

OAC-MR-108-0011

臺灣周邊海域水下噪音與被動式聲學監測網

先期規劃委託專業服務案

正式報告

國家海洋研究院 委託研究

中華民國108年12月

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

OAC-MR-108-0011

**臺灣周邊海域水下噪音與被動式聲學監測網
先期規劃委託專業服務案**

正式報告

受委託單位：知洋科技股份有限公司

研究主持人：湛翔智

研究期程：中華民國108年3月至108年12月

研究經費：新臺幣467萬元

國家海洋研究院 委託研究

中華民國108年12月

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

OAC-MR-108-0011

臺灣周邊海域水下噪音與被動式聲學監測網先期規劃委託專業服務案

正式報告

國家海洋研究院

目次

目次	i
表次	iii
圖次	v
提要	1
第一章 前言	5
第一節研究緣起與背景	5
第二節研究方法及步驟	6
第三節專業名詞說明	7
第四節成果報告章節說明	9
第五節研究方法及步驟	10
第二章 水下噪音策略	11
第一節水下噪音增量	11
第二節人為水下噪音影響分析	14
第三節水下噪音測量規範	16
第四節水下噪音減輕措施	21
第三章 鯨豚保育策略	27
第一節相關法令與影響界定	27
第二節鯨豚生態調查	28
第三節棲地聲學環境	31
鯨豚	34
第四節聽力閾值	34
第五節風險分析	35
第四章 台中港先期現地測試	37
第一節人文環境概述	37
第二節鯨豚生態調查案例	39
水下	50
第三節聲學監測案例	50
第四節目視與聲學比對案例	66
第五節被動聲學監測鯨豚棲地案例	73
第六節聲納偵測效能分布研究案例	76

第五章 中長程規劃	81
第一節發展重點及藍圖	81
第二節技術指標	85
第三節作業標準化.....	87
第四節經濟效益評估	94
第六章 產業發展策略規劃	95
第一節市場驅動力.....	95
第二節臺灣市場	98
第三節專利地圖分析	100
第四節國內外供應商盤點	103
第五節規劃說明	104
第六節作業化目標.....	105
第七章 成果與建議	109
第一節重要成果	109
第二節建議事項	110
參考文獻	111
附件	113

表次

表 1 成果報告內容對照表	9
表 2 計畫研究人員分工說明.....	10
表 3 台灣週邊海域發現鯨豚種類之生態調查評估指標	30
表 4 學術界投入被動聲學監測相關調查分析研究.....	32
表 5 學術界投入被動聲學監測系統研發相關研究.....	33
表 6 美國公告的海洋哺乳類聽力保護閾值	35
表 7 鯨豚目擊行為類別定義說明	41
表 8 鯨豚目視觀測調查之大肚溪河口測線航點經緯度	42
表 9 鯨豚目視觀測調查之台電離岸風場區 1 公里緩衝區測線航點經緯度	43
表 10 鯨豚目視觀測調查之台電離岸風場區 4 公里緩衝區測線航點經緯度	44
表 11 監測區樣點的水文環境因子平均值($\pm$ SD).....	46
表 12 鯨豚目擊事件資訊整理.....	47
表 13 水下噪音及被動聲學監測海上作業紀錄.....	54
表 14 不同被動聲學監測系統的應用重點比較.....	73
表 15 被動聲學監測鯨豚生態調查之參考預算.....	75
表 16 臺灣白海豚生態調查及監測計畫執行 3 年後的生態調查指標	75
表 17 被動聲納偵測效能計算方式.....	77
表 18 船舶密度資料可利用性分析.....	80
表 19 水下監測網作業化發展需求.....	82
表 20 水文測量儀器重要規格.....	90
表 21 水下聲學監測相關專利分析.....	102
表 22 水下監測系統國內外製造商清單	103
表 23 海洋監測作業化項目及政府權責單位	104

圖次

圖 1 本案分子項研究計畫架構	6
圖 2 船舶產生的低頻水下噪音增加趨勢	12
圖 3 離岸風場水下基礎打樁及施工船舶	12
圖 4 打樁水下噪音的聲波訊號	13
圖 5 打樁所造成的水下噪音增量	13
圖 6 水下噪音影響海洋動物的情況	14
圖 7 各種水下噪音種類及頻譜圖上分類	15
圖 8 打樁水下噪音對海洋動物的聽力影響	16
圖 9 在離岸風場水下噪音評估建議內容	22
圖 10 臺灣白海豚復育計畫的優先行動	36
圖 11 台中港附近船舶資料(2017 年)分布密度圖	37
圖 12 臺灣白海豚棲地預告水域(綠色區)及離岸風電開發場址(藍色與灰色區)	38
圖 13 鯨豚目視觀測調查用的娛樂漁船	39
圖 14 鯨豚目視調查任務分配位置示意圖	40
圖 15 鯨豚目視調查作業流程	41
圖 16 鯨豚目視觀測調查之大肚溪河口測線規劃	42
圖 17 鯨豚目視觀測調查之台電風場 1 公里緩衝區測線規劃	44
圖 18 鯨豚目視觀測調查之台電風場 4 公里緩衝區測線規劃	45
圖 19 在船上設置水文環境測量設備	45
圖 20 大肚溪口目擊事件的鯨豚方向	47
圖 21 在大肚溪口觀察到白海豚活動(2019 年 6 月 17 日)	48
圖 22 在台中港外觀察到白海豚活動(2019 年 6 月 17 日)	48
圖 23 自記式水下聲學監測系統外觀照片	50
圖 24 自記式水下聲學監測系統使用的鹼性電池	51
圖 25 錨碇式水下聲學監測錨碇系統圖	52
圖 26 錨碇式水下聲學監測系統	52
圖 27 搜尋遺失的水下聲學監測系統之船舶軌跡圖	53
圖 28 加重型錨碇式水下聲學監測系統	53
圖 29 配備吊具的工作船舶布放水下聲學監測系統	54
圖 30 電池發生爆炸露出化學液體	55
圖 31 船舶水下噪音時頻譜圖	56
圖 32 船舶低頻水下噪音時頻譜圖之特徵	56

圖 33 水下噪音 5 秒聲曝值時序變化	57
圖 34 水下噪音 5 秒聲曝值統計分析	57
圖 35 水下背景噪音基線值.....	58
圖 36 拖曳型被動式聲學監測系統概念.....	59
圖 37 拖曳型被動聲學監測系統.....	59
圖 38 音訊辨識軟體偵測鯨豚叫聲範例.....	60
圖 39 音訊辨識軟體偵測參數設定範例.....	61
圖 40 音訊辨識軟體從水下麥克風陣列訊號判斷鯨豚叫聲方位範例	61
圖 41 拖曳式水下聲學監測系統.....	62
圖 42 拖曳式水下聲學監測系統之控制電腦.....	62
圖 43 拖曳式水下聲學監測系統之拖拉穩定試驗.....	63
圖 44 電纜式水下聲學監測系統技術架構	63
圖 45 電纜式水下聲學監測系統測試	64
圖 46 電纜式水下聲學監測系統與水文測量儀器結合	65
圖 47 電纜式水下聲學監測系統之 CLICK 監測	65
圖 48 錨碇式水下聲學監測系統之 WHISTLE 監測	66
圖 49 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的水下麥克風設定.....	67
圖 50 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的濾波器設定	67
圖 51 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的閾值設定	68
圖 52 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(1)	68
圖 53 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(2)	69
圖 54 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(3)	69
圖 55 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(4)	70
圖 56 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(5)	70
圖 57 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(6)	71
圖 58 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測結果(7)	71
圖 59 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的偵測顯示	72
圖 60 被動聲學監測軟體 PAMGUARD 的時頻譜圖	72
圖 61 白海豚水下聲學監測主要範圍及重點區域.....	74
圖 62 臺灣白海豚棲地設置水下聲學監測系統布放方式	74
圖 63 被動式聲納的效能指數計算方式	76
圖 64 臺灣週邊海域水深地形圖.....	77
圖 65 台中港附近海水聲速剖面數值資料	78
圖 66 台中港附近水下噪音地圖.....	79

圖 67 臺灣週邊海域水下監測中長程規劃	81
圖 68 台中彰化外海的水下監測網規劃	84
圖 69 中長程計畫的關鍵技術指標.....	86
圖 70 以採水方式測量水文數據之方式	89
圖 71 作業化所採用的水文測量儀器	90
圖 72 水文測量儀器的資料報表	91
圖 73 水下聲學監測系統佈設方式.....	92
圖 74 水下噪音分析軟體 AUSPECT	92
圖 75 台中港附近海氣象站資料	93
圖 76 海洋應用領域範圍所需的聲學式及非聲學式水下感測器.....	95
圖 77 歐美國家出口水下感測器產值	96
圖 78 水下感測器產業價值鏈及市場變化機制.....	97
圖 79 國內水下噪音監測相關計畫及重要事件之發展過程.....	99
圖 80 全球水下噪音專利數量分析.....	101
圖 81 水下監測作業化目標說明	106

提要

關鍵詞：水下監測網、水下噪音監測、被動聲學監測、白海豚、離岸風場

一、研究緣起

在全球海洋經濟發展中，產生水下噪音對海洋環境影響問題，是近年來的一項新興議題，讓歐美國家投入相當多研究發展資源，各項計畫包含長期監測水下噪音量、建立新船水下噪音管制規範、調查海洋哺乳類生態、制訂離岸工程水下噪音管制規範、建立海洋哺乳類動物聽力閾值保護規定等，各國政府提出的施政措施都是為了保護海洋資源及重要生態，並加強海洋環境基線調查(baseline survey)範圍與項目，都是值得我國借鏡。

二、研究方法及過程

在水下噪音監測網產業研究分析及臺灣週邊海域的監測需求研擬中，因應水下監測的整體規劃需求，擬訂策略與可行方案。研究步驟先蒐集水下監測產業相關研究報告，並進一步分析國內外市場趨勢和最新技術，再提出相關策略規劃，經評估國內需求後，具體擬訂水下監測網發展藍圖和中長程計畫內容。

在水下聲學監測技術應用研究中，以台中港附近海域為範圍，設定在大肚溪口及彰化外海離岸風場為試驗場，依照研究方法提出的被動聲學監測和鯨豚族群調查之方法，實際驗證海上調查程序與資料蒐集的可行性。重要步驟包含儀器規格設計、設備組裝、系統操作、海上調查、數據分析及報告資料等。

三、重要發現

水下聲學監測技術是國際上新興產業發展重點，從過去的國防監測需求，到目前大量的軍民通用系統，歐美各國皆投入大量計畫資源，從事水下噪音汙染監測及被動聲學監測，中長程目標是改善海洋環境中的噪音影響問題。本研究已完成水下噪音監測技術發展現況及國內外供應商分析，進一步分析國內市場因離岸風場開發所帶動的水下監測市場需求量，同時在使用被動聲學監測鯨豚活動之需求亦漸增，因此，有逐步吸引國內外設備製造商及技術服務商進入臺灣市場之趨勢，可預期水下監測產業市場規模將會穩定成長。

因應未來水下監測技術發展的中長程計劃，本報告針對台灣週邊海域之需求分為鯨豚生態與環境調查、海域國防安全監測、海洋能源與資源開發等 3 大類，再依照水下監測技術現況分成 8 項技術發展重點，包含海洋環境噪音、水下噪音值變、水下噪音汙染問題、

鯨豚生態調查、反潛作戰、港口安全、海上搜救及海洋防災等。依照台灣週邊海域各種潛在的水下監測需求，提出 6 年作業化監測目標，成為本計畫成果重點之一。

水下監測系統採用自記式或即時式各有優缺點，自記式的優勢只有成本較低，包含設備本身價格及布放方式。即時式有拖曳型及海纜型，可快速取得資料進行分析與評估，是最大優勢。在設置上，拖曳型系統必須有適當的作業船舶以及操作人員，其他較容易受到限制之處包含海上作業時間、海況條件、水深限制(不宜太淺)、船舶干擾等。電纜式需長期且完整規劃，如果布放水深及離岸距離較遠，會涉及到相關法規要求提出申請，包含環境影響評估、海岸管理法等。國外海纜式系統多納入各種用途，包含地震海嘯監測、海洋科學調查、海水資源測量及國防監測等。

在今年的海上調查工作及分析案例中，已由台中港南邊的大肚溪口及台電第一期離岸風場進行被動聲學監測及鯨豚目視調查，共計有效努力里程 126.8 公里，總航行時間 32.2 小時，有效努力時數 10.8 小時。在鯨豚調查過程中，在努力航程中目擊 1 次和非努力航程中目擊 1 次，鯨豚物種皆為白海豚。其次，利用水下噪音監測數據，計算出台中港南端大肚溪口的水下噪音變化量，並統計出 5%、50%、90%的機率百分比之水下聲曝值，以及水下背景噪音基線推估值，可做為鯨豚生態評估參考依據。本研究並使用被動聲學監測方式比對目視調查結果，可取得使用偵測軟體的操作參數，包含鯨豚叫聲偵測模組、濾波器參數、偵測閾值設定等。

四、主要建議事項

1. 水下監測網應全面性發展，包含海洋環境噪音、水下噪音值變、水下噪音污染問題、鯨豚生態調查、反潛作戰、港口安全、海上搜救及海洋防災等項目。產業發展在初期仍需倚賴政府推動需求及環境建構，其中應多提供給中小企業相關研發補助及融資貸款方案，加速民間企業建立設備製造產能及海上作業能量，才能有效配合與執行政府機關提出的中長程計畫。
2. 水下監測作業化應訂出作業上的標準化流程，至少包含標準作業程序、作業系統化、品質管理要求及風險管理說明等。逐步採用自動化監測儀器、數據資料庫、雲端智慧化分析技術和公開透明資訊，有效改善海洋環境、創造永續發展條件及顧及人民生活品質與保持健康，亦應列入中長程計畫目標。
3. 政府投入鯨豚生態調查之績效評估，可採用歐美國家相關績效指標，包含「族群結構分析」、「族群豐度分析」、「人為影響分析」、「評估報告量」及「評估報告頻率」等，作為鯨豚保育策略之參考依據。

4. 執行臺灣白海豚棲地與生態調查的 1 年所需預算約 1.7 億元，如連續監測 3 年後
的生態調查指標可明確提升，預估可較完整掌握族群結構，並估算季節性或地理
性的密度變化，以及獲得人為影響(如漁業干擾、水下噪音影響)的證據，有助於
執行白海豚復育計畫中的風險管控。
5. 研究計畫案中如有海上調查案，建議在每年的 1 月就啟動計畫，加速完成海上作
業所需的各項設備建置與訓練，才有利完成全年度作業。

第一章 前言

海洋佔地球面積 70%以上，對環境及經濟的永續發展極為重要，海洋強權國家皆積極加強調查與保護，並鞏固海洋領土主權，有效地利用海洋來發展國家經濟。

第一節 研究緣起與背景

海洋在各國關注的環境保護構面上，包含了生態系發展多樣性、洋流影響氣候穩定、大量吸收二氧化碳、水循環重要源頭、主要糧食來源等，都是生存的關鍵條件，國際間有美加與歐盟等二大體系主導及倡議。而經濟構面則有貿易船運、海底油氣探測、海事工程、海洋再生能源、資源探勘、安全防禦等，多數臨海及海島國家，皆不斷投入開發。當經濟發展對環境保護有所影響時，先進國家會採用風險管理上的監測措施，作為決策依據及解決問題的方針。

在全球海洋經濟發展中，產生水下噪音對海洋環境影響問題，是近年來的一項新興議題，讓歐美國家投入相當多研究發展資源，例如長期監測水下噪音量、建立新船水下噪音管制規範、調查海洋哺乳類生態、制訂離岸工程水下噪音管制規範、建立海洋哺乳類動物聽力閾值保護規定等，各國政府提出的施政措施都是為了保護海洋資源及重要生態，並加強海洋環境基線調查(baseline survey)範圍與項目，都是值得我國借鏡。

再者，水下監測也可以提供海洋災害防範作為，常見的災害包含海底地震(earthquake)、海嘯(tsunami)、油氣噴發(oil and gas eruption)、海床土石流(mudslide)、沙波(sand wave)、內波(internal wave)等，這些災害發生時，常伴隨產生氣泡、水體摩擦、聲波路徑改變等物理現象並發出噪音，可利用被動聲學監測(passive acoustic monitoring, PAM)技術，偵測特定聲波頻段之變化特性，作為預警訊息依據。此外，使用被動聲納監聽及監測水下噪音資料，對國家海洋安全亦十分重要，尤其在水面下的反潛作戰(anti-submarine warfare)、水雷作戰(mine warfare)、聲納偵測效能(sonar predicted performance)、無人載具攻擊(unmanned vehicle attack)等，皆須長期作業化監測水下噪音及建立準確預估作業，分別提供給水面艦、潛艦、戰術模擬、戰術指揮等單位，始得進行敵我判斷及決策依據。

本研究計畫因應臺灣週邊海域的水下噪音監測需求，提供中長程計畫之建議規劃內容，

包含各年度建置目標、監測規劃重點、國內外技術現況、關鍵技術指標、經濟效益評估、作業化監測內容、先期試驗成果等。

第二節 研究方法及步驟

本研究計畫架構依照期初規劃有二分項計畫(如圖 1)，共有 6 個子項計畫。在分項(一)的研究方法中，分為水下噪音監測網產業研究分析及臺灣週邊海域的監測需求研擬，主要為因應水下監測的整體規劃需求，擬訂策略與可行方案。研究步驟先蒐集水下監測產業相關研究報告，並進一步分析國內外市場趨勢和最新技術，再提出相關策略規劃，經評估國內需求後，具體擬訂水下監測網發展藍圖。

在分項(二)的研究方法著重於水下聲學監測技術應用，以台中港附近海域為範圍，設定在大肚溪口及彰化外海離岸風場為試驗場，依照本研究提出的被動聲學監測和鯨豚族群調查之方法，實際驗證海上調查程序與資料蒐集的可行性。重要步驟包含儀器規格設計、設備組裝、系統操作、海上調查、數據分析及報告資料等。為提高本計畫成效，進一步規劃原始數據和分析資料公開方式建議。

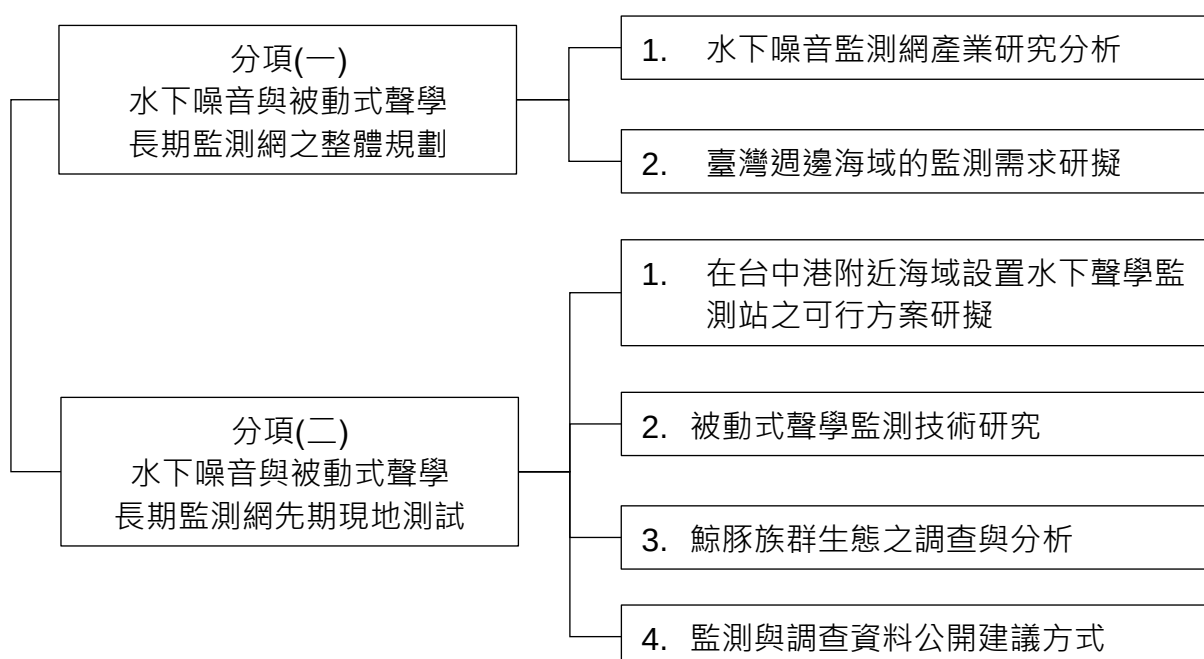


圖 1 本案分子項研究計畫架構

本研究報告呈現上，在對應到有關水下噪音影響鯨豚生態問題時，係參考美國國家大氣海洋總署(NOAA)在 2016 年 9 月發表的一份報告「Ocean Noise Strategy Roadmap(簡稱 ONSR)」(Gedamke, et al., 2016)，其內容先探討人為活動所產生的水下噪音對海洋環境之影響問題，再提出相關研究案例(台中港附近海域)說明調查和研究內容之重要性。其次，由於水下噪音監測技術涵蓋相當多元，對於台灣週邊海域水下監測網的應用層面及產業發展上，以產業分析的策略規劃為重要導向，據此擬定中長程規劃及行動方案為產出內容。

第三節 專業名詞說明

在報告內容提到的專業名詞說明如下。

1. 水下噪音(**underwater noise**)：水下噪音泛指在水中或海洋中的各種噪音，主要分為自然發生及人為產生，例如海面風浪、地震、降雨、生物、船舶、聲納及離岸工程等。水下噪音所採用的水下聲壓值(**sound pressure level, SPL**)在計算均方聲壓時，參考聲壓量為 0.000001 平方帕(10^{-6} Pa^2 ; $1\mu\text{Pa}^2$)，在物理場測量水下噪音得到的水下聲壓值，則是用均方根聲壓來計算，參考聲壓量為 0.000001 帕($1\mu\text{Pa}$)。簡而言之，水下聲壓值以功率頻譜密度(**power spectral density, PSD**)計算或在時序上以聲曝值(**sound exposure level**)時，其參考聲壓量以 $1\mu\text{Pa}^2$ 表示，本文在圖表繕打上亦會用 $1\mu\text{Pa}^2$ 表示。
2. 被動聲學監測(**passive acoustic monitoring**)：從英文字義上的解讀較接近聲音監測，與水下噪音監測都屬於被動聲學(**passive acoustics**)科技之一環。水下噪音監測的資料應用著重在水下噪音聲壓值之物理量分析，也就是分貝值測量與計算之高低；因此，在近年已有國際標準組織(ISO)發展出水下聲學規範，如 ISO 18405、ISO 18406 等，目的是提高水下噪音測量的精確度(降低不確定性)及資料品質。但就水下聲學測量技術發展上欲達到統一標準化仍有許多瓶頸，其中關鍵在於測量水下噪音的目的性太廣泛，致使測量方法多元且設備規格難以標準化。以 ISO 18406 為例，其適用在打樁產生水下噪音的測量範疇，但不包含用在海洋動物聽覺影響評估(或影響範圍界定)，關鍵就在海洋動物的聽力閾值資料不齊全且範圍龐大(相較於人類聽力)，無法統一說明測量技術指標，如頻率範圍、聲壓範圍等。因此，在 ISO 18406 規範中，許多測量方式採用建議而非規定，像是距離打樁的監測距離可在 750 公尺，建議使用 2 組水下麥克風等。

3. 在鯨豚生態研究上，針對已知的物種進行調查的相關名詞如下。

- (1) 存在(presence)—在生態紀錄(biological records)中描述野生動物的發現資料；例如在海上目擊紀錄(影像)、聲音紀錄等。
- (2) 豐度(abundance)—從發現資料中統計出時間與空間之變化情況。
- (3) 分布(distribution) —將生態紀錄資料找出空間關聯性，確認物種出現的範圍；例如臺灣白海豚(*Sousa chinensis taiwanensis*)的主要分布在臺灣西部沿海從苗栗至台南一帶水域。
- (4) 密度(density) —在特定時間與單位面積中的物種數量，常用總數除以平方公里。
- (5) 棲地(habitat) —指物種覓食、社交、繁殖、育幼和生長的自然環境及條件描述；例如本研究探討的鯨豚棲地聲學環境(cetacean habitat acoustics)或棲地聲景(cetacean habitat soundscape)。
- (6) 族群數(population size)—從生態紀錄資料推估物種的個體總數及族群結構(structure)，例如年齡、性別、總數成長率等。

