸棚
24°07.50'N	119°36.60'E	雲林外海	27	ОТ3	大陸棚
24°01.20'N	120°7.98'E	雲林外海	35	OT4	大陸棚
24°15'N	120°15'E	彰化外海	44	OT5	大陸棚
24°15'N	120°00'E	臺中外海	39	ОТ6	大陸棚
24°15'N	119°45'E	彰化外海	35	OT7	大陸棚
24°39'N	120°39'E	苗栗外海	60	OT8	大陸棚
24°30'N	120°00'E	臺中外海	63	ОТ9	大陸棚
23°40.02'N	120°02.31′E	雲林外海	36	Y1	大陸棚
24°50'N	120°48.33'E	新竹外海	61	H1	大陸棚
24°58.560'N	120°38.168'E	新竹外海	89	H2	大陸棚
25°7.50'N	121°1.73'E	桃園外海	78	T1	大陸棚

^{*}調查站點及其確切之經緯度可能因當地海洋及天候狀況而做調整 (見結果部分)



圖 7、船上作業實況(拍攝於新海研一號研究船)。(A) CTD 採水,(B) 動浮/仔稚魚網採集,(C) 底拖網採集,(D) 採集之巨型底棲動物及海底垃圾。

3.1.3 採樣方法、觀測及基本資料分析

(一) 環境參數(含營養鹽、溶氧、葉綠素等)

本計畫預定於各測站使用 CTD 探針收集該測站深度剖面之環境參數(溫度、鹽度等)。另外亦利用 CTD 採水瓶依測站之水深,採取 0~200 米不同深度層之水樣(預定可收集水深為 5 米、(10 米)、25 米、50 米、75 米、100 米、150 米、200 米,但仍視船上設備使用度與整體船行調查時間進行最後調整),若水深小於 200 米,則採樣至離底 20 米之深度。水樣採集後立即分裝並儲存,無機營養鹽 (NO3-、NO2-、PO4-、SiO2) 以 100 毫升之 polyethylene 營養鹽瓶填裝後,放入液態氮快速結凍後移至-20°C冷凍保存;溶氧測量以玻璃瓶裝水後,分別加入氯化錳與疊氮—碘化鈉試劑後,於室內常溫避光進行保存;葉綠素則直接利用抽氣幫浦過濾至玻璃纖維 (GF/F) 濾紙上,對摺於包埋盒中,放至-20°C 冷凍保存。上述環境參數待船舶調查結束,帶回實驗室,於數周內進行後續分析。

無機營養鹽測定使用三同步營養鹽分析裝置 (Trident-222 Simultaneous Nutrient Analyzer) 注入分析 (Gong 1992),硝酸鹽與磷酸鹽分別以 cadmium, ascorbic acid/oxalate 及 ascorbic acid 還原比色法測定濃度 (Parsons et al. 1984),其中硝酸鹽的偵測極限為 0.01 μ M,而磷酸鹽的偵測極限則為 0.03 μ M;溶氧以光學測溶氧法進行,其化學反應園裡與傳統的溫可樂點滴定法類似,其中以分光光度計取代滴定步驟,直接透過 456nm 波常測定,使測值精密度可達 0.1%,準確度則可達 0.5%;葉綠素分析將濾紙以 95%丙酮 (acetone) 於暗處或陽光未直射處下粹取 24 小時,粹取之葉綠素濃度以 fluorometer (Turner;10-AU-005) 測量 (Strickland and Parsons 1972)。

(二) 魚類環境 DNA (eDNA)

若測站水深大於 500 米,每個測站採水四層分別為表水(5 米深)、底水(離底 5 米)、葉綠素極大層、海底與葉綠素極大層之中間層;若測站水深介於 125 米及 500 米,每個測站採水三層分別為表水、葉綠素極大層及底水(離底 5 米);若測站水深小於 125 米,則採表水及底水(離底 2 米)兩層水。每層採水 10 公升,使用 0.45μm 濾膜過滤收集環境 DNA 並保存於-20°C 冰箱,航次結束後樣本攜回臺灣大學海洋研究所之分子生物實驗室,以利日後結合次世代定序技術,採用複合生命條碼方式 (metabarcoding)之實驗。這個方法主要是利用環境 DNA (Kelly et al. 2014) 萃取技術,完整無差別的蒐集海水中看不到的大型生物之殘留物,如魚類的代謝廢物、損傷組織或脫落的表皮細胞,經魚類通用的 12S 引子放大定序,再以類似傳統 DNA 生命條碼分析方式,將所得的序列與已知或自行建立的魚類基因資料庫進行比對(詳細方法可參考 Miya et al. 2015),以得知當地海域中的魚類多樣性。傳統魚類標本採集除受網具選擇性的影響,也無法在高濁度水域、深水區(無法潛水)或海洋保留區(無法底拖)進行採樣。在此所提以分子生物學方式進行的調查,可以克服此困境,達成魚類生物多樣性的完整調查。

魚類 eDNA 的取得遵循 Miya et al. (2016) 所建構之步驟。所有設備在替換不同樣本之間都經過清水清洗、烘乾,並暴露在紫外燈下三十分鐘以上,並同時使用相同裝置以及方法過濾 5 公升的超純水 (milli Q water) 作為對照組實驗,以監控實驗中可能的交叉污染。過濾後的濾芯使用 DNA 萃取套組 (DNeasy Blood and Tissue Kit, Qiagen, Hilden, Germany) 萃取 DNA。萃取獲得的 eDNA 以 12S 引子對進行 PCR 擴增,獲取粒線體

12SrRNA 基因片段。每一組樣本共進行五至八次 PCR 擴增,並且將多次產物以等比例 混合後,送至國立臺灣大學生物技術研究中心進行 Illumina 次世代定序。

次世代定序是利用聚合酵素鍊鎖反應 (PCR) 放大出的片段產物使用 GeneHlowGel/PCR 純化試劑盒純化 (Gene aid),由於放大後的序列尾端皆設計有次世代 定序平台 Illumina 之突出轉接子 (overhang adapters),因此可以藉此突出轉接子序列 (overhang adapters),以Illumina提供之Nextera XT Index 試劑盒,利用內含條碼 barcodes 與 Illumina 定序接頭序列 (P5, P7) 的正反引子將上述純化過後的產物進一步以 PCR 反應 放大,再利用 AMPure XP 磁珠純化成約 630bp 大小的文庫 (library)。接著,使用 Agilent bioanalyzer 2100 測量待測文庫之大小及使用螢光定量法 (Qubit) 測量待測文庫濃度,調 整待測文庫濃度後,將樣本加入表面帶有互補轉接子序列的定序晶片上,並利用 Illumina 次世代定序儀 (MiSeq) 之橋式聚合酶鏈鎖反應 (bridge amplification) 將樣本擴增 以放大螢光檢測的訊號,藉由定序過程中不同鹼基的螢光標記擁有不同的螢光顏色來 辨認互補的鹼基對,經重覆進行螢光標記移除與偵測,即可偵測眾多魚類的基因序列 (雙邊定序長度2*150bp)。接著,將Illumina次世代定序儀偵測到之片段12SrRNA序 列先使用 trimmomatic (Bolger, Lohse, & Usadel, 2014) 進行品質篩選、長度篩選、清除 adapters 以及將 5'及 3'方向互補的讀序組合後,上傳至 MiFish Pipeline (http://mitofish.aori.u-tokyo.ac.jp/mifish) 分析, 並將分析中物種指派信心為高 (HIGH)、 中 (MODERATE) 或是低 (LOW) 的類群另外透過物種分佈等其他資料確認該物種名稱。

為提升物種辨識的正確度,本計畫另外選取已確定物種之樣本進行 12SrRNA 片段定序,做為參考序列與資料庫合併比對使用,序列分析步驟為:(1)使用 MiFish-U-F和 H1478 (Kocher et al. 1989)引子針對樣本之目標 12SrRNA 序列擴增,進行 Sanger 方法基因定序;(2) 將取得 12S 序列與 e-DNA 偵測序列排列比對 (Aligning),特別是檢視是否有與參考序列相似度極高(兩序列相差約在 3%以下)的序列;(3)若一樣點 e-DNA 中偵測的序列與參考序列吻合,則可推論該 e-DNA 偵測序列來自於該參考序列之物種,並可判定該樣點有該物種分布。

(三)海洋微塑膠

搭配魚類 eDNA 調查測站及採樣深度/水層,分別收集各站點在不同深度水體各 20 公升的海水樣本,藉以了解臺灣周邊海域水體中的的微塑膠背景值,甚或有機會剖 析這些微塑膠經過被攝食或沾附於其他生物表面而進入食物鏈的可能性。水樣採集後, 立即在船上進行過濾作業,每個海水樣本分別以直徑 47 mm,網目 308μm 和 25μm 金屬濾網進行雙層過濾,並保留 1 公升的濾過水,以直徑 47mm,網目 3μm鐵氟龍 (PTFE) 濾紙進行第三層過濾,過濾完成之濾紙以鋁箔紙摺疊包裝,標記後保存於-20°C 冷凍庫。以上三種過濾濾紙分析,乃因儀器之限制,計畫期間將至少分析完網目 308μm 之樣本,並隨機選取其餘之樣本作為分析代表。實驗室為塑膠定量與定性試驗,先將濾紙移出-20°C 冷凍庫,在室溫下噴撒少許 95%酒精助其乾燥,在解剖顯微鏡下觀察並拍照存擋,計數微塑膠或其他人造物分布數量;完成後,隨機抽取樣本金屬濾網將其移至傅立葉轉換紅外線光譜儀(Fourier transform infrared spectrometer,簡稱為 FTIR),並對濾紙上的個別塑膠微粒/人造物進行化學定性分析材質,透過比對圖譜資料庫中評估該塑膠微粒/人造物的可能材質。

(四)動浮網

動浮網採集主要包含浮游動物與仔稚魚兩大類。浮游動物以 330µm-mesh, 135cm ring net, 1m/s 的拖網速度,從水深 200 米往上斜拖至表水(若水深少於 200 米,則下放至離底 20 米),最後將樣本保存於 5%福馬林。採集的樣本帶回實驗室,分析前將浮游動物樣本以 Folsom splitter 分割至約 2000 的個體,並以浮游動物掃瞄器 (ZooScan),將約 2000 的個體掃成圖檔,利用程式語言 R 以及 Python 使用 deep convolution neural network 做 AI 影像自動辨識,並分成約 50 種類(生態功能類群),進而估算生物量,群聚結構,多樣性,個體大小組成。

仔稚魚以 500μm-mesh, 135cm ring net, 1m/s 的拖網速度,從水深 200 米往上斜拖至表水(若水深少於 200 米,則下放至離底 20 米),最後將樣本以 300μm-mesh, 200mm 篩網瀝乾後保存於-20°C 冷凍庫。仔稚魚採樣點與浮游動物採樣點相同。樣本帶回實驗室後,快速解凍並將仔稚魚挑出以酒精固定,進行物種鑑定。物種鑑定係由工作 20 年以上經驗之專任研究助理執行,所使用之文獻資料甚廣,其中主要為沖山 (1988) 之日本產稚魚圖鑑。

(五) 底棲生態與人為衝擊調查

110 年度之底棲動物及海底垃圾調查使用行政院農業委員會水產試驗所水試二號研究船之網板拖網(Otter Trawl)進行,5 月、9 月各有一次調查,每次皆對各測站進行一次拖網作業,其網板拖網網目為 20 毫米,入水後拖網寬度為 8 公尺,拖網時船速約

1~2 海浬/小時,作業時間約 1 小時。拖網捕撈物依生物/非生物、類群、個體大小進行分類及秤重。可過篩的捕撈物分別依序以 1000 毫米、500 毫米及 0.5 毫米網目大小之篩網進行初步分類。拖網回收之底棲動物(主要聚焦於魚類)以型態及分子生物學方法鑑定並分析包含生物量,群聚結構及多樣性等(參見 Lee et al. 2019)。拖網回收之海底垃圾涵蓋中大型海洋廢棄物,中型海洋廢棄物之尺寸介於 5 毫米至 25 毫米;大型海洋廢棄物介於 25 毫米至 1000 毫米,屬於肉眼可辨識之範圍。

廢棄物樣本處理流程則參照圖 8: 拖網上甲板後,將生物、肉眼可見之廢棄物分開。 生物部分記錄其種類、數量與重量;廢棄物則於拍照紀錄後冷凍帶回。於實驗室解凍 後,將廢棄物分類,計算其種類與數量並附上比例尺拍照,盡可能保留採集當下情況 與生物共存的關聯。而後將其浸潤清洗,避免廢棄物再度破碎,再置於室溫無風環境 自然風乾,最後量測其重量(精度=0.2克)。

廢棄物分類之標準參考美國國家海洋暨大氣總署 (Lippiatt et al.,2013),將廢棄物依材質區分為7大類43項細目:(1)塑膠類(如塑膠碎片、食物包裝、飲料瓶、其他瓶子、瓶蓋、雪茄嘴、香菸、打火機、鋁罐包裝膠環、塑膠袋、塑料繩子、浮標、釣魚誘餌和線、塑膠杯、餐具、吸管、氣球、護理產品及其他);(2)金屬類(如鋁/錫罐、噴霧罐、金屬碎片及其他);(3)玻璃類(如飲料瓶、罐、玻璃碎片及其他);(4)橡膠類(如人字拖、手套、輪胎、橡膠碎片及其他);(5)木材類(如紙箱、紙跟紙板、紙袋、建築材料及其他);(6)布材類(如衣物鞋子、麻布手套、毛巾、棉麻繩、布塊);(7)其他類。若廢棄物上有可辨識之文字,將額外記錄,以做為追溯源頭的線索。所有資料轉為單位面積數量與重量,以利進行後續分析比較。

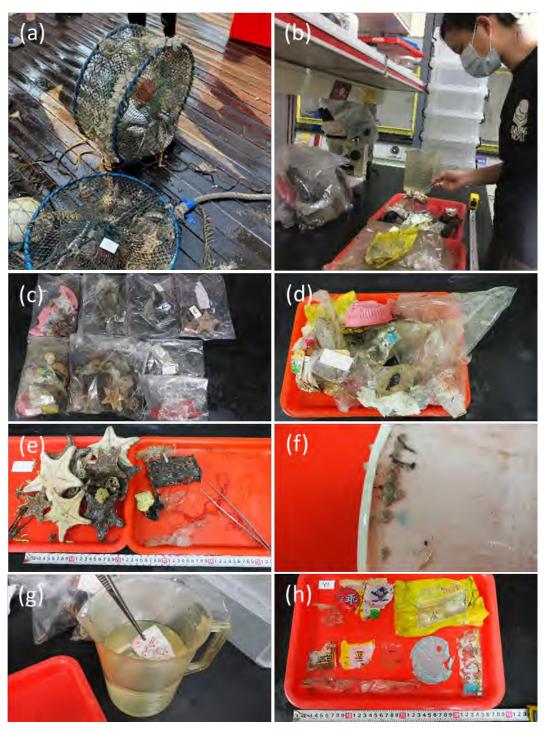


圖 8、廢棄物樣本處理流程。(a) 大型廢棄漁具在樣站被底拖上船。(b) 廢棄物分樣處理 示意圖。(c) 各站點廢棄物冷凍後帶回實驗室進行分樣。(d) 樣站廢棄物 (分樣前)。 (e) 將生物與廢棄物分開,左側為生物,右側為廢棄物。(f) 塑膠餐具、杯子等常有附著型生物附生,如:藤壺。(g) 平舖分樣前須先加以清潔,以便顯示廢棄物原始樣貌。(h) 完成廢棄物分樣示意圖。

(六) 群聚分析

群聚分析預計將包含生物多樣性與物種組成分析。定義生物多樣性指標需要考量種 類 之 相 對 豐 度 。 最 常 使 用 的 生 物 多 樣 性 計 量 公 式 為 : $^qD=\left(\sum_{i=1}^s P_i^q\right)^{\frac{1}{1-q}}$,q 稱為 Hill number。當 q=0, qD 單純表示種類數目(species richness);當 q=1, qD 表示最常用的 Shannon 多樣性,此指標平衡考量稀少種與優勢種;當 q=2, qD 則為 Simpson 多樣性,強調優勢種的重要。不同多樣性指標有不同生態意涵,需通盤考量並作比較分析 (Chao et al. 2014)。再者,生物多樣性估算需考量採樣努力量(sampling effort),因為努力量越高,多樣性自然就越高。考量採樣努力方法有二:(1) 依據相同個體分析數量做標準化 (by rarefaction);(2) 依據估算之採樣完成度做標準化 (by sampling coverage) (Hsieh et al. 2016)。樣本需要經過資料標準化後,才能做比較。

本計畫預計將結合環境因子來做測站間種類組成差異之多變量分析(如圖 9 中之範例),包含多變數迴歸分析(regression analyses)、排序分析(ordination analysis)、集群分析(cluster analysis)(Legendre and Legendre 2012)等。

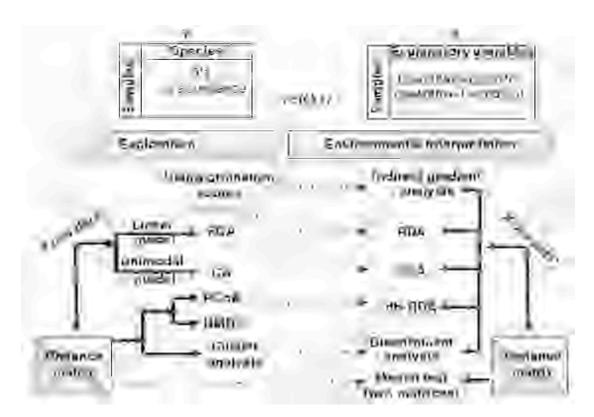


圖 9、常用之多變量分析方法包括排序分析 (ordination analysis) 與集群合分析 (cluster analysis)。排序分析方法包括:PCA: Principal Component Analysis; CA: Correspondence Analysis; PCoA: Principal Coordinate Analysis; NMDS: Nonmetric Multi-Dimensional Scaling; RDA: Redundancy Analysis; CCA: Canonical Correspondence Analysis; db-RDA: distance-based Redundancy Analysis。上述之排序分析方法都依據共變異矩陣之特性根分析 (eigen analysis of the variance-covariance matrix),差別在於資料的常規化 (normalization) 以及拓樸投射方法不同 (different ways of topological projection methods)。這些分析將在矩陣運算語言(例如 R 或 Python)完成。

3.2 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區 - 人員潛水調查

3.2.1 背景及預期效益

臺灣沿岸海域擁有豐富的珊瑚礁生態系(圖 10),估計每年每平方公里的珊瑚礁 可帶來高達 514,417 美元之相關經濟效應 (Spalding et al. 2017)。然而除了珊瑚礁本身, 位於其中的底棲生物群聚在不同區域/環境也有著高度的歧異性,這些群聚生物的多 樣性可藉由不同區域生物功能特徵的差異來解釋 (Denis et al. 2019)。如前所述,人類在 利用豐富的沿岸珊瑚礁資源之同時,這些珊瑚礁的底棲生物群聚也遭受到不同程度的 人為影響。例如根據 2004 年來自澳洲昆士蘭大學的報告顯示,臺灣大多數的珊瑚礁海 域都是處於過漁的狀態,且這些漁業資源早在十年前即被消耗殆盡 (Kimrua et al. 2004)。 臺灣的海岸也已過度開發被用來做農漁業、道路及觀光建設等用途,這些建設造成水 土流失,導致大量沉積物頻繁被沖刷至沿岸海域。另外,沿海的鄉鎮的家庭廢水往往 未經處理就直接排入海中,造成了沿岸海水的優養化,優養化的狀況在東北角、墾丁 及小琉球特別嚴重 (Kimrua et al. 2004)。為了解決這些問題,政府已根據不同層級的保 育法條設立保護區,以期盼能夠減緩(或是恢復)沿岸生物群聚的破壞及漁業資源的 衰退。截至目前為止,我國針對海洋資源管理所設立的保育區可分為以下五種:(1)國 家公園(根據國家公園法所設立)、(2)自然保留區(根據文化資產保存法所設立)、 (3) 野生動物重要棲息環境及野生動物保護區(根據野生動物保育法所設立)、(4) 漁業 資源保育區(根據漁業法所設立)、(5)海域資源保護區(根據發展觀光條例及都市計 畫法所設立)。保育/護區內的規範差異非常大,像是同一個國家公園內又可區分為 禁止進入或影響、禁止採捕及分區多功能使用等區域。這些規範有時候限於海洋資源 (如特定捕撈生物)的利用,有時候也會包含其他陸域的景觀或生物之保護。例如墾 丁國家公園於 1982 年公告計畫後不久,便將恆春半島上的自然遺產納入保護範圍內, 有部分的規範除了保護自然資源外,也納入文化遺產及傳統使用的觀點。除此之外, 根據不同法源建立在各地的保護區有不同程度的強制力。而盜捕及各種違法活動在臺 灣大多數的海洋保護區內仍屢見不鮮,這造成了臺灣的保育區網絡運作起來效率非常 低落,需要進一步的整合及管理 (Mora et al. 2006)。

