

「110 年台灣西部沿海白海豚重要棲地水下
活動監測與分析」案
成果報告書
(案號：110-C-43)

委託機關：海洋委員會海洋保育署

執行單位：觀察家生態顧問有限公司

計畫主持人：張家茂

協同主持人：林子皓

計畫期程：中華民國 110 年 2 月至 12 月

計畫經費：新臺幣 3,100,000 元整

(本報告內容及建議，純屬執行單位觀點，不代表本機關立場)

目錄

目錄	i
圖目錄	iv
表目錄	vi
摘要	vii
壹、計畫概要	1
一、計畫緣起	1
二、計畫年期	2
三、主辦單位	2
四、總計畫經費	2
五、經費來源	2
六、計畫目標	2
七、計畫內容概述	4
1.7.1 建置5套水下聲學監測系統及規劃作業流程	4
1.7.2 運用水下聲學監測結果評估鯨豚的棲地利用模式與棲地品質	4
貳、重點工作項目	6
一、工作項目及經費	6
參、重要成果及效益分析	7
一、重要成果說明	7
3.1 被動式水下聲學監測系統作業流程	7
3.2 建立長期聲學監測站	7
3.2.1 佈放結果	7
3.3 白海豚棲地聲音辨識	9

3.3.1	驗證白海豚聲音資料	10
3.4	被動式水下聲學監測白海豚棲地利用	12
3.4.1	白海豚搭聲偵測	13
3.4.2	白海豚哨叫聲偵測	22
3.5	運用海洋聲景監測白海豚棲地品質	25
3.5.1	白海豚棲地聲景特性與時空動態變化	26
3.5.2	利用海洋聲景特性評估棲地品質以及潛在影響	34
3.5.3	影響白海豚生存威脅因子分析結果	47
3.6	提出具體可行之優先復育區長期經營管理建議.....	50
3.6.1	台灣西海岸現況與白海豚復育計畫	50
3.6.2	運用聲景監測突破傳統目視調查方法之限制，進行棲地管理之應用	53
3.6.3	四大優先復育區現況及長期經營管理建議	55
3.7	聲學學理教育訓練	62
3.7.1	當日課程內容與情形	62
3.7.2	問卷調查結果	66
3.8	提供1套海洋錄音機	71
3.9	電子文案	71
	二、效益分析	72
	肆、執行中遭遇困難及因應對策.....	74
4.1	儀器佈放遭遇問題與事件	74
4.2	儀器遺失及損害風險	75
	伍、結論與建議.....	77
5.1	白海豚活動變化趨勢	77
5.2	研究區域之棲地品質以及潛在影響.....	77
5.2.1	食餌資源可得性評估	77

5.2.2	棲地健康度評估	78
5.2.3	棲地受脅度評估	78
5.3	未來推動方向與建議	79
5.3.1	持續執行長期水下聲學監測	79
5.3.2	於白海豚重要棲息環境範圍外增加聲學監測站	79
5.3.3	結合目視調查結果整合保育資源並提升調查成效	80
	參考文獻	81

附錄一、底碇型水下聲學監測之標準作業流程說明書

附錄二、工作流程與方法

附錄三、白海豚聲音辨識特徵說明書

附錄四、「被動式水下聲學監測教育訓練」課程表與注意事項

附錄五、「被動式水下聲學監測教育訓練」回饋問券

附錄六、水下錄音機規格與操作方式

附錄七、電子文案

附錄八、統計資料

附錄九、期中審查意見回覆對照表[海保生字第 1100007842 號]

附錄十、期末審查意見回覆對照表[海保生字第 1100012116 號]

圖目錄

圖 1.6-1 海洋聲景監測示意圖	3
圖 1.6-2 海洋聲景組成與其應用	3
圖 3.3.1-1 懸掛式調查設計圖	11
圖 3.3.1-2 2021 年 8 月 13 日於新虎溪口發現白海豚	12
圖 3.3.1-3 2021 年 8 月 13 日白海豚搭聲頻譜圖	12
圖 3.4.1-1 回聲定位事件在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序 變化.....	15
圖 3.4.1-2 回聲定位事件在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之日夜 分布趨勢.....	16
圖 3.4.1-3 苗栗、雲林海域之搭聲監測結果。左側為第一季調查，右側為 第二季調查的每日回聲定位事件	18
圖 3.4.1-4 苗栗、雲林五處錄音監測站所偵測到的回聲定位事件之平均搭 聲間距分佈。須注意各測站之間的縱軸上限有所不同	19
圖 3.4.1-5 白海豚在回聲定位過程中發出具有漸進變化的搭聲間距.....	19
圖 3.4.1-6 109 年度度台灣西部海域白海豚族群生態監測計畫之穿越線各 區段白海豚目擊率.....	21
圖 3.4.2-1 苗栗中港溪口水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果之範例....	22
圖 3.4.2-2 雲林海氣象樁海域水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果之範例	23
圖 3.4.2-3 透過自動偵測結果分析雲林海氣象樁海域白海豚哨叫聲出現時 間與頻率特徵之範例.....	23
圖 3.4.2-4 哨叫聲在苗栗與雲林海域的頻率分布	24
圖 3.5.1-1 以長期時頻譜圖呈現海洋聲景的時空變化	27
圖 3.5.1-2 運用聲源分離模型分析長期時頻譜圖並進行聲源重建之範例	28
圖 3.5.1-3 魚類合唱在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化	29
圖 3.5.1-4 高頻聲音在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化	30
圖 3.5.1-5 人為噪音在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化	32
圖 3.5.1-6 500 赫茲以下頻率範圍之聲壓值在苗栗海域第一季調查之時序 變化.....	33
圖 3.5.2-1 魚類合唱時間長度的時空變化	36
圖 3.5.2-2 各類動物聲音的頻率特性	38

圖 3.5.2-3 動物聲音組成在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化.....	38
圖 3.5.2-4 動物聲音多樣性的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果.....	40
圖 3.5.2-5 船舶航行次數的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果.....	43
圖 3.5.2-6 人為噪音相對強度的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果.....	44
圖 3.5.2-7 500 赫茲以下頻率範圍之聲壓值在苗栗海域打樁期間與非打樁期間之差異.....	45
圖 3.6.1-1 臺灣海洋保護區	52
圖 3.6.2-1 應用海洋聲景監測於棲地經營管理與協助保育對策制定	55
圖 3.6.3-1 2019 年 4-9 月底陸上觀察中華白海豚目擊位置以及移動路徑估算.....	58
圖 3.6.3-2 2018-2019 年臺中港附近海上調查目擊鯨豚位置	58
圖 3.6.3-3 臺中港擴港工程計畫範圍與施工區域	59
圖 3.6.3-4 2014-2020 年歷年臺灣西側海域各區段白海豚標準化目擊率...	60
圖 3.7.1-1 聲學學理教育訓練課程講師授課情形	65
圖 3.7.1-2 學員當日上課情形	65
圖 3.7.1-3 柯勇全專委與賴韻如科員致詞	66
圖 3.7.1-4 聲學學理教育訓練課程全體合照	66
圖 3.7.2-1 學員年齡分布百分比圖	67
圖 3.7.2-2 學員性別分布百分比圖	67
圖 3.7.2-3 學員歷年海上調查經驗百分比圖	67
圖 3.7.2-4 上午場課程之學員評分	68
圖 3.7.2-5 下午場課程之學員評分	69
圖 3.7.2-6 相關行政處理及課程回饋之評分	70
圖 4.1-1 底碇重物與流刺網纏繞	74
圖 4.2-1 底碇重物被泥沙覆蓋之示意圖	76

表目錄

表 3.2.1-1 第一次佈放調查時間與位置表	8
表 3.2.1-2 第二次佈放調查時間與位置表	8
表 3.4.1-1 白海豚搭聲偵測結果之彙整分析	14
表 3.5.1-1 海能離岸風力發電廠打樁資訊簡表	34
表 3.5.2-1 魚類合唱平均時間長度的時空變化	35
表 3.5.2-2 動物聲音平均多樣性指數	39
表 3.5.2-3 船舶航行次數之平均次數	42
表 3.5.3-1 ISO 風險評估之步驟.....	48
表 3.5.3-2 近年台灣西部沿近海域開發工程盤點表	49
表 4.1-1 苗栗海洋風場監測站點位變更表	75

摘要

本計畫分別於苗栗及雲林海域依照雙重梯度原則建置五個水下聲學監測示範站（苗栗：海洋風場、崎頂外海、中港溪口；雲林：海氣象樁、新虎尾溪口），並於5月及8月期間完成2次調查，每次至少收集14天錄音資料。在白海豚聲音偵測方面，雲林海域兩個測站的回聲定位偵測率都較苗栗海域三個測站高，顯示白海豚在雲林海域的活動頻度較高，與深水海域相比，近岸淺水海域為白海豚主要覓食活動棲地。此外，73.5%的回聲定位事件在夜間被偵測到，僅有26.5%的回聲定位事件出現在白天，顯示傳統目視監測方法只能觀察到一小部分的群體活動。相對於回聲定位事件，偵測到哨叫聲的機率偏低。在兩調查處海域偵測到的616群次之中，只有94群次能夠偵測到哨叫聲，顯示回聲定位聲音偵測結果能夠提供較為詳盡的白海豚活動資訊。

在海洋聲景方面，苗栗與雲林海域都可以偵測到石首魚的夜間合唱，其中以雲林兩測站和苗栗中港溪口的時間長度與出現天數較高，顯示白海豚食餌魚類資源在河口棲地較為豐富。動物聲音多樣性指數的時空變化趨勢與魚類合唱相似，顯示有多種類型的發聲魚類出現在夏季河口海域。無論是苗栗或雲林海域，在錄音期間都能夠頻繁偵測到船隻行駛噪音，但在苗栗海域第一次監測期間卻頻繁偵測到源自於海纜鋪設工程的水下噪音。此外，在500赫茲以下之頻率範圍，也能夠偵測到苗栗海能風場的打樁噪音，且聲壓值在打樁和非打樁期間差距20分貝以上，顯示離岸風場的打樁噪音大幅度影響了白海豚棲地範圍內的海洋聲景。

本計畫結果顯示，被動式水下聲學監測可有效掌握白海豚之活動變化趨勢。長期監測海洋聲景除了可以提供白海豚食餌資源分布範圍、棲地品質等資訊，也能了解錄音地點附近的人為活動情形。這些聲學指標能夠呈現白海豚族群與棲地生態在各種時間尺度下的變化，補足海上目視觀測之不足，也能協助保育主管機關以量化數據評估人為活動、棲地生態、白海豚族群三者之間的交互作用，作為制定保育對策與成效評估之科學依據。

Abstract

In this project, five underwater acoustic monitoring stations have been built in Miaoli and Yunlin waters according to the principle of double gradient. 2 surveys are completed in May and August respectively, collecting recording data of at least 14 days each time. As for sound monitoring of white dolphins, the echolocation detection rate of the two stations in the waters near Yunlin is higher than that of the three stations in the Miaoli sea area, indicating that the frequency of activities of the white dolphins in the Yunlin sea area is higher. The shallow coastal waters are the main foraging habitats for Indo-Pacific humpback dolphin. 73.5% of echolocation events occurred at night, while only 26.5% of that occurred at day. This shows that only a small part of group activities can be detected using the traditional monitoring method. Compared to echolocation events, the probability of detecting whistling is lower. Displaying the results of echolocation sound detection can provide more detailed information about the activities of the Indo-Pacific humpback dolphins.

In terms of ocean soundscape, the night chorus of croaker can be detected in waters near both Miaoli and Yunlin counties. Among them, the length of time and the number of days of occurrence of the two stations in Yunlin and Zhonggang Xikou in Miaoli are higher, indicating that the prey fish resources of Indo-Pacific humpback dolphins are in the estuary. The habitat is relatively rich. The temporal and spatial change trend of the animal sound diversity index is similar to that of fish chorus, showing that there are many types of vocal fish appearing in the summer estuary waters. Whether it is in Miaoli or Yunlin waters, the noise of boats can be frequently detected during the recording, but during the first monitoring of the waters of Miaoli, the underwater noise originating from the submarine cable laying project was frequently detected. In addition, in the frequency range below 500 Hz, the piling noise of the Miaoli Haineng wind farm can also be detected. The sound pressure value during piling period is 20 decibels higher than that during non-piling periods, indicating that the

piling noise of the offshore wind farm has a significant impact on the ocean soundscape within the white dolphin habitat.

The results show that passive underwater acoustic monitoring can assist in grasping the change of white dolphins' activities effectively. Long-term monitoring of the ocean soundscape can not only provide information on the distribution of white dolphin prey resources, habitat quality, etc., but also gives a picture of the human activities around the recording site. These acoustic indexes can exhibit the changes of the white dolphin population and habitat ecology at various time scales, compensate the insufficiency in visual observation survey, and can also assist the authorities in evaluating with quantitative data the interrelationship among human activities, habitat ecology, and white dolphin population. This evaluation can serve as scientific basis in formulating conservation policies.

壹、計畫概要

一、計畫緣起：

海洋保育署於109年8月31日正式公告「中華白海豚野生動物重要棲息環境」，其橫跨苗栗、臺中、彰化與雲林等4個縣市，總面積達763平方公里，儘管未完全涵蓋白海豚在臺灣西部沿海之完整棲息範圍，但仍相當廣闊，然而在臺灣海峽開發壓力日亦漸增的現況下，對於極危物種之中華白海豚（*Sousa chinensis*）而言（後簡稱白海豚），如何降低人為活動造成的潛在威脅、積極提升棲地品質，將是確保白海豚族群續存的關鍵，公告野生動物重要棲息環境僅是第一步，規劃與投入積極之保育措施，將會是下一個階段之首要任務且刻不容緩。在有限的保育資源條件下，為了能有效掌握白海豚之族群狀況與棲地利用模式並評估棲息環境之品質，勢必需要搭配適當之調查方法以及管理策略，而分區規劃是重要且務實的保育管理策略之一。

在鯨豚族群調查方法方面，目前國內外廣泛應用「目視調查法」與「被動式水下聲學調查法」進行調查，被動式水下聲學調查法則不受天候海況及視線等影響，並可取得長期且連續之監測資料，更利於大範圍時間與空間尺度之各項評估，包括鯨豚之棲地利用與時空變化趨勢等，除此之外，透過海洋聲景特性與時空變化趨勢之分析，可進一步瞭解海洋生物多樣性及人為噪音出現之頻度等資訊。綜合上述，被動式水下聲學調查法可有效同時進行「物種長期監測」以及「棲地品質評估」，有利於主管機關進行保育對策規劃與成效評估。本計畫將綜整評析白海豚高密度活動範圍作為操作示範區，並挑選其中2處區域建立被動式水下聲學監測網路，透過水下聲學監測結果，評估鯨豚的棲地利用模式以及棲地品質，並對白海豚核心棲地提出具體可行之建議與管理方針。

二、計畫年期：110年度

三、主辦單位：觀察家生態顧問有限公司

四、總計畫經費：3,100,000元整

五、經費來源：

(一) 中央款：3,100,000元

六、計畫目標

白海豚棲息地以海保署於109年「中華白海豚野生動物重要棲息環境」之公告顯示，其分布台灣本島北起苗栗縣龍鳳港；南至外傘頂洲西南端；西邊界線以海岸線距岸1-3哩之範圍，海床環境大多為泥沙地，且台灣西部沿海有許多河口，其範圍之海域的能見度較為不佳，因此該海域之鯨豚主要透過聲音進行環境辨識、個體溝通、求偶及覓食等行為 (Tyack, 1998; Williams et al., 2015)。以白海豚為例，其聲音種類主要分為以回聲定位進行探測及覓食的寬頻搭聲 (click)，及可用來進行溝通與社交行為的窄頻哨叫聲 (whistle)。

調查海洋哺乳類常遭遇夜間時段及海況惡劣時無法進行目視調查，因此水下聲學監測為目前國內外廣泛應用於海洋哺乳動物調查之監測方式，可將被動式水下聲學監測系統固定於海床，進行長時間連續錄音，透過偵測海洋哺乳動物所發出的聲音，分析海洋哺乳動物的活動時間並推估其行為模式。

亦可透過上述長時間被動式聲學監測的資料，分析海洋聲景的結構，了解該區域發聲動物及人為噪音之組成，進而比較不同地區之間的声音多樣性，並顯示棲地品質之差異，更能夠協助主管機關評估海

洋生物多樣性受到噪音衝擊的潛在風險。因此，監測海洋聲景中的人為噪音現況及變動趨勢，將是海洋生態保育的關鍵工作之一（圖1.6-1）。為了達成有效的海洋保護區棲地管理，對指標物種進行棲地利用模式、生物多樣性及人為活動干擾之評估，將聲景監測套用在棲地管理上，即為環境聲音、動物聲音與人為噪音（圖1.6-2），透過上述三項聲音資料進行分析與評估，才能了解該區域人為活動對於海洋生態的影響，並進一步著手未來相關海洋保育之對策，達到復育區之長期經營管理。

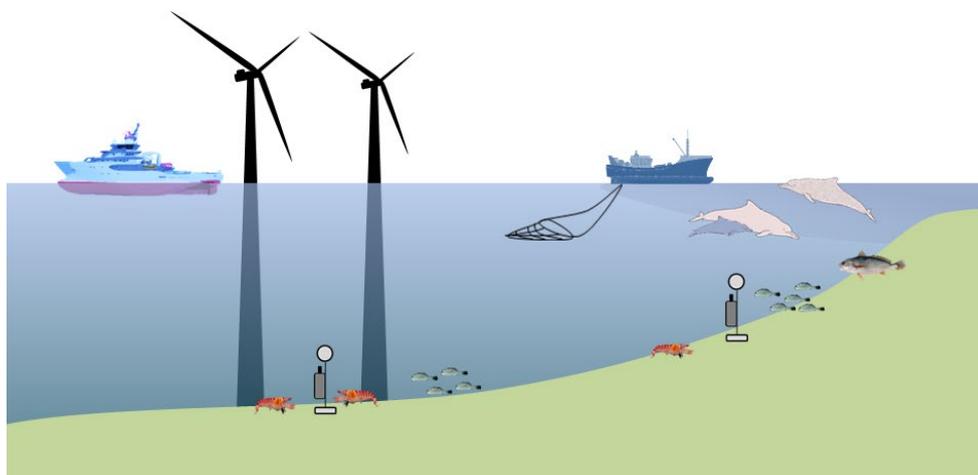


圖 1.6-1 海洋聲景監測示意圖（中央研究院海洋生態聲學與資訊實驗室提供）

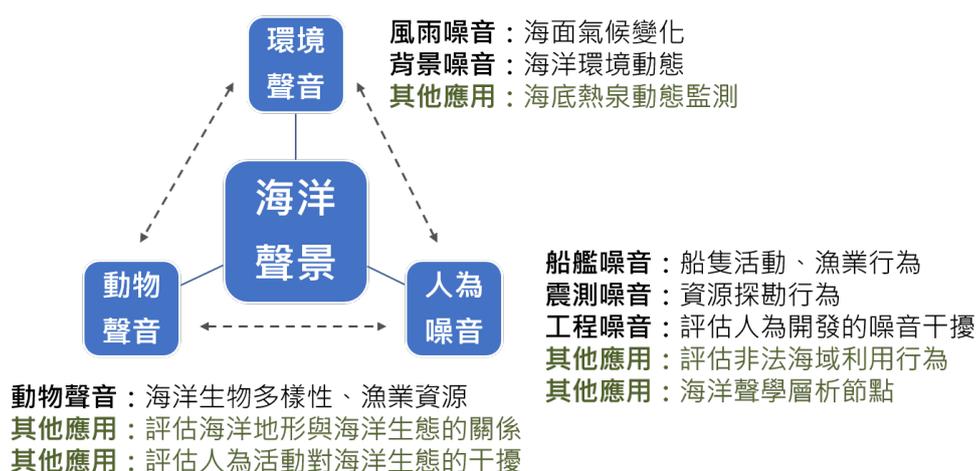


圖 1.6-2 海洋聲景組成與其應用（中央研究院海洋生態聲學與資訊實驗室提供）

七、計畫內容概述：

1.7.1 建置5套水下聲學監測系統及規劃作業流程

- (1) 建置至少5套水下聲學監測系統採用底碇設置方式，系統主要由海洋錄音機以及海面下錨碇系統所組成；其中海洋錄音機的主要規格可有效收錄中華白海豚等保育類鯨豚的聲音，如取樣頻率可達96千赫茲（含）以上，且水下聲壓值量測範圍需至少在50-150分貝（參考數值：1微帕斯卡）或更寬的系統，在1千赫茲以上頻率範圍，可偵測聲壓值至少50分貝（參考數值：1微帕斯卡），並至少可連續監測14天以上。
- (2) 提供能辨識白海豚哨叫聲（whistle）及搭聲（click）的聲紋辨識特徵的說明或於計劃執行期間提出可辨識白海豚聲紋之依據，並規劃底碇型水下聲學監測之標準作業流程，至少包含海洋錄音機之操作與配置、佈放與回收之方法、偵測軟體操作、船舶與人員配置等相關事項。
- (3) 於白海豚高密度活動範圍設置2處水下聲學監測站，並參考中華白海豚的分布梯度，依雙重梯度原則於各監測站進行至少2次的錄音機佈放、回收作業，每次佈放時間至少可連續監測14天，以驗證作業流程及資料運用之可行性，並將調查結果彙整後撰寫電子文案。
- (4) 供1套海洋錄音機予海保署，並辦理8小時學理教育訓練，包含場地租借與佈置、訓練攝錄影、儀器操作、軟體使用以及基礎聲學理論。

1.7.2 運用水下聲學監測結果評估鯨豚的棲地利用模式與棲地品質

- (1) 運用水下聲學偵測白海豚聲音，並以此評估白海豚在調查範圍內的棲地利用與時空變化趨勢。
- (2) 分析調查範圍的海洋聲景特性與時空變化趨勢，以評估海洋生物多樣性及人為噪音出現之頻度。

- (3) 藉海洋聲景特性評估棲地品質，以及對白海豚活動之潛在影響。
- (4) 評析威脅白海豚族群生存威脅因子並提出具體可行之優先復育區長期經營管理建議。

貳、重點工作項目

一、工作項目及經費：

工作項目	經費(元)	概述
1. 建置 5 套水下聲學監測系統及規劃作業流程	1,871,000	建置底碇式水下聲學監測站，並至少連續監測 14 天以上。提供能辨識白海豚哨叫聲及搭聲的聲紋辨識特徵的說明或於計劃執行期間提出可辨識白海豚聲紋之依據，並規劃底碇型水下聲學監測之標準作業流程。提供 1 套海洋錄音機，並辦理 8 小時海洋錄音機之學理教育訓練。
2. 運用水下聲學監測結果評估鯨豚的棲地利用模式與棲地品質	1,229,000	評估白海豚在調查範圍內的棲地利用與時空變化趨勢，並分析調查範圍的海洋聲景特性與時空變化趨勢，以評估海洋生物多樣性及人為噪音出現之頻度。藉海洋聲景特性評估棲地品質，以及對白海豚活動之潛在影響，評析威脅白海豚族群生存威脅因子並提出具體可行之優先復育區長期經營管理建議。
合計	3,100,000	

三、重要成果及效益分析

一、重要成果說明

3.1 被動式水下聲學監測系統作業流程

本章節以底碇式被動式水下聲學監測系統之建置為例，說明完整之作業流程，並完成「底碇型水下聲學監測之標準作業流程說明書」一份，內容包括：儀器選用、調查前置作業、人員與船隻配置、現場佈放、回收作業流程，以及運用雲端平台與開放工具分析水下錄音之步驟說明；在儀器操作說明方面，以Soundtrap 300 HF海洋錄音機為例，說明包含：儀器設定、資料卸載及視覺化分析資料，以利海保署後續透過聲音資料解讀。完整之標準作業流程說明書請參閱附錄一。

3.2 建立長期聲學監測站

本計畫綜整海保署「108年度臺灣西部沿海白海豚族群監測計畫」，並評估4處優先復育區之現況，根據歷年調查結果與本團隊之調查經驗，並考量白海豚族群現況、漁業衝突以及所面臨開發議題等因素，最後挑選出「苗栗通霄至大安溪口」以及「雲林台西至北港溪口」建立2處水下聲學監測站，並根據雙重梯度原則於2處監測站分別建置3個及2個水下聲學儀器佈放點位，雙重梯度之設計可根據主要目標監測物種的生態特性與棲地環境特性而定（Ellis & Schneider, 1997）。詳細有關聲學監測站佈放區域選定及佈放位置之論述，請參閱附錄二。

3.2.1 佈放結果

本計畫期望透過長期監測鯨豚聲音，了解鯨豚在苗栗與雲林近海之空間分布模式，因此於苗栗與雲林海域進行至少14天以上的水下聲學監測調查。第一次調查，苗栗海域佈放時間為2021年5月7日至2021年6月2日，共計約27天；雲林海域佈放時間為2021年5月13日至2021

年5月28日，共計約15天（表3.2.1-1）。第二次調查，苗栗海域佈放時間為2021年8月12日至2021年8月30日，共計約18天；雲林海域佈放時間為2021年8月13日至2021年8月31日，共計約18天（表3.2.1-2）。當佈放時間過長，易增加自然與非自然因素導致儀器毀損與遺失之風險，然而儀器佈放時間同時受到天候與船班等因素影響，若天候海況不佳，將難以避免儀器佈放時間過長，導致第一次調查兩區域之佈放及回收日期相差1-2個禮拜，此為不可抗拒之因素。最後列表說明每次出海作業過程，包括各次作業之作業人員、船隻、港口、時間、地點等（表3.2.1-3）。

表 3.2.1-1 第一次佈放調查時間與位置表

調查樣點	佈放時間	回收時間	緯度	經度	水深範圍 (公尺)
M1 (苗栗海洋風場)	2021.05.07	2021.06.02	24° 41' 32.3"	120° 48' 48.8"	16.7~19.8
M2 (苗栗崎頂外海)	2021.05.07	2021.06.02	24° 43' 22.25"	120° 51' 20.79"	5.4~8.7
M3 (苗栗中港溪口)	2021.05.07	2021.06.02	24° 40' 36.2"	120° 48' 45.98"	4.4~8.1
Y1 (雲林海氣象樁)	2021.05.13	2021.05.28	23° 45' 38.28"	120° 09' 08.77"	6.3~8.5
Y2 (雲林新虎尾溪口)	2021.05.13	2021.05.28	23° 45' 16.93"	120° 09' 42.48"	6.6~7.9

表 3.2.1-2 第二次佈放調查時間與位置表

調查樣點	佈放時間	回收時間	緯度	經度	水深範圍 (公尺)
M1 (苗栗海洋風場)	2021.08.12	2021.08.30	24° 41' 41.05"	120° 48' 59.25"	16.7~19.8
M2 (苗栗崎頂外海)	2021.08.12	2021.08.30	24° 43' 22.25"	120° 51' 20.79"	5.4~8.7
M3 (苗栗中港溪口)	2021.08.12	2021.08.30	24° 40' 36.2"	120° 48' 45.98"	4.4~8.1

Y1 (雲林海氣象樁)	2021.08.13	2021.08.31	23° 45' 38.28"	120° 09' 08.77"	6.3~8.5
Y2 (雲林新虎尾溪口)	2021.08.13	2021.08.31	23° 45' 17.73"	120° 09' 42.43"	6.6~7.9

表 3.2.1-3 出海作業詳細資料表

作業流程	時間	地點	港口	船隻	作業人員
佈放	2021.05.07	苗栗	外埔漁港	木星一號	黃光敬、王靜偉、梅立青、夏維雄、 賴韻如
	2021.05.13	雲林	三條崙漁港	志仁號	黃光敬、侯雯、梅立青、夏維雄
回收	2021.05.28	雲林	三條崙漁港	志仁號	張家茂、何翊誠、梅立青、夏維雄
	2021.06.02	苗栗	外埔漁港	木星一號	黃光敬、侯雯、梅立青、夏維雄
佈放	2021.08.12	苗栗	外埔漁港	木星一號	黃光敬、周宜鞍、梅立青、夏維雄
	2021.08.13	雲林	三條崙漁港	志仁號	黃光敬、王靜偉、周宜鞍、梅立青、 夏維雄
回收	2021.08.30	苗栗	外埔漁港	木星一號	張家茂、梅立青、夏維雄
	2021.08.31	雲林	三條崙漁港	志仁號	張家茂、楊志凱、梅立青、夏維雄

3.3 白海豚棲地聲音辨識

目前透過歷年國內外研究結果已知白海豚利用水下聲音溝通及感知周遭環境，其聲音類型主要可分為搭聲 (click) 及哨叫聲 (whistle)。白海豚的搭聲為寬頻、高強度的脈衝波聲音，頻率主要分布在10千赫茲以上的範圍，搭聲間距會隨時間而呈現漸進變動的趨勢，主要用於回聲定位、尋找獵物的行為 (Lin et al., 2015; Würsig et al., 2016)。相較於搭聲，白海豚的哨叫聲長度較長，通常為窄頻且具有頻率操作的特性，哨叫聲的頻率範圍主要分布在3至10千赫茲，用來與其它個體溝通及進行社交行為 (林子皓, 2013; Dong et al., 2019; Sims et al., 2012)。

在辨識搭聲的時候，透過最高頻率可達至少48或96千赫茲以上的時頻譜圖，並根據脈衝聲波間距的變化模式來進一步輔助辨識。針對哨叫聲，鎖定20千赫茲以下的頻率範圍，透過觀察時間長度 (通常不長於1秒)、頻率分佈 (通常在3-10千赫茲之間)、頻率操作特性 (頻

率範圍通常小於2千赫茲)等條件評估是否為白海豚的聲音。此外，白海豚的哨叫聲以窄頻範圍的穩定型、下降型、上揚型為主，若是偵測之哨叫聲以上凸、下凹、正弦等類型為主，且頻率範圍較大，則可能為其他種類的鯨豚，或是偵測到行為較為特殊的白海豚群體。

本章節以白海豚聲音辨識特徵為基礎，針對哨叫聲及搭聲進行判別，所使用之時頻譜圖其時間與頻率解析度清楚呈現聲音的細部特徵，最後並完成「白海豚聲音辨識說明書」一份。除了針對白海豚聲音特徵進行分析，也對海洋中的其他生物性與非生物性聲音進行辨別，並探討上述聲音來源之聲學特徵，其可有效用於聲音辨識與判別，以協助相關單位建立白海豚聲音以及其他水下聲音的辨識能力(詳情請參閱附錄三)。

3.3.1 驗證白海豚聲音資料

為了瞭解白海豚長時間活動之時空變化趨勢，必須蒐集長時間連續之錄音資料，因此實務上選擇底碇式監測系統於特定點為進行長時間錄音，後續再透過白海豚聲音特徵參數，自動化偵測長時錄音資料中的白海豚聲音，但於調查期間派駐人員透過目視方法同步進行長時間觀察與確認實務上並不可行，因此為了進一步驗證自動化偵測之結果確實為白海豚之聲音，本計畫於儀器佈放與回收作業期間，同時利用「懸掛式水下聲學調查方法」於白海豚出沒時進行水下錄音，蒐集白海豚聲音資料，將其與自動化偵測結果進行比對分析並加以驗證，同時補充國內白海豚聲音資料庫，必要時滾動式修正自動偵測參數，以提高偵測率與降低誤報率。

(1) 懸掛式水下聲學調查

懸掛式調查採用2顆以上之大型浮球，使調查人員可於500公尺範圍內的海面上清楚觀測，將繩子尾端繫上1.5公斤重之重錘，並將繩索另一端固定在浮球上，儀器下水後，垂直固定於水深2-3公尺左右(圖3.3.1-1)。當目擊海豚時，先觀察海豚是否加速遊走或是游離船隻，如果有以上行為，建議先持續觀察；如果發現海豚有休息或是繞圈等停留行為，即可實施懸掛式水下聲學調查；若觀察到海豚為遊走行為，且游向、游速大致固定，則可先將船

隻開至海豚前方，將儀器丟下水後，等待海豚游經儀器後再收回。投放儀器與浮球後，請將船隻熄火並關掉魚探機，以減少額外的噪音。為避免環境噪音影響錄音品質並顧及調查人員作業安全因過大風浪而暈船，建議於蒲福氏風級1級以下之風浪條件執行此調查作業。

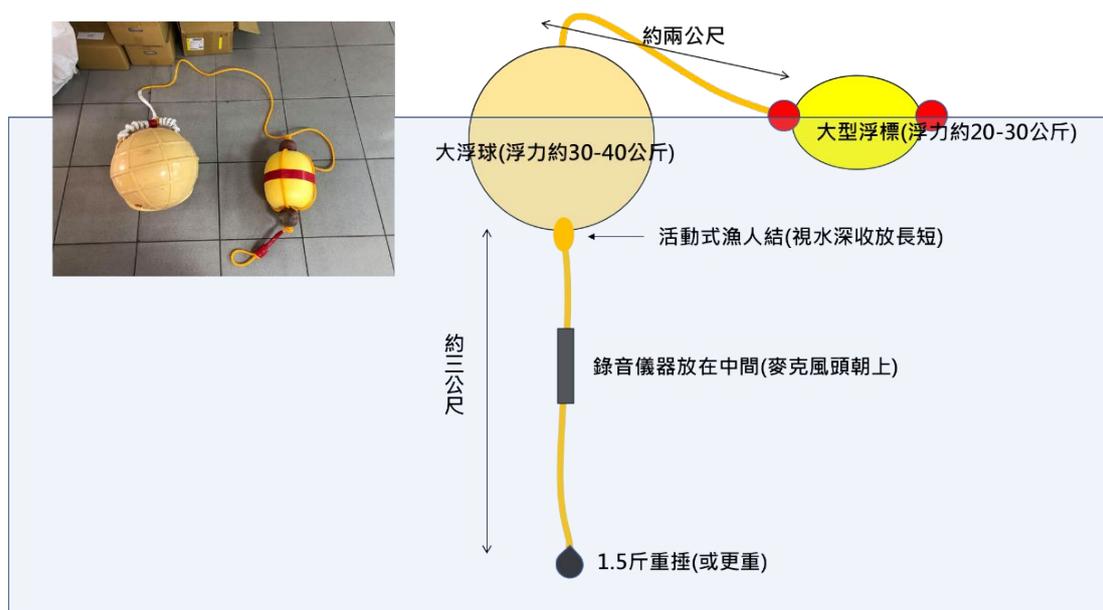


圖 3.3.1-1 懸掛式調查設計圖

(2) 懸掛式偵測結果

本計畫於2021年8月13日，在前往雲林新虎尾溪口途中遭遇白海豚，為一隻成年個體及兩隻青少年個體（圖3.3.1-2），當下立即進行懸掛式調查，並請船長於浮球穩定後關閉引擎與魚探機。在佈放完成後，成年個體就沒再出現，反而是青少年個體在船隻四周游動，並持續佈放20分鐘直到鯨豚遠離該船隻。

透過這次目擊白海豚之機會，本計畫成功收錄到白海豚之聲音，並於後續將錄音資料進行頻譜化分析（圖3.3.1-3），其分析結果與過往研究及本計畫透過自動化偵測所得到的結果相符，為寬頻、高強度且時間長度極短的脈衝聲波，頻率主要分布在20千赫茲以上，搭聲間距主要分布在10-200毫秒之間，且在一系列的

搭聲中會隨搭聲而變動，透過上述比較，即可驗證過去收錄的鯨豚聲音為白海豚的聲音。



圖 3.3.1-2 2021 年 8 月 13 日於新虎溪口發現白海豚（王靜偉攝影）

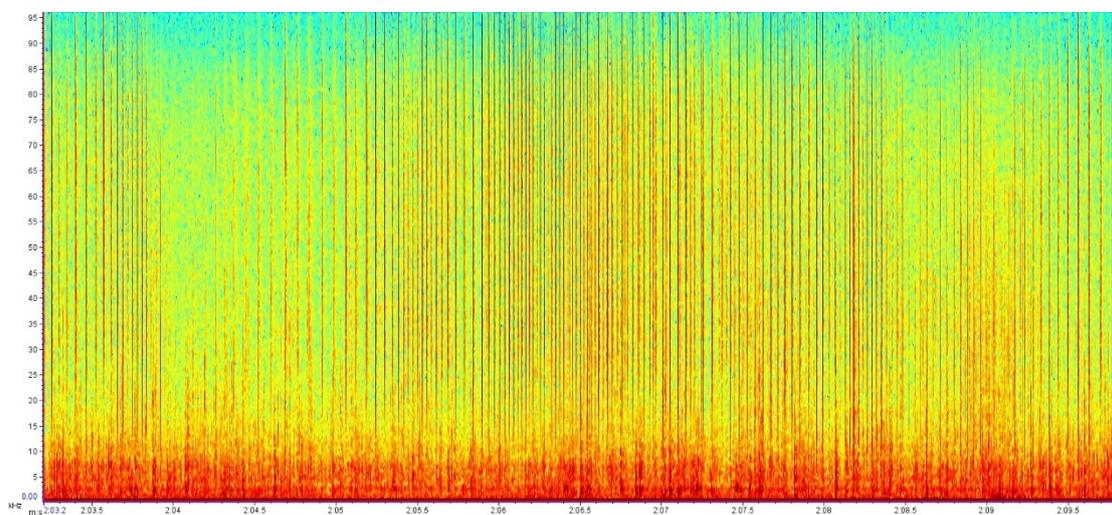


圖 3.3.1-3 2021 年 8 月 13 日白海豚搭聲頻譜圖（以懸掛式錄音）

3.4 被動式水下聲學監測白海豚棲地利用

被動式聲學監測已被廣泛應用於海洋哺乳動物生態監測，是一種

透過偵測海洋哺乳動物的水下聲音調查其活動時間、行為模式的遙測技術 (Mellinger et al., 2007)。由於聲音在水下能夠傳遞比光線更長的距離，運用一組高感度的水下麥克風，便可能監聽附近幾百公尺、甚至是數公里遠範圍內的海洋哺乳動物活動 (Kimura et al., 2010; Wiggins et al., 2013)。近年來，由於水下技術的發展及資料儲存技術的突破，一台自動錄音機即能收集長時間水下錄音，藉此彌補夜間及海況惡劣時無法進行目視調查的不足 (Sousa-Lima et al., 2013)。

白海豚是台灣西部海域的指標海洋哺乳動物，和其他齒鯨一樣，白海豚能夠發出寬頻搭聲並透過回聲定位搜尋食餌魚類，搭聲數量與搭聲間距的變化是評估白海豚覓食行為的重要聲學指標 (Lin et al., 2013)。此外，白海豚群體移動旅行時，較常使用恆定頻率類型的哨叫聲，但社交行為的群體則會使用較多具有複雜頻率操作特性的哨叫聲，顯示哨叫聲組成是評估白海豚群體行為的聲學指標之一 (林子皓, 2013)。雖然國內在過去已有研究計畫應用被動式聲學監測白海豚生態 (Lin et al., 2013; Lin et al., 2015)，但相關的自動化分析技術並不普及，對於一般的生態研究人員來說，分析大量的錄音資料仍然需要耗費非常大量的人力與時間。此外，自動化分析的效能也可能會受到錄音地點其他動物聲音與人為噪音影響。

為了提高被動式聲學監測的效能並簡化分析大量水下錄音的人工作業，本計畫整合以機器學習為基礎的聲源分離模型與噪音篩選器，建立一套鯨豚回聲定位搭聲與哨叫聲的自動偵測流程。並透過分析搭聲與哨叫聲的聲學特徵，與過去的文獻交叉比對後，建立一套評估自動偵測結果可信度之方法 (詳情請參閱附錄一)。本計畫透過此流程分析苗栗、雲林海域所收錄之長時間水下錄音，以寬頻搭聲與哨叫聲的聲音分析結果作為評估白海豚群體行為的聲學指標，協助主管機關評估白海豚在調查範圍內的棲地利用情形，完整的方法流程可參考附錄二。

3.4.1 白海豚搭聲偵測

本年度進行了兩季次水下錄音監測，在苗栗與雲林兩處海域都成功偵測到寬頻搭聲。整體而言，雲林海域兩處測站的每小時搭聲數量

和每小時回聲定位事件次數，以及每次回聲定位事件所含的搭聲數量，都較苗栗海域三處測站高，顯示白海豚在雲林海域的發聲活動頻度較苗栗海域高（表3.4.1-1）。由於資料量龐大，且三個指標所呈現的趨勢相似，本計畫後續僅使用回聲定位事件作為白海豚活動的聲學指標。

表 3.4.1-1 白海豚搭聲偵測結果之彙整分析

調查趟次	監測站	錄音日期	錄音時間 (小時)	回聲定位平 均搭聲時間	每小時 搭聲數量	每小時回聲 定位事件
第一次調查	苗栗海洋風場 (M1)	5月7日- 5月31日	588	13.2	4.11	0.31
	苗栗崎頂外海 (M2)	5月7日- 6月2日	623	15.1	22.83	1.51
	苗栗中港溪口 (M3)	5月7日- 6月2日	623	14.2	40.25	2.83
	雲林海氣象樁 (Y1)	5月13日- 5月28日	358	15.5	350.81	22.66
	雲林新虎尾溪口 (Y2)	5月13日- 5月28日	359	15.6	477.85	30.59
第二次調查	苗栗海洋風場 (M1)	8月12日- 8月30日	431	ND	ND	ND
	苗栗崎頂外海 (M2)	8月12日- 8月30日	432	12.2	27.52	2.25
	苗栗中港溪口 (M3)	8月12日- 8月30日	432	15.7	223.2	14.18
	雲林海氣象樁 (Y1)	8月13日- 8月31日	428	16.2	676.9	41.7
	雲林新虎尾溪口 (Y2)	8月13日- 8月31日	429	14.9	307.65	20.68

ND：未偵測到搭聲出現

圖3.4.1-1彙整了白海豚回聲定位事件在每個測站的日夜與逐天變化趨勢，在第一季監測過程中，不管是苗栗海域的哪一個測站，在5月19日之前都沒有偵測到回聲定位事件，直到5月19日之後才有少量的偵測結果（圖3.4.1-1）。回聲定位事件在海洋風場與崎頂外海兩側站的主要偵測時段以晚上八點到隔天早上八點之間為主，但在中港溪

口則是不分日夜都有機會被偵測到（圖3.4.1-2）。雲林海域的兩處測站每天都能偵測到大量的回聲定位事件（圖3.4.1-1），雖然日夜都有機會，但主要在下午五點至隔天早上十點之間被偵測到，有明顯的日夜周期性變化（圖3.4.1-2）。第二季監測過程中，在苗栗海洋風場並未偵測到任何可信的回聲定位事件，在崎頂外海也仍只有少量的偵測結果（圖3.4.1-1），主要分布於下午五點與早上六點兩個時段前後。相較於第一季，中港溪口的回聲定位事件在第二季大幅上升，與雲林海域的兩個測站相似，基本上每日的水下錄音都能夠頻繁偵測到白海豚活動，且主要在夜間時段出現（圖3.4.1-2）。進一步分析這兩季所觀測到的日夜週期性趨勢，並以早上六點和晚上六點區分日間和夜間兩個時段，回聲定位事件出現在白天的比例為26.5%，在夜晚的比例為73.5%，日夜之間具有顯著差異（Wilcoxon rank-sum test, $p < 0.05$ ）。

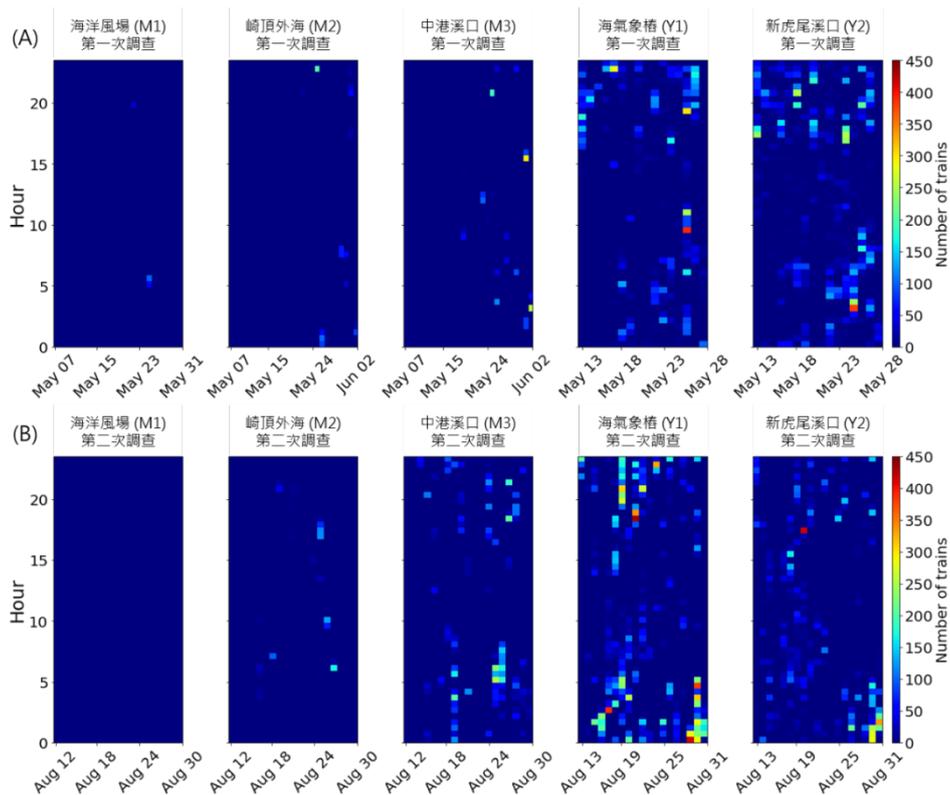


圖 3.4.1-1 回聲定位事件在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化。每季次的調查中，從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)、雲林海氣象樁 (Y1)、雲林新虎尾溪口 (Y2)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表每半個小時的回聲定位事件次數

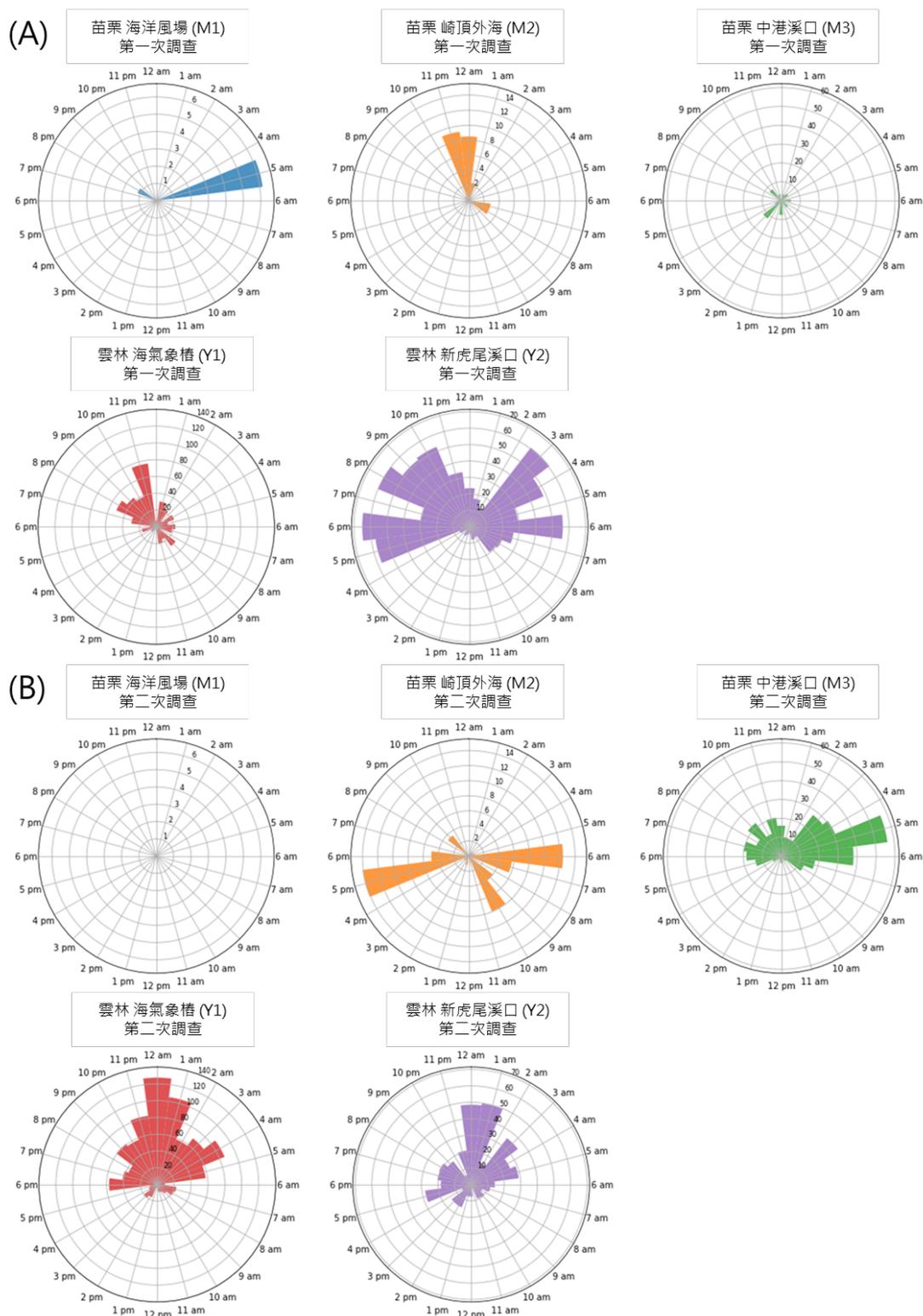


圖 3.4.1-2 回聲定位事件在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之日夜分布趨勢。每個圖分別代表不同的錄音測站，圓圈一周代表日夜 24 小時，每個小時的色條長度代表回聲定位事件次數，需要注意因各測站的偵測數量差距甚大，回聲定位事件次數的數值範圍在各圖之間有所不同

圖3.4.1-3彙整了兩季的監測結果，搭聲偵測結果有明顯的地理與季節差異。在第一季的監測結果中，雲林海域的回聲定位事件顯著較苗栗海域多 (Kruskal-Wallis H-test with post hoc Dunn's test, $p < 0.05$)。苗栗海域的三個測站之中，中港溪口的偵測次數最高，其次是崎頂外海，在海洋風場測站最少，但統計檢定並無顯著差異 (Dunn's test, $p > 0.05$)。在雲林海域，新虎尾溪口測站的偵測次數較高，海氣象樁測站較低，但統計檢定並無顯著差異 (Dunn's test, $p > 0.05$)。第二季的測站變化趨勢與第一季相似 (圖3.4.1-3)，雲林海域的回聲定位事件仍然較多。然而，苗栗中港溪口測站的偵測次數在第二季顯著高於苗栗另外兩處測站 (Kruskal-Wallis H-test with post hoc Dunn's test, $p < 0.05$)，且與雲林海域兩處測站無顯著差異 (Dunn's test, $p > 0.05$)。比較各測站在兩季次之間的變化後，第二季的偵測次數雖然在大多數測站有些微上升的趨勢，但統計檢定並無顯著差異。僅有苗栗中港溪口和雲林海氣象樁兩個測站的搭聲偵測率在第二季明顯較第一季高 (Wilcoxon rank-sum test, $p < 0.05$)。

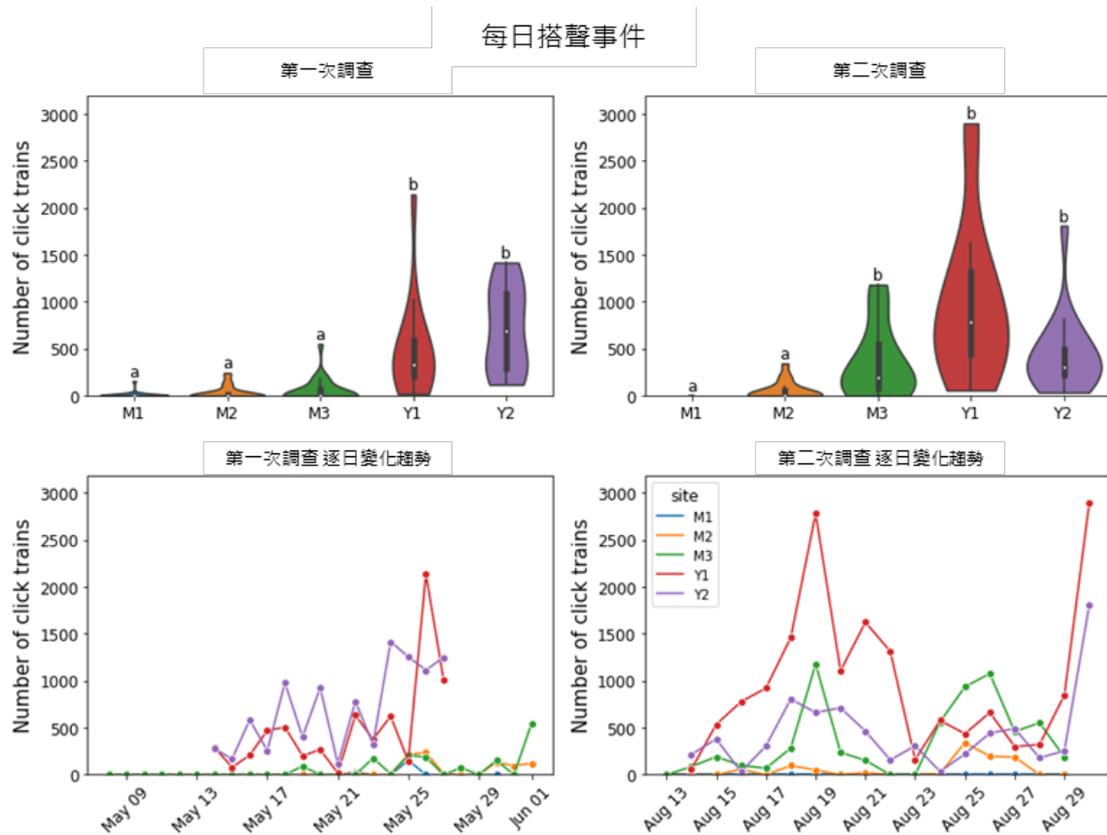


圖 3.4.1-3 苗栗、雲林海域之搭聲監測結果。左側為第一季調查，右側為第二季調查的每日回聲定位事件。上方的小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷。下方為回聲定位事件之每日變化趨勢，僅包含有完整 24 小時錄音的資料

除了透過搭聲偵測結果分析白海豚的時空活動模式之外，本計畫也分析回聲定位事件的平均搭聲間距，以探討白海豚群體的回聲定位行為在錄音測站之間的差異（圖3.4.1-4）。結果顯示，除了苗栗海洋風場測站之外，其餘的四個測站在平均搭聲間距的資料分佈特性皆呈現與過去研究針對白海豚搭聲間距的分析結果相似(Lin et al., 2013)，並偵測到許多次搭聲間距逐漸下降的回聲定位事件（圖3.4.1-5），這種搭聲間距的操作特性是白海豚群體正在透過回聲定位接近目標，進行覓食行為的關鍵指標，顯示這些錄音測站可能分佈在白海豚的覓食棲地範圍內。然而，在苗栗海洋風場錄音測站所偵測到的搭聲間距峰

值明顯較其他測站高，而且搭聲間距低於40毫秒的回聲定位事件也非常稀少（圖3.4.1-4），顯示可能白海豚在此活動時大多數群體都是移動過境，而鮮少進行覓食活動。此外，由於海洋風場的錄音測站水深較深，並不像其他錄音測站一樣，位在白海豚主要活動的水深範圍內，目前看到的搭聲間距差異，也可能與其他活動於較深水域的鯨豚種類有關。

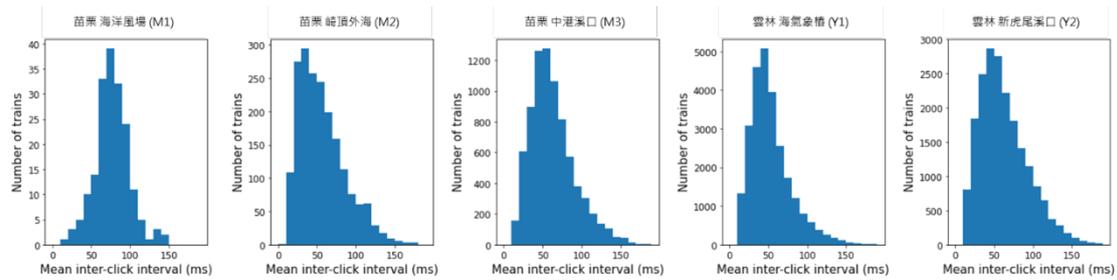


圖 3.4.1-4 苗栗、雲林五處錄音監測站所偵測到的回聲定位事件之平均搭聲間距分佈。須注意各測站之間的縱軸上限有所不同

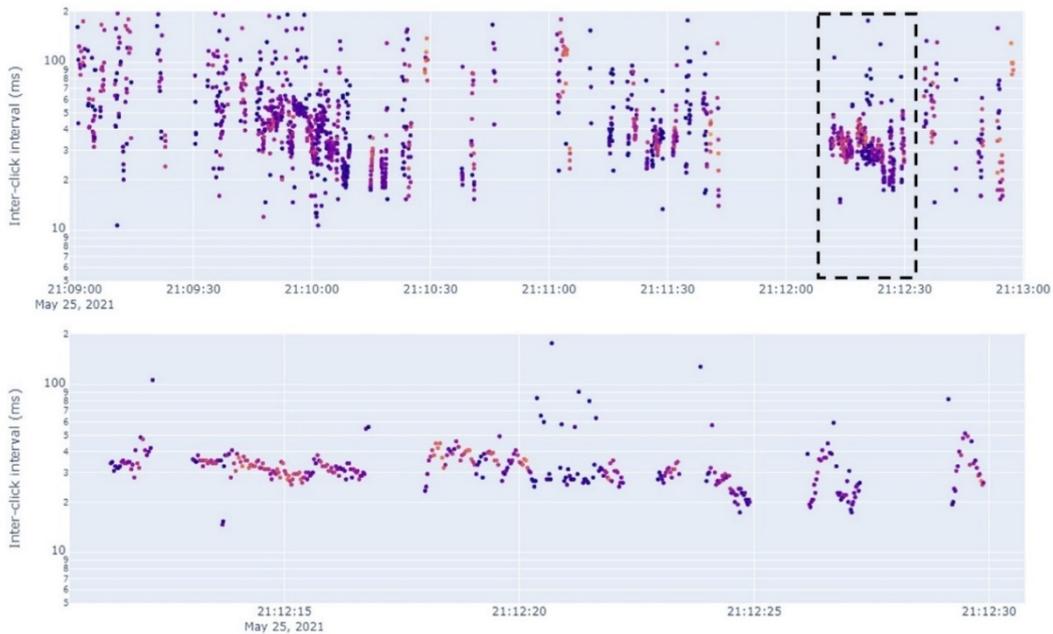


圖 3.4.1-5 白海豚在回聲定位過程中發出具有漸進變化的搭聲間距。上圖為搭聲偵測結果，橫軸為時間，縱軸為搭聲間距，下圖則為回聲定位逐漸下降的事件在上圖黑色虛線框內之放大，這種聲音事件可能與發聲個體在移動過程中不斷接近回聲定位目標的行為有關

綜整偵測結果，本計畫透過自動化偵測白海豚寬頻搭聲，能夠有效觀察白海豚群體進行回聲定位的行為，並以此評估時空活動模式。雲林海域的兩處測站在兩季次的錄音監測期間都可以偵測到白海豚群體頻繁活動，尤其在新虎尾溪口偵測到最多的白海豚回聲定位聲音。相較之下，苗栗海域的三處測站則較不容易偵測到白海豚的回聲定位聲音。苗栗與雲林的活動量差異，也可透過「109年台灣西部海域白海豚族群生態監測計畫」之結果顯示（圖3.4.1-6），彰化雲林交界（ $23^{\circ}50'00''$ ）至雲林北段海域（ $23^{\circ}40'00''$ ）的目擊率最高，可達2.7群次/100公里，而新竹南段（ $24^{\circ}50'00''$ ）至苗栗北段（ $24^{\circ}30'00''$ ）只達1.10群次/100公里（黃鈞漢等人，2020），與本計畫之結果相似。另外，只有在第二季監測期間，於苗栗中港溪口頻繁偵測到白海豚群體活動，顯示白海豚在中港溪口的活動可能受到環境因子、食餌資源豐度，或是人為活動干擾等因子之影響而有較明顯的季節變化趨勢。在目前進行監測的五處測站之中，除了苗栗海洋風場之外，白海豚在其餘四個近岸、淺水測站的回聲定位聲音行為都與過去觀察到的搭聲間距分布相似（Lin et al., 2013），且能夠觀察到群體疑似在覓食過程中操作回聲定位接近目標的行為，顯示這些錄音測站可能位於白海豚主要的覓食活動範圍。