第四節 成果報告章節說明

本研究報告依招標規範工作項目之次序，完成之內容對照(表 1)。

表 1 成果報告內容對照表

編號	招標規範工作項目	章
(一)	水下噪音與被動式聲學長期監測網之整體規劃	
1.	往昔相關研究成果彙整(水下噪音監測) (鯨豚生態調查與減輕措施) (水下聲學監測技術發展)	第二章 第三章 第六章
2.	整體發展架構研擬	第五章
3.	未來實施系統、策略、方法及期程規劃	第六章
(二)	水下噪音與被動式聲學長期監測網先期現地測試	
1.	台中港附近海域建置水下聲學監測站，進行長期監測之先期測試，其調查方法需能提供未來長期監測參考	第四章
2.	被動式聲學鯨豚偵測與分析 (1) 被動式水下聲學監測站現地佈設及實測 (2) 鯨豚音頻與環境背景音頻調校辨識 (3) 聲學信號濾波及相關後處理 (4) 系統穩定性及持久性分析 (5) 實測成果與海上目視調查結果進行比對與分析 (6) 量測至少 30 天	第四章
3.	鯨豚族群生態海上調查與分析 (1) 海豚數量及行為調查 (2) 水文環境調查，項目包含溫度、鹽度、pH、水深及濁度 (3) 資料分析 (4) 調查次數至少 10 次。 (5) 目視與聲學比對	第三章 第四章

第五節 研究方法及步驟

參與本研究計畫之研究人員分工說明如表 2，合計投入 73.75 人月數。

表 2 計畫研究人員分工說明

類別	職級	姓名	工作內容	參與人月
計畫主持人	研究員	湛翔智	統籌計畫執行、水下聲學數值計算、儀器組裝布放、產業研究	9
研究人員	研究員	邱侑蓮	鯨豚生態調查方法研究、被動聲學監測	9
研究人員	研究員	陳思安	水下聲學儀器組裝與測試	1
研究人員	研究員	吳宇喬	水下聲學儀器組裝與測試	1
研究人員	研究員	林育朱	鯨豚生態調查、市場調查研究	1
研究人員	研究員	楊佩璇	鯨豚生態調查、市場調查研究	6
研究人員	研究員	陳仁坤	儀器組裝布放、鯨豚生態調查、資料分析	9
研究人員	研究員	王智文	儀器組裝布放、鯨豚生態調查、資料分析	9
研究人員	研究員	蔡偉立	鯨豚生態調查、資料分析	5
研究人員	研究員	曾柏弼	儀器分析軟體設計	1
研究人員	研究員	吳琦芳	產業研究、資料分析	2
研究人員	研究員	王杏瑜	鯨豚生態調查、資料分析	5
研究人員	研究員	粘雨馨	鯨豚生態調查、資料分析	5
研究人員	研究員	劉愛慈	水下聲學數值計算、資料分析	3.25
研究人員	研究員	黃華興	資料分析、儀器組裝布放、產業研究	3
研究人員	研究員	黃彥婷	鯨豚生態調查方法研究、產業研究	2.5
研究人員	研究員	吳雨瞳	鯨豚生態調查方法研究、產業研究	1
研究人員	研究員	李仲皓	水下聲學儀器組裝與測試	1

第二章 水下噪音策略

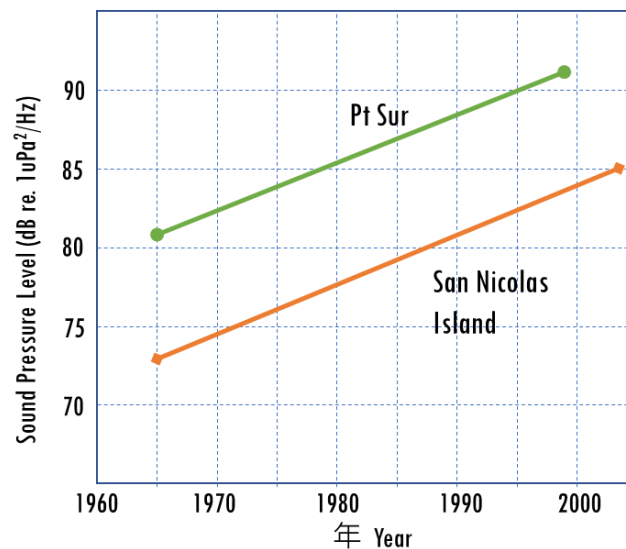
在海洋中的水下噪音問題被視為影響海洋動物生存的威脅，參考 ONSR 報告 (Gedamke, et al., 2016)的水下噪音策略框架，說明持續增加的水下噪音量正在影響海洋動物的棲息環境以及生態系統，由於影響的方式相當複雜，當中包含了各種急性、慢性及累積性的影響問題。

第一節 水下噪音增量

歐盟在海洋戰略綱要命令(Marine Strategy Framework Directive, MSFD)推動下，提出動良好環境政策(Good Environmental Status, GES)，在第 11 章提出水下噪音管制方法，特別著重在非脈衝水下噪音的影響，主要原因是歐盟認為長期累積性的影響，是造成海洋動物大量減少的關鍵因素，成因就是船舶水下噪音量不斷地增加 (Tasker, et al., 2010)。

除了歐盟開始倡議監測及管制船舶水下噪音外，國際研究曾長期(1965 年至 2000 年)在東北太平洋監測 63 Hz 及 125 Hz 等低頻水下噪音量提高了 5 dB，其分析結果顯示每 10 年約增加 1.4 dB (Andrewa, Howe, & Mercer, 2011)，表示過去 30 年間，因船舶大型化、航速加快及海上活動等因素，讓水下噪音量增加了 1 倍以上。

此外，船舶產生水下噪音在 10 Hz 至 1 kHz 之間頻率，已經證實會影響到海洋動物的聽力範圍，有研究分析了美國海軍在深海的水下噪音監測數據，從 1969 年至 2006 年的資料比對中，發現在二個海域(Pt Sur 和 San Nicolas Island)的分析結果相似，如圖 2，低頻 100 Hz 以下的水下噪音量增量約每 10 年有 3 dB，顯示深海的水下噪音污染也非常嚴重 (Southall, et al., 2018)。



圖片來源：知洋科技公司，改編自參考文獻(Southall, et al., 2018)

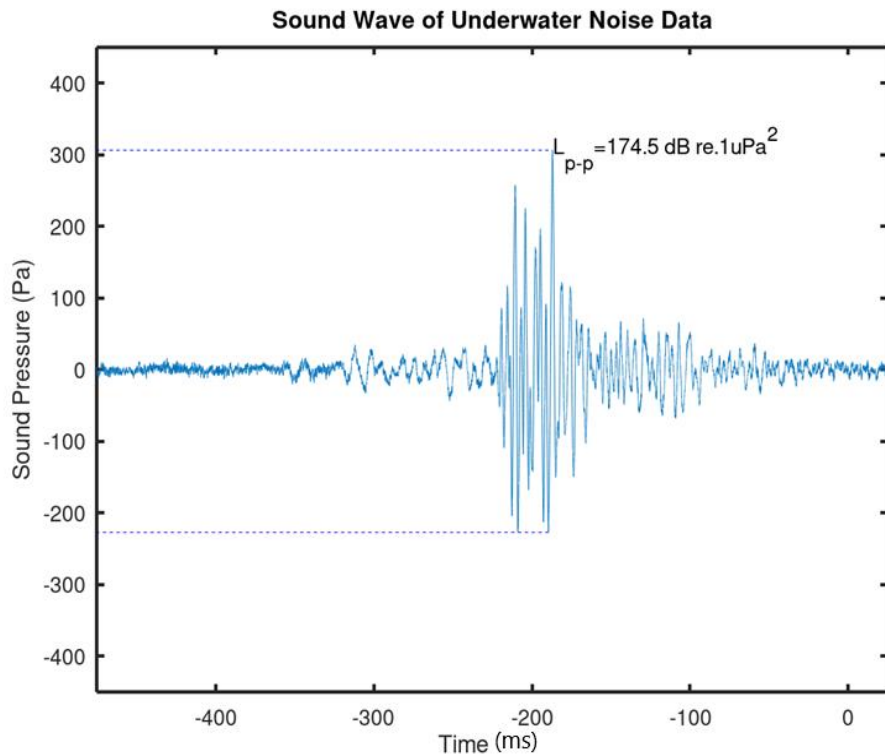
圖 2 船舶產生的低頻水下噪音增加趨勢

離岸工程開發所產生的水下噪音是對海洋動物的另一項威脅，其中以打樁安裝海上結構(如鑽油平台、風力發電機、變電站)的水下基礎過程(圖 3)，會產生脈衝式(impulse)噪音之影響最顯著。圖 4 為打樁水下噪音的聲波訊號 (湛, 等, 2019)，其特徵是在短時間(約 0.2 秒)產生數十倍至數百倍的聲壓量，如圖中所產生的最大聲壓峰值為 174.5 dB re. 1uPa²。當密集性打樁時，可從圖 5 的水下聲曝值 1 秒鐘及 5 秒鐘分析看到提升到 140 至 165 dB re. 1uPa²s，其施工打樁前的背景值約為 100 至 120 dB re. 1uPa²s 之範圍。



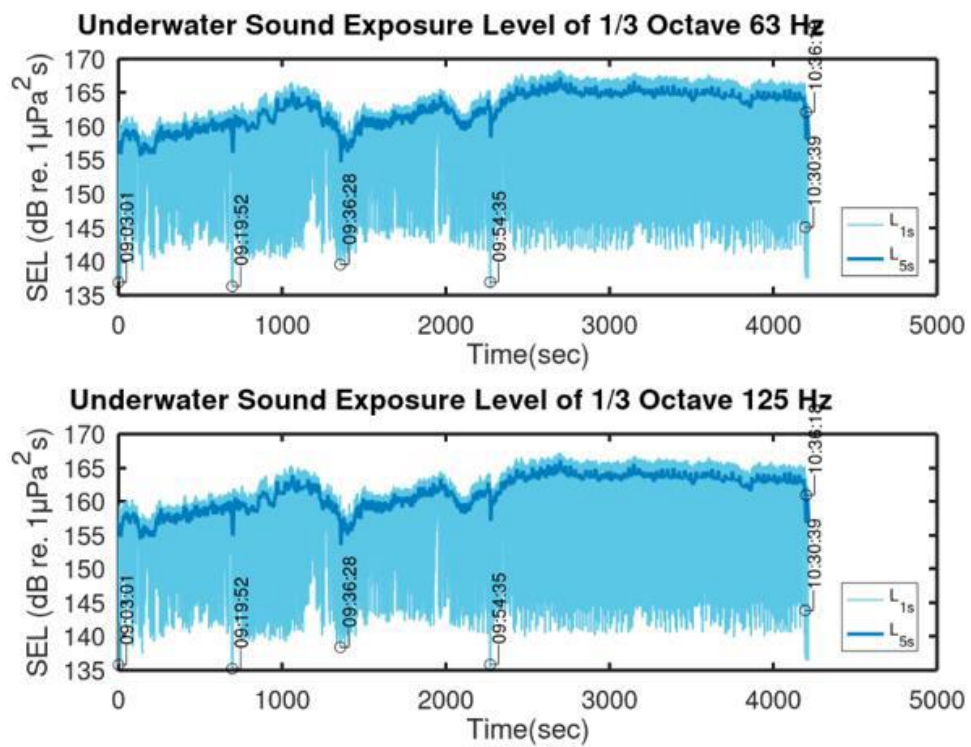
圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 3 離岸風場水下基礎打樁及施工船舶



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 4 打樁水下噪音的聲波訊號

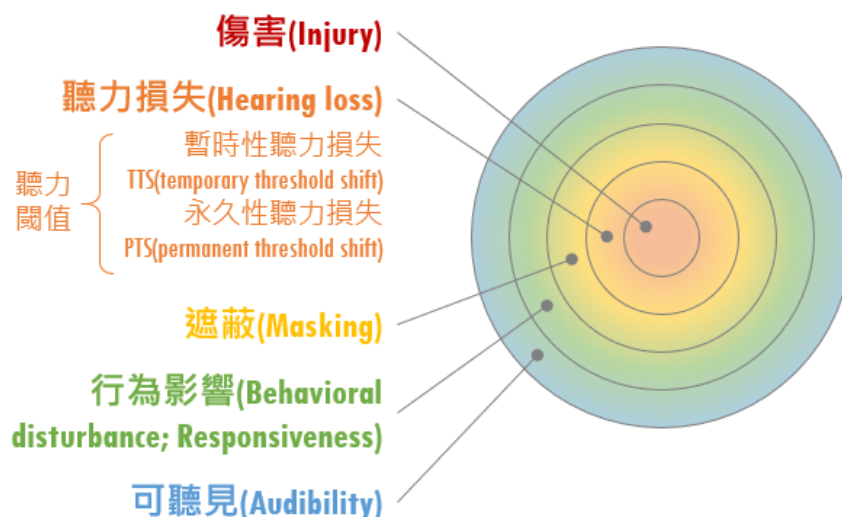


圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 5 打樁所造成的水下噪音增量

第二節 人為水下噪音影響分析

水下噪音影響海洋動物的各種情況，常用圖 6 (Richardson, Greene Jr., Malme, & Thomson, 1995)的概念來說明，當水下噪音發生在圖中的中心位置時，在越接近中心位置則對海洋動物的潛在影響越嚴重，像是造成傷害(injury)。然而，水下噪音量會隨著傳遞距離而降低，因此，海洋動物在不同位置的影響程度，就可分為聽力損失、聽覺遮蔽、行為改變、可聽見（長期慢性壓力）等。實際上，海洋動物受噪音干擾的實際影響，經常隨個體當時的生理狀態、行為與聽力而變，常見的監測方法為「目視觀察調查」及「被動式聲學監測」。圖 6 中每一類型影響層面都是一種機率的變化，隨著遠離暴露噪音量而降低其發生之可能性。海洋動物在水下環境中，經常高度仰賴聲音主動搜尋其獵物、靠聽覺監聽其他動物的活動，甚至從環境噪音特性尋找其適合的棲地位置。而水下噪音影響鯨豚的調查中，行為改變的水下噪音閾值是唯一可監測到的客觀數據，才能進一步提出聽力損失作為判斷是否產生嚴重影響的關鍵，依照聽力損失的實際情況，可分為永久性聽力損失閾值改變(permanent threshold shift, PTS)及暫時性聽力損失閾值改變(temporary threshold shift, TTS)，大多數影響問題都是以 PTS 或 TTS 作為嚴格管制門檻或保護條件，我國尚無相關法令規範。



圖片來源：知洋科技公司

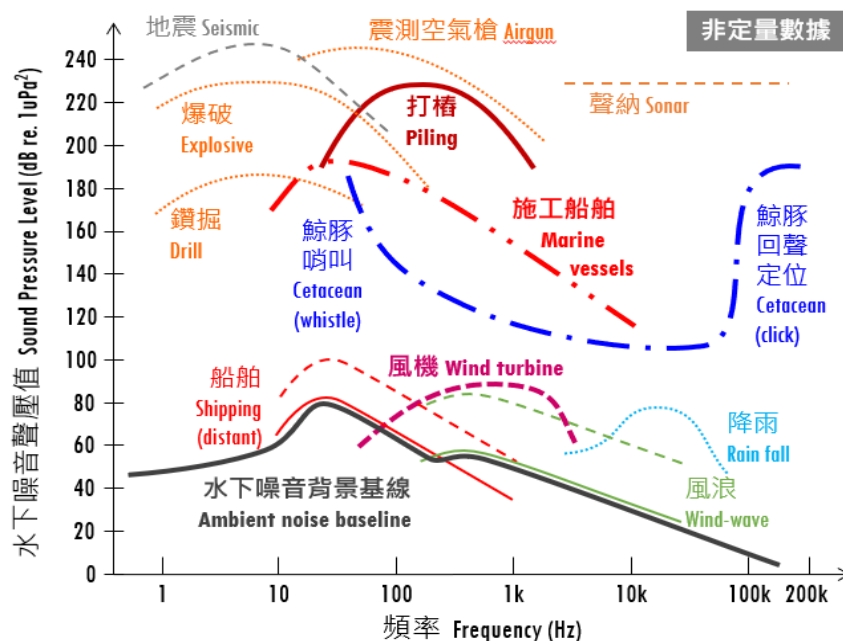
改編自 (Richardson, Greene Jr., Malme, & Thomson, 1995)

圖 6 水下噪音影響海洋動物的情況

為了進一步評估海洋動物生存環境的水下噪音差異，必須先進行水下噪音基線調查，並分為分析水下噪音來源及變化範圍。水下噪音來源分為自然發生及人為產生(如圖 7)，各類水下噪音源頭的頻率分布特性及可能發生的聲壓值範圍整理於中，自然發生的項目包含海面風浪、降雨、地震、海洋動物叫聲等，人為產生則有船舶、施工、爆破、聲納、震測等。從事水下噪音調查的考量條件包含監測位置與水深分布、水下麥克風(hydrophone)規格(如靈敏度及頻率響應)、海洋環境監測範圍、訊號處理與資料分析效率等。

實際上，水下噪音及鯨豚生態可作為海洋健康與否的重要指標，例如歐盟自 2008 年開始建立綱要計畫(MSFD)，於 2010 年提出「良好環境狀態(Good Environmental Status, GES)」政策內容 (Tasker, et al., 2010)，其中第 11 章節特別提出水下噪音的監測與管制要求，分為二個重要指標：人為產生的脈衝水下噪音及連續(非脈衝)水下噪音，並規劃中長程調查計畫，目的是先找出基線位準，再進一步提出保護海洋動物的減輕對策。

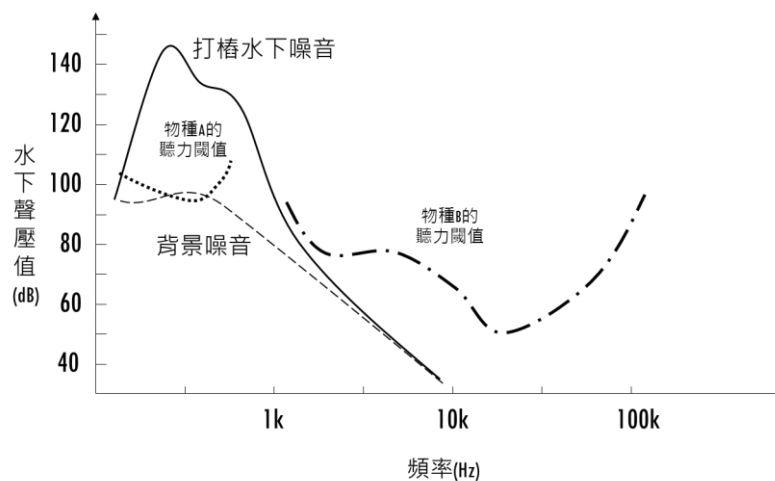
為了能有效評估並減輕水下噪音對鯨豚之具體影響，水下噪音監測網在本研究計畫發展中相當重要，其設置目的除了基線(現況)調查外，也包含海洋空間開發監測、減輕措施監測和對照分析、作業化監測架構發展及預報模式資料同化等。有關於水下噪音對鯨豚生態的影響，監測重點在基線調查和人為噪音變動，因此，蒐集長期有效的數據是相當關鍵。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 7 各種水下噪音種類及頻譜圖上分類

圖 8 為頻譜圖分析打樁水下噪音對不同海洋動物物種聽力閾值(hearing threshold)的影響方式，打樁噪音能量集中在 4 kHz 以下，當海洋動物(如物種 A)的聽力在這頻率範圍內則可能受到影響，程度上則會以水下聲壓值(underwater sound pressure level, SPL)來估算，樁徑尺寸越大或打樁機功率越大時，則水下噪音聲壓值會越高。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 8 打樁水下噪音對海洋動物的聽力影響

第三節 水下噪音測量規範

為了精確地分析與評估水下噪音影響問題，國內外逐步建立各種監測目的的測量規範，現有的水下噪音測量方法分為三種類型：(1)低頻水下噪音調查、(2)船舶水下噪音測量、(3)離岸工程(風力發電、油氣鑽探)水下噪音監測。可參考的測量方法包括各國政府及研究單位提出的指引、國際標準(ISO 及 IEC)、歐盟、德國等。

1. 水下噪音測量指引

為了因應歐盟 GES 大型調查計畫，許多國際組織提出船舶水下噪音的測量標準，如 ISO 17208-1、DNV GL Silent、BV NR 614 DT R01 E，作為新造船舶水下噪音管制規範。此外，GES 在 2014 年公布的技术指引 (Dekeling, et al., 2014)，則是先取消了打樁產生

脈衝水下噪音的監測閾值，原因是打樁工法差異性大，應先從功率範圍來釐清聲源強度，因此決議再研究後另行公布；其他脈衝水下噪音，如聲納、震測空氣槍則是從聲源強度來規範，而非脈衝水下噪音仍維持在低頻的評估門檻。在區域性歐盟的組織中，亦有提供離岸風場開發的環評技術指引 (OSPAR, 2008)，內容包括水下噪音的測量與評估的項目和方法。

英國在 2015 年由 British Standards Institution (BSI) 公布一份離岸再生能源的環評指引 (BSI, 2015)，其中指出水下噪音是必須評估的項目。此外，英國針對海域開發環境影響評估指引係由 CIEEM(Chartered Institute of Ecology and Environmental Management) 在 2016 年所制訂 (CIEEM, 2016)，其在離岸風場案例中要求，必須針對可能對生態產生影響的項目，進行基線(baseline)調查、施工與營運的影響評估，各項影響問題評估採用風險管理方式，應引用明確標準或具體研究依據。因此，英國政府另透過研究單位提出一份水下噪音測量技術指引 (GPG 133, 2014)，內容包括船舶水下噪音測量技術、水下聲學相關技術、打樁水下噪音測量技術等。

2. 德國環評管制

歐洲各國中，目前僅德國提出環境影響評估國家標準 StUK4 (BSH, 2013)，須依照離岸風場四個階段：開發前基線調查、施工階段、營運階段、除役階段等，分別提出監測計畫與評估內容。此外，德國對打樁施工的水下噪音採取較明確且嚴格的管制閾值，不論有無使用打樁減噪措施，在 750 公尺半徑以外範圍，水下噪音聲曝值(SEL)不得超過 160 dB re. 1 μ Pa²s 的容許閾值 (BSH, 2013)。根據 2011 年德國水下噪音監測技術指引內容 (BSH, 2011)，打樁水下噪音聲曝值係以 30 秒的累計作為判斷數值，採取全面性管制考量，沒有以特定海洋動物聽力閾值作加權計算。

3. ISO 標準

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)在水下聲學有關的標準分類項 ISO/TC 43/SC 3 中，目前共有以下 6 個標準：

- ISO 17208-1:2016
Underwater acoustics -- Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships -- Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes.

- ISO 18405: 2017
Underwater acoustics – Terminology
- ISO 18406:2017
Underwater acoustics -- Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving.
- ISO 17208-2:2019
Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships — Part 2: Determination of source levels from deep water measurements
- ISO/NP 17208-3 (Under development)
Underwater acoustics -- Quantities and procedures for description and measurement of underwater noise from ships -- Part 3: Requirements for measurements in shallow water.
- ISO/NP 20073 (Under development)
Standard-target method of calibrating active sonars for imaging and measuring scattering.