有鑑於此,本計畫欲藉由臺灣海域各區珊瑚礁生態系群聚生態及生物多樣性調查, 對各保護區的規範及特徵進行交叉分析比較,以提供一個針對臺灣海洋保護區在保育 海洋生物資源效率上的全面性評估。

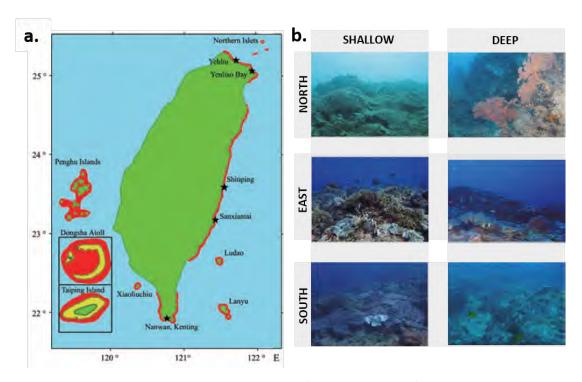


圖 10、(a) 臺灣海域珊瑚礁生態系分佈地圖(紅色標示部分),此圖片取自 Dai and Horng (2009); (b) 臺灣海域周圍多樣的底棲群聚,此圖片取自 Lin and Denis (2019)。

本計畫期望在未來完成 100 處臺灣海域珊瑚礁生態系之調查與分析後達到以下目標或效益:

- (1) 回顧並比較目前臺灣海洋保護區的規範及條文是否能具體保護沿岸生物群聚。
- (2) 以珊瑚礁底棲生物群聚狀況來評估目前海洋保護區網保護沿岸生物資源的成效。
- (3) 使用和人為影響有關因子的歷史和/或觀測資料來解釋現今沿岸生物群聚狀況, 並提供改善現今海洋保護區網絡的建議。
- (4) 強調臺灣各沿岸區域的環境異質性,對每個區域建立不同的生物基準線以及區域性的保育目標。

本計畫的亮點為,首度在臺灣周圍各珊瑚礁區使用標準調查方法來蒐集底棲生物 資料之研究,同時團隊也將回顧沿岸底棲生物的狀況,評估現今海洋保護區的成效。 此外,本計畫將使用人工智慧運算網路來加快底棲生物影像的鑑定,以期與公民科學 家合作,以便拓展生物調查的時空尺度。

3.2.2 調查範圍、作業內容及頻率

本計畫規劃自 110 至 113 年完成 100 處的調查工作,其調查站點及其經緯度座標見表 3 及圖 11。實際上的調查站點以及站點確切之經緯度座標則會視當時及當地海洋及

天候狀況而做調整。今年度(110年度)已完成位於北臺灣、東臺灣及澎湖共 53 處站點,詳細說明請參閱 4.2.1 一節。

另外,本計畫亦將於上述調查點中擇定至少 25 處具代表性或特殊之調查點,針對 魚類(主要以魚類環境 DNA 檢測)及底泥生物多樣性及群聚結構,於本年度內進行並 完成加值調查分析。

表 3、本計畫規劃 110~113 年以人員潛水方式調查之 100 處站點詳細經緯度座標。

No.	區域	編碼	站點	站點(英文)	緯度	經度	曾經調查
1	A - 北臺灣	TRM1	彭佳嶼	Pengjiayu	25.629	122.078	×
2	A - 北臺灣	TRM2	棉花嶼	Mianhuayu	25.485	122.105	×
3	A - 北臺灣	TRM3	花瓶嶼	Huapingyu	25.424	121.946	×
4	A - 北臺灣	TRM4	石門洞	Shimendong	25.424	121.946	×
5	A - 北臺灣	TRM5	野柳	Yeliu	25.208	121.694	\checkmark
6	A - 北臺灣	TRM6	基隆嶼	Keelung Island	25.191	121.785	✓
7	A - 北臺灣	TRM7	潮境	Chaojing	25.145	121.805	✓
8	A - 北臺灣	TRM8	深澳	Shenao	25.135	121.820	✓
9	A - 北臺灣	TRM9	鼻頭	Bitou	25.126	121.915	✓
10	A - 北臺灣	TRM10	82.5	82.5	25.121	121.898	✓
11	A - 北臺灣	TRM11	龍洞	Longdong	25.113	121.920	✓
12	A - 北臺灣	TRM12	美艷山	Meiyanshan	25.071	121.924	✓
13	A - 北臺灣	TRM13	桂安漁港	Guian harbor	25.023	121.963	✓
14	A - 北臺灣	TRM14	馬崗	Magong	25.018	121.999	\checkmark
15	A - 北臺灣	TRM15	卯澳	Maoao	25.018	121.990	✓
16	A - 北臺灣	TRM16	石城	Shicheng	24.979	121.953	\checkmark
17	A - 北臺灣	TRM17	龜山島I	Turtle Island I	24.843	121.937	\checkmark
18	B - 臺灣東岸	TRM18	密島	Midao Island	24.599	121.902	×
19	B - 臺灣東岸	TRM19	密島	Midao Rock	24.597	121.898	×
20	B - 臺灣東岸	TRM20	粉鳥林	Fen Niao Lin	24.498	121.844	\checkmark
21	B - 臺灣東岸	TRM21	烏石鼻	Wushibi	24.482	121.862	×
22	B - 臺灣東岸	TRM22	朝陽	Zhaoyang	24.457	121.822	×
23	B - 臺灣東岸	TRM23	磯崎	Jiqi	23.694	121.552	✓
24	B - 臺灣東岸	TRM24	新社	Xinshe	23.661	121.543	\checkmark
25	B - 臺灣東岸	TRM25	石梯坪	Shitiping	23.483	121.514	✓
26	B - 臺灣東岸	TRM26	石雨傘	Shiyusan	23.177	121.404	✓
27	B - 臺灣東岸	重覆删除	基量	Kihau	23.118	121.397	✓
28	B - 臺灣東岸	TRM27	基單	Jihui	23.116	121.397	✓
29	B - 臺灣東岸	TRM29	加母子	Jiamuzi Bay	22.863	121.209	✓
30	B - 臺灣東岸	TRM30	小野柳	Xiaoyeliu	22.803	121.200	✓
31	C - 澎湖	TRM31	目斗嶼	Mudouyu	23.787	119.601	×

No.	區域	編碼	站點	站點(英文)	緯度	經度	曾經調查
32	C - 澎湖	TRM32	姑婆嶼	Gupo Islet	23.714	119.559	√
33	C - 澎湖	TRM33	北鐵砧	Tie Zhen Islet	23.707	119.567	\checkmark
34	C - 澎湖	TRM34	澎澎灘	Pon-Pon Tan	23.673	119.639	\checkmark
35	C - 澎湖	TRM35	鯨魚洞	Whale Cave	23.658	119.522	\checkmark
36	C - 澎湖	TRM36	小門嶼	Xiaomen Islet	23.651	119.530	\checkmark
37	C - 澎湖	TRM37	四角嶼	Sijiao Islet	23.556	119.543	\checkmark
38	C - 澎湖	TRM38	雞籠嶼	Keelung Islet	23.542	119.531	\checkmark
39	C - 澎湖	TRM39	懷恩堂	Wa En Tung	23.537	119.614	\checkmark
40	C - 澎湖	TRM40	青灣	Qing Bay	23.533	119.563	\checkmark
41	C - 澎湖	TRM41	青灣內灣	Chinwan Inner Bay	23.533	119.567	\checkmark
42	C - 澎湖	TRM42	桶盤嶼	Tongpan Islet (east)	23.511	119.523	\checkmark
43	C - 澎湖	TRM43	虎井嶼	Hujing Islet	23.493	119.521	\checkmark
44	C - 澎湖	TRM44	花嶼	Huayu	23.404	119.321	×
45	C - 澎湖	TRM45	望安	Wangan	23.373	119.498	×
46	C - 澎湖	TRM46	貓嶼	Maoyu	23.326	119.320	×
47	C - 澎湖	TRM47	西嶼坪	Siyuping	23.275	119.503	\checkmark
48	C - 澎湖	TRM48	東嶼坪	Dongpingyu	23.262	119.517	×
49	C - 澎湖	TRM49	東吉嶼	Dongjiyu	23.257	119.672	×
50	C - 澎湖	TRM50	西吉嶼	Xijiyu	23.250	119.615	×
51	C - 澎湖	TRM51	七美	Qimei	23.210	119.431	\checkmark
52	D - 綠島	TRM52	青魚嶼	Xingyuyu	22.682	121.512	×
53	D - 綠島	TRM53	柴口	Chaikou	22.678	121.482	\checkmark
54	D - 綠島	TRM54	公館鼻I	Gongguan I	22.678	121.493	\checkmark
55	D - 綠島	TRM55	綠島燈塔	Garden Lighthouse	22.677	121.464	×
56	D - 綠島	TRM56	公館鼻II	Gongguang II	22.677	121.494	\checkmark
57	D - 綠島	TRM57	海參坪	Haishenping	22.659	121.509	×
58	D - 綠島	TRM58	孔子嚴	Confucius Rock	22.652	121.505	×
59	D - 綠島	TRM59	石朗	Shilang	22.648	121.471	\checkmark
60	D - 綠島	TRM60	龜灣	Guiwan	22.640	121.481	\checkmark
61	D - 綠島	TRM61	大白沙	Dabaisha	22.637	121.490	\checkmark
62	E - 小琉球	TRM62	花瓶石	Vase Rock	22.356	120.380	\checkmark
63	E - 小琉球	TRM63	美人洞	Beauty Cave	22.353	120.370	\checkmark
64	E - 小琉球	TRM64	中澳沙灘	Zhongao Beach	22.352	120.387	\checkmark
65	E - 小琉球	TRM65	肚仔坪	Duziping	22.350	120.364	\checkmark
66	E - 小琉球	TRM66	龍蝦洞	Lobster Cave	22.345	120.389	\checkmark
67	E - 小琉球	TRM67	杉福	Shanfu	22.341	120.361	\checkmark
68	E - 小琉球	TRM68	烏鬼洞	Black Dwarf Cave	22.331	120.355	\checkmark
69	E - 小琉球	TRM69	大福	Dafu	22.330	120.371	\checkmark
70	E - 小琉球	TRM70	厚石	Houshi	22.324	120.367	\checkmark

No.	區域	編碼	站點	站點(英文)	緯度	經度	曾經調查
72	F - 蘭嶼	TRM72	母雞岩	Hen Rock	22.084	121.556	✓
73	F - 蘭嶼	TRM73	東清花園	Dongchin Garden	22.058	121.569	\checkmark
74	F - 蘭嶼	TRM74	藍洞	Blue hole	22.056	121.507	\checkmark
75	F - 蘭嶼	TRM75	椰油	Yayo	22.051	121.510	\checkmark
76	F - 蘭嶼	TRM76	青青草原	Green Grassland	22.010	121.566	\checkmark
77	F - 蘭嶼	TRM77	老人岩	Older Rock	22.002	121.573	\checkmark
78	G - 墾丁	TRM78	跳石	Tiaoshi	21.956	120.767	✓
79	G - 墾丁	TRM79	香蕉灣I	Banana Bay	21.925	120.831	\checkmark
80	G - 墾丁	TRM80	佳樂水	Jialeshuei	21.999	120.873	✓
81	G - 墾丁	TRM81	萬里桐	Wanlitung	21.995	120.704	✓
82	G - 墾丁	TRM82	紅柴	Hung Chai	21.973	120.715	\checkmark
83	G - 墾丁	TRM83	紅柴坑	Hongchaikeng	21.965	120.710	✓
84	G - 墾丁	TRM84	後壁湖	Houbihu	21.943	120.752	✓
85	G - 墾丁	TRM85	頂白砂	Dingbaisha	21.942	120.710	\checkmark
86	G - 墾丁	TRM86	電廠出水口	Outlet	21.931	120.745	✓
87	G - 墾丁	TRM87	雷打石	Leidashih	21.930	120.745	✓
88	G - 墾丁	TRM88	小灣	Xiaowan	21.927	120.791	✓
89	G - 墾丁	TRM89	香蕉灣 II	Siangjiaowan	21.924	120.829	✓
90	G - 墾丁	TRM90	貓鼻頭	Maobitou	21.917	120.738	✓
91	G - 墾丁	TRM91	龍坑生態保護區	Longkeng	21.908	120.861	✓
92	G - 墾丁	TRM92	七星岩	Qixingyan	21.759	120.825	×
93	H - 東沙	TRM93	北外環礁	North Outer Atoll	20.779	116.802	✓
94	H - 東沙	TRM94	北岸海草床	North Seagrass bed	20.711	116.725	✓
95	H - 東沙	TRM95	北內環礁	North Inner Atoll	20.707	116.806	\checkmark
96	H - 東沙	TRM96	東岸外角	East Outer Atoll	20.700	116.923	\checkmark
97	H - 東沙	TRM97	西岸內環礁	West Inner Atoll	20.695	116.752	✓
98	H - 東沙	TRM98	東岸內環礁	East Inner Atoll	20.692	116.866	\checkmark
99	H - 東沙	TRM99	南岸內環礁	South Inner Atoll	20.644	116.806	\checkmark
100	H - 東沙	TRM100	西南外角	Southwest Outer Atoll	20.595	116.765	\checkmark
101	H - 東沙	TRM101	南岸外角	South Outer Atoll	20.586	116.795	✓
Extra	C - 澎湖	TRM47bis	頭巾嶼	Toujinyu	23.28883	119.50281	×
Extra	C - 澎湖	TRM33bis	南鐵砧	Tie Zhen South	23.27507	119.50363	×
Extra	A - 北臺灣	TRM17bis	龜山島II	Turtle Island II	24.84581	121.94379	✓
Extra	A - 北臺灣	Xiaoxianglan	小香蘭	Xiaoxianglan	25.02667	121.97327	×
Extra	A - 北臺灣	Hepingdao	和平島	Hepingdao	25.16083	121.7715	×
Extra	A - 北臺灣	Waimushan	外木山	Waimushan	25.1656	121.7224	×
Extra	A - 北臺灣	Xiehe	協和	Xiehe	25.15898	121.7405	×

^{*}調查站點及其確切之經緯度可能因當地海洋及天候狀況而做調整(見結果部分)。

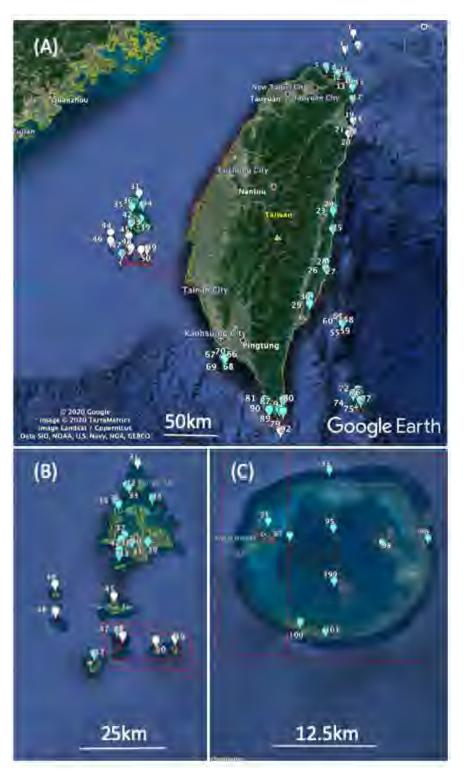


圖 11、本計畫規劃 110~113 年以人員潛水調查之 100 處站點。淺藍色標記為研究團隊 於本計畫前已調查過的站位(本計畫將再次調查),其歷史資料可做為人工智慧運算 影像辨識之訓練數據 (training data)。紅色標記/範圍為海洋保護區及野生動物重要棲 息環境。(A)臺灣周邊海域;(B)澎湖及南方四島;(C)東沙環礁。

3.2.3 採樣方法、觀測及基本資料分析

(一) 群聚生態調查

本項工作以水肺潛水進行野外調查,工作流程詳見圖 12。工作團隊在每個選定的站點沿海岸線走向,選擇於水深五米處設置五條 20 公尺長的穿越線,穿越線間間隔五公尺,共計 100 公尺,用以代表選定樣點的底棲群聚狀況。本計畫採取橫截線調查法配合方格樣區法,每隔 1 米拍攝一張 0.5 x 0.5 公尺的樣框相片,共計每個站點至少拍攝 100 張樣框照片。這些相片會用線上底棲生物分析工具 CoralNet 來分析,此工具結合人工智慧 (AI) 運算,可大幅加速生物影像鑑定的速度,而未來隨著底棲生態影像的累積,還能更進一步提升人工智慧運算的精準度。本計畫團隊同時將各調查點經 AI 鑑種後產生的底棲生物功能群覆蓋率矩陣,以及生物影像提供給科技部海洋學門資料庫作永久保存。另一方面,有鑑於各調查站點的海洋資源保護具體規範會因為設立的法源依據及站點的資源不同而有所差異(表4),本計畫將會使用聯合模型 (Joint model approach)來探討這些具體規範對各底棲生物功能群的覆蓋率有無顯著的正負影響,並藉此評估這些規範是否對底棲生物資源有具體的保護效果。計畫中使用 Kennedy et al.(2020) 所提供的分析程式來進行。

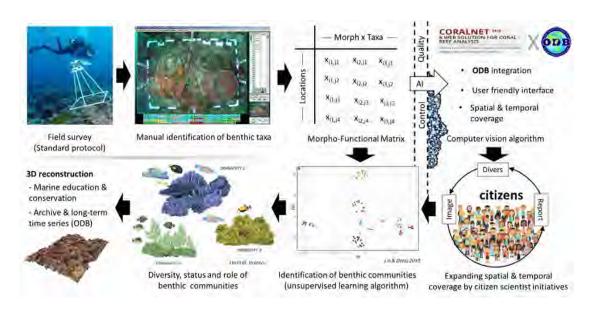


圖 12、從現場調查到實驗室之分析診斷臺灣珊瑚礁生態系底棲生物的多樣性,現況和生態系中扮演的角色之工作流程圖。右側為資訊/人工智慧 (AI) 工具的開發,未來將用於整合來自公民科學 (citizen-science) 計畫的數據。ODB: Ocean Data Bank,設置於國立臺灣大學海洋研究所海洋學門資料庫平台。

調查站點		站點 1	站點 2	站點3	站點4	站點 5			
法源依據		國家公園	野生動物保 護區	重要棲息地	漁業資源保 護區	禁漁區			
	捕撈	X	X	X	X	X			
,	觀光用途	О	О	X	X	X			
具體	傳統使用	О	О	X	О	О			
規範	船隻通行	О	О	О	О	О			
1	定錨	X	О	О	X	X			
	其他	X	О	О	X	X			

表 4、調查站點對於海洋資源保護的具體規範之示意表格。

此外,在時間及人力許可下,本計畫團隊亦將進行礁區之海洋廢棄物調查。此部分也以潛水員以上述之方式進行。調查者將沿著穿越線前進並記錄穿越線左右各兩米內的海洋廢棄物種類、大小及數量,若遇到洞穴或石縫等有高低起伏之地形則會游近查看。同樣的,我們將使用 R 語言程式來計算各類海洋廢棄物的密度、大小分布。最後,本計畫將利用模型來評估各個調查地點的保育區規範是否影響海洋廢棄物的分布。

(二) 魚類環境 DNA 與底泥生態調查

潛水人員在進行前述群聚生態調查時,一併採集海水與底泥樣本帶回實驗室進行 後續分析。在魚類環境 DNA 部分,每次採 2 至 5 升的海水樣本分析,樣本過濾、DNA 萃取、定序等分生及物種多樣性分析按照前章節中敘述之方法。

底泥生物將以透明壓克力管壓入珊瑚礁旁的軟底質海床,封閉上下蓋後回收標準體積的沉積物樣本(直徑 6.8 公分、長度約 10 公分=363 毫升)的沉積物樣本,接著將樣本帶回船上(或岸上)後,把管內的沉積物頂出,再以過濾海水(孔徑 5 µ m)在500 µ m網目的篩網上過篩。最終留在篩網上沉積物樣本再與含玫瑰紅染劑(1g/L)的10%福馬林對半稀釋(達最終濃度為 5%),靜置至少一個星期以完成生物樣本的染色及固定。底泥樣本於實驗室的處理步驟包括:將保存於福馬林的樣本置換到 70%酒精中,並在解剖顯微鏡(Olympus® SZX16,0.7-11.5 X zoom)下將大型底棲動物分樣至網或是目的分類階層,並用目鏡測微計 (ocular micrometer) 測量每個樣本的最大體長及體寬。部分環節動物、甲殼類及線蟲類群的體型太小會根據最大體長及體寬用下列公式:

V=L×W^2×C 來估計。公式中,L 為最大體長,W 為最大體寬,C 為不同分類群將體長寬轉換成體積的係數 (Rachor 1975; Warwick and Gee 1984; Feller and Warwick 1988),此估計方法簡稱為體長體寬關係 (LWR,表 5);缺乏轉化係數的生物類群的體積則根據其近似之幾何形狀來估計,如橢圓體 (Ellipsoid),圓柱體 (Cylinder),錐體 (Cone)等;剩下的生物類群則是使用形狀相似的生物的轉化係數來模擬 (例如:多板網的生物類群使用了用扁形動物門的轉化係數)。本次分析各生物類群所使用的轉換係數以及體積估算方法請參考表 5。生物數量估算只考慮有保留完整頭部的個體,而生物量(濕重)則以生物體積乘以比重約 1.13 來估計 (Warwick and Gee 1984, Wieser 1960)。

表 5、分類生物類群,轉換係數,以及體積估算方法。

Taxon	Phylum	Method	轉換係數
Gastropoda (腹足綱)	Mollusca	Cone	
Echiura(螠蟲目)	Annelida	Cylinder	
Decapoda (十足目)	Arthopoda	Cylinder	
Mysida (糠蝦目)	Arthopoda	Cylinder	
Pycnogonida (海蜘蛛綱)	Arthopoda	Cylinder	
Cirripedia (蔓足亞綱)	Arthopoda	Cylinder	
Bryozoa (苔蘚動物門)(Polyp; Colony)	Bryozoa	Cylinder	
Bryozoa (苔蘚動物門)	Bryozoa	Cylinder	
Chaetognatha (毛顎動物門)	Chaetognatha	Cylinder	
Ascidiacea (海鞘綱)	Chordata	Cylinder	
Actiniaria (海葵目)	Cnidaria	Cylinder	
Holothuroidea (海參綱)	Echinodermata	Cylinder	
Crinoidea (海百合綱)	Echinodermata	Cylinder	
Ophiuroidea(蛇尾綱)	Echinodermata	Cylinder	
Nemertea (紐形動物門)	Nemertea	Cylinder	
Sipuncula (星蟲動物門)	Sipuncula	Cylinder	
Calanoida (哲水蚤目)	Arthopoda	Ellipsoid	
Cyclopoida (劍水蚤目)	Arthopoda	Ellipsoid	
Echinoidea (海膽綱)	Echinodermata	Ellipsoid	
Polychaeta (多毛綱)	Annelida	LWR	0.53
Oligochaeta (寡毛綱)	Annelida	LWR	0.53
Amphipoda (端足目)	Arthopoda	LWR	0.4 (Tanaidacea)
Cumacea (連蟲目)	Arthopoda	LWR	0.4 (Tanaidacea)
Tanaidacea (原足目)	Arthopoda	LWR	0.4
Isopoda (等足目)	Arthopoda	LWR	0.23
Ostracoda (介形綱)	Arthopoda	LWR	0.45
Harpacticoida (猛水蚤目)	Arthopoda	LWR	0.5
Acari (蜱螨亞綱)	Arthopoda	LWR	0.399
Hydrozoa (水螅綱) (Polyp; Colony)	Cnidaria	LWR; Cylinder	0.385

Taxon	Phylum	Method	轉換係數
Polyplacophora (多板綱)	Mollusca	LWR	0.55 (Tuberllaria)
Bivalvia (雙殼綱)	Mollusca	LWR	0.45 (Ostracoda)
Nematoda (線蟲動物門)	Nematoda	LWR	0.53
Platyhelminthes (扁形動物門)	Platyhelminthes	LWR	0.55 (Tuberllaria)
Hirudinea(蛭亞綱)	Annelida	LWR	0.53 (Polychaeta)

資料分析上,我們假設澎湖群島西南方的臺灣淺堆冷水湧升流可能對澎湖群島形成南北向的初級生產力變化,因此,我們將澎湖的樣區再區分成北澎湖與南澎湖,並以北台灣、北澎湖、南澎湖等三個地區檢驗生物組成的差異。獨立於珊瑚礁生態普查的桃園樣本 TY10 與 TY11 也在此納入記錄,但因只有兩個資料點而不納入後續的多變異分析與統計分析。TY10 因為較靠近大潭藻礁現址,以下簡稱大潭;TY11 簡稱觀新。生物密度與生物量皆做四次方根轉換來減少優勢物種對數據分析造成過大的影響。兩組方根轉換過的資料再分別用布雷-柯蒂斯相似度 (Bray-Curtis similarity) 量化不同樣點間生物組成的差異,並進行後續的多變量分析。其中,我們使用沃德法 (Ward's method)來建構階層分群 (hierarchical clustering) 的關係樹,並使用輪廓分析 (Silhouette analysis)來決定分群數目。這一系列的分析旨在檢視各區域底泥生物總成是否有空間上變化。另外,我們也以非度量多維度分析 (non-metric dimensional scaling; nMDS)來檢視底泥生物的分布樣態,並視覺化階層分群分析的結果。在北台灣、北澎湖、南澎湖等三個區域的生物組成差異上,我們另外使用排列變異數分析 (PERMANOVA) 檢驗生物類群組成是否有顯著差異,排列多變量散布分析 (PERMDISP) 檢驗組成變異性是否有顯著差異,而事後多重比較 (post hoc test) 則以 Bonferroni correction來校正 p值。

3.3 自動監測系統調查

3.3.1 背景及預期效益

本項目之長期目標為發展新興海洋觀測技術,利用自動化智慧調查裝置,以長期且非侵入性的聲學遙測方式,有系統地蒐集海域生態及環境資料。在本年度計畫的執行中,團隊以架設水聽器 (hydrophones) 的方式,在桃園市觀新外海與基隆市望海巷潮境海灣資源保育區兩海域,於水深 10 米各建置一組長時間及固定式之聲學監測站,蒐集兩處調查海域的水下環境噪聲,即水下聲景 (underwater soundscape),以追蹤海洋生態系關鍵發聲物種之群聚多樣性及其受人為活動(如船隻航行及離岸工程所造成的人為活動的聲響等)之衝擊。

本計畫之成果可以達到以下三個效益:

- (1) 計畫研究成果可協助保育主管機關與權益關係人應用水下聲學監測海洋生態系健 康以及海洋發聲動物群聚之多樣性。
- (2) 協助社會大眾透過聆聽水下聲音了解海洋生物多樣性的變動趨勢,以及人為噪音 對海洋生態的潛在影響。
- (3) 本計畫成果與全球海洋觀測系統 (Global Ocean Observing System; GOOS) 列入海洋聲音為基本海洋變量 (Essential Ocean Variable) 之目標一致,能協助國內參與國際海洋科學研究事務。

3.3.2 調查範圍、作業內容及頻率

本計畫在基隆潮境、桃園觀新雨處調查區域,分別架設 1 組自動錄音系統,並進行三次水下聲音監測。在基隆潮境海域,於春、夏、秋三季,以岸潛方式佈放水下聲音機。在桃園觀新海域,因受到新冠肺炎疫情影響,五、六月份無法進行出海調查,因此於夏、秋雨季,以船潛方式進行三次水下聲音監測。每次調查,若無遭遇颱風或其他可能導致錄音系統遺失、損壞的自然、人為事件,則在佈放系統後至少 15 天進行回收作業。

本計畫使用的 SoundTrap 300 HF (Ocean Instruments, 紐西蘭)錄音系統(圖 13),取樣頻率最高可達 576 kHz,以高取樣率記錄各種水下聲音之波形變化。其搭配的水聽器可有效收錄 20 Hz - 150 kHz 的頻率範圍,整套系統的自身噪聲在 2 kHz 以上之頻率範圍可低於 38 dB re $1\,\mu$ Pa/Hz,能夠有效偵測高頻以及超音波範圍中的各種聲音。根據本團隊之調查經驗,SoundTrap 300 HF 錄音系統能夠有效擷取淺水海域的各種動物聲音

(槍蝦、發聲魚類以及海洋哺乳動物),以及各種人為活動(潛水、船隻航行以及海洋工程開發)產生的噪音 (Lin et al. 2019; Heard et al. 2021)。在水下噪音監測期間,錄音系統之增益值 (Gain) 設定為高,取樣頻率設定為 96 kHz,以每 5 分鐘錄製 3 分鐘的錄音排程收集水下聲音。此設定能使我們取得最高頻率達 48 kHz,有效敏感度達—175 dB re 1 V/μ Pa 的水下錄音資料。



圖 13、SoundTrap 300 HF 錄音系統。

本計畫所選擇的兩處監測地點,依據海床特性需採用不同形式的系統架設方法。 在桃園觀新海域,監測地點的海床主要由卵石與泥沙所構成,因此每次調查需派遣專 業潛水人員將底錠重物與船錨固定在海床上,利用繩索連接底錠重物與水下浮球,再 將錄音儀器固定於繩索上距離海床約 1 公尺的位置。在基隆潮境海域,監測地點位於 珊瑚礁,在執行第一次調查時派遣專業潛水人員在礁盤選擇一處不會傷害到珊瑚的位 置進行打樁作業,再將錄音系統固定於樁上(圖 14)。本計畫所使用之錄音儀器固定 方法,經過長期的測試,已確認可以有效減少因為海面波浪與海流造成的噪音。

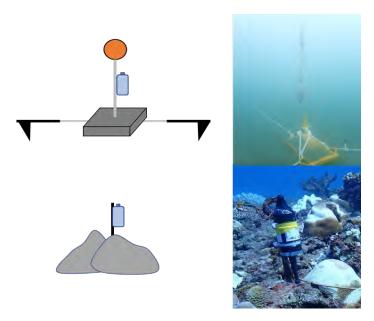


圖 14、水下錄音系統之固定方法示意圖與實際佈放之範例。

3.3.3 資料分析

從調查地點收回水下錄音系統之後,首先運用 SoundTrap Host (Ocean Instruments,紐西蘭) 軟體將無損壓縮的 SUD 檔案格式,轉換為可以進行後續分析的 WAV 格式。完成資料轉換後,本計畫使用中央研究院海洋生態聲學與資訊實驗室所開發的開源聲音分析軟體 Soundscape Viewer (https://github.com/schonkopf/soundscape_IR) 進行大量錄音資料之分析,包含:(1) 長時間錄音資料之視覺化呈現,(2) 聲源分離,以及(3) 聲音多樣性分析(圖15)。

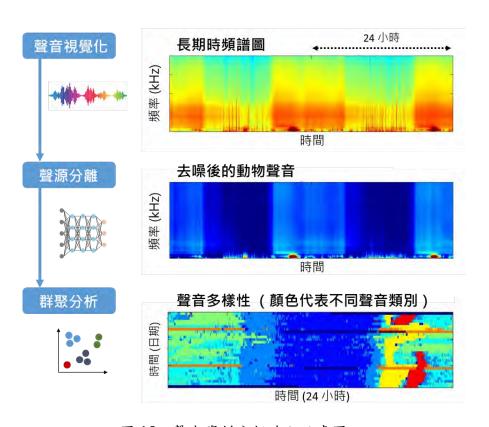


圖 15、聲音資料分析流程示意圖。

(一) 視覺化呈現長時間錄音資料

長期時頻譜圖是一種能夠呈現大量聲音資料在各種頻率與時間尺度下變化的方法,能夠協助研究人員不需花費大量時間檢查每一筆聲音資料,即能快速了解錄音資料中的聲景變化趨勢,以及各種聲源的出現時間與頻率特徵 (Merchant et al. 2015)。計算長期時頻譜圖的過程中,本計畫選擇 14 毫秒為視窗長度(1024 筆聲音取樣資料)進行快速傅立葉變換分析,以取得頻率解析度為 93.75 Hz 的時頻譜圖。接著,計算每 3 分鐘錄音片段中,各頻率的功率譜密度之中位數,再將所有的 3 分鐘聲音片段組合起來並

轉換為對數尺度後,即能產出以橫軸為時間、縱軸為頻率、色階為功率譜密度的長期時頻譜圖。

根據過去的研究結果,以功率頻譜中位數呈現長期時頻譜圖,能夠視覺化呈現環境中的各種動物合唱、環境噪音與人為噪音,例如:大量槍蝦產生的脈衝聲波、魚群合唱、船隻噪音等最主要貢獻水下聲景時空變化的動物與人為活動因子 (Lin et al. 2017; Lin et al. 2021)。此外,功率頻譜中位數較不容易受到環境中的高強度間歇性聲音影響,例如:船隻聲納、水中物體敲擊錄音機產生的噪音,因此能夠大幅簡化分析聲景變化的工作流程。透過此項技術,本計畫針對每 24 小時錄音產出一張基於 HTML 語言的長期時頻譜圖,透過互動化界面呈現長時間水下錄音資料,協助保育主管機關了解調查區域的水下聲景變化趨勢。

(二) 聲源分離

本計畫運用 Soundscape Viewer 工具箱的聲源分離演算法,訓練一個週期性編碼非負矩陣分解法 (Periodicity-coded non-negative matrix factorization, PC-NMF) 的機器學習模型。PC-NMF 是一種非監督式機器學習,能夠在不提供任何資料標籤的情況下,自主學習隱藏於時頻譜圖中的頻譜特徵,並根據每個頻譜特徵在長時間錄音資料中的週期性出現模式,估測哪些頻譜特徵屬於生物性聲音(通常具有高度日夜週期性),哪些屬於非生物性聲音(通常不具有高度日夜週期性)。完成特徵學習後,此模型即能重建各聲源的長期時頻譜圖,大幅降低不同聲音在同一筆錄音片段同時出現相互干擾所造成的誤差。此方法已經被應用於分析河口、藻礁、珊瑚礁、大陸棚海域的長時間水下錄音,能夠有效解析水下聲景的動態變化 (Lin et al. 2018, 2021a, 2021b)。

本計畫運用 PC-NMF 機器學習模型分析以功率頻譜中位數呈現的長期時頻譜圖,分離魚類合唱、甲殼類動物聲音與人為噪音,並重建個別聲源的長期時頻譜圖。完成聲源分離後,本計畫分析各聲源的時間變化趨勢。首先,運用針對各聲源重建的長期時頻譜圖,在每個 3 分鐘的片段計算訊雜比之積分。接著,依照整個調查期間收錄到的最小值與最大值進行訊雜比之正規化(重新調整至0到1之間的範圍),以調查日期為橫軸單位,將每日 24 小時的聲音強度變化以不同色階呈現於縱軸。

(三) 聲音多樣性分析

本計畫藉由分析動物聲音的聚類結構,評估各調查地點海洋發聲動物群聚之多樣性。基於 PC-NMF 重建的動物聲音長期時頻譜圖,運用一個新的 NMF 模型學習 10 個動物聲音的頻譜特徵降低資料維度,再利用 k-means 聚類演算法分析動物聲音在頻譜特徵上的變化特性,並輔以人工判斷動物聲音的類別數量。針對每一個聲音類別,本計畫分析其音頻特性,以及在日夜、潮汐週期以及三次調查期間的時間出現模式。

最後,針對每天所收錄到的聲音類別,本計畫使用香農多樣性指數 (Shannon diversity index) 量化動物聲音組成之複雜度與均勻度:

$$H' = -\sum_{i=1}^{N} p_i \log (p_i)$$

其中N表示辨認出之聲音類別總數, p_i 表示第i個聲音類別在每天錄音資料中出現之比例。若是每天的錄音資料只辨識出一個聲音類別,多樣性指數則為0;若是有越多聲音類別出現,且比例越均勻,多樣性指數就會越高。

3.3.4 資料倉儲與公眾取用

本計畫在研究資料寄存所 (Depositar) 網站,建立專屬之資料入口 (https://data.depositar.io/en/organization/oceanbiodiversity-ch),將原始水下錄音資料、長期時頻譜圖、以及其他聲音分析結果發布於網站上。讓社會大眾得以透過聆聽水下聲音與視覺化圖形,了解本計畫之研究成果與水下聲景多樣性之重要性。此外,本計畫也透過 Google Colab 雲端運算平台,建立水下錄音資料視覺化與資料分析之開放程式碼,讓保育主管機關與其他研究團隊得以了解如何運用水下錄音資料進行保育政策之規劃與其他生態應用。

3.4 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區進階資料分析

3.4.1 各大類生物之時空、特性資料集

彙整本計畫中前述相關生物資料,建置各類生物資源時空特性資料庫,保存於海 洋學門資料庫 ODB 中(詳細可見以下說明),並使用 ESRI 的 ArcGIS 或是 ODB 自行 開發之工具做為生物地理資訊之整合軟體並建置圖檔,呈現各類生物資源空間分布, 並以此作為分析之工具。資料庫欄位建置原則上將依循營建署臺灣國家公園生物多樣 性資料庫規範建置。

3.4.2 各類海洋相關地理資訊圖資收集彙整

為保存國內海洋研究調查成果,行政院科技部自然科學及永續研究發展司海洋學 門自 1986 年委由國立臺灣大學海洋研究所以服務型研究計畫,協助建立與維運「海洋 學門資料庫 | (Ocean Data Bank,簡稱 ODB)。ODB 除負責研究船海洋資料保存、品管、 資料申請與推廣外(如海流、水深、水文、化學與生物資料等),亦發展前瞻資訊技 術(如建置網頁呈現加值內容及應用查詢,發展分散式之互動式平台、海上作業資訊 後勤輔助、及資訊技術研發等服務,詳見 http://www.odb.ntu.edu.tw) ,以確保珍貴海 洋資料得以推廣運用並永續保存,期能在環境變遷與氣候政策、漁業資源生態保育、 海洋文教與人才培訓、海洋科研與技術發展,以及海洋能源開發評估等諸多議題上提 供科學數據基礎。基於科技部海洋學門賦予的任務,ODB 將與本計畫密切合作,利用 多年發展的資訊技術來協助保存、品管及展示本計畫產生的各項珍貴生態資料(見上 述說明),另外,ODB 也會協助收集彙整本計畫採樣區域內各類海洋相關地理資訊圖 資,包含公開資訊及 ODB 內部資料,例如:海洋自然保護區,海洋國家公園,海域資 源保護區/海岸風景區,TaiBIF 中海洋生物多樣性資料,生態環境因子,地貌/地質/底 質,經濟/社會等超過 300 筆相關地理資訊圖資。這些圖資皆會以 ODB 自主建置的 ODBWMS 圖台服務 (網址 http://odbwms.oc.ntu.edu. tw/odbintl/rasters/wms/)提供給海 洋保育署做後續應用。ODBWMS 遵循開放地理資料協會 (Open GIS Consortium 簡稱為 OGC) 所制訂地圖查詢服務協定 (Web Map Service, 簡稱為 WMS)。由於 WMS 為公開 的標準協定,因此市面上絕大多數的 GIS 軟體如 ArcGIS、QGIS 或 Google Map API 均 可直接套疊。近年來愈來愈多的政府單位亦開始建置各式 WebGIS 應用網站,並且支 援引用外部 WMS 服務,如內政部海域資訊整合平台、海洋委員會的全國海洋資料展示

系統。另外,ODBWMS 具有先進的 3D 投影轉換功能,可確保 ODBWMS 所發佈的圖層服務能正確的套用在外部單位的 3D 模式上。

3.4.3 我國海洋保護區歷年研究報告彙整

目前臺灣海洋保護區相關之規範,各具不同目的事業主管法規,各權責機關依其主管法規劃設不同類型海洋保護區,且各有其不同保護標的、管理目的及保育方式,例如野生動物保護區係為保育物種及多樣性,國家公園則兼顧保育、研究、育樂等目的,漁業資源保育區為保育水產資源,自然保留區則為保留自然區域特殊地形資源之原來狀態,而國家風景區主要為發展觀光及永續經營特有自然人文景觀資源而予以劃設。

過去海洋保護區主管機關行政院農委會漁業署,曾於 2010 年參考 IUCN 將 MPA 定義為:「平均高潮線往海洋延伸之一定範圍內,具有特殊自然景觀、重要文化遺產及永續利用之生態資源等,須由法律或其他有效方式進行保護管理之區域。」並認定我國海洋保護區主要依《漁業法》、《國家公園法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》及《發展觀光條例》等法規劃設,亦依計畫採購需求說明,計有 45 處。前述保護區面積超過 5,300 平方公里,占臺灣領海外界線以內水域面積+金馬太平島禁限制水域 64,473 平方公里(內政部提供)面積>8%。若以臺北市行政轄區面積 272 平方公里為單位進行換算,臺灣海洋保護區約為 19.5 個臺北市大小,主要以國家公園面積比例82.86%最大,其次依序為海洋野生動物保護區(含重要棲息環境)14.44%、漁業資源保育區 1.85%、國家風景區 0.83%、自然保留區 0.02%。