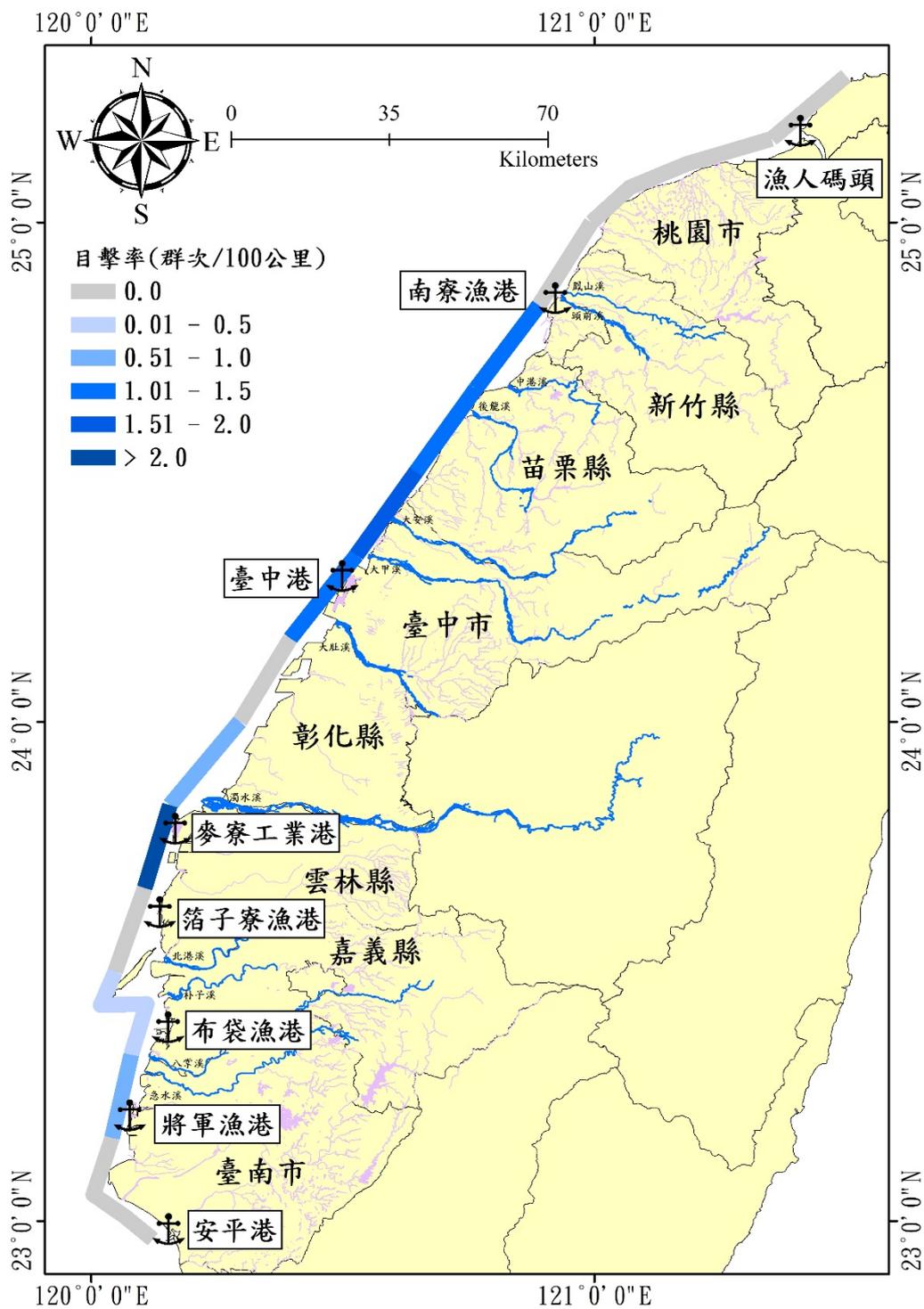


圖 3.4.1-6 109 年度度台灣西部海域白海豚族群生態監測計畫之穿越線各區段白海豚目擊率

3.4.2 白海豚哨叫聲偵測

哨叫聲可能有多種類型的曲調操作特性，而且可能隨著錄音時間與地點的不同，有些哨叫聲會被環境噪音遮蓋而干擾聲音辨識的準確度。本計畫的分析結果顯示，哨叫聲的出現時間與頻率特徵能夠有效的透過自動化偵測方法擷取出來，例如圖3.4.2-1所示之苗栗中港溪口的水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果，圖3.4.2-2所示之雲林海氣象樁的水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果。從長時間的偵測結果來看，局部極大值偵測器能夠準確地判別鯨豚哨聲出現的時間，並且偵測哨叫聲的各種曲調變化，大幅減少分析大量水下錄音資料所需要的時間（圖3.4.2-3）。

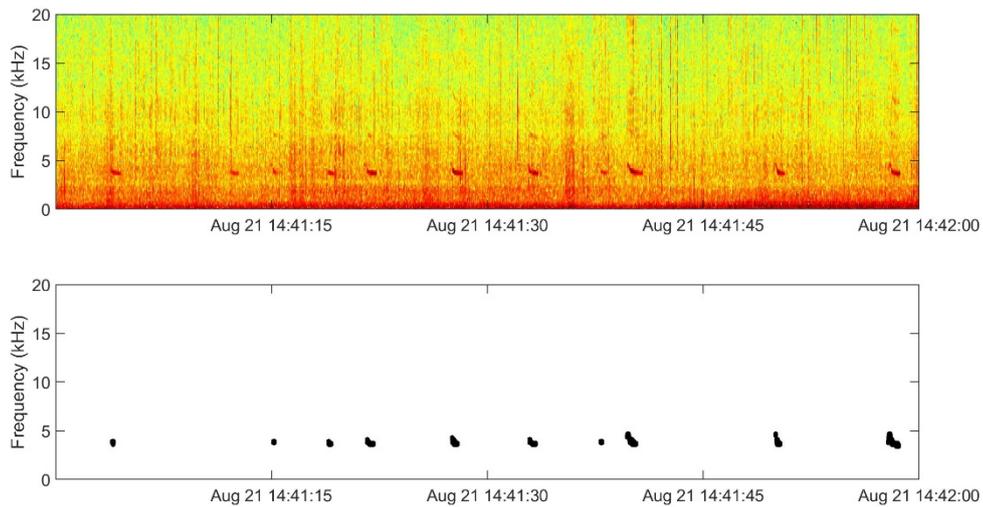


圖 3.4.2-1 苗栗中港溪口水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果之範例

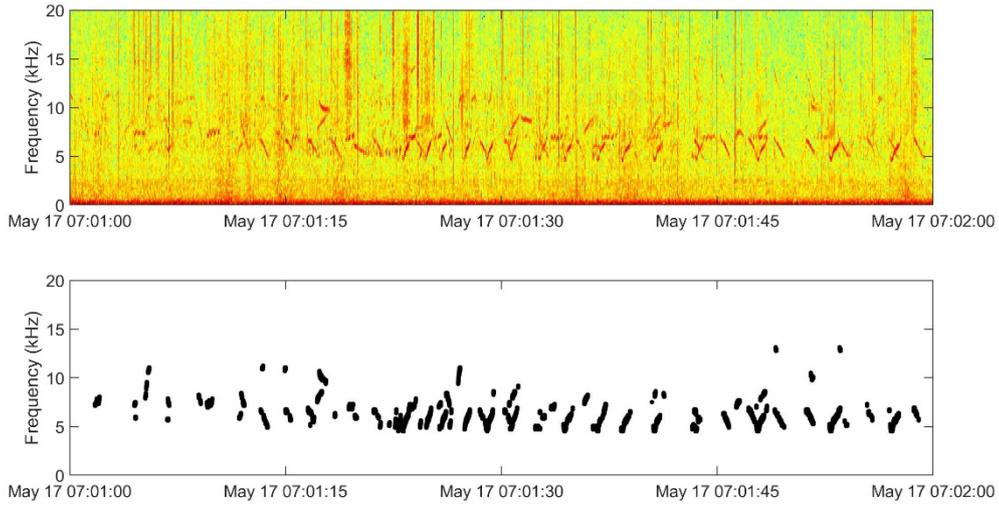


圖 3.4.2-2 雲林海氣象樁海域水下錄音頻譜資料與哨叫聲偵測結果之範例



圖 3.4.2-3 透過自動偵測結果分析雲林海氣象樁海域白海豚哨叫聲出現時間與頻率特徵之範例

然而，本計畫的偵測結果也顯示，哨叫聲偵測次數遠低於搭聲偵測次數。在兩季次的監測過程中，在苗栗三個測站透過搭聲偵測到113群次，但只有13群次偵測到哨叫聲；在雲林兩個測站透過搭聲偵測到503群次，但只有81群次偵測到哨叫聲。整體來說，每個群次能夠偵測到哨叫聲的機率只有15.26%。因此，在未來進行長期水下錄音監測的時候，可能不適合只仰賴偵測哨叫聲來進行白海豚群體活動的評估，

必須整合搭聲與哨叫聲的偵測結果，才能夠獲得較為全面的聲學資訊。

根據Lin et al. (2013) 針對白海豚群體哨叫聲行為的分析，白海豚的哨叫聲頻率中位數大多分布於3.5至5.5千赫茲之間，最高為10.73千赫茲。在苗栗三個測站有偵測到哨叫聲的13群次中，76.9%群次的哨叫聲頻率中位數皆低於5.5千赫茲，僅有兩群次高於11千赫茲，比例為15.4%。在雲林兩個測站有偵測到哨叫聲的81群次中，63.0%群次的哨叫聲頻率中位數皆低於5.5千赫茲，僅有七群次高於11千赫茲，比例為13.6%。整體來說，在苗栗與雲林兩處海域，64.9%群體的哨叫聲頻率中位數皆低於5.5千赫茲，其頻率結構以過去最常見到的白海豚哨叫聲類型一致；25.5%群體的哨叫聲頻率中位數介於5.5至11千赫茲之間，這些可能是行為較為複雜的白海豚群體，也可能是其他種類鯨豚的哨叫聲。此外，9.6%群體的哨叫聲頻率中位數高於11千赫茲，屬於白海豚群體哨叫聲的機率較低（圖3.4.2-4）。

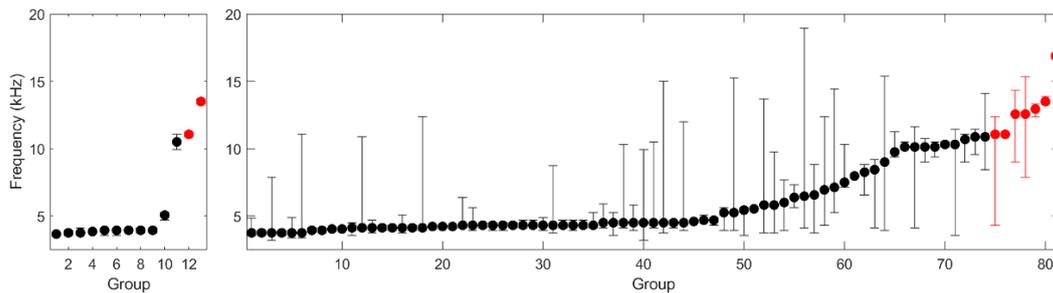


圖 3.4.2-4 哨叫聲在苗栗與雲林海域的頻率分布。左圖為苗栗海域三個測站之結果彙整，右圖為雲林海域兩個測站之結果彙整。橫軸為可供進行哨叫聲頻率特性分析的群體編號，每個群體的圓圈代表頻率中位數，誤差範圍代表第 5、95 百分位數。黑色圓圈的群體代表該群體的頻率中位數低於 11 千赫茲，紅色圓圈代表該群體的頻率中位數高於 11 千赫茲

3.5 運用海洋聲景監測白海豚棲地品質

聲景 (soundscape) 由動物聲音、環境聲音與人為活動噪音所共同構成，是一種新興的海洋生物多樣性監測方式，已經被廣泛應用於多種海洋生態系的長期監測，例如：河口、珊瑚礁、藻礁、大陸棚等 (Heard et al., 2021; Lin et al., 2019; Lin et al., 2021)。透過長期監測動物聲音，可以建立發聲動物的行為資料庫，藉此了解群聚結構的變動 (Tricas & Boyle, 2014)。監測人為噪音現況及變動趨勢，也能夠反映棲地是否頻繁受到人為活動干擾，以調查海洋生態與人為活動之間的交互作用 (Merchant et al., 2018)。

台灣西部的近岸、淺水海域為白海豚的重要棲息環境，過去針對西部海域的海洋聲景研究發現，除了白海豚的哨叫聲與回聲定位聲音之外，主要的生物聲音為魚類合唱與蝦槍聲音 (林子皓等人, 2015; Guan et al., 2015; Mok et al., 2011)。石首魚是沿岸、河口海域主要的發聲魚類 (Mok et al., 2011)，在繁殖季與繁殖棲地的夜間經常可以聽見整個魚群的集體鳴唱 (Lin et al., 2007; Mok & Gilmore, 1983; Mok et al., 2009)，也是白海豚的主要食餌資源 (Barros et al., 2004; Parra & Jedensjo, 2014)。透過分析魚類聲音的強度，將可能協助我們調查石首魚生態的變化，以此評估白海豚在不同棲地、時間之間的食餌資源可得性。

聲景中的動物聲音多樣性已在近年被認為是預測海洋生物多樣性的重要聲學指標 (Mooney et al., 2020)，透過分析海洋動物聲音多樣性，可以觀察到非常細微的時空變化趨勢。過去研究發現，河口聲景以魚類合唱為主，但在人工魚礁、礫石為主的海床環境，則能夠偵測到許多槍蝦的寬頻脈衝聲 (林子皓等人, 2015; Lin et al., 2019)。Lin, Akamatsu and Tsao (2021) 分析台灣東北海域的大陸棚聲景，觀察到鯨豚、發聲魚類的聲音特徵與強度有明顯的週期性變化趨勢，顯示在當地活動的海洋動物群聚組成可能會隨著日夜週期、月週期、季節而有所改變。此外，Lin et al. (2021) 也發現，海洋動物聲音的多樣性在淺水域珊瑚礁和中光層珊瑚礁明顯不同，這種聲景的結構性差異可能是與發聲魚類和甲殼類動物在不同水深之間的分佈梯度變化

有關。因此，透過分析動物聲音的多樣性，將可能反應棲地品質與當地群聚結構，在長期監測的過程中協助研究人員了解棲地健康度的變化趨勢。

人為活動也是影響海洋聲景的主要原因，以雲林海域為例，過去的研究結果顯示每天平均有11-19%的時間能夠聽見船舶噪音（楊志凱，2017）。常見的人為噪音來源包含貨輪運輸、漁業活動、海洋工程、水下通訊，各種聲音類型之間的聲源強度與音頻特性都有所差異。從水下錄音除了能夠確切知道每次噪音事件的出現時間之外，分析噪音頻譜特性也將能推測人為活動的類型。此外，監測人為噪音也能夠協助主管機關評估海洋生物多樣性受到噪音衝擊的潛在風險。舉例來說，高強度的水下噪音可能會影響仰賴聲音溝通、覓食的海洋生物個體健康與行為（Popper et al., 2020；Richardson et al., 1995；林子皓，2013），長期噪音暴露也會降低個體免疫能力，提高族群受脅風險（Chang et al., 2018；Wei et al., 2018）。噪音若是改變棲地的聲景特性，也可能干擾許多海洋動物及幼生透過趨音性尋找棲地的行為（Holles et al., 2013；Lecchini et al., 2018）。因此，監測海洋聲景中的人為噪音現況及變動趨勢，將是海洋生態保育的關鍵工作之一。

有鑒於此，本計畫透過監測白海豚棲地範圍的水下聲景，分析動物聲音、人為噪音的時空變化趨勢，（1）以石首魚類聲音強度評估白海豚食餌資源可得性、（2）應用動物聲音多樣性評估棲地健康度、（3）透過人為噪音評估棲地受脅的程度，以提升我們對於白海豚在台灣西部沿海的生態現況。上述有關如何運用海洋聲景監測白海豚棲地品質之方法，請參閱附錄二。

3.5.1 白海豚棲地聲景特性與時空動態變化

本計畫運用長期時頻譜圖視覺化呈現苗栗與雲林海域等白海豚棲地聲景特性與變化趨勢，可以觀察到聲景在頻譜特性上會隨著測站與時間而有所變動（圖3.5.1-1）。以苗栗海域的三處測站為例，在第一季監測過程中，低於10千赫茲頻率範圍的聲音能量並沒有呈現如同雲林兩處測站一般的高度變動趨勢，顯示發聲魚類在當時並沒有明顯的群體合唱行為。此外，苗栗海域在高於10千赫茲頻率範圍的聲音能

量也較雲林海域強，顯示甲殼類動物聲音的發聲活動較為活躍。然而，我們也在海洋風場與中港溪口兩處海域，於5-10千赫茲頻率範圍觀察到持續性的人為噪音，雖然出現時間橫跨數天，但整體來說強度並不高，除了地理上的變化之外，季節之間也有明顯的變化。無論是苗栗或是雲林海域，目前監測的五處測站在低於10千赫茲頻率範圍的聲音能量上，在第二季監測期間都比第一季的變動範圍還要來得大（圖 3.5.1-1），從頻譜特性來看應與發聲魚類的季節性合唱行為有關。

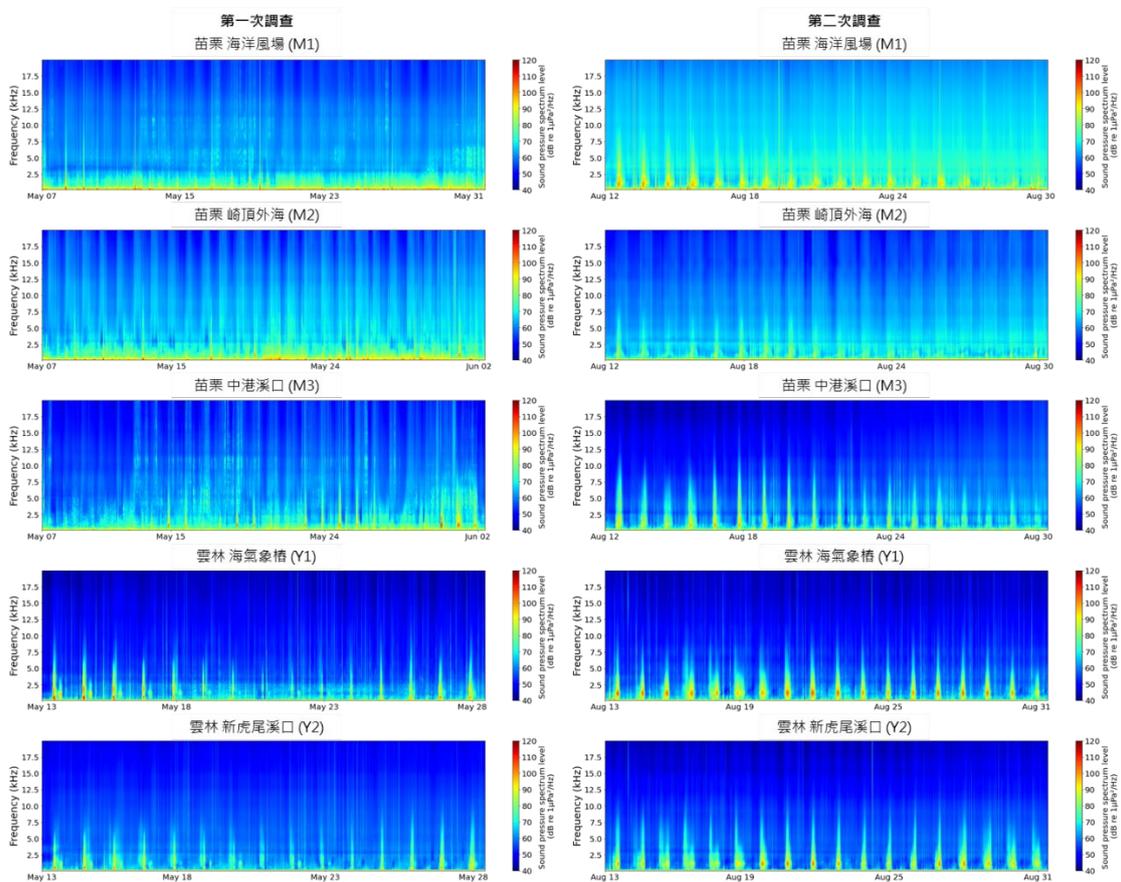


圖 3.5.1-1 以長期時頻譜圖呈現海洋聲景的時空變化。左側圖為第一季的錄音資料，右側圖為第二季的錄音資料。縱軸為聲音頻率，橫軸為錄音日期，顏色則代表聲音強度。須注意各測站的錄音起訖日期有所不同

為了進一步了解海洋動物群聚與人為活動對於聲景的影響，本計畫運用機器學習分別針對苗栗以及雲林兩處海域各建構一套聲源分離模型，分離目前已知的三種主要聲源：魚類合唱、高頻聲音以及人為噪音，並重建各個聲源的長期時頻譜圖（圖3.5.1-2），以取得能精確呈現海洋動物群聚與人為活動時空變化的聲音指標。

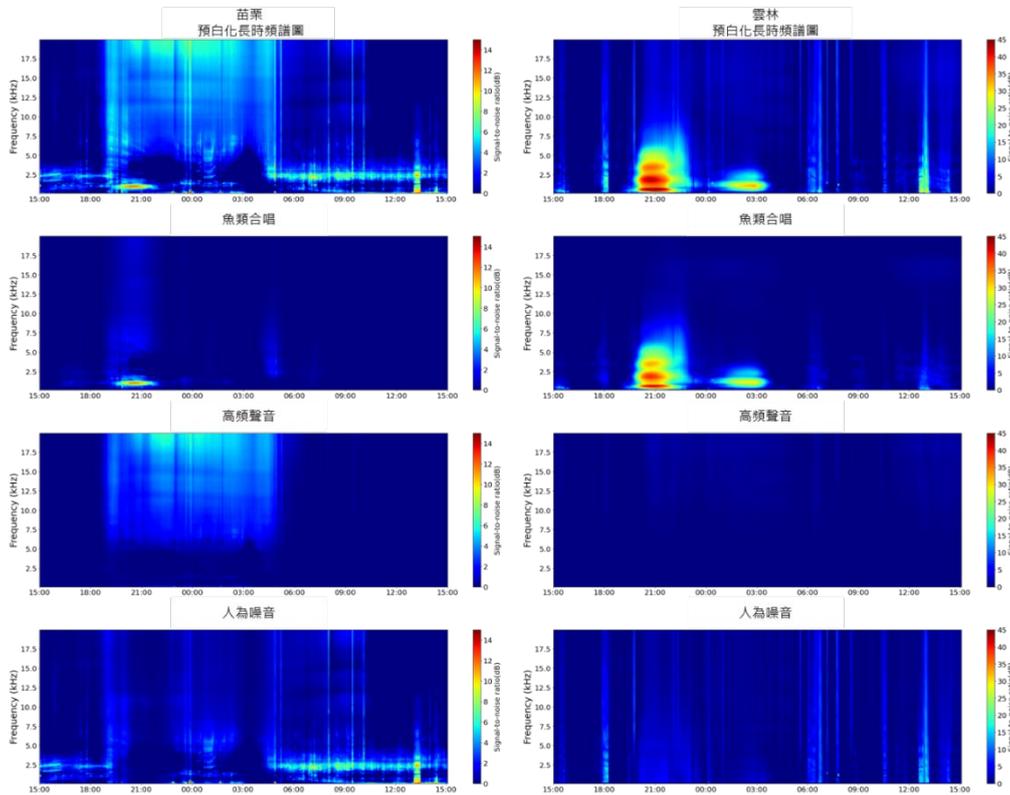


圖 3.5.1-2 運用聲源分離模型分析長期時頻譜圖並進行聲源重建之範例。左側圖為從苗栗海域挑選出的 24 小時海洋聲景資料，右側圖為從雲林海域挑選出的 24 小時海洋聲景資料。第一列的圖為經過去除背景噪音的長期時頻譜圖，縱軸為聲音頻率，橫軸為錄音時間，顏色則代表聲音強度。第二列至第四列的圖為經過聲源分離模型分析過後取得之聲源重建結果，依序是魚類合唱、高頻聲音（主要為甲殼類動物聲音）、人為噪音（包含船舶航行與工程噪音）。須注意不同地區資料的聲音強度繪製範圍有所不同

(1) 魚類合唱

透過聲源分離的結果可以觀察到，在苗栗與雲林兩處海域都可以在晚上偵測到魚類群體合唱，但是在苗栗三處測站，尤其是海洋風場與崎頂外海，魚類合唱的強度較弱，持續時間與出現的天數也明顯較短（圖3.5.1-3）。魚類合唱通常從日落過後開始發

生，結束的時間則有兩個模式，第一個模式主要出現在苗栗海域，約在午夜零點前後結束；第二個模式主要出現在雲林海域，發聲魚類隔天日出之前才結束合唱行為（圖3.5.1-3）。整體來說，目前觀察到的魚類合唱大多每天只有一次高峰時間，在苗栗海域大多主要分布在晚上八點至十點之間。然而，當魚類合唱行為非常活躍，例如苗栗中港溪口第二季、雲林海氣象樁與新虎尾溪口第二季都還能看到第二次的高峰時間，主要分布在晚上十一點至隔天凌晨四點之間，顯示魚類發聲行為的多樣性在夏季的河口海域有明顯的提升。

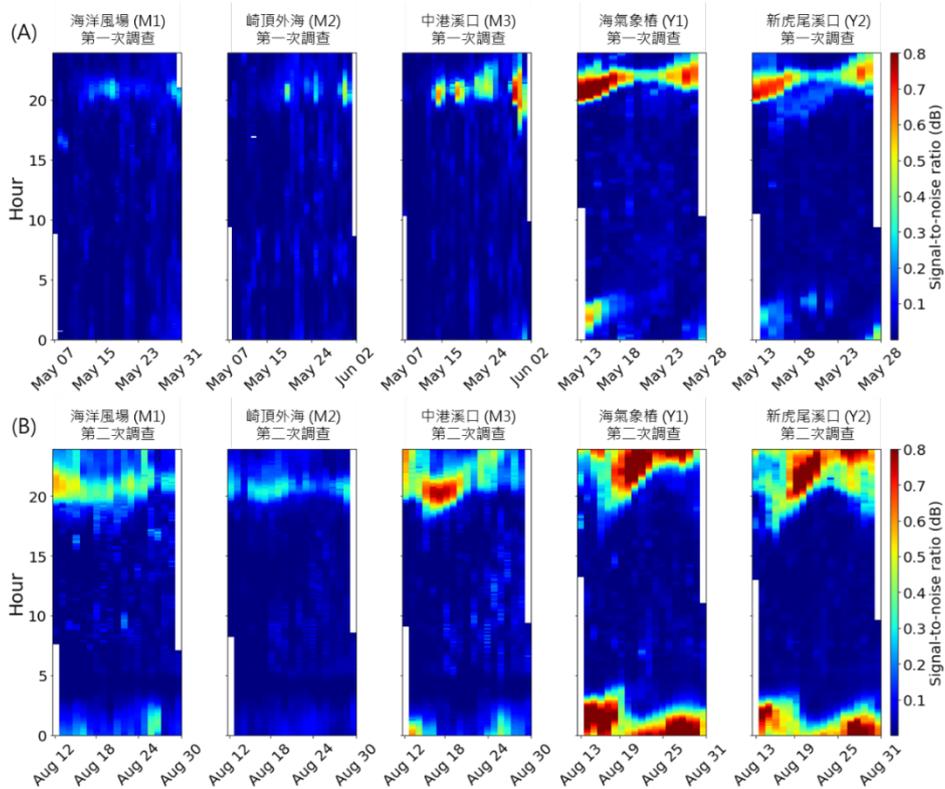


圖 3.5.1-3 魚類合唱在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化。每季次的調查中，從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)、雲林海氣象樁 (Y1)、雲林新虎尾溪口 (Y2)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表經過正規化之後的聲源相對強度

(2) 高頻聲音

聲源分離模型所辨別出來的高頻聲音主要的頻率範圍在5千赫茲以上（圖3.5.1-2），經過進一步檢查頻譜特性之後，大部分的聲音來自於甲殼類動物發聲，一小部分來自於人為活動產生的噪音，例如：苗栗中港溪口第一季在下半夜與白天偵測到為期數小時的高強度高頻聲音。分析結果顯示苗栗海域的高頻聲音較為顯著，而且強度在晨昏時段最強，夜間其次，白天最弱（圖3.5.1-4）。此外，在第二季監測過程中，也發現高頻聲音強度在苗栗中港溪口隨日期而增加的趨勢，顯示可能有其他海洋環境因子在影響當地甲殼類動物的活動。相較之下，雲林海域不管哪個測站，高頻聲音的強度都非常微弱，雖然偶爾有偵測到一些聲音訊號，但這些可能是來與船隻噪音、白海豚群體頻繁活動而產生的大量回聲定位聲音有關。

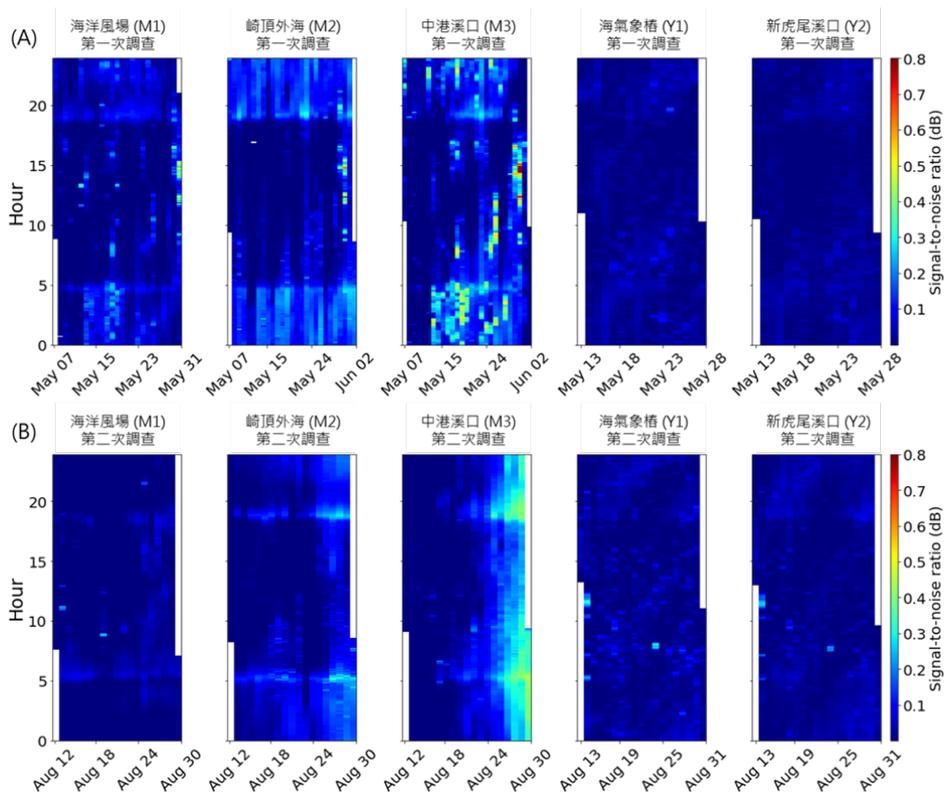


圖 3.5.1-4 高頻聲音在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化。每季次的調查中，從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)、雲林海氣象樁 (Y1)、雲林新虎尾溪口 (Y2)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表經過正規化之後的聲源相對強度

(3) 人為噪音

無論是苗栗或雲林海域，在錄音期間都能夠頻繁偵測到人為噪音。目前的分析結果顯示，人為噪音大致上可以分為小型漁船、大型貨輪等船舶航行產生的噪音與海事工程噪音。船舶航行在距離錄音機非常近的時候，其噪音可以遮蓋掉整個人耳可聽的頻率範圍，甚至進入超音波範圍，如此寬廣的頻率範圍主要是因為螺旋槳在流動液體中因壓力差而產生高強度且寬頻的聲音(Li et al., 2015; Liu et al., 2017)。一般來說小型漁船航行噪音的偵測時間約為數分鐘，大型貨輪航行噪音的偵測時間則長約十多分鐘或接近半小時，依據航行速度與軌跡而變。分析結果顯示，雲林海氣象樁測站每日都可偵測到船隻航行噪音多次出現(圖3.5.1-5)，可能是因為該測站緊鄰六輕工業港航道，受到當地頻繁進出的貨輪影響。此外，在新虎尾溪口較常偵測到漁船航行噪音(圖3.5.1-5)，這可能與新虎尾溪口是當地的重要漁場，漁船頻繁在河口航行、作業有關。苗栗海域的船隻航行噪音出現次數不如雲林海域頻繁，但第一季在三個測站，以及第二季的海洋風場測站仍可以偵測到大型船隻噪音，每次出現持續至少1-2個小時，推測與風場作業的工作船隻有關。此外，在第二季監測過程中，中港溪口也出現頻繁的漁船活動(圖3.5.1-5)。

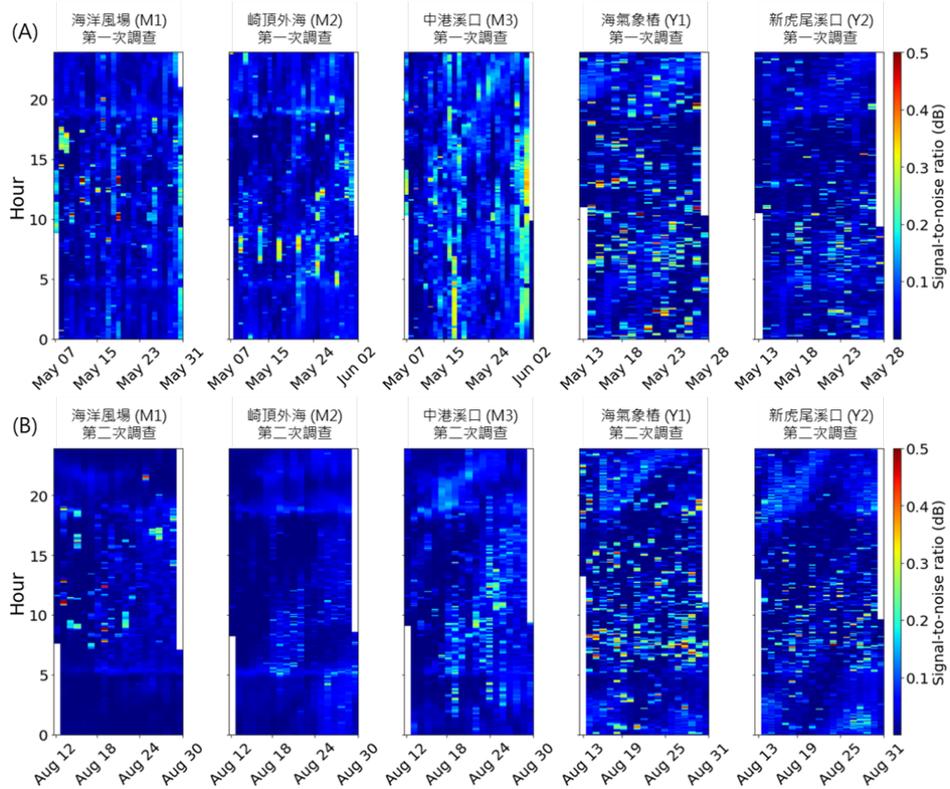


圖 3.5.1-5 人為噪音在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化。每季次的調查中，從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)、雲林海氣象樁 (Y1)、雲林新虎尾溪口 (Y2)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表經過正規化之後的聲源相對強度

(4) 海事工程

例如風場的佈纜、打樁工程的噪音，皆約持續數小時至數天，並依工程而變。苗栗海域在第一季監測期間，在現場調查時曾遭遇到海底纜線鋪設工程，在水下錄音資料中也注意到三處測站都可以偵測到工程噪音，其中在中港溪口的強度最強，且出現時間最久(圖3.5.1-6)。海能離岸風力發電計畫在5月9-10日、14-16日、23-24日、26日、6月1-2日皆有進行打樁工程，在上述時段總共完成三支基樁的打樁作業(詳細打樁時間資訊請參閱附件三)，本計畫分析500赫茲以下的頻率範圍聲壓值，在每五分鐘為間隔，以下列公式計算聲壓值：

$$\text{SPL} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{rms}}^2}{P_{\text{ref}}^2} \right)$$

另外，苗栗海域三個測站雖然距離打樁地點7.2-12公里之間，但水下錄音都可以明確偵測到打樁噪音(圖3.5.1-6及表3.5.1-1)。除了佈纜與打樁工程的水下噪音之外，部分工程噪音的音頻特性會因為工程行為、所在位置而有所變化，在苗栗中港溪口第一季時就有許多噪音因為頻率較高而被模型辨認為高頻聲音。

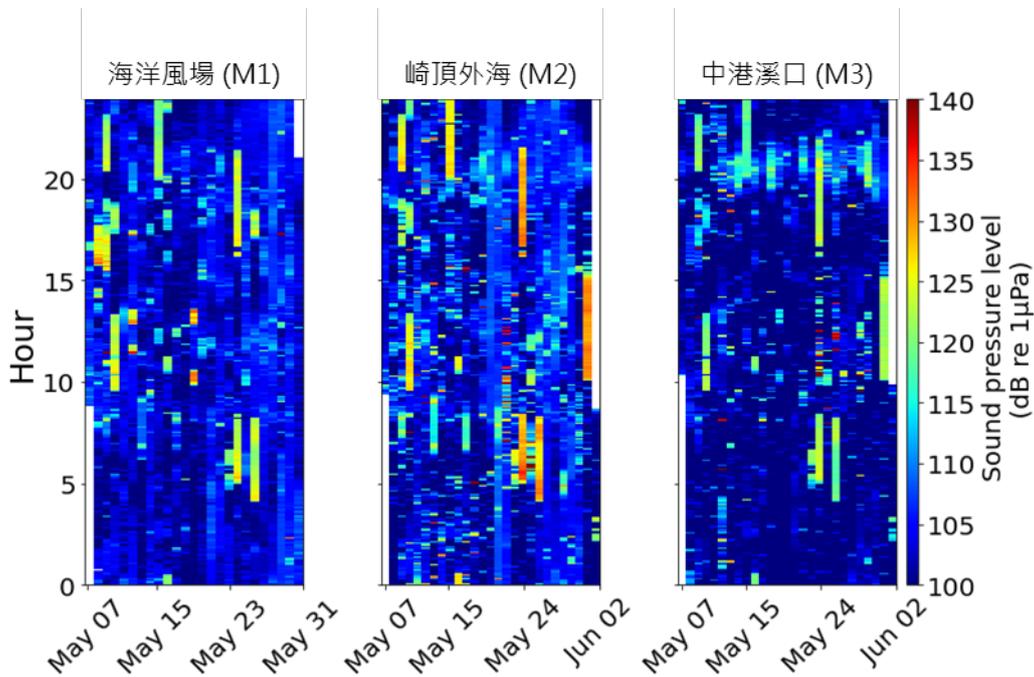


圖 3.5.1-6 500 赫茲以下頻率範圍之聲壓值在苗栗海域第一季調查之時序變化。從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表經過每五分鐘量測的聲壓值

表 3.5.1-1 海能離岸風力發電廠打樁資訊簡表（詳細資訊請參閱附件三）

基樁資訊			實際施工時間、完工報告			備註
基樁編號	緯度 (TWD97)	經度 (TWD97)	開始時間	結束時間	基樁順序	
B04	24° 45' 59.299"	120° 47' 52.592	2021/5/9 16:10	2021/5/10 19:47	No.1	距離海洋風場：8.09 km
					No.2	距離崎頂外海：7.22 km
					No.3	距離中港溪口：9.85 km
					No.4	
B12	24° 46' 58.777"	120° 48' 02.192"	2021/5/14 09:31	2021/5/26 08:19	No.1	距離海洋風場：10 km
					No.2	距離崎頂外海：8.78 km
					No.3	距離中港溪口：12 km
					No.4	
B11	24° 46' 27.649"	120° 47' 31.923"	2021/06/01 10:08	2021/06/08 13:53	No.1	距離海洋風場：9.3 km
					No.2	距離崎頂外海：8.6 km
					No.3	距離中港溪口：11 km
					No.4	

3.5.2 利用海洋聲景特性評估棲地品質以及潛在影響

(1) 食餌資源可得性評估

從過去野外調查的結果可得知，石首魚是西部海域優勢的發聲魚類（Mok et al., 2011），也是白海豚的主要食餌資源（Barros et al., 2004； Parra & Jedensjo, 2014），因此發聲魚類鳴唱行為可以視為一個評估白海豚食餌資源可得性的關鍵指標。在目前的監測地點，發聲魚群大多在夜間進行合唱，且其聲音由一連串的低頻脈衝聲波所構成，與過去針對石首魚發聲行為的研究結果相同（Lin et al., 2007； Mok & Gilmore, 1983； Mok et al., 2009）。

本計畫針對收集到完整24小時錄音的錄音天次分析魚類合

唱時間長度，結果顯示第一季監測期間在雲林海域兩處測站的時間長度皆顯著大於苗栗海域三處測站（Kruskal-Wallis H-test with post hoc Dunn's test, $p < 0.05$, 圖3.5.2-1）。在苗栗海域三處測站之中，中港溪口的合唱時間最長（Dunn's test, $p < 0.05$ ），平均為 1.64 ± 1.44 小時，接著依序為海洋風場 0.6 ± 0.64 小時和崎頂外海 0.5 ± 0.86 小時。雲林海域兩個測站之間的合唱時間沒有明顯差異（Dunn's test, $p > 0.05$ ），海氣象樁為 2.46 ± 1.23 小時，而新虎尾溪口為 2.95 ± 0.67 小時。第二季監測結果的空間變化趨勢與前次監測結果相同，雲林海域顯著高於苗栗海域（Kruskal-Wallis H-test with post hoc Dunn's test, $p < 0.05$, 圖3.5.2-1）。在苗栗海域，中港溪口與海洋風場顯著較高，平均合唱長度分別為 3.85 ± 1.05 小時和 3.66 ± 1.17 小時，而崎頂外海平均為 1.56 ± 0.82 小時，明顯低於前兩個測站（Dunn's test, $p < 0.05$ ）。雲林海域兩個測站之間無顯著差異，海氣象樁為 5.57 ± 2.06 小時，而新虎尾溪口為 6.54 ± 1.88 小時（Dunn's test, $p > 0.05$ ）。針對各測站的季節變化進行分析後，合唱長度在第二季調查明顯高於第一季調查（Wilcoxon rank-sum test, $p < 0.05$ ）。

表 3.5.2-1 魚類合唱平均時間長度的時空變化

調查階段	監測站	錄音時間	平均小時數
第一次調查	M1 (苗栗海洋風場)	5/7 - 5/31	0.6 ± 0.64
	M2 (苗栗崎頂外海)	5/7 - 6/2	0.5 ± 0.86
	M3 (苗栗中港溪口)	5/7 - 6/2	1.64 ± 1.44
	Y1 (雲林海氣象樁)	5/13 - 5/28	2.46 ± 1.23
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	5/13 - 5/28	2.95 ± 0.67
第二次調查	M1 (苗栗海洋風場)	8/12 - 8/30	3.66 ± 1.17
	M2 (苗栗崎頂外海)	8/12 - 8/30	1.56 ± 0.82
	M3 (苗栗中港溪口)	8/12 - 8/30	3.85 ± 1.05
	Y1 (雲林海氣象樁)	8/13 - 8/31	5.57 ± 2.06
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	8/13 - 8/31	6.54 ± 1.88

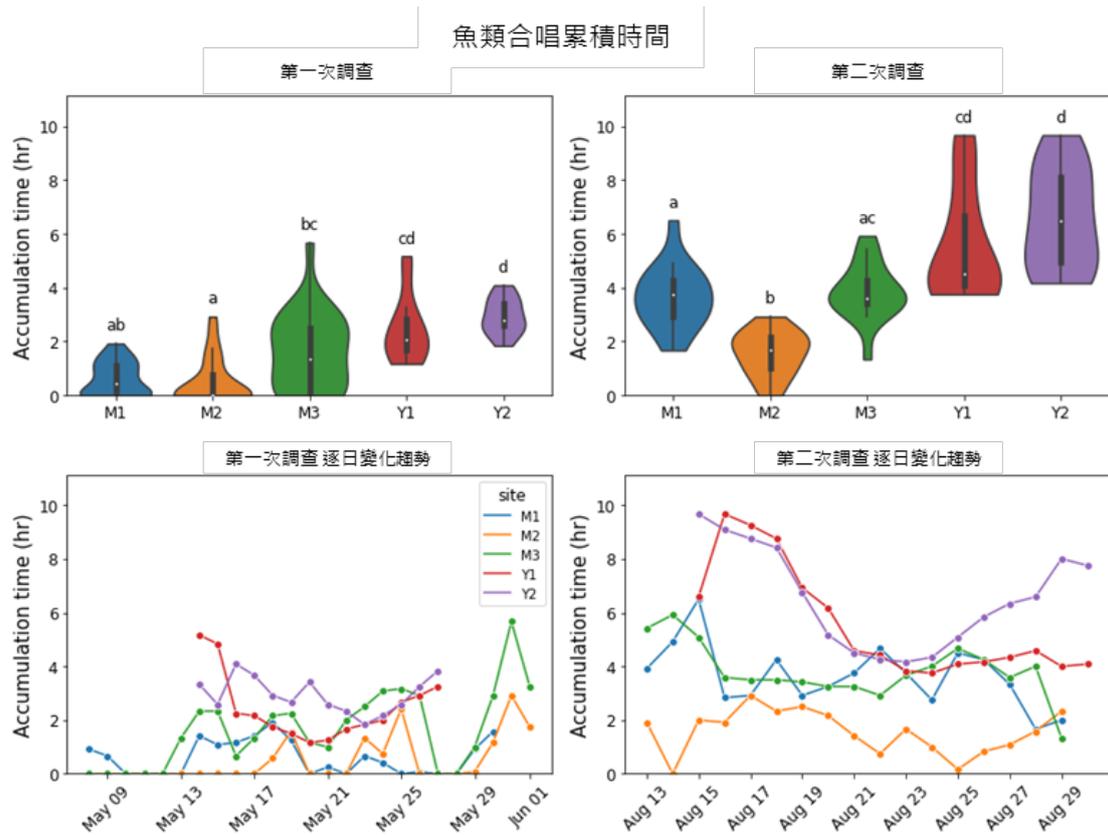


圖 3.5.2-1 魚類合唱時間長度的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果。上方的小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷。下方為魚類合唱時間長度之每日變化趨勢，僅包含有完整 24 小時錄音的資料

從本年度收集到的資料來看，魚類合唱在雲林海域以及苗栗中港溪口最為活躍，持續時間較長，行為也較為多樣化。雖然長時間的人為噪音有可能遮蔽魚群合唱，但目前觀測到的噪音鮮少與魚群合唱同時出現，不至於對分析結果造成嚴重干擾。雲林海域的兩個測站緊鄰新虎尾溪口，其水文也受到附近的濁水溪口影響，和中港溪口一樣同屬高度河口性的棲地，在過去調查過程中也經常偵測到多種類型的石首魚聲音 (Mok et al., 2011)。顯示河口海域的石首魚族群豐度和物種多樣性較高，是確保白海豚食餌資源可得性的關鍵棲地。

河口海域經常會受到河川逕流的影響而有明顯的季節性變化。本

計畫比較兩季的調查結果，魚類合唱在夏季明顯較春季更為活躍，尤其在苗栗中港溪口及其外海的海洋風場，合唱時間都大幅增加，顯示夏季的河口海域是石首魚的核心棲地，也是保育白海豚食餌資源的關鍵。此外，夏季雨量豐沛提升河川逕流量，也可能擴大了石首魚的棲地範圍，因此本計畫才能在深水域的河口外海偵測到大量魚類合唱。

目前所觀察到的魚類合唱時空動態變化與白海豚聲學監測結果的趨勢相符，顯示石首魚族群分布的季節變化有可能會改變河口棲地的生態功能，進而影響白海豚的棲地利用模式。未來若是擴大監測範圍，將可以運用魚類合唱做為預測白海豚在各棲地之間活動頻度變化的關鍵生物因子。此外，若是在重要棲息環境制定積極性的棲地保育政策，也可以透過分析魚類合唱量化棲地保育之成效。

(2) 棲地健康度評估

豐富多樣的物種對於健康的棲地生態是不可或缺的，若是棲地中的物種組成結構較為單一，其生態功能可能在面對極端氣候、人為開發等威脅時，因為無法有效調適壓力而面臨崩解。在海洋環境中，許多動物都會發出水下聲音進行溝通、求偶，因此已有許多研究嘗試分析動物聲音多樣性，作為一種評估動物群聚結構的遙測方法（Mooney et al., 2020）。

本計畫分析海洋聲景中的動物聲音多樣性的時空變化，以進行棲地健康度之評估（Lin et al., 2021）。基於聲源分離模型學習到的魚類合唱與甲殼類聲音特徵，本計畫利用k-means聚類分析這些聲音特徵的時間啟動函數，最終得到19類型的動物聲音，可解釋90.2%的聲景變化。從動物聲音類別的頻率特性來看，五個測站的動物聲音多樣性主要都受到魚類合唱影響，甲殼類動物聲音的貢獻較低，只有兩個可明顯辨識的類型（圖3.5.2-2）。魚類結果也顯示出地域之間的關係，海洋風場與崎頂外海在聲音組成上較為相似，而海氣象樁和新虎尾溪口又是另一個較為相似的類群。中港溪口則較為特別，在第一季與苗栗另外兩處測站的組成上有部分重複，但在第二季則與雲林新虎尾溪口有較多重複的動物聲音類別（圖3.5.2-3）。

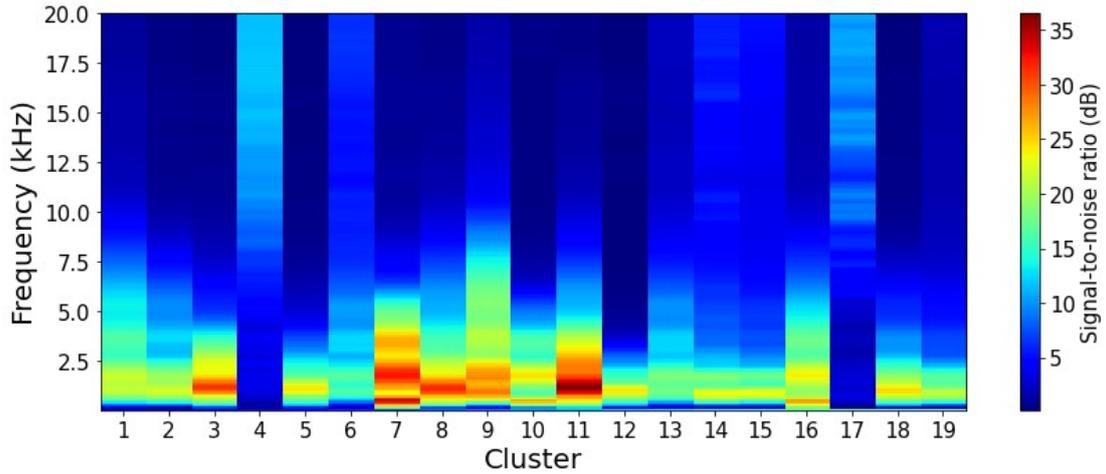


圖 3.5.2-2 各類動物聲音的頻率特性。圖中的橫軸代表動物聲音類別編號，縱軸為聲音頻率，顏色代表該類別聲音在特定頻率的強度

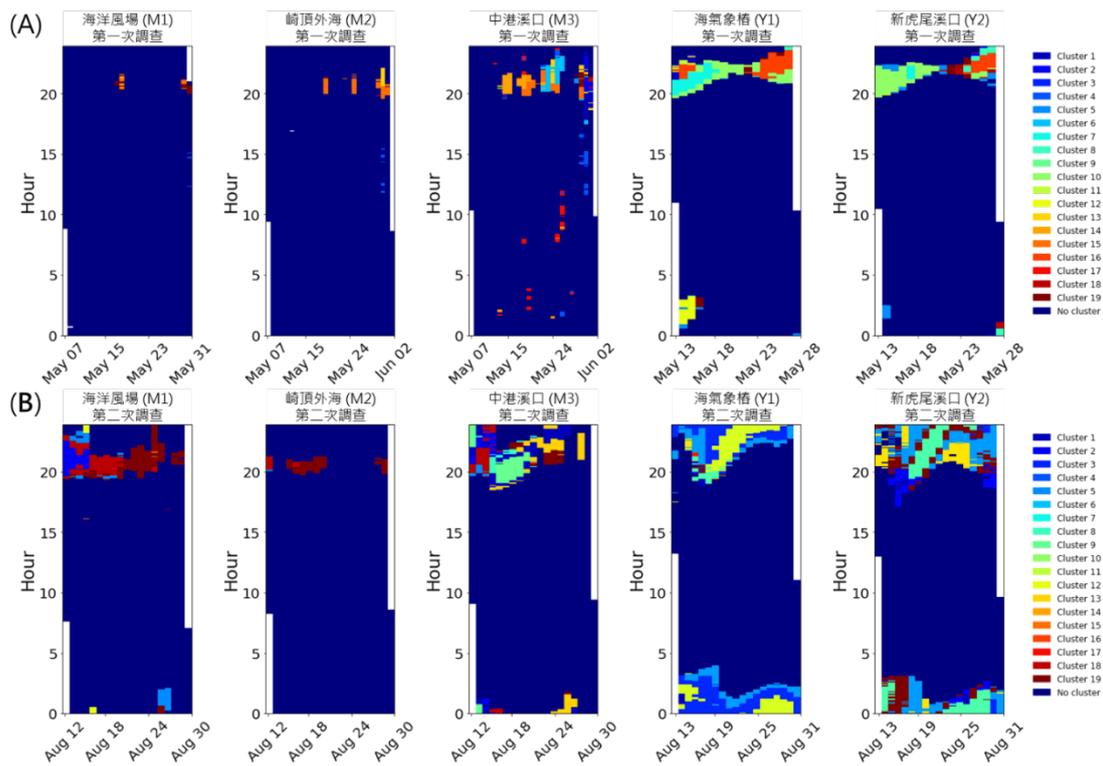


圖 3.5.2-3 動物聲音組成在 (A) 第一季調查與 (B) 第二季調查之時序變化。每季次的調查中，從最左側至最右側的圖分別為苗栗海洋風場 (M1)、苗栗崎頂外海 (M2)、苗栗中港溪口 (M3)、雲林海氣象樁 (Y1)、雲林新虎尾溪口 (Y2)，圖中的橫軸為每季之錄音日期，縱軸為 24 小時，顏色代表經過透過聚類分析所辨識之聲音類別

針對收集到完整24小時錄音的錄音天次進行多樣性指數分析，結果顯示第一季雲林海域兩處測站與苗栗中港溪口的聲音多樣性指數顯著高於苗栗海域的海洋風場與崎頂外海（Kruskal-Wallis H-test with post hoc Dunn's test, $p < 0.05$ ，圖3.5.2-4）。在苗栗海域，中港溪口的聲音多樣性指數最高，平均為 0.12 ± 0.13 ，接著依序為崎頂外海 0.02 ± 0.06 和海洋風場測站 0.01 ± 0.03 （Dunn's test, $p < 0.05$ ）。雲林海域的兩個測站之間沒有顯著差異，聲音多樣性指數在海氣象樁為 0.17 ± 0.11 ，而新虎尾溪口為 0.14 ± 0.07 （Dunn's test, $p > 0.05$ ）。第二次監測的趨勢雖然與前次監測相似，但雲林海域兩處測站的聲音多樣性指數最高，其次是苗栗中港溪口與海洋風場，最低則是崎頂外海（Kruskal-Wallis H-test with Post hoc Dunn's test, $p < 0.05$ ，圖3.5.2-4）。在苗栗海域，中港溪口測站的聲音多樣性指數最高，平均為 0.23 ± 0.11 ，接著依序為海洋風場測站 0.17 ± 0.08 ，崎頂外海最低 0.04 ± 0.04 （Dunn's test, $p < 0.05$ ）。雲林海域兩個測站的聲音多樣性指數沒有明顯差異，海氣象樁為 0.33 ± 0.09 ，而新虎尾溪口為 0.40 ± 0.07 （Dunn's test, $p > 0.05$ ）。針對各測站的季節變化進行分析之後，大部分錄音測站的聲音多樣性指數在第二季都明顯較高（Wilcoxon rank-sum test, $p < 0.05$ ），但僅有崎頂外海的兩季調查結果之間沒有顯著差異。

表 3.5.2-2 動物聲音平均多樣性指數

調查階段	監測站	錄音時間	平均數
第一次調查	M1 (苗栗海洋風場)	5/7 - 5/31	0.01 ± 0.03
	M2 (苗栗崎頂外海)	5/7 - 6/2	0.02 ± 0.06
	M3 (苗栗中港溪口)	5/7 - 6/2	0.12 ± 0.13
	Y1 (雲林海氣象樁)	5/13 - 5/28	0.17 ± 0.11
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	5/13 - 5/28	0.14 ± 0.07
第二次調查	M1 (苗栗海洋風場)	8/12 - 8/30	0.17 ± 0.08
	M2 (苗栗崎頂外海)	8/12 - 8/30	0.04 ± 0.04
	M3 (苗栗中港溪口)	8/12 - 8/30	0.23 ± 0.11
	Y1 (雲林海氣象樁)	8/13 - 8/31	0.33 ± 0.09
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	8/13 - 8/31	0.40 ± 0.07

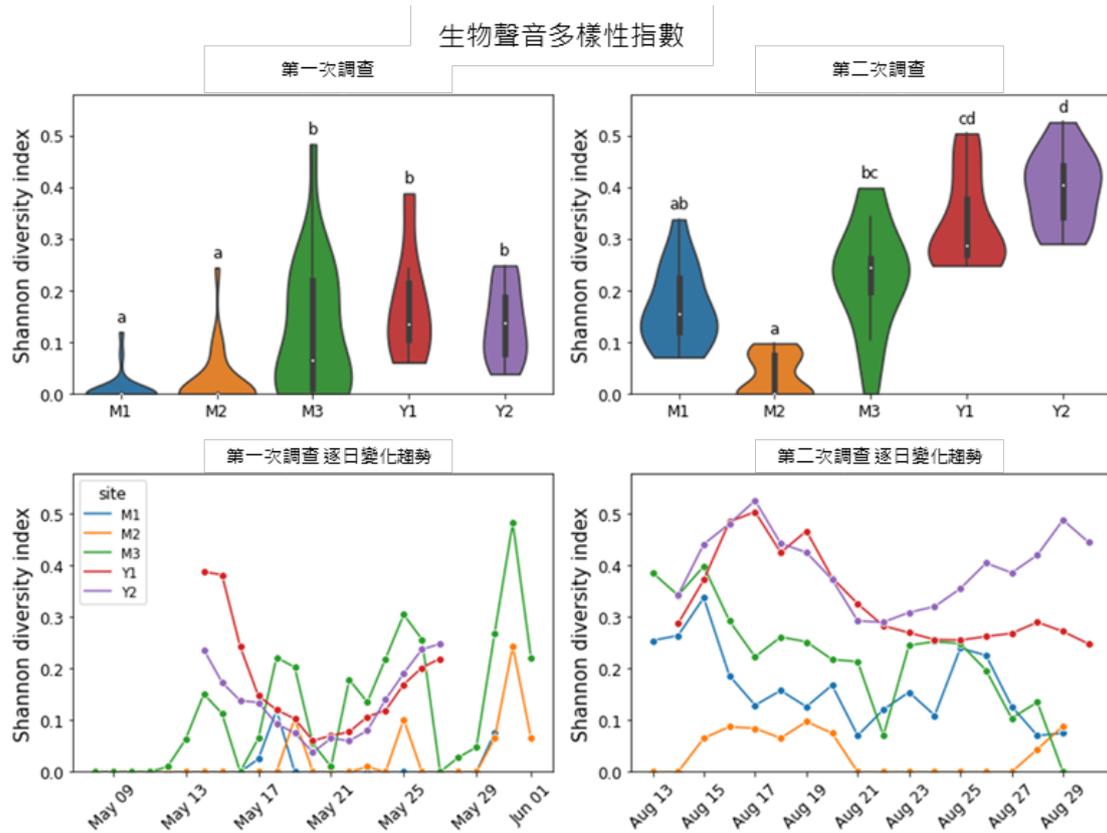


圖 3.5.2-4 動物聲音多樣性的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果。上方的小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷。下方為聲音多樣性指數之每日變化趨勢，僅包含有完整 24 小時錄音的資料

目前的結果顯示，白海豚棲地的聲景主要由魚類合唱組成，甲殼類動物聲音僅占動物聲音的一小部分。和其他聲景研究相比，人工魚礁、礁岩等棲地的聲景由甲殼類動物聲音組成，和白海豚棲地的聲景明顯不同（林子皓等人 2015；Lin et al., 2021）。在本計畫的監測地點之中，苗栗和雲林海域的動物聲音組成有極大的差異，主要是和魚類合唱的類型在兩處海域之間的差異，以及雲林較少偵測到大量甲殼類動物的聲音有關。在雲林海域，可能因為海床環境多為沙泥底質，而非礁岩或卵石，因此提供較少棲地供甲殼類動物躲藏。因此，監測海洋動物聲音的多樣性，將能