ISO 17208-1:2016 規範的主要目的，是按規定提出測量船舶水下噪音的系統規格、程序及方法，規範中的水下噪音門檻並非用於評估對特定海洋動物的潛在影響。所有水下噪音值皆以水下聲壓值(sound pressure level, SPL)來計算，聲壓物理量採用均方根(RMS)值，並以 1/3 八音度為每個頻段的計算頻寬。因此，水下噪音量門檻亦依照這些參數而決定。ISO 17208-1 在 2012 年由美國聲學學會(Acoustical Society of American, ASA)協助制訂(ISO/PAS 17208-1:2012)，在該版本中分為三種不同嚴謹度的測量規範及門檻，但在 ISO 17208-1:2016 中已經合併成一種測量方式，而最新的 ISO 17208-1:2016 並沒有揭露船舶水下噪音量門檻，應還在重新研擬中。

ISO 17208-1:2016 規範沒有限制測量船型大小、無人或有人船，唯一條件是船速不得超過 50 節，且不適用在潛艦或飛機等載具測量範圍。在海上操作此規範時，並沒有要求在特定的水域，但是必須說明操作水域的環境，如背景噪音、附近船隻航行狀態、海洋環境、海床及地質條件、海氣象條件、船舶移動性與安全性等。所有水下噪音場的分析條件皆以遠場(far field)為主，在海洋波導(waveguide)環境中，必須在足夠水深和測量距離上，減少海面及海床的邊界影響，才能夠以此為假設。

ISO 17208-1:2016 規範要求使用 3 支全方向性水下麥克風(omni-directional

hydrophone) , 同時測量不同角度(15°、30°、45°)的船舶水下噪音量 , 建議採用的系統可為船載式、底碇式、浮標式。每次測量時 , 船的左右舷須航行各 2 次經過水下麥克風 , 最接近距離(closest point of approach, CPA)為 100 公尺或相當於船舶總長度。相關的水下聲學技術參考 ISO 18405 規範。此外 , 水下麥克風的校正技術建議參考 IEC 60565:2006(在 2019 年已經改版為 IEC 60565-1 和 60565-2:2019) , 要求每 12 個月校正一次 ; 水下噪音量計算 1/3 八音度頻寬技術規範採用 IEC 61260 。

ISO 17208-2:2019 規範用於量化船舶水下噪音的聲源聲壓值 , 在 ISO 17208-1:2016 的測量方法所規定的原則下 , ISO 17208-2:2019 更進一步規定測量深水場域的定義在水深超過 150 公尺或水深大於船長的 1.5 倍 , 而船舶聲源定義為單點(monopole) , 聲源深度則定在 0.7 倍的船舶吃水深。在推估聲源聲壓值時 , 提供空間幾合計算式 , 將噪音在不同頻率的波長影響測量不確定性定義為數學計算式 , 在使用時可明確求出船舶的水下噪音聲源值為佐證。水下噪音聲壓值的有效測量結果除了依照 ISO 17208-1:2016 要求必須高於背景噪音 3 dB 之外 , 在不同 1/3 八音度的頻率範圍中 , 測量不確定性有相關要求 , 例如低頻 10-100 Hz 應低於 5 dB , 中頻 125-16k Hz 應低於 3 dB , 高頻>20 kHz 應低於 4 dB 。

4. 挪威船級社(DNV GL)

挪威船級社公布最新的 DNV GL-Silent 規範中 , 在第 6 部第 7 章第 6 節說明 DNV GL-Silent 的規範設計內容 , 係以船舶水下噪音控制並減緩對海洋環境衝擊的目的為主。其水下噪音量門檻根據不同用途船型 , 提出 5 種方案 : (1)配備重要的水下聲學儀器(Acoustic, A) 、 (2)攜帶震測聲納接收串陣列(Sismic, S) 、 (3)從事漁業(Fishery, F) 、 (4)研究用途或特定噪音限制操作要求(Research, R , 參考 ICES 209 規範) 、 (5)噪音對環境影響限制(Environmental, E) 。依照 DNV GL-Silent 驗證的船舶 , 必須在各種航行操作條件下 , 符合該規範的水下噪音量門檻以下。

DNV GL-Silent 規範使用 1 支水下麥克風測量水下噪音(各種船型皆相同) , 測量位置必須固定在海床上 , 且高度不得超過海床面上 0.2 公尺 , 水深須超過 30 公尺(或船速平方值的 0.64 倍) , 固定支架的設計與尺寸皆有限制。船舶測量航行的方式有 2 種 : (1)直線自由航行、(2)旋轉繞圓航行 , 其 CPA 為 100~200 公尺 , 直線自由航行必須左右舷各測量 1 次 , 航行期間必須使用差分式衛星定位系統(DGPS)或導航定位系統紀錄航線。

測量資料的分析與 ISO 17208-1 規範一樣 , 須依照 IEC 61260 規範計算出 1/3 八音

度頻譜，或是可使用快速傅利葉(fast Fourier transform, FFT)計算後再求出 1/3 八音度頻譜。在推算船舶水下噪音聲源值時，已知水下麥克風至測量船舶參考位置的距離為 r 時，DNV GL-Silent 規範建議使用 $SL=RL+18*\log(r)$ 的經驗公式，若考量海床反射時，則再扣除 5 dB。

資料分析方法上，與 ISO 18405 規範有較大的差異在 DNV GL-Silent 規範要求頻譜分析頻率到 100 kHz，按照取樣定律的考量，則水下噪音紀錄系統必須取樣在 200 kHz 以上，才能達到要求。

5. 法國船級社(BV)

法國船級社在 2017 年提出 BV NR 614 規範，可用於測量自航式船舶水下噪音，目的是為了管理與減輕水下噪音對海洋動物的影響。特別提到歐盟 GES 相關規定 (Tasker, et al., 2010)，在 63 Hz 及 125 Hz 的水下噪音影響問題。BV NR 614 規範根據不同用途分為 3 種船型：(1)噪音控制船舶(controlled vessel)、(2)先進船舶(advanced vessel)、(3)特殊船舶(specified vessel)，前二者在規範中有明確的水下噪音門檻值，第三者可參考其他規範，如研究船可依照 ICES 209 進行。

BV NR 614 規範中的內容大多參考 ISO 17208-1，但仍有一些相異之處，例如強調是為了保護海洋動物而設定水下噪音值門檻，這與 DNV GL-Silet 相似，但 ISO 17208-1 目前仍未作如此說明。另外，BV NR 614 規範可適用在淺水和深水的測量作業，在淺水的水深必須超過 60 公尺(或船速平方值的 0.3 倍)，深水水深必須超過 200 公尺(或 2 倍船長，或當船長超過 200 公尺時須超過 1.5 倍船長)。而對水下麥克風、資料紀錄器及測量海水聲速的 CTD 之校正週期要求，則是為期每 2 年一次。

在水下噪音測量系統的建議上，BV NR 614 規範與 ISO 17208-1 一樣都使用 3 支水下麥克風，在淺水建議採用底碇式，在深水則為浮標式。在每次測量趟數上，BV NR 614 規範是最多趟次且路徑最複雜，除了總噸重超過 10,000 的船舶只需跑 2 趟 CPA 距離之外，其他每次測量都必須跑 6 趟，分別是在 1、1.5、2 倍 CPA 的左右舷各 1 次。在這樣的航行設計下，則可以量到更多垂直角度的船舶水下噪音，有別於 ISO 17208-1 要求的 15°、30°、45°等夾角。此外，推估船舶水下噪音聲源值時，BV NR 614 規範提出了多種方式，包括水下音傳數值模式(如 wave integration model、ray trace based model 等)、球面波擴散損失計算式(水深 100 公尺以上)及經驗公式(水深小於 100 公尺)，在此規範中，

經驗公式與 DNV GL-Silent 規範相似，但把衰減係數 18 改為 19。而採用水下音傳模式可以得到較精確的推算結果，但前提是必須較完整地蒐集數值模式所需的各項資料與參數。

6. 比較說明

彙整三份船舶水下噪音測量規範內容，經比較後發現對於監測方法仍有許多差異性，顯示在測量水下噪音資料上，有許多技術仍待克服及突破。在進一步歸納後發現，BV NR-614 是比較完整，且涵蓋淺水與深水的測量方式，不過相對的測量成本就會增加，例如每次需要測量 6 趟。而 DNV GL-Silent 對於船舶用途的分類較多種類，對應到的水下噪音門檻則分得較細，例如海洋研究船就有明確的頻譜門檻值。但 DNV GL-Silent 的頻譜頻率必須達到 100 kHz，也就是說，測量時的數位資料取樣率必須超過 200 kHz 以上，這在系統設計上是較大的挑戰。要求水下噪音頻譜須要達到 100 kHz，應與海洋動物的聽力範圍有關連，這也呼應 DNV GL 的規範中，明確提到所制訂的水下噪音門檻值，是與海洋動物保護有密切關係。

此外，在測量的船舶種類目標中，ISO 17208-1 沒有預設用途，暫時也沒有水下噪音門檻值，其規範定義在測量技術內容。而歐洲的 DNV GL-Silent 和 BV NR-614 則是針對各種用途船舶，制訂出測量方式與門檻值，甚至明確提出與近年離岸工程常見的大型船舶(如浚挖施工船)之測量門檻，但這些門檻應用僅止於船舶，不包含打樁或鑽掘等施工噪音。從 ISO 公布的水下聲學 ISO/TC 43/SC 3 的相關規範中，多數仍在持續修訂與研擬中。

我國新造船舶尚無法規要求，在出廠前必須先測量水下噪音量及符合管制值，而未來在實務操作上，採用哪一項規範及測量系統規格，將會影響到作業時間與花費成本。再者，船舶水下噪音量產生的高低值，與船速有直接關係，如依據較嚴格的 BV NR-614 規範，則必須提出各種操作航速、船上機械作業等測量結果，則不論是海上作業時間及花費成本都可能提高。而以測量重複性的誤差要求來看，ISO 17208-1 與 BV NR-614 皆須要在一定的偏差內，因此，現場使用即時監測發報系統，立即確認是否為有效測量值，將是成本節省的必要方式。

第四節 水下噪音減輕措施

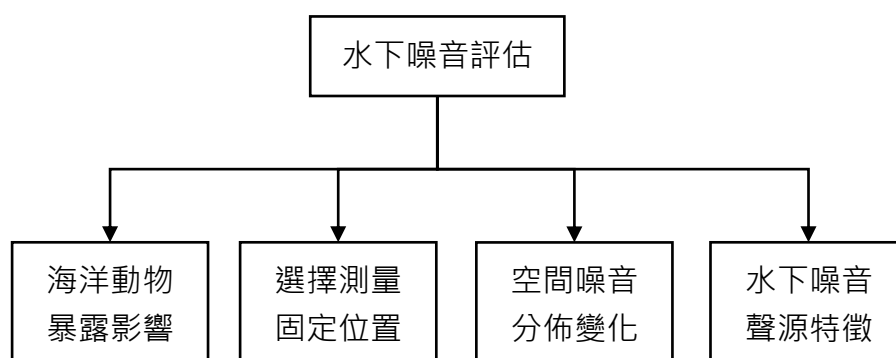
國際上許多先進國家針對水下噪音的影響問題，已在近 10 年提出相關減輕對策，分

別以歐洲及美國的經驗做為借鏡，可對於船舶、離岸施工、聲納等產生水下噪音問題，建立進一步的減輕對策，以減少水下噪音污染情況。

1. 歐洲經驗

歐盟在 2010 年推動 GES 協助成員國，提出能源開發的人為活動在影響到的海洋環境時的策略規劃，這包括噪音、光、電磁、熱、輻射能等問題 (Tasker, et al., 2010)。其中，最廣泛的問題是水下噪音的產生與影響，對生物受體暴露在水下噪音當中，可分為短期(急性)與長期(慢性)的影響指標(indicator)。2010 年歐盟委員會(EC 2010)也據此決議，使用這二項指標，來描述良好環境狀態 (Tasker, et al., 2010) (Dekeling, et al., 2014)下的水下噪音影響程度：第(1)項水下噪音指標(Task 11.1)是為了量化低中頻的暫態高分貝噪音值，採用聲曝值(SEL)或聲壓峰值(peak sound pressure level)的計算方式推估到海洋動物在距離聲源 1 公尺處，對水下噪音在頻率 10 Hz 至 10 kHz 的重大影響。

第(2)項水下噪音指標(Task 11.2)是獲得低頻連續的水下背景噪音之趨勢，可用觀測資料計算或數值模式模擬等方式，推算噪音中心頻率 63 Hz 與 125 Hz 在 1/3 八音度頻寬的全年度變化值。對離岸風場開發所需的水下噪音測量方式而言，上述的方法是通用合宜。而評估水下噪音對海洋動物影響的門檻值，則有許多方式：(a)採用單一固定的聲源強度門檻值，(b)依照風險評估考量各種門檻值，(c)依據各種人為產生水下噪音的聲源特性建立門檻值；圖 9 為可參考的評估建議內容。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 9 在離岸風場水下噪音評估建議內容

2. 美國經驗

在 ONSR 報告 (Gedamke, et al., 2016)中提到美國由三個聯邦實體共同負責實施 MMPA：

- (1) 國家大氣海洋總署漁業部門(NOAA Fisheries)：負責保護鯨魚、海豚、海豹和海獅。
- (2) 美國魚類和野生動物管理局(U.S. Fish and Wildlife Service)：負責保護海象、海牛、海獺和北極熊。
- (3) 海洋哺乳動物委員會(Marine Mammal Commission)：以科學為基礎的監督聯邦機構，獨立提供對國內外政策及措施，以解決人類對海洋哺乳動物及其生態系統的影響。

ONSR 主要是探討人為活動所產生的水下噪音對海洋環境之影響問題，範圍包括從沿岸到深海的離岸工程，這些持續增加的噪音量正在影響海洋動物的棲息環境以及生態系統，由於影響的方式相當複雜，當中包含了各種急性、慢性及累積性的影響問題。而 NOAA 作為海洋動物與棲息地保護的美國聯邦最高負責單位，則必須提出各種法定管理機制，並採取更多的協議與措施，來因應水下噪音各種層面的問題。

在 ONSR 的報告中提及：很多的科學研究發現到，特定水下噪音問題已經足以影響到海洋動物的行為，尤其是這些海洋動物發展的生態系已經超過數百萬年，對於人為在海洋製造水下噪音的問題，差不多才 100 年左右，卻足以改變海洋中的聲音景象(稱為 soundscape)，這是相當大的變化。而且這些改變已經證實會影響海洋動物利用聲音的能力，如擇偶、覓食、社交行為、躲避天敵、方向感判斷、其他生存必要的技能等。因此，NOAA 在水下噪音的管理目標與執行方式上，必須維持長期且需要保育的棲息地有良好的低音環境，更必須讓特定物種避免受到急性生理傷害及行為干擾。

NOAA 在 ONSR 中，制訂出未來 10 年的水下噪音管理方式，目的是為了平衡各種開發活動與保育自然棲息地，包含了各種合法、經濟、科研、國防及防衛等項目。此外，在提出的規劃建議中，NOAA 將扮演主管機關的重要角色，直接面對各種挑戰及策略目標。更值得注意的是，NOAA 對海洋動物棲息地的影響行為，具有開發授權，也就是開發過程不應該發生影響層面大的水下噪音問題，同時必須納入適當的監測作業。NOAA 採用的管理措施將透過審查方式、協商諮詢、或其他機制，甚至透過其他減輕水下噪音影響的綜合方式，發揮主管機關的重大權責。因此，ONSR 的策略規劃將致力於提出更多明確的方法，

讓 NOAA 能有效地應付更多的開發行為或計畫，且不論是科學研究或委外機構都必須肩負這些重責大任。

在 NOAA 策略規劃內容中，的確有蠻多值得學習之處，最重要的地方就是既然要做防治，就應該全面性考量，在 ONSR 中提到四個核心策略目標就是：

- (1) 科研：有關單位必須不斷地分享重要資訊且加深瞭解水下噪音對海洋生態相關的影響層面。
- (2) 管理：主管機關的業務範疇就是必須跨部會統整，以減緩水下噪音對海洋物種及棲息地的重大影響。
- (3) 決策工具：主管機關應公開提出開發行為製造水下噪音而影響到海洋生態問題的評估、規劃與減輕等方法。
- (4) 延伸：主管機關應肩負水下噪音影響問題的民眾教育，並與相關機構及國際上保持密切合作關係。

NOAA 從 2013 年開始主導擬定 ONSR，花費 3 年左右的時間，才制訂出這份未來 10 年的策略規劃，從內容來看，有更多研究及發展的課題，亟需政府部會和相關單位著手進行。首先是回顧 NOAA 過去制訂的海洋噪音影響評估的門檻值，再由最新的研究結果來說明海洋動物受水下噪音影響的各種問題，彙整出海洋物種的生存環境、族群分布、棲息地、族群變化趨勢等資訊。由此可知，積極調查臺灣周邊海域的生態及重要的族群分布，尤其是容易受到水下噪音影響的物種，但在過去容易被忽略的範圍，應是刻不容緩的。

其次是針對特定物種與區域的音響環境(acoustic habitats)掌握和管理之基礎建立，ONSR 建議的措施包括(1)與相關單位和產業界共同提出長期且廣域的水下噪音減噪技術；(2)針對發聲或敏感物種所在的水域，依照海洋空間利用規劃及現有需保育的物種，提出水下噪音累積影響問題的管理工具和相關措施；(3)提出現有必須保護的水域更多完整的保護目標，因此必須找出音響環境可能發生的高風險性問題。

在 ONSR 中重新檢視現有對海洋聲音景象的特徵描述能力以及未來可加強的項目，其中的關鍵仍在於前面所提到的海洋環境調查方式與分析方法，應如何改善水下噪音測量的硬體設備；分別使用固定式或移動式的測量系統來蒐集資料時，在特定調查範圍內，需要多少組系統也是重要關鍵。然而在各種聲音資料的分析方法中，應有足夠的資料來分辨出各種聲音來源，並可以提出聲音景象(soundscape)和音響環境(acoustic habitats)的具

體特徵，這將是評估重點。不過由於海洋測量系統的設置數量有限，難以滿足所有的測量需求，因此可利用經驗公式或數值模式來推估前述的相關分析，可加強所有評估的完整性。

在風險評估的應用上，**ONSR** 則是提出許多區域性研究案例作為策略規劃的建議參考，這表示在多數的環境保護區的性質都是獨特的，唯有加強調查與分析，才能從案例研究的經驗累積中，找到更多適當的風險評估方法與管理機制，這也是策略規劃中必須保留的發展空間。在海洋噪音防治策略上，不應要求速成，而必須全面考量各項發展環節，不論如何，一定需要客觀且足夠的科學研究調查數據，才能提出明確的評估方法，確保海洋經濟發展與生態永續發展得以雙贏。

3. 加拿大經驗

由船舶產生的低頻水下噪音影響問題嚴重，加拿大政府曾在 **Haro** 海峽試驗 2 個月 (2017/8/7~10/6) 降低在航道上船舶速度，目的是為了減輕當處水域僅存 78 隻的虎鯨 (Southern Resident Killer Whale)，計畫名稱為「Enhancing Cetacean Habitat and Observation (ECHO) Program」(Vancouver Fraser Port Authority, 2018)。根據該計畫調查顯示，虎鯨面臨到的主要威脅有：

- (1) Acoustic disturbance (underwater noise) 水下噪音干擾
- (2) Physical disturbance (ship collisions) 船舶航行衝擊
- (3) Environmental contaminants 環境污染
- (4) Availability of prey 可獵食數量

在試驗計畫中，共委託 3 家專業顧問公司進行規劃、監測與分析，而選定的降速水域就是在虎鯨活動密集的位置，藉此觀察減輕措施效果。在 2 個月的試驗過程中，共有 12 種船型，超過 60 家航運公司承諾配合。但根據 **AIS** 數據顯示，並非所有航行通過的船舶都會配合執行降速至 11 節(knot)。從水下噪音監測的數據分析結果，在試驗期間約降低了 3 dB 以上，也就是水下噪音聲壓減少了一半，從動物學家的分析表示，將有效減緩鯨豚受到水下噪音產生的壓力感。

4. 臺灣測量要求

在 2017 年因經濟部提出開發單位欲獲得潛力場址的申請資格，必須在 2017 年底前通過環境影響評估或取得審查小組建議通過之相關條件，其中水下噪音影響的爭議較為複

雜，涉及到生態破壞、施工停工等問題。行政院環保署在 2017 年 12 月召開「離岸風力發電環境影響評估案件初審建議施工期水下噪音評估方法及閾值專家諮詢會議」，參採湛翔智博士等專家建議，在現行研究資料不足情況下，先採用德國管制規範(StUK4)，再以滾動式修正方式改善。由於當時各風場開發單位所提出的打樁水下噪音減輕措施與監測方法差異極大，採用 StUK4 已經比各開發單位委託環評顧問公司(再分包給學術研究單位)所提出的自訂閾值與作法還要來得嚴謹。

行政院環保署環境檢驗所在 2019 年 2 月 26 日公告「水下噪音測量方法(NIEA P210.21B)」，並於 6 月 15 日正式實施。此方法主要參考 ISO 18406 內容，著重於海上打樁產生水下噪音的測量方法要求，例如測量系統設置方式、聲音校正規定、數據計算及報告產生方式等。在 NIEA P210.21B 有部分規定有別於國際規範，例如水下麥克風要求的數量為 1 組，沒有全面採用 ISO 18406 建議的 2 組以上。此外，在校正規定中，不同於國際標準(如 ISO18406、StUK4)採用 IEC 60565 標準，而是限制採用符合 IEC 60942 的活塞式聲音校正器，是有明顯差異之處。

第三章 鯨豚保育策略

鯨豚保育的範疇相當大，本研究僅針對水下噪音影響問題，進一步提出相關策略與建議。

第一節 相關法令與影響界定

水下噪音對海洋動物的影響範圍不容易界定，在防治上更難以立即提出所有層面的措施。以國內《野生動物保育法》為例，第 18 條規定「保育類野生動物應予保育，不得騷擾、虐待、獵捕、宰殺或為其他利用。但有下列情形之一，不在此限：一、族群量逾越環境容許量者。二、基於學術研究或教育目的，經中央主管機關許可者。」此意謂當水下噪音對海洋保育動物，如鯨豚類，產生行為改變或聽力受損的騷擾時，可採用第 10 條規定「中央主管機關認為緊急或必要時，得經野生動物保育諮詢委員會之認可，逕行劃定或變更野生動物保護區。主管機關得於「騷擾、虐待、獵捕或宰殺一般類野生動物等行為」保育計畫中，予以公告管制。」因此，如何認定水下噪音已構成騷擾海洋保育動物之事實，首要工作應先建立「哪些行為可能構成騷擾」以及「水下噪音管制閾值」。

以美國為例來說明制訂水下噪音管制閾值的重要性，美國在 1972 年 10 月 21 日頒布《海洋哺乳類動物保護法(Marine Mammal Protection Act, MMPA)》，制定出一項聯邦政府法案，以防止海洋哺乳類動物物種和族群數量下降，導致生態系統無法維持正常功能(NOAA, 2018)。該法案規定，未經許可捕獲海洋哺乳動物是非法的，亦即不得騷擾、餵食、捕獵、捕獲、收集或殺死任何海洋哺乳動物或部分海洋哺乳動物。因法案通過後，更多調查及研究資料顯示，海洋哺乳類動物的減少與水下噪音有關。

美國在 2004 年頒佈修訂的《國防授權法(National Defense Authorization Act, NDAA)》中，特別關注到海軍海上活動(如聲納軍事操演)可能影響到海洋哺乳類的問題，須進而修訂 MMPA 部分內容 (Harrison, 2013)，其中將海軍操演時對海洋哺乳類的干擾分為 A 級(Level A harassment)與 B 級(Level B harassment)等二種，並以不同的水下噪音評估門檻判定是否造成傷害(permanent threshold shift, PTS 或 temporary threshold shift, TTS)以及行為改變(behavioral disruption)，亦即 180 dB_{rms} re. 1uPa 的傷害門檻值，或突發的 160 dB_{rms} re. 1uPa 及連續非突發的 120 dB_{rms} re. 1uPa 之行為改變門檻值。雖然這項規定只

是針對區域性或特定的水下噪音影響問題，然而這是全球首例水下噪音污染防治法案，對保護海洋哺乳類動物仍具有指標性意義。

第二節 鯨豚生態調查

參考美國 ONSR 報告 (Gedamke, et al., 2016) 的作法，將已知鯨豚物種的生態調查情況，進一步評分與評估，評分指標分為「族群結構分析」、「族群豐度分析」、「人為影響分析」、「評估報告量」及「評估報告頻率」等，以作為鯨豚保育策略之參考依據，各指標定義說明如下。

A. 族群結構(Structure)分析

- 0 無定量或相關資料
- 1 可從其他研究(如分布趨勢、生活史等)推估族群結構
- 2 有族群結構的研究(如穩定同位素、遺傳學、照片辨識 photoID 等)
- 3 有至少兩個證據等級(level of evidence)為 2 及 1 的族群結構研究
- 4 可估算擴散速率(dispersal rate)並估算其不確定性

B. 族群豐度分析

- 0 無定量或相關資料
- 1 估算最小數量、豐度
- 2 無偏估計(Unbiased Estimation)豐度($CV \geq 30\%$)
- 3 無偏估計(Unbiased Estimation)豐度($CV < 30\%$)
- 4 可估算季節性或地理性的密度變化

C. 人為影響分析

- 0 無定量或相關資料
- 1 有定量證據的人為影響
- 2 最低人為影響的估計
- 3 人為影響的無偏估計($CV \geq 30\%$)
- 4 精確估計人為影響($CV < 30\%$)或沒有人為致死的證據

D. 評估報告數量

- 0 沒有相關評估報告
- 1 只有最小豐富度或相關指數的報告
- 2 套用預設(defaults)或替代值(proxies)，用較簡單的確定性模型評估
- 3 不套用預設或替代值，使用較先進的確定性模型評估
- 4 使用複雜的特定物種模式評估，如 stochastic models、depletion models、projection models 等)

E. 評估報告頻率

- 0 沒有相關評估報告
- 1 最新的評估報告為 10 年前發表
- 2 最新的評估報告為 6~9 年前發表
- 3 最新的評估報告為 2~5 年前發表
- 4 最新的評估報告為 1 年內發表

在 ONRS 報告中，常使用族群量(stock)來區隔特定空間範圍內的同種個體，進一步區隔物種總數，可能原因是美國海域非常大，難用全面性的物種區分來探討生態調查指標。相對於台灣週邊海域的尺度，則可以同時且同區域來評估鯨豚生態調查情況，如表 3 所列，經由發現紀錄可以彙整出 29 種鯨豚物種，大多是根據擱淺紀錄，約有三分之一是有海上目擊紀錄。