海洋保育署成立後,已著手完成相關上述海洋保護區之盤點,本計畫團隊將配合與彙整署內所收集之各海洋保護區之報告進行數化與資料庫建置,協助國內對目前海洋保護區資源與利用之掌握,如臺灣海洋保護區歷年生物分布、保護區內利用情形、以及保護區可能之社會人文與觀光效益等。

3.4.4 熱點分析

套疊上開臺灣周邊海域生態系與重要海洋生態系及海洋保護區周圍海域環境因子與生物資源空間分布圖,提出生物多樣性熱點區域、環境/氣候變遷可能影響生物分布範圍。

3.4.5 臺灣重要海洋生態系暨海洋保護區生態系統服務評估及價值衡量

生態系統服務泛指人類受惠於生態系所提供的各項益處及功能,包含供給性 (provisioning)、調節性 (regulating)、支持性 (supporting) 和文化性 (cultural) 服務 (Brown et al. 2014)。評估生態系統服務並量化其服務價值,可幫助我們追蹤、比較各生態系統 的功能 (Millennium Ecosystem Assessment 2005) ,以達到生態系管理 (Ecosystem-based management) 的目的。

生態系統服務評估曾應用於估計各種海洋生態系服務的經濟價值,並由經濟損益的角度探討這些海洋生態系統提供的服務,可能及如何受到氣候變遷或人為因素影響(Barbier et al. 2011; Lester et al. 2013; Liquete et al. 2013)。然而,受限於可得資料的限制,在臺灣,生態系統服務評估過去多應用於陸域、淡水及濕地生態系(呂等人 2012; 王與邱 2017; Kuo and Wang 2018),針對海洋生態系之評估則相對較少,包含漁業資源保育區之生態系統服務之經濟效益評估(林 2013; Chen et al. 2018)、澎湖人工漁礁之休閒經濟價值(Chen et al. 2013)、以及評估臺灣西部離岸風場開發時,其所影響的生態系統服務之補償金額(楊 2015)等。綜觀目前臺灣的海洋生態系統服務評估,目前尚缺乏系統性或連續監測之評估,各生態系所評估之服務面向亦各有差異,難以進行跨生態系之比較。

本計畫團隊將選擇臺灣一重要的海洋生態系,進行生態系統服務價值評估,旨在提供一基準點及示範區域進行系統性的生態系統服務價值估計,以供管理機關後續追 蹤我國海洋生態系統功能變化之用。本計畫年度預定以受禁漁規範的海洋保護區,如 基隆市望海巷潮境海灣資源保育區,作為測試評估範例。

生態系統服務評估及價值衡量將使用生態系統服務及權衡的整合評估模型 (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs,簡稱為 InVEST) 進行(圖16)。InVEST為美國自然資本計畫 (Natural Capital Project) 所開發,用於評估生態系統 服務功能及其經濟價值,支援生態系統管理決策的模型系統 (https://naturalcapitalproject.stanford.edu/)。InVEST 過去曾被應用於貝里斯的海洋空間規劃及溫哥華島西海岸的海洋生態系統服務評估 (Guerry et al. 2012; Arkema et al. 2014)。本計畫預計針對臺灣一海洋保護區進行以下至少三種生態系統服務的價值評估:(1)生物多樣性、(2)碳儲存及固定、(3)自然休閒及旅遊價值、(3)海岸侵蝕保護及沿海洪水調蓄價值。



圖 16、InVEST 模型系統計畫標章示意圖。

(一) 生物多樣性

生態保護的一重要目的是保護生物多樣性,故一海洋生態系的生物多樣性高低或是否為保育類物種重要棲地即代表該生態系的價值之一。為了瞭解所選定之海洋生態系的生物多樣性狀態,本計畫預計依據 3.2 臺灣海域重要海洋生態系及海洋保護區-人員潛水調查及 3.3 自動監測系統調查中所得的資訊,估計物種豐度 (richness)、生物多樣性指數及其空間分佈狀況,考量物種特殊性(如是否為保育類物種),加權後疊合棲地品質資訊及其它地理資訊圖資,以瞭解該地生物多樣性的分布狀態及可能影響因子。

(二)碳儲存及固定

海洋生態系能藉由海岸帶植物、紅樹林、海草等,吸收和釋放大氣中的溫室氣體來調節全球氣候。評估一海洋生態系碳儲存量,能幫助我們瞭解未來該地地景及生態系變化時對調節氣候變遷的影響。為了瞭解海洋生態系的碳儲存及固定所造成的經濟效益,所需要輸入的資料中,最重要者即為植被(海草床、紅樹林、葉綠素濃度等)覆被圖,其餘如碳匯表(二氧化碳/公頃)、碳量減半期、碳價等,若缺乏臺灣本地資料,本計畫預計透過全球文獻資料庫中之平均或中位數值進行估算。模型將以計量方法模擬碳循環 (Houghton 2003),計算主要碳庫的固碳含量,並估計其碳儲存量的價值。

(三) 自然休閒及旅遊價值

海洋生態系常能吸引各式休閒及旅遊活動,促進地方發展及增加經濟效益。 InVEST 模型系統能透過該棲地的特性,估計其能吸引的每日人潮,再考量訪問成本後,使用旅行成本法 (Travel cost method) (Brown and Mendelsohn 1984) 推估該地的旅遊價值。此部分需要的輸入資料包含:休閒活動在該區進行的位置(熱點)、休閒活動的類型、每個位置的訪問率、旅行成本等。這些資訊將於本計畫下以問卷調查的方式收集遊客的地理資訊資料及社會經濟(旅行成本)資料。問卷調查則預計於觀光旺季(預計為六月至九月)針對該地區的遊客進行調查,至少收集二百份問卷。最後,模型將會計算並輸出該地休閒活動所帶來的經濟價值,並可推估各種生態系特性(如珊瑚礁覆蓋率)發生變化後,對該休閒活動帶來的影響。

(四)海岸侵蝕保護及洪水調蓄價值

藉由風場、波場、深度、潮汐等資訊,綜合 3.4.2 各類海洋相關地理資訊圖資收集彙整之情形,加上船舶與人員潛水調查所獲得之底棲生態調查之資料,利用 InVEST 模型系統估計生態系海岸侵蝕及洪水調蓄之能力,再結合遊客與觀光相關統計數據或近岸水域基礎設施位置和價值等資訊,可估計海岸侵蝕保護及洪水調蓄對海洋保護區 周邊社群產生的價值。

第四章 調查結果與討論

4.1 臺灣周邊海域生態系 - 船舶調查

本計畫於110年4月配合水產試驗所之研究船水試一號的例行性計畫航次,於臺灣周邊海域進行第一次20個站點之環島採樣調查;該航次分為兩個梯次,第一梯次於4月7日自基隆離港,航行台灣東部海域,海上作業8天,完成10個站點採樣,至4月14日回到高雄進港。第二梯次於4月22日自高雄離港,航行台灣西部海域,海上作業9天,完成10個站點採樣,至4月30日回到基隆進港。第二次探勘於7月進行,因受COVID-19疫情的影響,改由水試二號執行,且僅限水試所人員才能登船作業,故委請水試所僅協助環境參數與動浮網的採樣,而其他項目(包括魚類環境DNA與海洋微塑膠)的採樣工作,則緊急與臺灣大學海洋研究所船務室協調,改由配合新海研一號研究船8月18~24日計畫總主持人執行科技部計畫之航次,以加購航期的方式,完成15個臺灣南部、東部及北部測站的調查及採樣工作,另外於9月23~27日新海研一號測試航次完成其它7個臺灣海峽站的調查及採樣工作。除此之外,在本計畫開始之前,我們亦利用新海研一號研究船於今年一月執行首航任務的機會,於FR01、FR33、FR46、H1及T1測站收集以上資料及樣本,提供計畫作整合性分析。

底棲生態與人為衝擊之加值調查部分,則利用水試二號試驗船例行性航次,於5月 完成第一次12個測站以及於9月完成第二次12個測站之大型底棲動物及海底垃圾的樣 本收集。

而今年也因新海研一號船位空間許可,海洋保育署特別派員參加 8 月航次進行隨船調查(圖 17)。船舶調查完成採樣的各個站點位置如圖 6,確切座標點位、各站點深度與作業日期及內容詳見表 6。

表 6、110年度完成之以船舶進行調查各站點之座標、	、深度、作業日期及作業內列表。
----------------------------	-----------------

緯度	經度	地點	水深 (m)	測站	日期	作業內容*(船舶)
24°52.807'N	122°00.414'E	宜蘭外海	305	FR 01	2021/1/15	CTD; PLN (NOR1)
24°54.17'N	121°58.64'E	-	126	-	2021/4/8	CTD; PLN (FR1)
24°53.885'N	121°59.873'E	-	176	-	2021/7/18	CTD; PLN (FR2)
24°53.978'N	122°00.001'E	-	175	-	2021/8/22	CTD (NOR1)
24°31.9'N	121°59.18'E	宜蘭外海	490	FR 05	2021/4/10	CTD; PLN (FR1)
24°30.983'N	121°99.3'E	-	672	-	2021/7/18	CTD; PLN (FR2)
24°30.025'N	122°00.020'E	-	706	-	2021/8/22	CTD (NOR1)

緯度	經度	地點	水深 (m)	測站	日期	作業內容*(船舶)
24°1.47'N	121°41.75'E	花蓮外海	758	FR 06	2021/4/10	CTD; PLN (FR1)
23°59.473'N	121°40.779'E	-	147	-	2021/7/18	CTD; PLN (FR2)
24°00.015'N	121°42.000'E	-	555	-	2021/8/22	CTD (NOR1)
23°4.97'N	121°32.27'E	台東外海	2028	FR 13	2021/4/11	CTD; PLN (FR1)
23°0.245'N	121°30.261'E	-	2006	-	2021/7/17	CTD; PLN (FR2)
22°59.945'N	121°29.975'E	-	1968	-	2021/8/20	CTD (NOR1)
22°43.68'N	121°12.33'E	台東外海	250	FR 14	2021/4/11	CTD; PLN (FR1)
22°40.332'N	121°14.84'E	-	206	-	2021/7/17	CTD; PLN (FR2)
22°41.987'N	121°11.980'E	-	227	_	2021/8/20	CTD (NOR1)
22°17.94'N	121°1.81'E	台東外海	1207	FR 15	2021/4/12	CTD; PLN (FR1)
22°15.329'N	121°1.335'E	-	1239	-	2021/7/17	CTD; PLN (FR2)
22°15.028'N	121°0.033'E	-	1211	-	2021/8/20	CTD (NOR1)
22°17.68'N	121°29.38'E	綠島蘭嶼海脊	280	Chen 16	2021/4/12	CTD; PLN (FR1)
22°15.601'N	121°30.934'E	-	825	-	2021/7/16	CTD; PLN (FR2)
22°17.445'N	121°29.487'E	-	307	-	2021/8/19	CTD (NOR1)
21°31.1'N	120°56.63'E	恆春海脊	492	Chen 24	2021/4/13	CTD; PLN (FR1)
21°31.86'N	121°1.949'E	-	1115	-	2021/7/15	CTD; PLN (FR2)
21°28.034'N	120°54.805'E	-	215	-	2021/8/19	CTD (NOR1)
22°2.14'N	120°30.92'E	枋寮海脊	355	FR 32	2021/4/14	CTD; PLN (FR1)
22°0.359'N	120°31.081'E	-	616	-	2021/7/14	CTD; PLN (FR2)
22°02.5193'N	120°30.6376'E	-	85	-	2021/8/18	CTD (NOR1)
22°24.42'N	120°17.29'E	小琉球海域	138	FR 33	2021/4/14	CTD; PLN (FR1)
22°23.272'N	120°19.505'E	-	541	-	2021/7/14	CTD; PLN (FR2)
22°24.019'N	120°18.021'E	-	128	-	2021/8/18	CTD (NOR1)
22°23.964'N	120°17.998'E	-	142	-	2021/1/11	CTD; PLN (NOR1)
22°58.48'N	119°57.54'E	台南外海	118	FR 39	2021/4/25	CTD; PLN (FR1)
23°0.301'N	119°55.196'E	-	133	-	2021/7/11	CTD; PLN (FR2)
22°58.489'N	119°57.515'E	-	124	-	2021/9/25	CTD (NOR1)
23°1.83'N	119°18.82'E	七美海域	59	Chen 38	2021/4/25	CTD; PLN (FR1)
23°0.057'N	119°30.093'E	-	82	-	2021/7/11	CTD; PLN (FR2)
22°59.993'N	119°19.963'E	-	65	-	2021/9/25	CTD (NOR1)
23°26.26'N	119°29.03'E	望安海域	54	Chen 41	2021/4/26	CTD; PLN (FR1)
23°26.113'N	119°29.336'E	-	57	-	2021/7/11	CTD; PLN (FR2)
23°26.291'N	119°29.025'E	-	51	-	2021/9/25	CTD (NOR1)
-						

緯度	經度	地點	水深 (m)	測站	日期	作業內容*(船舶)
23°29.99'N	119°0.03'E	澎湖海域	59	FR 42	2021/4/26	CTD; PLN (FR1)
23°30.104'N	118°59.589'E	-	60	-	2021/7/10	CTD; PLN (FR2)
23°30.017'N	118°59.996'E	-	56	-	2021/9/24	CTD (NOR1)
23°32.15'N	119°56.41'E	嘉義外海	88	FR 40	2021/4/26	CTD; PLN (FR1)
23°29.285'N	119°55.29'E	-	118	-	2021/7/11	CTD; PLN (FR2)
23°32.147'N	119°56.400'E	-	93	-	2021/9/25	CTD (NOR1)
23°59.98'N	119°59.82'E	雲彰隆起	46	FR 45	2021/4/27	CTD; PLN (FR1)
24°0.238'N	119°59.191'E	-	53	-	2021/7/10	CTD; PLN (FR2)
23°59.991'N	119°59.979'E	-	47	-	2021/9/24	CTD (NOR1)
24°30.022'N	120°29.906'E	台中外海	58	FR 46	2021/1/12	CTD; PLN (NOR1)
24°30.32'N	120°29.34'E	-	55	-	2021/4/27	CTD; PLN (FR1)
24°30.021'N	120°30.017'E	-	58	-	2021/7/10	CTD; PLN (FR2)
24°29.984'N	120°30.038'E	-	57	-	2021/9/24	CTD (NOR1)
25°3.68'N	120°56.81'E	桃園外海	86	FR 51	2021/4/27	CTD; PLN (FR1)
25°0.041'N	120°55.144'E	-	87	-	2021/7/09	CTD; PLN (FR2)
25°30.49'N	121°32.27'E	新北外海	120	FR 55	2021/4/28	CTD; PLN (FR1)
NA	NA	-	120	-	2021/7/06	CTD; PLN (FR2)
25°29.944'N	121°30.164'E	-	120	-	2021/8/23	CTD (NOR1)
25°30.41'N	121°59.1'E	基隆嶼海域	123	FR 62	2021/4/29	CTD; PLN (FR1)
25°29.678'N	122°0.183'E	-	127	-	2021/7/06	CTD; PLN (FR2)
25°30.015'N	122°00.032'E	-	125	-	2021/8/23	CTD (NOR1)
23°51.824'N	120°04.885'E	雲林外海	39	OT1	2021/5/13	T (FR2)
23°49.511'N	120°03.978'E	-	37	-	2021/9/3	T (FR2)
24°00.652'N	119°46.406'E	雲林外海	50	OT2.2	2021/5/12	T (FR2)
24°08.846'N	119°39.196'E	雲林外海	31	OT3	2021/5/12	T (FR2)
24°08.754'N	119°39.043'E	-	31	-	2021/9/4	T (FR2)
24°04.027'N	120°09.418'E	彰化外海	37	OT4	2021/5/12	T (FR2)
24°04.928'N	120°09.683'E	-	38	-	2021/9/3	T (FR2)
24°17.922'N	120°16.710'E	彰化外海	50	OT5	2021/5/11	T (FR2)
24°18.268'N	120°17.116'E	-	53	-	2021/9/5	T (FR2)
24°17.191'N	120°00.014'E	彰化外海	40	OT6	2021/9/4	T (FR2)
24°16.943'N	119°47.853'E	彰化外海	38	OT7	2021/5/12	T (FR2)
24°17.260'N	119°48.010'E	-	40	-	2021/9/4	T (FR2)
24°41.676'N	120°40.707'E	苗栗外海	61	OT8	2021/5/11	T (FR2)
24°41.808'N	120°40.568'E	-	62	-	2021/9/5	T (FR2)
-						

緯度	經度	地點	水深 (m)	測站	日期	作業內容*(船舶)
24°32.386'N	120°01.256'E	台中外海	68	OT9	2021/5/11	T (FR2)
24°29.310'N	119°58.886'E		66	-	2021/9/4	T (FR2)
23°39.239'N	120°01.954'E	雲林外海	28	Y1	2021/5/9	T (FR2)
23°41.943'N	120°01.491'E	-	33	-	2021/9/3	T (FR2)
24°50.008'N	120°48.3078'E	新竹外海	62	H1	2021/1/13	CTD; PLN (NOR1)
24°51.727'N	120°49.952'E	-	64	-	2021/5/10	T (FR2)
24°50.036'N	120°48.292'E	-	68	-	2021/8/24	CTD (NOR1)
24°52.045'N	120°50.010'E	-	62	-	2021/9/5	T (FR2)
24°58.560'N	120°38.168'E	新竹外海	89	Н2	2021/5/10	T (FR2)
24°58.611'N	120°38.293'E	-	89	-	2021/9/6	T (FR2)
25°07.492'N	121°01.625'E	桃園外海	73	T1	2021/1/13	CTD; PLN (NOR1)
25°07.287'N	121°00.307'E	-	78	-	2021/5/10	T (FR2)
25°07.497'N	121°01.631'E	-	73	-	2021/8/23	CTD (NOR1)
25°07.003'N	121°00.109'E	-	81	-	2021/9/6	T (FR2)

*作業內容標註說明:CTD,水體資料收集及水樣採集; PLN,動浮/仔稚魚網樣本採集; T,底拖網樣本採集; FR1,水試一號試驗船; FR2,水試二號試驗船; NOR1,新海研一號研究船



圖 17、海洋保育署林文琪參加新海研一號 8 月航次進行隨船海漂垃圾及海洋四足類動 物調查。

4.1.1 溫鹽深儀 (CTD) 分析

在各站點使用溫鹽深儀(CTD)探針沿深度剖面收集溫度、鹽度、溶氧濃度和溶氧飽和度資訊,並計算海水密度。同時在深度200米以上的有光層中選擇8個固定深度做總體比較,分別為5米、10米、25米、50米、75米、100米、150米和200米(詳細資料如附錄1)。

整體而言,春季時臺灣周圍海域大致可依海面(10 %)的海水特性分為北部、東部和西部三個海域,海域間溫度、鹽度、密度 (σ_{θ}) 、溶氧濃度和溶氧飽和度資料比較如圖 18。

北部海域包括 FR 01、FR 55和 FR 62,海面(10米)的水溫較低(19.5-23.0°C),密度較高(σ_{θ} , 23.4-24.3kg/m³)、溶氧濃度(6.15-7.58mg/L)和溶氧飽和度(82.1-106.0%)則在站點之間差異甚大,到 100 米靠近海床深度的水溫則降至 16-19°C左右,密度(σ_{θ})在 24.5-25.3 kg/m³之間,溶氧濃度低至 5.4-6mg/L,溶氧飽和度則在 68.6-75.7%之間。

東部海域包括 FR 05、FR 06、FR 13、FR 14、FR 15、Chen 16、Chen 24和 FR 32,水深普遍較深,都在 200 米以下,因為外側有溫暖的黑潮洋流經過,水溫相較於西部或北部海域站點來得高,海面 (10 米)的水溫在 25.5-28.0°C之間,密度則較低 (σ_{θ} , 22.2-22.5kg/m³),溶氧濃度約 6.3-6.7mg/L,溶氧飽和度在 95.2-99.5%之間,隨著深度下降到 100 米,除了 FR 05和 FR 06位置偏北水溫較低 (17.7-18.9°C)之外,其他站點的 100 米水溫都在 20°C以上,密度 (σ_{θ})則在 23.2-25.0 kg/m³之間,溶氧濃度約 5.5-6.4mg/L,溶氧飽和度略高於北部海域的 100 米深度,在 71.2-93.5%之間。