協助我們了解群聚生態的變遷，例如：人為開發改變海床特性後，是否影響發聲動物的群聚結構。

由於目前觀察到的聲音多樣性主要都受到魚類聲音影響，因此多樣性指標的時空變化和魚類合唱時間長度的趨勢相似，顯示河口海域在夏季時，是因為多種的發聲魚類在不同時段進行合唱行為，才導致魚類合唱橫跨更長的時間。若是未來觀察到聲音多樣性沒有明顯改變，但是魚類合唱的時間長度變長，則可能代表是單一物種的行為改變。因此，同時分析魚類合唱時間長度和聲音多樣性，將能協助我們了解白海豚棲地生態不同面向的資訊。未來可以進一步結合其他海域環境指標，例如：海水溫度、鹽度、濁度、溶氧量、營養鹽等海洋物理、化學指標，以進一步了解聲音多樣性和海洋環境變遷之間的相關性，以達到有效運用聲音多樣性預測白海豚棲地品質的目標。

(3) 棲地受脅度評估

白海豚族群能夠永續，關鍵在於是否能夠移除可能威脅棲地的因子，例如：過度的漁撈作業減少白海豚的食餌資源，大規模的工業開發減少白海豚的棲地範圍，以及高強度的水下噪音對於白海豚個體造成生理與行為影響。因此，在訂定保育策略的同時，需要人為活動量化指標以評估移除威脅之成效。

本計畫針對白海豚棲地聲景中的人為噪音進行分析，依照頻譜與出現時間特性，大致上可將人為噪音分為船舶航行噪音與海事工程噪音。針對船舶噪音，我們進一步擷取噪音強度變化的峰值位置，藉此計算每日經過錄音測站附近的船隻數目。針對收集到完整24小時錄音的錄音天次進行船隻數目估測，結果顯示第一季監測期間，在雲林海域偵測到的船舶航行次數顯著高於苗栗海域（Kruskal-Wallis H-test with Post hoc Dunn's test, $p < 0.05$ ，圖 3.5.2-5）。在苗栗海域，海洋風場、崎頂外海和中港溪口偵測到的船舶航行次數每日平均分別為 3.39 ± 1.64 次、 4.60 ± 2.35 次和 5.44 ± 2.45 次，三處測站之間無顯著差異（Dunn's test, $p < 0.05$ ）。在雲林海域，海氣象樁為 17.71 ± 5.06 次，新虎尾溪口為 13.00 ± 6.87 次，

兩處測站之間無顯著差異 (Dunn's test, $p>0.05$)。第二季監測結果與前次相似,在雲林海域偵測到的船舶航行次數仍顯著高於苗栗海域 (Kruskal-Wallis H-test with Post hoc Dunn's test, $p<0.05$, 圖3.5.2-5)。然而,在苗栗中港溪口測站的偵測次數平均為 7.00 ± 6.87 次,明顯高於海洋風場 3.00 ± 2.00 次與崎頂外海 1.94 ± 2.19 次 (Dunn's test, $p<0.05$)。在雲林海域,兩個測站之間仍然無顯著差異,海氣象樁為 17.24 ± 4.72 次,而新虎尾溪口為 13.94 ± 4.96 次 (Dunn's test, $p>0.05$)。比較各測站在兩季監測期間偵測到的船舶航行次數,只有崎頂外海的船舶航行次數在第二次調查顯著下降 (Wilcoxon rank-sum test, $p<0.05$)。

表 3.5.2-3 船舶航行次數之平均次數

調查階段	監測站	錄音時間	平均次數
第一次調查	M1 (苗栗海洋風場)	5/7 - 5/31	3.39 ± 1.64
	M2 (苗栗崎頂外海)	5/7 - 6/2	4.60 ± 2.35
	M3 (苗栗中港溪口)	5/7 - 6/2	5.44 ± 2.45
	Y1 (雲林海氣象樁)	5/13 - 5/28	17.71 ± 5.06
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	5/13 - 5/28	13.00 ± 6.87
第二次調查	M1 (苗栗海洋風場)	8/12 - 8/30	3.00 ± 2.00
	M2 (苗栗崎頂外海)	8/12 - 8/30	1.94 ± 2.19
	M3 (苗栗中港溪口)	8/12 - 8/30	7.00 ± 6.87
	Y1 (雲林海氣象樁)	8/13 - 8/31	17.24 ± 4.72
	Y2 (雲林新虎尾溪口)	8/13 - 8/31	13.94 ± 4.96

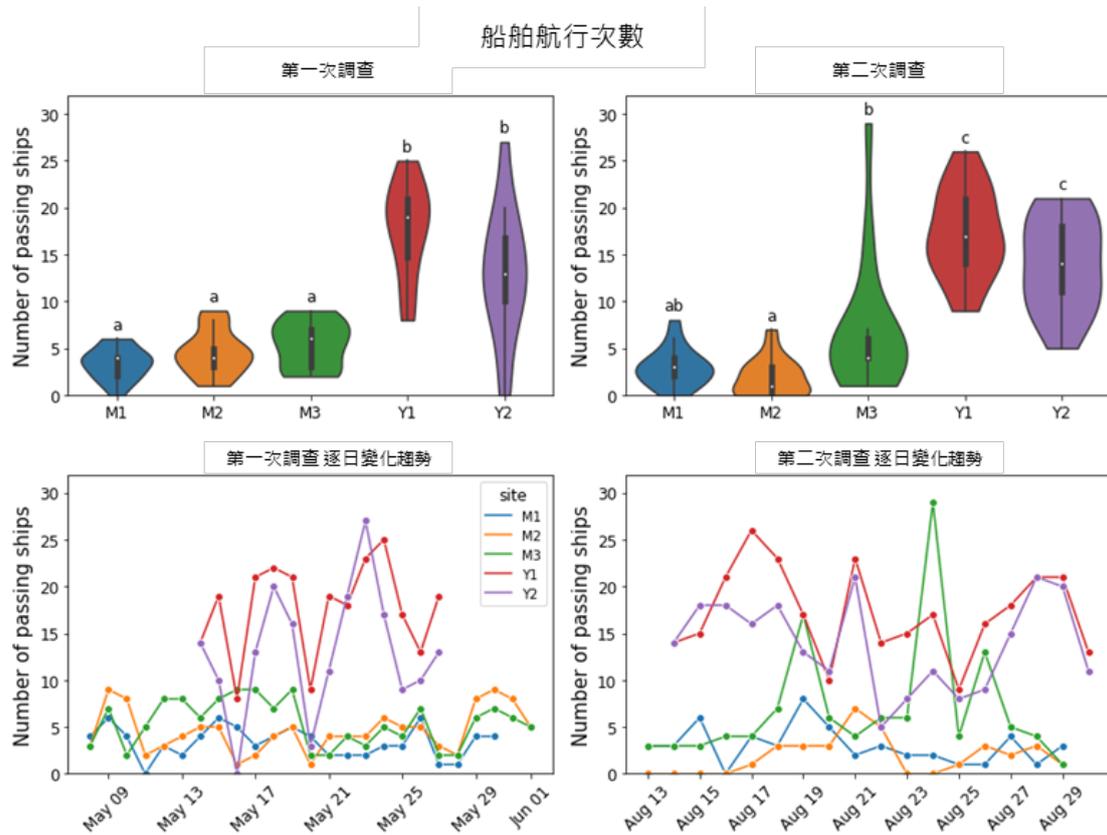


圖 3.5.2-5 船舶航行次數的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果。上方的小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷。下方為船舶航行次數之每日變化趨勢，僅包含有完整 24 小時錄音的資料

在目前收錄的資料中，海事工程的噪音主要可以分為每次持續時間達數小時甚至數天的低強度、寬頻噪音，這種類型的噪音主要分布在苗栗中港溪口與海洋風場兩處測站，經查閱相關海事工程紀錄之後，應與海能離岸風力發電計畫的海纜鋪設工程有關。另一種類型則是每次持續大約一至四小時的高強度、低頻噪音，經查閱紀錄之後，可以確認是由海能離岸風力發電計畫進行B04、B12、B11三座基樁的打樁施工產生（詳細時間資訊請參閱附件三）。我們針對收集到完整24小時錄音的錄音天次分析透過聲源分離模型重建的人為噪音頻譜圖，其噪音相對強度之每日中位數，

以了解這些工程活動在本計畫調查區域內的時空分布變化。結果顯示第一季監測期間，在苗栗海域偵測到的噪音顯著高於雲林海域（Kruskal-Wallis H-test with Post hoc Dunn's test, $p < 0.05$ ），但在第二季監測期間即明顯下降（Wilcoxon rank-sum test, $p < 0.05$ ，圖3.5.2-6）。雲林兩測站在兩季之間無顯著差異（Wilcoxon rank-sum test, $p > 0.05$ ）。

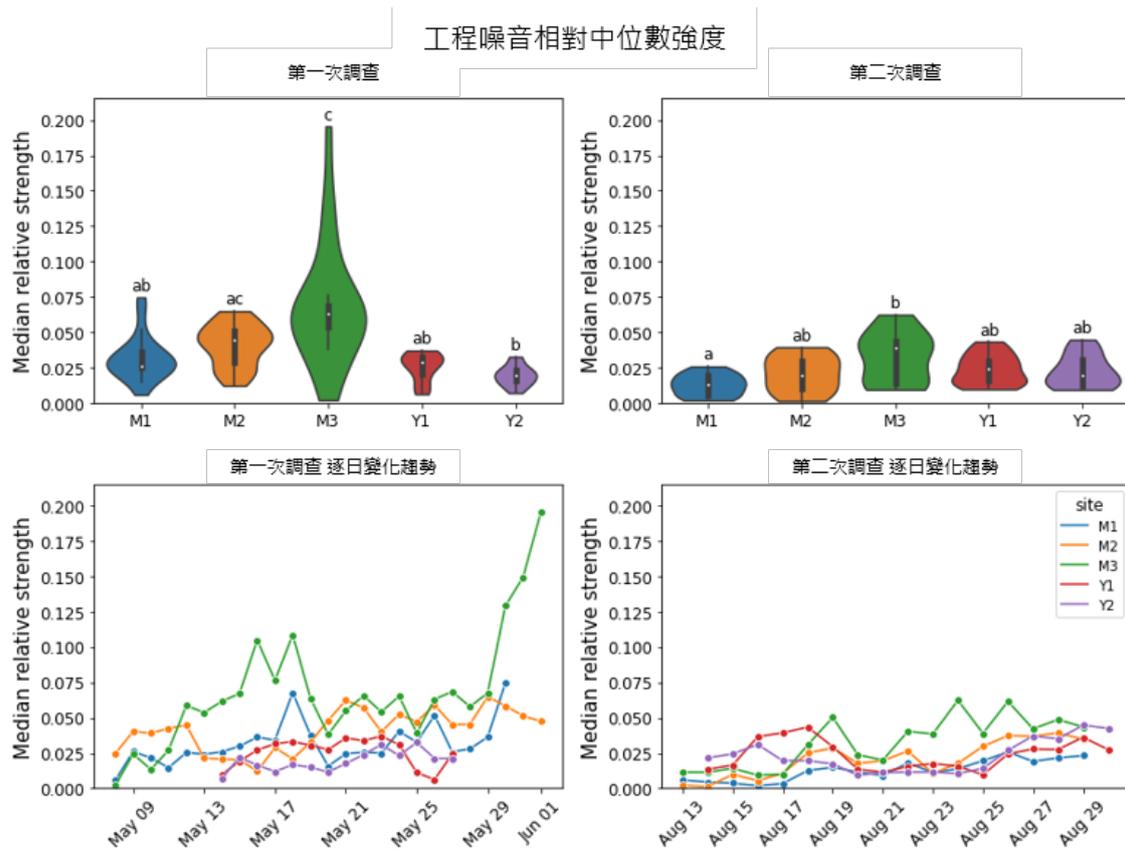


圖 3.5.2-6 人為噪音相對強度的時空變化。左側為第一季調查，右側為第二季調查的結果。上方的小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷。下方為人為噪音相對強度之每日變化趨勢，僅包含有完整 24 小時錄音的資料

本計畫也針對苗栗海域的水下錄音資料，抽取500赫茲以下之頻率範圍，並在每五分鐘的錄音檔案中計算其聲壓強度平均值，以分析海洋聲景在打樁期間和非打樁期間的差異。苗栗海域的三處錄音測站在打樁期間都可以接收到明顯的打樁噪音，但整體的強度在崎頂外海略高，在海洋風場與中港溪口略低(圖3.5.2-7)。但無論是哪一個錄音測站，打樁期間的聲壓值強度，都較非打樁期間的背景值高20分貝以上，顯示打樁工程會大幅度的改變低頻範圍的海洋聲景。

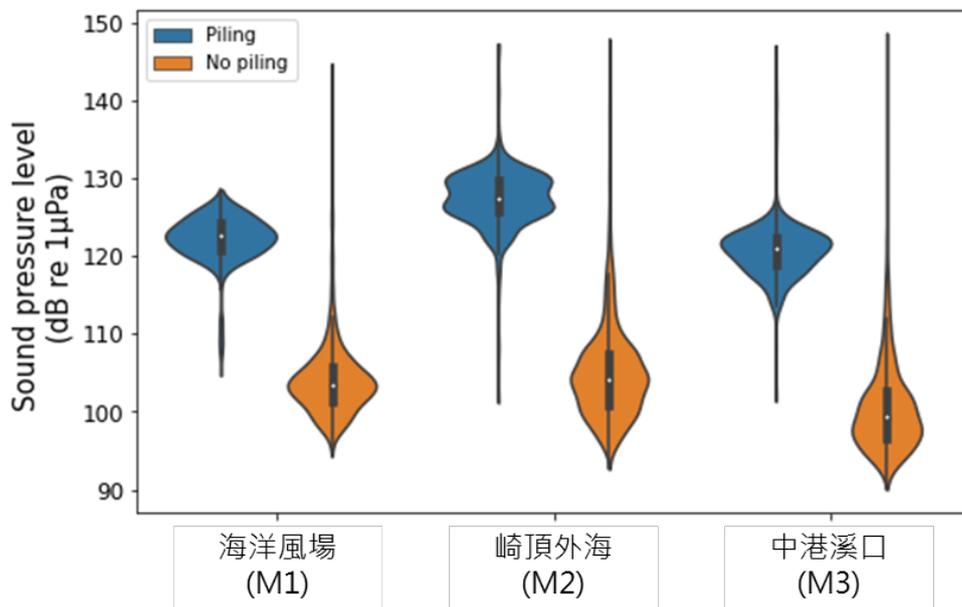


圖 3.5.2-7 500 赫茲以下頻率範圍之聲壓值在苗栗海域打樁期間與非打樁期間之差異。小提琴圖呈現資料的分佈狀態以及估測之資料分佈機率，在每一組資料中若是寬度越寬則代表資料分布機率越高，小提琴圖中的箱型圖白色圓點代表資料分佈之中位數，黑色粗線表示四分位數範圍，黑色細線代表經過去除離群值之後的資料範圍，而超過黑色細線的資料為離群值，離群值以四分位距之 1.5 倍進行判斷

從結果來看，雲林海域能夠偵測到較多航行船舶，但白海豚也頻繁出現於此，顯示船舶航行次數多寡似乎沒有對白海豚的群體活動造成負面影響。然而，這並不代表船舶航行對白海豚族群來說沒有威脅。雲林的船隻航行噪音較為頻繁，可能是因為當地的漁業資源較佳(從當地活躍的魚類合唱行為可觀察到類似的狀

況)，因此當地漁船較為頻繁在河口活動、作業。漁船在高速航行的過程中，有可能會直接衝撞白海豚造成物理性傷害，也有可能因為其產生的寬頻噪音而干擾白海豚的聽力、發聲行為，是白海豚保育的關注焦點之一（Li et al., 2015；Liu et al., 2017）。另一個原因則是因為六輕工業港的貨輪進出，雖然貨輪進出港口時的速度一般來說並不快，但仍可能會干擾在航道周遭活動的白海豚群體，迫使白海豚在貨輪接近時改變活動位置、群體行為。未來若是劃設海洋保護區，則可以透過比較船隻航行噪音在保護區內的出現機率、暴露強度，做為研擬在保護區周邊管制船隻活動的重要依據。

高強度且長期持續的水下噪音，可能會直接影響鯨豚的生理與行為（Popper et al., 2020；Richardson et al., 1995；林子皓，2013），也可能會對其他海洋動物產生生理壓力（Chang et al., 2018；Wei et al., 2018），再間接地影響鯨豚的食餌來源而使得鯨豚族群有所變化。本年度在第一季監測期間，苗栗海域受到離岸風場興建工程的影響，海洋聲景經常可以偵測到海纜鋪設、打樁施工產生的水下噪音，白海豚的聲音偵測率也明顯較第二季低，顯示苗栗海域的白海豚族群可能受到工程活動的影響暫時離開河口棲地。值得注意的是，苗栗海域在第一季調查期間鮮少偵測到魚類合唱，這也可能是白海豚活動頻度不高的原因。然而，根據過去在苗栗海洋風場進行的聲景研究結果，打樁工程改變了當地的魚類發聲行為（Siddagangaiah et al., 2021）。因此，苗栗海域在第一季監測期間也可能是因為工程影響了石首魚類的行為與分布範圍，導致白海豚棲地利用模式受到食餌資源下降而發生變化。

在第二季調查期間，人為噪音明顯減少，白海豚活動頻度在中港溪口海域也大幅提升。顯示白海豚可能因為環境擾動而改變其活動範圍，隨著擾動趨緩或停止才逐漸恢復原有的棲地利用模式。雖然在缺乏工程開發之前背景資料的情況下，還無法評估白海豚活動頻度是否已經恢復到正常的情況。儘管如此，若能在白海豚棲地範圍內仔細監控工程噪音的暴露情況，將能協助預測哪些地區的白海豚可能受到人為騷擾。此外，本計畫結果也顯示，

透過長期監測海洋聲景中的人為噪音，可以有效了解人為活動的時空變化趨勢。搭配魚類聲音與白海豚聲音偵測率等不同面向的聲景資料之後，即能從更全面的角度討論人為活動、棲地生態、白海豚族群三者之間的交互作用。

3.5.3 影響白海豚生存威脅因子分析結果

本計畫引用Veling et al. (2021)之文獻，該文獻方法以國際標準化組織(International Standards Organisation, ISO)提出之「ISO 31000：風險管理指南」為基礎(Hutchins, 2018)，並以「IEC 31010：風險管理-風險評估技術」中進一步發展，採用「解析前後關係」、「風險識別」、「風險分析」、「風險評估」及「風險處理」五項步驟，應用在各項人為活動對於生物與環境之風險評估(表3.5.3-1)。

先以「解析前後關係」建立目標物種之背景資料，以利後續步驟。接續以「風險識別」之步驟，盤點2018年至今於苗栗及雲林海域附近相關海事工程，彙整出8項可能會對白海豚重要棲息環境造成影響之開發案，其工程類別分為採土方(疏濬)、海堤維護管理、海岸保護及離岸風力發電(表3.5.3-2)。

「風險分析」步驟的初步分析階段，需要剔除無風險和低風險之威脅因子，施工船隻航運、施工機具運轉時所造成之噪音、拋石及拋沙噪音，雖然產生的噪音強度(能量)較低，但不排除可能會對鯨豚造成影響之風險。透過本計畫聲學分析結果，並依照表3.5.3-2對2處監測站進行可能性分析，以船隻噪音及工程噪音檢測壓力因子，並以白海豚回聲定位聲音檢測生態狀態。現階段苗栗海域容易受到船隻航運噪音、海洋風場風機運轉噪音、海能風場打樁噪音及海纜鋪設噪音影響，其中海能風場在第一次調查期間有三座基樁進行打樁，打樁距離監測站約為7-12公里，皆有收錄到明顯打樁噪音。雲林海域附近有施工中的雲林允能離岸風力發電廠，但在調查期間並沒有進行打樁工程，因此未能偵測到打樁噪音，而允能風場現階段已打樁完畢之風機，其離雲林新虎尾溪口最近與最遠的距離約20-30公里，打樁噪音傳遞至新虎尾溪口之後的聲壓強度應已大幅減弱。另外，透過目標物種活動量或密度，亦能了解該物種的狀態因素，以本計畫結果為例，白海豚

主要在淺水區域活動，苗栗及雲林海域其活動量相比，雲林則為白海豚密集活動海域。

最後，風險評估需以該區域的船隻航運及施工活動之密度，並分析各項人為干擾活動的發生機率，再與鯨豚敏感性係數相乘，可得出風險等級。此外，在次區域尺度（廣域、跨國界）亦可繪製不同物種的風險可能性和結果分析圖表，以利特定單位管理；在局部尺度可針對單一物種，透過地理上的風險可能性及結果分析，以確定最高風險區域。

表 3.5.3-1 ISO 風險評估之步驟

ISO 步驟	階段		說明
解析前後關係	-		建立研究背景資料、評估量表，並以目標物種優先（如白海豚）。
風險識別	數據收集		確定對環境造成壓力的人類活動，擬定風險識別的基準，並了解這些壓力對目標物種之可能影響。
風險分析	初步分析		剔除無風險和低風險之威脅因子。
	可能性分析（暴露）	壓力因子	船隻噪音、工程噪音密度等。
		狀態	目標物種活動量、密度。
	結果分析（敏感性）		現階段研究資料沒有明確的定量數據，不確定鯨類對噪音的敏感性，因此請專家判斷並設計評分表。
風險評估	-		針對次區域範圍可繪製不同物種的風險可能性和結果分析圖表，以利特定單位管理。 針對局部範圍，單一物種可透過地理上的風險可能性及結果分析加以評

		估，以確定最高風險區域。
--	--	--------------

表 3.5.3-2 近年台灣西部沿近海域開發工程盤點表

工程類型	案件名稱	工程噪音
採土方（疏濬）	苗栗縣後龍鎮後龍溪出海口外海積沙濱海土石採取計畫	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工船隻航運噪音 ● 施工機具運轉噪音
	開採苗栗縣苑裡鎮苑裡防波堤外海淤積砂	
海堤維護管理	苗栗縣二級海岸防護計畫（草案）	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工船隻航運噪音 ● 施工機具運轉噪音 ● 拋石噪音
	外埔海堤環境營造改善工程	
海岸保護	外傘頂洲人工保護礁（含滯沙措施）侵蝕防治規劃設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工船隻航運噪音 ● 施工機具運轉噪音 ● 拋砂噪音
離岸風力發電	海洋竹南離岸式風力發電計畫	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工船隻航運噪音 ● 施工機具運轉噪音 ● 海纜鋪設噪音 ● 拋石噪音 ● 打樁噪音 ● 風機運轉噪音 ● 爆破噪音（除役階段）
	海能離岸風力發電計畫	
	雲林離岸風力發電廠興建計畫	

在8項可能會對白海豚重要棲息環境造成影響之開發案裡，離岸風力發電工程在施工中的海纜鋪設噪音及高強度的打樁噪音，可能會造成鯨豚遠離棲息地之迴避行為，也可能會對鯨豚的聽力造成生理影響。營運期間的風機機運轉噪音雖然強度不大，但長時間的噪音空間可能會對該區域之鯨豚造成生理壓力（Thomas et al., 1990）。最後除役階段可能採取切割或是爆破等破壞措施，爆破所造成之噪音影響與打樁相似，其作用範圍廣泛、高強度且需要長時間回復，亦可能對當地鯨豚造成生存上之威脅。

敏感性分析評分應需由相關專家及研究學者討論、分析並判斷海工程噪音對白海豚之影響程度，以「作用範圍」、「作用強度」及「回復所需時間」等因子設計鯨豚敏感性評分表，再將得出的風險評估的結果訂定合適之相關辦法或保護區，提升有效管理效率的重要目標和任務。

3.6 提出具體可行之優先復育區長期經營管理建議

3.6.1 台灣西海岸現況與白海豚復育計畫

近年來台灣西部沿海海域生態面臨諸多環境生態課題，如沿海漁業枯竭及離岸風電開發等，將對當地生態及地方發展造成衝擊。導致漁業資源枯竭的原因眾多，其原因亦可能與非法捕撈和底拖有關，如欲改善該問題，可依漁業法第四十四條第一項第四款嚴格查緝取締非法漁業捕撈行為，如：(1) 禁止拖網漁船於距岸三浬內拖曳網具作業或投網、揚網。(2) 禁止總噸位五十以上拖網漁船於距岸十二浬內拖曳網具作業或投網、揚網。(3) 禁止拖網漁船攜帶或使用滾輪式漁具出港作業。再者，台灣海峽之離岸風電開發進展如火如荼，但始終缺乏標準化的生態調查方法，其中減緩措施、檢核機制及監督機制仍在建構中，上述進展速度遠不及風場開發速度，如何在風場開發影響之下，同時保有海洋生態之完整性，為目前政府所面臨最大挑戰。

而國內相關機關為維護臺灣海域生物多樣性，避免上述生態課題衝擊影響海洋生態，目前劃設成立1個野生動物重要棲息環境、5個野生動物保護區和30個漁業資源保育區（圖3.6.1-1），並設立海洋保育法以補足現行野生保育動物法、國家公園法、漁業法、水下文化資產保存法、濕地保育法、海岸管理法、國土計畫法等規定，但若保護區及保育區無法落實有效管理、缺乏相關執法配套措施及有效監測資料庫，則將形同虛設，有名無實。因此，針對現今遭受非法漁業及海工程開發等嚴重影響之白海豚，民間團體於2019年11月25日倡議白海豚復育計畫，提出以下六大主要行動目標，防止白海豚死亡並促進族群增長，後續如明確設立白海豚復育區之範圍，可先參考第一、二、三、六點，以利復育區之長期管理及經營（參考自白海豚公聽會資料，

Taylor et al., 2019)。

- (1) 禁止中華白海豚棲地範圍內使用刺網和三層刺網。
- (2) 在中華白海豚棲息範圍內限制新的開發計畫。
- (3) 建立船舶的航道及速限以降低水下噪音量及海豚撞擊風險。
- (4) 降低空氣、水和土壤的污染。
- (5) 增加淡水入海的流量。
- (6) 立法限制鯨豚棲地內的人為水下噪音閾值。



圖 3.6.1-1 臺灣海洋保護區

3.6.2 運用聲景監測突破傳統目視調查方法之限制，進行棲地管理之應用

為了使主管機關能夠有效進行實質管理，復育區的設置必須建立在保育成效可預測或可被量化的前提下。過去針對白海豚的調查，以目視方法為主，可以掌握大空間尺度的調查成果，確認白海豚族群橫跨整個台灣西部沿海的活動範圍，並可透過個體辨識掌握個體的活動範圍、成長狀況，以及估算族群數量，掌握白海豚整體族群大小的年間變化趨勢。但由於白海豚在臺灣西部海域的族群豐度低，難以在短時間內蒐集到大量的生態資料，這將導致在進行各項統計分析時，無法即時獲得足以分析或模式模擬的數據量。此外，目視觀察受到海況與能見度之限制，在夜間或是秋冬季節仍不清楚白海豚的生態活動習性。

目前為止，透過歷年的調查結果，我們已經清楚掌握白海豚於台灣西部沿海的分布狀況以及大致的活動熱區，並初步規劃優先復育區，但基於上述之目視調查限制，各種分析須仰賴多年的資料累積，且在有限的保資源的情況下，調查結果也難以即時反應族群遭受衝擊後所產生的影響，故僅依靠目視調查所獲得的調查數據，若要應用於小範圍、高強度的棲地管理，則仍處於相當艱難的局面，因而導致過去在規劃保育區方面面臨諸多困難，其中包括幾項關鍵問題難以釐清：(1)「保護區是否具有支持白海豚族群的核心棲地功能？」、(2)「保護區內的白海豚族群變動趨勢是否與棲地品質變動趨勢有關？」、(3)「保護區內外的人為活動是否干擾白海豚族群生態？」。為了回答這些問題，並提供保育措施規劃與後續成效評估之參考，我們必須有相對應的監測方法來提供客觀的量化資料，作為復育區管理的科學依據。

透過海洋聲景分析結果，將能夠協助主管機關運用動物聲音多樣性評估白海豚的棲地適宜度，例如：以魚類合唱時間長度作為白海豚食餌資源豐度之指標，並以動物聲音多樣性做為棲地健康度指標，便可以探討白海豚逐年而變的南北分布梯度，是否與當地食餌豐度與棲地生態變化有關；而除了魚類聲音，槍蝦亦是海洋中重要的發聲動物，尤其在人工魚礁、礫石為主的海床環境特別常見，因此，透過分析動

物聲音將能夠呈現棲息於這片海域的發聲動物群聚組成，地區之間的聲音多樣性也能顯示棲地功能性的差異。

聲景訊息也能夠協助評估白海豚棲地的受脅程度，協助制訂保育措施。若是在白海豚頻繁活動的區域，也偵測到大量人為噪音，則顯示頻繁的人為活動有一定程度的機率會干擾白海豚群體，因此需要與相關部會與權益關係人協商如何管理人為活動與開發行為。透過後續追蹤人為噪音的出現頻度與暴露強度，將能提供明確指標讓社會大眾了解管理措施的推行成效。未來隨著技術發展，透過即時傳輸聲音資料，也可能讓船隻得以預警作業海域、航線上是否有白海豚活動，降低船隻活動傷害白海豚的風險。

在規劃長期聲景監測方面，首先需要建立目標物種聲音行為之背景資料後，便能夠透過偵測動物聲音監控其棲地利用模式 (Bossley et al., 2016)。再透過基於聲景的海洋生態觀測網絡，以動物聲音多樣性評估海洋生物多樣性的變化趨勢 (Mooney et al., 2020; Lin et al., 2021)。最後，再針對動物聲音與人為噪音之間的交互作用，研究人員便能評估人為活動對於海洋生態的潛在干擾 (Merchant et al., 2018)。綜合上述，聲景分析結果可有效幫助相關主管機關規劃與調整保育措施內容與強度，並確保措施之有效性 (圖3.6.2-1)。

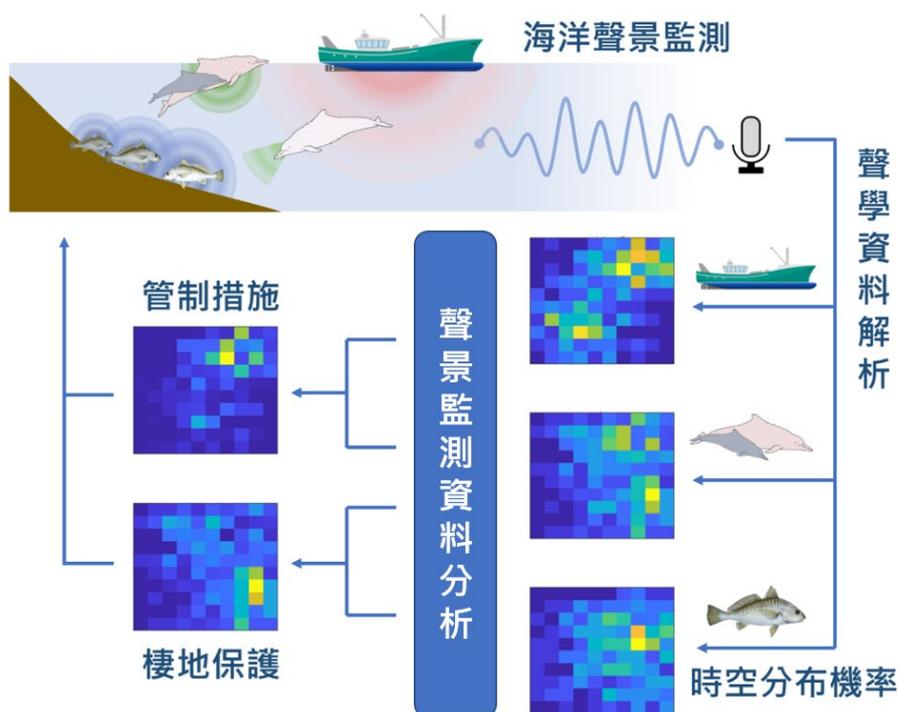


圖 3.6.2-1 應用海洋聲景監測於棲地經營管理與協助保育對策制定（資料來源：海保署，2020）

3.6.3 四大優先復育區現況及長期經營管理建議

海保署於109年8月31日正式公告「中華白海豚野生動物重要棲息環境」，然而縱觀整個「中華白海豚野生動物重要棲息環境」範圍，橫跨苗栗、臺中、彰化與雲林等4個縣市，總面積達763平方公里，儘管未完全涵蓋中華白海豚在臺灣西部沿海之完整棲息範圍，但仍相當廣闊，在有限的保育資源條件下，為了能有效掌握中華白海豚之族群狀況與棲地利用模式並評估棲息環境之品質，除了搭配適當之調查方法以及管理策略，分區規劃是重要且務實的保育管理策略之一。海保署「108年度台灣西部沿海白海豚族群監測計畫」曾綜整臺大周蓮香教授、王愈超博士與黃祥麟教授等3個研究團隊之研究成果，根據Dares et al. (2017) 使用之棲地重要性指標，共盤點出4處優先復育區建議劃設區域，由北至南分別為苗栗通霄至大安溪口、臺中港、大肚溪口南岸與彰濱工業區、雲林台西至北港溪口等。本計畫針對此4

個區域進行初步比較分析：

(1) 苗栗通霄至大安溪口

依照過去歷年調查資料顯示，自中港溪口至大安溪口長約45公里之範圍為白海豚目擊熱區，分布於此範圍之白海豚族群穩定，且年齡結構以成年個體為主。此區域亦為漁業活動密集區域，漁法多以刺網為主，偶有拖網船，若於本區域劃設優先復育區，初期可能面臨漁業衝突問題，但根據過去與此地漁會及漁民接觸經驗顯示，包括南龍漁會與通苑漁會漁民相對其他區域對公部門有較高之信任基礎，或有機會建立合作關係。而此區之開發議題以離岸風電開發為主，包括鄰近重要棲息環境之竹南海洋風場與海能風場，但目前海洋風場已完成施工並進入營運階段，海能風場則是海纜鋪設與基樁打樁等工程作業已陸續完成。

綜合上述，此處為已知至今仍為白海豚之分布熱區，且有較高的可能性進行漁業轉型與合作，目前亦無重大之海域開發案件與衝突，故以此處做為優先復育區之成功機率或有較高之成功機率，並考量主管機關之管理能量，可先以中港溪口、後龍溪口或大安溪口先劃設小區域之優先復育區。

(2) 臺中港

依據過往之調查結果顯示，此區域之白海豚行為多以快速游走為主，較少停留、覓食、社交等行為，且綜合歷年調查結果，目擊率較其他3處更低，分布並不固定，可能與此區域水深較深且船隻干擾程度較高有關。但雖然如此，根據「臺中港外港區（第一期）擴建計畫環境影響評估報告書」調查結果顯示，於臺中港附近海域2018-2019年累積可辨識的白海豚個體隻數共33隻個體，約佔全中華白海豚族群50%個體數，顯示此區域或為白海豚南北往來之重要廊道。除此之外，根據其陸地觀測調查結果顯示白海豚游動軌跡多以北堤以北至高美濕地外海一帶為主(圖3.6.3-1)，海上穿越線調查結果(圖3.6.3-2)與水下聲學調查亦呈現此區域較北堤以南之臺中港區有較高之偵測率。而本區域所面臨之開發

壓力主要以臺中港擴港計畫為主，目前本案已於108年完成第二階段環境影響評估範疇界定，依目前程序應正依照範疇界定指引表要求進行評估中，另一方面，臺中港亦為離岸風電產業重要之作業基地，作為風機組裝與港勤維運等用途。而此區域亦有漁業活動，根據當地漁民提供之資訊，其漁業作業範圍以臺中港南堤以南至大肚溪口近岸商船無法靠近之區域，作業方式以刺網為主，而北堤以北至高美濕地範圍亦有零星刺網作業。

綜合上述，此處應為白海豚之重要生態廊道，且近岸區域亦有漁業衝突議題，而所面臨之海域開發議題較多，尤其是臺中港擴港開發計畫，此外港區船隻活動頻繁，尤其日後離岸風電開發日亦漸增的情況下，船隻活動恐更加頻繁，而牽涉之可能相關利害關係對象眾多，包括：「中油公司」、「台電公司」、「臺中港務公司」、「離岸風機廠商」、「能源局」、「交通部」、「臺中區漁會」等。考量白海豚調查結果、漁業利用狀況與開發議題等考量，建議若要在該區劃設優先復育區，應以北堤以北至高美濕地外海一帶為優先考量，如此所面臨之阻礙或許較小，且可與高美重要濕地（國家級）以及高美野生動物保護區做結合，綜合進行保育措施規劃，並符合白海豚活動狀況。

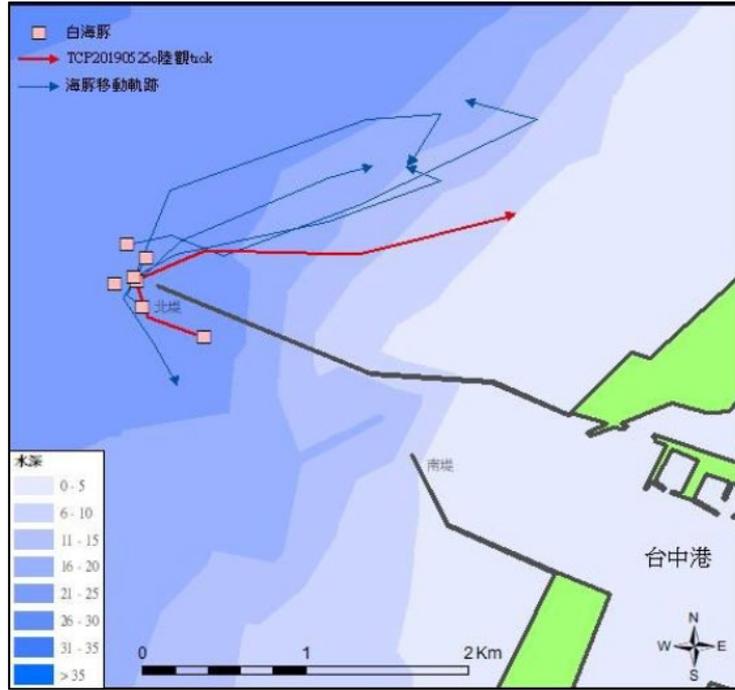


圖 3.6.3-1 2019 年 4-9 月底陸上觀察中華白海豚目擊位置以及移動路徑估算。9 次陸上觀察共目擊 8 群次。8 群次中有 7 群次可以推估移動軌跡，其中 6 次為往北，1 次往南，紅色線是完整觀察由南往北經過堤頭的移動路線（資料來源：臺中港外港區（第一期）擴建計畫環境影響評估報告書）

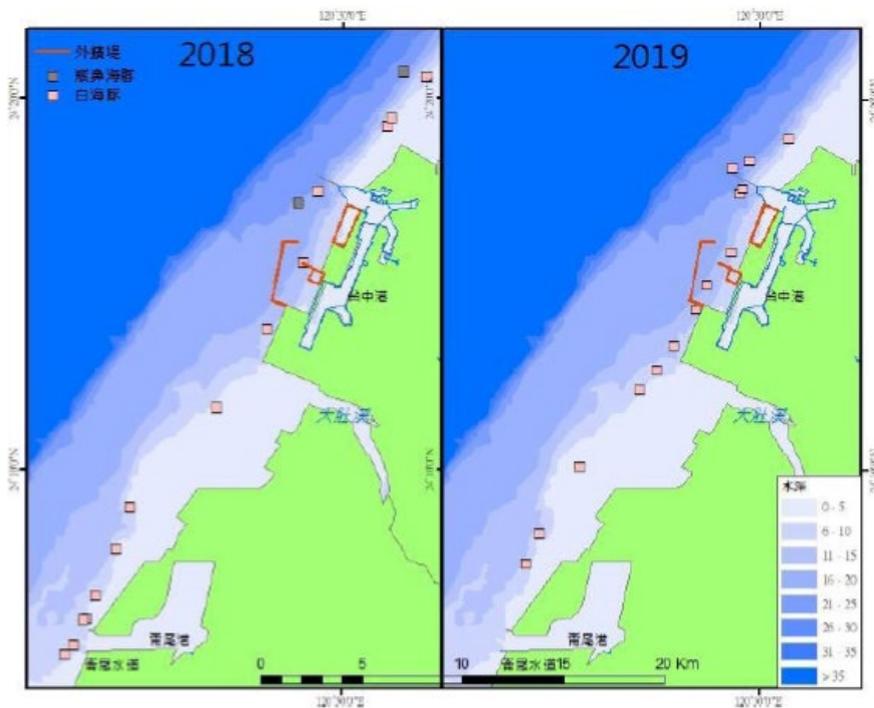


圖 3.6.3-2 2018-2019 年臺中港附近海上調查目擊鯨豚位置（資料來源：臺中港外港區（第一期）擴建計畫環境影響評估報告書）

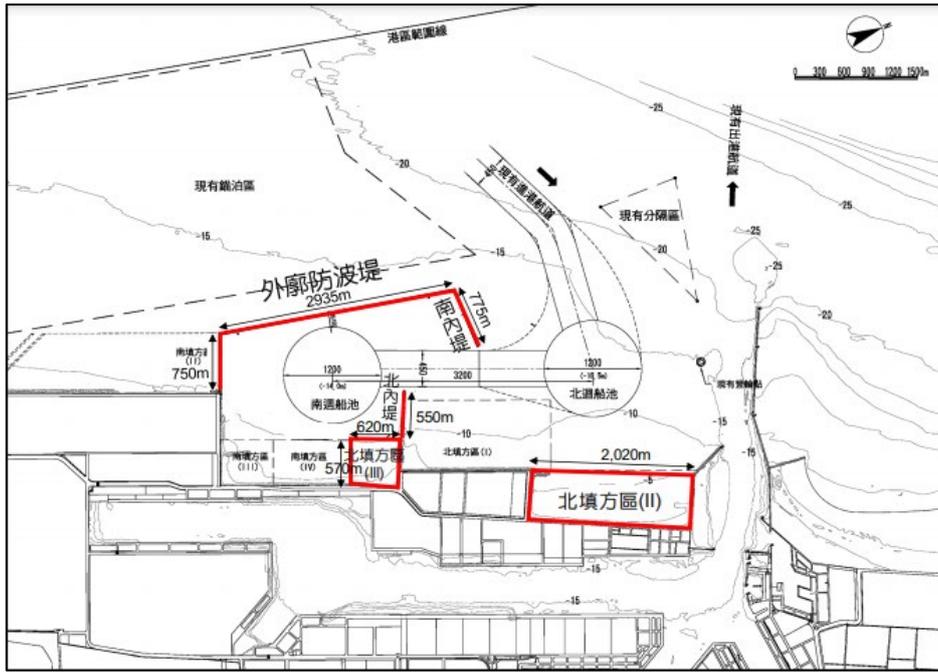


圖 3.6.3-3 臺中港擴港工程計畫範圍與施工區域 (資料來源：臺中港外港區(第一期)擴建計畫環境影響評估報告書)

(3) 大肚溪口南岸與彰濱工業區及雲林台西至北港溪口

根據早期林務局之調查，大肚溪口南岸與彰濱工業區範圍之2008-2010年期間此區域之目擊率並不高，但2011-2018年此區域為穩定的分布熱區，乃至2019-2020年大肚溪口仍是目擊率相對較高之區域，主要目擊點集中在大肚溪口，而雲林台西至北港溪口亦為目擊熱區之一，尤其是麥寮外海濁水溪至新虎尾溪口一帶沿海(圖3.6.3-4)，並透過海保署近年目擊調查資料顯示，此區之白海豚多為較年輕之個體，且有較高之育幼群目擊率。然而2區皆是漁業活動相當密集之區域，尤其雲林地區漁民派系眾多，利益分配問題複雜，若於此2區劃設優先復育區，恐面臨嚴重之漁業衝突。過去林子皓博士於2013年也曾在雲林新虎尾溪口附近裝置水下錄音儀器，長期監測當地的中華白海豚活動，而本計畫也為了避免調查儀器受到漁業作業干擾，因此迴避主要漁業作業時間，以及選擇非漁業熱區之區域進行調查。而此區之開發議題也以離岸風電開發的允能風場為主，目前相關海纜鋪設與基樁打樁等工程仍持續作業中。

綜合上述，此處為雖為白海豚之分布熱區，未來若於此處設置復育區，在漁業轉型及漁業補償上仍需有溝通協商之部分，而允能風場之北邊基樁尚未打樁完畢，其最近之距離達15公里左右，不排除後續打樁作業可能對該區域之白海豚造成影響。但考慮政策需求以及該區為白海豚育幼熱區，未來仍須於雲林縣海域持續進行聲景監測，而新虎尾溪口則可優先劃設小區域作為白海豚復育區。

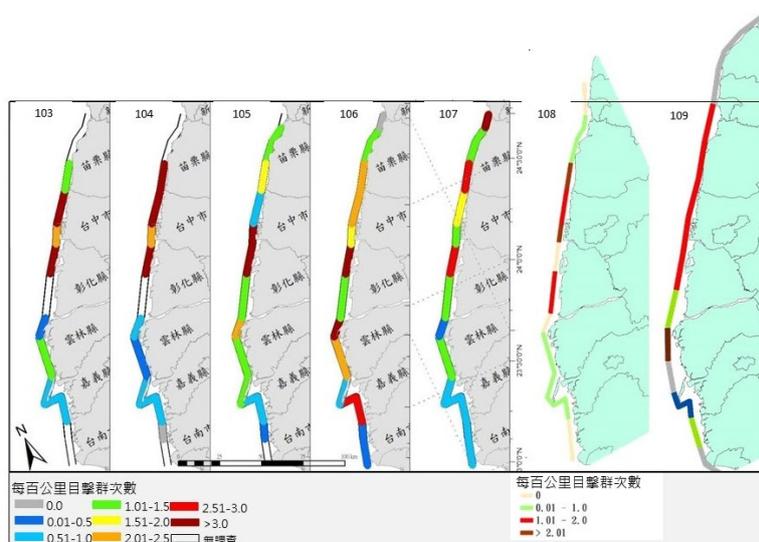


圖 3.6.3-4 2014-2020 年歷年臺灣西側海域各區段白海豚標準化目擊率（每百公里目擊群次）（資料來源：本團隊彙整自 107 年度行政院農業委員會林務局補助研究計畫之中華白海豚族群生態與河口棲地監測）

彙整上述各項議題及意見，如相關單位欲於前述白海豚四大優先復育區進行保護管理，其建議如下：

(1) 持續追蹤與掌握衝擊當地生態之環境議題

本計畫雖已建立一套有效且方便的調查方法，可快速掌握管理範圍內的目標物種與環境狀況，並可做為保育措施效能評估的依據，但同時亦必須持續掌握管理範圍與周遭海域的人為活動狀況。調查結果能夠呈現出白海豚活動以及棲地品質的變化，但無法直接指出造成變化的原因為何，必須同時掌握現地的各種人為干擾事件，才能清楚釐清問題，並提出有效的應對措施。

盤點當前臺灣西部沿海海域所面臨之重要環境生態議題，並加以彙整可能會對白海豚之生存造成衝擊之部分，如離岸風電開發或違法漁業活動。離岸風電開發案在開發前、中、後階段缺乏標準化的生態調查方法，其中減緩措施、檢核機制及監督機制仍在建構中，除了導致白海豚調查資料不足，不完整的減緩措施亦可能對白海豚的生存造成危害。另外，漁業活動亦會影響當地白海豚之生存與自然環境，例如鯨豚遭受船隻碰撞與螺旋槳撞擊，或是漁具纏繞造成皮膚潰瘍、疤痕及傷口（Wang et al., 2018）。而在棲地過度使用刺網或是拖網，除了可能因為受到漁具纏繞導致死亡（Slooten et al., 2013），也有可能導致該區白海豚的食餌資源降低，被迫遷離原先棲地。

(2) 持續於白海豚活動熱區進行長期監測

透過本計畫結果可得知白海豚棲地利用之情形，雲林區域（新虎尾溪口、海洋氣象樁）與苗栗區域相比活動量高出許多，也在佈放儀器時觀測到白海豚母子對與年輕個體，可能為白海豚重點棲息地與育幼區，建議持續利用被動式水下聲學長期監測之方法在該區域進行監測。苗栗海域棲地利用程度較低，可能是頻繁的海事工程、大量的工程噪音或風場營運噪音壓迫到鯨豚的生存空間，進而影響其行為改變與該棲地的利用程度。但要明確釐清白海豚活動頻度與棲地品質及人為干擾三者的關係，仍須仰賴持續的監測，同時也可作為未來規畫保育措施以及評估保育措施成效之依據。

除此之外，根據2020年海保署彙整林務局歷史點位報告發現，白海豚族群分布範圍較過去調查區域更廣，北至新竹香山濕地，南達台南七股溼地。而黃鈞漢等人於2020年之研究結果，發現白海豚除了在四大優先復育區有較高的目擊率，嘉義至台南沿海等重棲範圍外的海域的目擊率不低，且亦有發現母子對，因此建議後續亦可於嘉義及台南佈置監測站，瞭解白海豚於台灣南區之利用程度，調查結果可作為未來調整優先復育區的參考依據。

(3) 於白海豚重要棲息範圍可能受到嚴重人為干擾之區域進行持續監測

未來若能有效監測人為噪音在白海豚棲地範圍內的暴露時間與暴露範圍，並搭配鯨豚聲音的偵測結果做為活動模式之聲學指標，再將人為噪音與鯨豚聲音偵測結果套疊後，將能有效評估鯨豚活動受到人為活動的影響程度。而且劃設海洋保護區需有基礎資料，作為支持依據，利用聲景資料，比較船隻航行噪音在保護區內的出現機率、暴露強度，可做為後續研擬在保護區周邊管制船隻活動的重要依據，並確認保育措施的實施成效。同時也隨時掌握白海豚族群於干擾範圍內的動態，並可於保育措施實施後，觀察其活動頻度是否有的到提升與恢復。

最後，透過具可重複性與再現性之量化科學數據，綜整持續累積歷年調查結果，並持續追蹤與評析白海豚族群生存威脅因子，提出可行之建議，有助於主管機關日後經營管理策略之規劃與調整，與其他利害關係人之溝通協調。

3.7 聲學學理教育訓練

3.7.1 當日課程內容與情形

本計畫於2021年5月5日在高雄市「高雄車站NO.1場地租借」之新創館601教室（高雄市三民區九如二路255號12樓），開設「白海豚被動式水下聲學調查應用」之室內學理培訓課程，課程及講義可參考附件四及附件一，授課內容包括：基礎聲學理論、聲音擷取軟體操作，並搭配水下聲學儀器操作演練等，使參與人員對被動式水下聲學監測方法有基本的認識，並具備「執行調查工作」與「音訊分析」等工作所需之重要背景知識，同時也透過講師們的實務經驗分享，使參與人員快速了解整個調查流程，包含從事前規劃到實際出海等每個環節所需注意的細節。

(1) 教育訓練課綱內容介紹

(a) 基礎聲學學理概論

本課程目的在使學員具備執行被動式聲學調查與研究所需之重要背景知識，包含基礎聲學原理與專有名詞等，並了解透過聲學調查可以得到哪些資訊，而這些資訊又如何轉換為有用的生態指標，以及指標背後的生態意義。以上課程內容除了可應用於實務調查外，亦有助於閱讀與理解聲學相關的文獻或調查報告。

(b) 被動式水下聲學儀器佈放介紹

透過水下聲學儀器進行鯨豚調查，根據不同目的會使用包括拖曳式與砥定式等不同的佈放方式，本課程將會介紹常見的聲學儀器佈放方式及其優點與限制。並根據本團隊之實務經驗分享，讓學員快速了解完整之海上調查流程，包含從事前規劃、實際出海以及室內工作等各階段，並分享過往常遭遇之困難與經驗回饋。

(c) 被動式水下聲學儀器操作

本節帶領學員實施水下聲學儀器參數設定、儀器操作與資料卸載，並實際操作佈放前處理（儀器檢查、儀器固定、繩結模擬等）。

(d) 海洋聲景介紹

海洋聲景是一個新興的海洋生態遙測技術，透過解析海洋中的各種環境聲音、動物聲音與人為噪音，來評估海洋物理環境、生物多樣性的變動趨勢，以及人為活動造成的潛在干擾。本節將簡介何謂海洋聲景，並討論如何運用聲景訊息協助海洋生物多樣性的監測工作。

(e) 海洋聲景資料分析操作

基於海洋聲景的生物多樣性監測仰賴長期水下聲學監

測，但大量水下錄音的分析相當困難，而且水下錄音可能同時收錄動物聲音與人為噪音，容易造成資料解讀的誤判。本節將簡介如何運用雲端平台與開放工具分析水下錄音，並透過視覺化聲音資料來解讀海洋生態的變動。

(f) 運用被動式聲學監測白海豚生態

白海豚棲息於台灣西部淺水近岸之海域，由於數量稀少，目視觀測相對不易。為了達到高效率的生態監測，可以透過偵測白海豚評估其分布範圍與棲地利用模式。本節將簡介白海豚生態現況、發聲行為，以及如何運用被動式聲學監測白海豚生態活動。

(g) 白海豚聲學資料分析操作

白海豚的聲音主要分為回聲定位搭聲與哨叫聲，這兩種聲音分別具有寬頻脈衝波以及窄頻操作的聲學特性。本節將簡介如何視覺化呈現白海豚的水下聲音、如何訓練機器學習模型判偵測白海豚聲音，以及如何透過聲音偵測結果評估其群體行為變化。

(2) 當日授課情況

現場與會者共19人，其中包含「海洋委員會海洋保育署」及巡查員（請參閱附件二）。因本次教育訓練舉辦期間受COVID-19疫情影響，故要求現場所有人員須全程配戴口罩（請參考附錄四注意事項），在報到前檯處體溫測量、雙手消毒，並填寫健康聲明表後才得以入場。



圖 3.7.1-1 聲學學理教育訓練課程講師授課情形（左上：張家茂、右上：黃光敬、左下：林子皓、右下：王靜偉）



圖 3.7.1-2 學員當日上課情形



圖 3.7.1-3 柯勇全專委與賴韻如科員致詞



圖 3.7.1-4 聲學學理教育訓練課程全體合照

3.7.2 問卷調查結果

本次透過匿名填寫Google問卷的方式進行，主要蒐集當日學員學習學理課程、並實際分析操作後，對其課程教材內容與實用性進行評析，本問卷設計共3大部分，分別為「教育訓練學員基礎資料」、「課

程安排評分」及「相關行政處理及課程回饋」等共17個問題(附錄五)。

本次共回收13份問卷，參與教育訓練之學員年齡以25-35歲為主(9位)，35歲以上有4位，學員有7名為男性6名為女性，約六成學員沒有海上調查經驗，有5位學員有經驗，其中僅有3位有兩年以上調查經驗(圖3.7.2-1、3.7.2-2及3.7.2-3)。

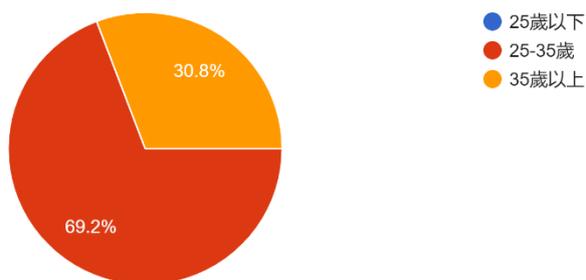


圖 3.7.2-1 學員年齡分布百分比圖

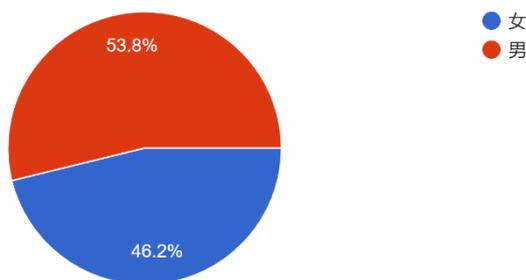


圖 3.7.2-2 學員性別分布百分比圖

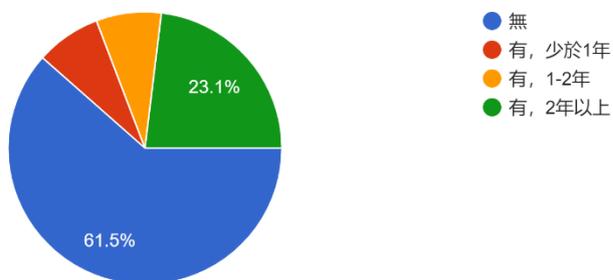


圖 3.7.2-3 學員歷年海上調查經驗百分比圖

在課程安排評分之部分，上午場「被動式聲學監測概論」及「水下聲學儀器佈放介紹及操作」約八成學員評分為4分以上(滿分5分)；下午場「海洋聲景介紹及資料分析操作」及「運用被動式聲學監測白海豚生態及白海豚聲學資料分析操作」約九成學員評分為4分以上(滿分5分) (圖3.7.2-4及3.7.2-5)。

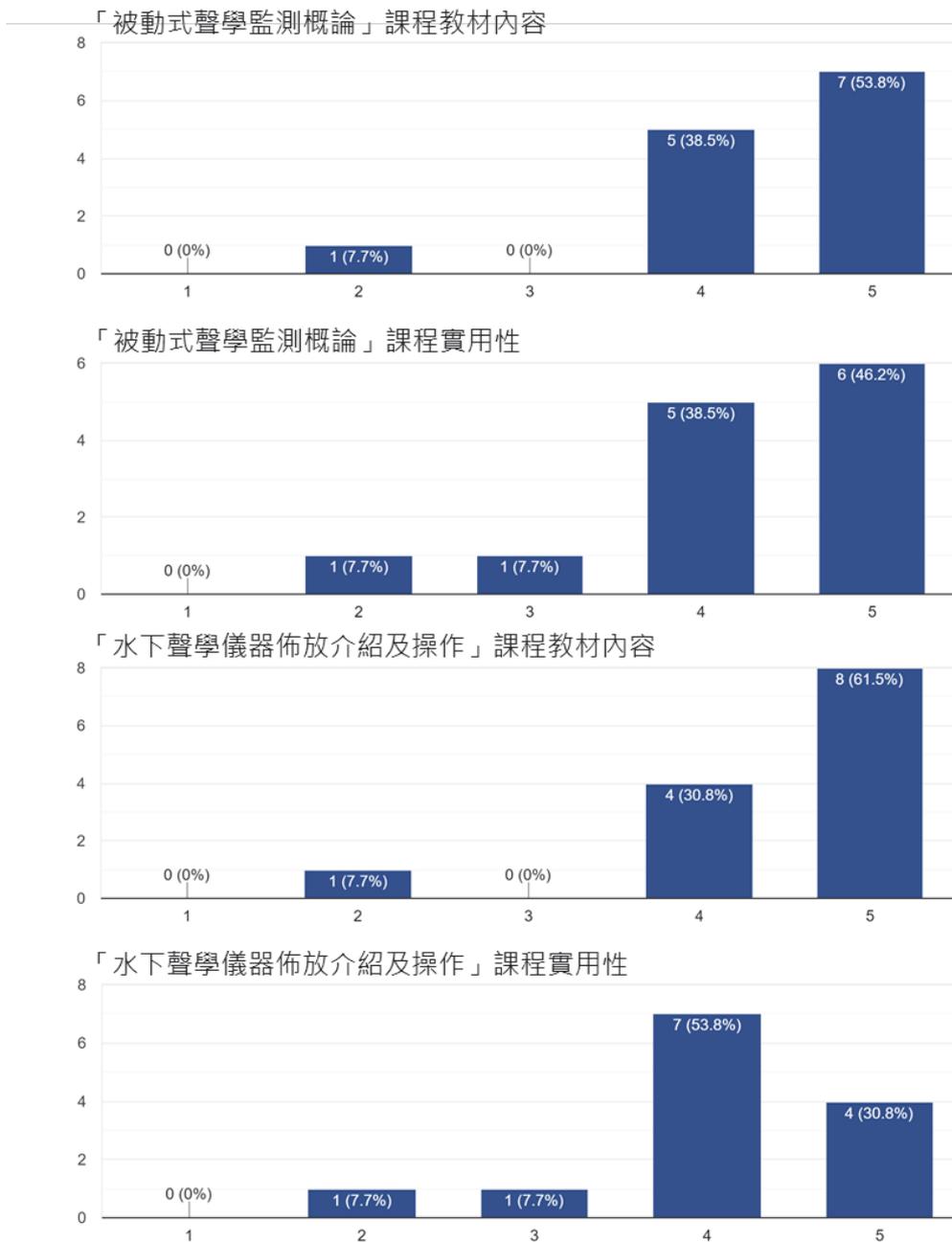


圖 3.7.2-4 上午場課程之學員評分

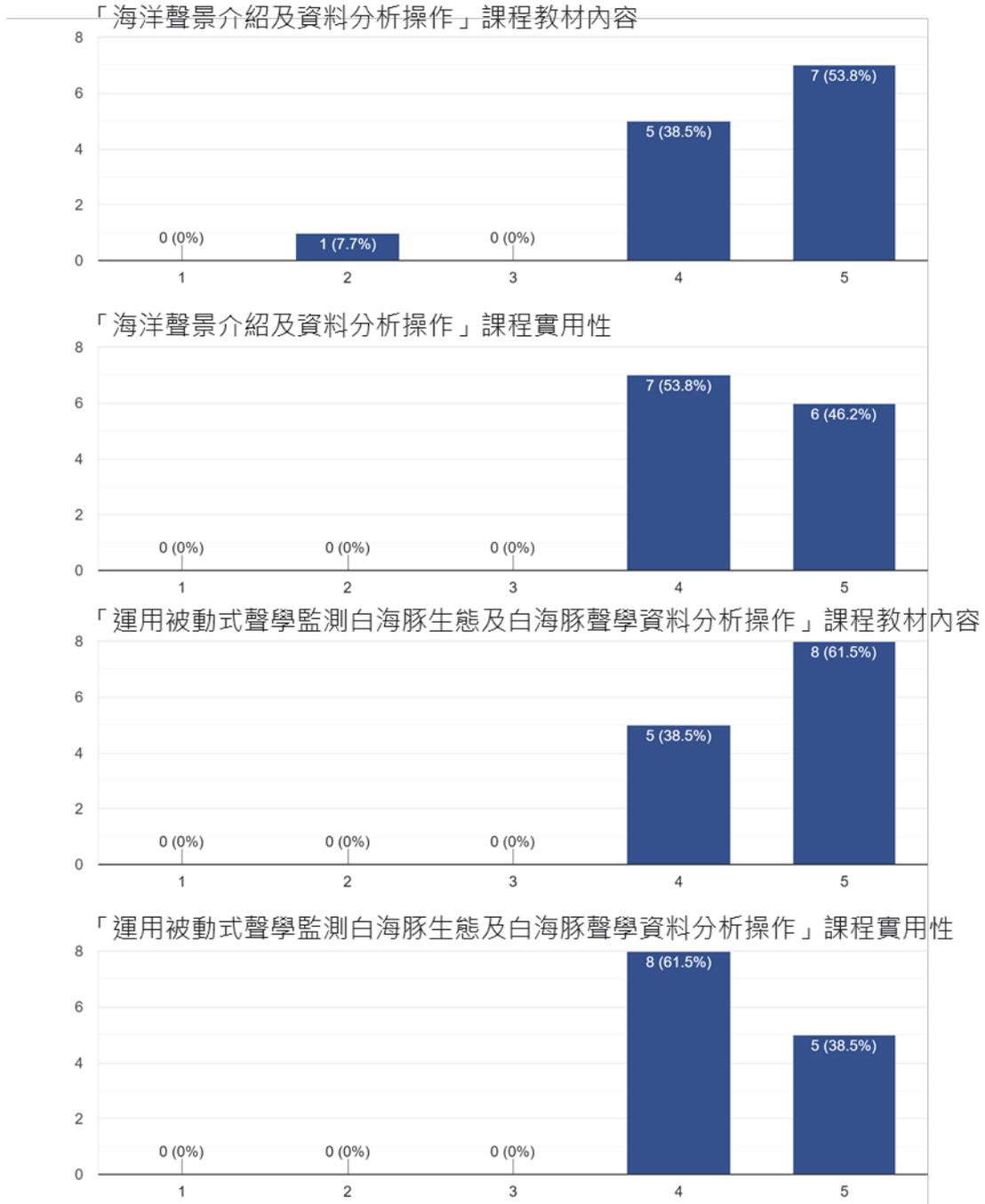


圖 3.7.2-5 下午場課程之學員評分

在相關行政處理及課程回饋之部分，本次教育訓練的活動流程、場地設備及時間安排，全體學員評分為4分以上（滿分5分），在交通便利性上，約八成學員評分為4分以上（滿分5分），在課程內容安排對於工作的幫助程度，約八成學員評分為4分以上，評析此教育訓練