為了進一步評估台灣週邊海域的鯨豚種類，以進行的生態評估現況，彙整各種鯨豚在野生動物保育法及國際自然保護聯盟(IUCN)之保育分級，再依據 5 項生態調查指標來評估所掌握的生態現狀。其中最難以評斷的是族群結構，其證據等級須採用多重交叉比對方式，才能達到完整的 3 或 4 的指標，目前台灣對於中小型鯨豚(如鼠海豚、海豚)等，因在台灣西部沿海工業及離岸風電開發要求環境影響評估下，也由於臺灣白海豚受到關注，因此有較完整的科學調查與評估報告，其餘大型鯨豚多發現於台灣東岸，其目擊紀錄多以賞鯨活動過程伴隨產生，相關研究調查數量較少。

從表 3 的生態調查指標可清楚判斷，我國從事鯨豚生態調查及保育工作，仍有很大的進步空間，除了臺灣白海豚有豐度資訊來估算族群數量外，且每年有評估報告，其餘鯨豚物種幾乎沒有相關資訊。換言之，建議政府單位可利用這套評估系統來統整每年投入鯨豚生態調查與評估的成果，長期分析之後才能具體提出保育鯨豚的成效。

表 3 台灣週邊海域發現鯨豚種類之生態調查評估指標

資料來源：知洋科技公司整理(2019)

科別 Family	種類 (中文)	種類 (英文)	學名	發現紀錄		保育分級		生態調查指標				
				擱淺紀錄	目擊紀錄	野動法分級	IUCN紅皮書等級	族群結構分析	豐度分析	人為影響分析	評估報告數量	評估報告頻率
鼠海豚	寬脊江豚	Indo-Pacific finless porpoise	<i>Neophocaena phocaenoides</i>	V	V	I	VU	2	0	0	0	0
	窄脊江豚	Narrow-ridged finless porpoise	<i>Neophocaena asiaeorientalis</i>	V	V	I	EN	2	0	0	0	0
海豚	中華(台灣)白海豚	Indo-Pacific humpback dolphin	<i>Sousa chinensis (taiwanensis)</i>	V	V	I	CR	2	2	1	1	4
	糙齒海豚	Rough-toothed dolphin	<i>Steno bredanensis</i>	V	V	II	LC	0	0	0	0	0
	瑞氏海豚	Risso's dolphin	<i>Grampus griseus</i>	V	V	II	LC	1	1	0	0	0
	瓶鼻海豚	Common bottlenose dolphin	<i>Tursiops truncatus</i>	V	V	II	LC	2	0	0	0	0
	印太瓶鼻海豚	Indo-Pacific bottlenose dolphin	<i>Tursiops aduncus</i>	V	V	II	NT	2	0	0	0	0
	熱帶斑海豚	Pantropical spotted dolphin	<i>Stenella attenuata</i>	V	V	II	LC	1	0	0	0	0
	長吻飛旋海豚	Spinner dolphin	<i>Stenella longirostris</i>	V		II	LC	1	0	0	0	0
	條紋海豚	Striped dolphin	<i>Stenella coeruleoalba</i>	V		II	LC	0	0	0	0	0
	長吻真海豚	Long-beaked common dolphin	<i>Delphinus capensis</i>	V		II	DD	0	0	0	0	0
	弗氏海豚	Fraser's dolphin	<i>Lagenodelphis hosei</i>	V		II	LC	0	0	0	0	0
	瓜頭鯨	Melon-headed whale	<i>Peponocephala electra</i>	V		II	LC	0	0	0	0	0
	小虎鯨	Pygmy killer whale	<i>Feresa attenuata</i>	V	V	II	LC	0	0	0	0	0
	偽虎鯨	False killer whale	<i>Pseudorca crassidens</i>	V	V	II	NT	0	0	0	0	0
	短肢領航鯨	Short-finned pilot whale	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	V		II	LC	0	0	0	0	0

科別 Family	種類 (中文)	種類 (英文)	學名	發現紀錄		保育分級		生態調查指標				
				擱淺紀錄	目擊紀錄	野動法分級	IUCN紅皮書等級	族群結構分析	豐度分析	人為影響分析	評估報告數量	評估報告頻率
小抹香鯨	小抹香鯨	Pygmy sperm whale	<i>Kogia breviceps</i>	V		II	DD	1	0	0	0	0
	侏儒抹香鯨	Dwarf sperm whale	<i>Kogia sima</i>	V		II	DD	1	0	0	0	0
喙鯨	柏氏中喙鯨	Blainville's beaked whale	<i>Mesoplodon densirostris</i>	V		II	DD	0	0	0	0	0
	銀杏齒中喙鯨	Ginkgo-toothed beaked whale	<i>Mesoplodon ginkgodens</i>	V		II	DD	0	0	0	0	0
	柯氏喙鯨	Cuvier's beaked whale	<i>Ziphius cavirostris</i>	V		II	LC	0	0	0	0	0
抹香鯨	抹香鯨	Sperm whale	<i>Physeter macrocephalus</i>	V		I	VU	0	0	0	0	0
鬚鯨	小鬚鯨	Common minke whale	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	V		I	LC	0	0	0	0	0
	布氏鯨	Bryde's whale	<i>Balaenoptera brydei</i>	V		I	LC	0	0	0	0	0
	鯨鯨	Bryde's whale	<i>Balaenoptera edeni</i>	V		I	LC	0	0	0	0	0
	大村鯨	Omura's whale	<i>Balaenoptera omurai</i>	V	V	I	DD	0	0	0	0	0
	長須鯨	Fin whale	<i>Balaenoptera physalus</i>	V		I	VU	0	0	0	0	0
	大翅鯨	Humpback whale	<i>Megaptera novaeangliae</i>	V		I	LC	0	0	0	0	0
灰鯨	灰鯨	Grey whale	<i>Eschrichtius robustus</i>	V		I	LC	0	0	0	0	0

第三節 棲地聲學環境

被動聲學監測(PAM)在海洋生態調查應用領域上，泛指在海洋環境中使用水下麥克風(hydrophone)來偵測、監測或是定位海洋動物之方法，關鍵在海洋動物(如鯨豚、魚類)的具有發聲行為，其重大意義則表示：這些海洋動物的生存是相當倚賴聽覺；因此，在海洋生態調查科學方法上，尤其針對鯨豚生態，其指標性更具有代表性。

表 4 學術界投入被動聲學監測相關調查分析研究

作者	論文題目	類別	年份
涂章	被動聲學定位法應用於石首魚之沿海棲地調查	碩士論文	2003
羅珮純	大黃魚(<i>Larimichthys crocea</i>)聲訊特徵及西太平洋之石首魚分子親緣關係探討	碩士論文	2011
林子皓	應用被動式聲學監測台灣西海岸中華白海豚行為生態與棲地利用	博士論文	2012
劉建明	利用被動聲學方法探討中華白海豚的分佈與環境噪音之影響	碩士論文	2013
吳詩嘉	小鱗波曼石首魚聲訊特徵之研究	碩士論文	2013
李佳紘	以被動式聲學探討中華白海豚在河口的活動模式	碩士論文	2015
黃柏崴	臺灣西北沿海石首魚科之聲音特徵與時空變異	碩士論文	2016

1. 相關研究

國內從事被動聲學研究多始於白海豚調查，在 2012 年的林務局研究計畫成果中 (周蓮香等人, 2012) 提出在白海豚重要棲息地設置被動聲學監測系統，在當年研究成果中，已成功使用高頻聲學紀錄器(A-tag)來蒐集鯨豚的喀喳音(click)，並辨別鯨豚活動方位；此外，也嘗試使用水下聲學紀錄浮標，測量頻寬約 44 kHz，可同時測量水下噪音及鯨豚的哨叫音(whistle)。在當時相關研究成果中，提出在白海豚目視熱區布放被動聲學監測系統，連續測量數天至數十天的數據分析中，可發現白海豚出現的時段與潮汐(或日夜間)有關連性。國內學術界從事相關被動聲學研究之公開論文列於表 4 中，主要有二大方向，分別是針對白海豚的調查及石首魚類的調查，其研究重點分成聲音特徵探討及資料分析應用。

2. 技術發展

被動聲學監測的技術發展可分為二部分：硬體及辨識技術發展，國內學術界曾投入研發自記式系統，相關研究論文如表 5，在早期的硬體研發上以模組組裝方式為主，近期有較多從事系統整合研究，差異在各種被動聲學資料的應用更多元。被動聲學辨識技術在於音訊特徵擷取及特徵參數之研究，其中喀喳音(click)可使用帶通濾波器(band-pass filter)對 20-150 kHz 或高通濾波器對 20 kHz 以上的脈衝波訊號做偵測 (Tubbert Clausen, Tougaard, & Carsten, 2019)。

鯨豚的哨叫音(whistle)的辨識難度高，如以聲波或頻譜來分析，無法萃取出具有代表性的特徵值。相關研究中，較常用時頻譜圖(spectrogram)中連續時間片段(time slice)相似色階 pixel，在 whistle 重疊交叉處進行演算分析，並隨機選色繪出 whistle 輪廓，重要參數包含：訊號時長、頻率範圍、反覆次數、轉折次數、最大聲壓頻率等 (Lin, Chou, Akamatsu, Chan, & Chen, 2013)。目前國際上有一套公開程式軟體 PAMGuard，可由使用者自訂相關偵測條件與參數，並可同時偵測 click 與 whistle 訊號。

表 5 學術界投入被動聲學監測系統研發相關研究

作者	論文題目	出處
湛翔智、魏瑞昌、胡文正、陳建宏	底碇式水下麥克風之研發	海洋及海下技術季刊，第 16 卷，第 1 冊，第 16-21 頁，2006
Chi-Fang Chen, Hsiang-Chih Chan, Ray-I Chang, Tswen-Yung Tang, Sen Jan, Chau-Chang Wang, Ruey-Chang Wei, Yiing-Jang Yang, Lien-Siang Chou, Tzay-Chyn Shin, Kai-Wen Kuo, Pei-Ling Lu, Nai-Chi Hsiao and Tzu-Wei Lin	Data demonstrations on physical oceanography and underwater acoustics from the MArine Cable Hosted Observatory (MACHO),”	IEEE OCEANS'12, 2012
湛翔智	離岸風電關聯船機技術開發計畫(1/3)--分項二水下環境監控技術開發	經濟部技術處法人科專計畫研究成果報告，2013
湛翔智、方銘恩、廖英超、林鴻熙、彭勝倫	水下噪音計之系統開發技術	第 15 屆水下技術研討會暨國科會成果發表會，pp.223-228，2013
Hsiang-Chih Chan, Chi-Min Liao, Ying-Chao Liao, Ming-En Fang, Hsiao-Yu Hsu, Hung-Hsi Lin, Su-Shien Lee, Shean-Kwang Chou	Field testing of multiple sensors in an underwater environment monitoring system	OCEANS 2014 - Taipei
Hsiang-Chih Chan, Ming-En Fang, Sheng-Hua Chen, Chan-Han Lin, Ying-Chao Liao, Chia-Chuan Ou,	Preliminary plan of underwater environmental monitoring in the offshore wind farm in the western sea of Taiwan	OCEANS - Bergen, 2013 MTS/IEEE
Lin TH, Chou LS, Akamatsu T, Chan HC, Chen CF.	An automatic detection algorithm for extracting the representative frequency of cetacean tonal sounds	J Acoust Soc Am. 2013 Sep;134(3):2477-85. doi: 10.1121/1.4816572.

第四節 鯨豚聽力閾值

因各鯨豚物種的聽覺差異相當大，使得水下噪音在不同頻斷對其影響亦有所不同(如圖 6)，目前常用海洋動物的聽力加權值(M-weighting)或聽力閾值曲線(hearing threshold curve)來表示各物種的聽覺差異。聽力閾值表示的是動物聽到聲音的最低音量，在各頻率的感受不同。因此，實際上計算聽力閾值時，則會將最敏感頻率的閾值，設定加權值為 0 dB，其他頻率閾值的加權則是負值分貝，才能正確反應出動物最容易先損傷的聽力頻率範圍。換言之，如果水下噪音量較大的頻率範圍剛好是在最敏感的聽力曲線段，則發生 TTS 或 PTS 的風險最高，這就是為什麼需有聽力閾值的研究。原則上越瀕臨絕種的海洋動物，越需要聽力閾值及行為影響研究，才能釐清開發影響程度。

美國在 2018 年公告的「海洋哺乳類動物聽覺技術指引(Marine Mammal Acoustic Technical Guidance)」(National Marine Fisheries Service, 2018)，修訂以前的單一聽力閾值(Level B 的行為影響在非脈衝水下噪音為 120 dBrms，脈衝水下噪音為 160 dBrms)，將重要的海洋哺乳類動物聽力損失閾值分為 5 種：

1. Low-frequency Cetaceans (LF)低頻鯨豚、
2. Mid-frequency Cetaceans (MF)中頻鯨豚、
3. High-frequency Cetaceans (HF)高頻鯨豚、
4. Phocid Pinnipeds (PW)海豹、
5. Otariid Pinnipeds (OW)海獅。

表 6 則是訂出 5 種海洋哺乳類動物的「永久性聽力損失閾值標準(PTS onset acoustic threshold)」，對於脈衝水下噪音的閾值，設定 2 種條件，分別是每次事件不得超過水下聲壓峰值(peak sound pressure level, PK)與連續 24 小時累積不得超過的水下噪音聲壓聲曝值(SELcum)。而非脈衝噪音，只需符合連續 24 小時的聲壓聲曝值閾值(SELcum)。在界定或評估水下噪音對海洋哺乳類動物的影響範圍研究時，需採取聽力閾值為重要參考依據，再從海上調查資料研究臺灣鯨豚物種的行為影響差異。依現有海上調查結果可知，臺灣西岸外海(東臺灣海峽)發現的鯨豚物種發聲多屬於中頻和高頻鯨豚，台灣東岸外海則發現有低中高頻發聲鯨豚物種，全台附近海域發現約有 29 種鯨豚。

表 6 美國公告的海洋哺乳類聽力保護閾值

資料來源：(National Marine Fisheries Service, 2018) · 知洋科技公司整理(2019)

Hearing Group 物種分類	PTS Onset* (Received Level) 永久性聽力損失閾值(接收位準值)	
	Impulsive 脈衝波	Non-impulsive 非脈衝波
Low-Frequency Cetaceans (LF) 低頻發聲鯨豚	PK: 219 dB SELcum: 183 dB	SELcum: 199 dB
Mid-Frequency Cetaceans (MF) 中頻發聲鯨豚	PK: 230 dB SELcum: 185 dB	SELcum: 198 dB
High-Frequency Cetaceans (HF) 高頻發聲鯨豚	PK: 202 dB SELcum: 155 dB	SELcum: 173 dB
Phocid Pinnipeds (PW) 海豹	PK: 218 dB SELcum: 185 dB	SELcum: 201 dB
Otariid Pinnipeds (OW) 海獅	PK: 232 dB SELcum: 203 dB	SELcum: 219 dB
• Dual thresholds (impulse): Use one resulting in largest effect distance (isopleth). • SELcum thresholds incorporates weighting function		

第五節 風險分析

參考在今年 8 月 28-31 日在加拿大舉辦的臺灣白海豚復育計畫成果 (Taylor, 等, 2019) · 圖 10 顯示復育的優先行動，亦表示環境因子對白海豚的威脅項目，說明如下。

1. 禁止在臺灣白海豚棲地範圍內使用刺網和三層刺網。
2. 限制在臺灣白海豚棲地範圍內新的開發計畫。
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。

由於臺灣白海豚棲地與近海漁業區重疊，漁民所用的流刺網的威脅相當大，網具直接纏繞、誤捕受傷及廢棄漁網傷害，都可從目視及照片中見到白海豚外表的損傷，流刺網可能是造成臺灣白海豚直接或間接傷亡的最大風險，在復育行動方案中應加速減少使用量。

其次包含白海豚的棲息地確認、使用低噪音船舶及降低船速、降低污染及增加河流排放水，都是確保白海豚復育棲地的良好環境條件。此外，積極建立水下噪音管制閾值也被納入考量，這表示缺乏管制閾值，水下噪音對鯨豚生存仍是很大的環境風險。

Table 1. Priority action items considered essential for the recovery of Taiwanese white dolphins

PRIORITY ACTIONS
Immediately establish an effective ban on gill and trammel nets in TWD suitable habitat
Locate any further development away from TWD suitable habitat
Require use of quiet vessels, speed limits, and mandatory routes to reduce both noise and the risk of vessel strikes
Reduce pollution (air and water)
Increase natural river flow
Establish regulations for human-caused underwater noise levels

圖片來源：Recovery Plan for the Taiwanese White Dolphin (*Sousa chinensis taiwanensis*) (2019)

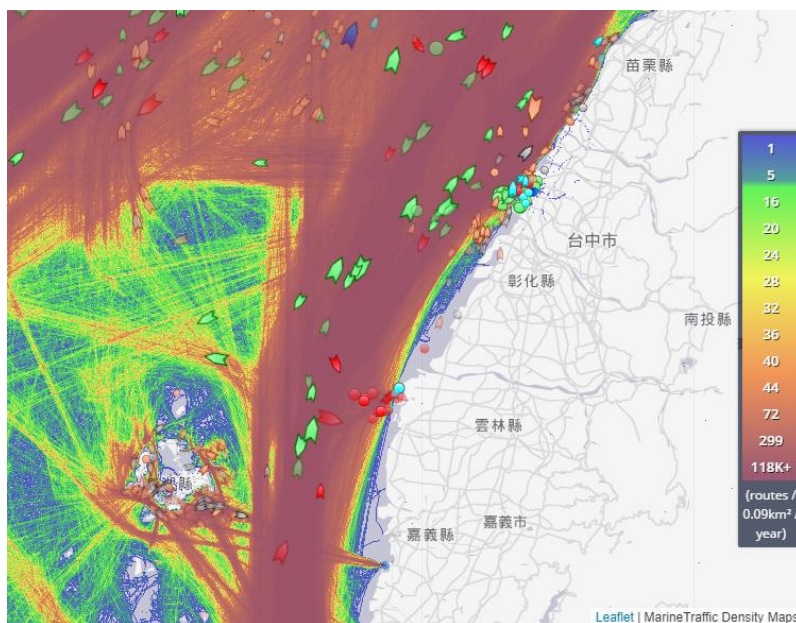
圖 10 臺灣白海豚復育計畫的優先行動

第四章 台中港先期現地測試

人為水下噪音對鯨豚影響的研究調查上，需要長期且密集地監測，本研究先以台中港附近水域為先期現地測試，提出調查方法、監測規劃、資料分析案例及遭遇困難等研究案例。

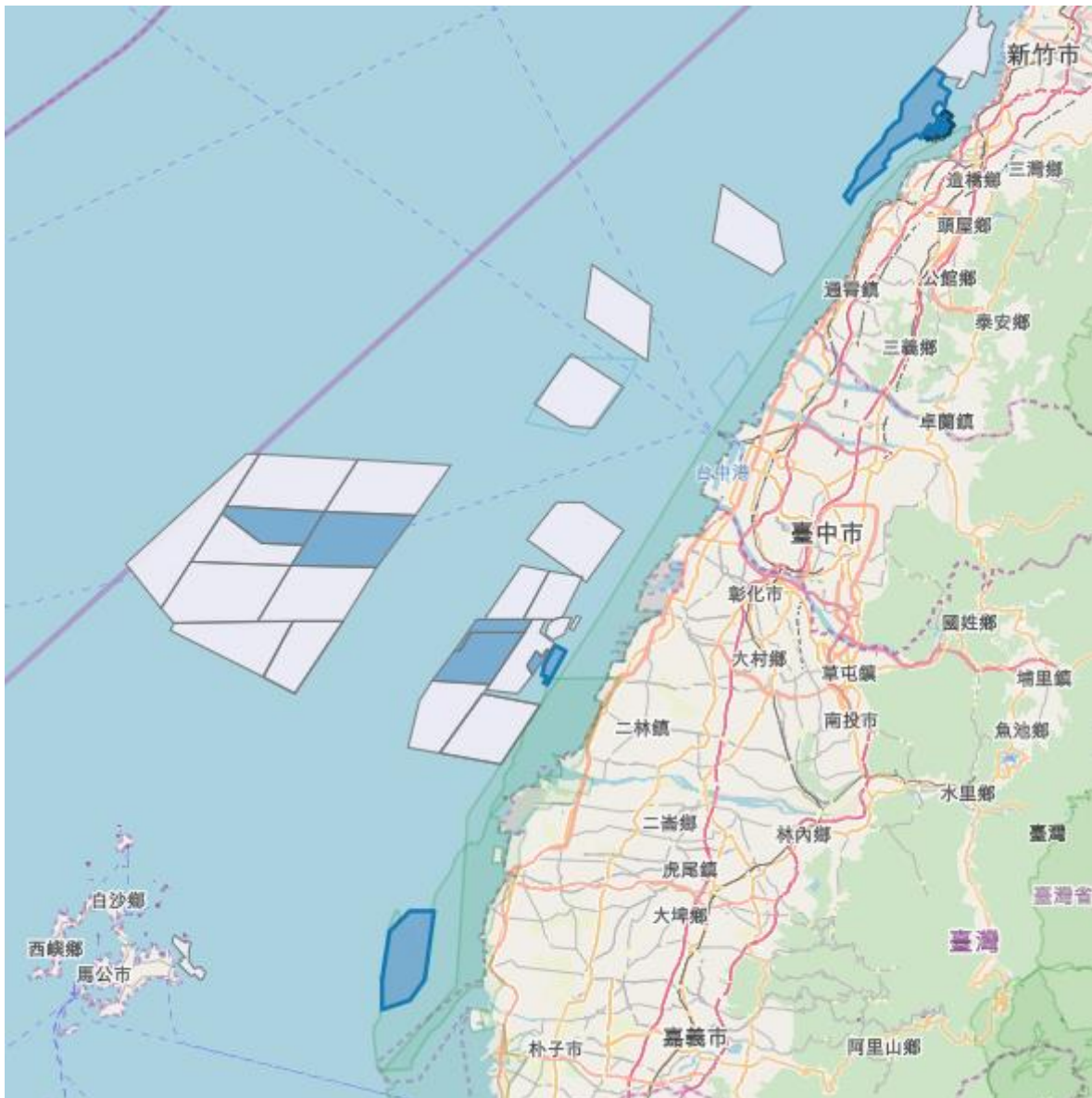
第一節 人文環境概述

台中港是我國對外貿易的重要商港，根據台中港務分公司公開資訊，近 3 年度(2016~2018)進出船舶數量分別為 16,193、15,794 和 15,407 艘。台中港及附近航道繁忙情況，可進一步從船舶自動辨識系統(automatic identification system, AIS)取得船舶數量分析資訊，圖 11 為國外蒐集 2017 年 AIS 資料所分析出的台中港附近船舶分布密度圖，在台灣西部外海的船舶航跡分析上，約每 0.09 平方公里超過 118,000 艘船(紅色區塊)，平均每天超過 300 艘經過。船舶密度如此高的海域與調查發現臺灣白海豚棲地是十分緊密，可以對照圖 12 所顯示的臺灣白海豚棲地保育區預告水域(綠色區)，因此，在台中港附近水域的船舶及其所產生的水下噪音都對臺灣白海豚及其他鯨豚產生衝擊。



圖片來源：網站 <https://www.marinetraffic.com> (2019)

圖 11 台中港附近船舶資料(2017 年)分布密度圖



圖片來源：網站 <https://www.4coffshore.com/offshorewind/> (2019)

圖 12 臺灣白海豚棲地預告水域(綠色區)及離岸風電開發場址(藍色與灰色區)

此外，在台灣西部外海已規劃興建離岸風場，如圖 12 的藍色區(獲施工許可或施工中)與灰色區(規劃中)，根據經濟部公開資訊，鄰近台中港的彰化外海將興建大規模離岸風場，在 2025 年前的建置目標有 2,400 MW，如每架風機發電量以 8 MW 計算，約有 300 架風機會豎立於彰化外海，而施工期間的船舶及打樁產生的水下噪音增量(如圖 5)，以及營運時的風機轉動噪音，都將是此海域的水下聲學環境改變問題。