西部海域的站點包括 FR 33、Chen 38、FR 39、FR 40、Chen 41、FR 42、FR 45、FR 46和 FR 51,此區水深較淺,只有 FR 33和 FR 39深度達到 100米以下,其他站點水深皆不足 100米,最淺的 FR 45僅有 48米,海面(10米)的水溫(23.9-26.5°C)和密度(σ_{θ} , 22.2-23.1kg/m³)均介於北部和東部海域之間,溶氧濃度(6.4-6.6米 g/L)和溶氧飽和度(94.0-96.8%)則與東部海域相近,由於深度較淺,故此區水溫隨著深度下降的趨勢並不明顯。

而地理位置偏南方的站點,因無特出水文性質,故分別歸類入東部或西部海域。 至夏季調查時,臺灣周圍海域的分區情形不似春季明顯,海面(10 米)的水溫、 鹽度、密度、溶氧濃度和溶氧飽和度在海域之間皆沒有明顯區別。 北部海域的水溫與春季相比,大幅升高 $5-8^{\circ}$ C至 $27.5-28.5^{\circ}$ C,密度 (σ_{θ}) 則降低至 21.0-21.6 kg/m³,溶氧濃度 (6.81-7.29mg/L)和溶氧飽和度 (104-112.0%) 比春季時高,但在站點之間依然差異甚大,往深處 100 米接近海床的水文特性則與春季相差不多,水溫降至 $17.0-22.4^{\circ}$ C,密度 (σ_{θ}) 在 23.4-25.2kg/m³之間,溶氧濃度約 5.9-6.1mg/L,溶氧飽和度略為升高至 74.5-85.5%。

東部海域的水溫與春季相比約升高 $1-2^{\circ}$ C來到 $26.6-30.1^{\circ}$ C,密度 (σ_{θ}) 略為下降至 20.5-22.1 kg/m³,溶氧濃度約 6.25-6.72mg/L,溶氧飽和度則上升至 103.0-107.0%,在 100 米水深處,位置較偏北部的站點 FR 05 和 FR 06 的水溫與春季沒有差異($17.9-19^{\circ}$ C),其他站點的水溫則較春季稍高($21.2-26.1^{\circ}$ C),而密度(22.7-25.0 kg/m³)、溶氧濃度(5.8-6.4mg/L)和溶氧飽和度(75.4-95.9%)皆與春季相近。

西部海域的水溫在夏季明顯升高 3° C左右,在 26.5- 30.1° C之間,密度(σ_{θ})則低於春季在 20.2-22.1kg/m³之間,溶氧濃度(6.36-7.13mg/L)和溶氧飽和度(99.7-111.0%)皆較春季時高。

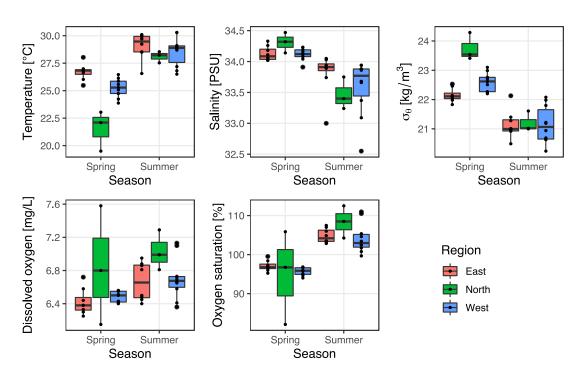


圖 18、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,臺灣東部、北部和西部海域在海面 $(10 \, \, \mathbb{R})$ 以 CTD 探測之溫度、鹽度、密度 (σ_{θ}) 、溶氧濃度和溶氧飽和度資料分佈 圖。

110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,各站點之詳細水文資料包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 $(Buoyancy\ frequency, N^2)$ 和溫鹽圖詳述如下。

表層海水的溫度和鹽度受到陽光照射、陸地逕流、水分蒸散、風力吹送、降雨和海流等因素影響很大,水體混合較好。隨著深度加深,水溫漸次下降,經過溫躍層(thermocline)之後趨於穩定,變化緩慢。同時溫度的改變以及深層水團的移動也會影響鹽度,鹽度則連帶決定了海水的密度,一般而言深度越深,海水密度越高,在經過密躍層(pycnocline)之後趨於穩定。溫躍層和密躍層的深度通常相近,因為溫度和密度的劇烈變化阻礙海水的垂直移動,造成海水分層現象。浮力頻率(N²)則可作為水體中密度變化的參考指標,表示物體在穩定流體中相對於平衡位置作上下震盪的頻率,浮力頻率最大值發生於垂直密度變化最大的深度,可明確指出水體的分層情形。海水中的溶氣則與海洋生物的生存息息相關,行自營生活的浮游藻類在光合作用時會產生氣氣,行異營生活的海洋生物則會消耗氧氣,溶氧可反映水體中自營及異營生物的生物量及比例,海水中的溶氧濃度會受到溫度影響,溫度越低,氧氣溶解度越高,但隨著深度加深,通常會因水體中自營生物減少、異營生物持續消耗氧氣而使溶氣濃度逐漸下降。當把溶氧濃度除以飽和溶氧換算為溶氧飽和度(oxygen saturation,%)時,溶氧飽和度隨著深度下降的趨勢會更加明顯。

(一) 各樣站環境

(1) FR 01

站點 FR 01 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 19 和圖 20 所示。春季時底深約 140 米,CTD 探測深度 132 米,水溫範圍在 16.10-22.13 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 18.60 $^{\circ}$ C。鹽度則約 33.96-34.36PSU,平均值 34.18PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 23.54-25.24kg/m³之間,平均值 24.47kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.59mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.85mg/L,平均值 6.62mg/L。溶氧飽和度在水面最高 106%,至底部最低 73%,平均 87%。水溫和鹽度在水深 30-40 米區間呈現快速下降,密度(σ_{θ})則明顯上升,浮力頻率(N^2)在 38 米處達到最高。而鹽度在約 30 米深度以深開始顯著下降後,在 40 米左右達最低值,至 60 米以深又顯著上升,浮力頻率(N^2)也在約 70 米深度達第二波高峰。溶氧飽和度則在水深 20 米以內皆高於 100%,在水深 20-40 米和 60-80 米兩個區間呈現兩波明顯下降。

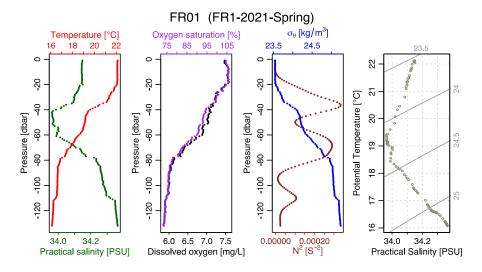


圖 19×110 年春季時站點 FR 01 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季調查時 FR 01 點位稍有位移至底深 175 米處,CTD 探測深度 170 米,水溫範圍在 16.20-28.41 °C之間,平均水溫 21.86 °C。鹽度則約 33.20-34.50PSU,平均值 34.01PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.91-25.33kg/m³之間,平均值 23.44kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.35mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.70mg/L,平均值 6.24mg/L。溶氧飽和度在水面最高 114%,逐漸下降至底部最低 72%,平均值 87%。水溫和溶氧飽和度從水面隨深度加深逐漸下降,鹽度和密度(σ_{θ})則逐漸升高,鹽度在 75 米深度出現一波明顯上升,浮力頻率(N^2)則在深度 55 米和 80 米處達到峰值。

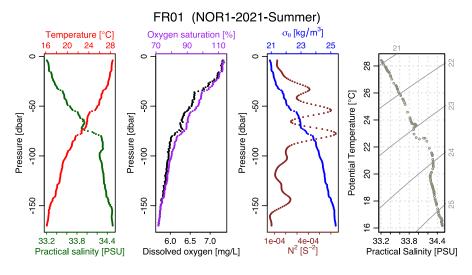


圖 20×110 年夏季時站點 FR 01 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(2) FR 05

站點 FR 05 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 21 和圖 22 所示。春季時底深約 490 米,CTD 探測深度 456 米,水溫範圍在 $9.47\text{-}26.02^{\circ}$ C之間,平均水溫 16.28° C。鹽度則約 34.28-34.69 PSU,平均值 34.49 PSU。換算海水密度(σ_{θ})在 22.53-26.51 kg/m³ 之間,平均值 25.20 kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.67 mg/L 隨深度逐漸下降至底部 4.36 mg/L,平均值 5.42 mg/L。溶氧飽和度在水面最高 100%,至底部最低 48%,平均 69%。水溫在水深大約 50 米處呈現明顯下降,鹽度則在 50-60 米間先明顯下降,至 60 米以深又顯著上升,在 100 米左右達最高值。密度(σ_{θ})在 60 米以深也呈現躍升,浮力頻率(N^2)在 70 米左右達到最高。溶氧飽和度則在深度 60 米以內都在 95-100%之間,至 60 米以深出現大幅下降,在 150-350 米深度區間維持穩定約 65%,至 350 米再出現第二波明顯下降。

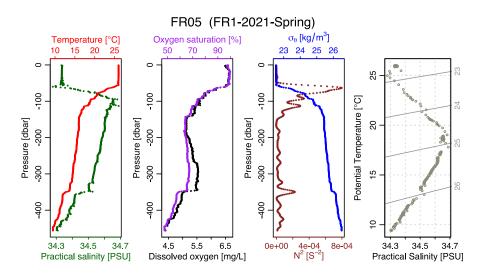


圖 21×110 年春季時站點 FR 05 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季調查時 FR 05 點位稍有位移至底深 706 米處,CTD 探測深度 700 米,水溫範圍在 $5.77-29.99^{\circ}$ C之間,平均水溫 12.47° C。鹽度則約 33.74-34.68PSU,平均值 34.36PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.95-27.07kg/m³之間,平均值 25.82kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.09mg/L 隨深度逐漸下降至底部 2.98mg/L,平均值 4.71mg/L。溶氧飽和度在水面最高 108%,至底部最低 30%,平均 57%。在 FR 05 站點鹽度自水面隨深度下降逐漸升高,至深度 110 米處達最高,後再逐漸下降。溫度和溶氧飽和度在深度 75 米處出現明顯下降,密度(σ_{θ})則明顯上升,浮力頻率(N^2)於 80 米處達到最高。

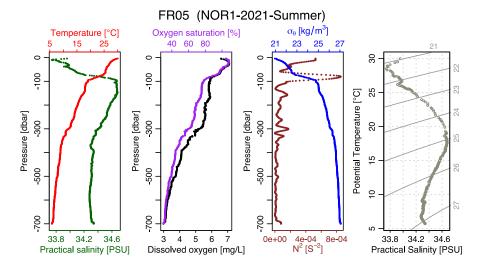


圖 22×110 年夏季時站點 FR 05 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(3) FR 06

站點 FR 06 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 23 和圖 24 所示。春季時底深約 758 米,CTD 探測深度 709 米,水溫範圍在 $5.71-25.85^{\circ}$ C之間,平均水溫 12.75° C。鹽度則約 34.01-34.60PSU,平均值 34.39PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.44-27.05kg/m³ 之間,平均值 25.84kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.82mg/L 隨深度逐漸下降至底部 2.80mg/L,平均值 4.68mg/L。溶氧飽和度在水面最高 101%,至底部最低 34%,平均 56%。在 FR 06 站點鹽度從水面隨著深度下降而遞增,至 40 米以深又下降,在 47 米處達低點,後再顯著上升,至深度 130 米時最高,再隨著深度往下到 350 米以深再次顯著下降,密度(σ_{θ})也在深度 40 米和 350 米處出現兩波明顯上升,浮力頻率(N^{2})則在 55 米達到高峰,另外在深度 110 米和 365 米處也有兩個小峰值。水溫和溶氧飽和度則在水深約 55 米和 350 米處呈現兩波明顯下降。

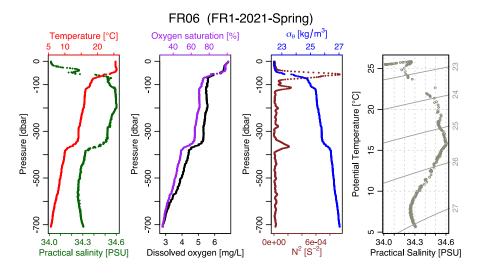


圖 23、110 年春季時站點 FR 06 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季調查時 FR 06 點位稍有位移至底深 555 米處,CTD 探測深度 545 米,水溫範圍在 7.54-28.57°C之間,平均水溫 13.96°C。鹽度則約 33.84-34.64PSU,平均值 34.39PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.35-26.76kg/m³之間,平均值 25.60 kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.00mg/L 隨深度逐漸下降至底部 3.68mg/L,平均值 4.15mg/L。溶氧飽和度在水面最高 108%,至底部最低 38%,平均值 64%。鹽度自水面隨深度下降而升高,至深度 100 米處達高值後再逐漸下降,密度(σ_{θ})則隨深度持續上升,浮力頻率(N^2)於 70 米處達到最高。溶氧飽和度在深度 15 米和 45 米處皆有明顯下降,溫度則在深度 65 米處出現明顯下降。

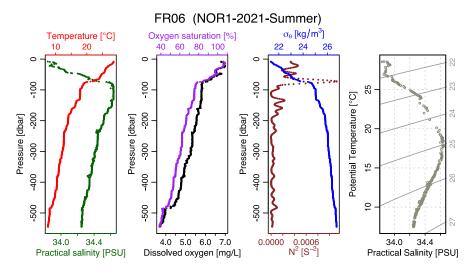


圖 24×110 年夏季時站點 FR 06 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(4) FR 13

站點 FR 13 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 25 和圖 26 所示。春季時底深約 2028 米,CTD 探測深度 1010 米,水溫範圍在 4.31-27.07°C之間,平均水溫 10.96°C。鹽度則約 34.00-34.80PSU,平均值 34.41PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.94-27.36kg/m³之間,平均值 26.14kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.43mg/L 隨深度逐漸下降至底部 2.84mg/L,平均值 4.12mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 28%,平均 48%。水溫和溶氧飽和度在深度 75 米以深呈現明顯下降,密度(σ_{θ})則呈現明顯上升。鹽度從水面隨著深度持續上升,至水深 120 米處達到最高值,後又隨著深度逐漸下降至 550 米達到低點。浮力頻率(N^2)則在 10 米、75 米和 130 米處皆出現波峰。

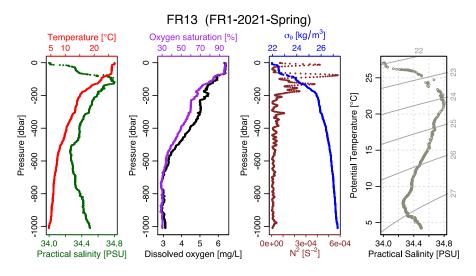


圖 25×110 年春季時站點 FR 13 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 1968 米,CTD 探測深度 1951 米,水溫範圍在 2.09-30.02 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 6.95° C。鹽度則約 33.81-34.76PSU,平均值 34.48PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.88-27.67kg/m³之間,平均值 26.82kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.59mg/L 隨深度逐漸下降至底部 2.76mg/L,平均值 3.78mg/L。溶氧飽和度在水面最高 104%,至底部最低 27%,平均 41%。水溫和溶氧飽和度在深度 65 米以深呈現明顯下降,密度(σ_{θ})則呈現明顯上升。鹽度從水面隨著深度持續上升,至水深 90 米處達到最高值,後又隨著深度逐漸下降至 500 米處達到低點。浮力頻率(N^2)則在深度 105 米處達到最高值。

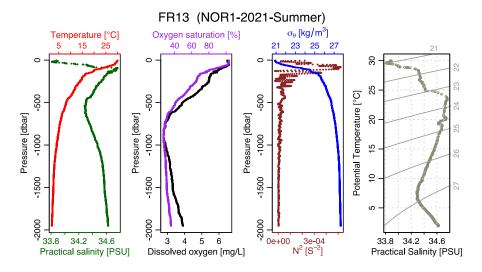


圖 26×110 年夏季時站點 FR 13 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(5) FR 14

站點 FR 14 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 27 和圖 28 所示。春季時底深約 250 米,CTD 探測深度 203 米,水溫範圍在 15.11-26.81 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 21.72 $^{\circ}$ C。鹽度則約 34.01-34.68PSU,平均值 34.45PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.04-25.61kg/m³ 之間,平均值 23.82kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.42mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.02mg/L,平均值 5.77mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 62%,平均 81%。水溫和溶氧飽和度在深度 65 米呈現明顯下降,密度(σ_{θ})則明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 75 米達到最高。鹽度在深度 15 米和 50 米呈現兩波明顯上升,至深度約 100 米處達到最高。

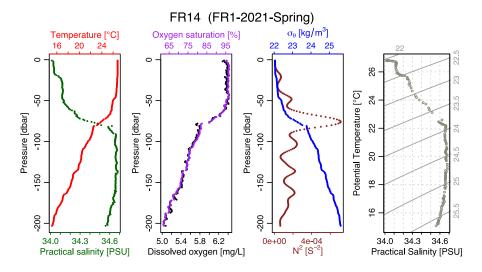


圖 27×110 年春季時站點 FR 14 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 227 米,CTD 探測深度 219 米,水溫範圍在 13.95-26.95 $^{\circ}$ $^{\circ}$ 之間,平均水溫 20.15 $^{\circ}$ $^{\circ}$ 。鹽度則約 33.99-34.69 PSU,平均值 34.48 PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.97-25.81 kg/m³ 之間,平均值 24.26 kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.00 mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.30 mg/L,平均值 5.98 mg/L。溶氧飽和度在水面最高 106%,至底部最低 63%,平均 81%。水溫和溶氧飽和度自水面隨深度加深而下降,密度(σ_{θ})則逐漸上升,浮力頻率(N^2)在深度 50 米達到最高。鹽度則隨深度加深而升高,在深度 100 米處達到最高。

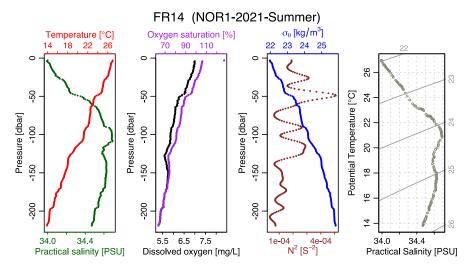


圖 28×110 年夏季時站點 FR 14 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(6) FR15

站點 FR 15 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 29 和圖 30 所示。春季時底深約 1207 米,CTD 探測深度 1009 米,水溫範圍在 4.40-26.85 $^{\circ}$ $^{\circ}$

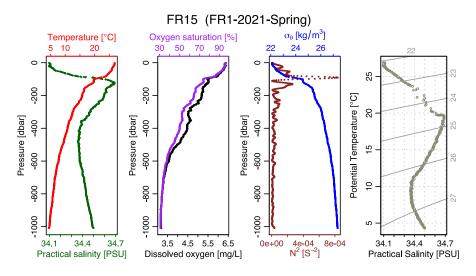


圖 29、110 年春季時站點 FR 15 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 1215 米,CTD 探測深度 1209 米,水溫範圍在 3.44-29.71 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 9.71 $^{\circ}$ C。鹽度則約 33.90-34.68PSU,平均值 34.44PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.01-27.50kg/m³之間,平均值 26.36kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.72mg/L 隨深度逐漸下降至底部 3.26mg/L,平均值 4.20mg/L。溶氧飽和度在水面最高 104%,至底部最低 31%,平均 48%。水溫和溶氧飽和度自水面隨深度加深而下降,密度(σ_{θ})則逐漸上升,浮力頻率(N^2)在深度 50 米達到最高。鹽度則隨深度加深而升高,在深度 140 米處達到最高,後再隨深度加深而下降,在深度 600 米處達低點。

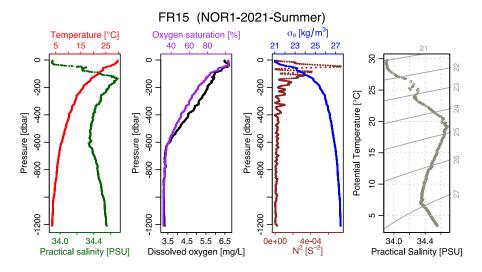


圖 30×110 年夏季時站點 FR 15 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(7) Chen 16

站點 Chen 16 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 31 和圖 32 所示。春季時底深約 280 米,CTD 探測深度 254 米,水溫範圍在 16.85-26.90 °C之間,平均水溫 22.23 °C。鹽度則約 33.94-34.88PSU,平均值 <math>34.59PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.95-25.32kg/m³ 之間,平均值 23.80kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.49mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.75mg/L,平均值 6.10mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 73%,平均 86%。水溫在深度 130 米處呈現明顯下降,鹽度和密度(σ_{θ})則呈現明顯上升,浮力頻率(N^2)也在 135 米達最高值,溶氧飽和度則在深度 100 米、135 米和 150 米處呈現三波階梯式下降。