有幫助，僅有三位學員認為此教育訓練對工作幫助較為普通（圖3.7.2-6）。

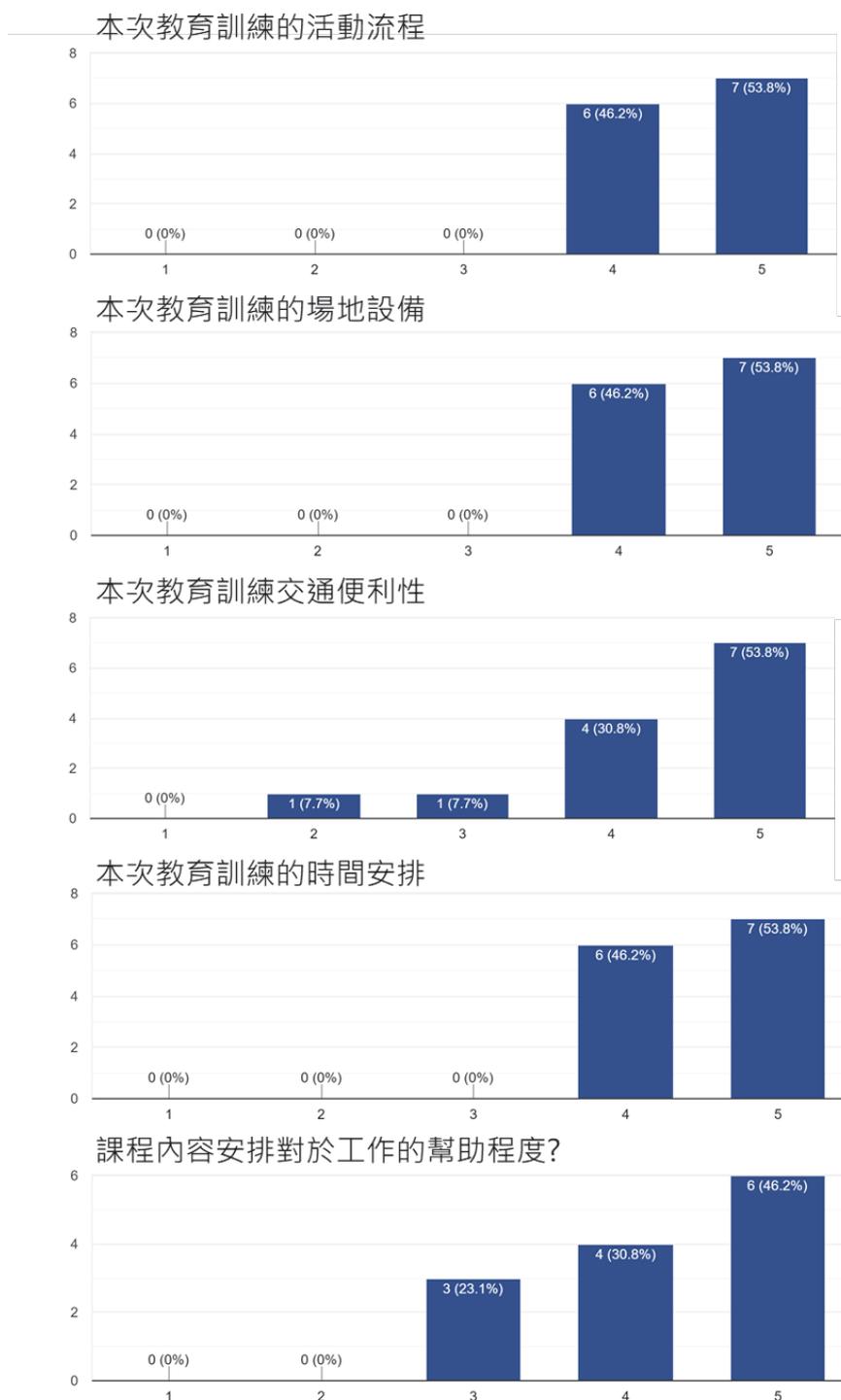


圖 3.7.2-6 相關行政處理及課程回饋之評分

本課程全程錄影，並提供課程講義檔案，相關教學影音給予海洋保育署，以利日後相關技術方法與工具得以有效運用，使有需求之人員與機關方便學習與使用。

3.8 提供1套海洋錄音機

本計畫提供1套海洋錄音機與海保署，為紐西蘭Ocean Instruments公司之Soundtrap 300HF之型號，包含對應型號之電池組及錄音主機，其詳細規格資料與操作方法請參閱附錄六。

3.9 電子文案

電子文案之內容是以第一次與第二次調查所獲得之聲音資料，透過篩選及海洋聲景分析，了解該區域鯨豚的活動量、其他海洋生物聲音及人為噪音，可得知鯨豚在該區域的棲地利用程度與海域的棲地品質，以上結果以科普角度進行撰寫，於期中及期末後各完成一篇電子文案（詳情請參閱附錄七），主題與用途簡述如下：

(1) 期中電子文案

藉由2021年上半年監測報告結果，呈現目前半年度水下聲學之資料，讓大眾了解如何進行水下聲學調查，以及白海豚主要的發聲行為，且聲音資料的可讓大眾了解各區域的不同，並可了解海洋環境現階段之狀況。

(2) 期末電子文案

藉由2021年下半年監測報告結果，呈現目後半年度水下聲學之資料，並編排為較精簡之版本方便民眾閱讀，提送主辦單位審查與修訂。

二、效益分析

成果目標 與效益	指標 (依原核定工作計畫書或新增)	成果 (值)	說明
可量化效益	於 2 處監測站建置 5 處水下 聲學監測示範站	2 趟	於苗栗與雲林進行 2 趟佈放， 並至少錄音 14 天以上
	白海豚聲音辨識特徵說明	1 套	以白海豚聲音辨識特徵為基 礎，針對哨叫聲及搭聲進行判 別，所使用之時頻譜圖其時間 與頻率解析度清楚呈現聲音 的細部特徵，完成「白海豚聲 音辨識說明書」一份。
	底碇型水下聲學監測之 標準作業流程規劃	1 套	完成「底碇型水下聲學監測之 標準作業流程說明書」一份， 內容包括：儀器選用、調查前 置作業、人員與船隻配置、現 場佈放、回收作業流程，以及 運用雲端平台與開放工具分 析水下錄音之步驟說明。
	白海豚棲地利用與 時空變化趨勢分析	1 套	運用長期時頻譜圖視覺化呈 現苗栗與雲林海域等白海豚 棲地聲景特性與變化趨勢，可 以觀察到聲景在頻譜特性上 會隨著測站與時間而有所變 動。
	海洋聲景特性與 時空變化趨勢	1 套	運用機器學習分別針對苗栗 以及雲林兩處海域各建構一 套聲源分離模型，分離目前已 知的三種主要聲源：魚類合 唱、高頻聲音以及人為噪音， 並重建各個聲源的長期時頻 譜圖，以取得能精確呈現海洋 動物群聚與人為活動時空變 化的聲音指標。
	棲地品質評估	1 套	以「白海豚的食餌資源可得 性」、「白海豚的棲地健康度」

			「白海豚的棲地受脅程度」，協助保育主管機關評估白海豚的棲地品質變化趨勢。
	白海豚族群生存威脅因子 評估分析	1 套	透過匯集歷年白海豚相關文獻結果與本計畫聲學分析結果，盤點台灣西部海域重點海事工程，分析其工程對白海豚的生存影響，並以各事件發生機率、衝擊程度，對白海豚影響程度建置風險評估等級和評分。
	提出具體可行之優先復育區 長期經營管理建議	1 套	評析威脅白海豚族群生存威脅因子並提出具體可行之優先復育區長期經營管理建議。
	聲學學理教育訓練課程	1 套	8 小時，課程內容含「基礎聲學概論」、「臺灣鯨豚生態與發聲行為」、「被動式水下聲學監測介紹」、「聲學儀器操作說明」、「聲音擷取軟體操作」。
	電子文案	2 套	於計畫期中階段已撰寫一篇電子文案，簡述上半年聲學調查結果。 於計畫期末階段已撰寫一篇電子文案，簡述下半年聲學調查結果。
	海洋錄音機	1 套	含電池組與錄音主機。
不可量化效益	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供白海豚生態議題與應用聲景技術評估棲地品質等專業諮詢服務 2. 7 月撰寫一篇水下聲學新聞稿『聽白海豚唱歌！監控發現：日落後的虎尾溪口海域最多』 3. 懸掛式聲學監測測試並驗證白海豚聲紋 4. 相關專業諮詢及協助 		

肆、執行中遭遇困難及因應對策

4.1 儀器佈放遭遇問題與事件

盤點苗栗與雲林於第一次及第二次佈放時所遭遇之問題：

(1) M1 (苗栗深水區)

2021年5月7日到佈放點位時遭遇海能風力發電廠海纜施工作业，導致被維運船鳴笛驅趕，後來聯絡該風場公司並協調，才允許我們在該區進行作業。2021年8月12日進行佈放時，鐵板與船錨壓在流刺網上(圖4.1-1)，代表該區域有漁民於3海浬內違法佈放流刺網，當下與船長討論後，為了避免後續儀器可能遭受流刺網纏繞並破壞，因此決定向東北方移動400公尺，佈放在同樣為水深約20公尺左右的深水區域(表4.1-1)。



圖 4.1-1 底碇重物與流刺網纏繞

表 4.1-1 苗栗海洋風場監測站點位變更表

佈放時間	監測點位	緯度	經度	水深 (公尺)
2021.05.07	苗栗海洋風場(舊)	24° 41' 32.3"	120° 48' 48.8"	19.8
2021.08.12	苗栗海洋風場(新)	24° 41' 41.05"	120° 48' 59.25"	16.7

(2) M3 (苗栗中港溪口)

2021年5月7日原先預計點位位於海能風力發電廠期施工船與維運船之主要航道上，避免儀器受到船隻干擾及破壞，與船長討論過後決定向南外拓500公尺，遠離該航道避免儀器遺失。

(3) Y1 (雲林氣象樁)

2021年5月13日雲林區域之水流較苗栗強得多，因此聽從船長建議，在漲退潮水流較弱時進行佈放作業，並於氣象樁點位發現周遭有很多廢棄漁網，因此每次佈放及回收都請潛水夫移除漁網，以利後續作業。

彙整上述三點之整理，在苗栗區域由於近幾年風力發電廠陸續開發，與雲林區域相比較會遭遇到人為影響(例如：海纜鋪放、工程船及維運船干擾等)，如未來調查需在開發區進行，需在調查前與開方廠商聯絡討論，避免後續遭遇佈放受到干擾或是儀器遺失等狀況。雲林區域則是主要受到自然因素干擾(水流較強)，但可透過潮汐時間避免強勁水流影響潛水夫作業，另外有關遭遇廢棄漁網之問題，建議先請一位潛水夫下水清除廢棄漁網，由於需要長時間作業(約1小時)，潛水夫需要搭配延長呼吸管以利作業，等廢棄漁網清除完畢後再請另一位潛水夫下水搜索即可。

4.2 儀器遺失及損害風險

有關儀器遺失之潛在風險，依照過去經驗幾乎是漁業活動所導致，但亦有遭遇自然脫落之情況，其可能原因如下：(1) 調查時段風浪較

大，長期受風浪影響，繩子與鐵板的固定處長期磨擦，造成繩子斷裂導致遺失；（2）繩子與鐵板的固定鐵環材質不同（白鐵、純鐵），其鏽蝕狀態亦有不同，鏽蝕嚴重者易刮損繩子，也會導致斷裂及遺失。根據潛水夫的經驗回饋，建議未來碇定重物其固定環之材質以不易鏽蝕的白鐵為主，並在繩結上套上塑膠水管減少摩擦係數，加強水下聲學儀器固定處之強度，防止儀器受到人為或自然因素脫落。另外，也會遭遇到底碇重物被泥沙覆蓋無法搜索之情形，如該區域泥沙堆積嚴重，潛水夫建議於一處鐵錨綁上一顆小型浮球以利搜索（圖4.2.-1）。



圖 4.2-1 底碇重物被泥沙覆蓋之示意圖

伍、結論與建議

5.1 白海豚活動變化趨勢

- (1) 雲林海域的兩處測站在兩季次的錄音監測期間都可以偵測到白海豚群體頻繁活動，尤其在新虎尾溪口偵測到最多的白海豚回聲定位聲音。相較之下，苗栗海域的三處測站則較少偵測到白海豚的回聲定位聲音，只有在第二季監測期間，於苗栗中港溪口頻繁偵測到白海豚群體活動。
- (2) 白海豚的偵測頻度在日夜之間有明顯差異，有73.5%的回聲定位事件在白天被偵測到，但在夜晚僅有26.5%。比對過去研究對搭聲間距分布模式之研究結果，發現除了苗栗海洋風場之外，其餘四個近岸測站皆為白海豚主要的覓食活動範圍。
- (3) 白海豚哨叫聲偵測次數遠低於回聲定位搭聲偵測次數，每個群次能夠偵測到哨叫聲的機率只有15.26%，代表哨叫聲可能不適合做為白海豚群體活動的唯一判斷依據，必須整合搭聲與哨叫聲的偵測結果才能獲得較為全面的聲學資訊。

5.2 研究區域之棲地品質以及潛在影響

5.2.1 食餌資源可得性評估

- (1) 石首魚是西部海域優勢的發聲魚類，魚類合唱在雲林海域以及苗栗中港溪口最為活躍，持續時間較長，行為也較為多樣化。顯示河口海域的石首魚族群豐度和物種多樣性較高，是確保白海豚食餌資源可得性的關鍵棲地。
- (2) 魚類合唱時空動態變化與白海豚聲學監測結果的趨勢相符，顯示石首魚族群分布的變化可能改變河口棲地的生態功能，進而影響白海豚的棲地利用模式。未來若是在重要棲息環境制定積極性的

棲地保育政策，可透過分析魚類合唱進而量化棲地保育之成效。

5.2.2 棲地健康度評估

- (1) 河口海域在夏季時，因為多種的發聲魚類在不同時段進行合唱行為，導致魚類合唱橫跨更長的時間。若是未來觀察到聲音多樣性沒有明顯改變，但是魚類合唱的時間長度變長，則可能代表是單一物種的行為改變。
- (2) 未來可以進一步結合其他海域環境指標，例如：海水溫度、鹽度、濁度、溶氧量、營養鹽等海洋物理、化學指標，以進一步了解聲音多樣性和海洋環境變遷之間的相關性，以達到有效運用聲音多樣性預測白海豚棲地品質的目標。

5.2.3 棲地受脅度評估

- (1) 雲林海域能夠偵測到較多航行船舶，與新虎尾溪口當地頻繁出現的漁船、進出六輕工業港的貨輪有關。雖然白海豚也頻繁出現於此，但並不代表船舶航行對白海豚族群沒有威脅。船舶在高速航行過程可能會直接衝撞白海豚造成物理性傷害，也有可能因為其產生的寬頻噪音而干擾白海豚的聽力、發聲行為。
- (2) 苗栗海域在第一季監測期間受到離岸風場海纜鋪設、打樁施工的影響，海洋聲景產生明顯的變化，白海豚聲音偵測率也較低，顯示白海豚族群可能受到人為干擾而離開河口棲地。此外，開發工程也可能影響石首魚類的行為與分布範圍，導致白海豚棲地利用模式隨食餌資源下降而改變。在第二季調查期間，人為噪音明顯減少，白海豚活動頻度在中港溪口海域也大幅提升。顯示白海豚可能隨著人為干擾趨緩或停止才逐漸恢復原有的棲地利用模式。
- (3) 未來若是劃設海洋保護區，可藉由比較船隻航行噪音在保護區內的出現機率、暴露強度，做為研擬在保護區周邊管制船隻活動的重要依據。透過長期監測海洋聲景中的人為噪音，可以有效了解人為活動的時空變化趨勢，再搭配魚類聲音與白海豚聲音偵測率等不同面向的聲景資料之後，即能從更全面的角度討論人為活動、

棲地生態、白海豚族群三者之間的交互作用。

5.3 未來推動方向與建議

5.3.1 持續執行長期水下聲學監測

計畫成功運用白海豚聲音自動偵測方法以及聲景分析技術，瞭解白海豚於監測區域的活動變化趨勢，並且也獲得棲地內魚類集體鳴唱行為、動物聲音多樣性、工程活動與船隻噪音等動物性及非動物性的聲音組成變化趨勢等重要成果。透過今年度的實地調查作業，證實透過本計畫所建立的分析工具與方法可有效反映出不同地區與季節的差異性，除了可有效掌握棲地內白海豚的活動及分布狀況，更可同時掌握白海豚食餌資源可得性、棲地健康程度與白海豚受人類活動干擾程度等重要指標。若可持續蒐集各監測站之資料，獲得白海豚活動以及各項量化指標長期且連續的變動趨勢，將有助於主管機關有效掌握棲地內的狀況，並有利於未來釐清各種影響因子對於白海豚活動及棲地環境造成的干擾程度。因此，本計畫建議應持續透過本年度所建立之方法，於已建立的5處聲學監測站進行長期生態監測作業。

5.3.2 於白海豚重要棲息環境範圍外增加聲學監測站

根據2020年海保署彙整林務局2015年至2018年白海豚族群基礎生態調查報告，發現有效目擊海豚之發現點多座落於香山濕地至七股濕地間範圍（黃鈞漢等人，2020），但目前所公告之「中華白海豚野生動物重要棲息環境」範圍僅侷限於北起苗栗龍鳳漁港，南至外傘頂洲外側。而根據近年海保署最新的調查結果顯示，如「109年台灣西部海域白海豚族群生態監測計畫」，外傘頂洲以南至八掌溪口等嘉義沿海亦有相對較高的目擊率（黃鈞漢等人，2020），且多為母子對，顯示其亦為白海豚重要的棲息地，因此本計畫建議日後亦可針對重棲範圍外已知之白海豚活動密集區域增設聲學監測站，更全面掌握白海豚於西部沿海之活動與分布狀況，並以聲學監測結果作為未來重要棲息環境重新調整之重要參考依據。

5.3.3 結合目視調查結果整合保育資源並提升調查成效

相較於目視調查，過去白海豚研究中在聲學調查的努力量相對較少，且缺乏長期累積之資料，調查範圍也多侷限在雲林地區。本計畫首度橫跨重要棲息環境範圍北側與南側（苗栗、雲林），並使用海洋錄音機進行更廣泛的白海豚水下聲學監測作業，同時透過聲景分析評估棲地品質。傳統目視調查雖然行之有年並累積長期生態資料，但仍有其限制，包括無法快速評估棲地品質狀況，以及無法掌握白海豚日夜活動趨勢，於海況較差或目視條件不佳時無法進行調查等，而聲學調查則能突破這些限制，惟聲學調查亦有其限制，包括在資源有限的情況下難以取得大空間尺度的資料，且無法估算族群大小與年齡組成等重要資訊。因此，若可整合目視調查與聲學調查之結果，相信能更全面掌握白海豚之族群現況、活動變化趨勢及棲地品質等重要資訊，有助於日後保育措施之落實，並可作為成效評估之依據。

參考文獻

- 白梅玲、連裕益 (2019)。臺灣西部沿海白海豚族群監測計畫。108年度海洋委員會海洋保育署。
- 李佳紘 (2016)。被動式聲學探討中華白海豚在河口的活動模式。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所，台北市。
- 林子皓 (2013)。應用被動式聲學監測臺灣西海岸中華白海豚行為生態與棲地利用。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所，台北市。
- 林子皓、Shane Guan、周蓮香 (2015)。從海洋聲景探討中華白海豚的棲地特徵。臺灣聲學學會第二十八屆學術研討會論文集，十一月。
- 林子皓 (2018)。從自然聲景訊息中擷取生物多樣性的變化。科學月刊，49 (5)，364-369。
- 周蓮香、丁建均、林幸助、孫建平 (2018)。中華白海豚族群生態與食餌棲地監測。107年度行政院農業委員會林務局委託研究計畫。
- 周蓮香、魏瑞昌 (2012)。中華白海豚族群生態與棲地環境噪音監測計畫。101年度行政院農業委員會林務局委託研究計畫。
- 海洋委員會海洋保育署 (2020)。臺灣海域白海豚專題。海洋漫波，6，21-25。
- 黃鈞漢、黃彥婷 (2020)。臺灣西部沿海白海豚族群監測計畫。109年度海洋委員會海洋保育署。
- 黃光敬、張家茂、楊志凱、黃鈞漢、林子皓 (2021)。以被動式水下聲學監測方法評估風機施工各階段對臺灣苗栗沿海齒鯨之影響。2021年動物行為與生態研討會，台南市。
- 楊志凱 (2017)。船舶噪音對臺灣西海岸中華白海豚之潛在影響。國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所，台北市。
- 張家茂、黃光敬、侯雯、林浩平、黃鈞漢、林子皓 (2020)。以被動式水

下聲學監測方法評估風機打樁對臺灣苗栗沿岸齒鯨之影響初探。2020年動物行為與生態研討會，澎湖縣。

Akamatsu, T., Wang, D., Wang, K., & Naito, Y. (2005). Biosonar behaviour of free-ranging porpoises. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272 (1565), 797-801.

Akamatsu, T., Nakazawa, I., Tsuchiyama, T., & Kimura, N. (2008). Evidence of nighttime movement of finless porpoises through Kanmon Strait monitored using a stationary acoustic recording device. *Fisheries Science*, 74 (5), 970-975.

Akamatsu, T., Wang, D., Wang, K., Li, S., Dong, S., Zhao, X., ... & Richlen, M. (2008). Estimation of the detection probability for Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) with a passive acoustic method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(6), 4403-4411.

Au, W. W. (1993). *The sonar of dolphins*. Springer Science & Business Media.

Barros, N. B., Jefferson, T. A., & Parsons, E. C. M. (2004). Feeding habits of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) stranded in Hong Kong. *Aquatic Mammals*, 30 (1), 179-188.

Bossley, M. I., Steiner, A., Rankin, R. W., & Bejder, L. (2017). A long-term study of bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) in an Australian industrial estuary: Increased sightings associated with environmental improvements. *Marine Mammal Science*, 33 (1), 277-290.

Brandt, M. J., Höschle, C., Diederichs, A., Betke, K., Matuschek, R., Witte, S., & Nehls, G. (2013). Far-reaching effects of a seal scarer on harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23 (2), 222-232.

Branstetter, B. K., St. Leger, J., Acton, D., Stewart, J., Houser, D., Finneran, J. J., & Jenkins, K. (2017). Killer whale (*Orcinus orca*) behavioral

- audiograms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141 (4) , 2387-2398.
- Campos-Cerqueira, M., & Aide, T. M. (2016) . Improving distribution data of threatened species by combining acoustic monitoring and occupancy modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 7 (11) , 1340-1348.
- Chang, H. Y., Lin, T. H., Anraku, K., & Shao, Y. T. (2018) . The effects of continuous acoustic stress on ROS levels and antioxidant-related gene expression in the Black Porgy (*Acanthopagrus schlegelii*) . *Zoological studies*, 57.
- Chen, B., Xu, X., Jefferson, T. A., Olson, P. A., Qin, Q., Zhang, H., ... & Yang, G. (2016) . Conservation status of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the northern Beibu Gulf, China. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 73, pp. 119-139) . Academic Press.
- Dares, L. E., Araújo-Wang, C., Yang, S. C., & Wang, J. Y. (2017) . Spatiotemporal heterogeneity in densities of the Taiwanese humpback dolphin (*Sousa chinensis taiwanensis*) . *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 187, 110-117.
- Dong, L., Caruso, F., Lin, M., Liu, M., Gong, Z., Dong, J., Cang, S., & Li, S. (2019) . Whistles emitted by Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Zhanjiang waters, China. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145 (6) , 3289-3298.
- Ellis, J. I., & Schneider, D. C. (1997) . Evaluation of a gradient sampling design for environmental impact assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 48 (2) , 157-172.
- Frasier, K. E., Roch, M. A., Soldevilla, M. S., Wiggins, S. M., Garrison, L. P., & Hildebrand, J. A. (2017) . Automated classification of dolphin echolocation click types from the Gulf of Mexico. *PLoS computational biology*, 13 (12) , e1005823.

- Goold, J. C., & Jefferson, T. A. (2004). A note on clicks recorded from free-ranging Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Aquatic mammals*, 30 (1), 175-178.
- Guan, S., Lin, T. H., Chou, L. S., Vignola, J., Judge, J., & Turo, D. (2015). Dynamics of soundscape in a shallow water marine environment: A study of the habitat of the Indo-Pacific humpback dolphin. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137 (5), 2939-2949.
- Heard, J., Tung, W. C., Pei, Y. D., Lin, T. H., Lin, C. H., Akamatsu, T., & Wen, C. K. (2021). Coastal development threatens Datan area supporting greatest fish diversity at Taoyuan Algal Reef, northwestern Taiwan. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31 (3), 590-604.
- Herzing, D. L. (2000). Acoustics and social behavior of wild dolphins: implications for a sound society. In Au W. W. L., Fay R. R., Popper A. N. (Eds), *Hearing by whales and dolphins* (vol. 12, pp. 225-272). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1150-1_5
- Hin-Kiu, M., Szu-Ying, L., & Kai-En, T. (2011). Underwater ambient biological noise in the waters on the west coast of Taiwan.
- Holles, S., Simpson, S. D., Radford, A. N., Berten, L., & Lecchini, D. (2013). Boat noise disrupts orientation behaviour in a coral reef fish. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 295-300.
- Hung, K. Y. (2008). Habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Hong Kong. 香港大學學位論文, 1-0.
- Hung, S. K., & Jefferson, T. A. (2004). Ranging patterns of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River estuary, Peoples Republic of China. *Aquatic Mammals*, 30 (1), 159-174.
- Huang, S. L., Chang, W. L., & Karczmarski, L. (2014). Population trends and vulnerability of humpback dolphins *Sousa chinensis* off the west coast of

- Taiwan. *Endangered Species Research*, 26 (2) , 147-159.
- Huang, S. L., Wang, C. C., & Yao, C. J. (2018) . Habitat protection actions for the Indo-Pacific humpback dolphin: Baseline gaps, scopes, and resolutions for the Taiwanese subspecies. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28 (3) , 733-743.
- Hutchins, G. (2018). ISO 31000: 2018 Enterprise Risk Management. Greg Hutchins.
- IUCN, S. S. C. (2012) . IUCN red list categories and criteria: version 3.1. *Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge.*
- Jefferson, T. A. (2000) . Population biology of the Indo-Pacific hump-backed dolphin in Hong Kong waters. *Wildlife monographs*, 1-65.
- Jefferson, T. A., & Karczmarski, L. (2001) . *Sousa chinensis*. *Mammalian species*, 2001 (655) , 1-9.
- Jutapruet, S., Huang, S. L., Li, S., Lin, M., Kittiwattanawong, K., & Pradit, S. (2015) . Population size and habitat characteristics of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) off Donsak, Surat Thani, Thailand.
- Jutapruet, S., Intongcome, A., Wang, X., Kittiwattanawong, K., & Huang, S. L. (2017) . Distribution of three sympatric cetacean species off the coast of the Central-Western Gulf of Thailand. *Aquatic Mammals*, 43 (5) .
- Karczmarski, L., Huang, S. L., & Chan, S. C. (2017) . Threshold of long-term survival of a coastal delphinid in anthropogenically degraded environment: Indo-Pacific humpback dolphins in Pearl River Delta. *Scientific reports*, 7 (1) , 1-10.
- Kimura, S., Akamatsu, T., Li, S., Dong, S., Dong, L., Wang, K., Wang, D., & Arai, N. (2010) . Density estimation of Yangtze finless porpoises using passive acoustic sensors and automated click train detection. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128 (3) , 1435-1445.

- Lammers, M. O., Brainard, R. E., Au, W. W., Mooney, T. A., & Wong, K. B. (2008). An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (3), 1720-1728.
- Lecchini, D., Bertucci, F., Gache, C., Khalife, A., Besson, M., Roux, N., ... & Hédouin, L. (2018). Boat noise prevents soundscape-based habitat selection by coral planulae. *Scientific reports*, 8 (1), 1-9.
- Leroy, E. C., Thomisch, K., Royer, J. Y., Boebel, O., & Van Opzeeland, I. (2018). On the reliability of acoustic annotations and automatic detections of Antarctic blue whale calls under different acoustic conditions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144 (2), 740-754.
- Li, S., Wu, H., Xu, Y., Peng, C., Fang, L., Lin, M., Xing, L., & Zhang, P. (2015). Mid- to high-frequency noise from high-speed boats and its potential impacts on humpback dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138 (2), 942-952.
- Lin, T. H., Akamatsu, T., & Chou, L. S. (2013). Tidal influences on the habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins in an estuary. *Marine biology*, 160 (6), 1353-1363.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T., & Chou, L.-S. (2015). Seasonal distribution of Indo-Pacific humpback dolphins at an estuarine habitat: influences of upstream rainfall. *Estuaries and Coasts*, 38 (4), 1376-1384.
- Lin, T. H., & Chou, L. S. (2015). Automatic classification of delphinids based on the representative frequencies of whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138 (2), 1003-1011.
- Lin, T. H., Fang, S. H., & Tsao, Y. (2017). Improving biodiversity assessment via unsupervised separation of biological sounds from long-duration recordings. *Scientific reports*, 7 (1), 1-10.

- Lin, T. H., Tsao, Y., & Akamatsu, T. (2018). Comparison of passive acoustic soniferous fish monitoring with supervised and unsupervised approaches. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143 (4), EL278-EL284.
- Lin, T. H., Chen, C., Watanabe, H. K., Kawagucci, S., Yamamoto, H., & Akamatsu, T. (2019). Using soundscapes to assess deep-sea benthic ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 34 (12), 1066-1069.
- Lin, T.-H., Yang, H., Huang, J., Yao, C., Lien, Y., Wang, P., & Hu, F. (2019a). Evaluating changes in the marine soundscape of an offshore wind farm via the machine learning-based source separation. *2019 IEEE Underwater Technology (UT)*.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T., Harii, S., Siniger, F., Wen, K.-C. (2019b). Characterizing the ecosystem-specific marine soundscape by a hypothesis-driven source separation. *2019 Annual Meeting of the Marine Acoustical Society of Japan*.
- Lin, T. H., & Tsao, Y. (2019). Source separation in ecoacoustics: A roadmap towards versatile soundscape information retrieval. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T., Sinniger, F., & Harii, S. (2021). Exploring coral reef biodiversity via underwater soundscapes. *Biological Conservation*, 253, 108901.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T., & Tsao, Y. (2021). Sensing ecosystem dynamics via audio source separation: A case study of marine soundscapes off northeastern Taiwan. *Plos Computational Biology*, 17 (2), e1008698.
- Lin, Y. C., Mok, H. K., & Huang, B. Q. (2007). Sound characteristics of big-snout croaker, *Johnius macrorhynchus* (Sciaenidae). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121 (1), 586-593.
- Liu, M., Dong, L., Lin, M., & Li, S. (2017). Broadband ship noise and its potential impacts on Indo-Pacific humpback dolphins: Implications for

- conservation and management. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142 (5) , 2766-2775.
- Madsen, P. T., Johnson, M., De Soto, N. A., Zimmer, W. M. X., & Tyack, P. (2005) . Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*) . *Journal of Experimental Biology*, 208 (2) , 181-194.
- Mellinger, D. K., Stafford, K. M., Moore, S. E., Dziak, R. P., & Matsumoto, H. (2007) . An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. *Oceanography*, 20 (4) , 36-45.
- Merchant, N. D., Fristrup, K. M., Johnson, M. P., Tyack, P. L., Witt, M. J., Blondel, P., & Parks, S. E. (2015) . Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution*, 6 (3) , 257-265.
- Merchant, N. D., Faulkner, R. C., & Martinez, R. (2018) . Marine noise budgets in practice. *Conservation Letters*, 11 (3) , e12420.
- Mok, H.-K., & Gilmore, R. G. (1983) . Analysis of sound production in estuarine aggregations of *Pogonias cromis*, *Bairdiella chrysoura*, and *Cynoscion nebulosus* (*Sciaenidae*) . *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*.
- Mok, H.-K., Yu, H.-Y., Ueng, J.-P., & Wei, R.-C. (2009) . Characterization of sounds of the blackspotted croaker *Protonibea diacanthus* (*Sciaenidae*) and localization of its spawning sites in estuarine coastal waters of Taiwan. *Zoological Studies*. 48, 325–333.
- Mok, H.-K., Lin, S.-Y., & Tsai, K.-E. (2011) . Underwater ambient biological noise in the waters on the west coast of Taiwan. *Kuroshio Science*. 5, 51–57.
- Mooney, T. A., Di Iorio, L., Lammers, M., Lin, T.-H., Nedelec, S. L., Parsons, M., Radford, C., Urban, E., & Stanley, J. (2020) . Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. *Royal Society Open Science*, 7 (8) .

- Munk, W., Worcester, P., Wunsch, C., & Lynch, J. F. (1996). Ocean acoustic tomography.
- Parra, G. J., & Jedensjo, M. (2009). Feeding habits of Australian snubfin (*Orcaella heinsohni*) and Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). Reef and Rainforest Research Centre Limited.
- Parra, G. J., & Jedensjo, M. (2014). Stomach contents of Australian snubfin (*Orcaella heinsohni*) and Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). *Marine Mammal Science*, 30 (3), 1184-1198.
- Popper, A. N., Hawkins, A. D., & Thomsen, F. (2020). Taking the Animals' Perspective Regarding Anthropogenic Underwater Sound. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Richardson, W. J., Greene Jr, C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. (1995). Marine mammal hearing. *Marine mammals and noise*, 205-240.
- Ross, P. S., Dungan, S. Z., Hung, S. K., Jefferson, T. A., Macfarquhar, C., Perrin, W. F., ... & Reeves, R. R. (2010). Averting the baiji syndrome: conserving habitat for critically endangered dolphins in Eastern Taiwan Strait. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20 (6), 685-694.
- Sainburg, T., Thielk, M., & Gentner, T. Q. (2020). Finding, visualizing, and quantifying latent structure across diverse animal vocal repertoires. *PLoS computational biology*, 16 (10), e1008228.
- Siddagangaiah, S., Chen, C. F., Hu, W. C., Danovaro, R., & Pieretti, N. (2021). Silent winters and rock-and-roll summers: The long-term effects of changing oceans on marine fish vocalization. *Ecological Indicators*, 125, 107456.
- Sims, P. Q., Vaughn, R., Hung, S. K., & Würsig, B. (2012). Sounds of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in West Hong Kong: A preliminary description. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131 (1), EL48-EL53.

- Slooten, E., Wang, J. Y., Dungan, S. Z., Forney, K. A., Hung, S. K., Jefferson, T. A., ... & Chen, C. A. (2013). Impacts of fisheries on the Critically Endangered humpback dolphin *Sousa chinensis* population in the eastern Taiwan Strait. *Endangered Species Research*, 22 (2), 99-114.
- Sousa-Lima, R. S., Norris, T. F., Oswald, J. N., & Fernandes, D. P. (2013). A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. *Aquatic Mammals*, 39 (2), 205-210.
- Tyack, P. L. (1998). Acoustic communication under the sea. In Hopp S.L., Owren M.J., Evans C.S. (Eds), *Animal acoustic communication* (pp. 163-220). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76220-8_6
- Taylor, B.L., Araújo-Wang, C., Pei, K., Gerrodette, T., Rose, N.A., Bejder, L., Chan, H.-C., Chong, K., Nowacek, D., Schormans, E.K., Wang, J.Y., Winkler, R., Würsig, B. & Reeves, R.R. (2019). Recovery plan for the Taiwanese white dolphin (*Sousa chinensis taiwanensis*). Prepared at a workshop held at the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, 28-31 August 2019. 33 pp.
- Thomas, J. A., Kastelein, R. A., & Awbrey, F. T. (1990). Behavior and blood catecholamines of captive belugas during playbacks of noise from an oil drilling platform. *Zoo Biology*, 9 (5), 393-402.
- Tricas, T. C., & Boyle, K. S. (2014). Acoustic behaviors in Hawaiian coral reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 511, 1-16.
- Tyack, P. L. (1998). Acoustic communication under the sea. In *Animal acoustic communication* (pp. 163-220). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Verling, E., Ricós, R. M., Bou-Cabo, M., Lara, G., Garagouni, M., Brignon, J. M., & O'Higgins, T. (2021). Application of a risk-based approach to continuous underwater noise at local and subregional scales for the Marine Strategy Framework Directive. *Marine Policy*, 134, 104786.

- Wang, X., Jutapruet, S., Huang, S. L., Turvey, S., Wu, F., & Zhu, Q. (2018). External injuries of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Xiamen, China, and its adjacent waters as an indicator of potential fishery interactions. *Aquatic Mammals*, 44 (3), 285-293.
- Wei, C. A., Lin, T. H., Chen, R. D., Tseng, Y. C., & Shao, Y. T. (2018). The effects of continuously acoustical stress on cortisol in milkfish (*Chanos chanos*). *General and Comparative Endocrinology*, 257, 227-234.
- Williams, R., Wright, A. J., Ashe, E., Blight, L. K., Bruintjes, R., Canessa, R., ... & Wale, M. A. (2015). Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management*, 115, 17-24.
- Wiggins, S. M., Frasier, K. E., Henderson, E. E., & Hildebrand, J. A. (2013). Tracking dolphin whistles using an autonomous acoustic recorder array. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133 (6), 3813-3818.
- Wu, H., Jefferson, T. A., Peng, C., Liao, Y., Huang, H., Lin, M., ... & Wang, D. (2017). Distribution and habitat characteristics of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the northern Beibu Gulf, China.
- Würsig, B., Parsons, E. C. M., Piwetz, S., & Porter, L. (2016). Chapter three - the behavioral ecology of Indo-Pacific humpback dolphins in Hong Kong. In T. A. Jefferson & B. E. Curry (Eds.), *Advances in Marine Biology* (Vol. 73, pp. 65-90). Academic Press.
- Yeh, C. H. (2011). Distribution prediction and ranging pattern of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Taiwan (Doctoral dissertation, Master Thesis. National Taiwan University, Taipei, Taiwan).

附錄一、底碇型水下聲學監測之標準作業
流程說明書

附錄一 底碇型水下聲學監測之標準作業流程說明書

一、 調查前作業流程規劃

1.1 儀器介紹

本計畫應用被動式水下聲學監測調查鯨豚的活動模式，透過水下聲學儀器偵測鯨豚發出的水下聲音（回聲定位聲音或哨叫聲）來調查鯨豚的出現時間（Lin et al., 2013a；2013c）。

(1) 水下錄音機

水下錄音機能收錄原始之錄音檔，其透過原始錄音可偵測出回聲定位聲音及哨叫聲。以Soundtrap 300 HF海洋錄音機為例，Soundtrap 300 HF可以有效收錄20赫茲-150千赫茲頻率範圍之聲音，其自有噪音在2千赫茲以上之頻率範圍約為37分貝（參考數值：1微帕斯卡），且最高可達576千赫茲的取樣頻率。針對海豚科之儀器規格要求，取樣頻率至少96千赫茲、可敏感偵測1千赫茲以上頻率範圍的海洋錄音機；如針對露脊鼠海豚、侏儒抹香鯨等發出非常高頻率回聲定位聲音的動物，則必須選用取樣頻率至少達288千赫茲，且可敏感偵測100千赫茲以上頻率範圍的海洋錄音機。

(2) 水下聲音紀錄器

水下聲音資料紀錄器，以A-tag為例（A-tag, Acoustic data logger, ML200-AS8, Marine Micro Technology, Japan），A-tag雖然不能儲存原始錄音檔，但能透過記錄聲音事件來偵測高頻率脈衝波，不過容易受到噪音干擾（水花噪音、引擎噪音、魚探機噪音等），A-tag有效調查頻率範圍約為55-235千赫茲，並具有兩個間隔約19公分之水下麥克風，可依據兩個水下麥克風接受到聲音訊號的時間差而推算聲音資料的來源角度。針對海豚科之儀器規格要求，資料取樣時間解析度在1毫秒以下、有效偵測之頻率範圍

應在70千赫茲以上；如針對露脊鼠海豚、侏儒抹香鯨等發出非常高頻率回聲定位聲音的動物，則必須選用時間解析度在1毫秒以下、有效偵測之頻率範圍在100千赫茲以上。

1.2 水下聲學儀器參數設定（以 Soundtrap 300 HF 為例）

(1) 安裝SoundTrap Host軟體至電腦

至 <https://www.oceaninstruments.co.nz/downloads/> 下載軟體，完成安裝後，執行SoundTrap Host application。

(2) 連接儀器至電腦

以USB連結儀器/錄音機，驅動程式會要求安裝，其安裝完成後，可開啟軟體並於視窗左側”Device List”中找到所連接之SoundTrap之型號，如圖1.2-1所示，並點擊該型號之按鈕。

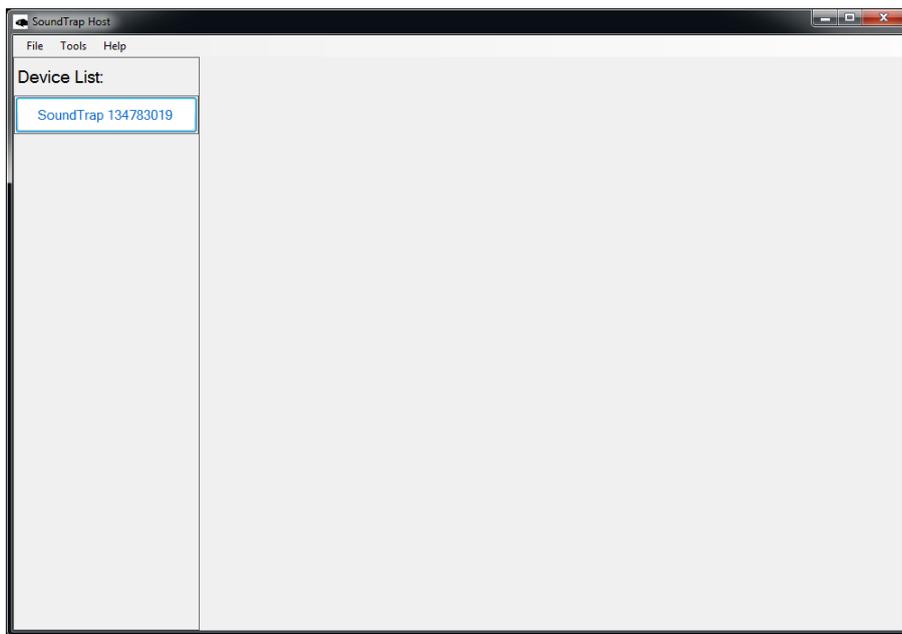


圖 1.2-1 SoundTrap Host 開啟視窗

(3) 檢查儀器狀態

注意視窗右側中的「Status」（圖1.2-2），確認電池電量及記憶體容量是否充足。

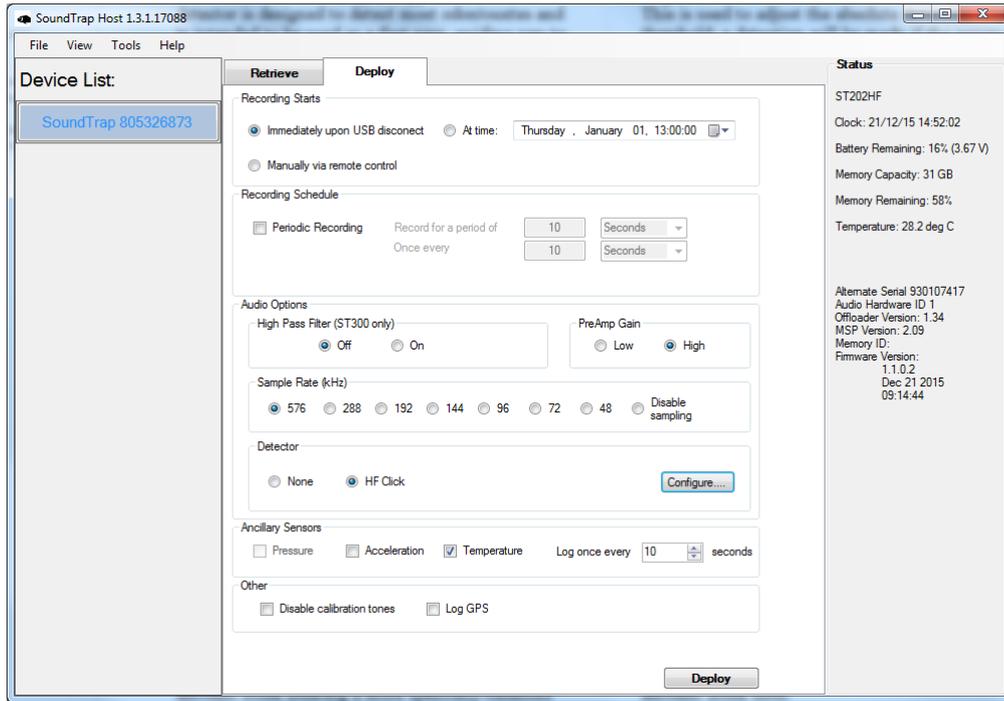


圖 1.2-2 SoundTrap Host 參數設定視窗

(4) Deploy 參數設定

選擇「Deploy」分頁如圖1.2-2所示。

(a) Recording Strats 紀錄時間

決定何時開始錄音。錄音開始時間可選擇：(1) 於USB線拔除後立即開始錄音、(2) 於預定的日期、時間開始錄音、(3) 以紅外線遙控器手動開始錄音，另請注意遙控可覆蓋其他選項設定。

(b) Recoeding Schedule 記錄排程

提供持續錄音或週期錄音之選擇，若將週期錄音的勾選取消便是連續錄音。

(c) Audio Options 音頻選項

選項會根據儀器的性能而有所不同，選項如下：

(d) High Pass Filter (ST300 only) 高通濾波器，通常應將其關閉，通常僅用於高能量場所或在船後拖曳SoundTrap時使用，

開啟此功能會將0至600赫茲頻段的靈敏度降低，同時保持較高的頻率不變。

(e) Preamp Gain 前級放大器

通常應設置為「高」，這將導致最大聲壓值 (sound pressure level) 約為172 分貝 (參考數值:1微帕斯卡)。「低」應用於非常嘈雜的環境，例如在打樁工程附近，較低的設定將最大聲壓值提高到184分貝左右，但代價是靈敏度較低。

(f) Sample Rate 取樣頻率

(g) Detector 搭聲探測器

(h) Ancillary Sensors 輔助感應器

選擇記錄壓力、加速度及溫度。

(5) 遙控器

可使用遙控器開始錄音，壓「START」鍵開始錄音，壓「STOP」鍵停止錄音。設定完畢稍後開始錄音，錄音機會閃紅燈並處於「armed (待命)」狀態。壓「STOP」鍵可以取消待命狀態，按壓「ARM」鍵可以重新處於待命狀態 (圖1.2-3)。

將提供的連接線安裝在電池組和SoundTrap後，並按下遙控器上的「BAT」鍵並觀察SoundTrap的紅色指示燈，若一切正常，將見兩次時間較長的紅色閃爍，其確認外部電池有供電給SoundTrap。利用遙控器確認外接電池盒有提供穩定電源，會有十秒的延遲。當觀察到兩次長時間閃爍可確認有外部點持正常運作並準備就緒。單一簡短紅色閃燈表示有問題，在這種情況下，拔掉外接電池並檢查是否安裝錯誤及電池電量是否充足。

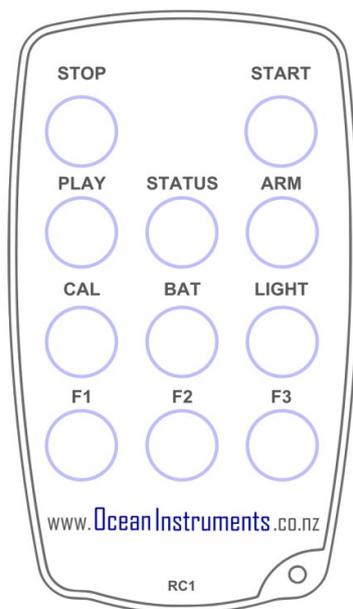


圖 1.2-3 遙控器示意圖

1.3 出海前準備事宜

調查船隻需要有足夠空間放置潛水裝備及底碇重物之操作平台，可參考大型膠筏或CT1以上之漁船，並具有硬式梯子或較低之平台以利潛水夫上下船隻作業（圖1.3-1及1.3-2）。出海調查當日須至該漁港之安檢所提供出海人員身分證正本與出海公文（縣市政府公文）。船上研究工作人員建議至少2人以上參與（圖1.3-3），並需取得行政院農業委員會漁業署（以下簡稱漁業署）指定四小時之研究作業人員安全實務訓練結業證書、漁業署核發之漁船船員基本安全訓練結業證書、交通部核發且為有效期限內之船員基本安全訓練結業證書、教育部體育署委任委託或認可單位核發且為有效期限內之開放性水域救生員證書或行政院勞工委員會核發之職業潛水技術士證或國內外合法潛水機構所核發開放性水域潛水員證照，以利於娛樂漁船或特定漁業漁船（如膠筏）進行調查作業。潛水人員之資格需長期從事海事工程或長期配合研究單位佈放儀器者，依照「租用漁船從事水產資源海洋環境調查研究及漁業管理措施」之條文，出海涉及潛水者、實際從事潛水研究作業人員應至少二名。



圖 1.3-1 有大型平台之 CT1 以上船隻與硬式梯子



圖 1.3-2 具有較低平台之特規膠筏（中間）



圖 1.3-3 調查作業潛水夫需二名示意圖

二、 底碇式佈放流程規劃

在建立水下聲學監測站時，視調查目的規劃，將錄音儀器固定於海床上約1公尺的位置，並在佈放時依據當地海洋環境特性適當調整儀器固定的方法，以避免海面風浪噪音、海流噪音、儀器固定設備撞擊、摩擦產生的噪音干擾錄音資料。以臺灣西部海域執行水下聲學監測的經驗為例，可將底碇重物固定在海床上，利用繩索將底碇重物與相距約2.5公尺的浮球相連，再將錄音儀器固定於繩索上離海床約1公尺的位置（圖2.1-1）。



圖 2.1-1 底碇式佈放示意圖（左上：鐵板與繩索固定處、右上：電池盒、左下：錄音機、右下：浮球）

2.1 佈放

行駛至預計佈放儀器之監測站點位，透過魚探機確認該點位之環境狀況（如泥沙地或礁岩地形）。鐵板與船錨透過活結固定以利潛水夫作業，將主纜繩（一顆大型浮球、兩顆中型浮球、約20公尺長以上

PE繩)與鐵板連接好後拋至海中，直到確認鐵板落在海床後，將主纜繩垂直90°拉直並以GPS定位佈放點位。1號潛水夫沿著主纜繩下潛將纏繞的鐵板及船錨佈放呈穩定之狀態，接著2號潛水夫沿著主纜繩下潛將浮球與錄音儀器綁在中間鐵板上，其儀器位置距離海床約1公尺(圖2.1-2及2.1-3)。



圖 2.1-2 底碇式佈放流程示意圖 (左上：魚探機、右上：垂直拋入重物、左下：1 號潛水夫下潛、右下：2 號潛水夫下潛)

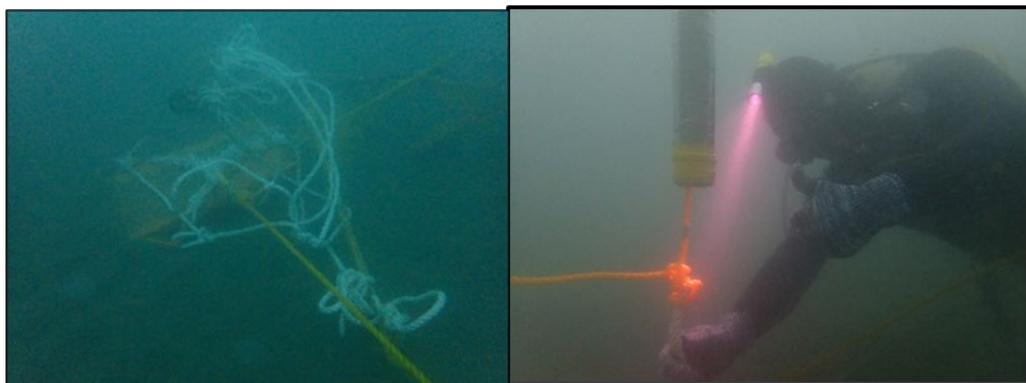


圖 2.1-3 左：剛拋入海中重物示意圖、右：固定好儀器示意圖

2.2 替換及回收

行駛至先前佈放儀器之監測站點位，透過魚探機確認該點位之狀況，是否探測到連接儀器之浮球。定位重物之重量會依照該海域之海流強弱調整，其重物掛上主纜繩後於佈放點位垂直投下，1號潛水夫沿著主纜繩下潛，並用搜索繩擴大搜索約半徑20公尺，每次搜索時間約20分鐘，如有發現儀器馬上拉扯主纜繩給海上人員暗號，並將搜索繩勾至鐵板上，再由2號潛水夫下去替換或回收儀器，底碇重物則透過潛水夫使用浮力袋回收。每次在潛水夫搜索及更換期間皆須注意氣泡之位置及浮球信號，確保潛水人員之安全（圖2.2-1及2.2-2）。



圖2.2-1 儀器替換及回收海上作業流程（左上：將定點錨拋入海中、右上：拋出連接定點錨之主纜繩、左下：潛水夫沿著主纜繩下潛、右下：船上工作人員注意潛水夫之暗號與氣泡位置）

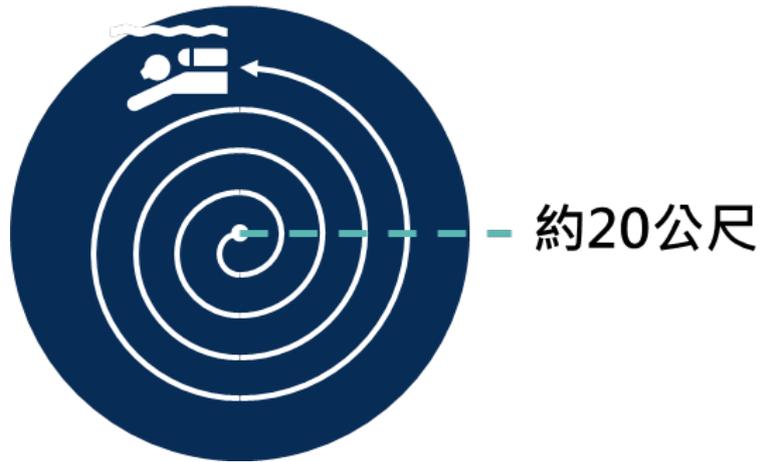


圖 2.2-2 潛水夫搜索方式示意圖

三、 調查後資料卸載流程規劃

3.1 卸載步驟

開啟SoundTrap Host，使用原廠USB線連接電腦後儀器指示燈會先亮起紅燈，再亮起交叉閃爍的藍燈與綠燈，代表已成功連結電腦。（藍燈代表充電中，當充電完畢就會熄滅。）



圖 3.1-1 儀器連接至電腦示意圖

請先選擇「Tools」，再按「Set Default File Save Location」，設定錄音資料卸載位置。當儀器連接電腦後，設備清單（Device List）會呈現儀器之編號按鈕，點擊按鈕讀取資料。

選擇所需時間資料，按下「下載 (Download)」，卸載錄音資料，並存取於先前欲設定好之資料夾，其資料夾會有sud、wav、xml及xls四種檔案。如果沒有勾選解壓縮，只下載sud檔屬於正常現象。其他說明如下：

	1208004643.200526171002.log	2020/6/2 下午 12:09	XML Document
	1208004643.200526171002.sud	2020/6/2 下午 12:09	SUD 檔案
	1208004643.200526171002.temp	2020/6/2 下午 12:09	Microsoft Excel 逗...
	1208004643.200526171002	2020/6/2 下午 12:09	WAV 檔案

圖 3.1-2 卸載檔案示意圖

- (1) Sud為壓縮檔案，如果只有sud檔，選擇操作介面「Tools」，按「File Extraction」，再按「Select File」選擇欲解壓縮之sud檔，即可解壓縮其餘3種檔案（wav、xml與xls），解壓縮之動作亦能在非連接儀器，只有檔案時就能操作。
- (2) 儀器電池耗盡時無法讀取資料，如發生無法讀取之狀況，請將儀器連接電腦自動充電約1-2小時再開啟程式。