第二節 鯨豚生態調查案例

鯨豚生態調查範圍以台中港南方的大肚溪河口水域之白海豚較常目擊位置為主，並增加彰化外海的離岸風場區的鯨豚調查，相關調查方法說明如下。

1. 目視調查作業方法

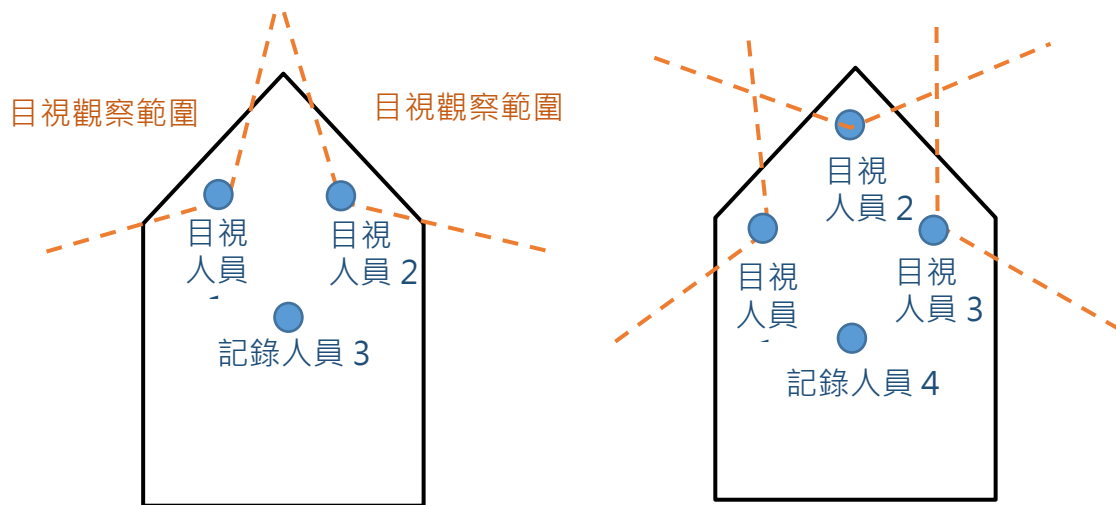
在海上進行鯨豚目視調查時，調查人員分組在船舶(如圖 13)監測，船舶應沿規劃航線，以船速 6 至 8 節航行。實際作業時應考量船舶安全及確保有效目視範圍(以 500 公尺估算)，依照適當海氣象條件執行調查作業。鯨豚目視調查期間的有效努力量(on-effort)為海況不超過($\leq$)4 級，且作業人員於航線上進行目視觀測。當有天氣狀況不佳、切換航線或是離開航線追蹤鯨豚的情況時，則視為無效努力量(off-effort)。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 13 鯨豚目視觀測調查用的娛樂漁船

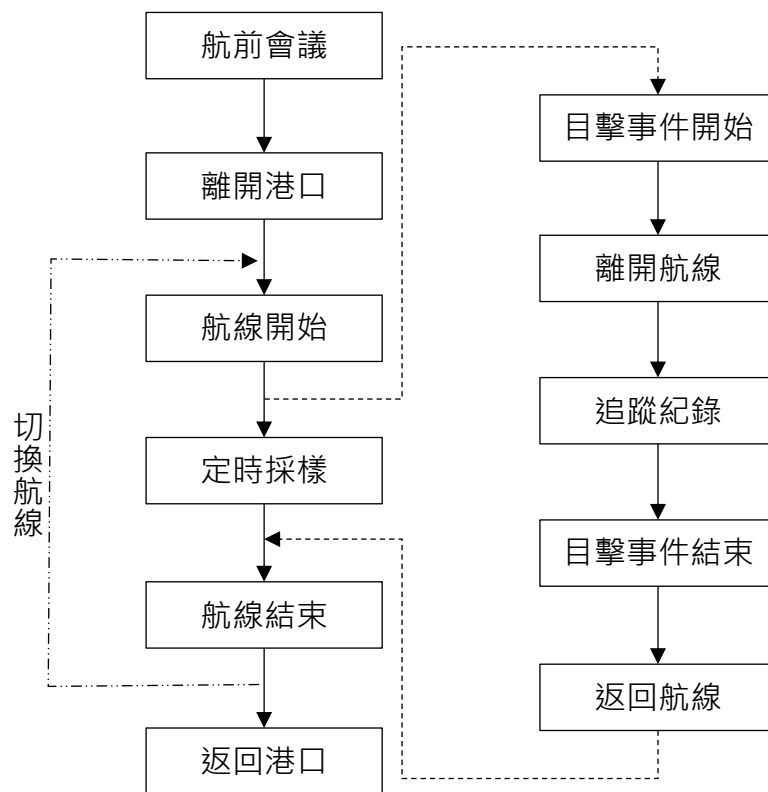
在進行鯨豚目視調查時，至少有 3 位作業人員，分別擔任目視觀測(最少 2 位)以及記錄(1 位)等任務，目視觀測人員以肉眼掃視觀測範圍，觀察是否有鯨豚的特徵(如背鰭、水花)出現，並攜帶雙筒望遠鏡、照相機和攝影機輔助記錄；記錄人員應每 10 分鐘定時採取海水樣本並填寫努力量表，在船上的任務分配位置如圖 14。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 14 鯨豚目視調查任務分配位置示意圖

為了減緩調查人員目視疲勞，應每 30 分鐘交換工作任務。調查作業流程如圖 15，當觀察到鯨豚時，船隻離開航線追蹤鯨豚，若情況允許可緩慢接近鯨豚，拍照並記錄鯨豚行為，此時作業人員的工作項目分別為填寫目擊記錄表、拍照以及觀察，當鯨豚消失於視野中超過 10 分鐘時，船隻返回航線離開點，作業人員繼續進行調查任務，目視調查得作業流程如在海上有鯨豚目擊事件時，進一步依照的鯨豚行為(表 7)分類來紀錄，並以船隻追蹤鯨豚時所定位的經緯度，繪製目擊資料中鯨豚的移動路徑。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 15 鯨豚目視調查作業流程

表 7 鯨豚目擊行為類別定義說明

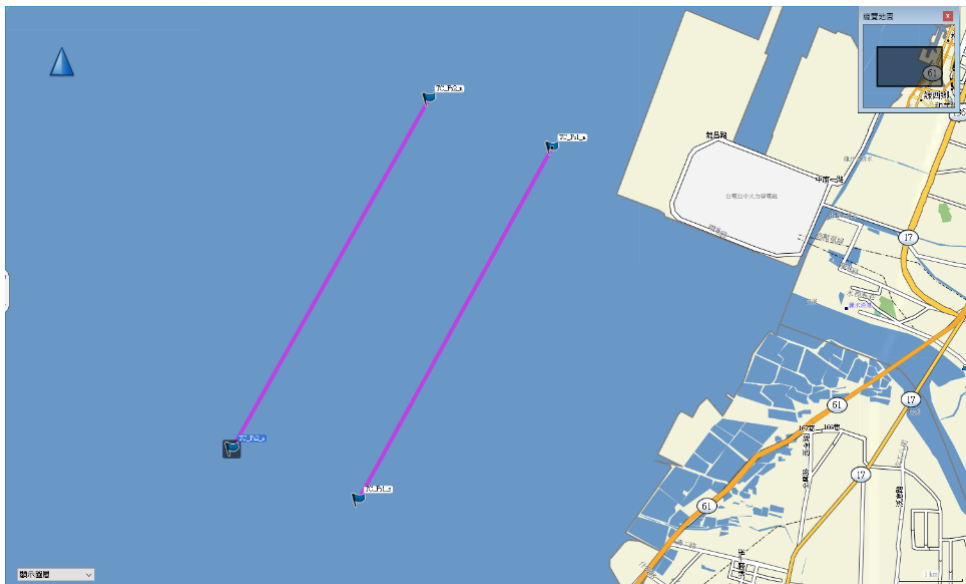
行為類別	定義及行為活動方式說明
繞圈徘徊	區域性的繞圈游動
覓食	不規律的下潛並進行覓食，且下潛間隔不長，附近可能觀察到鳥或魚類的出現
游走	持續游往同一方向，伴隨有規律的出水換氣行為
社交	個體之間有明顯互動行為，如互相摩擦、較大動作的跳躍、擊浪等行為
休息	漂浮或慢速游動
其他	無法歸類為以上定義的行為

2. 監測區劃設與航線設計

本研究中的鯨豚生態海上調查分為 2 個監測區域，以不同的航線規畫方式進行調查。監測區域一為台中港南堤至崙尾以北的大肚溪口區域，大肚溪口為臺灣白海豚的分布區域內，採用平行海岸線調查的目標為主要為分布於近岸淺水海域的鯨豚物種，而白海豚的主要棲息於 10 公尺左右水深的海域範圍。因此，根據水深資料劃設 2 條平行海岸線，測線航點座標如表 8 所示，離岸分別約 3 公里及 5 公里，如圖 16，單條航線長度約 6 公里，一趟次調查 2 條航線共計 12 公里。

表 8 鯨豚目視觀測調查之大肚溪河口測線航點經緯度

測線	航點	航點經緯度	
大肚溪口離岸 3 公里	TC_Pr1_n	N24° 13.322'	E120° 27.052'
	TC_Pr1_s	N24° 10.366'	E120° 25.267'
大肚溪口離岸 5 公里	TC_Pr2_n	N24° 13.732'	E120° 25.918'
	TC_Pr2_s	N24° 10.794'	E120° 24.101'



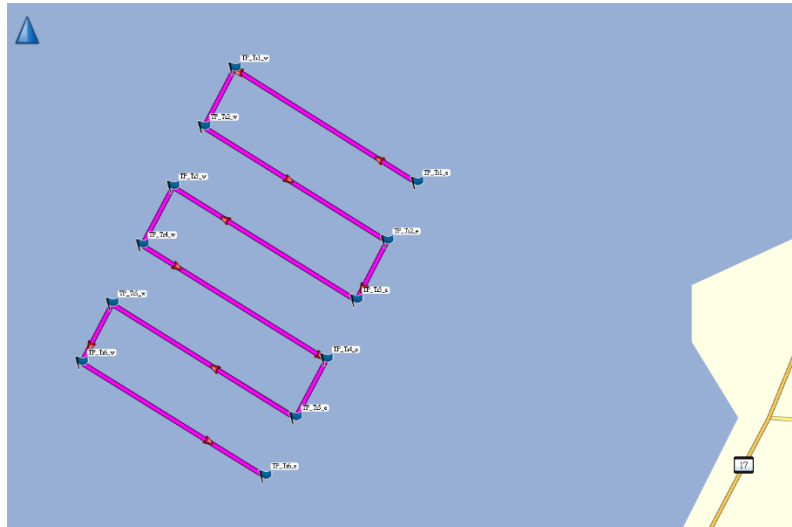
圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 16 鯨豚目視觀測調查之大肚溪河口測線規劃

監測區域二為台電離岸第一期示範風場區，由於該海域的鯨豚生態調查資訊有限，據研究經驗判斷，較適合採用穿越線的方式，來調查鯨豚與水深梯度或離岸距離的分布趨勢。本次調查，上半年度規劃風場區向外 1 公里緩衝區以內為監測區，以穿越線兩側 500 到 600 公尺為可觀測範圍進行航線規劃，可劃設 6 條垂直海岸穿越線，測線航點座標如表 9 所示，每條航線間距 1.1 公里，如圖 17，單條航線長度約約 3.5 公里，一趟次調查 6 條航線共計 21 公里。選擇台電風場為監測區的目的為進行基線調查，了解施工前的鯨豚生態資料以進行環境影響評估，參考相關文獻，下半年度擴大監測區為風場區向外 4 公里緩衝區，監測區內劃設 11 條垂直海岸穿越線，測線航點座標如表 10 所示，每條航線間距 1.2 公里，如圖 18，單條航線長度約約 10 公里，一趟次隨機抽樣 2 條航線進行調查，共計 20 公里。

表 9 鯨豚目視觀測調查之台電離岸風場區 1 公里緩衝區測線航點經緯度

測線	航點	航點經緯度	
台電 1 公里穿越線 1	TP_Tr1_e	N23° 59.878'	E120° 16.252'
	TP_Tr1_w	N24° 00.871'	E120° 14.313'
台電 1 公里穿越線 2	TP_Tr2_e	N23° 59.370'	E120° 15.934'
	TP_Tr2_w	N24° 00.362'	E120° 13.987'
台電 1 公里穿越線 3	TP_Tr3_e	N23° 58.855'	E120° 15.607'
	TP_Tr3_w	N23° 59.843'	E120° 13.659'
台電 1 公里穿越線 4	TP_Tr4_e	N23° 58.342'	E120° 15.289'
	TP_Tr4_w	N23° 59.336'	E120° 13.330'
台電 1 公里穿越線 5	TP_Tr5_e	N23° 57.833'	E120° 14.960'
	TP_Tr5_w	N23° 58.826'	E120° 13.010'
台電 1 公里穿越線 6	TP_Tr6_e	N23° 57.326'	E120° 14.637'
	TP_Tr6_w	N23° 58.315'	E120° 12.684'

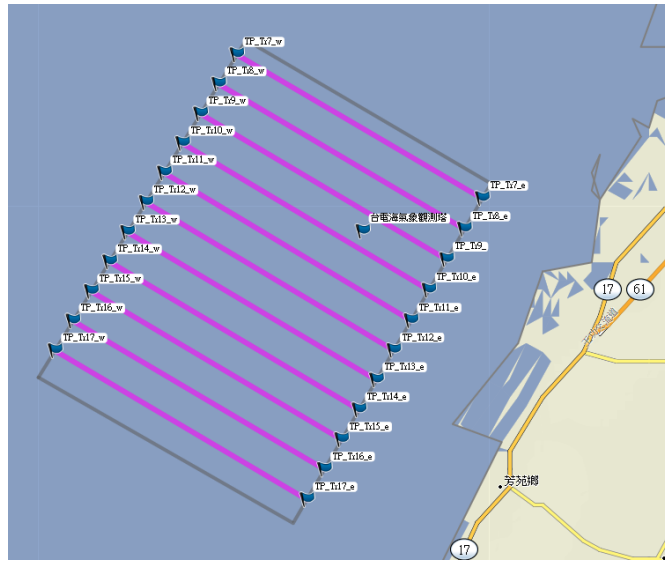


圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 17 鯨豚目視觀測調查之台電風場 1 公里緩衝區測線規劃

表 10 鯨豚目視觀測調查之台電離岸風場區 4 公里緩衝區測線航點經緯度

測線	航點	航點經緯度
台電 4 公里穿越線 1	TP_Tr7_e	N24° 00.660' E120° 18.781'
	TP_Tr7_w	N24° 03.299' E120° 13.840'
台電 4 公里穿越線 2	TP_Tr8_e	N24° 00.099' E120° 18.423'
	TP_Tr8_w	N24° 02.758' E120° 13.475'
台電 4 公里穿越線 3	TP_Tr9_e	N23° 59.540' E120° 18.065'
	TP_Tr9_w	N24° 02.213' E120° 13.109'
台電 4 公里穿越線 4	TP_Tr10_e	N23° 58.979' E120° 17.709'
	TP_Tr10_w	N24° 01.669' E120° 12.749'
台電 4 公里穿越線 5	TP_Tr11_e	N23° 58.419' E120° 17.349'
	TP_Tr11_w	N24° 01.128' E120° 12.380'
台電 4 公里穿越線 6	TP_Tr12_e	N23° 57.874' E120° 17.001'
	TP_Tr12_w	N24° 00.586' E120° 12.015'
台電 4 公里穿越線 7	TP_Tr13_e	N23° 57.329' E120° 16.652'
	TP_Tr13_w	N24° 00.040' E120° 11.639'
台電 4 公里穿越線 8	TP_Tr14_e	N23° 56.782' E120° 16.302'
	TP_Tr14_w	N23° 59.497' E120° 11.279'
台電 4 公里穿越線 9	TP_Tr15_e	N23° 56.236' E120° 15.950'
	TP_Tr15_w	N23° 58.954' E120° 10.909'
台電 4 公里穿越線 10	TP_Tr16_e	N23° 55.690' E120° 15.604'
	TP_Tr16_w	N23° 58.413' E120° 10.540'
台電 4 公里穿越線 11	TP_Tr17_e	N23° 55.134' E120° 15.252'
	TP_Tr17_w	N23° 57.867' E120° 10.180'



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 18 鯨豚目視觀測調查之台電風場 4 公里緩衝區測線規劃

3. 環境因子監測

為分析鯨豚生存海域的水文環境，在航線上每隔約 2 海浬採樣數據，如以船速 6 至 8 節航行，則每 10 分鐘停船採樣。水文環境調查使用的測量設備為海水鹽溫密度計(CTD)，測量參數包含海水溫度、鹽度、酸鹼值以及濁度。使用 CTD 時，將儀器垂直下放置海面下 1 至 2 公尺深，連續測量 10 至 20 秒，如圖 19，並由船上魚探機(測深儀)紀錄實際海床深度。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 19 在船上設置水文環境測量設備

4. 調查資料分析

調查資料分為儀器測量數據及鯨豚目擊事件的行為分析，首先將每個採樣點的水文環境資料(海水溫度、鹽度、酸鹼度、濁度、水深)，以平均計算方式得到該點代表性資料。已完成大肚溪口監測區 8 趟次，台電第一期風場監測區 2 趟次，總計 10 次的鯨豚目視調查。其中台電第一期風場 1 公里及 4 公里緩衝監測區各 1 趟次，而進行台電 1 公里監測區期間因調查期間風浪過大，考慮人員安全，完成 3 條穿越線調查及返航。10 趟次共計有效努力里程 126.8 公里，總航行時間 32.2 小時，有效努力時數 10.8 小時。

整體而言，除了 1 趟次的台電風場調查，其餘趟次大部分皆在海況 2 級(浪高 0.1~0.5 公尺)以下進行，其中有 3 趟次霧霾嚴重，影響目視範圍及可見度降低。本次執行大肚溪口監測區採樣 51 次，台電風場監測區僅樣 19 次，監測區的水文環境調查資料如表 11。從水文環境調查結果中可知，台電風場 4 公里監測區因調查航線跨越較大的深度梯度，樣點離岸進至 2.5 公里的河口區、遠至 14 公里，使數據的標準差較大。比較水深梯度變異較小的大肚溪口和台電風場 1 公里監測區，大肚溪口的海水鹽度略低，但濁度偏高，應與河口淡水及泥沙由河川注入有關。

表 11 監測區樣點的水文環境因子平均值(±SD)

監測區	大肚溪口 (n=51)	台電風場(1 公里) (n=9)	台電風場(4 公里) (n=10)
完成趟次	8	1*	1
鹽度(‰)	31.74 ± 1.99	32.72 ± 0.69	26.59 ± 3.03
溫度(°C)	28.66 ± 1.07	28.32 ± 0.54	27.38 ± 0.48
pH	7.93 ± 0.03	8.02 ± 0.12	8.92 ± 1.31
濁度(NTU)	8.97 ± 10.27	1.96 ± 2.19	18.32 ± 19.10
水深(公尺)	13.59 ± 3.86	21.89 ± 4.88	22.11 ± 11.44
註*：本次執行僅調查一半區域的規劃航線			

在鯨豚目擊事件調查中，共有 1 次目擊紀錄，地點位於大肚溪口監測區，共發現 3 隻臺灣白海豚個體，由個體皮膚外觀研判，有 1 隻老年個體及 2 隻成年個體；非努力航程中於台中港口外目擊 1 次臺灣白海豚，共 3 隻個體(2 隻老年，1 隻成年)，以上目擊紀錄資訊彙整於表 12。在 2 次目擊到白海豚時，皆未發現有母子對，移動路徑紀錄如圖 20。在大肚溪口及台中港口外所目擊到的鯨豚，其活動大多是在出水時，露出半身或背部，游速小於 4 節，沒有觀察到拍水、摩擦的行為，大多屬於繞圈徘徊，使用相機拍攝紀錄照片如圖 21 及圖 22。

表 12 鯨豚目擊事件資訊整理

目擊區域	大肚溪口	台中港口外
工作狀態	有效努力量	無效努力量
個體數(隻)	3	3
年齡分布	1 隻老年個體，2 隻成年個體	2 隻老年個體，1 隻成年個體
離船最近距離(公尺)	150	50
行為概述	游走、繞圈徘徊	游走



圖 20 大肚溪口目擊事件的鯨豚方向



圖 21 在大肚溪口觀察到白海豚活動(2019 年 6 月 17 日)



圖 22 在台中港外觀察到白海豚活動(2019 年 6 月 17 日)

5. 調查後建議

在鯨豚目視調查的船舶航線規劃上，應先評估監測區域的海域特性以及監測物種的分布，再設計適當的穿越線方法，多數鯨豚生態調查的航線規劃為垂直海岸或 Z 字穿越線，並收集監測區的環境水文因子(水溫、鹽度、酸鹼值、潮汐等)或地形資料(水深、棲地類型、離岸距離等)。在本研究案例中，不以特定鯨豚族群為調查標的，分別在近岸採用平行海岸線調查測線及在離岸風場採用垂直海岸的穿越線，在實際執行時，調查船航行在測線上並

無太大問題，唯一受到的限制是海況條件與能見度。由於採用目視調查方式，在浪級小於(含)4 級的情況才計入努力量，此為目視調查作業上的瓶頸。

鯨豚目視調查方法除了讓觀測人員搭乘船舶到海上調查之外，近期亦有採用空拍機(飛行器)調查。台灣西海域過去大多為船舶目視調查，國外使用空拍機大多用於大範圍海域的海洋哺乳動物分布調查，而西海岸的鯨豚族群密度相對國外情況屬於數量較低，使用空拍機的資料收集效率相對較差。

如果為評估鯨豚類受到離岸風場的影響，需進行鯨豚基線調查，應至少收集 2 年的目視調查資料且按季節調查，以確定這些變量在季節以及年份之間如何變化，才能評估鯨豚類所受的潛在影響。監測區應規劃風場區(assessment area)以及對照區(reference area)，船隻目視的風場區應包含離岸風場規劃位址，範圍最少為 200 平方公里，監測區範圍原則上應向風場位址外擴 4 公里以上(圖 18)；對照區應在風場區以外且同樣範圍大小之區域，且生態及地理特徵和風場區相似。

鯨豚調查所獲得的資料可進行族群分布、族群密度、棲地利用等生態資料分析，將目擊資料匯入地理資訊系統，標準化努力量後找出分佈位置或分佈熱區，或分析鯨豚分布與環境資料的相關性，找出鯨豚的棲地偏好。族群結構分析需要累積大量的個體資料，利用照片辨識(photo identification)，比對鯨豚外型特徵如身體或背鰭之輪廓、缺刻、疤痕、顏色、斑點等，建立族群的個體身份檔案，才能分析該群體年齡組成及動態。

由於鯨豚族群分析需要累積大量的調查數據，因此需要長期的調查規劃，且在設計調查方法以及劃設監測區前，需要了解資料分析的目標以及相關參數，逐次修正調查測線與次數，才能取得更完善的調查資料。在本研究調查數據分析後，僅在大肚溪口目擊 1 次臺灣白海豚，其餘未目擊到鯨豚紀錄，可見在台灣西部外海雖發現許多鯨豚物種，但數量調查上仍十分有限。此外，目視調查受限於能見度影響可調查天數，如依照表 3 評估指標，欲提升更多鯨豚的生態調查需求時，應投入更多調查資源、航次與努力量，才能分析出各鯨豚物種的豐度、密度、分布及族群結構。但目視調查多選擇在好海況進行，在春夏季可從事密集調查，其餘時間則較難掌握鯨豚實際動態或活動範圍，因此，可採用水下聲學監測方式，與目視調查限制互補，取得更多鯨豚生態資訊。

第三節 水下聲學監測案例

水下聲學監測系統可用來調查鯨豚活動跡象及水下噪音變化，而使用被動式聲學監測作為鯨豚生態調查是近年來的趨勢，亦是本研究探討的應用案例。目前市面上常用的水下聲學監測設備分為自記式及即時傳輸式，本案例採用的底碇式系統為自記式水下聲學監測設備，是取得水下噪音及被動聲學監測鯨豚音訊等調查資料來源。即時傳輸式系統則試組裝拖曳式系統及電纜式系統，將水下麥克風與環境水文監測儀器整合後，可即時顯示及紀錄各項監測資料，提升海上監測效果。

1. 底碇式系統

錨碇型水下聲學監測系統採用知洋科技公司生產的 AUSPICE 產品 H1 型，外型如圖 23 所示，其具備一組全向性水下麥克風(hydrophone)，使用 BII 7123 型，靈敏度約-193 dB re 1 V/ μ Pa，測量頻率範圍 1 Hz 至 100 kHz，前置放大器(pre-amplifier)增益值(gain)可調整為 0/+20/+40/+60 dB，音訊輸出方式為類比單點。由水下麥克風靈敏度及訊號放大器增益值加乘計算後，測量靈敏度約-153 dB re 1 V/ μ Pa。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 23 自記式水下聲學監測系統外觀照片