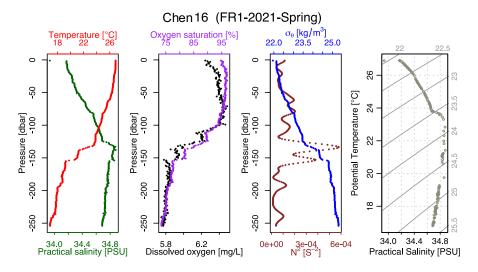


圖 31、110 年春季時站點 Chen 16 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 280 米,CTD 探測深度 270 米,水溫範圍在 15.27-30.11°C之間,平均水溫 22.22°C。鹽度則約 33.78-34.80PSU,平均值 34.53PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.83-25.60kg/m³之間,平均值 23.69kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.63mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.67mg/L,平均值 6.17mg/L。溶氧飽和度在水面最高 104%,至底部最低 70%,平均 87%。水溫和溶氧飽和度在深度 90 米處出現明顯下降,鹽度和密度(σ_{θ})則在 40 米和 90 米處有明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 50 米、100 米和 130 米處有 三個較高的波峰。

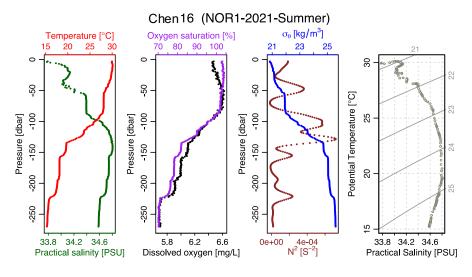


圖 32×110 年夏季時站點 Chen 16 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(8) Chen 24

站點 Chen 24 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 33 和圖 34 所示。春季時底深約 492 米,CTD 探測深度 303 米,水溫範圍在 11.41-28.04°C之間,平均水溫 21.36°C。鹽度則約 33.94-34.76PSU,平均值 34.42PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.59-26.26kg/m³之間,平均值 23.83kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.48mg/L 隨深度逐漸下降至底部 4.61mg/L,平均值 5.64mg/L。溶氧飽和度在水面最高 98%,至底部最低 53%,平均 79%。在水面至深度 50 米範圍內,水溫、鹽度、密度(σ_{θ})和溶氧飽和度均穩定,自 50 米以深,水溫和溶氧漸次下降,密度(σ_{θ})漸次上升,鹽度則在 50-85 米區間下降至低點,自 85 米以深又逐漸增加,至 185 米達最高值,浮力頻率(N^{2})則沿深度出現多個峰值,在深度 100 米、165 米、205 米和 250 米處的波峰較明顯。

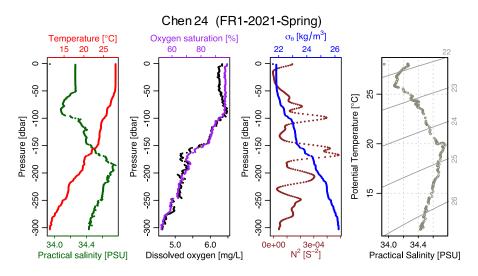


圖 33、110 年春季時站點 Chen 24 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。

夏季調查時 Chen 24 點位稍有位移至底深 215 米處,CTD 探測深度 205 米,水溫範圍在 $16.42\text{-}30.07\,^{\circ}\text{C}$ 之間,平均水溫 $24.73\,^{\circ}\text{C}$ 。鹽度則約 33.92-34.84PSU,平均值 34.50PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 $20.90\text{-}25.34\text{kg/m}^{3}$ 之間,平均值 22.99kg/m^{3} 。溶氧濃度由水面附近 6.59mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.72mg/L,平均值 6.27mg/L。溶氧飽和度在水面最高 104%,至底部最低 72%,平均 92%。水溫在深度 65 米和 95 米處出現明顯下降,鹽度和密度則在 65 米和 95 米處有明顯上升,另外鹽度隨深度加深至 130-145 米區間出現轉折下降,至 145 米以深又再上升,溶氧飽和度則在深度 65 米、95 米

和 130 米處出現明顯下降,在 150-160 米區間出現轉折上升,至 160 米以深又再下降, 浮力頻率則在深度 70 米、95 米、140 米和 195 米處皆出現波峰。

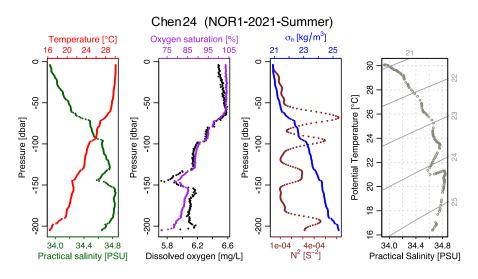


圖 34、110 年夏季時站點 Chen 24 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(9) FR 32

站點 FR 32 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 35 和圖 36 所示。春季時底深約 355 米,CTD 探測深度 304 米,水溫範圍在 13.78-26.66°C之間,平均水溫 19.84°C。鹽度則約 34.03-34.72PSU,平均值 34.44PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.11-25.87kg/m³之間,平均值 24.29kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.55mg/L 隨深度逐漸下降至底部 4.75mg/L,平均值 5.69mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 57%,平均 77%。鹽度從 80 米深度開始顯著上升,溶氧飽和度從 90 米深度開始明顯下降,密度(σ_{θ})則從 90 米深度開始明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 100 米時達到最高,而水溫在 100 米以深才出現明顯下降。

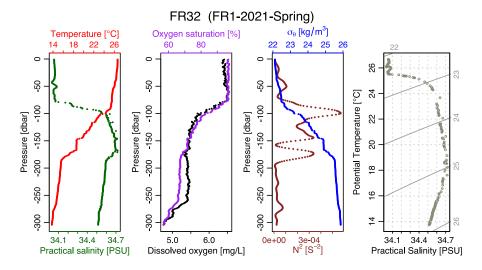


圖 35×110 年春季時站點 FR 32 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季調查時 FR 32 點位稍有位移至底深 100 米處,CTD 探測深度 94 米,水溫範圍在 20.72-29.49°C之間,平均水溫 25.56°C。鹽度則約 31.74-34.57PSU,平均值 33.99PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 19.44-24.25kg/m³之間,平均值 22.39kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.43mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.62mg/L,平均值 6.39mg/L。溶氧飽和度在水面最高 116%,至底部最低 77%,平均 95%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^2)在水面最高,隨深度逐漸下降。

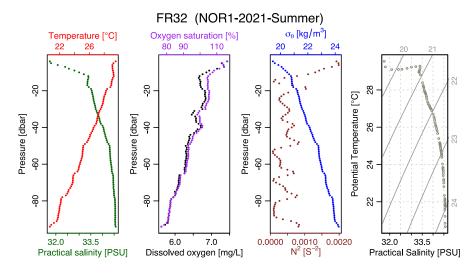


圖 36×110 年夏季時站點 FR 32 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(10) FR 33

站點 FR 33 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 37 和圖 38 所示。春季時底深約 138 米,CTD 探測深度 113 米,水溫範圍在 21.35-25.88 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 24.54 $^{\circ}$ C。鹽度則約 33.90-34.54PSU,平均值 34.16PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.24-24.05kg/m³之間,平均值 22.84kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.61mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.49mg/L,平均值 6.22mg/L。溶氧飽和度在水面最高 99%,至底部最低 76%,平均 91%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^{2})的峰值出現在深度 60 米和 105 米處。

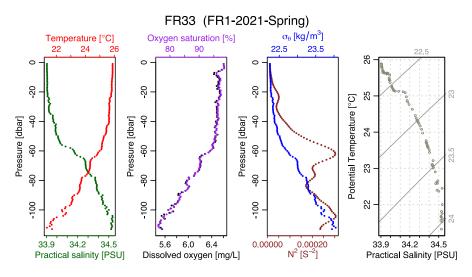


圖 37、110 年春季時站點 FR 33 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 128 米,CTD 探測深度 124 米,水溫範圍在 18.60-29.38°C之間,平均水溫 24.75°C。鹽度則約 32.11-34.60PSU,平均值 33.88PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 19.77-24.48kg/m³之間,平均值 22.54kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.24mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.26mg/L,平均值 6.28mg/L。溶氧飽和度在水面最高 113%,至底部最低 69%,平均 92%。水溫自水面隨著深度加深而逐漸下降,鹽度在深度 20 米和 90 米處呈 現明顯上升,溶氧飽和度則在 20 米處呈現明顯下降,在 90-95 米區間轉折上升,至 95 米以深再次下降,密度(σ_{θ})則在 20 米深度出現明顯下降,浮力頻率在 22 米達到最高。

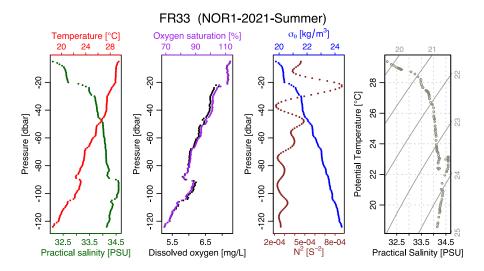


圖 38×110 年夏季時站點 FR 33 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(11) Chen 38

站點 Chen 38 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 39 和圖 40 所示。春季時底深約 59 米,CTD 探測深度 50 米,水溫範圍在 23.06-24.88 °C之間,平均水溫 23.71 °C。鹽度則約 33.95-34.37PSU,平均值 34.29PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.59-23.45kg/m³ 之間,平均值 23.19kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.66mg/L 隨深度逐漸下降至底部 6.15mg/L,平均值 6.38mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 88%,平均 92%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^2)在水面最高,隨深度逐漸下降,在深度 6 米、16 米、30 米處有小波峰。

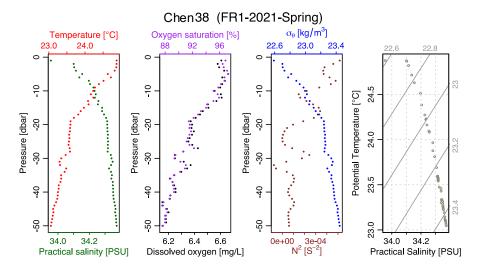


圖 39、110 年春季時站點 Chen 38 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 64 米,CTD 探測深度 58 米,水溫範圍在 23.18-26.84°C之間,平均水溫 24.78°C。鹽度則約 33.92-34.22PSU,平均值 34.08PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.96-23.29kg/m³之間,平均值 22.71kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.73mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.80mg/L,平均值 6.26mg/L。溶氧飽和度在水面最高 102%,至底部最低 83%,平均 92%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^{2})在深度 11 米和 34 米處有兩個波峰。

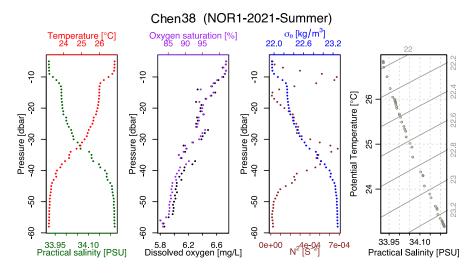


圖 40×110 年夏季時站點 Chen 38 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(12) FR 39

站點 FR 39 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 41 和圖 42 所示。春季時底深約 118 米,CTD 探測深度 103 米,水溫範圍在 22.20-26.47°C之間,平均水溫 24.69°C。鹽度則約 34.06-34.53PSU,平均值 34.34PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.17-23.79kg/m³之間,平均值 22.93kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.54mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.64mg/L,平均值 6.16mg/L。溶氧飽和度在水面最高 99%,至底部最低 79%,平均 90%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^2)在深度 63 米處最高。

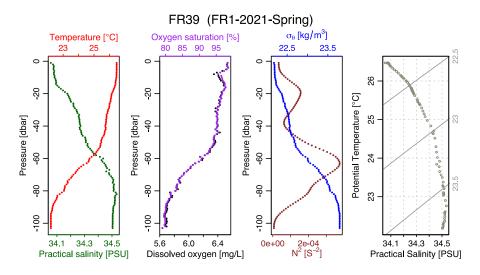


圖 41、110 年春季時站點 FR 39 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 124 米,CTD 探測深度 119 米,水溫範圍在 21.23-30.74°C之間,平均水溫 27.01°C。鹽度則約 33.63-34.49PSU,平均值 34.03PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.45-24.05kg/m³之間,平均值 21.96kg/m³。溶氧濃度由水面附近 8.73mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.65mg/L,平均值 6.46mg/L。溶氧飽和度在水面最高 141%,至底部最低 78%,平均 98%。水溫在水深 40 米和 80 米處有兩波明顯下降,鹽度和密度(σ_{θ})則在水深 40 米和 80 米處呈現兩波明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 44 米和 94 米處有兩個波峰,溶氧飽和度隨著深度增加而下降。

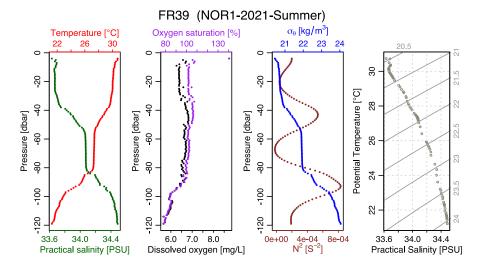


圖 42×110 年夏季時站點 FR 39 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(13) FR 40

站點 FR 40 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 43 和圖 44 所示。春季時底深約 88 米,CTD 探測深度 76 米,水溫範圍在 24.63-26.13 °C之間,平均水溫 25.80 °C。鹽度則約 34.00-34.23 PSU,平均值 34.11 PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 22.24-22.88 kg/m³之間,平均值 22.42 kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.55 mg/L 隨深度逐漸下降至底部 6.21 mg/L,平均值 6.43 mg/L。溶氧飽和度在水深 5 米左右最高 98%,至底部最低 91%,平均 96%。由於水深不深,整體而言水文變化較小,水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,至 60 米深度接近海床時才有顯著下降,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,在深度 60 米以深有顯著上升,浮力頻率(N^2)在深度 70 米處達到最高。

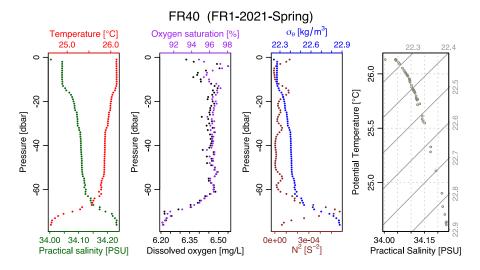


圖 43×110 年春季時站點 FR 40 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 93 米,CTD 探測深度 85 米,水溫範圍在 24.30-30.31°C之間,平均水溫 28.28°C。鹽度則約 33.66-34.26PSU,平均值 33.91PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.62-23.00kg/m³之間,平均值 21.48kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.81mg/L 隨深度逐漸下降至底部 6.29mg/L,平均值 6.53mg/L。溶氧飽和度則介於 91-107%,平均 101%。水溫在深度 40 米和 80 米處有兩波明顯下降,鹽度和密度(σ_{θ})則在深度 40 米和 80 米處有兩波明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 15 米和 45 米處有兩個小波峰,至 82 米處達最高值,溶氧飽和度在深度 30-40 米區間最高。

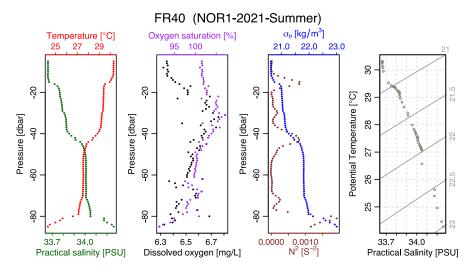


圖 44×110 年夏季時站點 FR 40 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(14) Chen 41

站點 Chen 41 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 45 和圖 46 所示。春季時底深約 54 米,CTD 探測深度 32 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 24.73-24.75°C之間,鹽度在 33.37-34.12PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 22.19-22.76kg/m³ 之間,溶氧濃度則約 6.31-6.45mg/L,溶氧飽和度介於 92-94%。

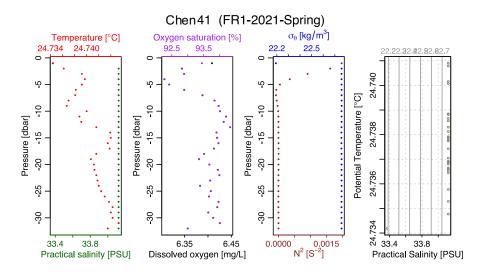


圖 45×110 年春季時站點 Chen 41 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 52 米,CTD 探測深度 44 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 25.86-27.30°C之間,鹽度在 33.92-34.02PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 21.81-22.34kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.09-6.63mg/L,溶氧飽和度介於 91-101%。

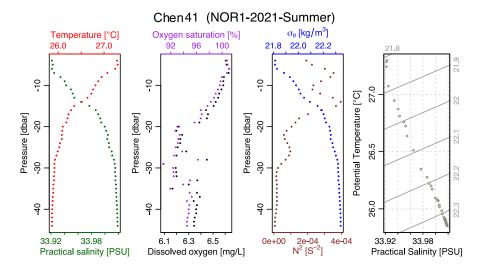


圖 46×110 年夏季時站點 Chen 41 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧 濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(15) FR 42

站點 FR 42 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 47 和圖 48 所示。春季時底深約 59 米,CTD 探測深度 42 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 23.85-23.88°C之間,鹽度在 34.22-34.23PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 23.09-23.11kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.50-6.69mg/L,溶氧飽和度介於 94-97%。

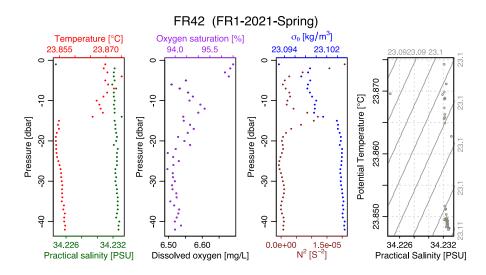


圖 47×110 年春季時站點 FR 42 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 58 米, CTD 探測深度 52 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 26.39-27.32°C之間,鹽度在 33.85-33.89PSU 之間,換算

海水密度 (σ_{θ}) 在 21.75-22.08kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.30-6.78mg/L,溶氧飽和度介於 94-93%。

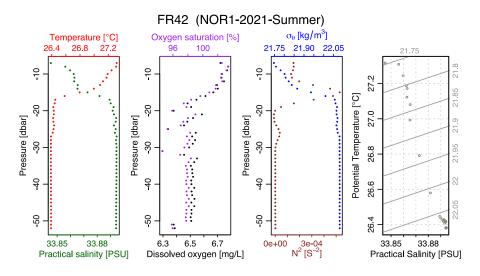


圖 48×110 年夏季時站點 FR 42 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(16) FR 45

站點 FR 45 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 49 和圖 50 所示。春季時底深約 46 米,CTD 探測深度 37 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 25.56-25.58°C之間,鹽度在 34.10-34.12PSU 之間,換算海水密度(σ_{θ})在 22.49-22.51kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.33-6.72mg/L,溶氧飽和度介於 94-100%。

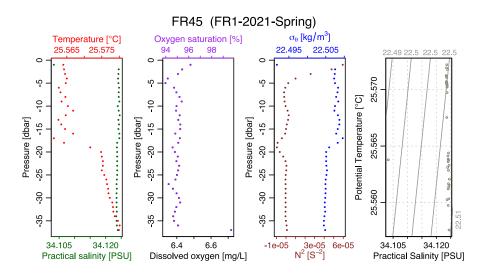


圖 49×110 年春季時站點 FR 45 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 48 米,CTD 探測深度 42 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 28.90-29.15°C之間,鹽度在 33.88-33.90PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 21.17-21.28kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.46-6.69mg/L,溶氧飽和度介於 101-105%。

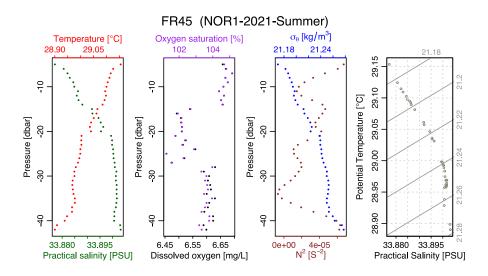


圖 50×110 年夏季時站點 FR 45 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(17) FR 46

站點 FR 46 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 51 和圖 52 所示。春季時底深約 55 米,CTD 探測深度 37 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 24.54-25.29°C之間,鹽度在 34.12-34.21PSU 之間,換算海水密度(σ_{θ})在 22.60-22.88kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.40-6.58mg/L,溶氧飽和度介於 94-97%。

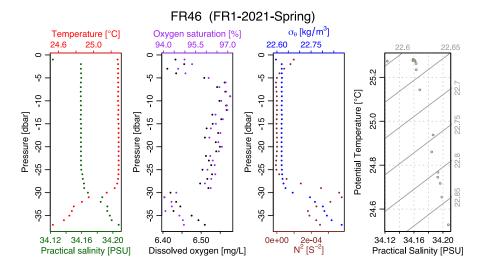


圖 51×110 年春季時站點 FR 46 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 57 米,CTD 探測深度 52 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 $28.82\text{-}29.06^{\circ}$ C之間,鹽度在 33.87-33.88PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 21.20-21.29kg/m³之間,溶氧濃度則約 6.52-6.72mg/L,溶氧飽和度介於 102-106%。