3.2 操作介面

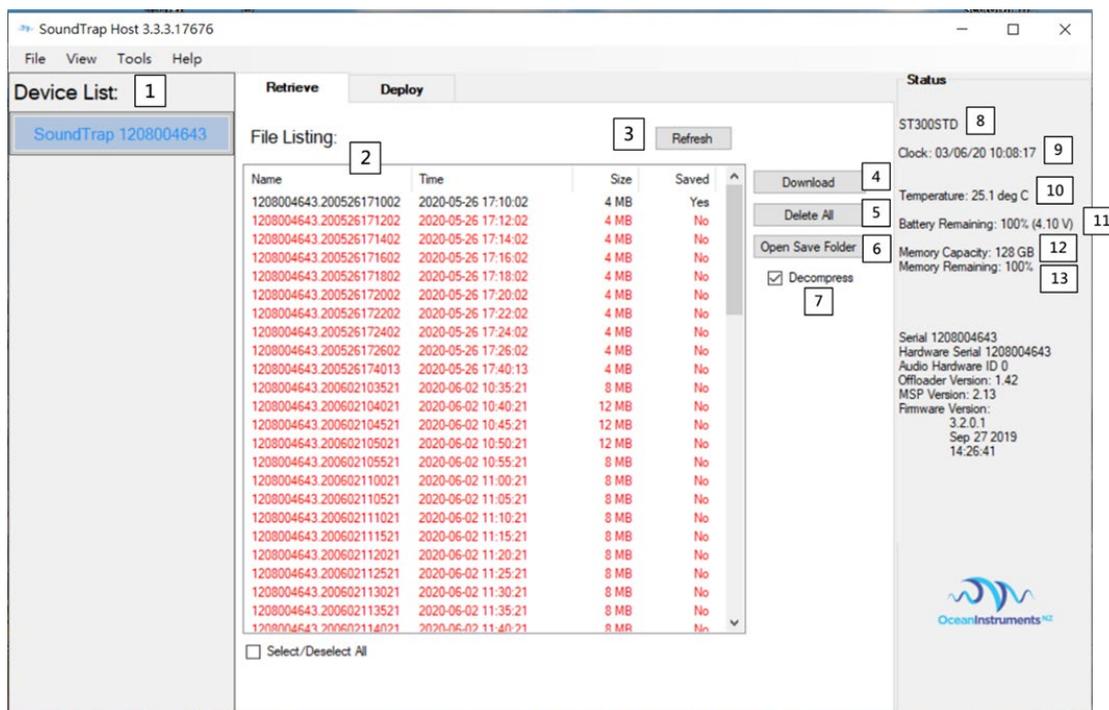


圖 3.2-1 SoundTrap Host 操作介面

表 3.2-1 SoundTrap Host 操作介面對應表

對應項目	備註
1 Device List 設備清單	顯示目前連接之儀器
2 File Listing 檔案清單	顯示目前連接儀器內的錄音資料
3 Refresh 更新	重新整理目前連接儀器內的錄音資料
4 Download 下載	將選取的錄音資料下載至指定資料夾
5 Delete All 完全刪除	將全部錄音資料刪除
6 Open Save Folder 打開保存文件夾	打開指定資料夾
7 Decompress 解壓縮	是否要將錄音資料解壓縮至指定資料夾。不解壓縮只會下載 sud 檔。如果電腦記憶體不夠，建議不要點選解壓縮，將下載好的 sud 檔移至足夠記憶體之電腦再解壓縮。
8 儀器機型	目前連接儀器之機型
9 時間	目前時間
10 溫度	目前溫度

11	電池存電量	目前電池存剩電量
12	記憶體容量	連接儀器之記憶體容量
13	記憶體剩存量	連接儀器之存剩記憶體容量

四、白海豚聲音偵測與資料分析流程

4.1 白海豚聲音偵測流程

Colaboratory (簡稱為「Colab」) 是 Google 所提供免費且方便的程式編碼筆記本。我們將白海豚搭聲偵測流程所撰寫的 python 程式碼在 Colab 上撰寫，以方便大家使用。

- (1) 首先將欲處理的音檔放置於雲端硬碟的資料夾。
- (2) 將雲端硬碟掛載在 Colab 中，並且點選連結將驗證碼輸入，即可掛載雲端硬碟 (圖 4.1-1)。



圖 4.1-1 掛載雲端硬碟於 Colab

- (3) 載入由中央研究院海洋生態聲學與資訊實驗室所開發的開源分析工具 Soundscape Viewer 和 clickdata_visualization 以及其他 python 常用的資料分析工具 (圖 4.1-2)。

```

1 | git clone https://github.com/schomkop/soundscape_IP.git
2 | git clone https://github.com/schomkop/clickdata_visualization.git
3 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import supervised_nmf
4 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import lts_viewer
5 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import supervised_nmf
6 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import gdrive_handle
7 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import audio_visualization
8 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import lts_maker
9 | from soundscape_IP.soundscape_viewer import batch_processing
10 | from soundscape_IP.soundscape_viewer.interactive import interactive_matrix
11 | from soundscape_IP.soundscape_viewer.utility import matrix_operation
12 | from clickdata_visualization.data_processing import click_processing
13 | from clickdata_visualization.data_processing import noise_filter
14 | import numpy as np
15 | import pandas as pd
16 | import plotly.express as px
17 | import copy

Cloning into 'soundscape_IP'...
remote: Enumerating objects: 1420, done.
remote: Counting objects: 1008 (571/837), done.
remote: Compressing objects: 100% (371/371), done.
remote: Total 1420 (delta 474), reused 437 (delta 390), pack-reused 749
Receiving objects: 100% (1420/1420), 353.59 MiB | 5.52 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (1017/1017), done.
Cloning into 'clickdata_visualization'...
remote: Enumerating objects: 39, done.
remote: Counting objects: 1008 (39/39), done.
remote: Compressing objects: 100% (39/39), done.
remote: Total 39 (delta 11), reused 0 (delta 0), pack-reused 0
Unpacking objects: 100% (39/39), done.
/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/sklearn/utils/deprecation.py:144: FutureWarning: The sklearn.decomposition.nmf module is deprecated in version 0.22 and will be removed in version 0.24. The corresponding classes / functions will access FutureWarning

```

圖 4.1-2 在 Python 運算環境中載入分析工具

(4) 批次進行聲音檔案的聲源分離 (圖4.1-3)。

因為本計畫每次錄音長達14天以上，因此在這邊我們利用3個五分鐘的音檔進行搭聲偵測的範例。搭聲的主要特徵是寬頻且高強度。基於這種聲音特性，我們可以運用下列的程式碼將大量聲音檔案中的搭聲擷取出來。

(a) 讀取聲源模型檔案

利用 `supervised_nmf` 中的 `load_model` 讀取已經建立好的聲源分離模型，`filename` 為待載入的檔案位置與名稱。

(b) 聲音檔案參數

因為一次錄音有多個音檔，我們使用 `batch_processing` 進行批次偵測大量音檔中的搭聲，在此先以3個音檔為例。`folder` 為待分析之錄音檔案存放位置。

(c) 轉換聲音檔案成為頻譜圖參數

使用 `batch_processing` 的 `params_spectrogram` 將錄音檔轉換為頻譜圖，並設定以下參數：

- 錄音環境 (`environment`)：水域 (`wat`)
- 頻率範圍 (`f_range`)：單位為Hz，請使用 `[min, max]` 的格式
- 快速傅立葉變換視窗長度 (`FFT_size`)：資料點數 (整數，一般為2的N次方)，此參數會影響到頻譜圖的頻率解析度。
- 快速傅立葉變換視窗之間的重疊度 (`window_overlap`)：介於 ≥ 0 和 < 1 之間的值。

(d) 去除背景噪音參數

使用 `params_adaptive_prewhiten` 中的加權移動平均法 (由 `eps` 設定更新加權值，單位為百分比) 與高斯模糊濾波器 (由 `smooth` 設定濾波器之大小) 推估背景噪音，將頻譜圖

轉換為訊雜比資料。

(e) 聲源分離模型參數

利用 **params_separation** 讀取步驟1的聲源分離模型，設定迭代次數 (*iter*) 與新增的頻譜特徵個數 (*additional_basis*)

(f) 搭聲偵測參數

利用 **params_spectrogram_detection** 進行搭聲偵測，設定以下參數：

- 目標聲源 (*source*)：聲源分離模型內的目標聲源編號
- 能量閾值 (*threshold*)：過濾低能量雜訊 (dB)
- 最小間隔 (*minimum_interval*)：最低的搭聲間距 (s)，低於此數值則視為同一筆聲音偵測結果
- 存放檔案位置 (*folder_id*)：為雲端硬碟的檔案位置 (如 <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/16UGDh-32QfXe8lVcAS1-2w7VCzRlz5DW> 的位置是16UGDh-32QfXe8lVcAS1-2w7VCzRlz5DW)。

(g) 進行偵測

使用 **run** 將前述所設的參數進行搭聲監測的分析。檔案名稱依照會與錄音檔案變更，如錄音檔案名為5323.210528070528.wav，則會存成5323.210528070528_S1.txt。

```

1 model = supervised_rmf()
2 model.load_model(filename = '/content/drive/MyDrive/海保署_台灣西部沿海白海豚重要棲地水下活動監測與分析_白海豚聲音偵測與資料分析流程/聲源分離模型/Click_model_noise_fisher20210720.mat')

Model parameters check
Minima and maxima frequency bin: 0.0 Hz and 96000.0 Hz
Frequency resolution: 1500.0 Hz
Feature length: 8
Number of basis: 11
Number of source: 3

[5] 1 batch = batch_processing(folder='/content/drive/MyDrive/海保署_台灣西部沿海白海豚重要棲地水下活動監測與分析_白海豚聲音偵測與資料分析流程/聲音檔案示範/')
2 batch.params_spectrogram(environment='wat', fft_size=128, f_range=[0, 96000], prewhiten_percent=0, window_overlap=0.5)
3 batch.params_adaptive_prewhiten(eps=0.1, smooth=3)
4 batch.params_separation(model, iter = 10, additional_basis=2)
5 batch.params_spectrogram_detection(source=1, threshold=0.41, minimum_interval=0.002, folder_id='16UGDh-32qTXe81VCAS1-2w7VCzR1z5DW')
6 batch.run()

Identified 3 files
Processing file no. 0 :5323.210528071028.wav, in total: 3 files/content/soundscape_IR/soundscape_viewer/utility.py:196: RuntimeWarning:
divide by zero encountered in log10
/content/soundscape_IR/soundscape_viewer/source_separation.py:314: RuntimeWarning:
invalid value encountered in true_divide
Processing file no. 1 :5323.210528071528.wav, in total: 3 files/content/soundscape_IR/soundscape_viewer/source_separation.py:314: RuntimeWarning:
invalid value encountered in true_divide
Processing file no. 2 :5323.210528072028.wav, in total: 3 files/content/soundscape_IR/soundscape_viewer/utility.py:196: RuntimeWarning:
divide by zero encountered in log10
/content/soundscape_IR/soundscape_viewer/source_separation.py:314: RuntimeWarning:
invalid value encountered in true_divide

```

圖 4.1-3 載入聲源模型並使用模型分離搭聲分析大量資料

(5) 整合聲源分離偵測資料 (圖4.1-4)。

(a) 利用 `click_processing` 讀取前面所偵測搭聲結果的txt文字檔，並確認檔案名稱設定以下參數，在此以檔案名稱 5323.210528070528 為例。

- 檔案位置 (*folder*)：設定偵測結果TXT檔案所在位置。
- 起始文字 (*initial*)："5323." 為錄音機編號。
- 日期格式 (*dateformat*)："210528070528" 此代表著 21年05月28日07時05分28秒開始錄音，因此設定成 'yymmddHHMMSS'(年年月月日日時時分分秒秒)。
- 省略的年份 (*year_initial*)：設為2000年，因為實際上錄音時間為2021年，只是檔案編號時被省略。

(b) 利用 `original_detection.to_csv` 合併偵測資料成為CSV檔案。

- 檔案位置與名稱 (*path_or_buf*)：存放檔案位置與名稱，存檔名稱最末端需加上副檔名.csv
- 設定csv格式細節 (*sep*) 和 (*index*)

我們將CSV檔案存於雲端資料夾，後續直接讀取合併的CSV即可。

```
90 | click_data=click_processing(folder = '/content/drive/MyDrive/海保署_台灣西部沿海白海豚重要棲地水下活動監測與分析_白海豚聲音偵測與資料分析流程/聲音檔案示範/', dateformat='yymmddHHMMSS', initial='5323.', year_initial
91 | click_data.original_detection_to_csv(path_or_buf = '/content/drive/MyDrive/海保署_台灣西部沿海白海豚重要棲地水下活動監測與分析_白海豚聲音偵測與資料分析流程/聲音檔案示範/搭聲偵測範例.csv', sep=';', index=True)
Identified 3 files
Processing file no. 0 :5323.210528071028_sl.txt, in total: 3 filesExample: 5323.210528071028_sl.txt
Please review whether the date and time are retrieved correctly.
Year: 2021
Month: 05
Day: 28
Hour: 07
Minute: 10
Second: 28
Processing file no. 2 :5323.210528072028_sl.txt, in total: 3 files
```

圖 4.1-4 合併之前所偵測到的所有搭聲資料，存成 CSV 檔案

(6) 自動噪音篩選 (圖4.1-5)。

(a) `pd.read_csv`讀取合併後的CSV檔案

(b) 使用 `noise_filter` 設定噪音篩選器的參數，自動處理所有的偵測結果

- 搭聲資料 (*click*)：輸入步驟一讀取的資料
- 最小訊雜比 (*min_snr*)：過濾低能量雜訊 (dB)
- 搭聲間距變化平滑度 (*max_smoothness*)：過濾不連續變動的偵測結果

(c) 使用 `effort_calculate` 設定偵測結果TXT檔案所在的位置，讓程式計算錄音努力量。

- 檔案位置 (*folder*)：設定偵測結果TXT檔案所在位置。
- 起始文字 (*initial*)："5323." 為錄音機編號。
- 日期格式 (*dateformat*)："210528070528" 此代表著 21年05月28日07時05分28秒開始錄音，因此設定成 'yymmddHHMMSS'(年 年 月 月 日 日 時 時 分 分 秒 秒)。
- 省略的年份 (*year_initial*)：設為2000年，因為實際上錄音時間為2021年，只是錄音機在編號檔案時將其省略。
- 檔案錄音時間長度 (*recording_length*)：單一個檔案錄音時間的長度，單位為秒。

(d) 使用 `plot_ici()` 繪製互動式搭聲間距，可以方便觀察搭聲偵測結果細節。



圖 4.1-5 繪製搭聲間距的變化，以觀察回聲定位行為

(7) 檢查大量錄音檔的搭聲結果（圖4.1-6、4.1-7、4.1-8）。

接著以中港溪口近岸第一次調查作為示範。基本上與前述的流程相同，但是因為資料量較大，因此使用本計畫的偵測結果作為範例。

(a) 用 `temporal_changes` 計算搭聲偵測隨著時間的改變

設定時間解析度 (`time_resolution`)：以指定的時間秒數分析搭聲結果

(b) 用 `plot_temporal_changes` 繪製搭聲偵測隨著時間的改變

設定最少需要多少個搭聲偵測，而可視為一次的搭聲事件 (`min_number_trains`)

(c) 繪製搭聲的特徵分佈：

- 每一筆搭聲的時間長度
- 每一筆搭聲到下一筆搭聲的時間間距
- 每一筆搭聲的訊雜比

(d) 繪製搭聲事件的特徵分佈：

- 從第一筆搭聲到最後一筆搭聲之間的時間長度
- 平均搭聲間距
- 搭聲數目

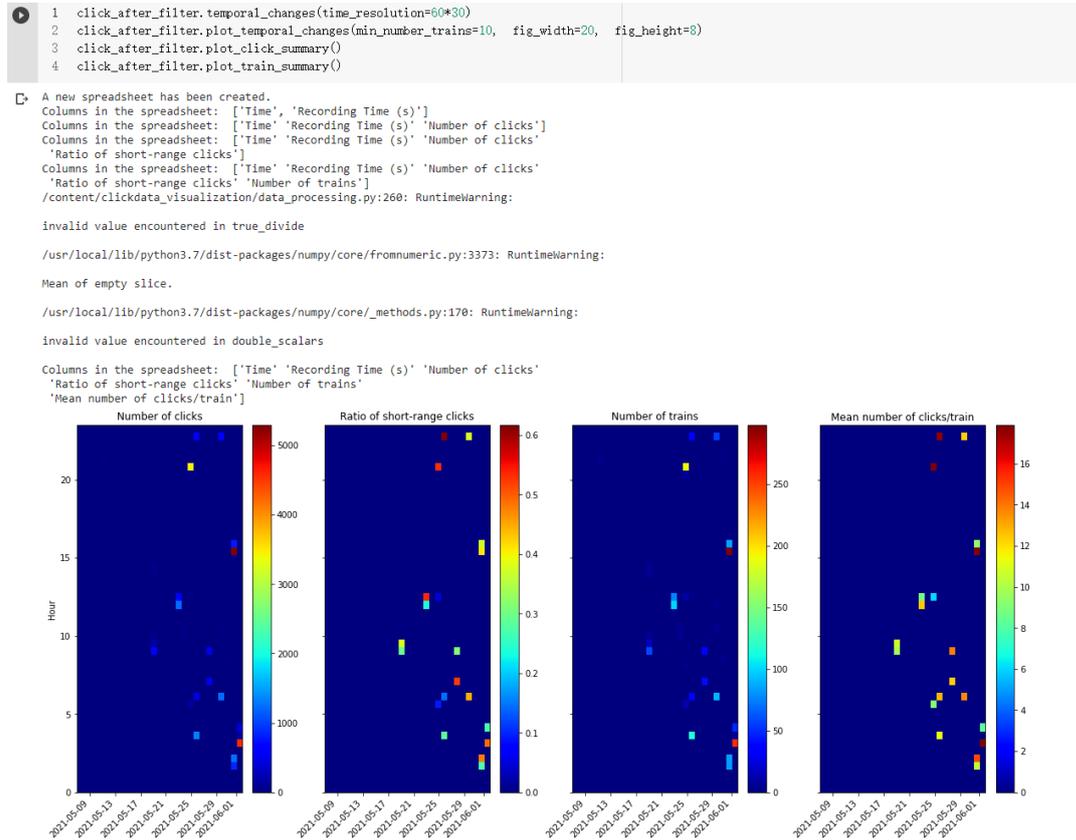


圖 4.1-6 繪製搭聲偵測隨著時間的改變

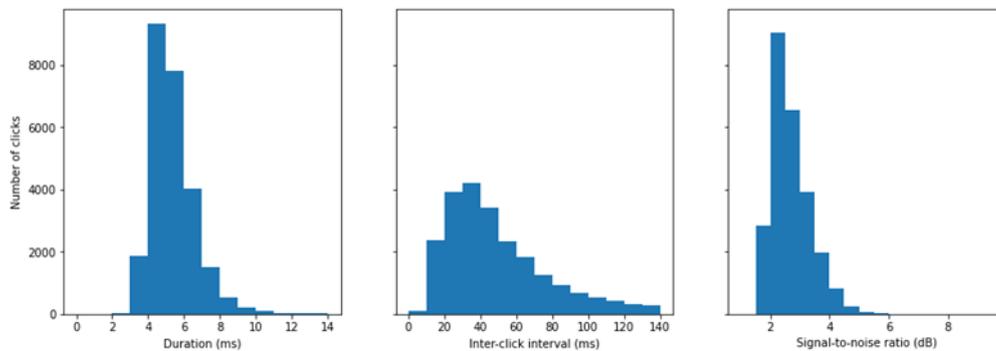


圖 4.1-7 繪製搭聲的特徵分佈

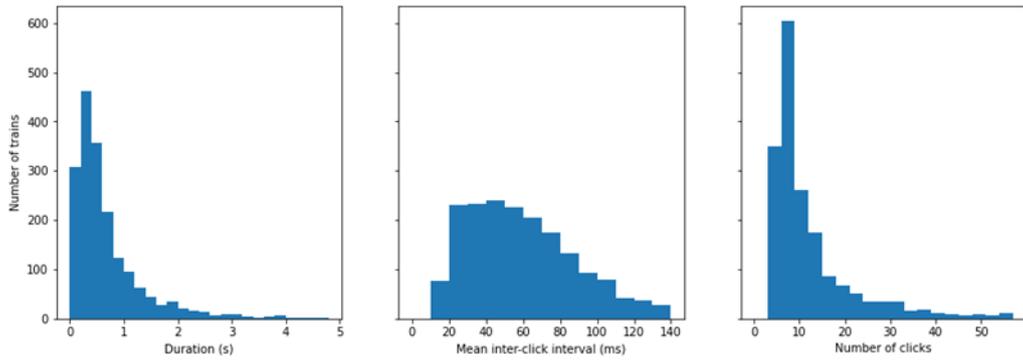


圖 4.1-8 繪製搭聲事件的特徵分佈

(8) 手動噪音篩選 (圖4.1-9)。

(a) 根據人工檢查出來的異常時間範圍，使用 `train_drop` 將聲音進行手動噪音篩選。

- 欄位設定 (`coll`)：時間 ('Time')
- 欄位時間範圍 (`coll_range`)：['起始', '結束']
`coll_range=['2021-05-07 12:00:00','2021-05-19 06:00:00']`, `col2='ICI Diversity'`, `col2_range=[0, 5]`,
`noise_train=noise_train`

(b) 繪製 ICI 分佈圖，以進行最後確認。



圖 4.1-9 手動刪除偵測錯誤的搭聲時間區段

(9) 儲存搭聲偵測結果（圖4.1-10）。

使用 `click_after_filter.save` 即可將偵測結果的 `click` 和 `trains` 儲存。

```
[ ] 1 click_after_filter.temporal_changes(time_resolution=60*30)
    2 click_after_filter.plot_temporal_changes(min_number_trains=10, fig_width=20, fig_height=8)
    3 click_after_filter.plot_click_summary()
    4 click_after_filter.plot_train_summary()
    5 click_after_filter.save(filename='ML_Estuary_Inshore')
```

圖 4.1-10 儲存搭聲偵測結果之程式碼

4.2 聲音偵測效能驗證

白海豚搭聲偵測可能會受到許多環境與人為噪音干擾，例如：船隻聲納與槍蝦聲音，因而在吵雜的近岸淺水海域產生大量的錯誤偵測結果，必須仔細評估。此外，由於台灣西部的白海豚數量稀少，即使在白海豚的核心活動棲地範圍，在長期監測的過程中也不可能一直偵測到白海豚聲音。倘若僅針對包含白海豚聲音的水下錄音進行評估，則可能會無法涵蓋各種在野外監測會遭遇到的情況。因此在聲音偵測效能之評估上，必須要建置一個包含白海豚聲音與其他各種水下噪音的測試資料集以進行全面的聲音偵測效能評估，並建立一套判讀錯誤偵測結果的方法，以提升被動式聲學監測結果之可信度。

有鑑於此，計畫執行團隊使用125分鐘的水下錄音測試資料，分析搭聲偵測的效能。目前所使用的測試資料之中，經過人工檢視後，其中的50分鐘水下錄音有白海豚回聲定位搭聲，剩下的75分鐘則包含各種環境聲音，沒有白海豚的回聲定位搭聲。在測試資料集中提高沒有白海豚聲音的資料比例，將能夠有效鑑別所應用之聲音偵測工具在台灣西部海域的實際效能。

偵測效能之量化部分，本計畫以接收者特徵操作曲線（Receiver operating characteristic curve）評估模型在處理頻譜圖中的每一個時框（Time frame）的判別能力，其曲線下方面積（Area under the curve，簡稱AUC）可達 0.91（圖4.2-1）。一般來說，AUC的數值介於零到一之間，越靠近一代表模型的判別能力越強。

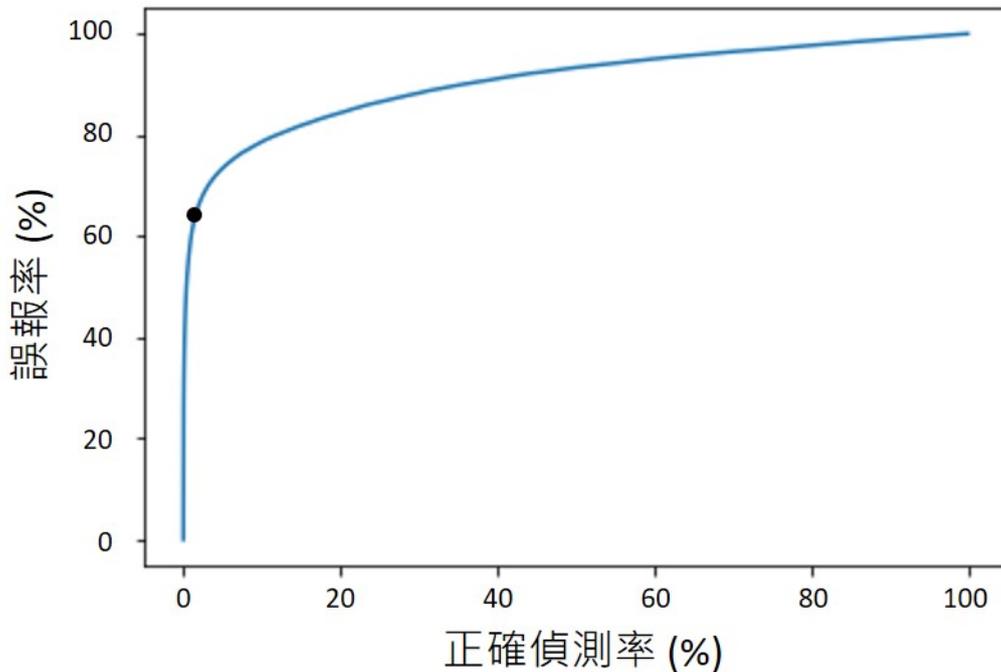


圖 4.2-1 本計畫應用之聲源分離模型偵測效能。黑點為當訊雜比閾值設定為一分貝時，對應之正確偵測率與誤報率

當訊雜比閾值為一分貝時，聲源分離模型之偵測率（在人工標記的搭聲中，正確偵測之機率）為62.4%，誤報率（在沒有搭聲的片段中，錯誤偵測之機率）則是1.3%。但在其中一筆較多搭聲（人工辨識3,244筆搭聲）的五分鐘錄音資料中，聲源分離模型的偵測率則達到80.1%，誤報率為2.9%。顯示此模型在台灣西部海域的水下錄音中可以準確擷取出大部分搭聲的出現時間，協助研究人員評估白海豚的回聲定位之行為。

為了要進一步降低錯誤偵測的結果，可以運用噪音篩選器進一步提高偵測結果的可信度。舉例來說，在噪音篩選器設定僅分析高於1.3分貝，搭聲間距小於200毫秒，搭聲數目大於5次，且搭聲間距之平滑度低於0.75的回聲定位事件後，若以每秒鐘為單位進行偵測效能之分析，誤報率可以降低至0.7%，搭聲偵測率提高為65.8%。若是以每分鐘為單位，進行人工標籤的搭聲數量和自動偵測得到的搭聲數量比較，可以確認自動偵測得到的搭聲數量和人工標籤的搭聲數量呈現高度

的正相關性，相關係數為0.60， R^2 決定係數為0.90（圖4.2-2），顯示當搭配聲源分離模型與噪音篩選器分析長時間水下錄音的時候，我們能夠用偵測到的搭聲數量來推估白海豚的搭聲次數，並以此評估白海豚群體在回聲定位行為上的變化趨勢。

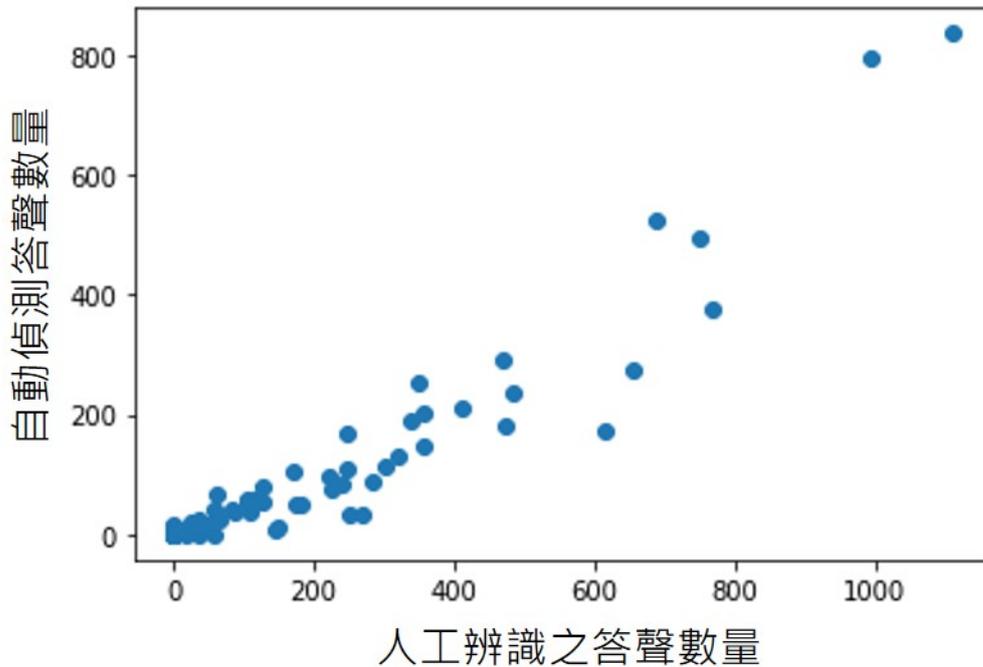


圖 4.2-2 每分鐘錄音的人工辨識搭聲數量和自動偵測搭聲數量之相關性

4.3 偵測結果之後續分析流程

以本年度在苗栗縣中港溪口所收集到的水下聲音為例，運用直方圖繪製出所有搭聲間距以及回聲定位事件之平均搭聲間距的資料分佈時，可以發現其分佈特性與Lin et al. (2013) 觀察到白海豚的搭聲間距主要分佈在10至80毫秒之間，呈現一種左偏的普瓦松分佈 (Poisson distribution) 之現象不同。在苗栗縣中港溪口的淺水海域錄音測站初步偵測到的大量搭聲，其搭聲間距有將近7成分佈在50-70毫秒之間（圖4.3-1）。此外，還有一小部分分佈於120-130毫秒之間，這些訊號的搭聲間距大多會在幾個固定的峰值範圍內上下跳動（圖4.3-2）。經過比對原始水下錄音之時頻譜圖之後，發現到這些聲音大多來自於長時間停留的工程船隻聲納，必須人工去除。

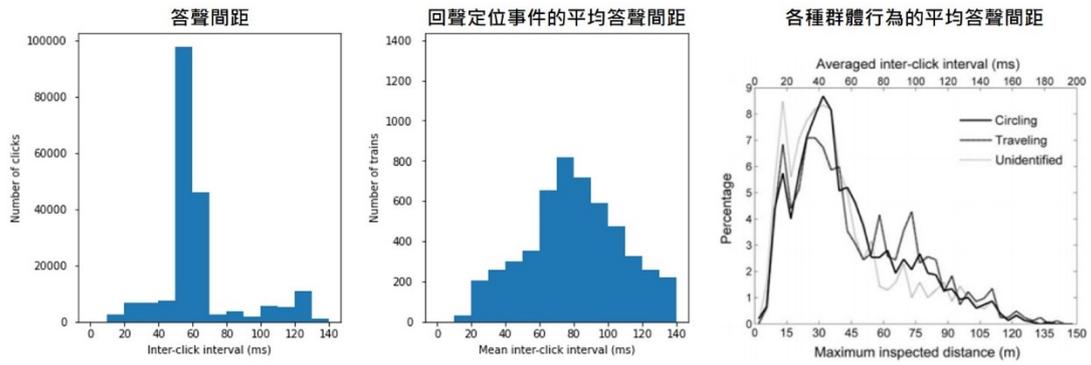


圖 4.3-1 苗栗中港溪口測站的自動偵測原始結果。左圖顯示所有搭聲間距之資料分佈，中間圖顯示所有回聲定位事件的平均搭聲間距之資料分佈，右圖顯示 Lin et al. (2013) 運用水下聲音資料紀錄器偵測白海豚寬頻搭聲，在三種不同類型的群體行為之間所觀察到的回聲定位事件平均搭聲間距資料分佈趨勢

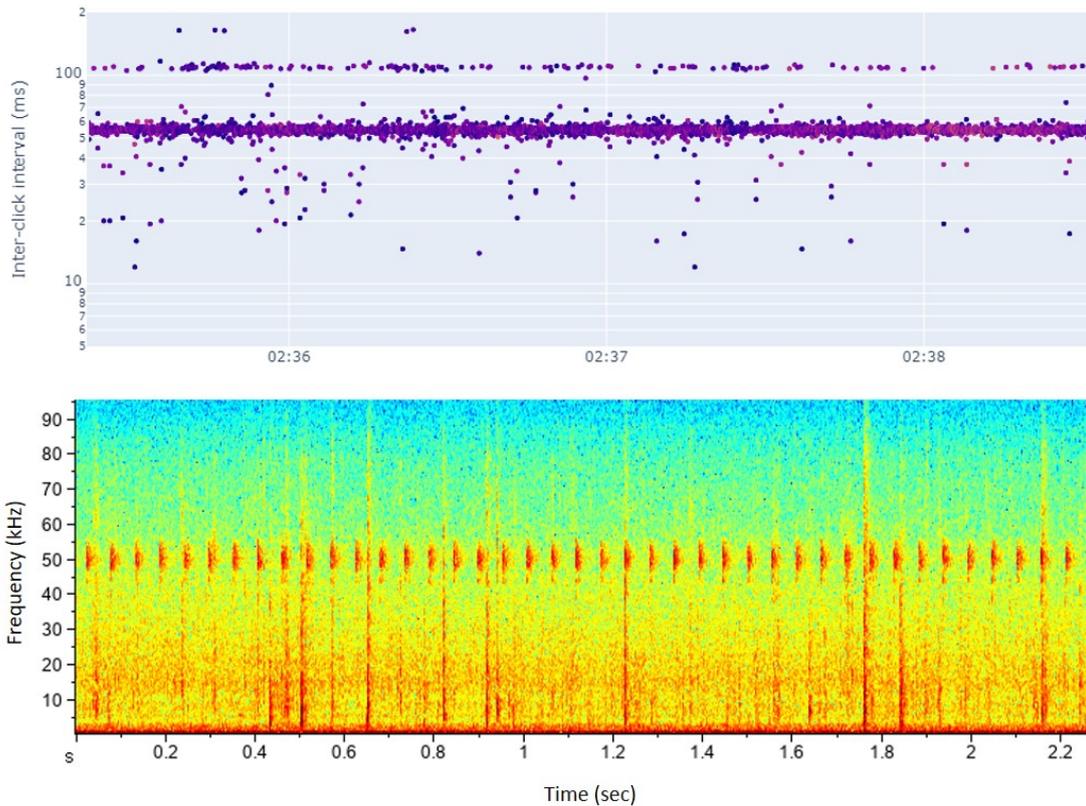


圖 4.3-2 船隻聲納造成錯誤偵測之示意圖。上圖顯示船隻聲納的脈衝聲波間距，可以觀察到大部分分佈在 55 毫秒與 110 毫秒附近。下圖為船隻聲納的時頻譜圖

去除掉工程船隻聲納之後，再透過人工檢視搭聲間距隨著每次偵測到的搭聲之變化分佈圖，觀察到在苗栗縣中港溪口測站，尤其是傍晚六點至隔日早上八點之間，經常有大量的偵測結果（圖4.3-3），但其脈衝波數量大多低於10次，且集中在噪音篩選門檻的下限（5次）。經過比對原始水下錄音之時頻譜圖之後，發現到這些聲音大多來自於甲殼類動物（如：槍蝦）在夜間發出的大量聲音，必須人工去除。

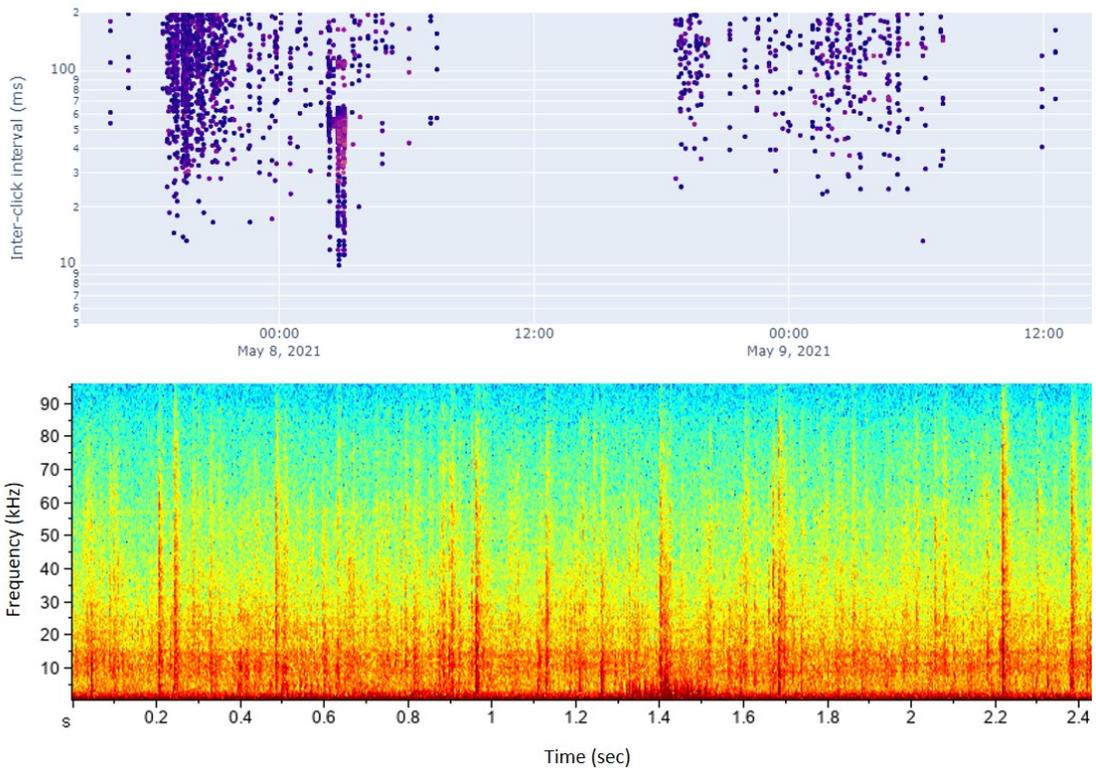


圖 4.3-3 甲殼類動物造成錯誤偵測之示意圖。上圖顯示甲殼類動物的脈衝聲波間距，可以觀察到大部分分佈在 40 毫秒以上，並沒有穩定的脈衝聲波間距。下圖為甲殼類動物聲音的時頻譜圖

藉由上述的流程檢查自動偵測結果並手動去除掉噪音之後，從直方圖分析中可以觀察到搭聲間距的分佈與過去觀察到的普瓦松分佈相似（圖4.3-4）。此外，在數秒內的時間尺度中觀察搭聲間距隨著每次偵測到的搭聲之變化，也可以確認這些保存下來的偵測結果都具有平滑的搭聲間距變化。若是數十秒至數分鐘的時間尺度看同一個分佈

圖的時候，還能觀察到多樣化的搭聲間距操作特性。例如圖4.3-5所顯示之範例，隨著每次回聲定位事件逐步下降，可以推測白海豚正在逐步接近其鎖定的獵物。

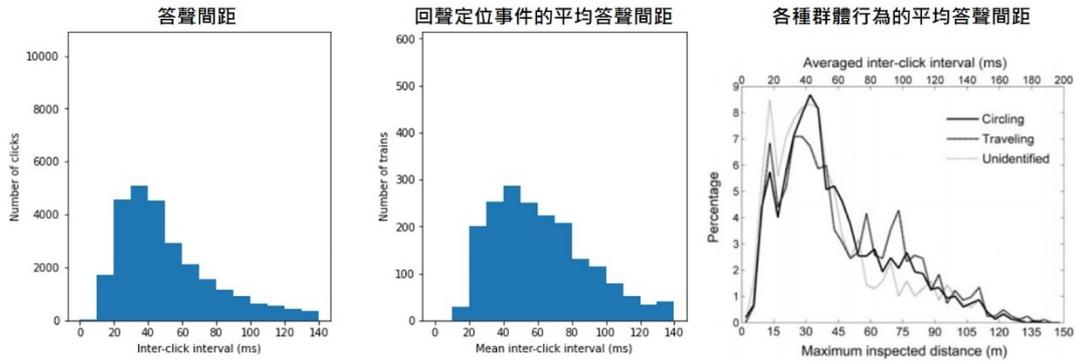


圖 4.3-4 苗栗中港溪口測站經過人工篩選噪音的搭聲偵測結果。左圖顯示所有搭聲間距之資料分佈，中間圖顯示所有回聲定位事件的平均搭聲間距之資料分佈，右圖顯示 Lin et al. (2013) 運用水下聲音資料紀錄器偵測白海豚寬頻搭聲，在三種不同類型的群體行為之間所觀察到的回聲定位事件平均搭聲間距資料分佈趨勢

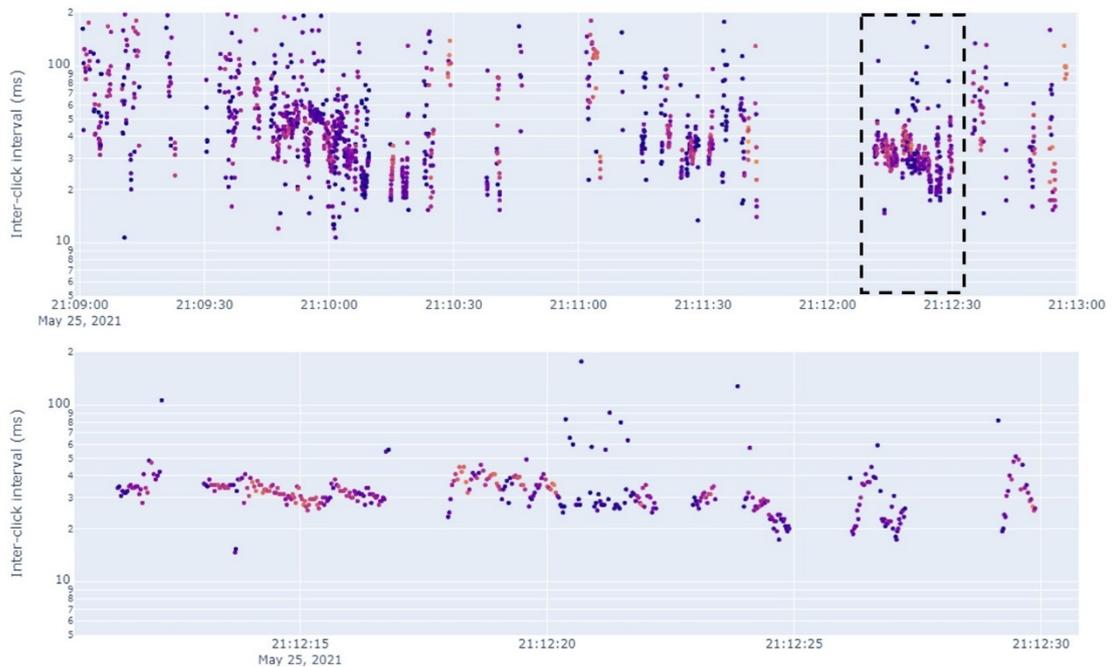
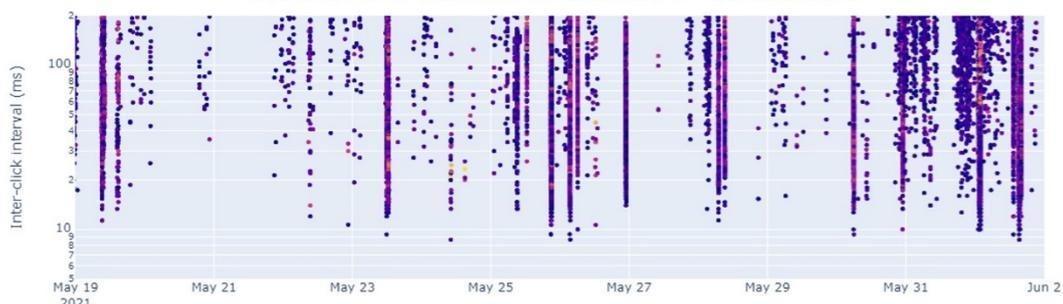


圖 4.3-5 經過人工確認過後的搭聲偵測結果。下圖為上圖虛線方框放大時間軸之結果，可以觀察到不管是在數分鐘或是數秒鐘的時間尺度，正常的白海豚寬頻搭聲都具有漸進變化的搭聲間距操作特性

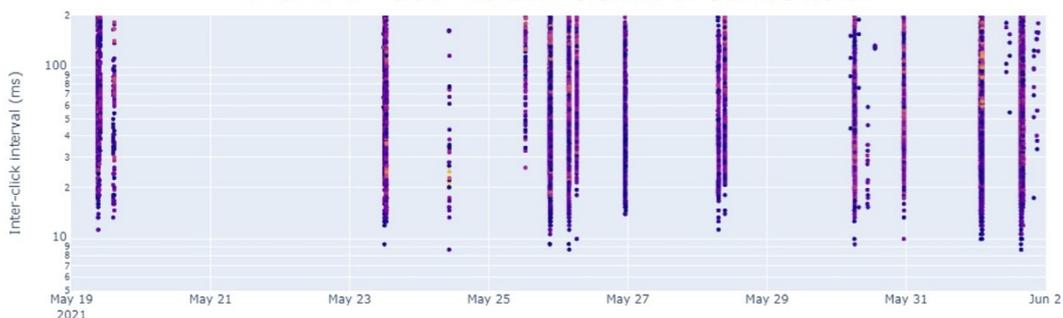
從本計畫執行自動偵測白海豚寬頻搭聲的過程中，我們也注意到，當某個時段偵測到的搭聲間距大多高於40毫秒的時候，則該時段的偵測結果通常具有較低的可信度，可能以噪音為主（圖4.3-6）。若是希望簡化人工篩選噪音的過程，則可以採用較嚴格的偵測閾值設定。例如，在噪音篩選器去除掉訊雜比低於2分貝，以及搭聲間距變化平滑度大於0.5的訊號，在這個設定下所取得的偵測結果可以將誤報率降至非常低（圖4.3-6）。然而，這個做法也將會篩選掉訊雜比較低的寬頻搭聲（例如：距離錄音機較遠之個體的聲音），降低我們能夠觀察到的搭聲數量，而影響後續利用搭聲間距資訊評估白海豚群體利用回聲定位進行覓食的行為（圖4.3-7）。

因此，研究人員在進行白海豚寬頻搭聲的分析工作時，若是要直接運用自動偵測結果調查白海豚進行回聲定位的主要時間，則建議使用較高的偵測閾值，以降低誤報率。但若是希望運用自動偵測結果調查白海豚的群體行為，例如以搭聲間距評估群體使否在覓食或移動旅行，則建議使用較低的偵測閾值，以提高偵測率，再輔以人工進行噪音篩選。

採用較低偵測閾值之寬頻答聲偵測結果



經過人工篩選噪音之寬頻答聲偵測結果



採用較高偵測閾值之寬頻答聲偵測結果



圖 4.3-6 苗栗中港溪口測站為期 14 天的寬頻搭聲偵測結果在不同分析流程下之比較。上圖為採用較低偵測閾值之結果、中圖為採用較低偵測閾值之後再經過人工篩選噪音之結果，下圖為直接採用較高偵測閾值而不經過人工篩選噪音之結果

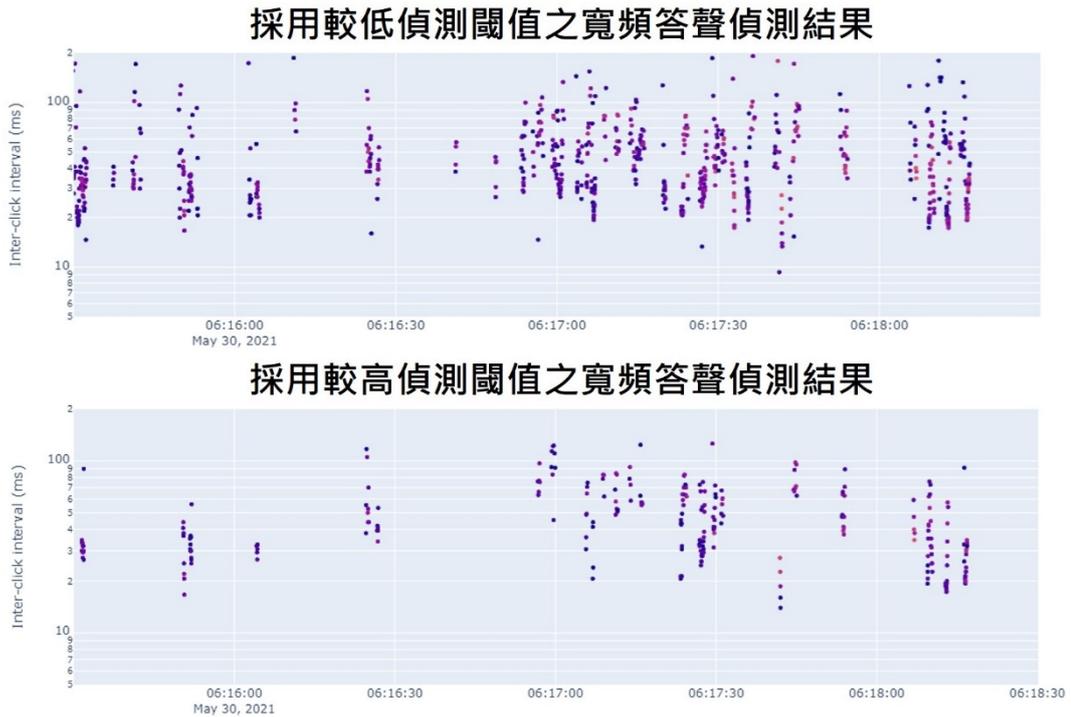


圖 4.3-7 三分鐘水下錄音的寬頻答聲偵測結果在不同分析流程下之比較，上圖為採用較低偵測閾值之後再經過人工篩選噪音之結果，下圖為直接採用較高偵測閾值而不經過人工篩選噪音之結果。

本計畫目前所使用之聲音偵測、噪音篩選程式碼已經公開發布於 GitHub 網站上，提供以 Python 程式語言撰寫的開放程式碼（https://drive.google.com/file/d/1nqYRIZ6HF3z_dX6Ply2aEMnXoXfwelEm/view?usp=sharing），協助其他研究人員進行白海豚聲音的自動偵測、噪音篩選等分析工作（圖4.3-8）。

▼ 中港溪口近岸

▼ 整合大量偵測資料

1. 設定偵測結果TXT檔案所在位置。
2. 合併為CSV檔案。
3. 將CSV檔案存於雲端資料夾，後續直接讀取合併的CSV即可。

```
[ ] 1 #path='/content/drive/MyDrive/海洋保育署2021白海豚棲地聲景監測計畫/白海豚答聲偵測結果/Miaoli Estuary Inshore/
2 #click_data=click_processing(folder = path, dateformat='ymmddHHMMSS', initial='5323.', year_initial=2000)
3 #click_data.original_detection.to_csv('/content/drive/MyDrive/海洋保育署2021白海豚棲地聲景監測計畫/白海豚答聲偵
```

▼ 自動噪音篩選

1. 讀取合併後的CSV檔案，並設定噪音篩選器的參數，自動處理所有的偵測結果。
2. 設定偵測結果TXT檔案所在的位置，讓程式計算錄音努力量。
3. 繪製答聲偵測結果的時間變化 (詳細說明見後續的分析答聲偵測結果)

```
[ ] 1 click_data=pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/海洋保育署2021白海豚棲地聲景監測計畫/白海豚答聲偵測結果/Miaoli
2 click_after_filter=noise_filter(click_data, min_snr=1.3, max_ici=0.2, min_pulses=5, max_pulses=None, max_s
3 click_after_filter.effort_calculate(path='/content/drive/MyDrive/海洋保育署2021白海豚棲地聲景監測計畫/白海豚答
4 click_after_filter.plot_ici()
5 click_after_filter.temporal_changes(time_resolution=60*30)
6 click_after_filter.plot_temporal_changes(min_number_trains=10, fig_width=20, fig_height=8)
7 click_after_filter.plot_click_summary()
8 click_after_filter.plot_train_summary()
```

Detected 33534519 signals.
 Removing isolated signals, there are 516472 signals left.
 Removing trains with a few pulses, there are 219040 signals left.
 Removing unsmoothed clicks, there are 215665 clicks left.
 Example: 5323.210531161533_S1.txt
 Please review whether the date and time are retrieved correctly.
 Year: 2021
 Month: 05
 Day: 31
 Hour: 16
 Minute: 15
 Second: 33

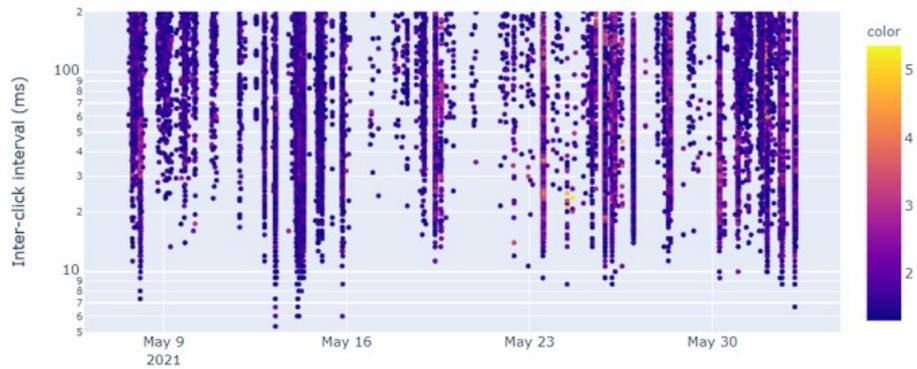


圖 4.3-8 運用 Google Colaboratory 筆記本串聯開放雲端資料、開程式碼，以互動式的程式碼操作學習白海豚聲音的自動偵測、噪音篩選工作流程。

附錄二、工作流程與方法

附錄二 工作流程與方法

1.1 被動式水下聲學監測系統作業流程

被動式水下聲學監測 (passive acoustic monitoring, PAM) 係指透過聲學儀器，被動地接收偵測目標所發出的聲音來進行監測，近年來廣泛應用於水下與陸域之生態調查，而被動式聲學監測根據不同調查目的與調查目標，主要有「固定式」與「移動式」兩種調查方法，儀器設備選擇又可分為「即時監測系統」與「非即時監測系統」，一般而言，若要取得長時間之生態資料，會選擇固定式方法為主，常見的固定式調查方法有底碇式或懸掛式等兩種設置方式，同樣根據調查目的與監測目標而定，而移動式調查方法則多應用於大空間尺度之調查，透過船隻拖曳聲學儀器來進行。

本計畫透過建立底碇式水下聲學監測站，進行長時間尺度的連續監測，以了解調查區域之鯨豚活動模式並進行棲地品質評估。一組底碇式監測系統包含錨碇系統 (底碇重物、繩索、船錨、浮球等) 與聲學儀器 (圖1.1-1)。利用所取得之錄音資料，偵測鯨豚發出的水下聲音 (回聲定位聲音) 來分析鯨豚的出現時間 (Lin et al., 2013)，以及海洋聲景組成與變化。本計畫採用Soundtrap 300 HF海洋錄音機收集水下錄音，Soundtrap 300 HF可以有效收錄20赫茲-150千赫茲頻率範圍之聲音，其自有噪音在2千赫茲以上之頻率範圍約為37分貝 (參考數值：1微帕斯卡)，且最高可達576千赫茲的取樣頻率，包括臺灣白海豚與露脊鼠海豚等臺灣西岸主要關鍵物種的聲音皆可被有效收錄，故Soundtrap 300 HF相當適合用於監測臺灣西岸的鯨豚 (表1.1-1)。而本計畫針對白海豚之監測，其錄音機排程設定與採樣頻率規劃，以每5分鐘錄音5分鐘、取樣頻率192千赫茲的排程設定進行採樣。

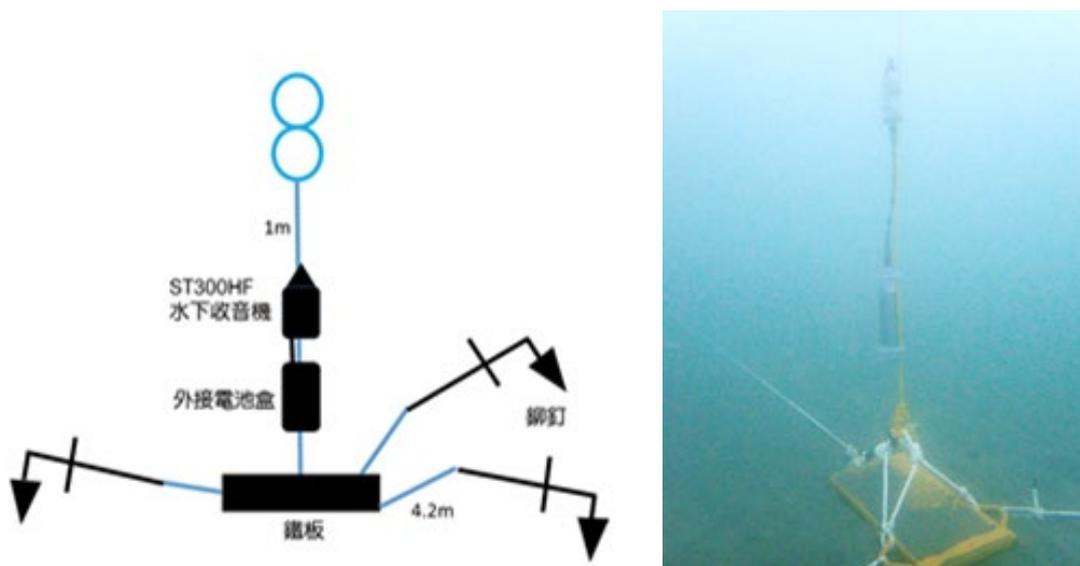


圖 1.1-1 水下聲學監測站佈放示意圖

表 1.1-1 Soundtrap 300HF 儀器規格

儀器項目	數值
頻帶寬度	20 Hz-150 kHz \pm 30 dB
自有噪音	優於海況 (10 Hz-2 kHz) 並在 2 kHz 以上之 頻率範圍約為 37 dB (參考數值: 1 μ Pa)
高通濾波器	在高能量站點可使用 (400 kHz)
採樣頻率	576, 288, 192, 96, 72, 48 kHz (HF model)
轉換器 (ADC)	16-bit SAR
記憶體	256 GB
內部電池	可連續使用長達 13 天
外接電池	需要 3 顆 D 型電池, 可連續使用長達 70 天
最大深度	500 m

1.2 建立長期聲學監測站

1.2.1 聲學監測站佈放區域選定

海保署「108年度臺灣西部沿海白海豚族群監測計畫」曾綜整台大周蓮香教授、王愈超博士與黃祥麟教授等3個研究團隊之研究成果，

並根據Dares et al. (2017) 使用之棲地重要性指標，盤點出4處優先復育區建議劃設區域，由北至南分別為苗栗通霄至大安溪口（苗栗）、台中港（台中）、大肚溪口南岸與彰濱工業區（彰化）、雲林台西至北港溪口（雲林）等。本計畫綜整評估4處優先復育區之現況，根據歷年調查結果與本團隊之調查經驗，並考量白海豚族群現況、漁業衝突以及所面臨開發議題等因素，最後挑選出「苗栗通霄至大安溪口」以及「雲林台西至北港溪口」建立2處水下聲學監測站，並根據雙重梯度原則於2處監測站分別建置3個及2個水下聲學儀器佈放點位，雙重梯度之設計可根據主要目標監測物種的生態特性與棲地環境特性而定（Ellis & Schneider, 1997）。本計畫參考白海豚在臺灣西部海域的分布梯度，將於不同水深（梯度1）和南北緯度（梯度2）海域定點收集長時間水下錄音，再依調查區域的形狀與海底地形規劃各佈放點位之位置，藉此了解白海豚與其他可能出現的齒鯨在調查樣區內的時空分布變化特性。

苗栗海域之監測站參考觀察家生態顧問有限公司過去2018年至2020年執行水下聲學研究調查之點位（黃光敬等人，2021），依據過往經驗及與船長討論之結果，以「海洋風場水深20公尺區」、「崎頂外海淺水區」及「中港溪口淺水區」設為本計畫調查點位，此區域點位依據水深及南北緯度差異加以設置，且該海底環境皆為泥沙地。雲林海域之監測站則參考過去於苗栗新虎尾溪口之水下聲學調查點位（Lin et al., 2013）（圖1.2.1-1），並與當地船長討論後，在「海氣象樁」及「新虎尾溪口定置漁網旁」設置調查點位，海氣象樁附近為成功大學調查團隊長期佈放之點位，當地漁民了解該點位為調查研究區域，因此不會在此進行漁業活動；而定置漁網以捕捉鰻苗為主，其主要漁業作業時間為冬季，但預防夏季會有其他額外漁業作業，因此將點位外移約500公尺。雲林海域兩個點位之水深皆低於15公尺，其海底環境皆為泥沙地。