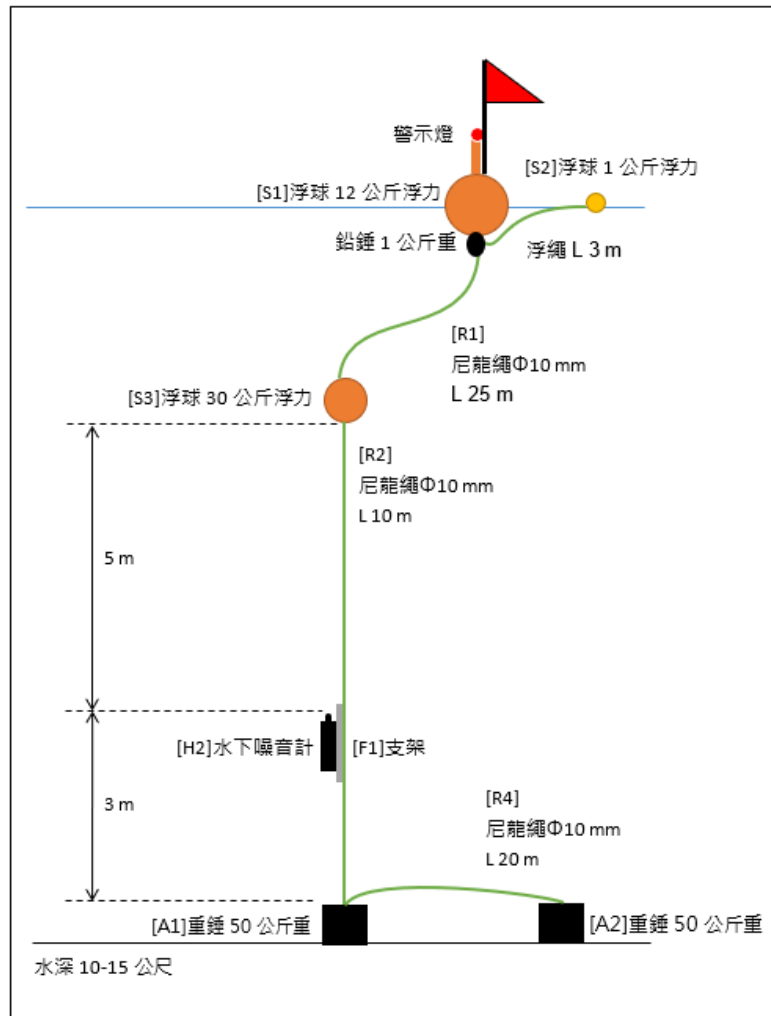
音訊數位擷取器採用 Wolfson Audio Card，搭配 Raspberry Pi 操作，可將音訊儲存至 SD 記憶卡中。資料擷取設定的取樣頻率為 48 kHz，資料位元數 24 bit，系統開啟後自動開始儲存音訊檔案，檔案設定 wav 格式，每 10 分切割一筆檔案，檔案命名方式為測量起始日期及時間，例如水下噪音計系統 A01 在 2019 年 6 月 8 日 1 時 23 分 45 秒開始測量，則檔名為「A01_20190608_012345_24bit_48kHz.wav」。使用 SD 記憶卡 256 GB 容量約可儲存 560 小時。耐壓防水筒主要材質為鋁合金，為減緩海水對筒體的腐蝕速度，表層增加一層陽極氧化電鍍保護(外表黑色)。筒內裝入 36 顆 1 號鹼性電池(D-cell LR20)，如圖 24，以 6 串 6 併構成 9 VDC 電力，約 180 Wh 電池容量，預估可供應系統電力約 270 小時。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 24 自記式水下聲學監測系統使用的鹼性電池

為測量水下噪音資料及鯨豚叫聲，將水下聲學監測系統採用錨碇方式，以 100 公斤重的重錘固定於海床，將水下聲學監測系統設置於水深的 3/4 位置，以最低潮位的水深約 15 公尺為計算依據如圖 25，其中基於系統保護安全考量，將錨碇浮球固定於 5 公尺水深，1 組系統的水下麥克風設置深度約 10 公尺。水下噪音監測錨碇系統設計含重量控制、浮力計算及各節點連接方式等，浮球提供浮力約 33.8 公斤力，至少 10 公斤力向上，致使錨碇系統可在垂直向拉伸，儘量讓水下聲學監測系統及水下麥克風保持垂直方向，並減少海面波浪的作用影響和減少自身噪音干擾。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 25 錨碇式水下聲學監測錨碇系統圖



圖 26 錨碇式水下聲學監測系統

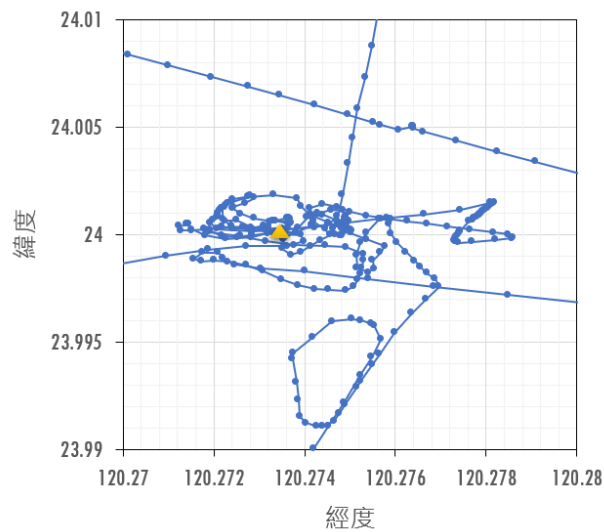


圖 27 搜尋遺失的水下聲學監測系統之船舶軌跡圖

在水下聲學監測的資料蒐集中，3 月 21 日在台電第一期風場及 8 月 20 日在大肚溪口是當天布放儀器，完成測量工作後立即回收，儀器的遺失風險較低。但在 9 月 10 日布放在台電第一期風場的系統，原本預計在 10 天後回收更換電池，但海況不佳一直無法出海作業，直到 10 月 4 日至現場已找不到系統，利用船上魚探聲納來回搜索水下目標物(圖 27)，超過 2 小時，亦無所尋獲。由於採用有浮球式的錨碇系統，會被海床沈積物掩蓋的機率不大，初步研判遭遇人為或測量期間颱風侵襲的破壞因素較大。因此，隨後改採用加重型錨碇系統，將重錘加重至 500 公斤，如圖 28 的火車輪。在 10 月 28 日已至大肚溪口布放，並租賃配有機械吊具的工作船舶，如圖 29，順利完成布放工作。



圖 28 加重型錨碇式水下聲學監測系統



圖 29 配備吊具的工作船舶布放水下聲學監測系統

本年度在海上布放水下噪音及被動聲學監測的作業紀錄如表 13 所示，在 3 月的作業以人員訓練及系統測試為主，作業位置擴大至台電風場的海氣象觀測塔附近。在 8-12 月的監測作業，發生系統遺失(10 月 4 日)無法取得資料，及電池發生爆炸(圖 30 於 11 月 13 日發現)可用資料有限。合計取得約 20 天資料數，作為研究分析案例。

表 13 水下噪音及被動聲學監測海上作業紀錄

日期	作業項目	作業位置	資料數	租賃船舶	說明
3 月 21 日	人員訓練及系統布放測試	台電風場	3 小時	台港 22601 (CTV)	浮標錨碇系統
8 月 20 日	錨碇式系統布放(1)及回收(1)	大肚溪口	1.5 小時	羅賓號 (CT-2)	浮標錨碇系統
9 月 10 日	錨碇式系統布放(1)	台電風場		羅賓號 (CT-2)	浮標錨碇系統
10 月 4 日	錨碇式系統回收	台電風場		羅賓號 (CT-2)	浮標錨碇系統遺失
10 月 28 日	錨碇式系統布放(1)	大肚溪口		台港 15001 (GT499)	重型錨碇系統 2 組
11 月 13 日	錨碇式系統回收(1)及布放(1)	大肚溪口		羅賓號 (CT-2)	回收系統電池爆炸 海流過強第 2 組無法布放 潛水俠 1 組人員作業
12 月 1 日	錨碇式系統回收(1)及布放(1)	大肚溪口	254 小時	尖再發號 (CT-2)	潛水俠 2 組人員作業 第 2 組重型錨碇系統失效
12 月 1 日	拖曳式系統 (Seaguard) 測試	竹南風場		世通 168 號 (CT-2)	
12 月 10 日	錨碇式系統回收(1)	大肚溪口	216 小時	羅賓號 (CT-2)	潛水俠 1 組人員作業



圖 30 電池發生爆炸露出化學液體

在完成測量資料回收後，以 11 月 13 日至 22 日的數據為分析案例，與水下噪音影響鯨豚生態相關計算如下。

(1) 船舶產生水下噪音

分析音訊檔「A03_20191116_222223_24Bit_48kHz.wav」再繪製成時頻譜圖(spectrogram)，如圖 31，在水下聲壓的顏色區塊表現上，特別將 80 dB re. 1uPa² 以下設為白色，有助於觀察 80-120 dB re. 1uPa² 之間的聲壓變化。利用時頻譜圖的顏色變化可辨識出船舶水下噪音的特徵，例如當船舶在最接近水下聲學監測系統時，在低頻(<500 Hz)會有明顯聲壓能量在頻率上調變，如圖 32 的對襯放射狀特徵，其主要物理機制是船舶推進器的噪音產生的都卜勒效應，船速或槳葉轉速越快則此特徵變化越快速。此外，船舶槳葉產生的氣泡噪音，在靠近水下聲學監測系統時會被測量到，影響頻率範圍可高達數十 Hz，也就是很微小的氣泡所產生的震動與爆破聲音。

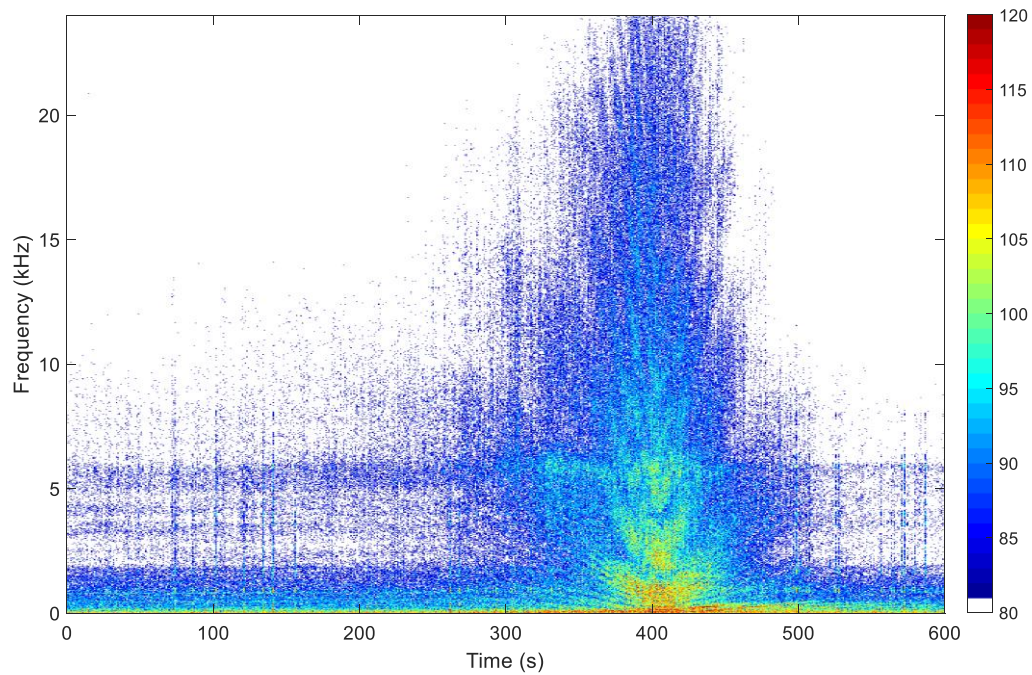


圖 31 船舶水下噪音時頻譜圖

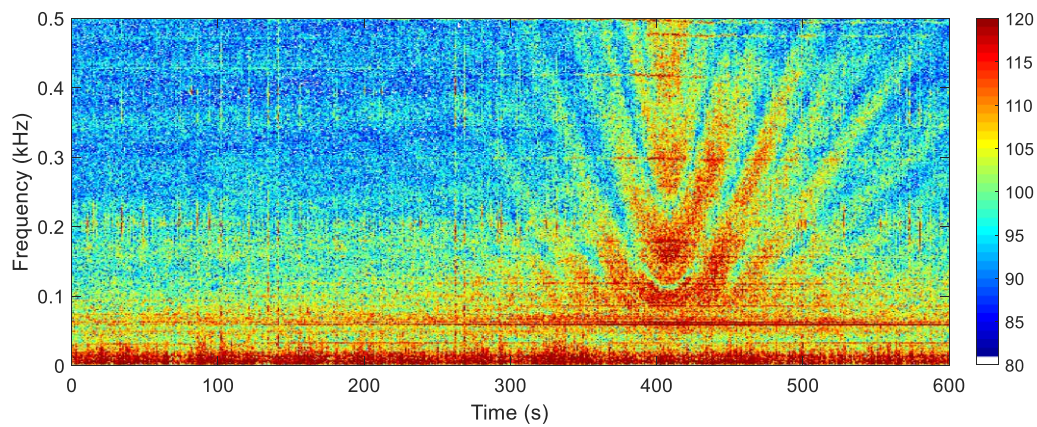


圖 32 船舶低頻水下噪音時頻譜圖之特徵

(2) 水下噪音值時序變化

在探討水下噪音變動問題時，參考 StUK4 的分析方式，以 5 秒聲曝值計算，如圖 33(a)所示。再依照 MSFD (Tasker, et al., 2010)的指標，計算 63 Hz 及 125 Hz 的 1/3 八音度水下噪音量，如圖 33(b)和(c)。根據圖中的變化範圍，可以進一步採用統

計學中的累積機率分布(圖 34)，分別取 90%、50%及 5%為計算值，結果為 142.9 dB re. 1uPa²s、137.2 dB re. 1uPa²s、131.9 dB re. 1uPa²s，如日後欲分析水下噪音整體變化情況，可根據這三筆數據進一步比對。

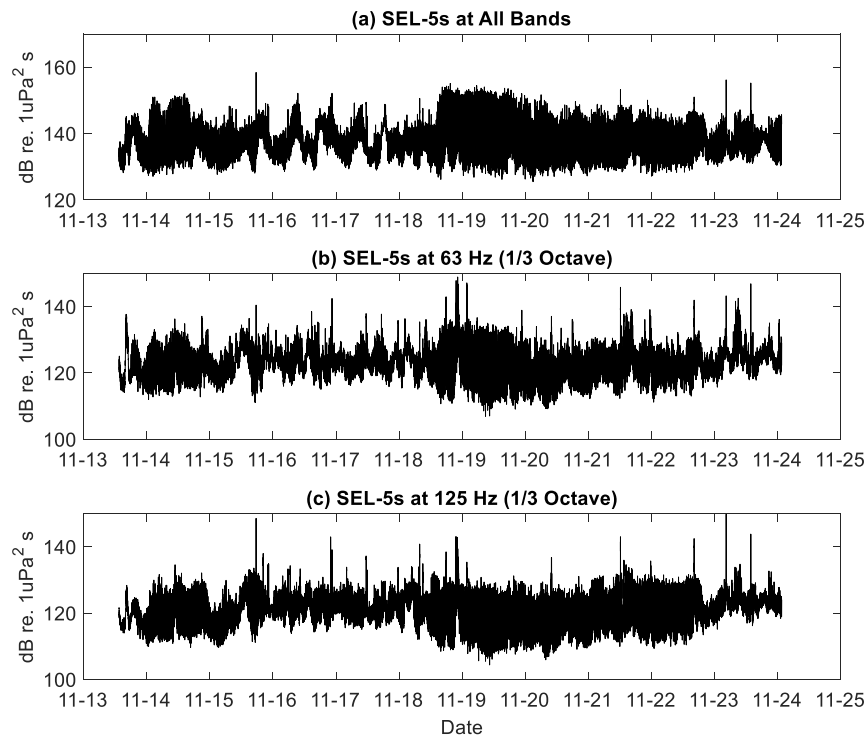


圖 33 水下噪音 5 秒聲曝值時序變化

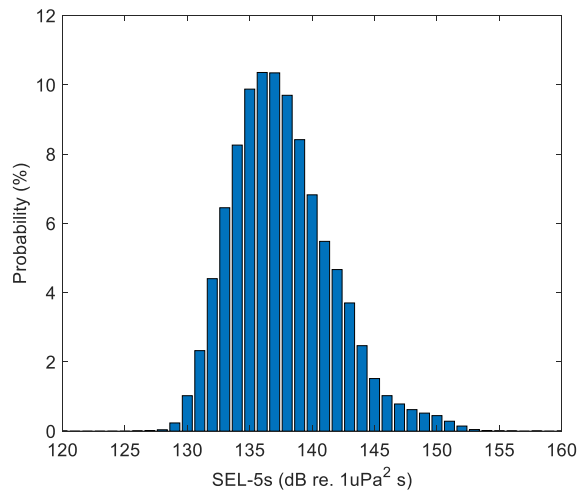


圖 34 水下噪音 5 秒聲曝值統計分析

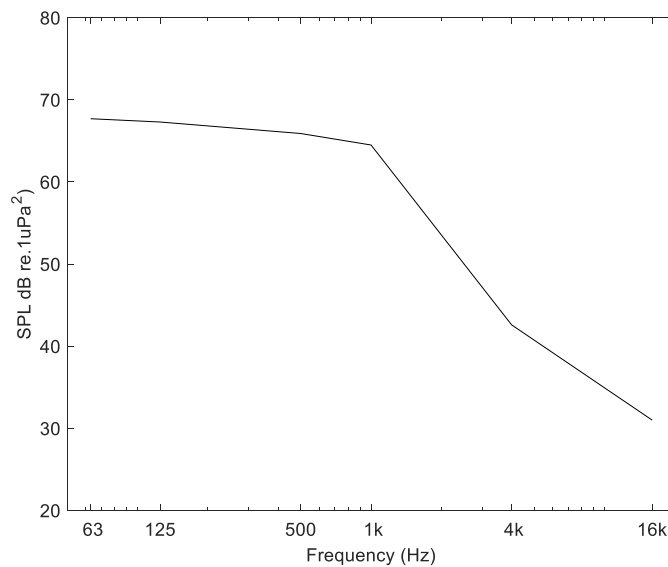


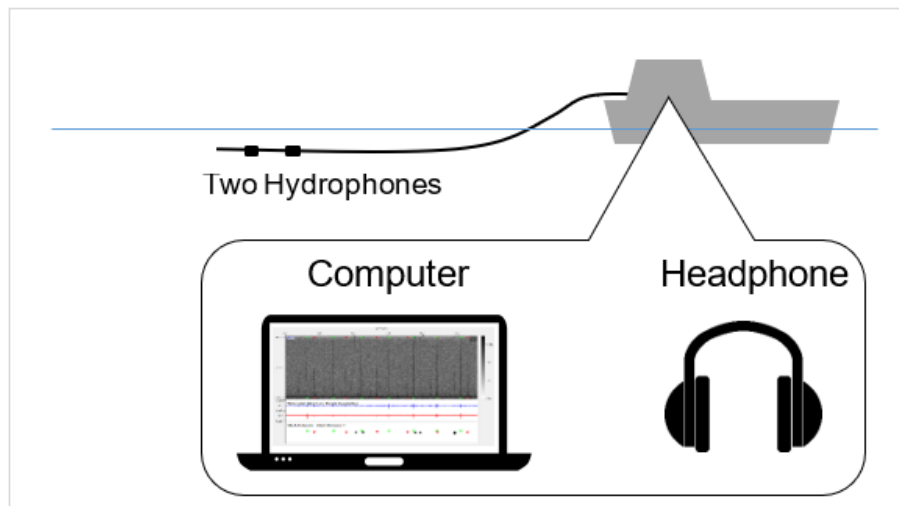
圖 35 水下背景噪音基線值

(3) 水下背景噪音基線推估

推估水下噪音基線值可用於海洋生物受人為噪音干擾之影響評估，常用來預測頻率範圍、影響空間範圍等，在鯨豚聽覺上的影響可參考圖 8，影響距離則可套用噪音地圖或利用被動聲納效能預估原理來推估，後續案例分析說明詳細方法。推估水下噪音基線值的方法係參考 (湛, 等, 2019)，以頻率 63、125、500、1,000、4,000 及 16,000 Hz 之水下噪音值為分析資料(11 月 13 日至 22 日)，採用累積機率分布 2.5% 為基線值，其分析結果如圖 35 所示，六個頻率的水下噪音基線值分別為 67.7、67.3、65.9、64.5、42.6 及 31.0 dB re 1 μPa^2 。

2. 拖曳式系統

拖曳型被動式聲學監測系統的初步設計與操作如圖 36 所示，在本計畫的設計上，將先採用 2 組水下麥克風，組成一線性陣列，從作業船隻後方拖曳，距離約 50-100 公尺，以減少船舶噪音干擾。監測數據可即時傳輸至船上，經由電腦及軟體判斷是否偵測到鯨豚叫聲，並使用耳機聆聽，同步訓練研究人員判斷。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 36 拖曳型被動式聲學監測系統概念

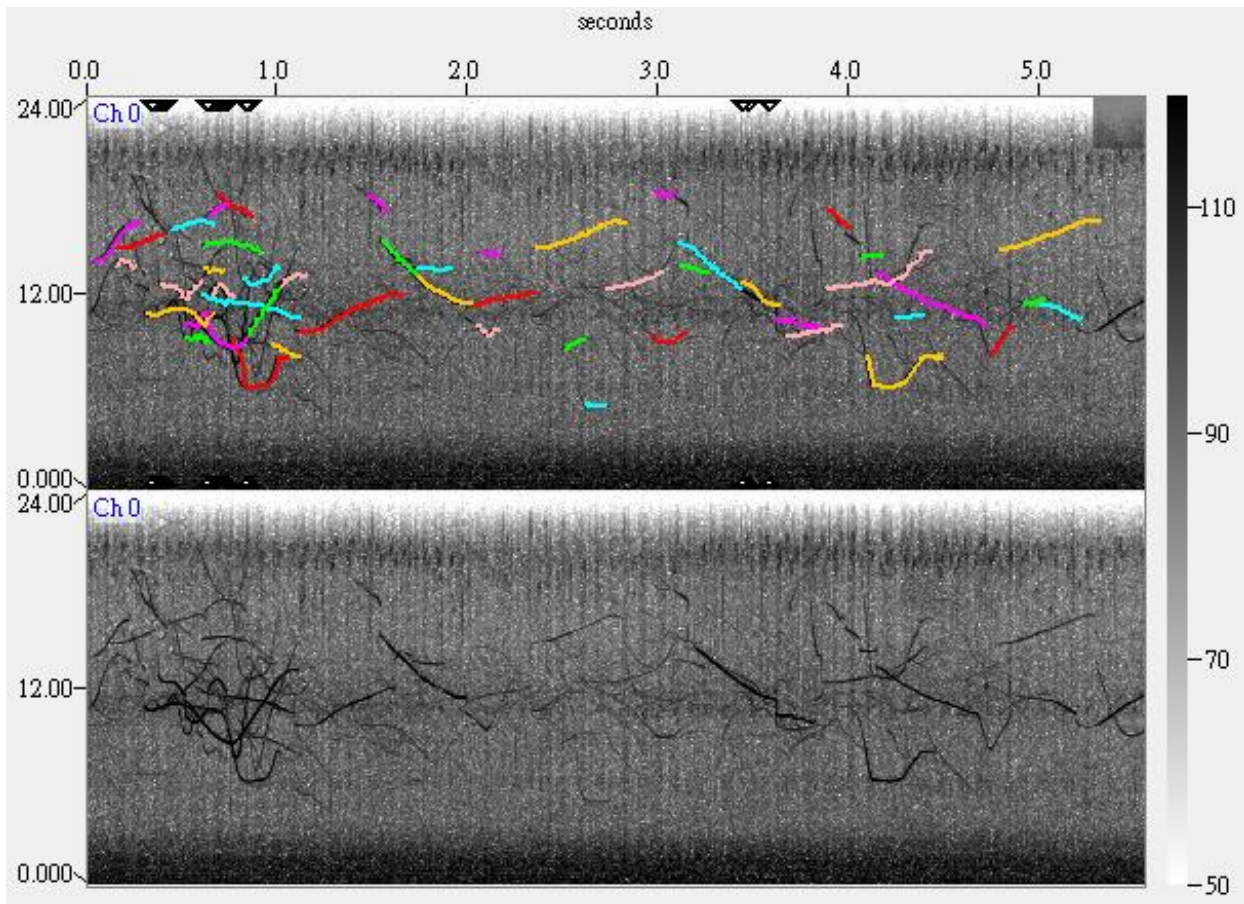


圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 37 拖曳型被動聲學監測系統

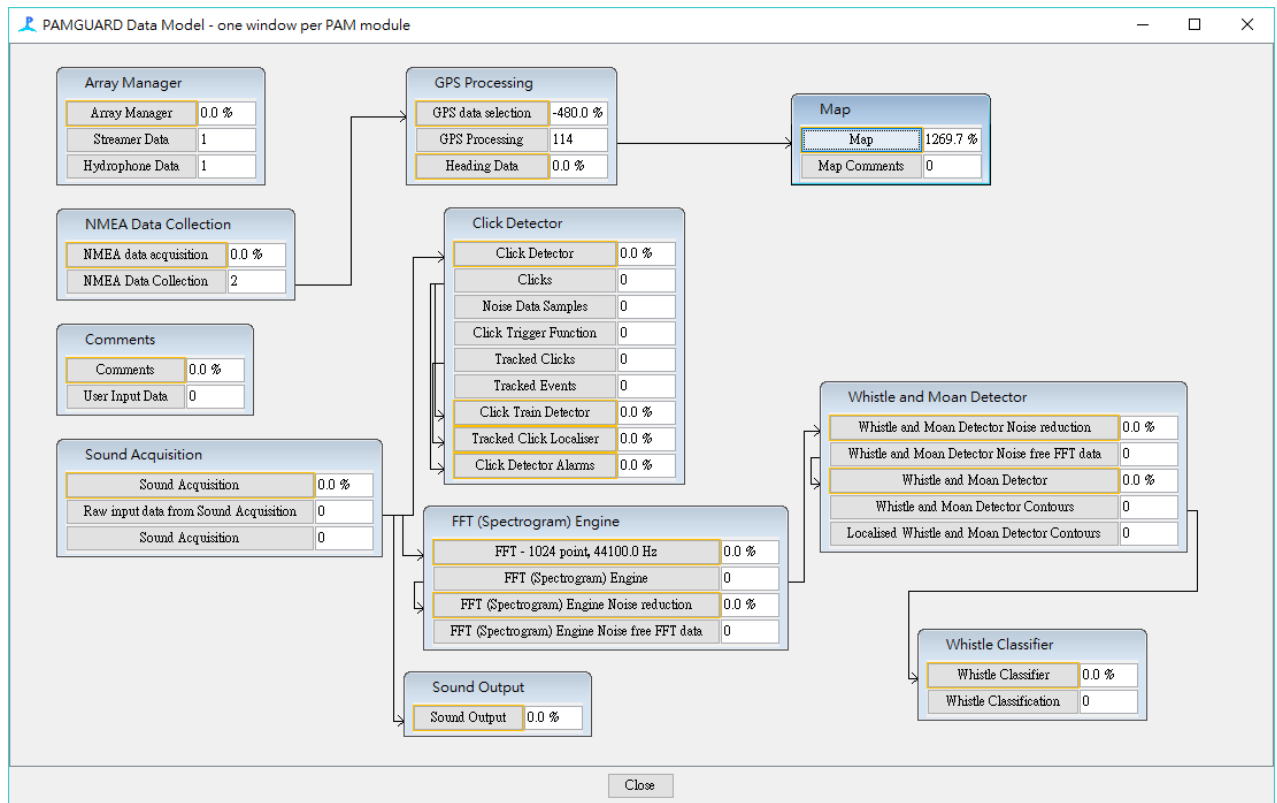
拖曳型被動聲學監測系統主要包含水下麥克風、訊號放大器、資料紀錄器、資料運算器及分析軟體等，其他附屬配件有浮球、支架、重錘、耳機、電池及連接器等，如圖 37。水下麥克風可採用 BII 7001 型(靈敏度約-200 dB re 1V/μPa)或 BII 7123(靈敏度約-193 dB re 1 V/μPa)，可由訊號放大器調整增益值 0 至+60 dB (1 dB 間隔)。資料記錄器的取樣頻率為 48/96/192 kHz，位元數 16/24 Bit，使用 2 張 256 GB SD 記憶卡可存 400 小時數據。