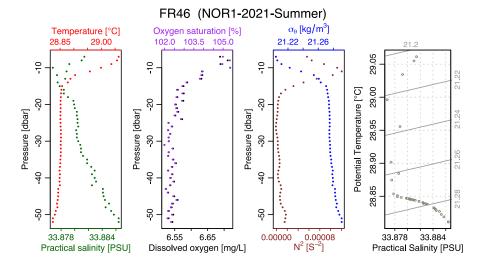


圖 52×110 年夏季時站點 FR 46 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(18) FR 51

站點 FR 51 在 110 年春季和鄰近站點 FR T1、FR H1 在夏季的 CTD 探測資料如圖 53、圖 54 和圖 55 所示。春季時站點 FR 51 底深約 86 米,CTD 探測深度 62 米。由於水深不深,水文特性水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 24.78-25.08℃之間,鹽度在

34.19-34.22PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 22.71-22.82kg/m³ 之間,溶氧濃度則約 6.42-6.63mg/L,溶氧飽和度介於 95-98%。

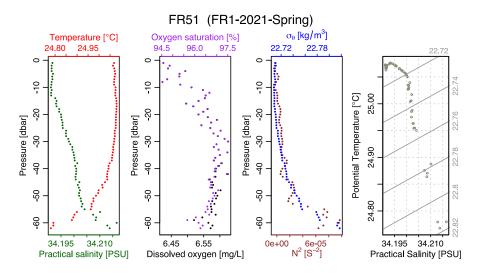


圖 53×110 年春季時站點 FR 51 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時探測鄰近站點 FR T1 之底深約 71 米,CTD 探測深度 64 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 28.17-28.96 °C之間,鹽度在 32.94-33.52 PSU 之間,換算海水密度(σ_{θ})在 20.53-21.23 kg/m³ 之間,溶氧濃度則約 6.59-7.24 mg/L,溶氧飽和度介於 102-113%。

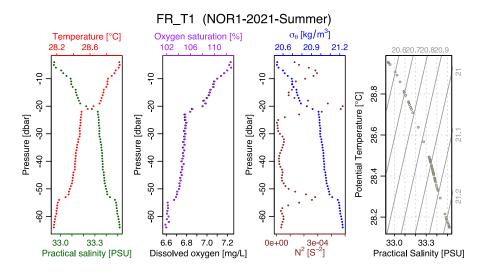


圖 54×110 年夏季時站點 FR T1 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^2) 和溫鹽圖。

夏季時探測鄰近站點 FR H1 之底深約 68 米,CTD 探測深度 59 米。由於水深不深,水文特性由水面至水底幾乎沒有差異,水溫範圍在 28.64-28.70 °C 之間,鹽度在 33.37- 33.48 PSU 之間,換算海水密度 (σ_{θ}) 在 20.94-21.05 kg/m³ 之間,溶氧濃度則約 6.61- 6.67 mg/L,溶氧飽和度介於 102-104%。

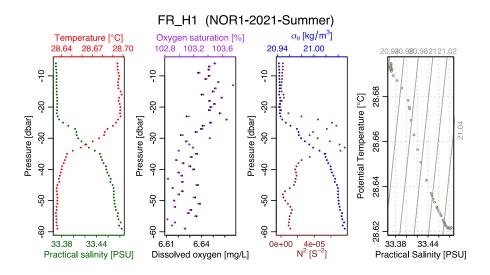


圖 55×110 年夏季時站點 FR H1 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(19) FR 55

站點 FR 55 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 56 和圖 57 所示。春季時底深約 120 米,CTD 探測深度 102 米,水溫範圍在 19.16-23.06 $\mathbb C$ 之間,平均水溫 21.27 $\mathbb C$ 。鹽度則約 34.30-34.43 PSU,平均值 34.37 PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 23.39-24.54 kg/m³ 之間,平均值 23.93 kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.83 mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.99 mg/L,平均值 6.37 mg/L。溶氧飽和度在水面最高 97%,至底部最低 80%,平均 88%。水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,在深度 30 米和 60 米處有兩波較明顯變化,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^2)在深度 27 米和 63 米處有兩個波鋒。

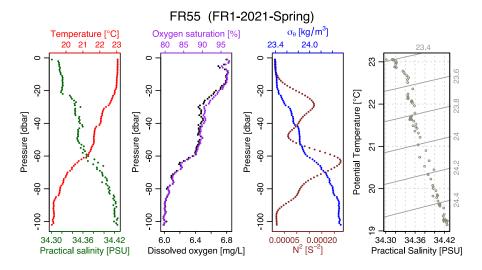


圖 56×110 年春季時站點 FR 55 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 128 米,CTD 探測深度 114 米,水溫範圍在 20.80-28.69°C之間,平均水溫 26.26°C。鹽度則約 33.30-34.19PSU,平均值 33.56PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 20.97-23.95kg/m³之間,平均值 21.85kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.11mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.98mg/L,平均值 6.53mg/L。溶氧飽和度在水面附近最高 110%,至底部最低 82%,平均 88%。水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,水溫在深度 65 米和 93 米處有兩波較明顯變化,溶氧飽和度則在深度 33 米、65 米和 93 米處呈現階梯式下降。鹽度和密度(σ_{θ})隨著深度增加而上升,在深度 65 米和 93 米處有較明顯變化,浮力頻率(N^2)則在深度 65 米和 98 米處有兩個波鋒。

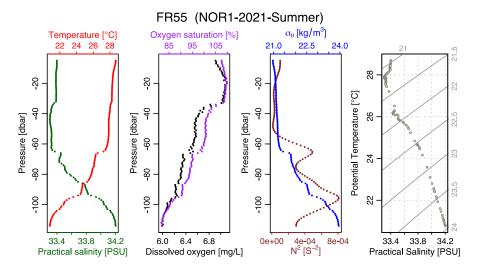


圖 57×110 年夏季時站點 FR 55 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(20) FR 62

站點 FR 62 在 110 年春季和夏季的 CTD 探測資料如圖 58 和圖 59 所示。春季時底深約 123 米,CTD 探測深度 105 米,水溫範圍在 16.62-19.54 $^{\circ}$ C之間,平均水溫 18.50 $^{\circ}$ C。鹽度則約 34.47-34.60PSU,平均值 34.53PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 24.48-25.28kg/m³之間,平均值 24.78kg/m³。溶氧濃度由水面附近 6.17mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.39mg/L,平均值 5.79mg/L。溶氧飽和度在水面最高 82%,至底部最低 68%,平均 76%。水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,在深度 50 米處有較明顯變化,鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,浮力頻率(N^2)在深度 50 米處達到最高。

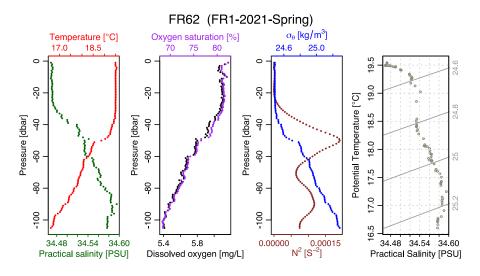


圖 58、110 年春季時站點 FR 62 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

夏季時底深約 125 米,CTD 探測深度 119 米,水溫範圍在 16.78-27.74°C之間,平均水溫 22.76°C。鹽度則約 33.73-34.62PSU,平均值 34.23PSU。換算海水密度(σ_{θ})約在 21.53-25.27kg/m³之間,平均值 23.35kg/m³。溶氧濃度由水面附近 7.15mg/L 隨深度逐漸下降至底部 5.82mg/L,平均值 6.42mg/L。溶氧飽和度在水面最高 108%,至底部最低 74%,平均 92%。水溫和溶氧飽和度隨著深度增加而下降,在深度 60 米處有較明顯變化。鹽度和密度(σ_{θ})則隨著深度增加而上升,同樣在深度 60 米處有明顯上升,浮力頻率(N^2)在深度 80 米處達到最高。

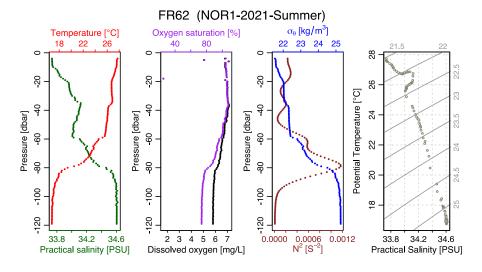


圖 59×110 年夏季時站點 FR 62 的 CTD 探測深度剖面資料,包括溫度、鹽度、溶氧濃度、溶氧飽和度、密度 (σ_{θ}) 、浮力頻率 (N^{2}) 和溫鹽圖。

(二) 整體周圍環境

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溫度資料,繪製深度 10 米處等溫線圖如圖 60。春季時東部海域及西南沿海水溫達 26℃,西部海域離岸稍遠處水溫至西北方海域水溫略低至 24-25℃,北部海域則溫差較大,水溫在 21-24℃之間。夏季時不同海域間水溫差異較小,值得注意的是西部海域水溫由近岸向遠岸遞減,可能與來自南海的湧升流有關,南海海流在台灣海峽南方由於遭遇地形抬升,深層的低溫海水向淺處流動注入澎湖南方海域的台灣淺堆,並持續向海峽北方移動,因此造成西部海域的水溫由近岸向遠岸遞減,而夏季時由於西部海域的水深較淺,表層海水受陽光加溫效應較為明顯,故近岸與遠岸海水的溫差較春季時大。另外東部海域的水溫則由近岸向遠岸遞增,可能與陸地逕流注入以及東部外海有黑潮支流流經有關,近岸水溫較低的區域位於台東縣境內主要河流卑南溪的出海口,夏季時或因淡水流量較大在河口與海水混合降溫,遠岸則因有長年溫暖的黑潮支流流經而水溫較高。

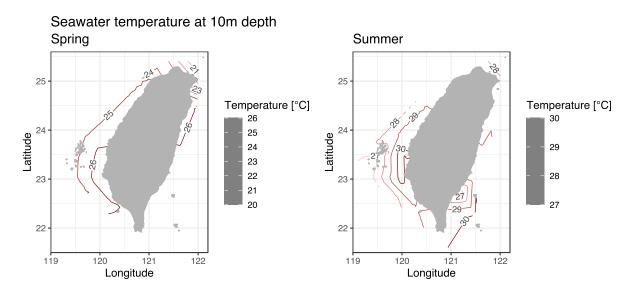


圖 60、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之等溫線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溫度資料,繪製深度 50 米處等溫線圖如圖 61。在海域間溫度變化趨勢與深度 10 米處相仿(圖 60),春季時西部海域由深度 10 米至 50 米處溫度約下降 1° C,北部海域降幅達到 2- 3° C,東部海域則持平,水溫在 10-50 米區間沒有太大變化。至夏季時西部海域由深度 10 米至 50 米處溫度降幅約 2- 3° C,相較於春季降溫明顯,北部海域降溫幅度仍為 2- 3° C,東部海域在夏季時溫度也有較明顯隨深度下降的情形,降幅約 2- 3° C。

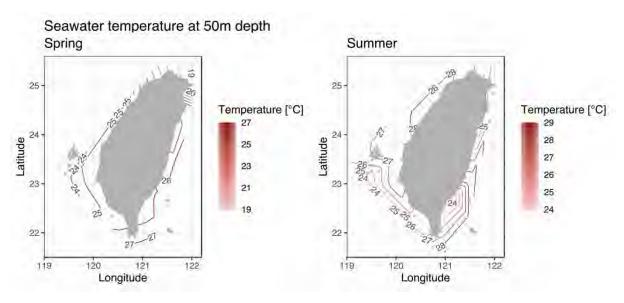


圖 61、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之等溫線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溫度資料,繪製深度 100 米處等溫線圖如圖 62,因西部海域站點底深皆不到 100 米故缺乏資料。春季時北部海域由

深度 50 米至 100 米處溫度約下降 2-3 °C,與表層 10 米處溫差達到 5-6 °C,東部海域也在深度 50-100 米區間出現明顯水溫下降,在花蓮沿海大幅下降 7-8 °C,台東沿海降幅則有 5-6 °C。至夏季時北部及東部海域在深度 100 米處的溫度與春季相近,與深度 50 米以淺的溫差達到 7-10 °C。

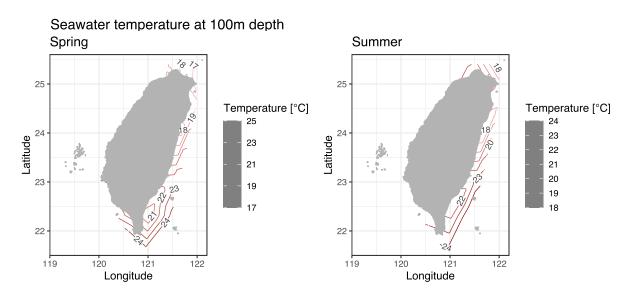


圖 62、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之等溫線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之密度資料,繪製深度 10 米處等密度線圖如圖 63。春季時北部海域的密度較高,其次為西部海域,東部海域的密度較低。至夏季時臺灣周圍海域之密度皆略低於春季,在不同海域之間密度沒有差異,惟西南方海域的海水密度較低,最低出現在小琉球嶼週邊,可能與陸地逕流注入淡水有關。

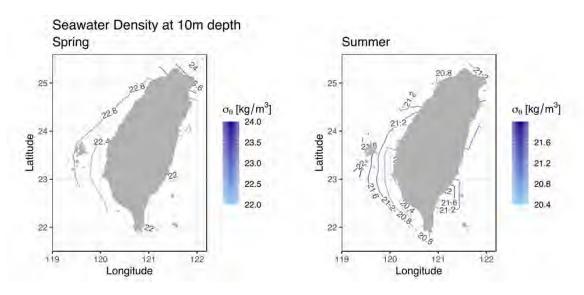


圖 63、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之等密度線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之密度資料,繪製深度 50 米處等密度線圖如圖 64。春季時臺灣周圍海域在深度 10-50 米區間密度沒有明顯變化。至夏季時北部和東部海域的密度與春季相近,在深度 10-50 米區間變化不大,西部海域由桃園至嘉義沿海的海水密度在季節間及深度間變化皆小,但西南方台南至屏東沿海的海水密度則較春季時高,也較夏季 10 米深度為高。

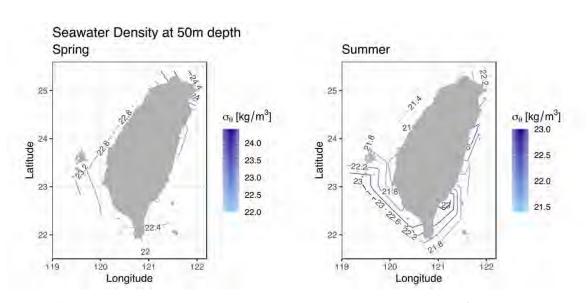


圖 64、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之等密度線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之密度資料,繪製深度 100 米處等密度線圖如圖 65,因西部海域站點底深皆不到 100 米故缺乏資料。北部和東部海域

深度 100 米處的海水密度在春季和夏季間變化不大,但不論春季或夏季,密度在深度 50-100 米區間皆有明顯上升。

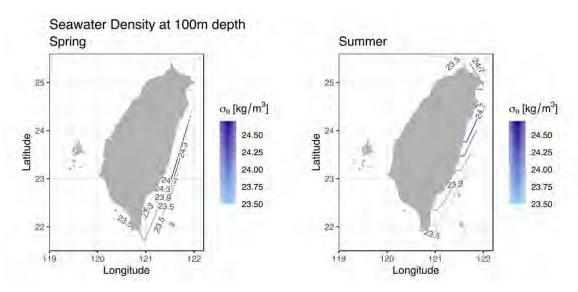


圖 65、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之等密度線圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溶氧飽和度資料,繪製深度 10 米處溶氧等飽和度線圖如圖 66。春季時東部和西部海域的溶氧飽和度皆在 96%左右,北部海域的溶氧飽和度變化較大,在 88-98%之間。至夏季時臺灣周圍海域的溶氧飽和度皆高於春季,東部海域約 104%,西部海域在 100-104%之間,北部海域的溶氧飽和度為三個海域中最高,在 106-112%之間。

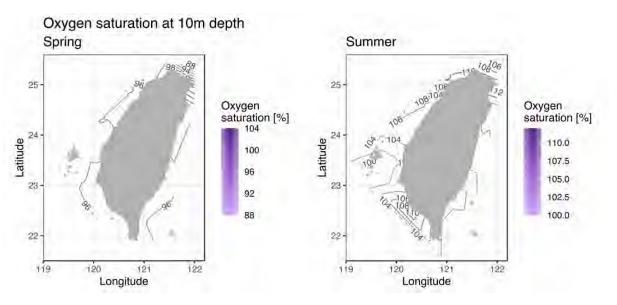


圖 66、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 10 米處之溶氧等飽和度線 圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溶氧飽和度資料,繪製深度 50 米處溶氧等飽和度線圖如圖 67。春季時溶氧飽和度隨深度越深而下降的情形不明顯,深度 50 米處的溶氧飽和度與 10 米處僅有 4%左右差異。至夏季時臺灣周圍海域在深度 50 米處的溶氧飽和度,約低於 10 米處 6-10%,但北部和西部海域在深度 50 米處的溶氧 飽和度仍高於春季。

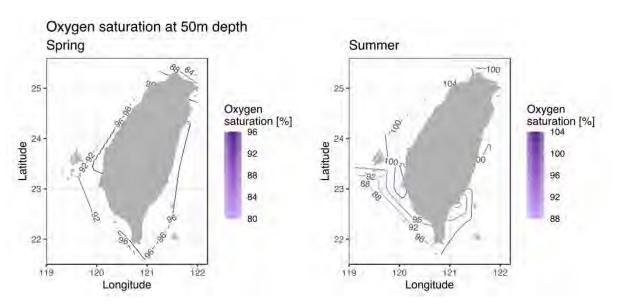


圖 67、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 50 米處之溶氧等飽和度線 圖。

分別合併春季探測 20 個站點及夏季探測 21 個站點之溶氧飽和度資料,繪製深度 100 米處溶氧等飽和度線圖如圖 68,因西部海域站點底深皆不到 100 米故缺乏資料。不論春季或夏季,臺灣周圍海域的溶氧飽和度在深度 50-100 米區間皆有明顯下降。春季時北部和東部海域的溶氧飽和度與深度 50 米處相比約下降 6-10%,夏季時降幅則有 10-20%,深度 100 米處的溶氧飽和度在季節之間則沒有太大差異。

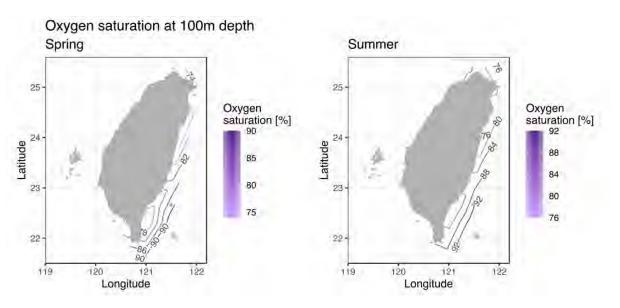


圖 68、臺灣周圍海域在 110 年春季和夏季採樣調查中,深度 100 米處之溶氧等飽和度線圖。

4.1.2 環境參數分析

在春季和夏季雨次環島採樣調查時(圖 69),以 CTD 輪盤採水器搭配採水瓶採集8個固定深度 5 米、10 米、25 米、50 米、75 米、100 米、150 米、200 米之海水樣本,分別測量葉綠素α、溶氧和無機營養鹽(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)濃度(詳細資料如附錄 1)。葉綠素α樣本為過濾海水 2.5L 至 GF/F 濾紙後保存於-20℃,攜回實驗室再以 95%丙酮將葉綠素α萃取出來並使用分光光度計測量。溶氧測定採用疊氮修正希巴辣光度測氧法(Shibala colorimetry),以氯化錳和疊氮-碘化鈉固定氧分子並使用分光光度計測量,在海上作業期間即完成。無機營養鹽樣本則將 80-100mL 海水置於-50℃以下快速結凍,攜回實驗室再以 cadmium、ascorbic acid/oxalate 及 ascorbic acid 還原比色法測定濃度。另外夏季環島採樣調查時,新海研一號之 CTD 設備可施放至深水域,因此在底深超過 200 米的站點,除了上列 8 個固定深度之外,另外採取 200 米以深之中層及底層海水樣本進行測量,且新海研一號之 CTD 配備葉綠素α螢光探針,故一併呈現海水樣本實驗測量結果與 CTD 測量結果於各站資料中。