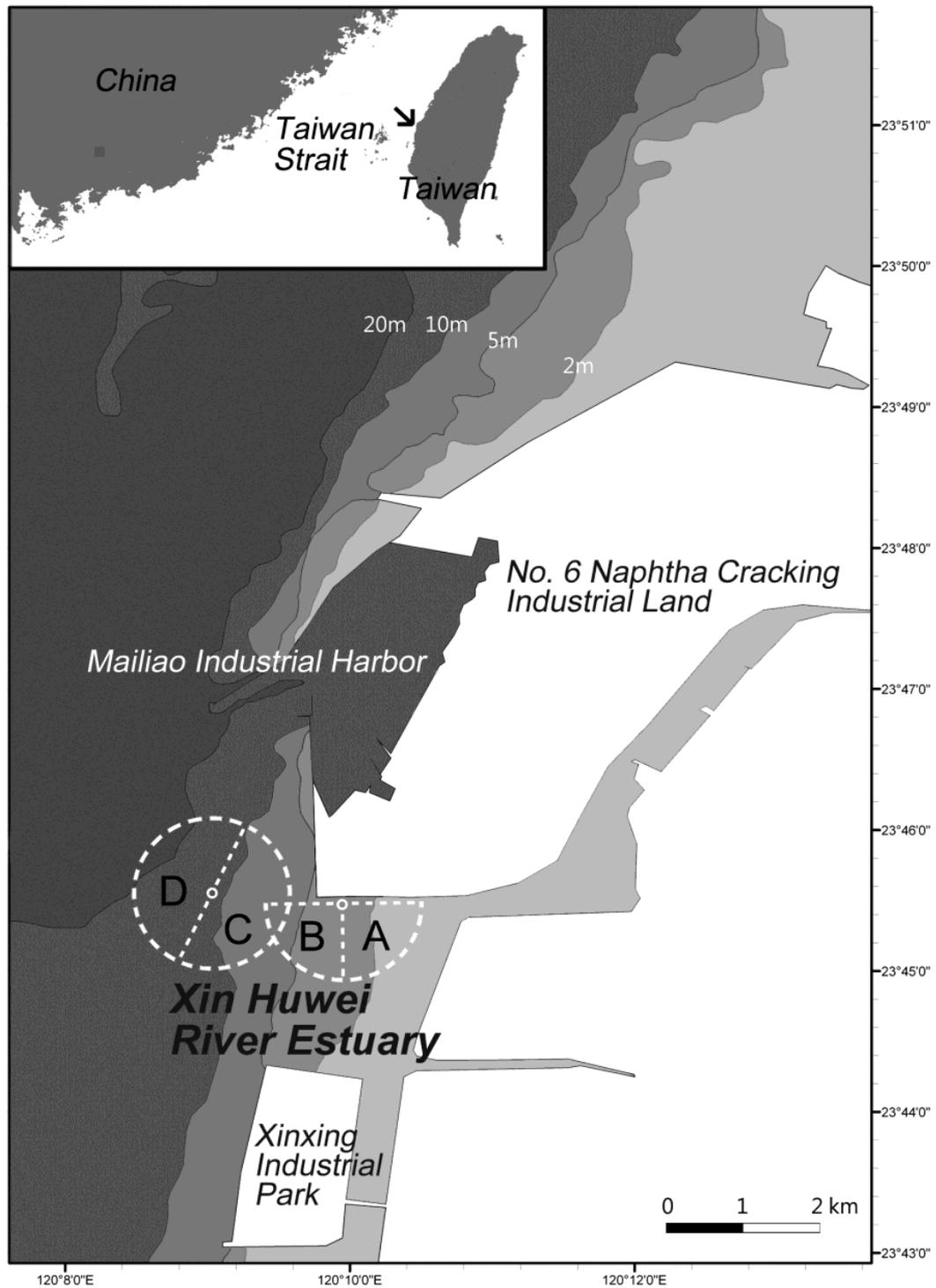


圖 1.2.1-1 2013 年雲林新虎尾溪口之水下監測站點位

1.2.2 佈放位置

本計畫佈放水下錄音監測站之位置主要分為苗栗及雲林兩個近

岸海域（圖1.2.2-1）。苗栗海域設置3組水下聲學監測站（M1：苗栗海洋風場、M2：苗栗崎頂外海、M3：苗栗中港溪口），雲林海域則設置2組水下聲學監測站（Y1：雲林海氣象樁、Y2：雲林新虎尾溪口）。除了M1監測站水深約為17.5-18.5公尺以外，其餘監測站平均深度在5.5-10公尺左右，且所有監測站周遭環境之底質皆以泥沙為主。

水下聲學監測站以底碇之方式建立，將底碇重物固定在海床上，利用繩索將底碇重物與長約2.5公尺的浮球相連，再將錄音儀器固定於繩索上離海床上約1公尺的位置，並在佈放時依據當地海洋環境特性適當調整儀器固定的方法，以避免海面風浪噪音、海流噪音、儀器固定設備撞擊、摩擦產生的噪音干擾錄音資料。雲林Y1監測站由於水深較淺，如果用上述佈放方法，浮球容易於退潮時露出水面，可能增加被漁民捕撈之風險。因此調整儀器固定方法，將U型環之長度增長至35公分並套上塑膠水管，再用束帶把儀器固定在U型環上，電池盒則是利用繩索及束帶固定於鐵板上。由於缺少浮球不利搜索，因此於其中一根船錨上利用PE繩繫上小型浮球一顆，且該浮球必須距離海床約1公尺，以利後續潛水夫搜索作業。

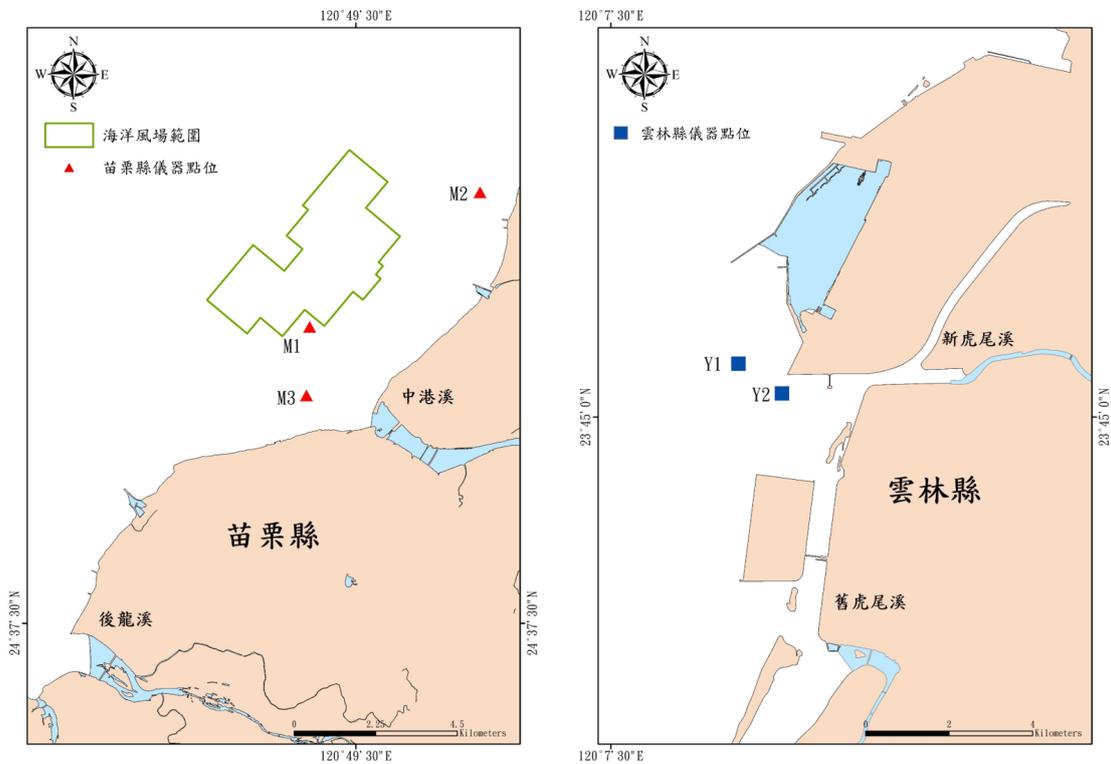


圖 1.2.2-1 苗栗（左）與雲林（右）海域水下監測站位置

1.3 白海豚棲地聲音辨識

1.3.1 聲音視覺化分析

本計畫彙整過去在台灣西部沿海收集到的水下聲音資料，建置一個聲音資料庫。由於許多水下聲音，例如白海豚的搭聲、甲殼類動物的聲音以及魚探機，其主要能量皆分布於人耳無法聆聽的超音波範圍，必須仰賴聲音視覺化，才能有效了解各種聲音的特徵。

聲音視覺化分析可以透過以下幾種方式：波形圖、時頻譜圖、功率譜密度，此外，針對脈衝聲波也可以量測一連串脈衝聲波之間距。波形圖 (waveform) 是錄音原始訊號的呈現，代表著時間與電壓振幅的關係。波形訊號經過快速傅立葉轉換 (fast Fourier transform, FFT) 可以製成時頻譜圖 (spectrogram)，橫軸為時間，縱軸為頻率，顏色代表的是能量強度。時頻譜圖的解析度與所使用的快速傅立葉轉換視窗長度有關，若我們設1024取樣點為視窗長度，且視窗之間的重疊度為80%，在取樣頻率為192千赫茲的錄音資料可以產出一張時間解析度為1.067毫秒、頻率解析度為187.5赫茲的時頻譜圖。在時頻譜圖上，窄頻聲音訊號為水平直線，相對地，寬頻聲音訊號為垂直線。功率譜密度 (power spectral density, PSD) 則描述整段錄音資料中，聲音能量隨頻率而變動的趨勢。

在水下錄音資料中，經常同時會收錄到來自環境的背景噪音與各種不同聲源發出的聲音。為了要有效降低背景噪音的影響，我們量測每個頻率的功率譜密度中位數，將其設為背景噪音，再將訊號減去背景噪音後計算出訊雜比 (signal-to-noise ratio, SNR)。接著，再進一步量測去除背景噪音後的功率譜密度平均值，以呈現出各聲音類別的主要頻率分布特性。

針對白海豚的搭聲，我們額外分析了搭聲間距 (inter-click interval)，以進一步了解白海豚回聲定位的行為。首先，我們挑選出訊雜比大於8分貝的搭聲，計算連續兩個搭聲之間的時間，便能得知搭聲間距隨著每次搭聲而變的趨勢。這個方法雖然也能應用於其他具有多脈衝波特性的聲音 (例如：魚類聲音、魚探機噪音)，但可能會受到雜訊干擾而影響脈衝波間距 (inter-pulse interval) 的量測精準度。

因此，我們量測聲音能量時間序列的自相關係數（autocorrelation coefficient），藉由自相關係數隨著時間間距的變化，觀察目標聲音是否有穩定的脈衝波間距。若目標聲音有穩定的脈衝波間距，則會在自相關係數的分布上呈現單一高峰，若有多個穩定的脈衝波間距，則會呈現多個高峰的情況，若脈衝波出現為隨機形式，則自相關係數就不會形成高峰。

1.4 被動式水下聲學監測白海豚棲地利用

1.4.1 回聲定位搭聲偵測

在偵測回聲定位搭聲的工作流程中，本計畫採用聲源分離模型作為基礎，從時頻譜圖中辨識寬頻脈衝聲波、再搭配噪音篩選器，自動化分析水下錄音資料（圖1.4.1-1）。

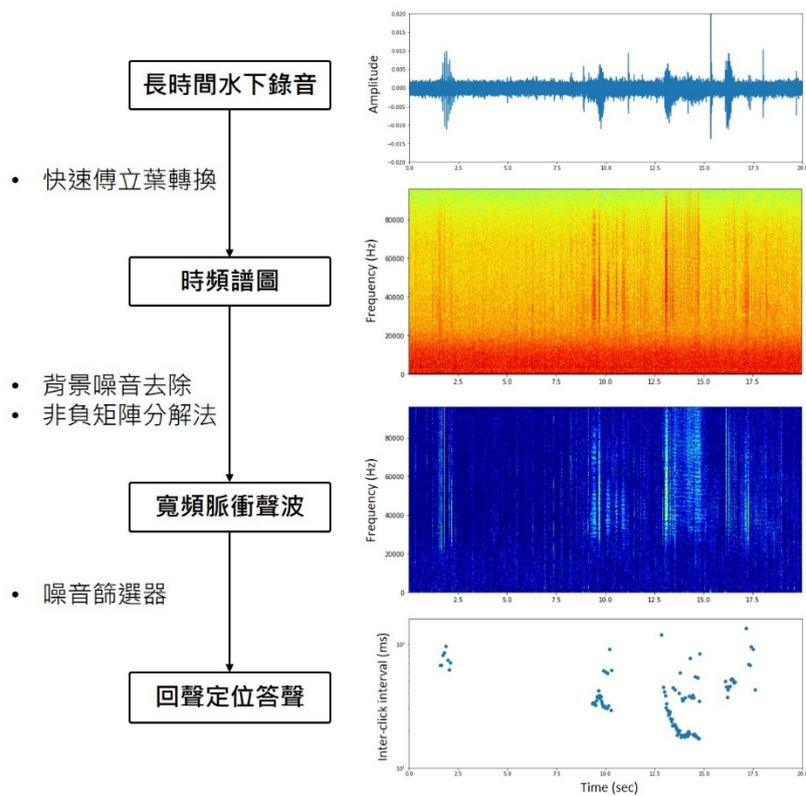


圖 1.4.1-1 白海豚寬頻搭聲之自動處理流程

首先，針對每個五分鐘的水下錄音檔案進行快速傅立葉轉換，設定快速傅立葉視窗為128個取樣點，視窗之間的重疊度為50%。在此設定下，可以產生最高頻率為96千赫茲、頻率解析度為1500赫茲、時間解析度為0.33毫秒的時頻譜圖。搭配高斯模糊濾波器與加權移動平均法推估背景噪音在各頻率位置隨時間而變的趨勢之後，將原始的時頻譜資料與推估之背景噪音相減後，即可獲得呈現聲音訊雜比的時頻譜圖。透過這個方式呈現水下聲音資料，可以強化白海豚搭聲等高強度的間歇性聲音，並去除掉環境中的持續性音源，包括：風浪噪音、遠方傳來的船隻噪音、錄音機產生的電子雜訊。

接著，本計畫運用中央研究院海洋生態聲學與資訊研究室所開發的寬頻脈衝搭聲分離模型，進行自動化搭聲辨識。此模型以非負矩陣分解法（Non-negative matrix factorization）作為基礎演算法，從白海豚搭聲的水下錄音資料中學習四個具有時變特性的寬頻頻譜特徵，並從水下噪音資料學習七個頻譜特徵，再運用這十一個頻譜特徵進行頻譜重建，以預測每個頻譜特徵在錄音資料中的時間啟動函數。此外，我們在聲源分離過程中隨機學習兩個額外的頻譜特徵，以降低因為模型訓練之不完備性而導致的錯誤偵測。透過上述步驟，即能重建白海豚寬頻搭聲的時頻譜圖，大幅抑制水下錄音中的槍蝦寬頻脈衝聲波、魚類鳴唱與其他非生物性噪音（圖1.4.1-2），並透過指定的訊雜比閾值與訊號頻寬來偵測每一筆白海豚寬頻搭聲的開始時間、結束時間、最低與最高頻率。

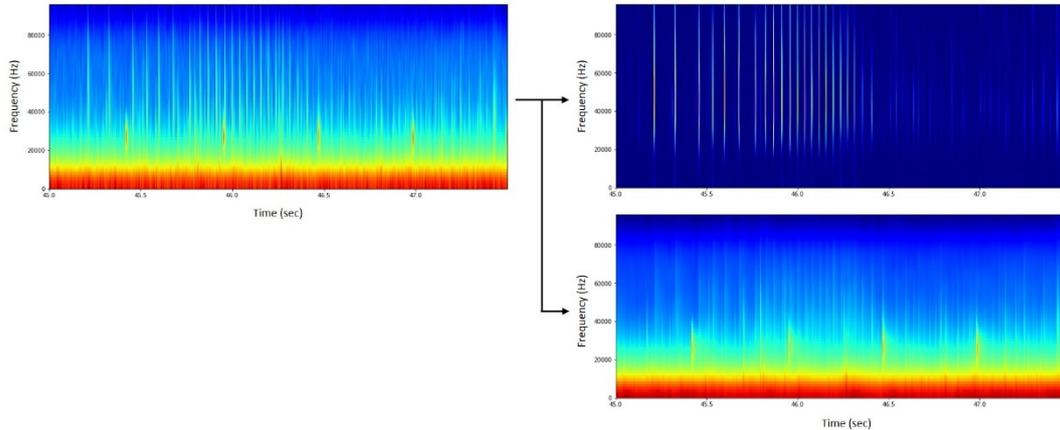


圖 1.4.1-2 透過機器學習分離白海豚寬頻搭聲和其他水下聲音之示意圖。左圖為水下錄音原始頻譜資料，右上圖為經過分離的白海豚寬頻搭聲，右下圖為其他水下聲音

由於台灣西部的白海豚族群數量稀少，調查地點也不一定一直有白海豚活動，儘管是高精度的聲源分離模型，在長時間水下錄音中仍有可能產出的一定比例的錯誤偵測。為了要進一步降低錯誤偵測，本計畫開發了一套噪音篩選器（圖1.4.1-3），可以依照指定的訊雜比閾值提高搭聲偵測的門檻。此外，透過量測每一筆寬頻搭聲的開始時間到下一筆寬頻搭聲之間的時間，保留指定之間距範圍內的搭聲，以減少因為聲音在水體中反射或是各種隨機出現的水下聲音造成的錯誤偵測。再依據指定的搭聲間距最大值判別不同的回聲定位事件，計算每次回聲定位事件中的搭聲數目，若是搭聲數量太低或是太高，就可能是少數隨機出現的槍蝦聲音和船隻聲納造成的錯誤偵測，便將其進一步刪除。最後，將每次回聲定位事件中的平均搭聲間距變化除以平均搭聲間距後，取得搭聲間距變化之平滑度（越低代表此回聲定位事件中的搭聲間距變化越平滑），再依照指定的平滑度閾值去除因為大量出現的槍蝦聲音造成的錯誤偵測。

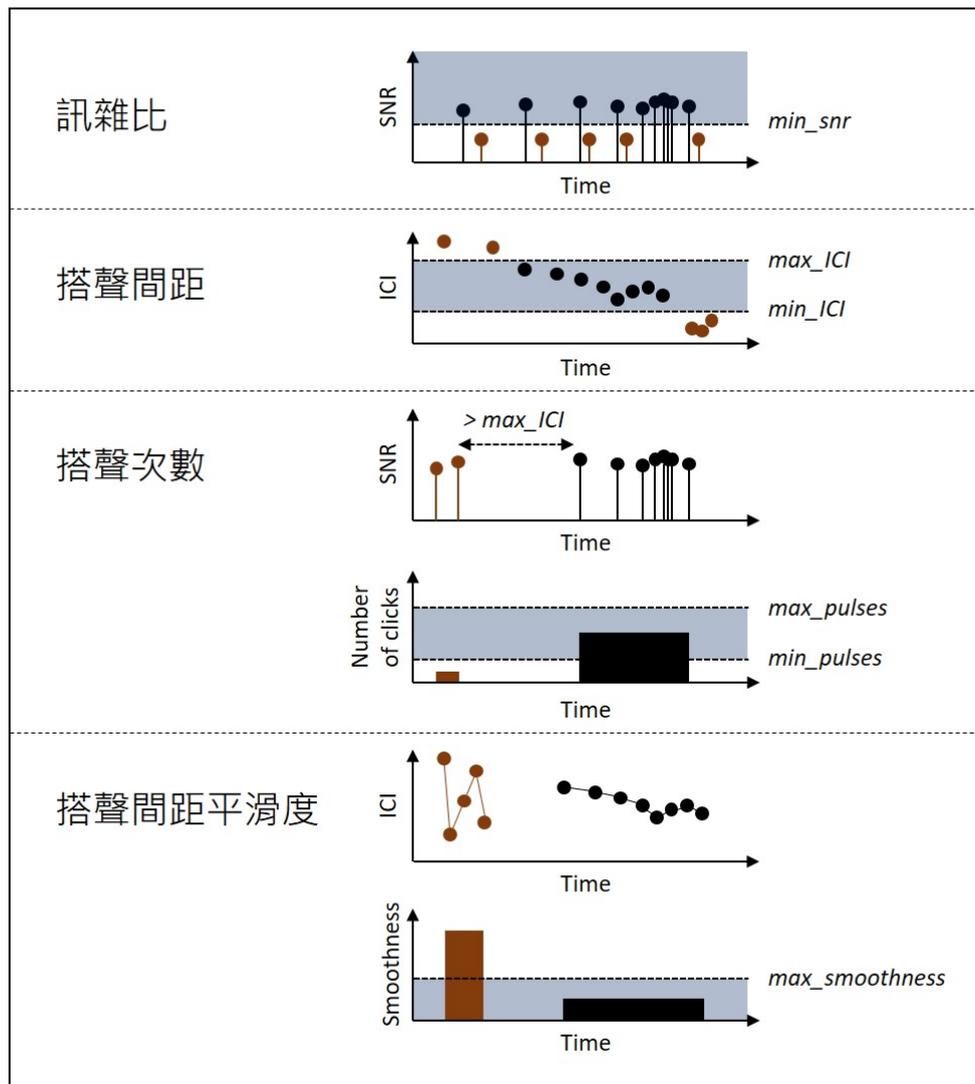


圖 1.4.1-3 噪音篩選器中的各項參數測量方法及噪音篩選邏輯之示意圖。淺藍色範圍與黑色虛線則代表能夠通過噪音篩選步驟的數值範圍，在每一個噪音篩選步驟中，黑色點代表保留下來的搭聲，咖啡色點代表經過篩選掉的訊號。

透過本計畫所應用之自動聲音偵測與噪音篩選流程，本計畫將保存每一筆白海豚寬頻搭聲出現時間、距離下一次搭聲之時間間隔以及訊雜比。此外，本計畫也針對每一次回聲定位事件，記錄其開始時間、時間長度、搭聲數目、搭聲間距平均值、搭聲間距最小值、搭聲間距最大值，搭聲間距變化之平滑度，以作為後續評估白海豚群體行為之依據。最終，本計畫藉由回聲定位事件的逐日變化趨勢，以協助評估白海豚發聲行為活動程度。

1.4.2 哨叫聲偵測與群體特徵分析

白海豚的哨叫聲主要分布在3至10千赫茲之間，時間長度約在0.05至1秒之間，且具有窄頻、隨時間而漸變的頻率操作特性。Lin et al. (2013) 研發了局部極大值偵測器 (Local-max detector)，並確認包含白海豚在內的許多種類鯨豚哨叫聲，都能夠有效透過局部極大值偵測器處理。因此，本計畫運用局部極大值偵測器作為基礎演算法，從水下錄音的頻譜資料中擷取高強度的窄頻聲音片段後，再搭配噪音篩選器提升哨叫聲偵測的正確率 (圖1.4.2-1)。

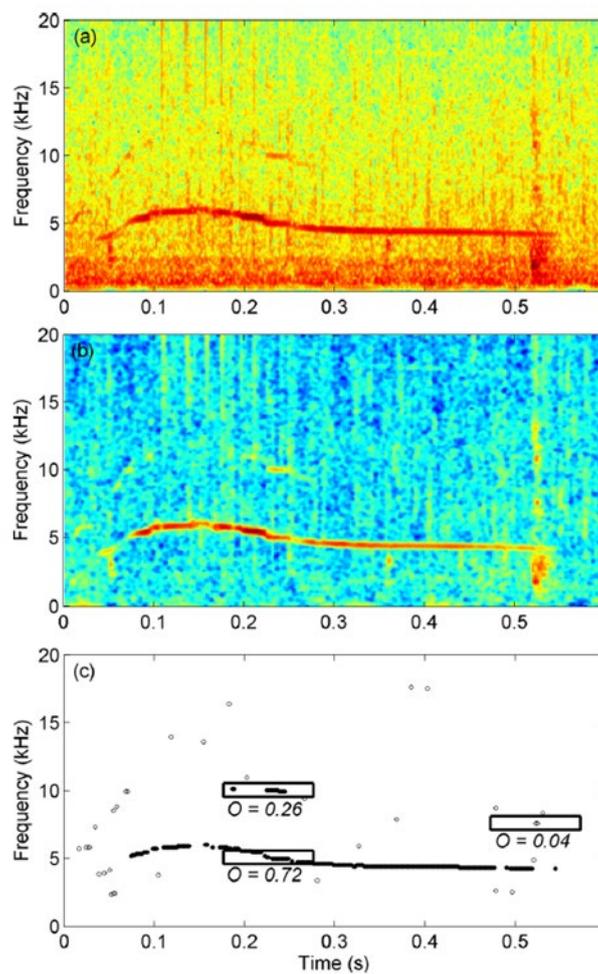


圖 1.4.2-1 運用局部極大值偵測器與噪音篩選器將鯨豚哨叫聲從錄音頻譜圖中分離出來之範例。(a) 原始水下錄音頻譜資料，(b) 經過高斯模糊濾波器與加權移動平均法進行頻譜資料平滑化之頻譜資料，(c) 運用局部極大值偵測器偵測出來的高強度窄頻聲音位置(空心圓點與黑色圓點)，並透過噪音篩選器計算哨叫聲片段偵測機率，以辨別哪些是鯨豚哨叫聲(黑色圓點)與噪音(空心圓點)。資料來源：Lin et al. (2013)

首先，針對每個五分鐘的水下錄音檔案進行視覺化呈現，設定快速傅立葉視窗為1024個取樣點，視窗之間無重疊，以產生頻率解析度為187.5赫茲、時間解析度為5.33毫秒的時頻譜圖。為了避免偵測到大量的低頻與高頻窄頻噪音訊號，本計畫僅針對2.5至20千赫茲之間，白海豚哨叫聲的主要頻率範圍進行後續分析。

本計畫所使用的局部極大值偵測器，會先透過高斯模糊濾波器與加權移動平均法進行頻譜資料平滑化，再透過計算功率頻譜的聲壓值二次微分的峰值位置分離出頻譜資料中具有高強度窄頻訊號的部分。接著，為了減少偵測到隨機性窄頻噪音訊號的機率，本計畫使用影像處理中經常使用的中間值濾波器 (median filter)，以確保只有頻寬大於500赫茲的窄頻訊號能夠被保留下來。

從過去針對白海豚聲音行為的分析可以發現，除了正在進行社交活動的白海豚群體較常發出哨叫聲，在其他行為類型的白海豚群體水下錄音中都有很高的機率無法偵測到任何哨叫聲 (林子皓, 2013)。因此可以預見在分析長時間水下錄音時，勢必會偵測到大量的噪音。為了要提高哨叫聲偵測結果的精準度，本計畫透過計算每個哨叫聲片段前後各0.25秒、頻率位置上下各1.5千赫茲的範圍內偵測到的哨叫聲片段偵測機率。若是偵測機率高於20%，才視為高可信度的哨叫聲偵測結果。

在群體特徵分析的部分，本計畫先透過搭聲偵測結果進行群體的判別，再針對每個群體所屬的哨叫聲進行特徵分析。本計畫沿用Lin et al. (2013) 在聲學偵測結果定義群體的方法，將每個群體定義為一連串偵測間隔時間不超過10分鐘的搭聲，這意味著若有兩筆搭聲的偵測間隔大於10分鐘，則這兩筆搭聲將被視為來自於不同群體 (圖1.4.2-2)。接著，針對那些時間長度大於1分鐘的群體，將其所屬的哨叫聲基音片段擷取出來。最後，計算每個群體的哨叫聲片段總長度，若總長度大於0.1秒，則計算在第5、50、95百分位數的頻率位置，並與過去的研究結果進行比較以評估這些哨叫聲的可能鯨豚種類。

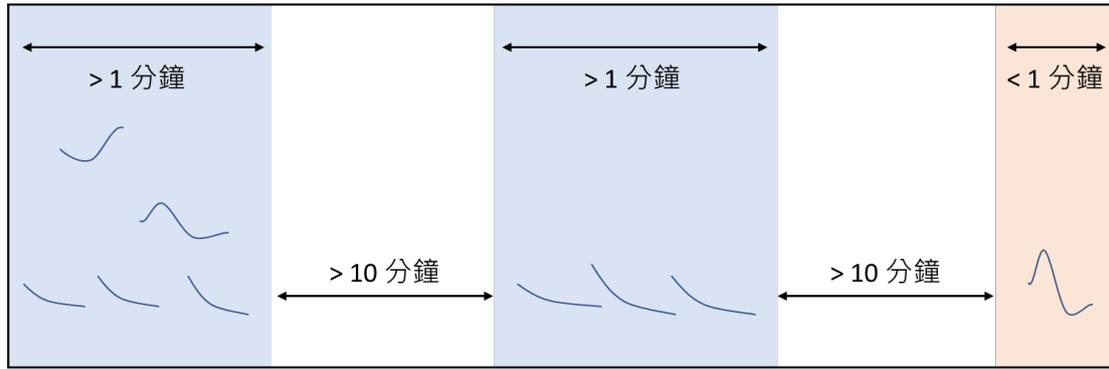


圖 1.4.2-2 運用聲音偵測結果判別群體之示意圖。藍色範圍代表符合分析條件的群體資料，紅色範圍代表不符合分析條件（時間長度小於 1 分鐘）的群體資料

1.5 運用海洋聲景監測白海豚棲地品質

1.5.1 海洋聲景特性與時空變化趨勢分析方法

為調查白海豚棲地範圍的海洋聲景特性與時空變化趨勢，本計畫將錄音資料轉換為長期時頻譜圖，以視覺化方法呈現海洋聲景隨時間與頻率的能量變化，再應用基於機器學習的聲源分離模型分析長時間錄音資料，以調查動物聲音的多樣性與人為噪音的變化趨勢。

(1) 長期時頻譜圖（long-term spectrogram）

本計畫運用 Soundscape Viewer 聲景訊息擷取工具箱 (https://github.com/schonkopf/soundscape_IR)，分析海洋聲景的變化趨勢。首先，我們應用長期時頻譜圖視覺化呈現海洋聲景中各種連續性聲源的出現時間與頻率特徵 (Merchant et al., 2015)。長期時頻譜圖是一種能夠有效呈現大量聲音資料在各種頻率與時間尺度下變化的方法 (圖 1.5.1-1)，已經廣泛使用於國內外的聲景研究 (Heard et al., 2021； Lin et al., 2021； Lin, Akamatsu, & Tsao, 2021)。

計算長期時頻譜圖的過程中，本計畫選擇 10 毫秒為視窗長度 (2048 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 赫茲的時頻譜圖，為了有效擷取聲景的變化趨勢，我們針對 0 至 20 千赫茲之間進行分析。接著，我們計算每五分鐘

聲音片段中，各頻率的功率譜密度之中位數，再將所有的五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。

製作完長期時頻譜圖之後，我們計算每個頻率位置的第25百分位數功率頻譜密度，並將其視為背景噪音。將長時間頻譜圖減去背景噪音後，便能以訊雜比（singal-to-noise ratio）觀察海洋聲景的變動特性。從過去的研究經驗來看，運用中位數分析得到的長期時頻譜圖，可以有效呈現錄音資料中的連續性聲源，例如：大量槍蝦產生的脈衝聲波、石首魚群合唱、船隻噪音（Lin, Akamatsu, & Tsao, 2021； Lin et al., 2019）。基於此項技術，本計畫將分析每個頻率的功率頻譜機率分佈，並針對不同日夜時段、季節、錄音測站進行比較，以建立白海豚棲地的聲景特性之基線資料（圖1.5.1-1）。

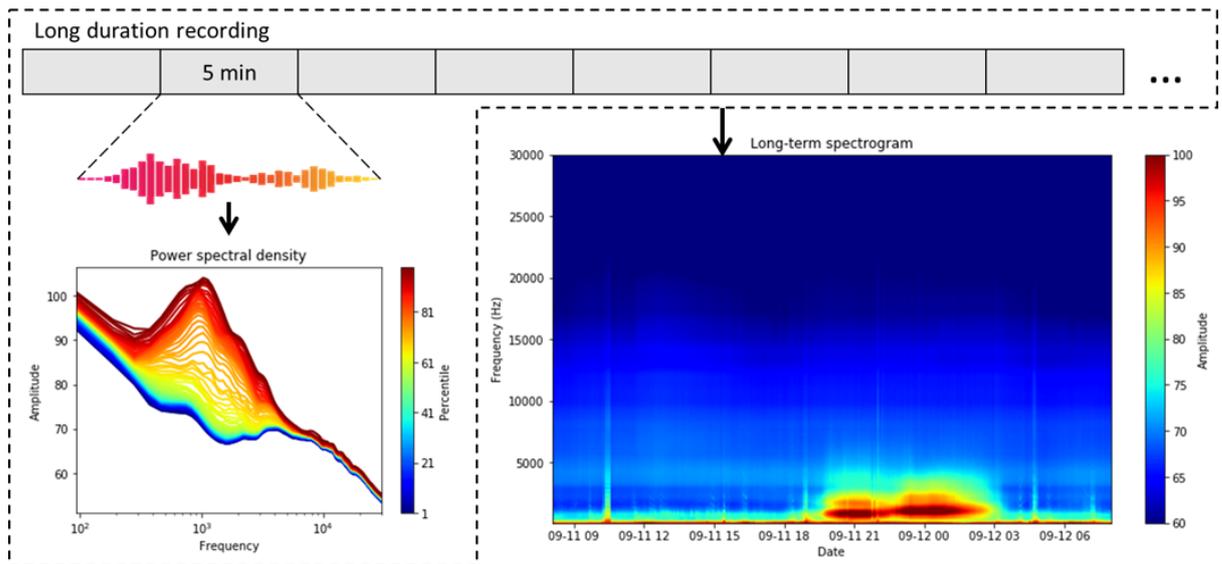


圖 1.5.1-1 運用長期時頻譜圖視覺化呈現長時間錄音之示意圖

(2) 聲源分離模型

雖然透過長期時頻譜圖能夠有效呈現海洋聲景的動態變化趨勢，但仍難以釐清生物性與非生物性聲音對海洋聲景的貢獻。有鑑於此，本計畫將運用機器學習模型分析長期時頻譜圖，降低聲源之間的相互干擾，並嘗試重建各類聲源的頻譜圖，以評估不

同錄音地點、時段之間的聲音多樣性變化趨勢。

本計畫所使用的機器學習模型是基於週期性編碼非負矩陣分解法（periodicity-coded nonnegative matrix factorization，簡稱PC-NMF）。此方法是一種非監督機器學習，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），哪些則屬於非生物性聲音（通常不具有高度日夜週期性）。完成特徵學習後，此模型即能夠有效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（圖1.5.1-2）。此方法已經在台灣西部沿海聲景進行過相關研究（Lin et al., 2017； Lin et al., 2019），可由圖2.4.1-3見過去研究結果。

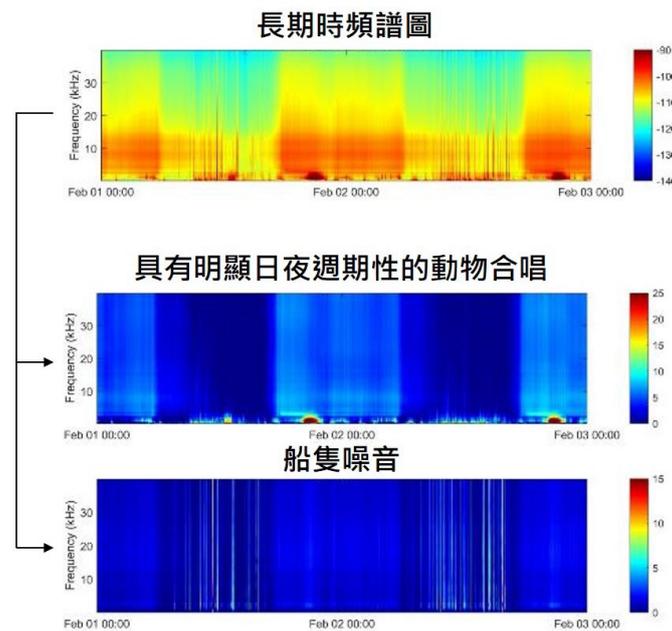


圖 1.5.1-2 運用 PC-NMF 分離長期時頻譜圖上的動物聲音與人為噪音

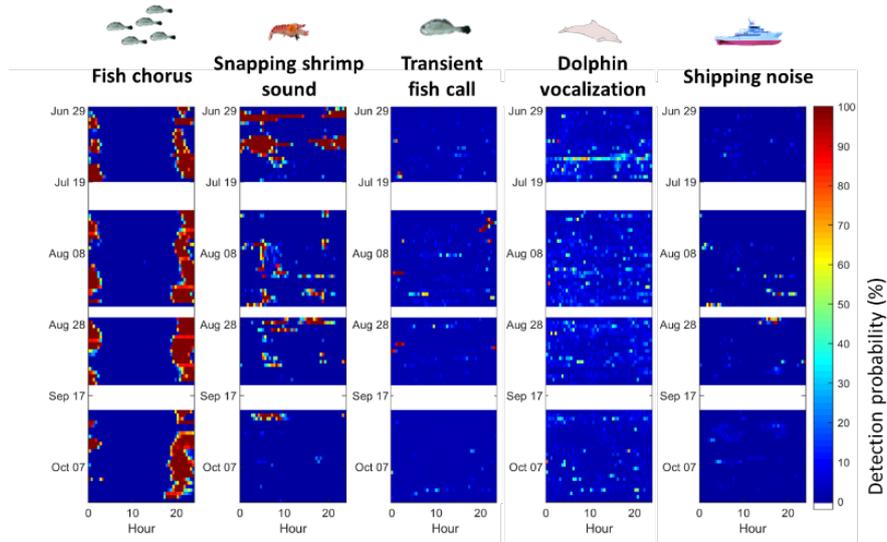


圖 1.5.1-3 用聲源分離評估苗栗海域動物聲音與人為噪音之時間變化趨勢。資料來源：Lin et al. (2019)

聲景性質因地區有差異，一個聲源分離模型可能無法適用於所有地點。舉例來說，在河口棲地表現好的聲源分離模型，可能在人工魚礁的分離效能很差。經過人工檢視長期時頻譜圖後，我們發現苗栗和雲林兩處海域的錄音資料有很大的差異，主要原因是因應苗栗海域的風場施工，人為噪音可能會長時間出現（圖 1.5.1-4），而造成兩地海域的聲景特性有明顯的差異。本計畫針對苗栗與雲林兩處海域分別建構一個聲源分離模型，苗栗海域模型共學習 52 個頻譜特徵，雲林海域模型共學習 60 個頻譜特徵，我們利用這些頻譜特徵重建三個聲源：魚類合唱、高頻聲音、人為噪音（船隻行駛噪音以及工程噪音），用以後續評估棲食餌可得性、棲地健康度、棲地受脅程度等各項棲地聲景指標。

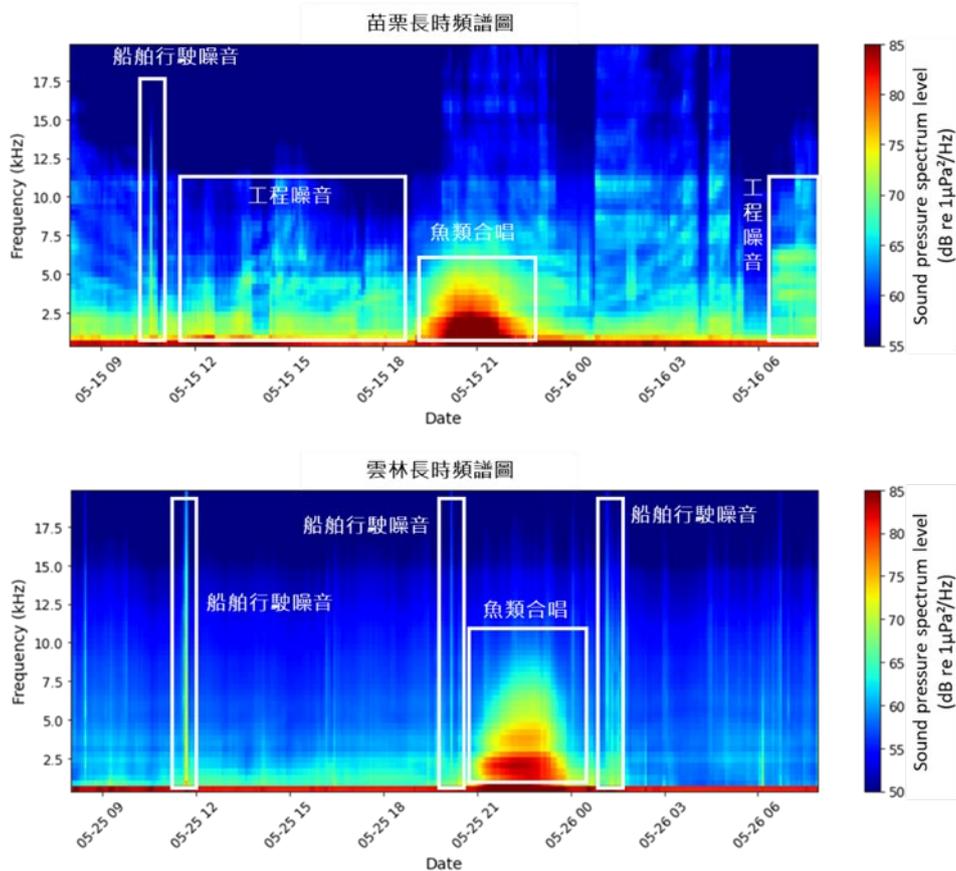


圖 1.5.1-4 苗栗與雲林海域隻長時頻譜圖範例

1.5.2 運用海洋聲景資訊評估棲地品質

本計畫透過分析海洋聲景中的動物聲音與人為噪音，建立一套基於聲景指標為基礎的棲地品質評估方法(圖1.5.2-1)，目標了解：(1) 白海豚的食餌資源可得性、(2) 白海豚的棲地健康度、(3) 白海豚的棲地受脅程度，以協助保育主管機關評估白海豚的棲地品質變化趨勢。

由於石首魚是臺灣西部海域主要的群聚發聲魚類 (Mok et al., 2011)，也是白海豚的主要食餌資源 (Barros et al., 2004；Parra & Jedensjö, 2014)，本計畫運用魚類合唱的聲源分離結果，以每12小時的聲音強度移動平均作為基準，當聲音強度高於移動平均值三分貝，則視為魚類合唱出現的時間。以此方式，本計畫得以計算魚類合唱強度在每日的偵測時間長度，做為石首魚群聚活動的指標，以協助評估白海豚的食餌資源可得性。

生物多樣性是棲地健康度的重要指標，若是一個棲地有越複雜的物種組成，則越可能從各種短期的自然、人為干擾中恢復。本計畫將聲源分離模型描述魚類合唱與高頻動物聲音的頻譜特徵擷取出來，並以k-平均集群分析演算法分析這些頻譜特徵的高於20%相對強度的啟動函數 (Lin et al., 2021)，最終分群個數 (k) 以至少可解釋90%的資料變異程度決定，以判別動物聲音在五個錄音測站和兩季之間的聲音類別組成。接著，本計畫再透過 Shannon 多樣性指數計算聲音類別組成逐日的變化趨勢，以作為海洋發聲動物群聚多樣性的指標，並協助評估白海豚棲地的健康度。

人為活動，包含漁業活動和沿近海工程開發，是威脅白海豚族群生態的重要因子。本計畫運用人為噪音的聲源分離結果，計算高強度噪音事件的發生次數，以及每日噪音強度之相對變化。高強度噪音事件，例如漁船、貨輪行駛經過錄音監測地點所產生的水下噪音，通常會在數分鐘至數十分鐘內呈現一個明顯的噪音強度變化，其峰值出現的時間點可以代表船隻距離錄音機最近的位置。本計畫透過尋找這些噪音強度的峰值位置，並計算每日的出現次數，作為船隻活動的聲音指標，以協助評估人為活動的頻繁度。然而，近年來在白海豚棲地範圍有許多地質探勘、疏濬、海纜鋪設等工程活動，雖然不會在短時間錄音之內產生如同船隻活動一般的強度變化與峰值，但仍會造成整體噪音強度的提升。本計畫透過計算人為噪音相對強度在每日之中位數，作為長期噪音干擾之指標。

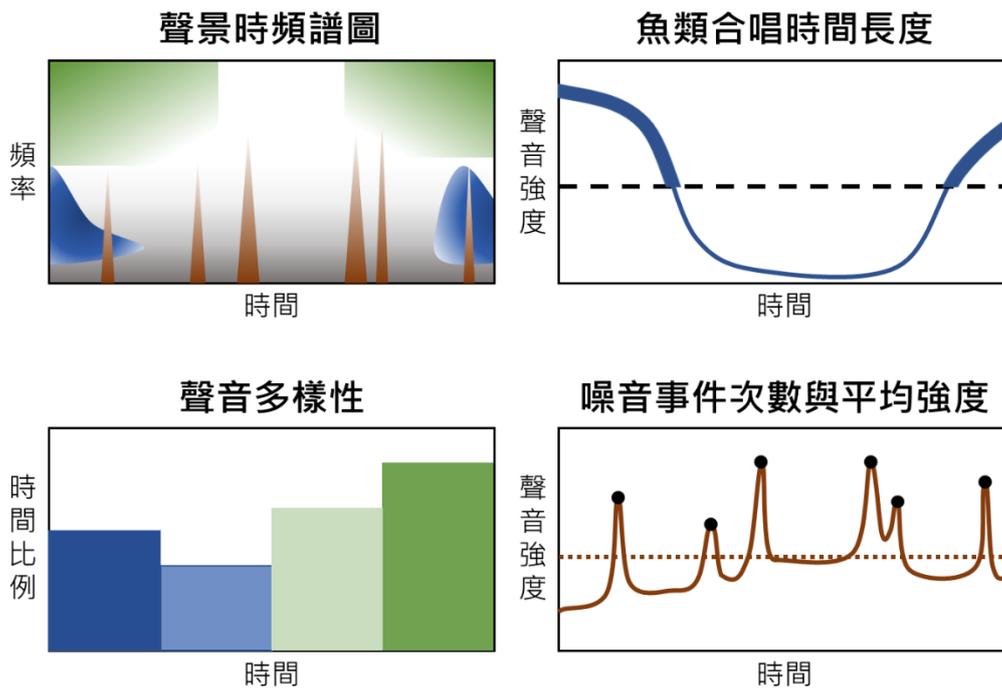


圖 1.5.2-1 運用聲景訊息進行棲地品質之評估示意圖。透過聲源分離模型辨識水下聲景中的各類魚類合唱、高頻動物聲音與人為噪音（左上），透過計算每日的魚類合唱時間長度評估白海豚的食餌資源可得性（右上）、以動物聲音多樣性評估棲地健康度（左下），並計算噪音事件之次數與中位數強度評估人為噪音對於棲地之潛在威脅程度（右下）

1.5.3 白海豚族群生存威脅因子評估

目前白海豚棲息範圍不僅遭遇自然氣候變遷等潛在衝擊影響，亦面對不少的人為活動之衝擊，由於台灣陸域可開發區域範圍逐漸減縮，又因應政府推廣能源轉型，因此近年有關風能及太陽能等的綠色能源開發案，都選擇在台灣沿近海岸與海域，而施工或運轉時所造成之噪音，亦會對白海豚的生存造成影響。

因此透過匯集歷年白海豚相關文獻結果與本計畫聲學分析結果，盤點台灣西部海域重點海事工程（如離岸風電開發），分析其工程對白海豚的生存影響，並以各事件發生機率、衝擊程度，對白海豚影響程度建置風險評估等級（圖1.5.3-1及1.5.3-2）和評分。

		恢復時間		
		快速	中等	緩慢
		< 1 年	1-5 年	>5 年
發生 機 率	不太可能	1A	2A	3A
	罕見	1B	2B	3B
	偶見	1C	2C	3C
	常見	1D	2D	3D

註：綠色為輕度、黃色為中度、紅色為高度風險。

圖 1.5.3-1 事件發生機率風險評估示意圖

		恢復時間		
		快速	中等	緩慢
		< 1 年	1-5 年	>5 年
生態 / 族 群 衝 擊	可忽略不計	1A	2A	3A
	部分受損	1B	2B	3B
	顯著衝擊	1C	2C	3C
	功能崩壞	1D	2D	3D

註：綠色為輕度、黃色為中度、紅色為高度風險。

圖 1.5.3-2 生態和族群衝擊風險評估示意圖

1.6 聲學學理教育訓練

本計畫開設「鯨豚被動式水下聲學調查應用」之室內學理培訓課程，課程內容將包括：基礎聲學理論、聲音擷取軟體操作，並搭配水下聲學儀器操作演練等，使參與人員對被動式水下聲學監測方法有基本的認識，並具備「執行調查工作」與「音訊分析」等工作所需之重

要背景知識，同時也將透過本計畫之實務經驗分享，使參與人員快速了解整個調查流程，包含從事前規劃到實際出海等每個環節所需注意的細節。

本課程會全程錄影，並提供課程規劃、課程講義，以及相關教學影音予海洋保育署，以利日後相關技術方法與工具得以有效運用，並使有需求之人員與機關方便學習與使用。課綱包含：「基礎聲學概論」、「臺灣鯨豚生態與發聲行為」、「被動式水下聲學監測介紹」、「聲學儀器操作說明」、「聲音擷取軟體操作」等，授課時間共8小時。

本課程講師有：中央研究院林子皓博士、王靜偉研究助理、觀察家生態顧問有限公司張家茂研究員、黃光敬計畫專員。林子皓博士為我國鯨豚聲學與海洋聲景研究領域之著名學者，從事鯨豚調查相關研究已有15年以上資歷，專業領域為海洋生態學、水下動物聲學、生態資訊、機器學習在生態領域之應用，近年致力於運用遙測平台（如水下聲學）協助監測海洋生物多樣性、水下聲景、海洋生態系與人為活動之間的交互作用、人為活動所造成的區域性、全球性環境變遷對生物多樣性之衝擊等研究；王靜偉先生則具有協助分析水下聲景及水下佈放調查之經驗；張家茂先生具有豐富鯨豚被動式水下聲學調查之現場執行與資料分析經驗，並曾多次受邀擔任鯨豚調查相關工作坊與鯨豚生態議題演講之講師；黃光敬先生亦具備豐富鯨豚被動式水下聲學調查之現場執行與資料分析經驗。

附錄三、白海豚聲音辨識特徵說明書

附錄三 白海豚聲音辨識特徵說明書

白海豚利用水下聲音溝通及感知周遭環境，目前已知的聲音類型主要可分為搭聲 (click) 及哨叫聲 (whistle)。白海豚的搭聲為寬頻、高強度的脈衝波聲音，頻率主要分布在20千赫茲以上的範圍，搭聲間距會隨時間而呈現漸進變動的趨勢，主要用於回聲定位、尋找獵物的行為 (Lin et al., 2015; Würsig et al., 2016)。相較於搭聲，白海豚的哨叫聲長度較長，通常為窄頻且具有頻率操作的特性，哨叫聲的頻率範圍主要分布在3至10千赫茲，用來與其它個體溝通及進行社交行為 (林子皓, 2013; Dong et al., 2019; Sims et al., 2012)。雖然白海豚的聲音已經在許多文獻中被記錄過，但在水下錄音資料的分析過程中，仍可能會因為海洋中的其他生物性與非生物性聲音，例如：槍蝦、魚探機發出的水下聲音，造成聲音辨識的困難。若僅針對白海豚聲音特徵進行分析，則會因缺乏其他聲音的知識而無法進行有效判斷。

在西部沿海除白海豚聲音之外，常見的生物聲音主要來自魚類以及甲殼類。魚類和甲殼類所製造的聲音主要有溝通、覓食、抵禦捕食者等行為。在西部沿海的發聲魚類以石首魚科為主，其聲音特徵為一連串低頻的脈衝聲波，日落過後在河口海域經常可以聽到石首魚群集體合唱 (Lin et al., 2019a; Guan et al., 2015; Mok et al., 2009; Mok et al., 2011)。此外，槍蝦聲音與白海豚的搭聲相似，都是寬頻、高強度的脈衝波聲音，但主要分布在礁岩海域 (林子皓等人, 2015; Lin et al., 2019b)。除了生物聲音之外，西部沿海也經常可以聽到人為活動產生的水下噪音。在漁船作業時，魚探機會發出超音波且寬頻的脈衝聲波，其聲音特性部分與白海豚的搭聲相似。

本計畫彙整過去在台灣西部沿海收集到的水下錄音資料，建立一個小型的聲音資料庫，運用聲音訊號處理技術，視覺化呈現白海豚(哨叫聲、搭聲)、其他海洋發聲動物(魚類、槍蝦)以及人為活動(船隻噪音、魚探機)的水下聲音特徵，並探討那些聲學特徵可以有效用於聲音辨識與判別，以協助相關單位建立白海豚聲音以及其他水下聲

音的辨識能力。

1. 白海豚聲音

白海豚的搭聲為寬頻、高強度且時間長度極短的脈衝聲波，頻率主要分布在20千赫茲以上（圖1-1）。白海豚個體每次進行回聲定位時都會發出一連串的搭聲，一般而言，搭聲間距主要分布在10-200毫秒之間，且在一系列的搭聲中會隨搭聲而變動（圖1-2）。但有時可以觀察到有多隻白海豚個體同時回聲定位，這種情況下，搭聲間距就會呈現較為散亂的模式（圖1-3），但一般來說除非恰巧遭遇到個體數量較多或是行為較為活躍、複雜的群體，否則觀察到這種搭聲間距散亂的機率較低。

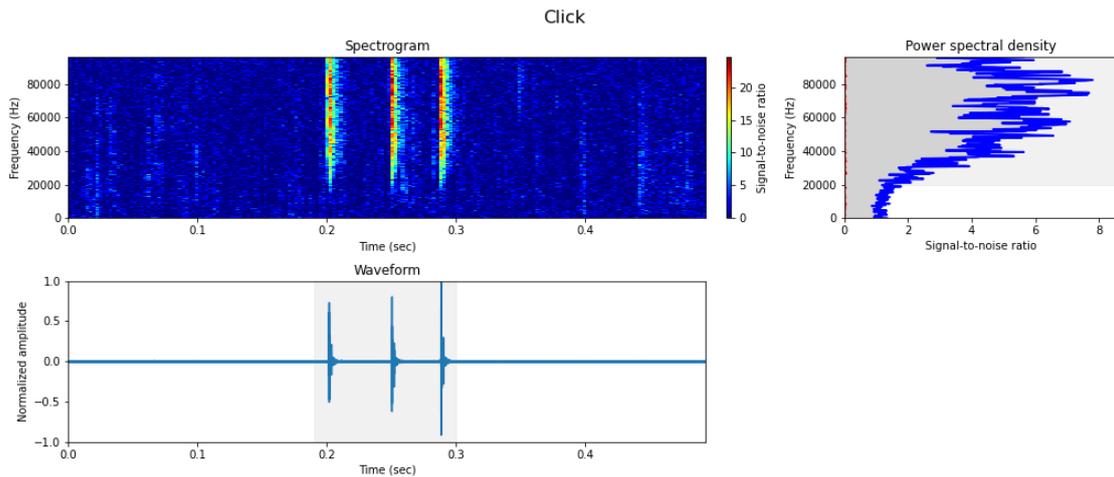


圖 1-1 白海豚搭聲。三次搭聲出現在 0.2 至 0.3 秒之間，聲音強度隨著頻率增加而提升。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍

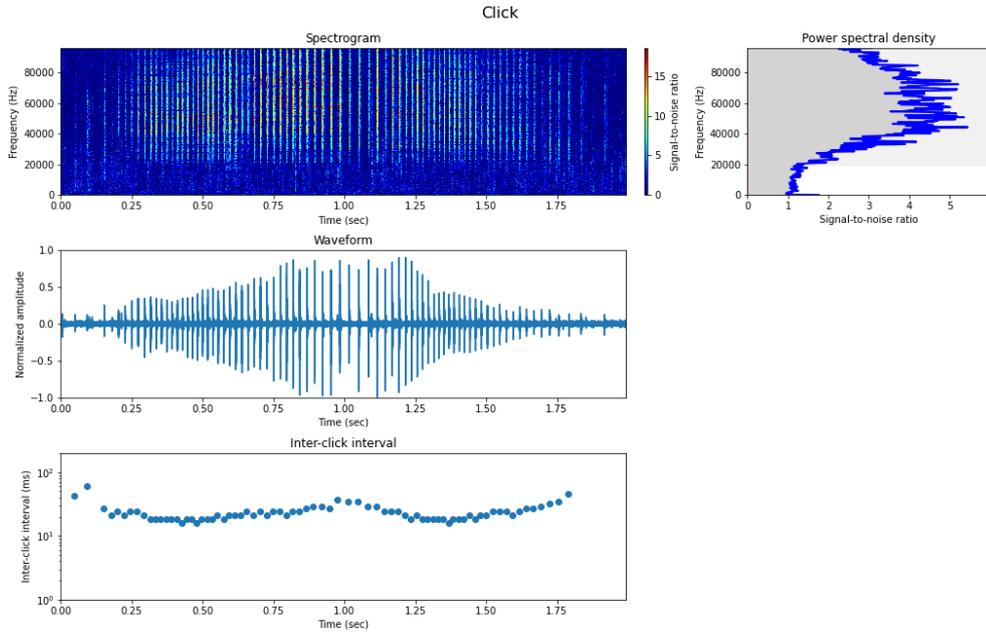


圖 1-2 單一白海豚個體連續搭聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左中為訊號波形，左下為搭聲間距的變化趨勢。在一連串的搭聲之間，聲音能量在 0.75 秒之前逐漸變強，並在 0.75 秒至 1.25 秒之間達到最高，之後逐漸減弱。搭聲間距的變化趨勢也呈現在一開始降低後，在 1 秒處升高，之後略為降低又在搭聲結束之前升高

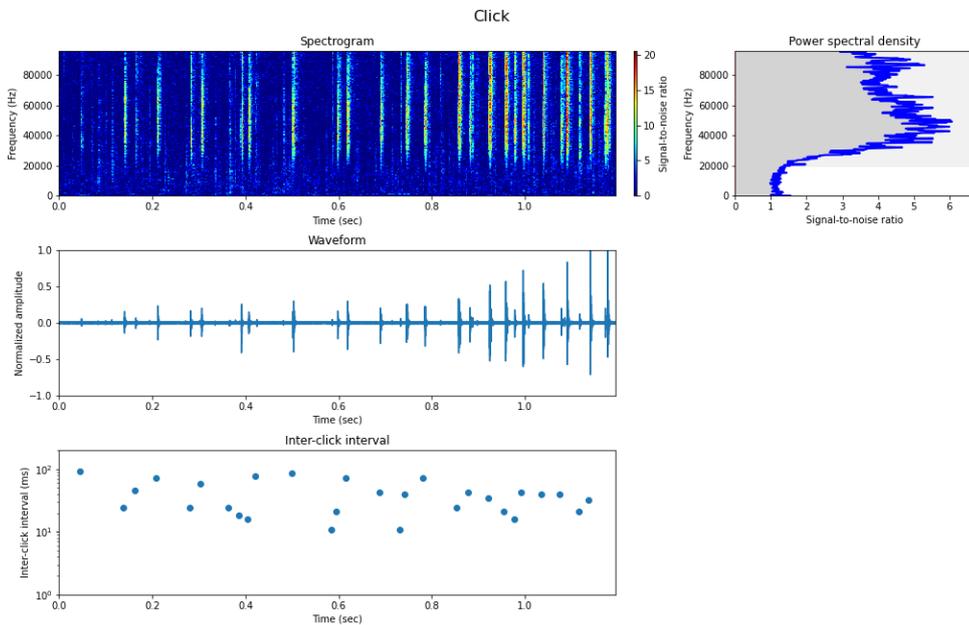


圖 1-3 多隻白海豚個體同時發出連續搭聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左中為訊號波形，左下為偵測搭聲間距結果。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍。從聲音強度和搭聲間距的變化，可以推測在此錄音中可能有兩隻白海豚分別發出連續搭聲

哨叫聲為相對窄頻且時間長度較長（通常不長於1秒），基音頻率（fundamental frequency）主要分布在3至10千赫茲之間。哨叫聲的頻率具有隨時間變化的特性，大致上可以分為六種類別，分別為穩定型（constant，圖1-4）、下降型（downsweep，圖1-5）、上揚型（upsweep，圖1-6）、下凹型（concave，圖1-7）、上凸型（convex，圖1-8）以及正弦型（sine，圖1-9）的哨叫聲（Dong et al., 2019； Sims et al., 2012），但最常見的類型為頻率範圍（最小頻率至最大頻率之間的範圍）不超過2千赫茲的穩定型、下降型與上揚型，當哨叫聲的頻率範圍增加，被偵測到的機率就大幅降低（林子皓，2013）。無論何種類型的哨叫聲，都可能在基音的整倍數之處產生諧音（harmonics），如圖1-4、1-6、1-7、1-8、1-9。