以音訊辨識軟體分析海上實測聲學資料，建立鯨豚叫聲偵測樣本、濾波及訊號處理方法、辨識精確度計算、系統可靠度計算等。目前採用的音訊辨識軟體為 PAMGuard，相關應用範例如圖 38 所示，由於該軟體發源於歐洲，所提供的辨識樣本多為歐洲調查鯨豚物種，本研究將從被動式聲學監測的數據中，制訂出調查物種的辨識樣本，其主要參數如圖 39 所示。使用拖曳型被動式聲學監測系統時，在 PAMGuard 軟體可設定水下麥克風陣列規格及拖曳位置(圖中心下方點位)，可進一步推算鯨豚叫聲方位(實線)，如輸入叫聲聲源大小，則可進一步推估出所在距離，如圖 40 所示。因拖曳的水下麥克風陣列屬於直線式設計，在判斷方位上會出現對襯 2 點的雙重方位，因此在海上實際操作時，需要由目視監測輔助判斷正確方向點位。



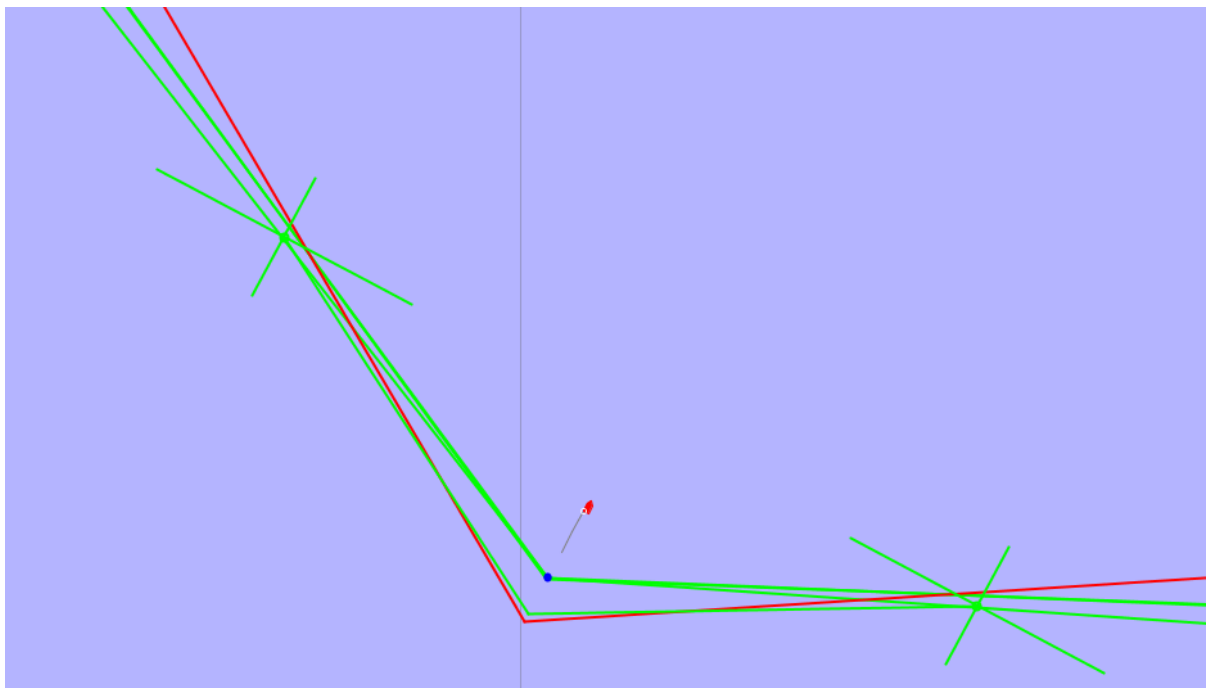
圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 38 音訊辨識軟體偵測鯨豚叫聲範例



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 39 音訊辨識軟體偵測參數設定範例



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 40 音訊辨識軟體從水下麥克風陣列訊號判斷鯨豚叫聲方位範例



圖 41 拖曳式水下聲學監測系統

圖 41 為 12 月 1 日在海上整合測試的實際情況，左邊接線盒為水下系統，已整合水下麥克風、CTD、攝影機等感測器，並經由 1 台電腦控制及接收數據(圖 42)。將拖曳架釋放在作業船舶後，進一步測試拖拉時的穩定度，如圖 43。拖曳式系統在可施放在作業船後方 50-100 公尺，有效減少船舶噪音干擾，可即時進行被動聲學監測及水文環境調查，再加裝攝影機即可作為鯨豚目視監測之影像辨識研究。



圖 42 拖曳式水下聲學監測系統之控制電腦

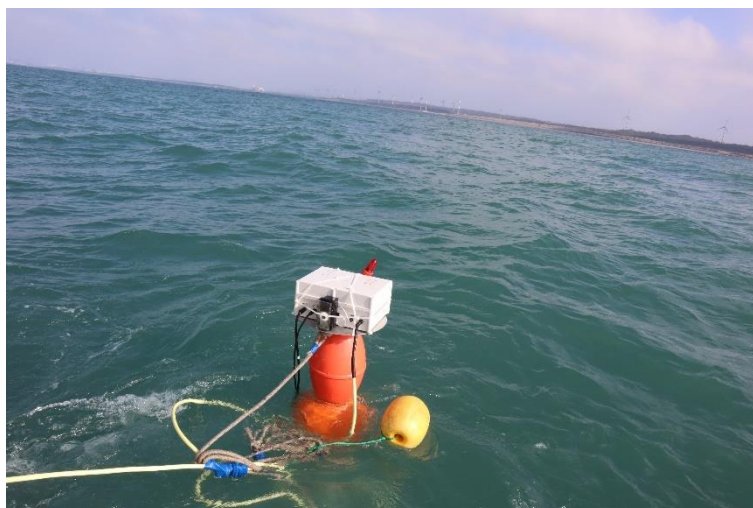


圖 43 拖曳式水下聲學監測系統之拖拉穩定試驗

3. 電纜式系統

在監測目的上需要取得即時數據時，可採用船載拖曳或是電纜式，其系統技術架構如圖 44 所示，左端系統至於水下，右端至於船上甲板或路上，中間可透過水下電纜傳輸訊號及電力。經過研究評估，在技術實現性和成本效益考量下，以這樣的技術框架應在傳輸距離超過 0.1 公里，資料頻寬超過 1 Mbps 的條件下，符合整合多項感測器的目標需求。

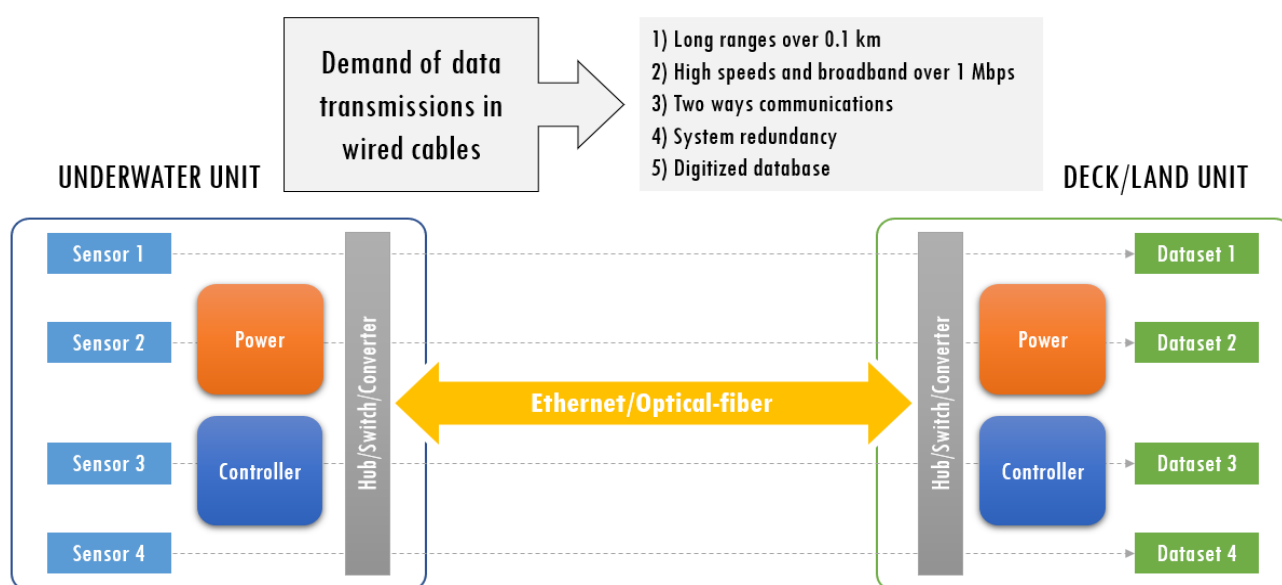


圖 44 電纜式水下聲學監測系統技術架構

進一步解釋資料傳輸通訊技術，在資料傳輸與交換上採用數位的網路技術，由於即時傳輸資料龐大且需進一步控制感測器，因此採用區域網路架構中的 TCP/IP，可雙向傳輸資料並對資料位元除錯，提高控制訊號及資料傳輸品質的可靠度。在技術實現上採用微軟作業系統的遠端遙控功能，可在甲板或路上端直接遙控水下設備及收集資料。

圖 45 為 12 月 6 日在國立中山大學海下科技研究所 1 樓試驗水槽所進行的測試情況，可利用控制電腦(圖中下方筆記型電腦)透過 1 條電纜供應水下系統的電力及網路傳輸，電纜長度約 100 公尺，銅導線徑 22 AWG。電源使用 110 VAC，在水下端消耗功率約 50 W，傳輸電流 $<0.5\text{ A}$ ，估計傳輸損失電壓 $<4.8\%$ ，在水下電源的電壓保持在 105 VAC 左右，可利用變壓器提供直流電給水下控制電腦、網路交換器、水下麥克風及水文測量儀器(圖 46)。

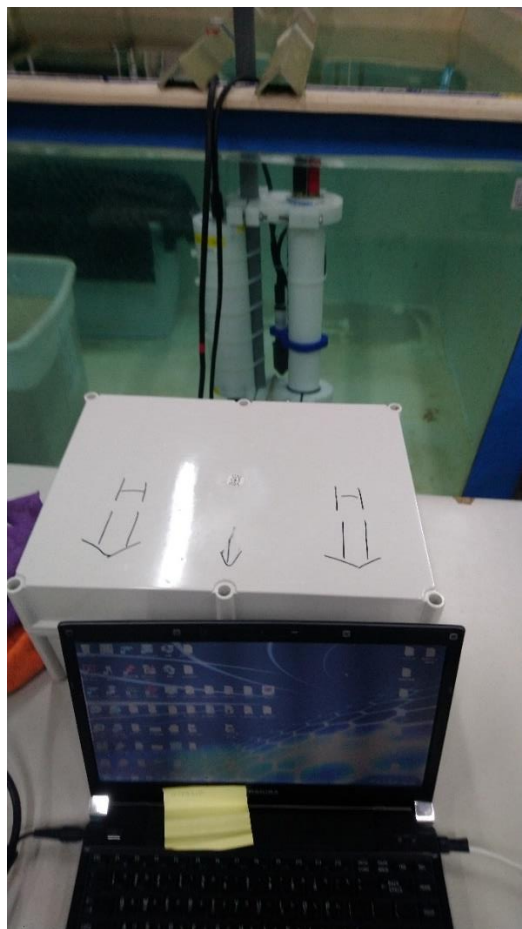


圖 45 電纜式水下聲學監測系統測試

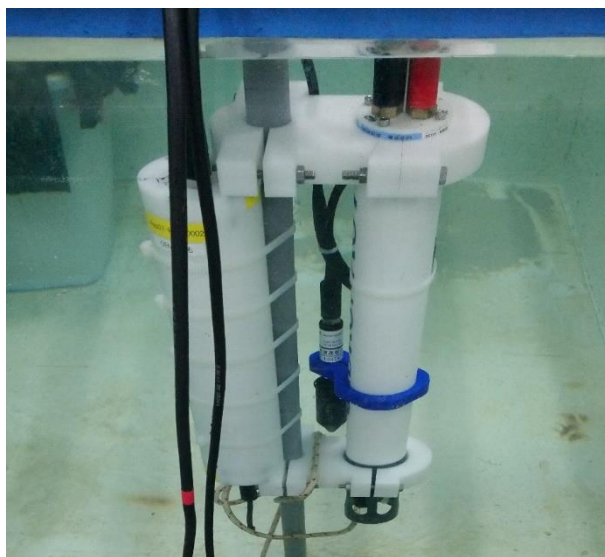


圖 46 電纜式水下聲學監測系統與水文測量儀器結合

在測試被動聲學監測系統時，以擊掌產生脈衝聲波，觀察 PAMGuard 軟體的測量反應，如圖 47 的 Click 監測及圖 48 的 Whistle 監測之畫面，可調整水下麥克風靈敏度、偵測閾值等，自動且即時監測到測試聲波訊號。

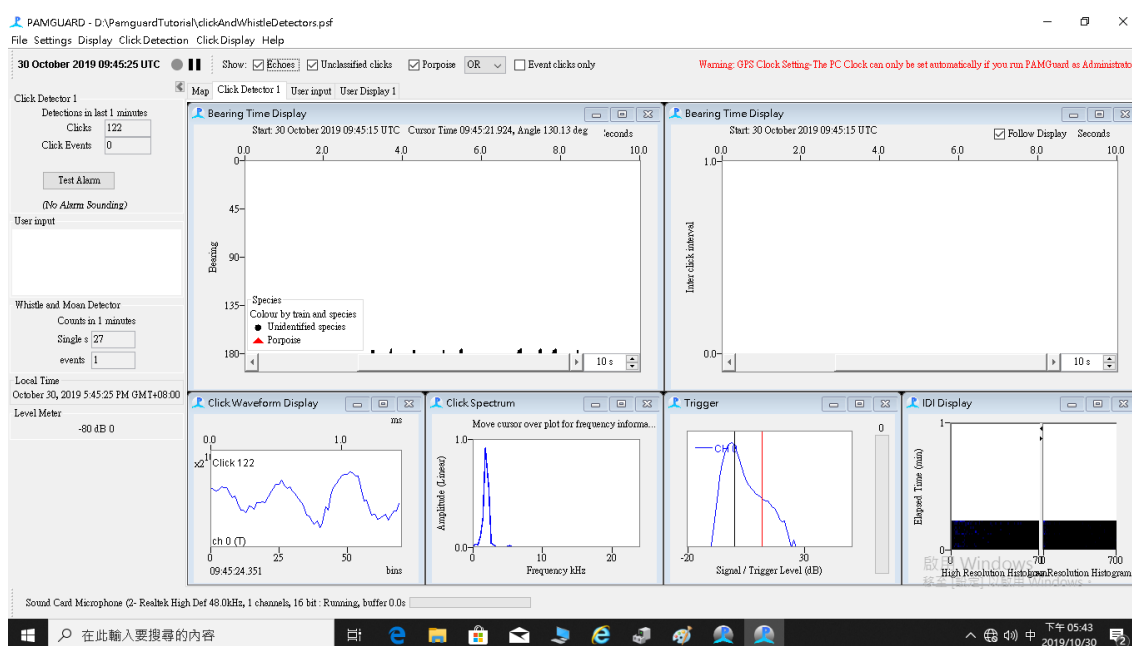


圖 47 電纜式水下聲學監測系統之 Click 監測

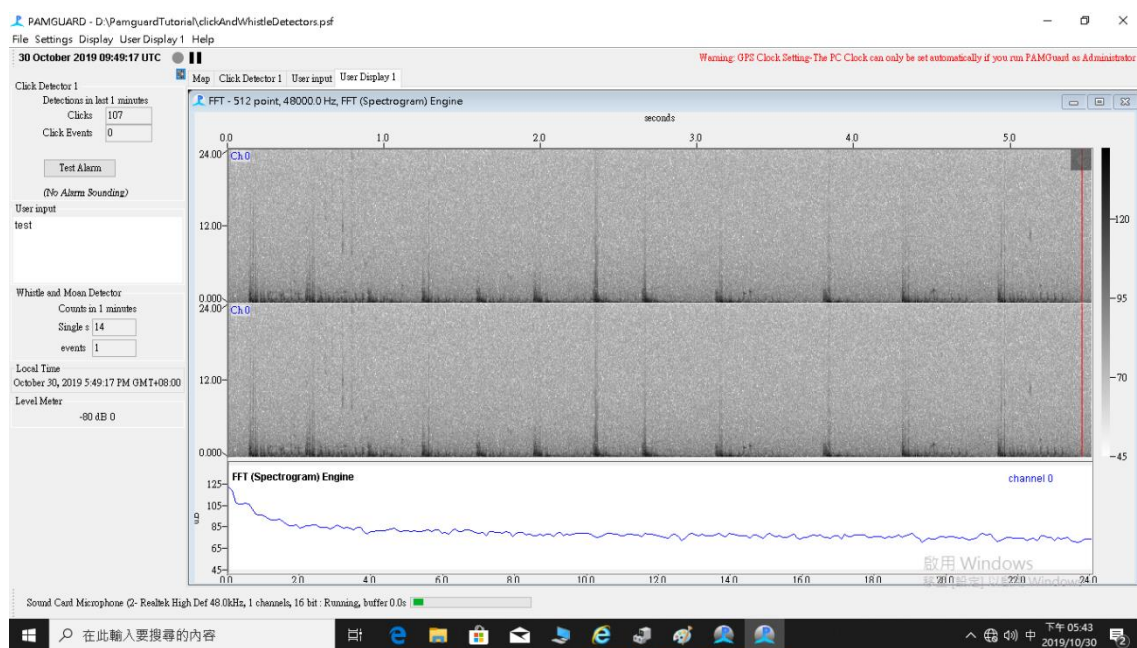


圖 48 錨碇式水下聲學監測系統之 Whistle 監測

第四節 目視與聲學比對案例

為進一步比對目視調查與被動聲學監測結果關連性，選擇表 13 的 8 月 20 日被動聲學監測資料與目視調查結果比對。當天的監測位置位於台中大肚溪口，目視調查約 1.5 小時無任何鯨豚目擊紀錄，將被動聲學監測資料以 PAMGuard 軟體分析 Click 的訊號，共有 7 筆 wav 檔，每筆時間長度約 10.5 分鐘。PAMGuard 的相關設定包含水下麥克風靈敏度(圖 49)、濾波器設定(圖 50)、偵測閾值設定(圖 51)等。偵測 7 筆檔案的結果顯示於圖 52、圖 53、圖 54、圖 55、圖 56、圖 57、圖 58 中，很明顯全時段並無任何偵測結果。

在測試 PAMGuard 偵測 Click 的效果，使用 1 比可從時頻譜圖(Spectrogram)發現 Click 訊號的資料，用同樣的偵測條件分析，結果如圖 59 所示，在圖中標示三角形的時間點，即為軟體偵測出 Click 的訊號，在 1 小時的資料中，合計有 5 次。當偵測到 Click 訊號時，可先在偵測振幅(Amplitude)點選分析訊號項目，底下左邊及中間視窗可繪製時序圖及頻譜圖，進一步分析確認。右下圖則是顯示偵測訊號的強度是否有超過閾值(紅色線)，在偵測過程中可用耳機聆聽(部分 Click 在訊號較強時可落在人耳聽力範圍)訊號判斷。

Edit hydrophone

General info

Hydrophone id

Streamer

Hydrophone type

Hydrophone sensitivity dB re 1V/ μ Pa

Preamplifier gain dB

Coordinates (m)

x +/- m (right of streamer)

y +/- m (ahead of streamer)

depth +/- m (depth below streamer)

Interpolation

☒ Use only the latest value

☐ Interpolate between values

☐ Use the location for the time preceeding each data unit

Ok Cancel Help ...