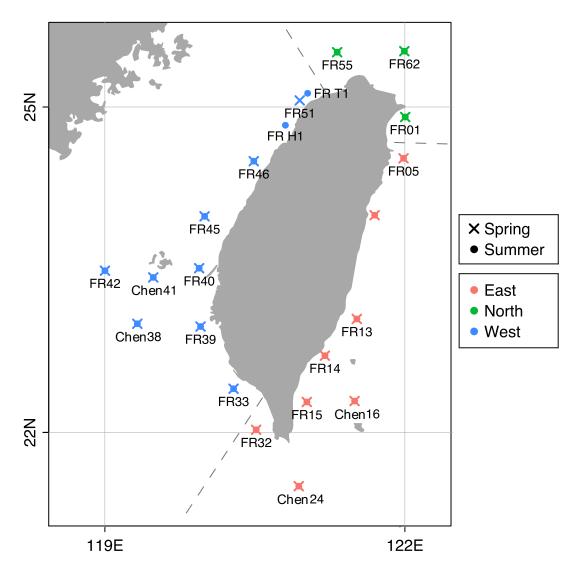


圖 69、110 年度在臺灣周圍海域完成春季和夏季兩次環島採樣調查之 22 個站點位置示意圖,×為春季採樣之站點,●為夏季採樣之站點,並依 CTD 探測之水文特性區分為東部海域(紅色)、北部海域(綠色)和西部海域(藍色),海域分區邊界以虛線標示。

利用 CTD 測得海水樣本各採樣深度之溫度、鹽度和密度 (σ_{θ}) 計算各採樣深度之飽和溶氧濃度,再將疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度換算為溶氧飽和度,並與 CTD 測得之溶氧濃度和溶氧飽和度做資料散佈圖,分別對春季和夏季測量數值做區域性加權迴歸(Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS)如圖 70。春季時不論溶氧濃度或是溶氧飽和度,在兩種測量方法間皆存在較大差異,可能與春季時海況較不穩定,船上實驗操作不易,或是與人員實驗操作熟練度有關,夏季時兩種測量方法之數值差異有明顯降低。夏季時因使用新海研一號進行採樣調查,CTD 設備可施放至

深水區接近海床深度,因此有數筆較低之測量值,使得夏季資料散佈與回歸曲線往圖 70左下方延伸。

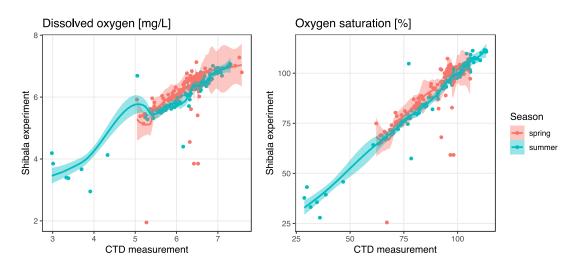


圖 70、對 CTD 和疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及溶氧飽和度分別做資料 散佈圖,並分別對春季和夏季測量數值做區域性加權迴歸 (Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS),曲線為迴歸曲線,陰影區域為測量數值的 95%信賴區間。

另外對春季和夏季分別以 CTD 和疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及溶氧飽和度沿採樣深度做資料分佈圖,並分別對兩種方法之測量值做區域性加權迴歸(Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS)如圖 71。春季時兩種測量方法測得溶氧濃度數值之迴歸曲線幾乎重疊,而溶氧飽和度的迴歸曲線則有較大差異,但不論是溶氧濃度或是溶氧飽和度,在相同的採樣深度,皆以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之數值差異大於 CTD 測量數值,因此疊氮修正希巴辣光度測氧法測得數值之 95%信賴區間較寬。至夏季時,兩種測量方法測得之溶氧濃度及溶氧飽和度數值皆相近,且在深度 0-500 米區間內之迴歸曲線幾乎重疊,95%信賴區間也近似,但到了 500 米以深水域則出現較大差異,原因可能與深水區資料較少,或是因 CTD 溶氧探針在長時間連續測量時可能發生之電化學偏移(electro-chemical drift)有關。

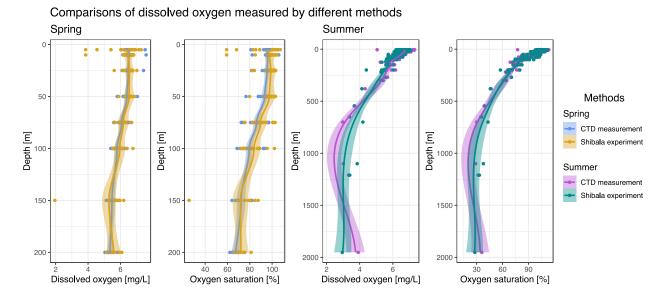


圖 71、對春季和夏季分別以 CTD 和疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及溶氧 飽和度沿採樣深度做資料分佈圖,並分別對兩種方法之測量值做區域性加權迴歸 (Locally weighted scatterplot smoothing, LOESS),曲線為迴歸曲線,陰影區域為測量 數值的 95%信賴區間。

在110年春季和夏季兩次環島採樣調查中,臺灣東部、北部和西部海域在海面(10 米)以 CTD 探測之葉綠素α濃度(缺春季)資料,以及採集海水樣本測量之葉綠素α濃度、溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度和矽酸鹽濃度資料比較如圖 72。

東部海域站點包括 FR 05、FR 06、FR 13、FR 14、FR 15、Chen 16、Chen 24和 FR 32,春季時以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得海面(10 米)之溶氧濃度和溶氧飽和度 與 CTD 測量數值相近,溶氧濃度約 6.26-6.81mg/L,與北部、西部海域相近,但換算為 溶氧飽和度(95.8-104.0%)則略高於北部、西部海域。測量海面(10 米)之無機營養鹽濃度,其中硝酸鹽(0.179-0.308mg/L)和磷酸鹽(0.001-0.019mg/L)略低於北部、西部海域,亞硝酸鹽(0-0.001mg/L)則與西部海域相近,低於北部海域,矽酸鹽(0.003-0.220mg/L)在海域之間無明顯差異,葉綠素α濃度(0.02-0.21μg/L)則也與西部海域相近,低於北部海域。

北部海域站點包括 FR 01、FR 55和 FR 62,春季時以 CTD 測得之溶氧濃度及溶氧飽和度在站點之間差異甚大,使用疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之數值變化範圍則較窄,溶氧濃度在 6.2-6.8mg/L 之間,溶氧飽和度為 84.9-99.0%。測量海面(10米)之無機營養鹽濃度,硝酸鹽(0.215-0.347mg/L)與西部海域相近,高於東部海域,亞硝

酸鹽 (0.004-0.008mg/L)和磷酸鹽 (0.002-0.04mg/L)則皆高於西部和東部海域,矽酸鹽 (0.061-0.385mg/L)在海域之間無明顯差異,葉綠素 α 濃度為三個海域中最高 (0.23-0.32 μ g/L)。

西部海域站點包括 FR 33、Chen 38、FR 39、FR 40、Chen 41、FR 42、FR 45、FR 46 和 FR 51,春季時以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得海面(10 米)之溶氧濃度和溶氧飽和度與 CTD 測量數值相近,僅有一筆數值為離群值(outlier),溶氧濃度在 3.85-6.75mg/L 之間,溶氧飽和度為 59.2-103.0%。測量海面(10 米)之無機營養鹽濃度,硝酸鹽(0.215-0.276mg/L)與北部海域相近,高於東部海域,亞硝酸鹽(0-0.003mg/L)和磷酸鹽(0.001-0.014mg/L)則介於北部和東部海域之間,矽酸鹽(0.026-0.610mg/L)在海域之間無明顯差異,葉綠素α濃度(0.09-0.69μg/L)與東部海域相近,低於北部海域。

夏季調查時,臺灣周圍海域的分區情形不似春季明顯,CTD 測得之海面(10 米)溶氧濃度和溶氧飽和度在海域之間沒有明顯區別,以疊氮修正希巴辣光度測氧法在各海域測得之數值也與 CTD 相近,而海面(10 米)的無機營養鹽濃度在海域間的差異縮小,其中硝酸鹽和磷酸鹽濃度在夏季時顯著低於春季,亞硝酸鹽和矽酸鹽濃度的季節變化則較不明顯,另外使用 CTD 在海面(10 米)測得之葉綠素α濃度與採集海水樣本測量之數值相近。

東部海域在夏季時以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度在 6.28-7.01mg/L 之間,溶氧飽和度為 102-111%,略高於春季。測量海面(10 米)之無機營養鹽濃度,硝酸鹽與春季相比幾乎被消耗殆盡(0-0.009mg/L),亞硝酸鹽(0-0.003mg/L)、磷酸鹽(0-0.004mg/L)和矽酸鹽(0.063-0.303mg/L)則皆與春季數值相近,葉綠素 α 濃度($0.02\text{-}0.19\mu\text{g/L}$)也與春季相近。

北部海域在夏季時以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度在 6.74-7.08mg/L 之間,溶氧飽和度為 105-112%,略高於春季。測量海面(10米)之無機營養鹽濃度,硝酸鹽(0-0.008mg/L)、亞硝酸鹽(0-0.002mg/L)和磷酸鹽(0-0.002mg/L)在夏季時皆顯著低於春季,在水體中幾乎被消耗殆盡,僅有矽酸鹽濃度(0.051-0.332mg/L)與春季持平,葉綠素 α 濃度則有 0.17-0.34µg/L,與春季相近。

西部海域在夏季時以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度在 6.31-6.93mg/L 之間,溶氧飽和度為 97.5-110%,與春季時相近。測量海面(10米)之無機營養鹽濃度,硝酸鹽與春季相比幾乎被消耗殆盡(0-0.073),磷酸鹽也略低於春季(0-0.009mg/L),

而亞硝酸鹽 (0.001-0.005mg/L) 和矽酸鹽 (0.092-0.312mg/L) 與春季持平,西部海域在夏季的葉綠素 α 濃度則在站點間差異甚大,變化範圍在0.04-0.61 μ g/L之間。

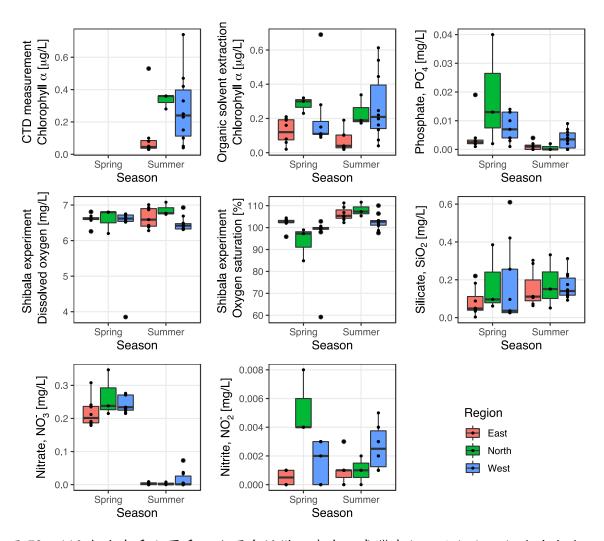


圖 72、110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,臺灣東部、北部和西部海域在海面 (10 米)以 CTD 探測之葉綠素α濃度(缺春季)資料,以及採集海水樣本測量之葉綠素α濃度、溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度和矽酸鹽濃度資料分佈圖。

110 年度春季和夏季兩次環島採樣調查中,各站點測量特定深度之溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸鹽、亞硝酸鹽、磷酸鹽、矽酸鹽)和葉綠素α濃度資料如下。

硝酸鹽、亞硝酸鹽和磷酸鹽可直接被浮游藻類利用進行光合作用,進入生物圈循環,矽酸鹽則是浮游藻類形成矽質細胞壁的重要材料,因此無機營養鹽的濃度會直接影響水體中浮游藻類的生物量,當濃度低時即限制水體中浮游藻類生長,惟何種營養

鹽是主要的限制因子在各海域中不盡相同,因此需測量葉綠素α濃度作為浮游藻類生物量的參考指標,對照各類無機營養鹽的濃度才可推知一二。

(1) FR 01

站點 FR 01 在 110 年春季以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度,以及在深度 5-100 米區間採集 6 個固定深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素 α 濃度資料如圖 73 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度僅有在 10 米深度與 CTD 測量值差異較大,其餘深度皆相近。各類無機營養鹽濃度皆在海面最低,隨著深度下降濃度越高,硝酸鹽(0.605 mg/L)和磷酸鹽(0.070 mg/L)在採樣最深 100 米處濃度最高,亞硝酸鹽則在深度 50 米處濃度最高(0.061 mg/L),矽酸鹽在深度 25 米處濃度最高(0.680 mg/L),而葉綠素 α 濃度則在 5 米深度最高(0.55\mug/L),至 75 米以深皆低(0.07\mug/L)。

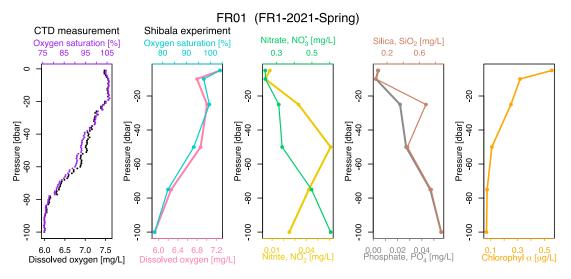


圖 73、110 年春季時站點 FR 01 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料, 以及採集固定深度海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。

夏季調查時以 CTD 探測溶氧濃度、溶氧飽和度和葉綠素α濃度,以及在深度 5-150 米區間採集6個深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素α濃度資料如圖 74 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度與 CTD 測量值相近,各類無機營養鹽濃度皆在海面最低,隨著深度下降濃度越高,其中亞硝酸鹽在深度 50 米處濃度達到 0.021mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至150米處濃度僅 0.003mg/L。其餘的硝酸鹽(0.488mg/L)、磷酸鹽(0.070mg/L)和矽酸鹽(0.719mg/L)皆在採樣最深 150 米處濃度最高。而採集

海水測量之葉綠素 α 濃度則在深度 5-75 米區間 $(0.17-0.29 \mu g/L)$ 明顯高於 CTD 測量值,至 100 米深度以下則與 CTD 測量值相近,葉綠素 α 濃度偏低 $(0.02-0.06 \mu g/L)$ 。

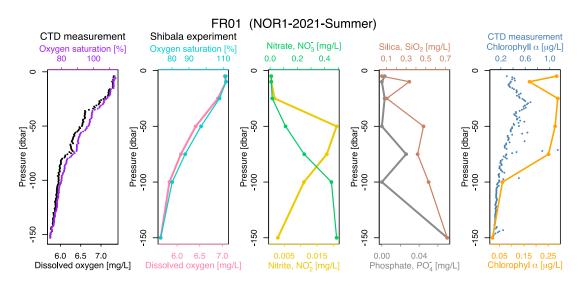


圖 74、110 年夏季時站點 FR 01 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料, 以及採集固定深度海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。

(2) FR 05

站點 FR 05 在 110 年春季以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度,以及在深度 5-200 米區間採集 8 個固定深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素α濃度資料如圖 75 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度僅有在 10 米深度與 CTD 測量值差異較大,其餘深度皆相近。各類無機營養鹽濃度皆在海面最低,隨著深度下降濃度越高,其中亞硝酸鹽在深度 75 米處濃度達到 0.009mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 200 米處濃度僅 0.001mg/L。硝酸鹽(0.754mg/L)、磷酸鹽(0.079mg/L)和矽酸鹽(0.872mg/L)皆在採樣最深 200 米處濃度最高。而葉綠素α濃度則在 5 米深度最高(0.21μg/L),至 200 米深度最低(0.02μg/L)。

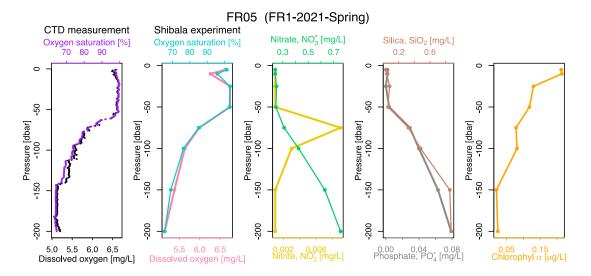


圖 75、110 年春季時站點 FR 05 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料, 以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸 鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。

夏季調查時以 CTD 探測溶氧濃度、溶氧飽和度和葉綠素α濃度,以及在深度 5-150 米區間採集 6 個固定深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度 (包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素α濃度資料如圖 76 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度與 CTD 測量值相近。各類無機營養鹽濃度皆在海面最低,隨著深度下降濃度越高,其中亞硝酸鹽在深度 50 米處濃度達到 0.012mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 700 米處濃度低於儀器測量極限,磷酸鹽則在深度 380 米處濃度達到 0.155mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 700 米處濃度低於儀器測量極限,磷酸鹽則在深度 380 米處濃度達到 0.155mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 700 米處濃度低於儀器測量極限。硝酸鹽(1.381mg/L)和矽酸鹽(2.516mg/L)皆在採樣最深 700 米處濃度最高。而採集海水測量之葉綠素α濃度與 CTD 測量值相近,在深度 50 米處達到最高 0.24μg/L,在深度 100 米以深皆低 (<0.01μg/L)。

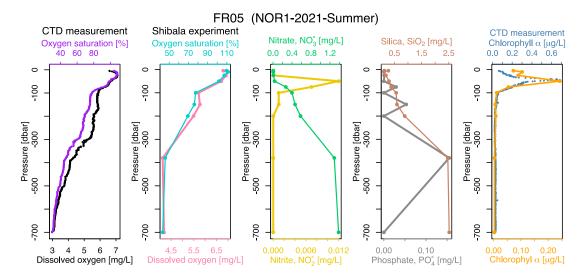


圖 76、110 年夏季時站點 FR 05 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料, 以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸 鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度,以及 CTD 探測之葉綠素α濃度。

(3) FR 06

站點 FR 06 在 110 年春季以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度,以及在深度 5-200 米區間採集 8 個固定深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素α濃度資料如圖 77 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度與 CTD 測量值相近。各類無機營養鹽濃度皆在海面最低,隨著深度下降濃度越高,其中亞硝酸鹽在深度 75 米處濃度達到 0.007mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 150 米處濃度回到低點(0.002mg/L)。硝酸鹽、磷酸鹽和矽酸鹽皆在深度 50-75 米區間出現濃度大幅上升,至採樣最深 200 米處達到最高(硝酸鹽 0.637mg/L、磷酸鹽 0.069mg/L和矽酸鹽 0.793mg/L)。而葉綠素α濃度則在深度 75 米處達到最高 0.37μg/L,在深度 100 米以深皆低(0.03-0.09μg/L)。

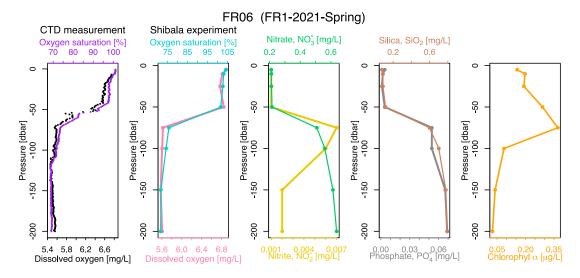


圖 77、110 年春季時站點 FR 06 以 CTD 探測溶氧濃度和溶氧飽和度之深度剖面資料, 以及採集海水樣本測量之溶氧濃度、溶氧飽和度、硝酸鹽濃度、亞硝酸鹽濃度、磷酸 鹽濃度、矽酸鹽濃度和葉綠素α濃度。

夏季調查時以 CTD 探測溶氧濃度、溶氧飽和度和葉綠素α濃度,以及在深度 5-545 米區間採集 10 個深度之海水樣本分別測量溶氧濃度、溶氧飽和度、無機營養鹽濃度(包括硝酸、亞硝酸、磷酸和矽酸)和葉綠素α濃度資料如圖 78 所示。以疊氮修正希巴辣光度測氧法測得之溶氧濃度及飽和度與 CTD 測量值相近。各類無機營養鹽濃度皆在海面呈現低值,隨著深度下降濃度越高,其中亞硝酸鹽在深度 75 米處濃度達到 0.013mg/L 之後又隨著深度越深而下降,至 200 米以深濃度皆低(<0.001mg/L),磷酸鹽則在深度 150 米和 300 米處有兩個波鋒,濃度分別為 0.069mg/L 和 0.089mg/L,之後又隨著深度越深而下降,至 545 米處濃度低於儀器測量極限。硝酸鹽(1.381mg/L)和矽酸鹽(2.870mg/L)皆在採樣最深 545 米處濃度最高。而採集海水測量之葉綠素α濃度與 CTD 測量值相近,在深度 25 米處達到最高 0.29μg/L,在深度 100 米以深皆低(<0.02μg/L)。