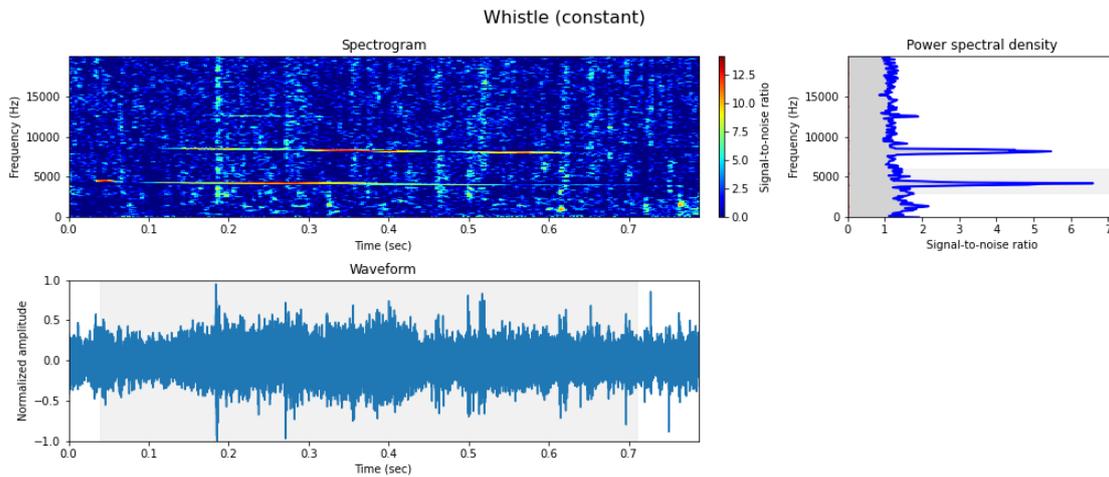


圖 1-4 白海豚的穩定型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 4 至 5 千赫茲之間，並有兩個諧音，時間長度約為 0.67 秒

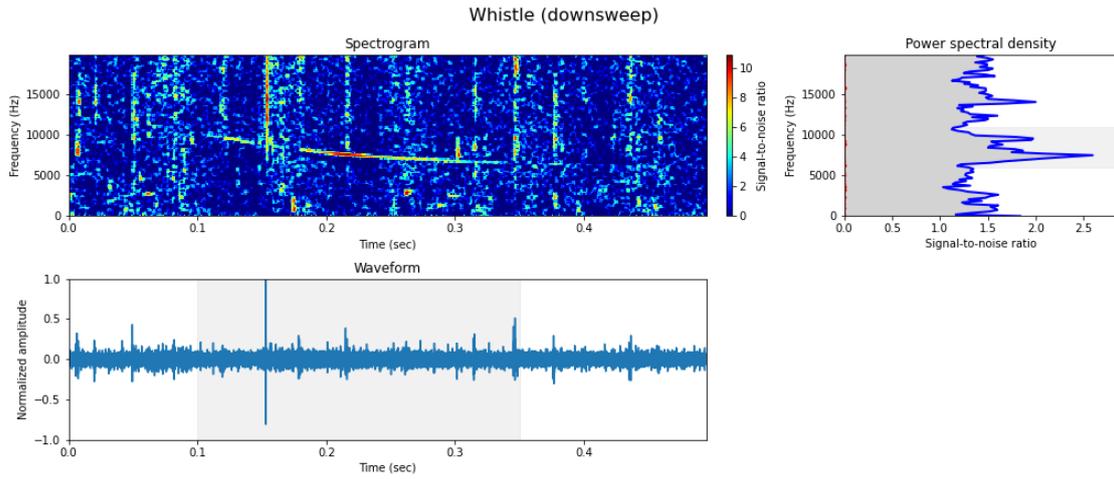


圖 1-5 白海豚的下降型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 6-11 千赫茲間，沒有諧音，時間長度約為 0.25 秒

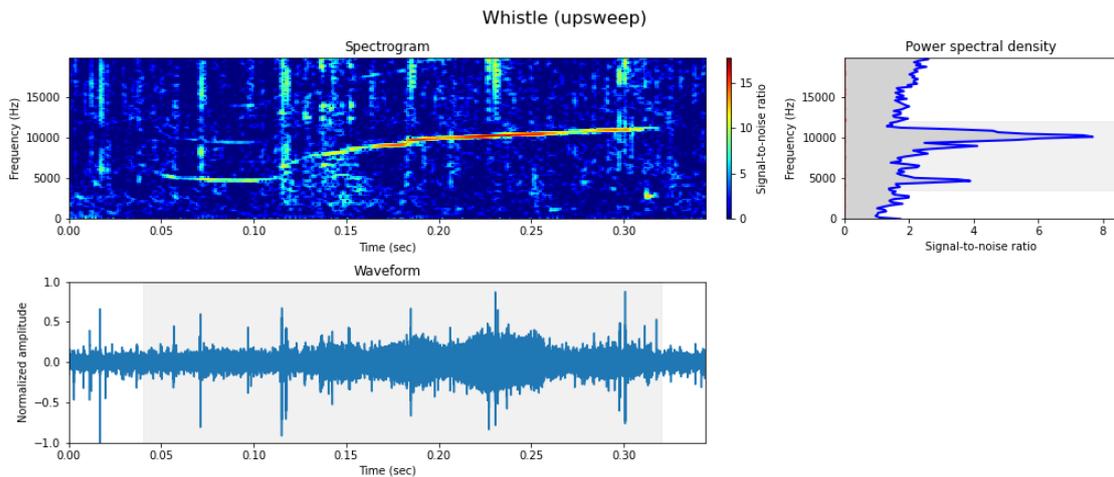


圖 1-6 白海豚的上揚型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 3.5-12 千赫茲之間，並在 0.05 至 0.1 秒之間有一個較為明顯的諧音，時間長度約為 0.28 秒

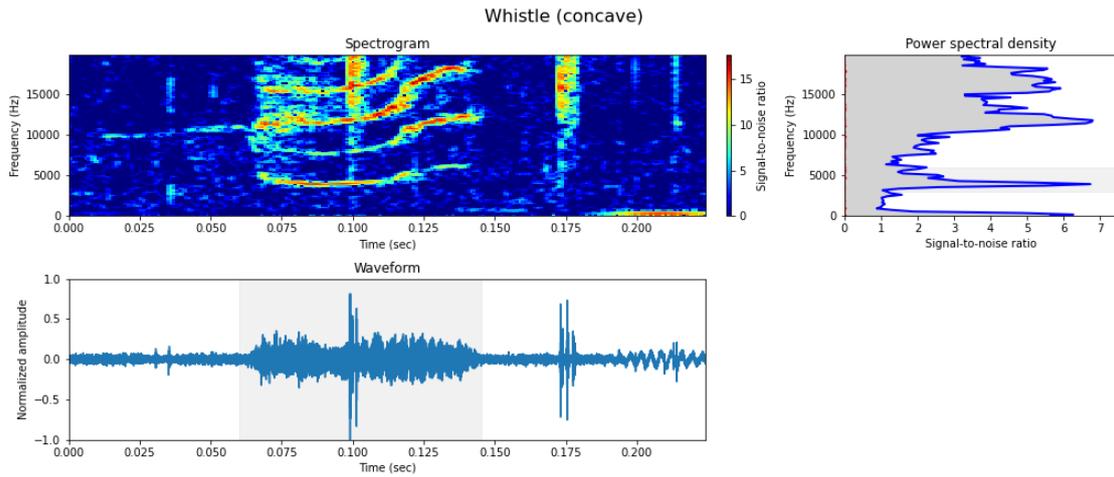


圖 1-7 白海豚的下凹型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 3-6 千赫茲之間，並可看到至少四個諧音，時間長度約為 0.08 秒

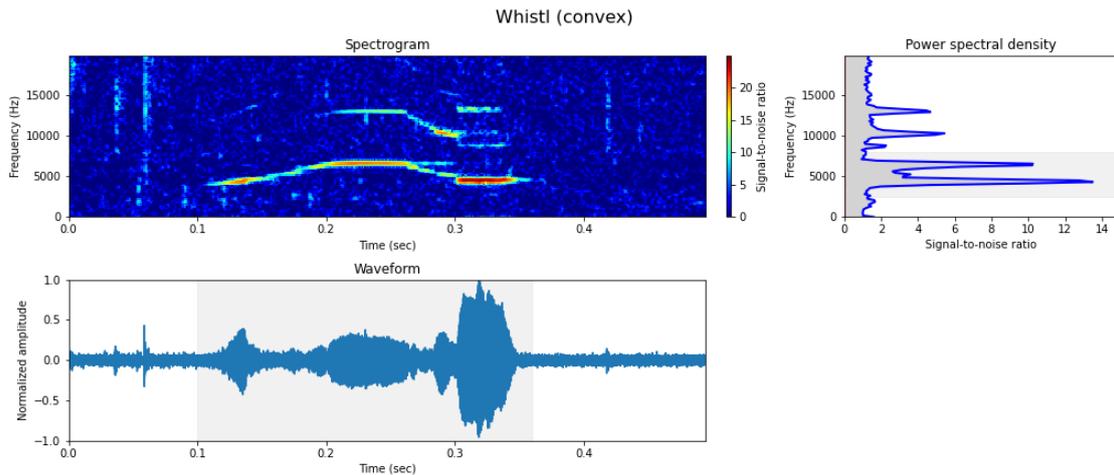


圖 1-8 白海豚上凸型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 3-8 千赫茲之間，並可看到至少兩個諧音，時間長度約為 0.25 秒

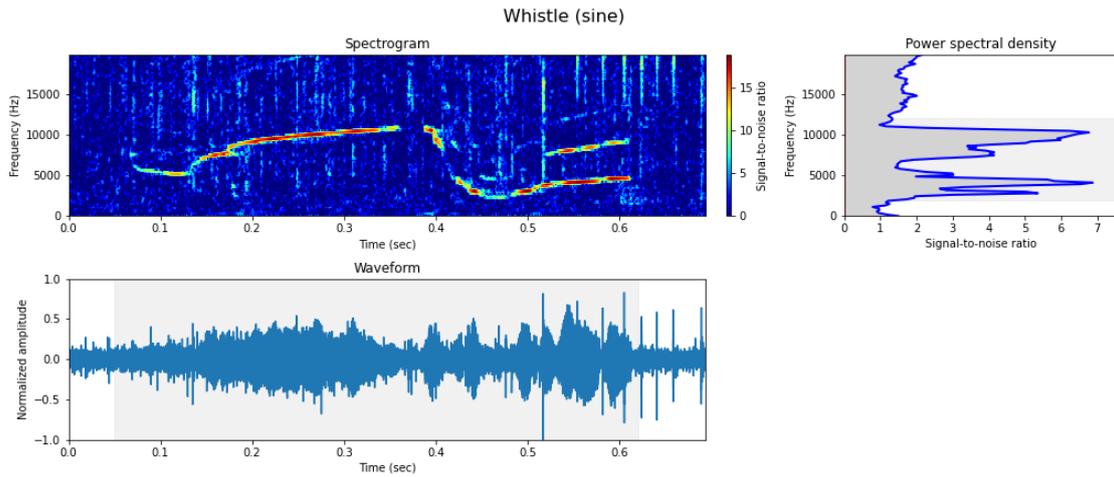


圖 1-9 白海豚的正弦型哨叫聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例中的哨叫聲基音約在 2-12 千赫茲之間，並在 0.5 至 0.6 秒之間有一個明顯的諧音，時間長度約為 0.57 秒

2. 生物聲音

魚類的聲音，以石首魚科為例，由多個低頻脈衝聲波構成，最高頻率通常不超過 10 千赫茲，不同種類的脈衝聲波間距會略有不同 (Mok et al., 2011)。我們挑選四種不同的魚類叫聲作為範例 (圖 2-1 至 2-4)，頻率分布從 0.5 至 7 千赫茲，時間長度從 0.13 至 0.36 秒，脈衝波數量從 8 至 26 個，脈衝波間距從 10 至 17 毫秒。過去研究也發現棲息於河口的石首魚經常在黃昏至清晨之間進行集體合唱 (Lin et al., 2019a; Guan et al., 2015; Mok et al., 2009; Mok et al., 2011)，例如在圖 2.2-5 中，即可看到在晚上七點前後的魚類合唱行為，在短短的 1.3 秒內有三次魚類叫聲出現。若是魚類合唱行為更為活躍，則會觀察到魚類聲音高度重疊，充滿整個頻譜圖的情況。

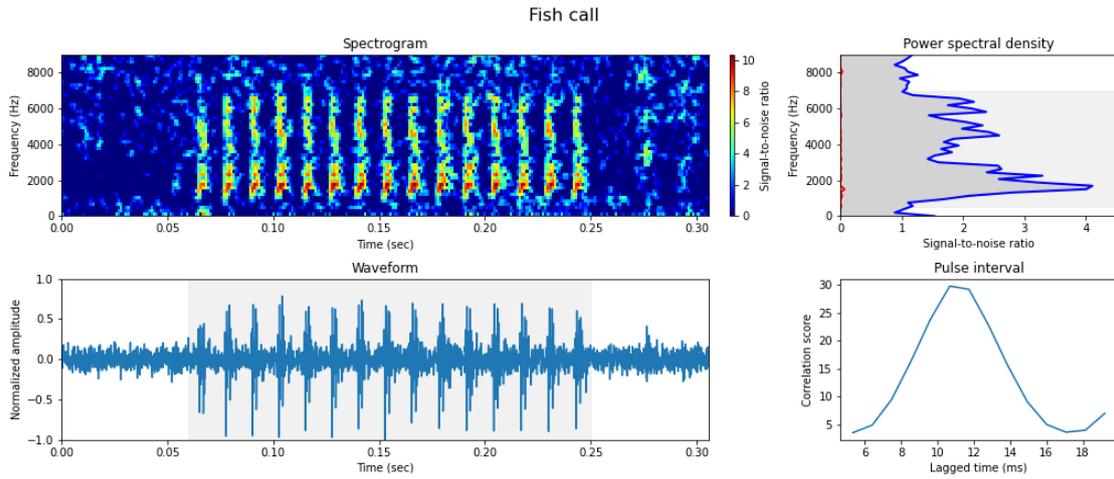


圖 2-1 魚類叫聲範例一。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形，右下為脈衝波間距。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例的頻率主要分布在 0.5 至 7 千赫茲，15 次脈衝波的時間長度約為 0.19 秒，脈衝波間距約為 10.5 毫秒

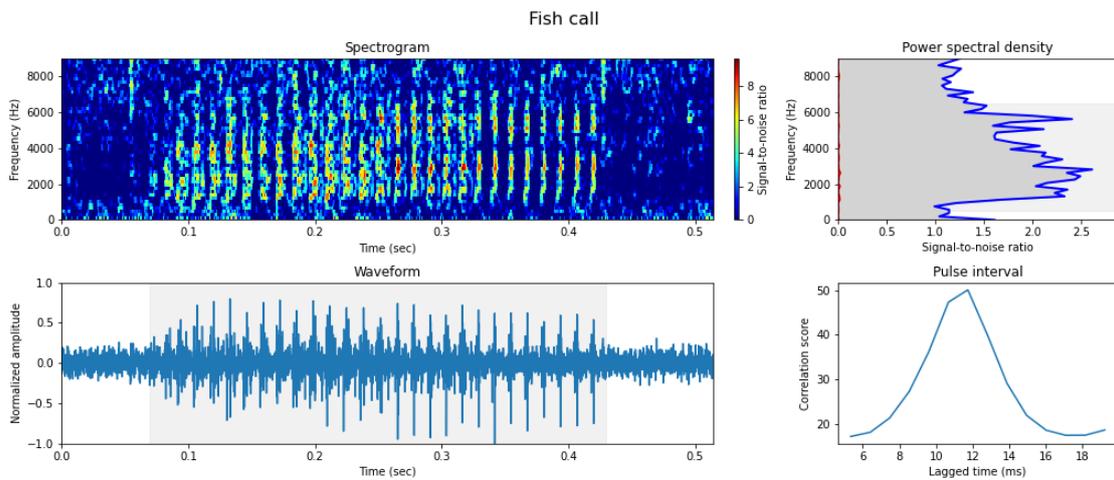


圖 2-2 魚類叫聲範例二。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形，右下為脈衝波間距。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例的頻率主要分布在 0.5 至 6.5 千赫茲，26 次脈衝波的時間長度約為 0.36 秒，脈衝波間距約為 12 毫秒

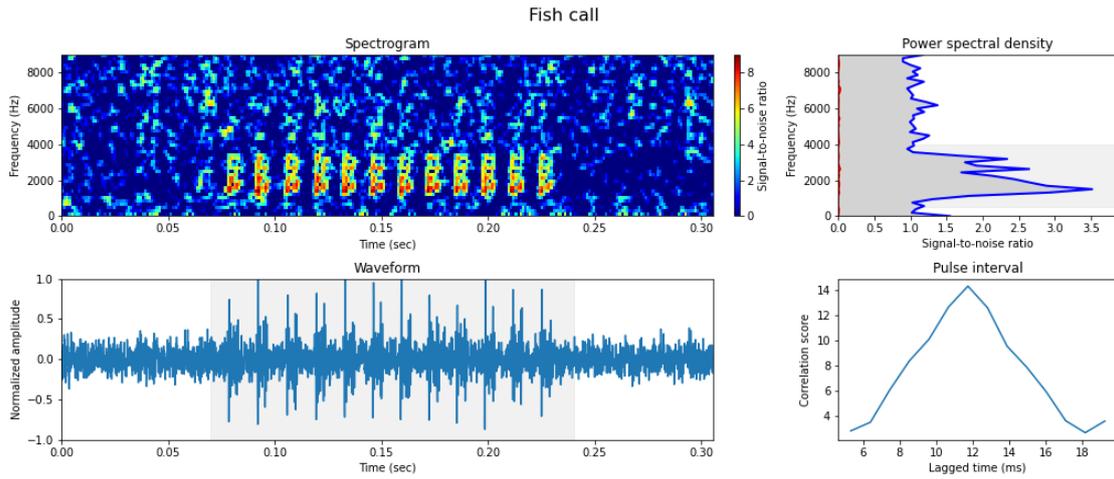


圖 2-3 魚類叫聲範例三。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形，右下為脈衝波間距。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例的頻率主要分布在 0.5 至 4 千赫茲，12 次脈衝波的時間長度約為 0.17 秒，脈衝波間距約為 12 毫秒

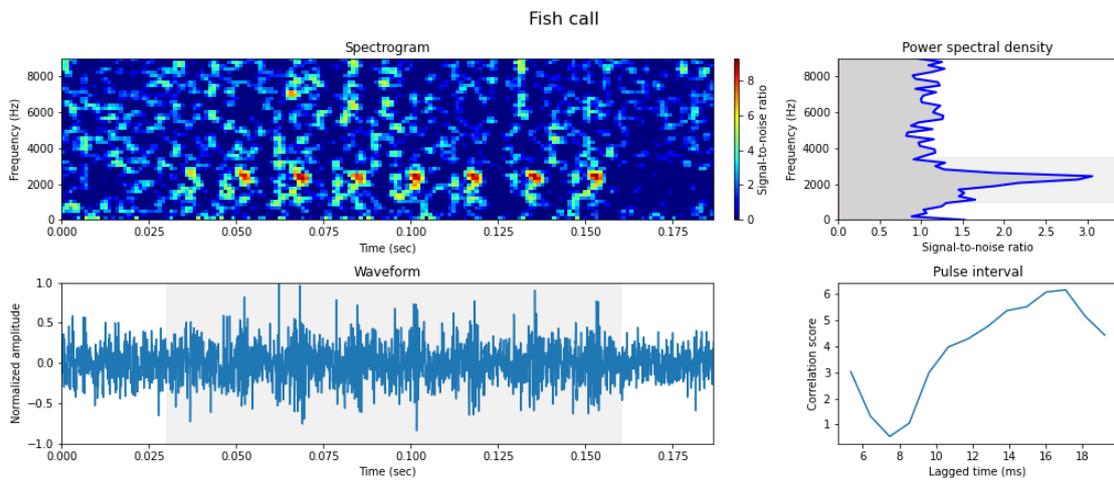


圖 2-4 魚類叫聲範例四。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形，右下為脈衝波間距。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。此範例的頻率主要分布在 1 至 3.5 千赫茲，7 次脈衝波的時間長度約為 0.13 秒，脈衝波間距約為 17 毫秒

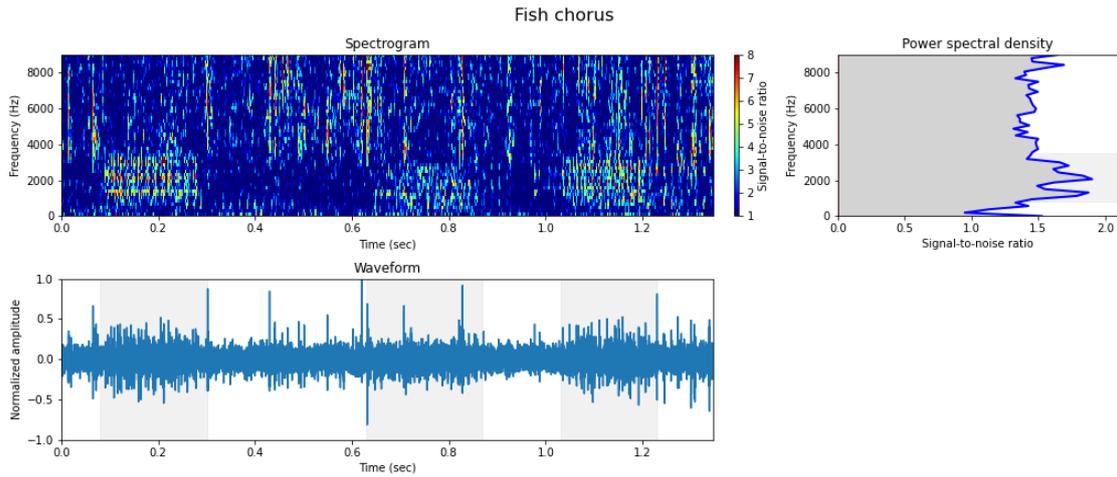


圖 2-5 魚類合唱。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形，右下為脈衝波間距。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍。在 1.3 秒內，收錄三種不同類型的魚類聲音

槍蝦的聲音與海豚搭聲相似，皆為寬頻、時間長度極短，且高強度的聲音。由圖2-6可以檢視槍蝦聲音細部結構，此段聲音僅有三個脈衝波，頻率分布主要為5千赫茲以上（圖2-6）。而若觀察時間範圍增加，則會發現聲音間距較為散亂（圖2-7），這是因為通常槍蝦聲音來自不同的個體各自發聲，而使我們觀測到具有類隨機的寬頻脈衝波間距出現。

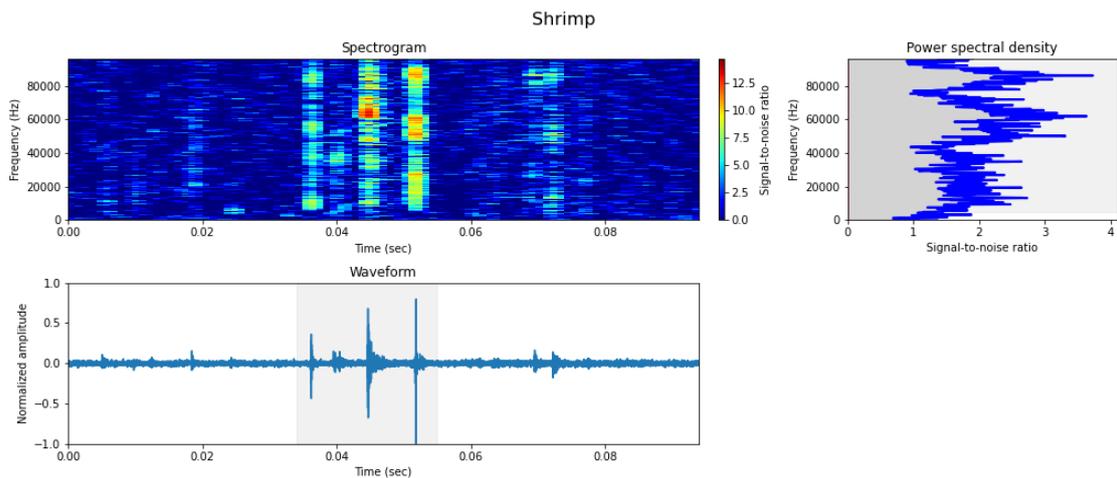


圖 2-6 槍蝦聲（僅三個槍蝦聲）。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左下為訊號波形。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍；訊號波形圖灰色框為目標聲音時間範圍。相比於白海豚的搭聲，槍蝦聲音的頻率範圍更寬，最低頻率可達 2 千赫茲

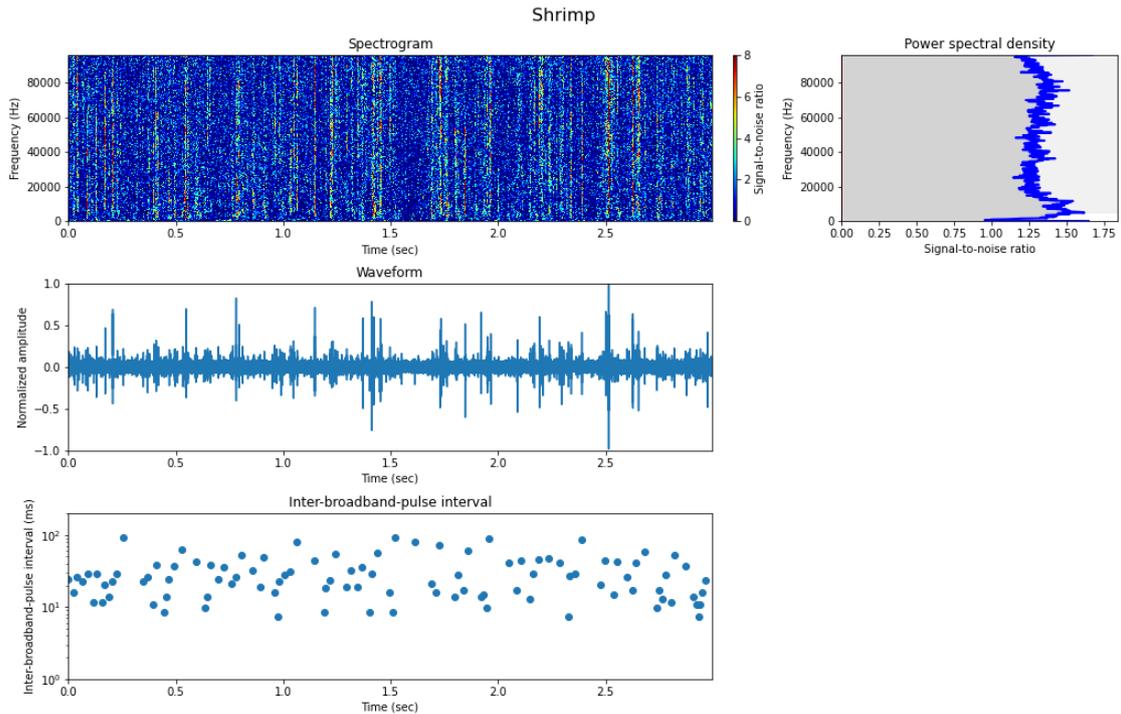


圖 2-7 集體槍蝦聲。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左中為訊號波形，左下為偵測寬頻脈衝波間距結果。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍。在本範例中，有許多槍蝦個體發聲，因此在脈衝波間距上呈現隨機分布之狀態

3. 人為噪音

台灣西部海域常見的人為噪音大多來自於船隻產生的噪音，以船隻航行時螺旋槳產生的噪音為例，其偵測時間會依據螺旋槳的大小而有所變化，但通常為長時間、寬頻率的特性，且聲音能量會隨船隻接近而增加，隨著船隻遠離而下降（圖3-1）。此外，其頻率分布也會因為浴缸效導致船隻航行噪音在頻譜圖上形成許多U型干涉的現象（周蓮香等人，2012），是我們在判斷船隻噪音時的重要依據。船隻噪音的頻率分布範圍相當廣且時間較長，可能會遮蔽海豚哨叫聲。

除了船隻航行時螺旋槳所發出的噪音，許多船隻也會利用魚探機探測魚群位置與水深，魚探機會發出短時間、固定間隔的高頻聲音（圖3-2）。然而，魚探機聲音的特徵可能會跟漁船所使用的廠牌、型號而在頻率範圍、聲音間隔上有所變化。

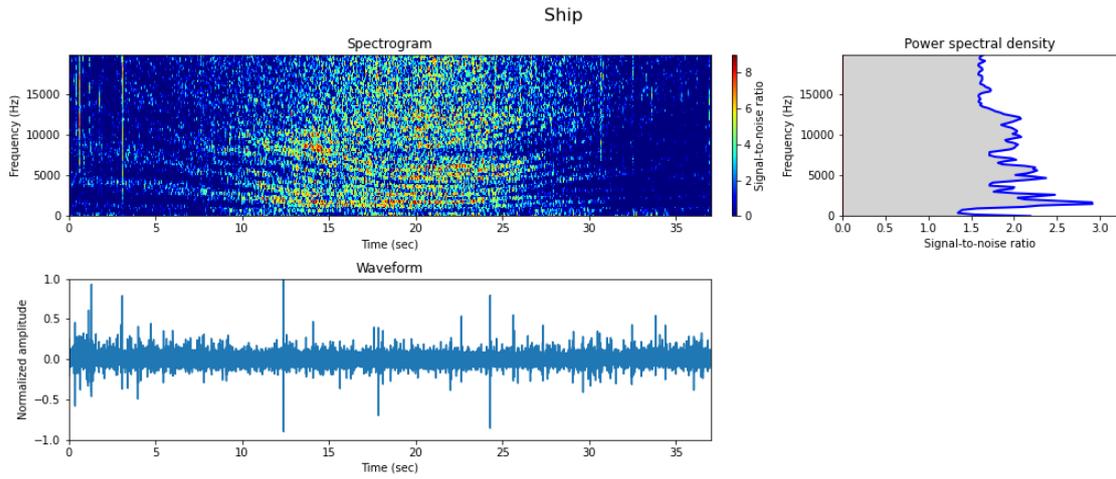


圖 3-1 船隻噪音。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左中為訊號波形，左下為偵測搭聲間距結果。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍。當船隻逐漸接近麥克風時，聲音的入射波及反射波彼此干擾逐漸增強（10 至 15 秒），而逐漸改變頻率分布；在船隻最接近麥克風時，呈現最大的聲壓能量特徵（15 至 20 秒）；隨著船隻遠離，船隻噪音的聲波入射波及反射波彼此干擾逐漸遞減（20 秒之後）

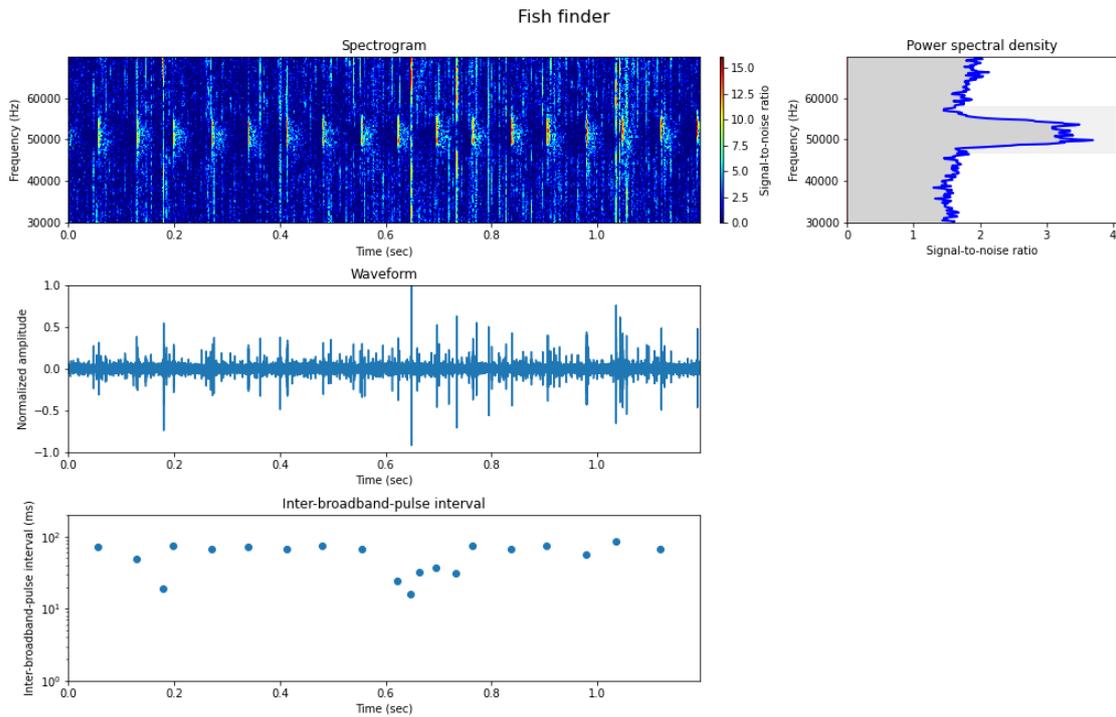


圖 3-2 魚探機噪音。左上為時頻譜圖，右上為功率譜密度，左中為訊號波形，左下為寬頻脈衝波間距結果。功率譜密度圖灰色框為目標聲音主要頻率範圍。此範例之主要頻率分布在 3 至 7 萬赫茲，雖然錄音中也有一些槍蝦聲音，但仍可觀察到非常固定的脈衝波間距

4. 白海豚聲音辨識依據之彙整

在辨識白海豚聲音的時候，必須先考慮要針對哨叫聲或是搭聲進行判別，所使用的時頻譜圖之時間與頻率解析度也必須能夠清楚呈現這些聲音的細部特徵。

在辨識搭聲的時候，建議使用最高頻率可達至少48千赫茲以上的時頻譜圖，若是可達96千赫茲更佳。白海豚的搭聲可能與槍蝦、魚探機的聲音特徵相似，必須注意其頻率分布是否主要在20千赫茲的頻率範圍以上。此外，也可以根據脈衝聲波間距的變化模式來進一步輔助辨識。若是有超過數十次脈衝聲波連續出現且間距經常保持固定無變動，則可能是魚探機的噪音。若是脈衝波間距呈現隨機變化的模式，則可能是槍蝦聲音。

針對哨叫聲，我們建議針對20千赫茲以下的頻率範圍，透過觀察時間長度（通常不長於1秒）、頻率分佈（通常在3-10千赫茲之間）、頻率操作特性（頻率範圍通常小於2千赫茲）來評估是否為白海豚的聲音。在哨叫聲可能出現的頻率範圍內，魚類和船隻聲音皆屬於相較低頻的聲音，他們的聲音特徵也和哨叫聲明顯不同。魚類聲音是由複數的低頻脈衝波所構成，與哨叫聲的窄頻操作特性區別極大。船隻噪音通常可以持續數十秒至數分鐘，且受到入射波與反射波的相互干擾頻率有波紋狀線條，也和哨叫聲的聲學特徵不同。此外，白海豚的哨叫聲以窄頻範圍的穩定型、下降型、上揚型為主，若是偵測到的哨叫聲以上凸、下凹、正弦等類型為主，且頻率範圍較大，則可能為其他種類的鯨豚，或是偵測到行為較為特殊的白海豚群體。

台灣過去的鯨豚聲學研究大多針對東海岸鯨豚的水下聲音進行調查，在西海岸的相關紀錄及調查較少，僅有少數針對白海豚的水下聲音研究。雖然從過去的西部海域調查與擱淺救傷歷程中，也曾經記錄到瓶鼻海豚、熱帶斑海豚、糙齒海豚、小虎鯨、條紋海豚、瓜頭鯨、侏儒抹香鯨、小抹香鯨等物種，但這些物種在西部海域的觀測記錄中極為罕見，也未曾收錄過水下聲音。未來建議藉由擱淺救援時，搭配水下錄音紀錄，才能逐步建立西海岸的鯨豚聲音特徵資料庫。

附錄四、「被動式水下聲學監測教育訓練」課程表

附錄四 「被動式水下聲學監測教育訓練」課程表

- 一、主辦單位：海洋委員會海洋保育署
- 二、承辦單位：觀察家生態顧問有限公司
- 三、會議時間：2021 年 05 月 05 日（三）08:30-17:30
- 四、會議地點：「高雄車站 NO.1 場地租借」之新創館 601 教室
(高雄市三民區九如二路 255 號 6 樓)

五、會議議程：

時間	議程	講師
08:30 - 09:00	簽到	-
09:00 - 10:00	基礎聲學學理概論	張家茂
10:00 - 10:10	休息	-
10:10 - 11:00	水下聲學儀器佈放介紹	黃光敬
11:00 - 11:10	休息	-
11:10 - 12:00	水下聲學儀器操作	黃光敬
12:00 - 13:00	午餐	-
13:00 - 14:00	海洋聲景介紹	林子皓
14:00 - 14:10	休息	-
14:10 - 15:00	海洋聲景資料分析操作	林子皓 王靜偉
15:00 - 15:10	休息	-
15:10 - 16:00	運用被動式聲學監測白海豚生態	林子皓 張家茂

16:00 - 16:10	休息	-
16:10 - 17:00	白海豚聲學資料分析操作	林子皓
17:00 - 17:30	綜合討論	-

防疫期間 請隔一個空位入座 並全程戴上口罩

- Please follow the social distancing practice by keeping at least 1.5 m apart indoors (do not sit next to anyone) and 1 m apart outdoors.
- Wear a face mask all the time!



附錄五、「被動式水下聲學監測教育訓練」回饋問券

2021/05/05 被動式水下聲學監測教育訓練回饋問券

各位學員您好，感謝您撥空填寫此問卷調查。為了進一步了解學員在教育訓練過程期間，對課程內容及講師授課情形有無其他建議及回饋，於是委託觀察家生態顧問有限公司進行盤點和彙整，以提升未來相關課程的規劃效率。懇請各位學員填寫以下問卷題目，若您仍有相關疑問，可在填寫完畢後，透過以下資訊與我們聯繫，我們會盡速給予答覆。並再次感謝您的協助！

聯絡資訊：

聯絡人：觀察家生態顧問有限公司 黃光敬

連絡電話：(02) 2550-6230分機316 e-mail: jeff6048@gmail.com

*必填

一、教育訓練學員基礎資料

1. 1. 請問您的年齡? *

單選。

25歲以下

25-35歲

35歲以上

2. 2. 請問您的性別? *

單選。

女

男

其他： _____

3. 3. 請問有無海上調查經驗? *

單選。

無

有，少於1年

有，1-2年

有，2年以上

二、課程安排評分

(滿分5分，最低分1分)

4. 1. 「被動式聲學監測概論」課程教材內容*

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

5. 2. 「被動式聲學監測概論」課程實用性*

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

6. 3. 「水下聲學儀器佈放介紹及操作」課程教材內容*

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

7. 4. 「水下聲學儀器佈放介紹及操作」課程實用性*

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

8. 5. 「海洋聲景介紹及資料分析操作」課程教材內容*

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

9。 6. 「海洋聲景介紹及資料分析操作」課程實用性 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

10。 7. 「運用被動式聲學監測白海豚生態及白海豚聲學資料分析操作」課程教材內容 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

11。 8. 「運用被動式聲學監測白海豚生態及白海豚聲學資料分析操作」課程實用性 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

三、相關行政處理及課程回饋

(滿分5分·最低分1分)

12。 1. 本次教育訓練的活動流程 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

13。 2. 本次教育訓練的場地設備 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

14. 3. 本次教育訓練交通便利性 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

15. 4. 本次教育訓練的時間安排 *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

16. 5. 課程內容安排對於工作的幫助程度? *

單選。

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

17. 6. 課程建議

Google 並未認可或建立這項內容。

Google 表單

附錄六、水下錄音機規格與操作方式

SoundTrap ST300 Digital Sound Recorders

STD & HF models

Key features:

- Industry leading audio fidelity
- Very low self-noise
- 60 kHz and 150 kHz bandwidth models
- Up to 13 days continuous recording on internal battery
- Up to 70 days continuous with optional external battery (3 x D cell)
- Simple operation with IR remote control
- Sealed, low maintenance, flood proof housing
- Fast USB offload
- Toothed whale Click detection (HF only)

The SoundTrap 300 series are compact self-contained underwater sound recorders for ocean acoustic research. The STD model is intended for general purpose use with a working frequency range of 20 Hz to 60 kHz. While the HF model offers 20 Hz to 150 kHz bandwidth for higher frequency bioacoustic research. Both feature very low self-noise, ensuring beautiful recordings in even the quietest places.

An internal battery enables continuous recording for up to 13 days, or 56 days on a 10 minute per hour duty cycle. For longer deployments plug in the optional external battery pack for up to 70 days continuous recording. Up to 256 GB of internal memory coupled with lossless audio compression provides storage for up to 65 days continuous recording at 72 kHz.

Data offload and battery recharge are done via a high quality wet plug. The housing therefore never needs opening eliminating the usual worries about o'ring maintenance and moisture ingress. Weighing less than 500 g in air, hydrophone deployment has never been so easy.

Output files are in the industry standard WAV format. Ancillary sensors are included for logging temperature and tri-axial acceleration. The included software offers flexible deployment options for sample rate, gain control, filtering, delayed start and duty cycle. Plus the included water proof IR remote control makes for convenient in-the-field ad hoc measurements. Each instrument is supplied with a calibration certificate and features self-calibration checks for confirmation of performance in the field.



Detailed Specifications

Bandwidth

STD model 20 Hz - 60 kHz \pm 3dB

HF model 20 Hz - 150 kHz \pm 3dB

Self-noise Better than sea-state 0 (100 Hz - 2 kHz)

STD model Less than 34 dB re 1 μ Pa above 2 kHz

HF model Less than 37 dB re 1 μ Pa above 2 kHz

Gain Two gain settings - Low noise and high dynamic range.
Maximum level before clipping approx. 186 dB re 1 μ Pa

High Pass Filter 400 Hz selectable high pass for high energy sites

Sample rates

STD model 288, 144, 96, 48, 36 & 24 kHz

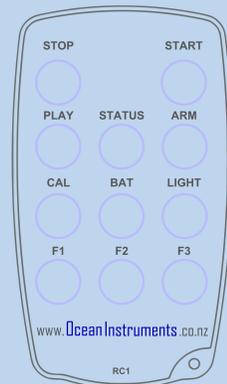
HF model 576, 288, 192, 96, 72 & 48 kHz

ADC 16-bit SAR

Calibration Factory OCR calibration certificate
Self-calibration check
Pistonphone coupler available

Control Waterproof IR remote control for manual record start/stop.

Ancillary sensors Temperature - 0.1°C precision, 1°C uncalibrated accuracy in water
Acceleration – For detecting orientation, or cable strum / platform vibration.
Tri-axial accelerometer, +/- 8g, Sampling up to 1 Hz



Click Detection

HF model only. Allows detection and journaling of high frequency marine mammal sonar clicks. Detector runs in parallel with normal recording process. Conserves memory by simultaneously using a low sample rate for WAV recording and high sample rate for click detection. See user manual for more information.

Memory 128 or 256 GB Note - loss-less audio compression provides 3-4 times compression, thereby allowing for up to 1TB of wav file storage.

Internal battery An internal rechargeable battery provides power for up to 13 days continuous operation

External battery The optional external battery housing takes 3 x D cell batteries, and provides up to 70 days continuous operation.

Connectivity Wet pluggable connector for connection to GPS or radio telemetry.

Maximum depth 500m (Extended depth version available on request)

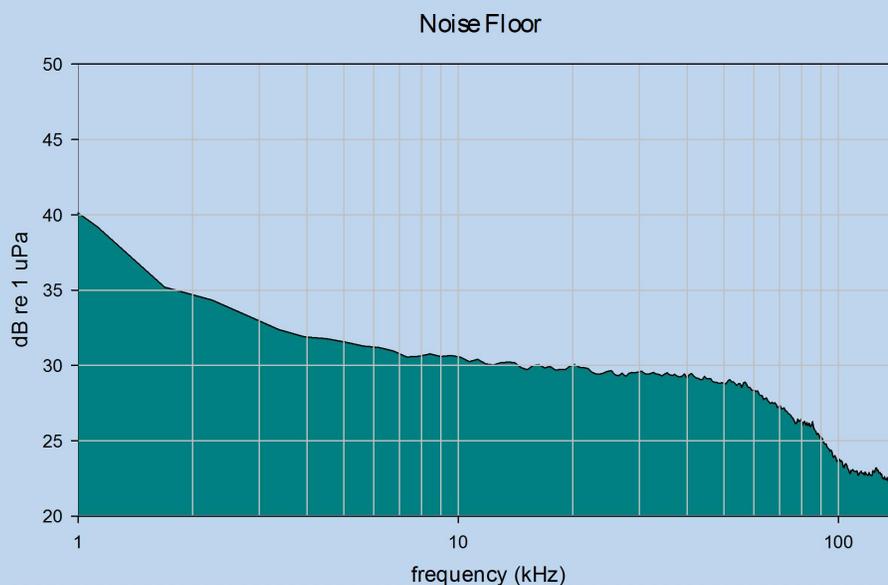
Dimensions: 200mm L x 60mm D (excluding connector dummy)

Weight Approx. 500g in air

Recording Endurance Table (128GB memory)

Sample Rate(kHz)	Duty Cycle	Endurance (days)	With external battery (days)
36	Continuous	13	64
36	10 minutes per hour	56	278
48	Continuous	13	51
48	10 minutes per hour	56	278
96	Continuous	13	25
96	10 minutes per hour	56	153
144	Continuous	13	17
144	10 minutes per hour	56	102
288	Continuous	8	8
288	10 minutes per hour	51	51
576	Continuous	4	4
576	10 minutes per hour	25	25

Table values assume atypical X3 compression rate of 3x and water temp above 20 degrees Celsius.





SoundTrap ST300 and ST4300 series user guide

January 2020



1 About this guide.....	5
2 Quick start guide.....	6
2.1 Install the SoundTrap host on your PC.....	6
2.2 Connect SoundTrap to your PC.....	6
2.3 Check SoundTrap Status	7
2.4 Configure the deployment.....	8
2.5 Begin recording using the IR Remote Control.....	10
2.6 Data Offload.....	11
3 More details.....	13
3.1 Data Files.....	13
3.2 Battery charging.....	13
3.3 Using the optional external battery pack	15
3.4 Calculation of deployment endurance.....	16
3.5 Ancillary Sensors	17
3.6 ST4300 multi channel recording.....	18
3.7 Deployment hardware	19
3.8 Housing maintenance	20
3.9 Software updates.....	21
3.10 MSP firmware updates	21
3.11 Calibration.....	21
3.12 Troubleshooting.....	24
4 Appendices.....	26

4.1 SoundTrap HF Click Detector	26
4.1.1 Click detector.....	26
4.1.2 Snippet extractor.....	27
4.1.3 User parameters.....	27
4.1.4 Output File formats	28
4.1.5 Click Detector Caveats and Cautions.....	30

1 About this guide

This guide begins with a 'Quick start' section to help you get going with your new SoundTrap, including software installation and basic deployment instructions. This is followed by several sections containing more detailed information around operation, deployment, maintenance and troubleshooting. It is highly recommended you read the entire guide to ensure you have a good understanding of the instrument and how to get the most from its capabilities.

2 Quick start guide

To start using your SoundTrap you'll need to install the SoundTrap Host software.

2.1 Install the SoundTrap host on your PC

- Pre-installation Notes:
 - The SoundTrap host software supports Windows 7 and 8 (32 or 64 bit versions).
 - Do not connect the SoundTrap to your computer until you have completed the SoundTrap host software installation.
 - The installation will be smoother if you're logged into windows as an administrator.
- Visit www.OceanInstruments.co.nz/downloads/ to download the software.
- Download and run the installer.
- Once the install completes, run the SoundTrap Host application.

2.2 Connect SoundTrap to your PC

- Connect the SoundTrap using the USB cable provided.
- The drivers will take a couple of minutes to install. Once complete you should see your SoundTrap appear in the 'Device List' on the left, as shown in figure 1.
- Select your SoundTrap by clicking its label on the left.

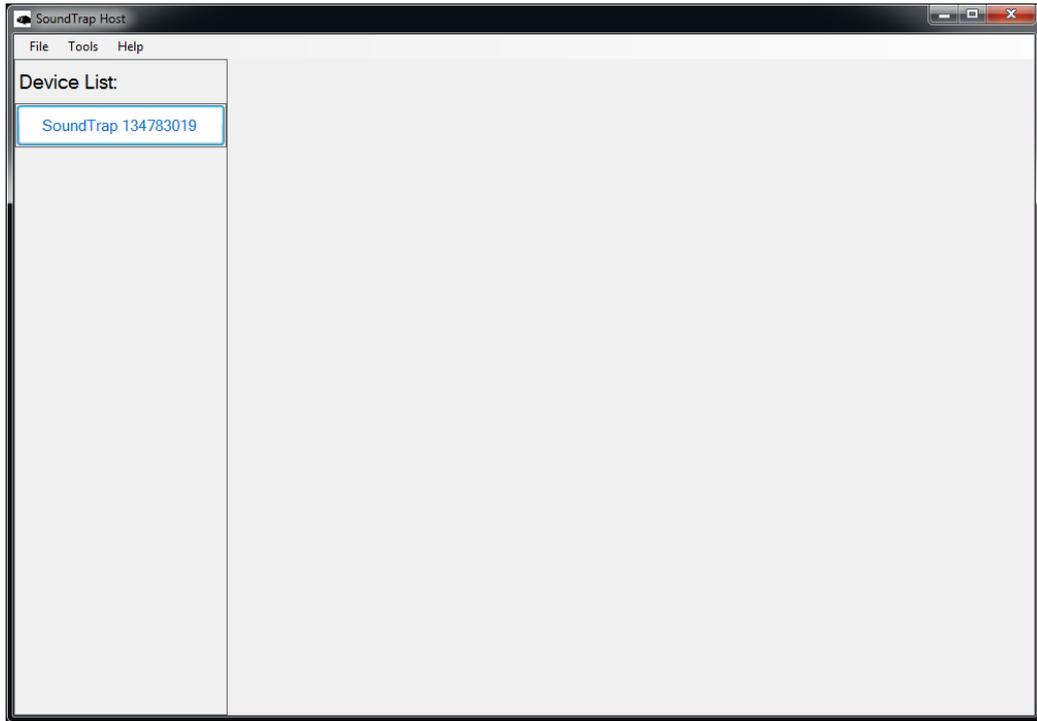


Figure 1 - The Device List

2.3 Check SoundTrap Status

Note the 'Status' panel on the right (Figure 3). Verify that the battery has sufficient charge and the memory is not full.

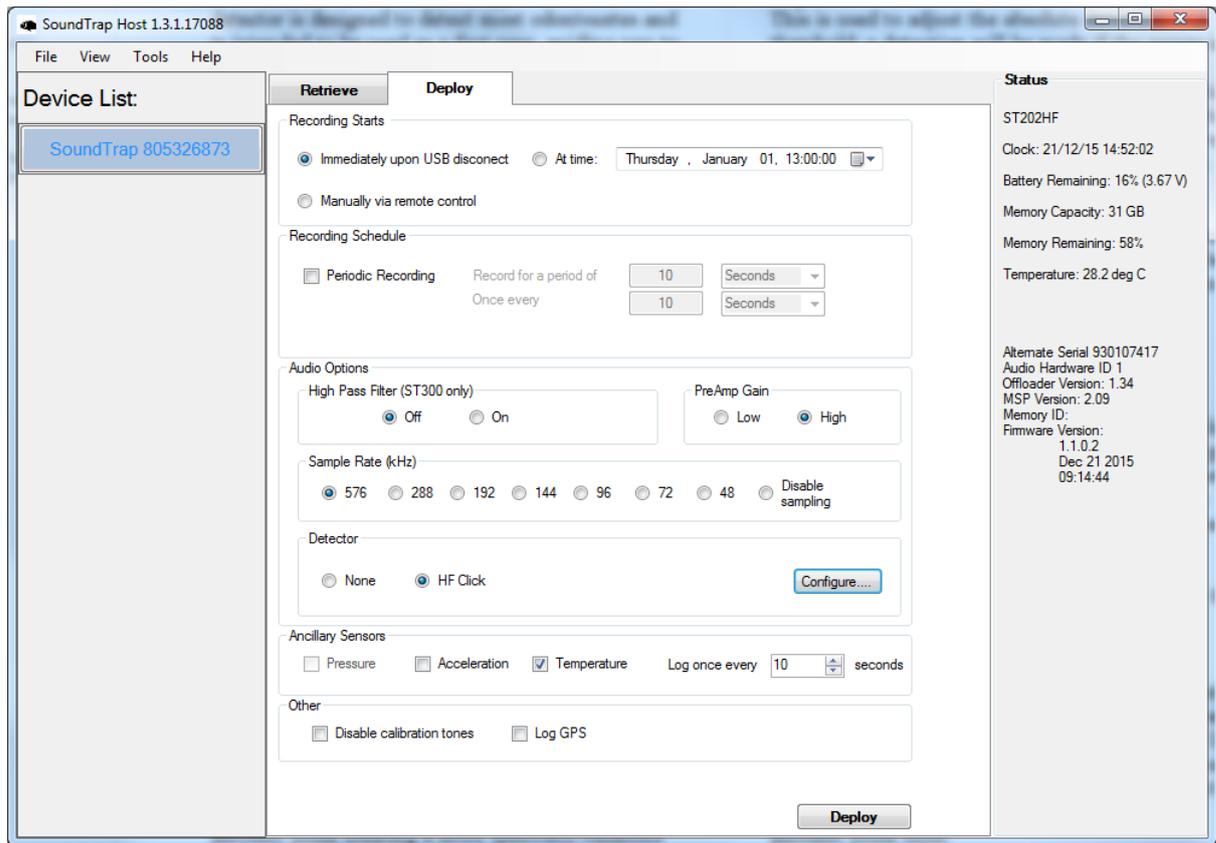


Figure 2 – Deploy Control

2.4 Configure the deployment

- Select the 'Deploy' tab as shown in figure 2.
- Configure the deployment parameters as follows:
 - The '**Recording Starts**' section determines when recording will begin. Recording can begin immediately on disconnection of the USB cable, at a pre-determined date and time, or manually using the IR remote control. Note that the remote can always be used to override the other options.
 - The '**Recording Schedule**' section provides selection of continuous or periodic recording. For continuous recording simply leave the 'Periodic Recording' option unchecked.
 - Options available in the '**Audio Options**' will vary according to your device's capabilities. Options include the following:
 - **Channel Selection** selects which channels to record on.

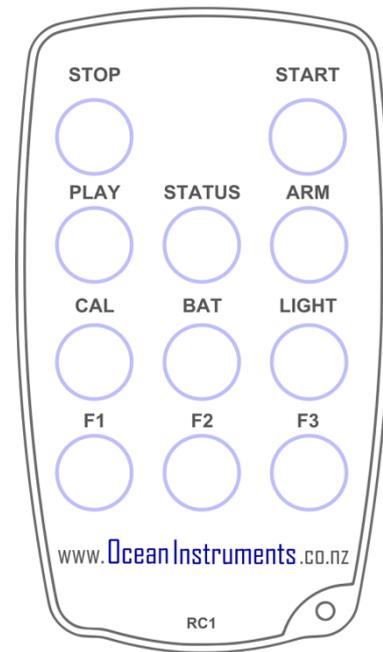
- **Sample Rate** should be set based on the frequency band of interest and data rate considerations. A 96 kHz sampling rate is often a good choice for general environmental noise measurements. Contact OI support if unsure.
 - **Preamp Gain** should usually be set to 'High'. This will result in a maximum SPL before clipping of approximately 172 dB re 1 uPa. The 'Low' setting should be used for very noisy environments such as in the vicinity of pile driving. The low setting increases the maximum SPL to around 184 dB, but comes at the cost of lower sensitivity.
 - **High pass filter**. This should usually be turned off. Generally only used in high energy sites or when towing a SoundTrap behind a boat. Turning this on reduces sensitivity in the band 0 to 600 Hz, while leaving higher frequencies unaffected.
- Detector – see HF Click Detector section below.
 - Ancillary sensors – select those you want to log and at what interval. See following section for details.
- Once you've made your selections click the deploy button which will save the settings and you're ready to go!
 - The instruments internal clock is synchronised to your PC when you click the deploy button.
 - If you change your mind about something, just re-select the instrument from the 'Device List'.

Your SoundTrap is supplied with a dummy plug for the wet connector. Please ensure that you remember to use it when deploying the SoundTrap in order to prevent damage.

2.5 Begin recording using the IR Remote Control

You may use the remote control to start recording.

- Press 'START' to start recording.
 - Press 'STOP' to stop recording.
 - If you have set a recording to start recording at a later time, the recorder will blink red to indicate it is 'armed' and waiting.
 - The 'armed' state is cancelled by pressing Stop key.
 - Re-enable the armed state by pressing the ARM button.
-
- You can verify recording has started by checking for slow blinking of the status (green) indicator.
 - Note that the remote is splash proof and designed to tolerate wet hands. Don't attempt to use it underwater – you'll be disappointed.



2.6 Data Offload

Once you're done recording, reconnect your SoundTrap to your PC and select the Retrieve Tab, as shown in figure 4.

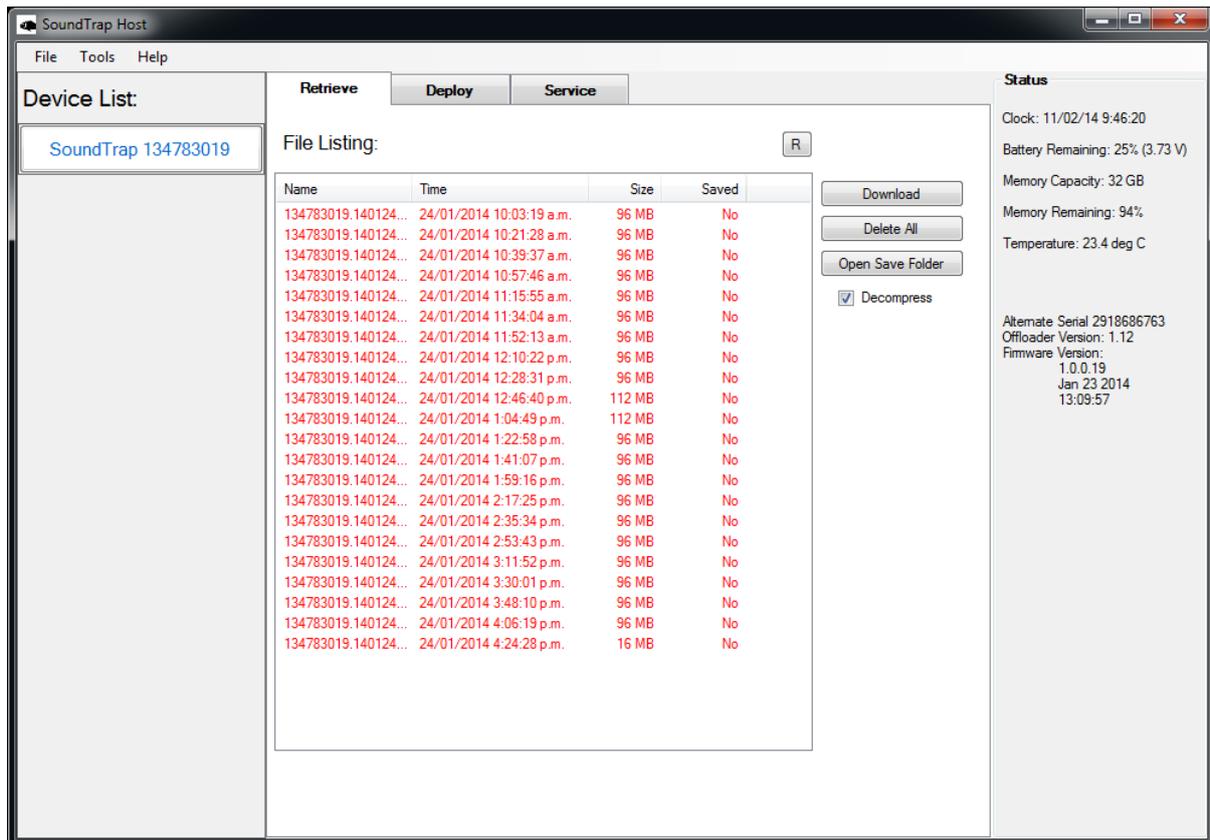


Figure 3 – Retrieve Tab

- You will see a list of files in the SoundTrap's memory, including the file name (made from the device serial number plus local date and time), date recorded, approximate size and whether it has yet been downloaded to your computer's hard drive.
- Download individual files by right clicking the file and selecting 'download'.
- By default all files will be downloaded to a 'SoundTrap' folder under My Documents. This default location can be changed under the 'Tools' menu.
- Click the 'Open Save Folder' button to open the download folder location.
- To download all files, select all files using the shift key, then click the 'Download' button.
- To delete, click the 'Delete All' button. Files cannot be deleted individually.

- For faster download in the field, or to save disk space, un-check the 'Decompress' checkbox. This will disable the decompression step of the offload process, meaning you will end up with 'sud' files only. These can be decompressed into wav files at a later time using the 'File Extraction' option under the tools menu.

3 More details

3.1 Data Files

Downloads produce several types of files:

- 'sud' files which are the raw downloaded file. This is a compressed file and therefore ideal for storing or sending of complete recordings. It can then be decompressed at a later time into the following constituent file formats.
- 'wav' files containing the audio. This is a Microsoft WAV format file that can be opened by any media player, matlab, raven etc.
- 'xml' files which contain metadata such as date recorded, gain setting, etc.
- 'csv' files containing ancillary sensor data (e.g. temperature)

All file types follow the same naming convention consisting of the device serial number followed by the date and time of the start of the recording in the format YYMMDDHHMMSS.

For duty cycled recording there will usually be one file per recording period. For continuous recording a maximum file length of 1036800000 samples (2GB of wav) will determine the length of the files. This equates to 1 hour recordings for a 288khz sample rate.

Where smaller than 2G files are desired for continuous recording it is recommended to set a duty cycle with 'zero off time'. For example, a duty cycle of 30 minutes every 30 minutes will result in continuous 30 minutes files with no missing samples between files.

3.2 Battery charging

SoundTrap uses an internal rechargeable Lithium ion battery. The battery is recharged by plugging the SoundTrap into a computer's USB port, or other USB power supply. Look for the blue LED indicator to confirm that the battery is charging. Once the charging cycle completes the blue indicator will extinguish. Charging time for ST202 (STD or HF) is approximately 8 hours for a completely discharged battery. Some additional notes about battery charging:

- The battery will charge while data is being offloaded over the USB.
- The charge level reported by the SoundTrap Host software (in percentage and voltage terms) is only accurate to within approximately 10%. Determination of whether the battery is fully charged should be by observation of the blue LED indicator, NOT the approximation given by the Host software.

- Once the battery reaches full charge (blue indicator extinguished) the charge indicator in the Host software will start to fall. The charging process will restart once the charge indicator drops to around 90%. Do not be concerned that the battery is not fully charged. Provided the blue LED is not lit, the battery should be considered fully charged.
- Battery charging will be quicker when the SoundTrap is not connected to the host software. If the green LED is NOT flashing (indicating USB communication mode) battery recharging will be quicker. As such, for quickest recharge time do not start the Host software, or alternatively charge the SoundTrap from a USB power supply rather than a computer.
- The battery should not be left for long periods in a discharged state. When storing a SoundTrap for the off-season, ensure the battery is fully recharged before placing in storage. To ensure battery longevity, give the battery a top up once every 3 months.
- If the SoundTrap has been left unused for several months the battery may be in a severely discharged condition. In order to recover from this state the SoundTrap will begin trickle charging the battery until it reaches a normal state. This process can be very slow if the SoundTrap is connected to the Host software. See the trouble shooting guide if your SoundTrap has trouble recovering from this condition.

3.3 Using the optional external battery pack

The ST300 series products support the connection of an external battery pack. Connection of the battery pack is straightforward. First fit the battery pack with 3 x fresh D cell alkaline batteries, carefully ensuring correct polarity.

We strongly recommend using Energizer brand batteries. Advertised dururances are based on this brand, and performance of other brands is unknown. Most importantly, Energizers are guaranteed not to leak electrolyte when left in a discharged state. Other battery brands may leak, possibly causing damage.

Before opening the housing always check for flooding by shaking the recorder and listening for water sloshing around inside. If flooding is suspected, then be aware that the housing may be pressurised and therefore potentially dangerous. Carefully relieve any pressure by opening the small seal screw at the base of the housing.

Before closing the battery housing ensure that the o’ring seal is perfectly clean, free from nicks or other damage, well lubricated and properly seated. Generously apply silicon o’ring grease on both the o’ring and the tubes sealing surface. Close the housing by screwing closed by hand until the shoulder snugs up against the titanium tube. You may choose to use a lever arm (e.g. screwdriver) through the holes provided top and bottom. However difficulty in screwing home the cap may indicate insufficient o’ring lubrication; do not apply excessive force – instead correct by applying o’ring lubricant.

Fit the supplied cable between the battery pack and SoundTrap, using the supplied plastic collars to lock the two connectors. It is then **important** that you verify the supply of power from the external battery to the SoundTrap. Do this by pressing the ‘BAT’ button on the IR remote and observing the SoundTrap’s red status LED. If all is well you should see two long red flashes. Note that there is a 10 second delay between connecting the battery and the software determining that the supply is stable. Observation of the two long flashes is confirmation that the external battery is available, has viable batteries, and is ready to go.

A single short red flash indicates a problem. In this event, disconnect the external battery and inspect for correct battery insertion and adequate battery condition.

3.4 Calculation of deployment endurance

An excel spreadsheet is provided on the web site to help with the calculation of deployment times for differing deployment parameters. The spreadsheet provides deployment estimates, as well as identifying one of three possible deployment constraints: battery capacity, memory capacity, or file count. While the first two are obvious, the file count constraint requires explanation.

The file system used by SoundTrap currently has a minimum file size of 4 MB. When using periodic recording, if the programmed 'record for a period of' period is very short, the resultant file may be smaller than the minimum file size. This will result in inefficient usage of memory, and the deployment may be artificially memory limited. For example, a SoundTrap 202 has 64 GB of memory; dividing this by the minimum file size of 4 MB gives a maximum of 16000 files.

This limitation becomes an issue when using low sample rates in combination with X3 compression. By experimenting with the periodic recording parameters in the deployment spreadsheet it will become clear how to best avoid this limitation.

3.5 Ancillary Sensors

All SoundTraps include temperature and accelerometer sensors. Logging of these is enabled by selecting the corresponding checkbox in the deployment screen of the SoundTrap Host software. Note that logging can only take place while the recorder is awake, meaning that sensor logging is subject to the same duty cycle as that configured for audio recording.

Sensor data is offloaded alongside audio data, and is decompressed into CSV format files, one file per sensor, per audio recording.

Temperature data is recorded in degrees Celsius. Note that these measurements are only valid when the instrument is fully submerged, and that measurements made in air will be incorrect due to internal heat build-up, particularly when connected to USB and recharging the battery.

Accelerometer data is recorded as unscaled 16 bit values ranging +/- 32768. The full scale sensitivity of the accelerometer is +/- 2 g, meaning each count represents 61 ug. The orientation of the accelerometers axis for the ST300 is shown in the adjacent diagram. Older ST200 models have the X and Y axis transposed. Note that the X & Y axis are not easily discerned as the rotation of the sensor within the housing varies. This is generally of little consequence for inclination and cable strum applications, but where required can be measured by placing the recorder in a known static orientation, observing the resultant measurements and solving for gravitational acceleration. For those wanting more detailed information on the accelerometer sensor characteristics, please refer to the datasheet for the Kionix KXTI9.

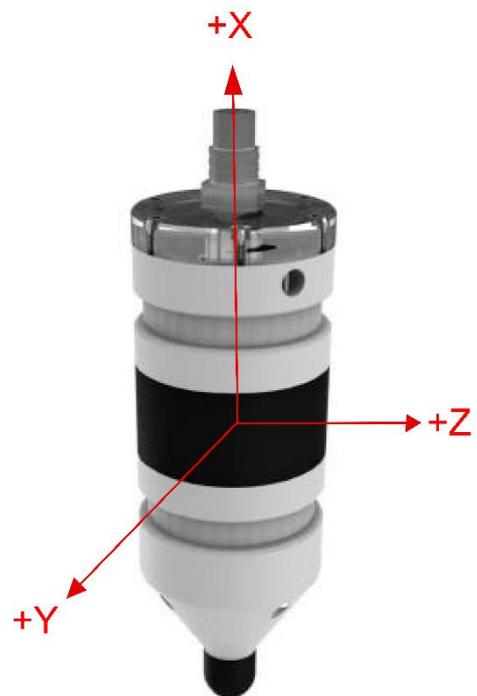


Figure 4 - Accelerometer axis for ST300

3.6 ST4300 multi channel recording

The ST4300 supports connection of up to four external hydrophones. These are connected via four wetplugs at the base of the recorder. Each wetplug has a number adjacent to it relating it to the channel selection in the deployment settings.

ST4300 output files are multichannel wav files where the channel numbering is from lowest to highest physical channel number. For example - recording on channels 2 and 4 only would result in a two channel wav file with the 1st wav channel pertaining to the 2nd physical channel.

Recording endurance will be reduced by increased channel count due to both increased power consumption and data rate. We recommend using our online endurance calculator to make these calculations. Note that the calculator assumes use of HTI-96-MIN hydrophones which consume approximately 3.6 mW. Use of other hydrophones may give different results.

Compatible hydrophones can be obtained from High Tech Inc USA with model code:

HTI-96-MIN/3V/Low Noise/SoundTrap/-165dB.

This model has bandwidth of 30 kHz. For higher frequency models we recommend discussing your requirements with HTI.

While use of other manufacturers hydrophones is possible we advise a cautious approach. To be compatible hydrophones must operate on a 3V supply with a max power draw of 10 mW. Contact OI for more information including connector pin-out.

Is is critical that unused channel connectors are protected with dummy wet plugs. Failure to do so will result in damage.

3.7 Deployment hardware

The anchoring scheme used is very dependent on the goals of the data collection in combination with the deployment environment. Thankfully SoundTraps are more easily deployed than traditional acoustic recorders due to their small size. A SoundTrap's weight in water is approximately 0.5 kg.

Most often the hydrophone is located near the sea floor, using an anchored line. This involves running a line between a heavy anchor weight and either a surface or sub-surface float. A sub-surface float is often best, as it is less affected by weather/swell and is less likely to be tampered with. The SoundTrap should be attached to the line a couple of meters off the bottom. Two grooves in the housing circumference provide attachment points for cable ties or hose clamps for this purpose. Do not place fasteners around the soft rubber section at the centre of the housing as this may damage the diaphragm. There are also two lanyard attachment points which can be used to provide additional security/redundancy.

Be mindful that a taut line combined with strong currents may result in 'cable strum' which may disrupt your recordings. In this case a rigid frame may be more appropriate.

Deploying with the external battery housing

The external battery housing has two cable tie slots, bottom and top. Cable ties should be threaded through the associated holes so they cannot slip off. When using an external battery housing the weight of the complete system in water is approximately 1.5 kg. It is important to ensure that the battery and

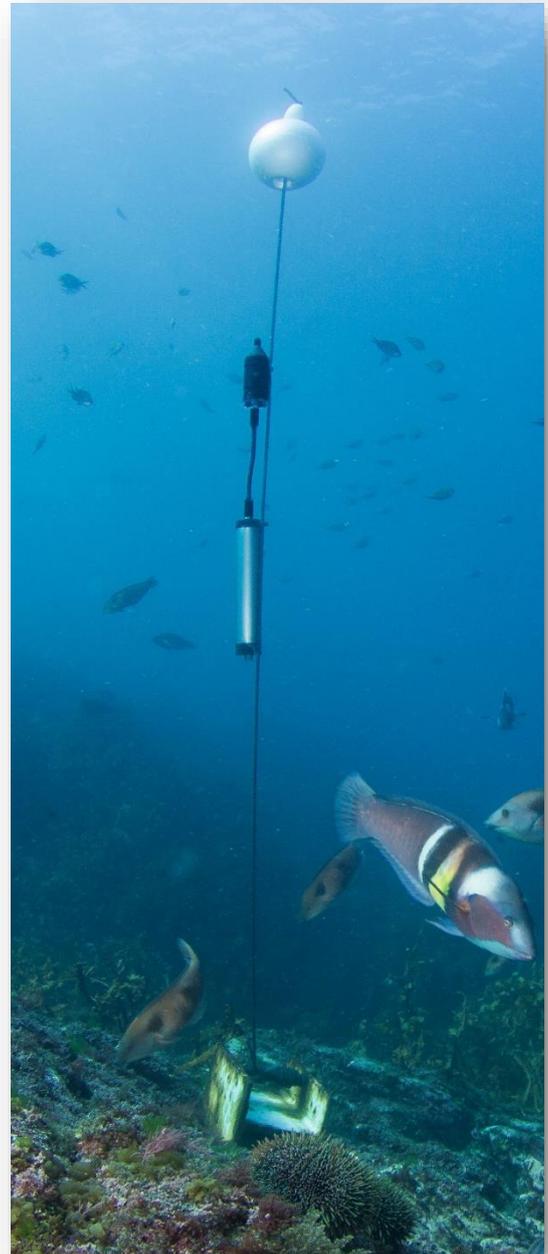


Figure 5 - Typical deployment including external battery

recorder are secured to the line such that there is minimal stress on the power cable. See the image alongside as an example.

3.8 Housing maintenance

SoundTrap ST200 & ST300 series recorders come in two housing types – standard and deep with 500 and 1000m depth rating respectively. Both types of housing are filled with mineral oil in order to achieve their depth rating. You will notice an air bubble visible through the transparent window, which over time will tend to grow in size.

Standard housing (500m rated)

Most ST300 recorders are of this type. For this housing topping up is only necessary when deploying deeper than 100m. If the air bubble becomes larger than approximately 12 mm diameter and you intend to deploy beyond 100m then you must top it up.

Deep Housing (1000m rated)

This housing is recognisable by the soft rubber diaphragm around it's middle section. Most ST200 series recorders are of this type. When using these housings at **any depth** it is important to check that the mineral oil is topped up. If the air bubble is larger than approximately 12 mm diameter, the oil must be topped up.

Topping up procedure

Topping up is done via the filler port screw, located next to the wet plug socket. This is best achieved using a syringe and large gauge needle (16 gauge works well). The oil should be a good quality mineral oil, as commonly available from drug stores. Feel free to send us an email if you are unsure.

3.9 Software updates

New software releases will be made available via the Ocean Instruments website. You may wish to subscribe to our email list in order to receive notification of these updates. The update procedure is generally straightforward – simply install the new software over top of the existing by running the msi file and following the usual Windows software install prompts.

The software updates will typically include updates to both the windows software as well as the device firmware. The updating of the device firmware is an automatic process that occurs when pressing the ‘deploy’ button.

3.10 MSP firmware updates

From time to time a software release may include an update to the ‘MSP’ firmware. This is a special section of the device firmware that changes infrequently. In the rare event that an MSP update is required, the user will be advised during the deploy procedure and will be asked to connect the ‘reset battery’. This is a security feature that ensures the MSP firmware cannot be unintentionally modified. In order to proceed you will need a 9V battery. When asked to ‘connect the reset battery’ you should connect the 9V battery to the battery connector provided on the USB cable. **Note that you must make this connection in one smooth motion, being careful not to ‘bounce’ the connections between the battery and the contacts.** Once the connection is made you can click the OK button as per the software instructions. You will then be asked to remove the reset battery. This done, the MSP firmware update will proceed and complete within a few seconds. If presented with the error message “MSP Erase failed”, it is likely that the connection of the battery was not smooth – please try again, this time ensuring that the contacts come together in a smooth motion, without bouncing.

3.11 Calibration

Each SoundTrap is factory calibrated from new. The standard factory calibration consists of a piston phone calibration at 250 Hz, performed for both low and high gain settings. The calibration data is not shipped with the hydrophone, but instead made available online from the calibration page of the Ocean Instruments website <http://www.oceaninstruments.co.nz/>

The calibration data is provided as an end-to-end value. This measure is provided for both high and low gain settings, and represents the SPL that will result in a normalised (± 1.0) wav file with a full-scale signal ie 2.0 units peak to peak.

Note that in contrast to traditional hydrophone systems, with SoundTraps there is no need to be concerned with sensitivity in voltage terms. Because SoundTraps integrate the recorder and hydrophone in a single package, there is a fixed relationship between sound pressure and the resultant wav file data, thereby simplifying calibration and eliminating the need for voltage calculations.

Application of the calibration data varies depending on the software used. Descriptions follow for some of the most commonly used software.

MATLAB

To convert wav data to units of uPa, simply scale by the end-to-end calibration value. Example code:

```
[y, Fs] = wavread(filename);           % read wav data from file
cal = 173.3;                           % value from calibration sheet
cal = power(10, cal / 20);              % convert calibration from dB into ratio
y = y * cal;                            % multiply wav data by calibration to convert to units of uPa
```

PAMGUARD

PAMGAURD expects calibration data in terms of gain and ADC range. To work around this, specify a preamplifier gain of the calibration value * -1.0 (eg -176.0) and specify the Peak-Peak voltage range as 2.0 V.

PAMGuide

PAMGuide provides several convenient calibration schemes. For SoundTrap data select the end-to-end calibration type and enter a system sensitivity of the calibration value * -1.0 (eg -176.0).

Audacity

Audacity reports SPL in units of dB re full scale. To scale SoundTrap data use the following:

Value in dB re 1 uPa = audacity value + end-to-end calibration – 3dB;

For example, if the end-to-end value from the calibration sheet is 176.0 dB, and audacity reports a level of -70 dB, the calibrated SPL is 103.0 dB re 1 uPa.

Calibration Tones

By default, a series of calibration tones will be audible at the beginning of each recording. These can be used to check the calibration of the recording. After applying the calibration to a recording, the SPL of the 1 kHz tone should be equal to the calibration tone level stated on the calibration sheet.

If the calibration tones are an annoyance, they can be disabled on the deploy tab. However, we recommend keeping them enabled where possible as they provide a useful check of system calibration and performance.

ST4300 Calibration

ST4300 recorders have a fixed gain of -4dB. Overall system calibration is determined by the hydrophone used. This is calculated by adding recorder gain to the hydrophone calibration. For example, using a hydrophone with a sensitivity of 177 dB re 1uPa will result in an overall system calibration of 173 dB. This is the SPL that will result in a normalised (± 1.0) wav file with a full-scale signal ie 2.0 units peak to peak. This can be applied to data using the application examples above.

3.12 Troubleshooting

First port of call when experiencing problems is to check that you are using the most up to date software. Oftentimes small issues are most easily resolved by updating the software – please try this first. The latest software can be downloaded from here:

www.OceanInstruments.co.nz/downloads/

Problem: SoundTrap doesn't appear in device list when plugged into computer

Solution: This is usually due to the batteries being dead flat. When deploying for long periods the battery may become discharged to the point the device is incapable of communicating over the USB. Quickest solution is to:

1. Disconnect the SoundTrap from the USB
2. Close the SoundTrap Host software
3. Reconnect the SoundTrap to the USB
4. If the blue LED indicator does not light, press the STOP button on the remote
5. The blue LED indicator should now light to indicate battery is charging.
6. Leave for at least 30 minutes to allow the battery to recover.
7. Start the host software and confirm device connects.

Problem: Offload process reports errors and produces smaller than expected files.

Solution: This indicates errors with USB communication. Common causes include:

1. Offloading when the recorder battery is very low - recharge overnight and try again
2. Using a external hard drive on the same set of ports - this can overload the USB controller.
3. Using a USB hub - try connecting directly to the computer
4. Using a low-quality laptop - try a better computer
5. The recorder wetsocket is in poor condition - carefully clean internal contacts.

Problem: SoundTrap still won't connect despite having recharged the batteries.

Solution: In cases of extreme battery discharge (e.g. a SoundTrap that has been in storage for several months), it may be necessary to reset the device hardware. Before doing the reset, first

ensure you have recharged the battery as above, preferably leaving to charge overnight in order to recondition the battery. Then perform a hardware reset:

1. Disconnect the SoundTrap from the computer USB port, leaving the offload cable attached to the SoundTrap.
2. Momentarily touch a 9V battery to the battery clip on the offload cable.
3. You should see the green LED blink to indicate a successful reset.
4. Point the IR remote at the clear window and press 'STOP', press a couple of times to be sure it is received.
5. Connect the SoundTrap to the USB.
8. Start the host software and confirm device connects.

Problem: SoundTrap battery won't recharge, or reports wildly fluctuating battery charge.

Solution: This most often occurs in cases of complete battery discharge followed by a long period of disuse. For future avoidance of this problem ensure that you store SoundTraps with the battery in a charged state. The battery can often be recovered using the following method:

1. Connect the SoundTrap to a USB wall charger, such as that used for a mobile smart phone.
2. Leave on charge for a minimum of 48 hours.
3. Reconnect to a PC and check that battery reports full charge (i.e. > 85 %).
4. If the problem persists contact Ocean Instruments to arrange for the battery to be replaced.

Problem: IR Remote is not working.

Solution:

1. Check that it has a battery. These are not supplied due to shipping restrictions. Correct battery type is the commonly available CR2032. Be sure to remove the plastic insulator sheet before inserting the battery.
2. Ensure that you are pointing the remote directly at the clear window at the top.

4 Appendices

4.1 SoundTrap HF Click Detector

The SoundTrap 'HF Click' Detector is a general purpose high frequency click detector followed by a snippet extractor. The detector is designed to detect most odontocetes and is intended to be used as a first pass, guiding you to times in your recordings with lots of transients. You would typically use the detector with a low detection threshold so that it makes a lot of false detects but also detects most genuine clicks (i.e., high sensitivity, low specificity). You then evaluate the reported detections in Pamguard to reduce obvious false detects, to classify clicks into species groups, and to identify bouts, as you would with a continuous wideband recording. The benefits of doing on-board click detection are that you get much longer recording times from your SoundTrap and you can identify times of interest more quickly when you get the data back. The downside of course is that you do not have the full wideband recording on the SoundTrap. This is mitigated in SoundTrap's detector by recording a short snippet of wideband sound around each detection. A few 100's of μs is often all that is needed to classify odontocete clicks into general classes. The detector can be configured to also make a continuous recording at lower bandwidth that allows you to quantify the general ambient noise conditions, an important factor affecting detector performance, as well as the presence of low frequency whistles that can help with species identification.

4.1.1 Click detector

The click detector comprises an approximate pre-whitening filter followed by a power-in-band Constant False Alarm Rate (CFAR) detector. The whitening filter (a 35kHz high-pass filter) corrects the typical low-frequency emphasis of underwater ambient noise creating a more spectrally-balanced signal for the detector. The power-in-band detector consists of a highpass Finite Impulse Response (FIR) filter (approximate 3 dB bandwidth 115 - 160 kHz) followed by a moving average power estimator. The duration of the moving average window is a user parameter (see below). In parallel, the power of the full bandwidth whitened signal is measured using a much longer exponential window to give an estimate of the ambient noise power. This is used to adjust the absolute detection threshold: a detection will be made if the power-in-band is greater than the ambient power by more than the Relative Detection Threshold (RDT) which is a user parameter. When a detection is made, the time of the detection and the ambient noise power at the time are passed to the snippet extractor. A user-selectable blanking time must then elapse before another

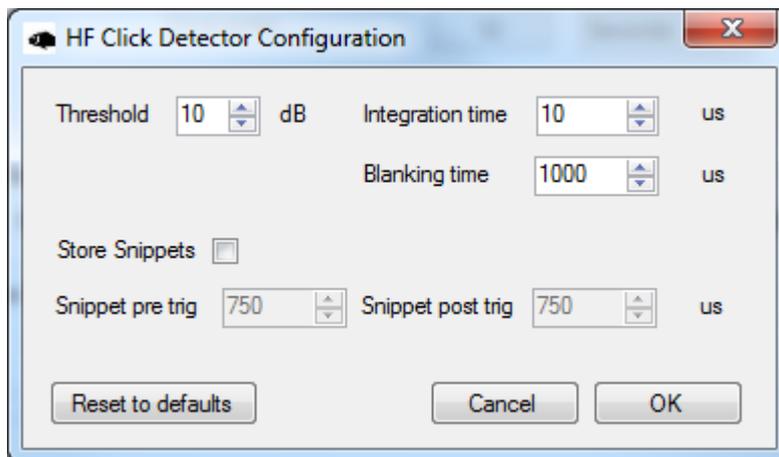
detection can be made. This blanking-time is useful to avoid detecting echoes from a click or to prevent detecting a large number of clicks if an animal is buzzing near the recorder.

4.1.2 Snippet extractor

For each detection, an entry is added to the detection log and a snippet of wideband sound surrounding the detection time is saved. The snippet starts and ends a user-selectable time before and after the detection (user parameters: *pre-trigger* and *post-trigger*). Evidently, saving longer snippets per detection means that the memory is used up more rapidly so this feature allows the user to trade-off the amount of context that is saved for each detection against the total recording time. It is important to note that the snippet is taken from the whitened sound and so is high-pass filtered.

4.1.3 User parameters

The user parameters can be set by clicking the 'Configure' button in the Detector section.



Threshold: The level in dB that the power-in-band must exceed the ambient noise level by for a detection to take place. A value of 12 dB will have a high detection rate but will produce many false positives. A value of 20 dB will detect only strong transients that are well above the ambient noise floor.

Integration Time: Set this to the approximate duration of the clicks of interest. For most delphinids you would use a short averaging time, e.g., 70 μ s, while for beaked whales, porpoises and NBHF delphinids, an averaging time of 150-300 μ s would be appropriate. If you are interested in detecting any toothed whale click, you can either go with a long averaging time (which will reduce the SNR of

short transients and so give poorer detection of delphinids) or an intermediate value which will tend to reduce sensitivity to both short and long transients but not by much.

Blanking time: Time that must then elapse after a detection before another detection can be made. Useful to avoid detecting echoes from a click or to prevent detecting a large number of clicks if an animal is buzzing near the recorder.

Store Snippets: Select to enable storage of detection snippets.

Snippet pre- and post-trigger durations: The time with respect to the detection at which the snippet will be taken. The snippet starts *pre-trigger* seconds before the detection and ends *post-trigger* seconds after the detection. These are both limited to 1.5 ms maximum which is more than long enough to cover odontocete clicks. The number of samples saved per snippet is determined by the sum of the pre- and post-trigger times. With the maximum settings, 1728 samples will be saved per snippet.

4.1.4 Output File formats

The ST click detector produces two additional output files per recording with suffixes 'bcl' and 'dvw'. These are in addition to the .wav and .xml files generated normally. The Pamguard interface automatically interprets these files when displaying detection and continuous recording results. For users interested in accessing the data using other interfaces, the details of the file formats are given below:

- **xml** This is the metadata file produced by SoundTrap to document each recording. The ST detector adds metadata about the detector and the user settings to this file.
- **wav** This is a Microsoft WAV format file containing the decimated continuous sound recording produced in parallel with the detector. The sampling rate is selected by the user but would typically be 48kHz or 96kHz to maximize recording time. By default, sound data is compressed in the SoundTrap using the lossless X3 compressor but this is transparent to the user: the .wav file contains the reconstituted uncompressed data.
- **dvw** This is a Microsoft WAV format file containing the wideband sound snippets for each detection. The sampling rate is 576 kHz and the snippets are arranged contiguously with a constant number of samples per snippet. The size of each snippet is set the by the pre- and post-trigger user parameters. The snippet size in samples will be close to $\text{round}((\text{pre}+\text{post})\cdot 576e3)$ but the precise sample count can be found in the .xml file (see the Matlab tools for an example of how to extract this information automatically). By default,

snippet sound data is compressed using the lossless X3 compressor but this is transparent to the user: the .dwv file contains the reconstituted uncompressed data. Up to 100000 snippets will be saved per recording (i.e., per output file). If more detections are made over this interval, they will be reported in the BCL file (see below) but no snippet will be saved. This puts an upper limit on the memory usage rate making it easier to calculate for how long the SoundTrap will be able to record.

- **bcl** This is a comma-separated-variable (CSV) text file containing information about detections. Each line has 7 columns with the following format:

Seconds (in Unix seconds), Microseconds, Report type, Info1,Info2,Info3,Info4,

To obtain high enough resolution, timing information is spread over two fields (Seconds and Microseconds). The time of each entry is then Seconds+Microseconds/1e6. The four Info fields are determined by the report type of which there are two. Detections have a report type of 'D'. The next two fields (Info1 and Info2) indicate whether a snippet was saved (1 or 0) and the noise level at the time of the detection. Fields Info3 and Info4 are not used in detection reports. The second report type is an effort report which has a type of 'E'. The effort report indicates the times over which the detector was operating. There will usually be an on-effort report at the start of each recording (i.e., with a detector state of 1) and an off-effort report at the end of each recording. The on-effort report has no other data and so appears as: *seconds,microseconds,E,1,,*

The off-effort report appears as: *seconds,microseconds,E,0,noise level,ndets,nsaved,*

where ndets is the total number of detections made since going on effort and nsaved is the number of these for which snippets were saved. In both report types, the noise level is given in Centibels, i.e., $100 \log_{10}(p)$ where p is the noise power referenced to the recorder calibration. The absolute threshold used for each detection is then $p+10^{(RDT/10)}$. If no detections were made throughout a recording, the BCL file will contain two lines:

start_time,microseconds,E,1,,

end_time,microseconds,E,0,noise level,0,0

If there are detections, they will be bracketed between these lines and the appropriate detections counts will be changed in the off-effort report. The BCL file can be read and

displayed by Excel, Libre Office, Open Office etc. See also the Matlab tools for a function to read this file format.

4.1.5 Click Detector Caveats and Cautions

While every care has been taken in producing the SoundTrap Click Detector, this is free software offered as is in the hope that it will be useful: there is no warranty, implied or otherwise, nor implication of fitness for any particular purpose. Please use responsibly! Test that the code functions correctly on your SoundTrap before deploying it, e.g., by setting the RDT to 12 dB and then tapping lightly on the hydrophone with a finger nail. Even if the code is functioning, it may not detect clicks because of poor signal-to-noise ratio, because of inappropriate user settings, or because of a poor mooring design (the same problems that would give you a bad continuous recording).

附錄七、電子文案

附錄七 電子文案

第一篇電子文案

篇名：【110年上半年白海豚重要棲地水下活動監測與分析計劃初步成果】

過去國內的鯨豚調查多以目視調查方法為主，但是萬一天氣與海況不好，或是晚上暗咪摸的時候，要怎麼知道白海豚有沒有出現呢？

鏘鏘鏘鏘~這時候就可以透過「被動式水下聲學監測 (passive acoustic monitoring, PAM)」來突破這些限制啦~我們利用海洋錄音機，以192 kHz的取樣頻率進行長時間錄音，除了可清楚記錄白海豚回聲定位的超音波聲音，在海中的錄音機不易受到天候海況影響，可不分晝夜24小時連續錄音。本年度調查範圍參考過去研究結果，於白海豚活動熱區中挑選苗栗中港溪口以及雲林新虎尾溪口2處作為調查樣區，並依據白海豚分布特性，於不同緯度及水深設置5個監測站。

錄音資料能讓我們了解什麼呢？

由於白海豚主要是以超音波的回聲定位搭聲 (click)，以及頻率範圍在人耳聽力範圍內的哨叫聲 (whistle)，進行覓食、移動及社交等行為，我們可以透過錄到的白海豚聲音，分析該區的活動量及行為。除了白海豚的聲音以外，台灣西部海域中也有很多其他聲音喔！例如：魚類、槍蝦等生物聲音，及船隻、海事工程等其他人為噪音透過聲源分離技術，我們可以分析海洋聲景的組成結構與各種聲音的時空變化趨勢，了解白海豚棲息範圍內發聲動物及人為噪音出現頻度，進而評估棲地品質。

2021上半年的調查成果如何呢？

我們發現在雲林新虎尾溪口海域，偵測到大量的白海豚回聲定位聲音，石首魚類的聲音也很活躍，尤其在日落過後，更能聽到豐

富多樣類型的鳴唱聲。不過，在苗栗中港溪口、崎頂海域，偵測到海事工程及船隻活動等水下噪音較為頻繁，白海豚回聲定位聲音較少，石首魚類的群體合唱也較弱，連續時間也較雲林短。透過水下錄音的成果，我們可以得知各區域棲地品質之間的差異。

我們後續會用水下聲學調查方法監測白海豚的活動狀況，希望透過目視及聲學調查相互搭配，完整掌握白海豚族群活動以及棲息環境狀況，一起守護白海豚的未來~

此篇電子文案以於8月10日交與海洋保育署進行潤稿與排程，並於8月19日下午發表在海洋委員會海洋保育署臉書專頁上。



2021台灣西部沿海白海豚水下活動監測

被動式水下聲學監測：
透過聲學儀器，蒐集白海豚聲音，藉以了解白海豚的棲地利用狀況，相較目視方法，聲學調查不受海況與視線影響，可蒐集長期且連續的生態資料。

海洋聲景應用：
海洋聲景研究是近年來發展的新興領域，透過聲源分離技術，可以分析海洋聲景的組成結構與時空變化趨勢，並進一步評估白海豚棲地品質狀況。



如何進行水下聲學調查

MATERIALS AND METHODS

- 調查範圍** → 挑選苗栗中港溪口以及雲林新虎尾溪口2處白海豚活動熱區進行調查，並依據白海豚分布特性，共設置5個監測站。
- 聲學儀器** → 透過海洋錄音機以192 kHz的取樣頻率進行錄音，可收錄屬於超音波的白海豚回聲定位搭聲，及人耳可聽見的哨叫聲。
- 佈放與回收** → 以底碇重物將錄音機固定於海床上，過程中會由兩名專業潛水人員互相配合，完成儀器佈放、搜索與回收等水下作業。



海洋委員會海洋保育署

8月18日 · 0

【110年上半年白海豚重要棲地水下活動監測與分析計畫初步成果】

過去國內的鯨豚調查多以目視調查方法為主，但是萬一天氣與海況不好，或是晚上暗昧摸的時候，就需要透過水下監測設備來突破這些限制啦～

♥利用海洋錄音機，以192 kHz的取樣頻率進行錄音的好處：

- ①可清楚記錄白海豚回聲定位的超音波聲音。
- ②在海中的錄音機不易受到天候海況影響。
- ③可不分晝夜24小時連續錄音。

♥調查範圍：

本署參考過去研究結果，於白海豚活動熱區中挑選「苗栗中港溪口」以及「雲林新虎尾溪口」2處作為調查樣區，並依據白海豚分布特性，於不同緯度及水深設置5個監測站。

♥錄音資料能讓我們了解什麼呢？

- ①由於白海豚主要是以超音波的回聲定位搭聲（click），以及頻率範圍在人耳聽力範圍內的嗚叫聲（whistle），進行覓食、移動及社交等行為，我們可以透過錄到的白海豚聲音，分析該區的活動量及行為，得知各區域棲地品質之間的差異。
- ②臺灣西部海域生態中，除了白海豚的聲音以外，也有很多其他聲音，透過聲源分離技術，我們可以分析海洋聲景的組成結構與各種聲音的時空變化趨勢，了解白海豚棲息範圍內發聲動物及人為噪音出現頻度，進而評估棲地品質。

♥110年上半年調查成果：

在雲林新虎尾溪口海域，偵測到大量的白海豚回聲定位聲音，石首魚類的聲音也很活躍，尤其在日落過後，更能聽到豐富多樣類型的嗚唱聲。不過，在苗栗中港溪口、崁頂海域，偵測到海軍工程及船隻活動等水下噪音較為頻繁，白海豚回聲定位聲音較少，石首魚類的群體合唱也較弱，連續時間也較雲林短。

我們後續會持續進行白海豚重要棲地水下活動監測，以完整掌握白海豚族群活動及棲息環境狀況，一起守護白海豚的未來！
(^_^)

#白海豚

#白海豚水下活動監測

👍 89

3則留言 13次分享

第二篇電子文案

內容綜合兩次調查之重要結果，並編排為較精簡之版本方便民眾閱讀。

大綱如下：

第一頁：封面

第二頁：海洋聲景介紹

第三頁：佈放成果與聲音分析原理

第四頁：白海豚聲音偵測成果(搭聲偵測)

第五頁：白海豚聲音偵測成果(哨叫聲偵測)

第六頁：棲地聲景分析成果

December 2021 (07) 3982057
www.oca.gov.tw
Ocean Conservation Administration

● 什麼是海洋聲景?
● 佈放成果與聲音分析原理
● 白海豚聲音偵測成果
● 棲地聲景分析成果

110年台灣西部沿海白海豚重要棲地水下活動監測與分析

海洋委員會保育署

什麼是海洋聲景?

海洋聲景是由生物音、環境音、人為噪音構築而成的水下聲音環境。我們可以透過聲景資料，了解該區域發聲動物及人為噪音的組成，進而比較不同地區之間的声音多樣性，並了解當地的棲地品質，評估海洋生物多樣性受到噪音衝擊的潛在風險。

(海洋生態學與資訊實驗室提供)

海洋聲景

- 生物音
 - 發聲行為
 - 生物多樣性 (魚類、甲殼類等)
- 環境音
 - 背景聲音
 - 海洋環境事件
- 人為噪音
 - 船隻活動
 - 開發活動

食餌資源可得性

棲地健康度

棲地受脅程度

評估棲地品質變化趨勢

聲音訊息擷取

生態評估

附錄八、統計資料

附錄八 統計資料

表一 第一次及第二次調查期間各監測站之白海豚回聲定位事件表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Click trains	第一次調查	M1	23	0.000	0.000	0.000	65.687	<0.001
		M2	25	0.000	0.000	12.500		
		M3	25	0.000	0.000	83.000		
		Y1	14	335.000	187.500	626.750		
		Y2	14	683.500	273.750	1148.250		
	第二次調查	M1	17	0.000	0.000	0.000	55.016	<0.001
		M2	17	0.000	0.000	78.000		
		M3	17	192.000	77.500	558.000		
		Y1	17	778.000	379.500	1387.500		
		Y2	17	309.000	197.500	577.500		

表二 各監測站第一次及第二次調查期間之白海豚回聲定位事件表現比較，經 Wilcoxon rank-sum test 檢定後之結果。

Index	Area	Times	N	Median	25%	75%	P value
Click trains	M1	第一次調查	23	0.000	0.000	0.000	0.232
		第二次調查	17	0.000	0.000	0.000	
	M2	第一次調查	25	0.000	0.000	12.500	0.244
		第二次調查	17	0.000	0.000	78.000	
	M3	第一次調查	25	0.000	0.000	83.000	<0.001
		第二次調查	17	192.000	77.500	558.000	
	Y1	第一次調查	14	335.000	187.500	626.750	0.031
		第二次調查	17	778.000	379.500	1387.500	
	Y2	第一次調查	14	683.500	273.750	1148.250	0.092
		第二次調查	17	309.000	197.500	577.500	

表三 第一次及第二次調查期間各監測站之魚類合唱表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Accumulation time	第一次調查	M1	23	0.417	0.000	1.167	47.631	<0.001
		M2	25	0.000	0.000	0.958		
		M3	25	1.333	0.000	2.708		
		Y1	14	2.083	1.625	3.000		
		Y2	14	2.792	2.521	3.479		
	第二次調查	M1	17	3.750	2.875	4.375	54.696	<0.001
		M2	17	1.667	0.917	2.250		
		M3	17	3.583	3.333	4.458		
		Y1	16	4.500	4.083	6.812		
		Y2	16	6.458	4.646	8.312		

表四 各監測站第一次及第二次調查期間之魚類合唱表現比較，經 Wilcoxon rank-sum test 檢定後之結果。

Index	Area	Times	N	Median	25%	75%	P value
Accumulation time	M1	第一次調查	23	0.417	0.000	1.167	<0.001
		第二次調查	17	3.750	2.875	4.375	
	M2	第一次調查	25	0.000	0.000	0.958	<0.001
		第二次調查	17	1.667	0.917	2.250	
	M3	第一次調查	25	1.333	0.000	2.708	<0.001
		第二次調查	17	3.583	3.333	4.458	
	Y1	第一次調查	14	2.083	1.625	3.000	<0.001
		第二次調查	16	4.500	4.083	6.812	
	Y2	第一次調查	14	2.792	2.521	3.479	<0.001
		第二次調查	16	6.458	4.646	8.312	

表五 第一次及第二次調查期間各監測站之生物多樣性表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Diversity	第一次調查	M1	23	0.000	0.000	0.000	51.490	<0.001
		M2	25	0.000	0.000	0.00502		
		M3	25	0.0651	0.00502	0.220		
		Y1	14	0.134	0.0968	0.225		
		Y2	14	0.136	0.0729	0.203		
	第二次調查	M1	17	0.155	0.115	0.233	63.061	<0.001
		M2	17	0.000	0.000	0.0798		
		M3	17	0.245	0.166	0.277		
		Y1	17	0.288	0.266	0.401		
		Y2	17	0.405	0.332	0.444		

表六 各監測站第一次及第二次調查期間生物多樣性表現比較，經 Wilcoxon rank-sum test 檢定後之結果。

Index	Area	Times	N	Median	25%	75%	P value
Diversity	M1	第一次調查	23	0.000	0.000	0.000	<0.001
		第二次調查	17	0.155	0.115	0.233	
	M2	第一次調查	25	0.000	0.000	0.00502	0.238
		第二次調查	17	0.000	0.000	0.0798	
	M3	第一次調查	25	0.0651	0.00502	0.220	0.007
		第二次調查	17	0.245	0.166	0.277	
	Y1	第一次調查	14	0.134	0.0968	0.225	<0.001
		第二次調查	17	0.288	0.266	0.401	
	Y2	第一次調查	14	0.136	0.0729	0.203	<0.001
		第二次調查	17	0.405	0.332	0.444	

表七 第一次及第二次調查期間各監測站之船隻噪音表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Passing ship	第一次調查	M1	23	4.000	2.000	4.000	51.887	<0.001
		M2	25	4.000	3.000	5.500		
		M3	25	6.000	3.000	7.500		
		Y1	14	19.000	13.750	21.250		
		Y2	14	13.000	9.750	17.500		
	第二次調查	M1	17	3.000	1.500	4.000	59.976	<0.001
		M2	17	1.000	0.000	3.000		
		M3	17	4.000	3.500	6.500		
		Y1	17	17.000	14.000	21.000		
		Y2	17	14.000	10.000	18.000		

表八 各監測站第一次及第二次調查期間船隻噪音表現比較，經 Wilcoxon rank-sum test 檢定後之結果。

Index	Area	Times	N	Median	25%	75%	P vale
Passing ship	M1	第一次調查	23	4.000	2.000	4.000	0.331
		第二次調查	17	3.000	1.500	4.000	
	M2	第一次調查	25	4.000	3.000	5.500	<0.001
		第二次調查	17	1.000	0.000	3.000	
	M3	第一次調查	25	6.000	3.000	7.500	0.777
		第二次調查	17	4.000	3.500	6.500	
	Y1	第一次調查	14	19.000	13.750	21.250	0.676
		第二次調查	17	17.000	14.000	21.000	
	Y2	第一次調查	14	13.000	9.750	17.500	0.648
		第二次調查	17	14.000	10.000	18.000	

表九 第一次及第二次調查期間各監測站之工程噪音表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Noise	第一次調查	M1	23	0.0206	0.0247	0.0364	39.317	<0.001
		M2	25	0.0447	0.0267	0.0519		
		M3	25	0.0635	0.0464	0.0725		
		Y1	14	0.0290	0.0173	0.0332		
		Y2	14	0.0195	0.0142	0.0234		
	第二次調查	M1	17	0.0127	0.00524	0.0194	14.545	0.006
		M2	17	0.0197	0.0103	0.0323		
		M3	17	0.0386	0.0129	0.0459		
		Y1	17	0.0244	0.0146	0.0328		
		Y2	17	0.0196	0.0117	0.0330		

表十 各監測站第一次及第二次調查期間工程噪音表現比較，經 Wilcoxon rank-sum test 檢定後之結果。

Index	Area	Times	N	Median	25%	75%	P value
Noise	M1	第一次調查	23	0.0260	0.0247	0.0364	<0.001
		第二次調查	17	0.0127	0.00524	0.0194	
	M2	第一次調查	25	0.0447	0.0267	0.0519	<0.001
		第二次調查	17	0.0197	0.0103	0.0323	
	M3	第一次調查	25	0.0635	0.0464	0.0725	<0.001
		第二次調查	17	0.0386	0.0129	0.0459	
	Y1	第一次調查	14	0.0290	0.0173	0.0332	0.691
		第二次調查	17	0.0244	0.0146	0.0328	
	Y2	第一次調查	14	0.0195	0.0142	0.0234	0.662
		第二次調查	17	0.0196	0.0117	0.0330	

表十一 第一次期間苗栗各監測站之打樁噪音表現比較，經 Kruskal-Wallis test 檢定後之結果。

Index	Times	Area	N	Median	25%	75%	H	P value
Piling	第一次調查	M1	333	122.567	120.783	124.202	587.603	<0.001
		M2	397	127.395	125.643	129.817		
		M3	397	120.898	118.746	122.375		

附錄九、期中審查意見回覆對照表
[海保生字第1100007842號]

附錄九 期中審查意見回覆對照表

[海保生字第1100007842號]

審查意見	辦理情形
(一) 江委員文山	
1. 本計畫重點為特定區域現地監測與分析，本文撰寫建議以實際監測過程、結果分析與討論為主，至於背景知識、理論概述或是比較技術的細節可考量整理於附錄，在期中報告閱讀上比較順暢。	感謝委員建議，將遵照辦理。
2. 本報告文獻整理部分，資料有新有舊，例如 1-2 節相關文獻，請執行單位將較新資料進行更新。	感謝委員建議，將遵照辦理。
3. 請執行單位補充說明選用儀器的相關規格，包括解析度、精度、量測範圍等，並以列表方式呈現。	感謝委員建議，將遵照辦理。
4. 請執行單位補充說明現地作業過程，包括各次作業詳細資料列表，包含作業人員、船隻、港口、時間、地點等，並以列表方式呈現。	感謝委員建議，將遵照辦理。
5. 請執行單位補充說明選定監測位置、時間考量，及點位之	感謝委員提問，針對點位選擇考量，就下列 3 點進行說明： 1. 該調查時間點之規畫，考量涵

<p>間距離的遠近與結果的區位差別及代表性。</p>	<p>蓋兩個不同季節、資料分析及撰寫報告之時間，並搭配計畫的期程，故安排五月進行第一次調查，並代表春季調查結果，第二次則安排於八月，代表夏季。</p> <p>2. 點位選擇上則依照「雙重梯度原則」，依過去研究報告指出，白海豚的分布會受到水深及緯度改變而影響，故以不同水深(梯度一)及緯度(梯度二)進行規劃。</p> <p>3. 且依照四大優先復育區與過去計劃執行經驗，選擇通霄至大安溪及台西至北港溪口之區域。</p>
<p>6. 儀器監測的結果，經過相關判斷分析得到的資料，是否考量以人工監看或是其他方式確認可靠度？</p>	<p>針對人工確認聲音偵測，我們於自動偵測上亦會搭配人工辨識進行標記或剔除，提升資料可信度。</p>
<p>7. 第 68~69 頁關於測量結果的數據說明，建議依測次整理成表格較為清楚。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。</p>
<p>8. 第 70~71 頁目前以測量期間每日的數量呈現，建議以此為基礎，統計一天之中各時段出現的數量。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。</p>
<p>(二) 葉委員信平</p>	
<p>1. 請執行單位按照簡報內容對於期中報告進行調整，以利期中報告閱讀上比較順暢。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。</p>

2. 第參章內容請依計畫工作的兩大項及簡報內容分別敘明。	感謝委員建議，將遵照辦理。
3. 內容建議適度精簡，科學調查報告之格式應有別於教科書或科普教材。第參章部分內容調整，屬於執行方法者請移往第貳章或附錄（或以技術手冊方式呈現），屬於結果者請維持在第參章，經彙整成有效資訊，並以圖、表方式呈現，再與過去參考文獻一併討論，最後做成結論與建議。	感謝委員建議，將遵照辦理。
4. 許多引用文獻未列入重要參考資料中；部分圖未列資料來源；重要參考資料有許多外文文獻未引用。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。
5. 報告格式錯誤頗多，請全面檢視再細心補正。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。
6. 有關白海豚聲紋應有 ground truth 的佐證。	我們透過林子皓博士於 2013 年在台灣西部沿海收集到的水下錄音資料，以及國外研究文獻提出的白海豚哨叫聲類型（Dong et al., 2019；Sims et al., 2012），建立小型的聲音資料庫，運用聲音訊號處理技術，視覺化呈現白海豚的水下聲音特徵，以協助相關單位建立白海豚聲音的辨識能力。
7. 增列期初審查意見之回覆，另期初、期中審查意見之回覆請列入期末報告。	該計畫沒有期初審查，但會於後續報告提出評選審查之意見回覆。

8. 建議期末實際展示水下聲學監測的成果。	感謝委員建議，將遵照辦理。
9. 請精簡摘要內容。	感謝委員建議，將遵照辦理。
10. 1.1 章節請補上文獻，第 4 頁 1.2.1 小節其第三與第五行引用文獻格式有誤。第 5 到第 9 頁，圖 1.2.2-1~1.2.1-8 沒有列入參考文獻，圖 1.2.2-1、1.3-1、1.3-2 缺資料來源。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。
11. 部分內容如 3.1 相關作業流程、3.2 建立監測站、3.3.1 聲音視覺化分析等建議移往執行方法。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。
12. 圖 3.4.1-1 及圖 3.4.1-4 建議移往報告適合處。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。
13. 期初審查曾建議進行培訓後之成效評估（問卷）。	教育訓練效益評估之部分會比照辦理，並於期末報告附上。
(三) 羅委員進明	
1. 報告第 10 頁 1.2.2 章節，其保護區數量請更正為最新資料，目前保護區為 46 處、魚類資源保育區為 30 個。	感謝委員指正，會予以修正。
2. 對於研究調查內容已有初步成果，請問是否有跟過去的計畫及研究調查所得到的族群分布狀況有所比對？並是否吻合？	感謝委員建議，後續會再以過去相關資料進行比對。
3. 在後續調查階段，於海上調查時有無可能搭配輔助監看的	白海豚監測位置大多為河口，其濁度相當高，水下能見度約 20 公分

<p>機制？例如使用空拍機方式監看，並佐證該點位範圍內的白海豚、魚類的活動狀況，作為驗證聲音判讀的參考？另外，在苗栗及雲林其背景音收錄到的船隻與工程噪音除了在人工判讀上，是否有其他輔助方式提高正確性？</p>	<p>左右，因此無法用水下攝影方式。另外，魚類活動狀況之部分亦也受到濁度影響，因此不建議使用空拍機做監測。未來會結合其他方法及參考文獻，加強該報告之可信度。</p>
<p>(四) 林委員天賞</p>	
<p>1. 苗栗三點及雲林兩點在點位設定是有何依據？依據何種原則？</p>	<p>雲林點位設定與當地漁民進行討論，由於深水區之區域為大型船隻停泊位置，在佈放及調查期間易受到干擾，並可能危及潛水夫作業之安全，故綜合漁民之經驗，最終雲林點位選擇在氣象樁及新虎尾溪口。另外，依照過去研究結果指出，在白海豚活動量較高的河口處，易有時空變化之趨勢，造成冬天內縮、夏天外拓之現象，因此雲林點位之間的距離較為緊密。 苗栗點位設定則為過去執行計劃之原始點位，並依據雙重梯度原則設定。</p>
<p>2. 雲林區域有允能風力發電廠在五六月時進行打樁，應有工程噪音，在資料結果沒有發現到此現象，請說明是因為調查時間還是其他原因所導致？</p>	<p>在調查時間允能風場有進行打樁作業，但該施工地點距離雲林點位約 30 公里以上，導致點位資料無法明顯偵測到打樁噪音。後續會提供互動式的長期時頻譜圖，以利海保署確認。</p>
<p>3. 海洋聲景分為人為噪音、環境聲音及動物聲音，而海洋動物也是有很多種類，從何依據確定該海豚聲音是白海豚？</p>	<p>在過去西海近岸目視調查遇到的鯨豚種類，高達 9 成以上為白海豚。另外，在有限調查的情況下，目前無法收集到其他鯨豚在西海岸的聲音特徵，導致在資料庫上缺乏台灣西海岸白海豚與其他鯨豚</p>

	<p>的聲音特徵。但我們依照過去目視調查時利用儀器偵測到的白海豚搭聲間距分布與現有資料相比是相互符合的，因此可確認該海豚聲音是白海豚。</p>
<p>(五) 吳委員龍靜</p>	
<p>1. 在擷取聲音時，能否使用目視、水下攝影等方式證實聲音來源及對象魚種？且缺少直接證據證實該聲音為白海豚。</p>	<p>除了河口區域水濁無法達到水下攝影以外，主動式聲學辨識較常用在遠岸大洋性中水層的魚群辨識，在近岸底棲生物目前沒有較適合的研究方法，水下聲音照相機可能適合調查底棲生物，但儀器要價不菲，於該計畫是無法負擔及處理。</p>
<p>2. 雲林區域附近有一個施工中的風場，苗栗則為營運中的風場，在資料成果上是否有收錄到打樁的聲音，能否分析出在白海豚棲地裡其打樁時最高的聲壓為多少？苗栗海洋風場營運期的噪音是否能分析？並請於期末報告完整呈現。</p>	<p>1. 在調查時間允能風場有進行打樁作業，但該施工地點距離雲林點位約 30 公里以上，導致點位資料無法明顯偵測到打樁噪音。</p> <p>2. 由於苗栗區域是海能海纜施工的上岸處，在調查期間於中港溪口及海洋風場之點位也有收錄到施工噪音。而本計畫先針對施工噪音做討論，因此為對白海豚影響比較大的因子。</p> <p>3. 針對聲音量化的部分，我們將於期末嘗試量化，但無法藉由現有資料直接計算聲壓值。現今用傳統方式量測聲壓值只能量測到生物性聲音與噪音混和後的聲壓值，因此如果需要針對施工行為進行監測，並測量出聲壓值，建議於施工周</p>

	<p>遭量測聲源的大小，進行聲源的模擬評估，以利有效呈現實際聲壓值。</p>
<p>4. 能否分析聲音資料內的超音波頻率為何種？由於淺海漁民所使用魚探機之頻率落在 50-200 千赫茲，該兩區域漁船的魚探機頻率為多少？是否會與白海豚哨叫聲或是搭聲重疊？倘若頻率重疊將可能影響白海豚覓食及溝通，並請執行單位針對白海豚棲地管理提出相關減輕措施。</p>	<p>在調查結果發現魚探機之頻率多落在 50 千赫茲之範圍，我們目前持續增強模型之效能，並於期末前解決魚探機與白海豚聲音重疊之問題。</p>

附錄十、期末審查意見回覆對照表
[海保生字第1100012116號]

附錄十 期末審查意見回覆對照表

[海保生字第1100012116號]

審查意見	辦理情形
(一) 江委員文山	
1. 請將水下監測水下監測具體成果量化數據一併於摘要中呈現，例如打樁與非打樁時期的分貝差。	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 vii 頁修正。
2. 請將水下監測具體成果補充報告結論。	感謝委員建議，將遵照辦理，請參閱 5.1 及 5.2 章節處。
3. 針對報告書在評析區域內棲地利用與時空變化趨勢時，建議可蒐集其他監測計畫成果綜整分析。	感謝委員建議，將遵照辦理。有關白海豚棲地利用與時空變化趨勢，已於 3.4.1 章節處新增其他計畫成果加以論述。
4. 建議於報告內文適當的地方或章節處增加綜整表，尤其是量化數據之部分，以方便讀者閱讀。	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 14、34、35、39、42 頁附上。
5. 分析建議有關數學計算之部分，建議列出方程式。	感謝委員建議，將遵照辦理。已於 3.5.1 章節處新增聲壓值計算公式。
6. P.33，苗栗崎頂外海之水深僅為單一數值，該點位是否不受潮汐影響？請補充說明。	感謝委員指正，該點位由於佈放及回收時之水深剛好為相同數值，但該點位依舊會受到潮汐影響，在此針對疏漏之處將予以修正。
7. 報告內文描述方式較保守，有很多「應該是、可能是船隻、打樁等」等不確定性的用語，	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 45、46 頁修正。

<p>但報告內有實質證據(如船隻偵測數量、打樁位置及日期等)，建議報告書可加強論述。</p>	
<p>8. 該報告具體目擊白海豚之情況放在附錄裡，建議可彙整於本文成果中。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。已將目擊白海豚之情況及驗證過程放置 3.3.1 章節處。</p>
<p>9. 建議補充說明打樁成果，與人為干擾部分進行整合，以利參閱。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。打樁詳細時間位置及資料皆放置附錄中。</p>
<p>10. 建議如需增加點位在外傘頂洲周遭，需要用其他資料佐證。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。已於 5.3.2 章節處新增其他計畫之結果加以論述。</p>
<p>(二) 葉委員信平</p>	
<p>1. 摘要請列入白海豚聲頻相關量化資訊，且將具體量化數據等成果一併呈現出來。</p>	<p>感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 vii 頁修正。</p>
<p>2. P.21、45、48、51、87 針對蒐集白海豚高低不同聲頻所代表的生態意義宜有著墨，請補充說明白海豚高低不同之聲頻所代表的生態意義。</p>	<p>P.9, 3.3 章節提到「目前透過歷年國內外研究結果已知白海豚利用水下聲音溝通及感知周遭環境，其聲音類型主要可分為搭聲 (click) 及哨叫聲 (whistle)。白海豚的搭聲為寬頻、高強度的脈衝波聲音，頻率主要分布在 10 千赫茲以上的範圍，搭聲間距會隨時間而呈現漸進變動的趨勢，主要用於回聲定位、尋找獵物的行為 (Lin et al., 2015; Würsig et al., 2016)。相較於搭聲，白海豚的哨叫聲長度較長，通常為窄頻且具有頻率操作的特性，哨叫聲的頻率範圍主要分布在 3 至 10 千赫茲，用來與其它個體溝通及進行社交行為 (林子皓, 2013; Dong</p>

	et al., 2019 ; Sims et al., 2012) 。
3. 第伍章章節建議名稱改為「結論與建議」，並將諸多研究成果以條列方式呈現作為結論，以利海保署參酌。	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第伍章節處修正。
4. P.10，3.4.1，有關統計檢定的英文，例如 Dunn' s test，其英文字體關係控隔間細過大，報告書英文部分請改用 Times New Roman 字體。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。已於 3.4.1 章節處修正。
5. P.72，3.5.3，白海豚之水下聲頻驗證，應能提供標的動物的照片(P.88 圖 4.3.2-1)或影像為證，建議未來執行計畫時，是否可使用 ROV 協助蒐集影像驗證。	感謝委員建議，但依照過去調查佈放及回收時目擊白海豚之機率極低，無法確保每次出海能目擊白海豚出現。而白海豚監測位置大多為河口，其濁度相當高，水下能見度為 20 公分至 1 公尺左右，因此無法用 ROV 水下攝影方式，且使用 ROV 攝影可能會驚嚇白海豚，影響其生活行為。
6. P.74，3.6 章節的圖 3.6-1，建議再放大尺吋，以利閱覽。	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 52 頁修正。
7. P.72，3.6(1)章節有關「過多違法之漁業活動」，應有引述資料來源，請補充。	感謝委員指正，針對錯誤與疏漏之處將予以修正。已於第 79 頁修正。
8. P.89，5.2 章節提到，嘉義沿海外傘頂洲以南常有母子對的出現，顯見此區域的重要性，是否建議主管機關增列為其重要棲息環境。	根據海保署「109 年台灣西部海域白海豚族群生態監測計畫」的調查結果顯示，外傘頂洲以南至八掌溪口等嘉義沿海亦有相對較高的目擊率，且多為母子對，顯示其亦為白海豚重要的棲息地，因此本計畫建議日後亦可針對重棲範圍外已知之白海豚活動密集區域增設聲學監測站。

9. 參考文獻英文字體與標點符號需要再調整。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。已於第陸章節處修正。
10. 附錄5有關出席人員個資部分請再留意。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。已於附錄5章節處修正。
11. 附錄 11，P.3，(四)之 3 辦理情形第 6 行「近來」應改為應改為「進來」；P.3，(五)之 2 審查意見中「石守魚」應改為應改為「石首魚」，評選報告意見回覆有錯別字請參酌修正。	感謝委員指正，針對格式錯誤與疏漏之處將予以修正及補充。已於附錄 10 章節處修正。
(三) 羅委員進明	
1. 復育區以及保育措施經營管理是本計畫重要的目標，請針對此部分的論述進行補充與強化，提供海保署作為政策制定及對外說明的參考。包括：復育區應如何劃設？如何加強管理？海保署應如何因應新的開發計畫或降低風險？如何有效對外說明海保署經營管理成效？	感謝委員建議，將遵照辦理。已於第 50-62 頁修正。
2. 團隊提到 ISO 的風險評估概念與方法，是否可根據現有的數據製作風險評估分析圖表，以清楚呈現現在的風險狀況？	本計畫數據僅有兩季資料，如需做風險評估分析圖表，需要更多長期資料了解施工對鯨豚之影響，而且相關評估量表須由各界專家學者討論、分析並判斷，除了提升該量表之可信度，也能協助海保署未來有效管理，並能訂定合適之相關辦法或保護區。
(四) 林委員天賞	

<p>1. 簡報 18 頁的打樁期間聲壓值強度與背景值相差 20 分貝，請補充說明計算方法。</p>	<p>感謝委員建議，該聲壓值之計算方法為：</p> $SPL = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} \right)$
<p>2. 聲音資料可以分析出在調查期間白海豚的族群數量嗎？或可依據哨叫聲跟搭聲進行白海豚的個體辨識嗎？</p>	<p>以目前擁有之資料庫及資料筆數，無法達成白海豚個體辨識之功能，頂多透過聲紋分辨鯨豚種類。在透過聲學資料分析族群數量上相當困難，此為聲學調查方法上之限制。</p>
<p>3. 未來建議部分有提到可於外傘頂洲增加的監測站，請提出建議合適之設置點位？</p>	<p>依照過去目視研究調查，在嘉義朴子溪口外側有目擊記錄，因此建議可於嘉義東石漁港及布袋漁港之間尋找合適之水深及海床環境佈放點位。</p>