圖 49 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的水下麥克風設定

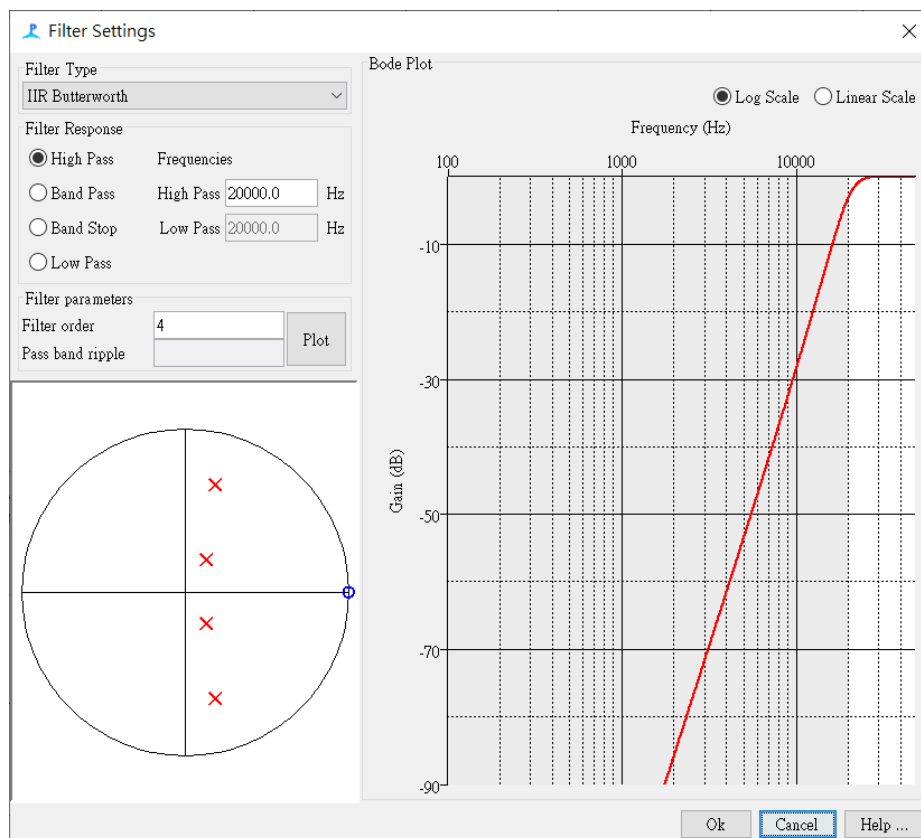


圖 50 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的濾波器設定

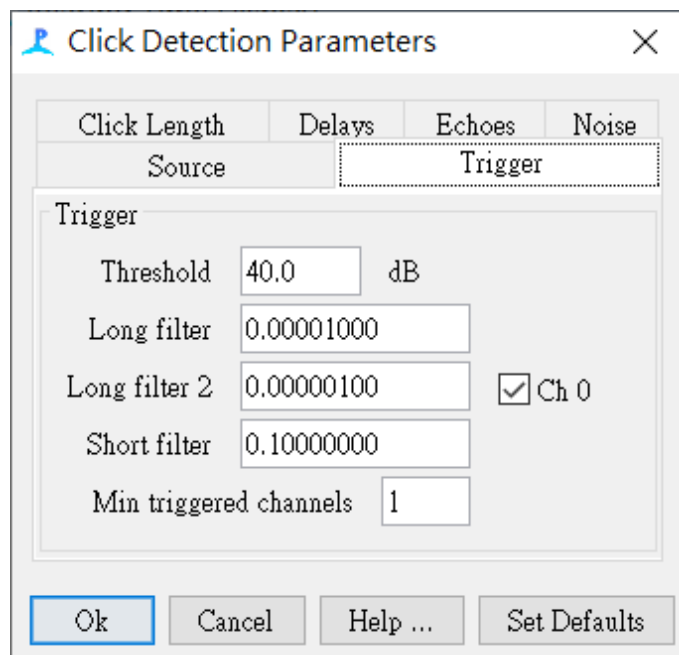


圖 51 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的閾值設定

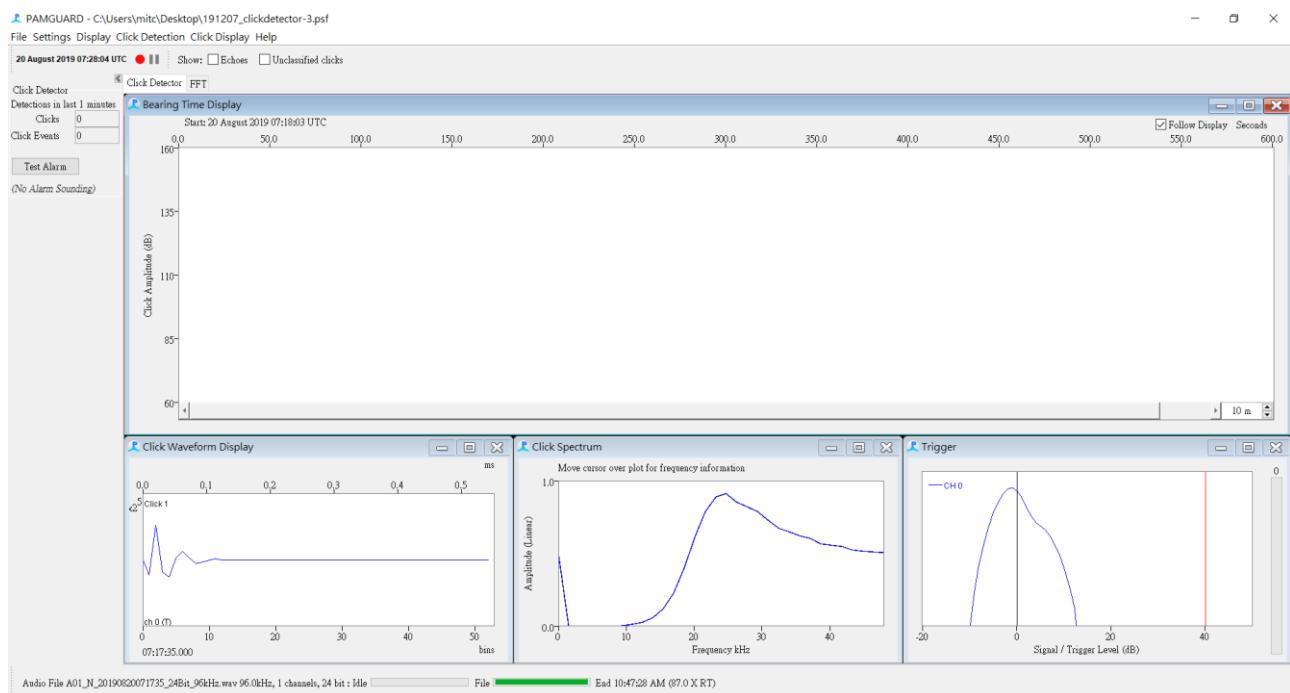


圖 52 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(1)

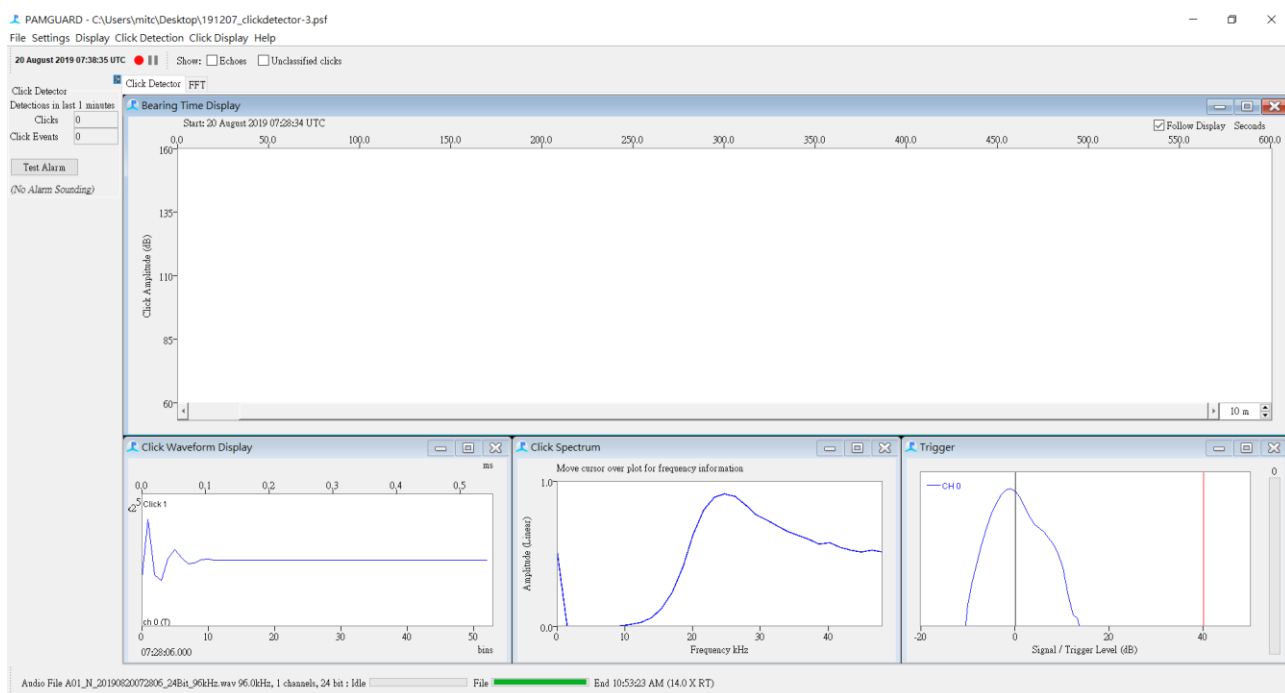


圖 53 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(2)

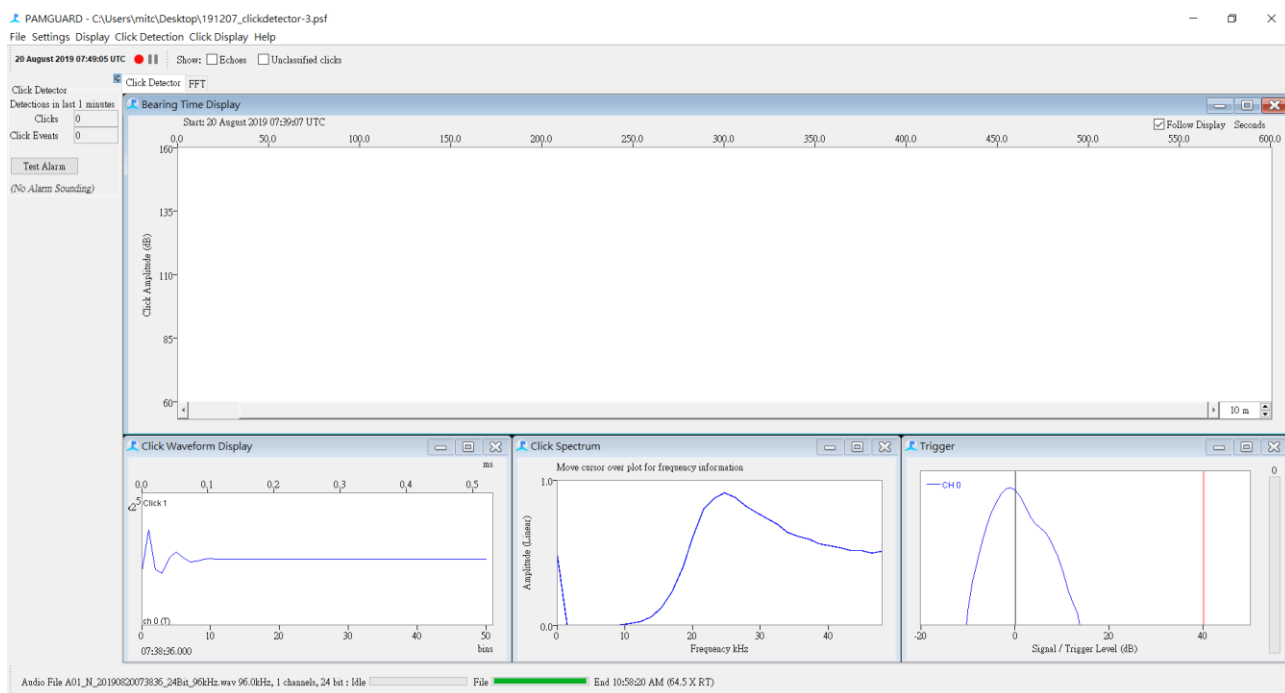


圖 54 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(3)

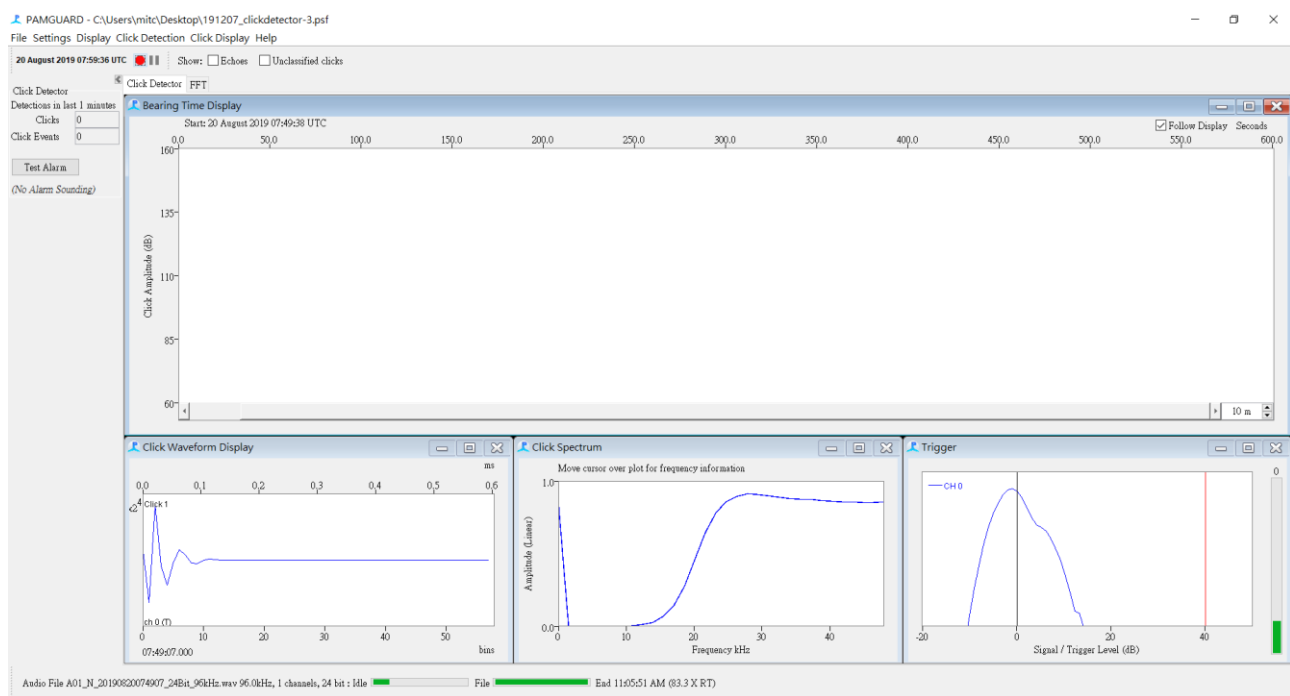


圖 55 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(4)

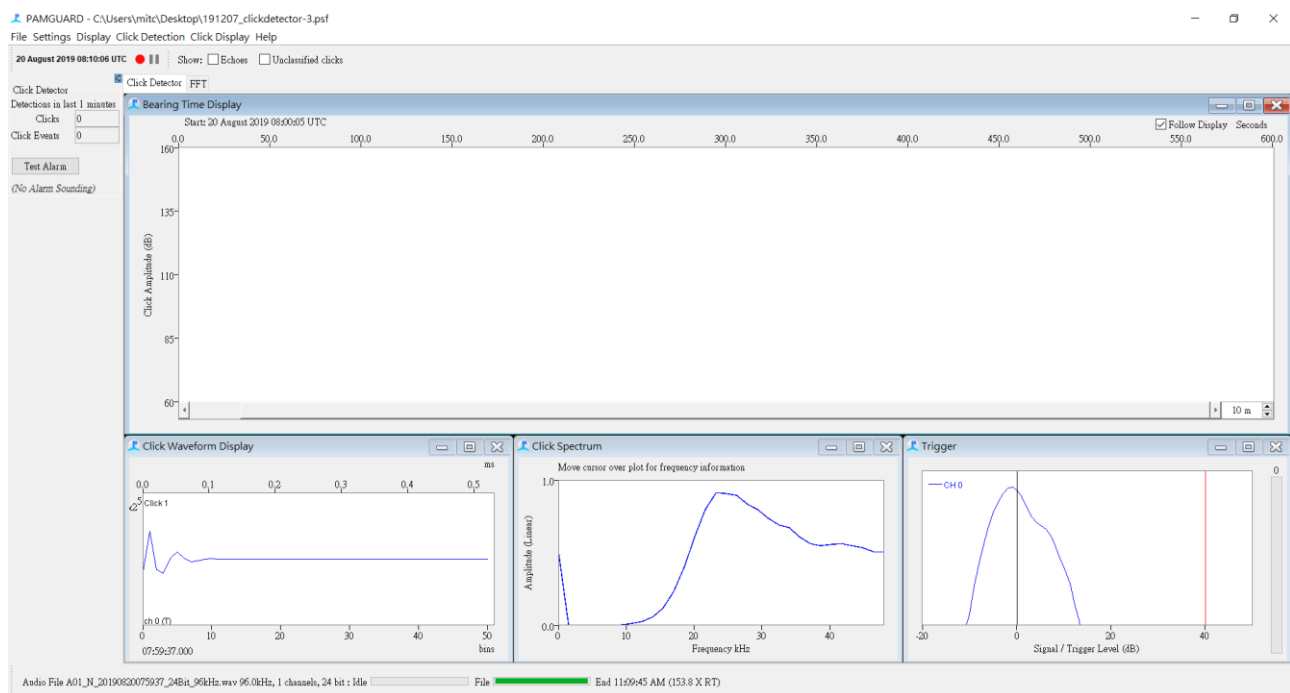


圖 56 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(5)

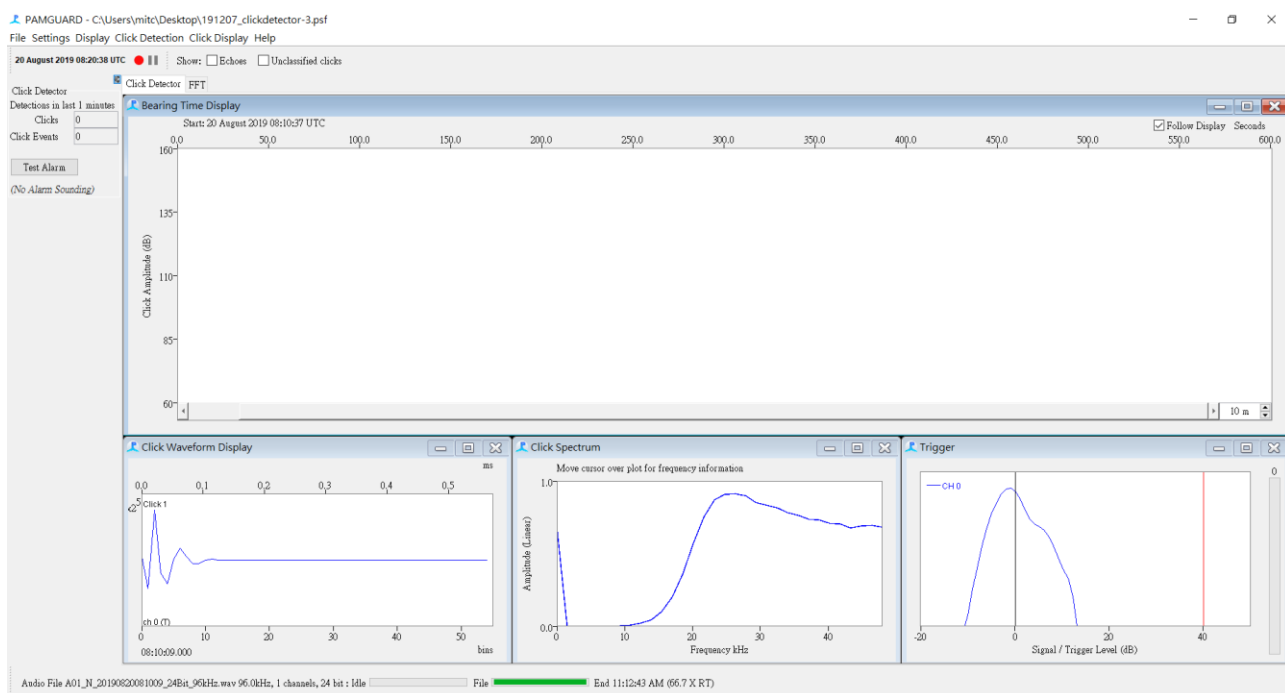


圖 57 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(6)

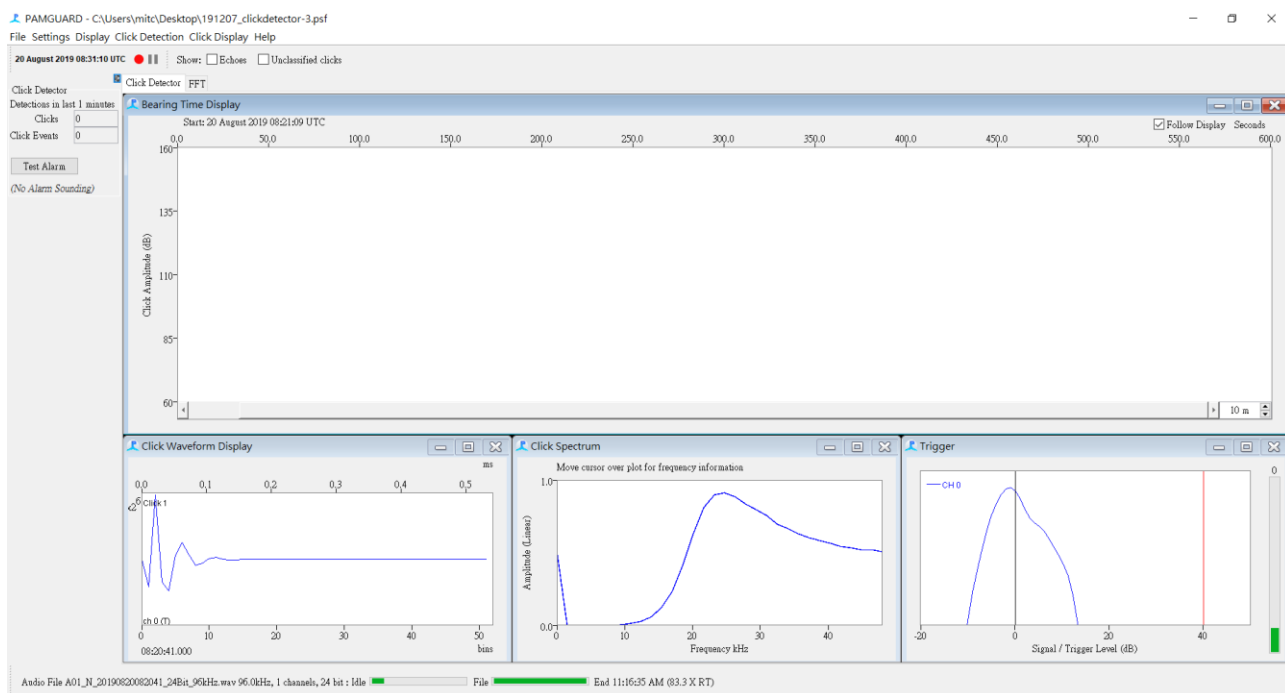


圖 58 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測結果(7)

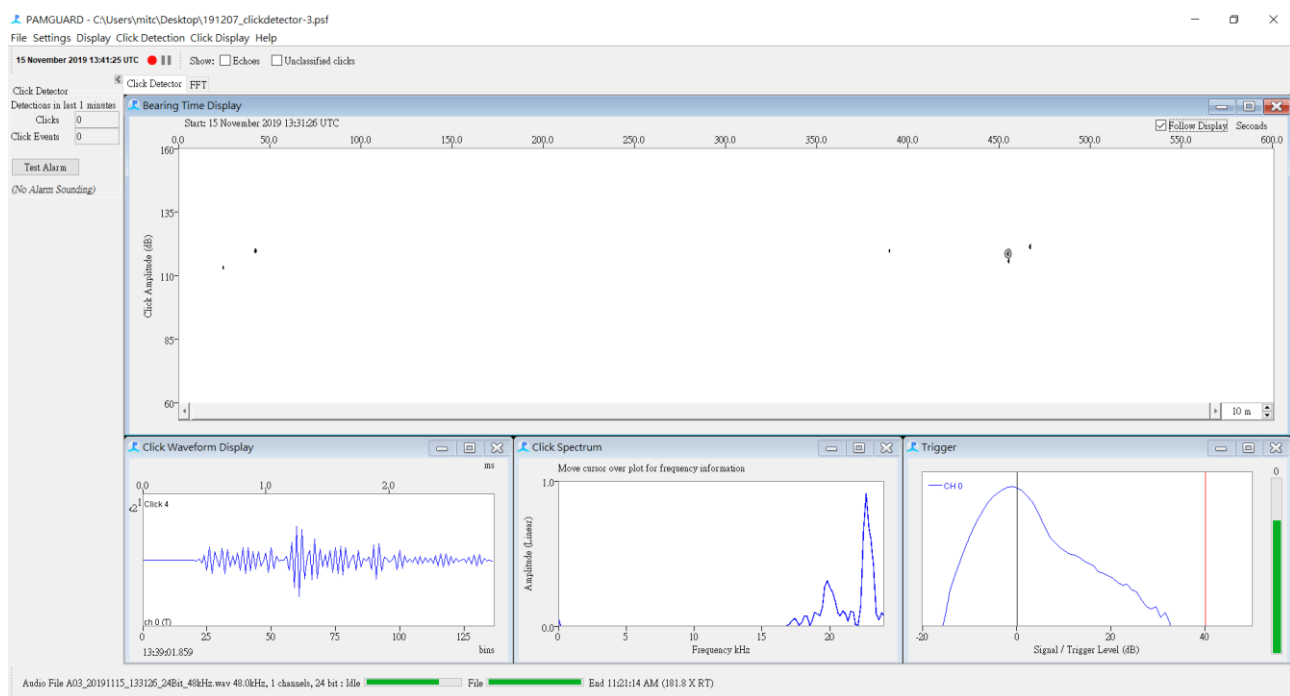


圖 59 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的偵測顯示

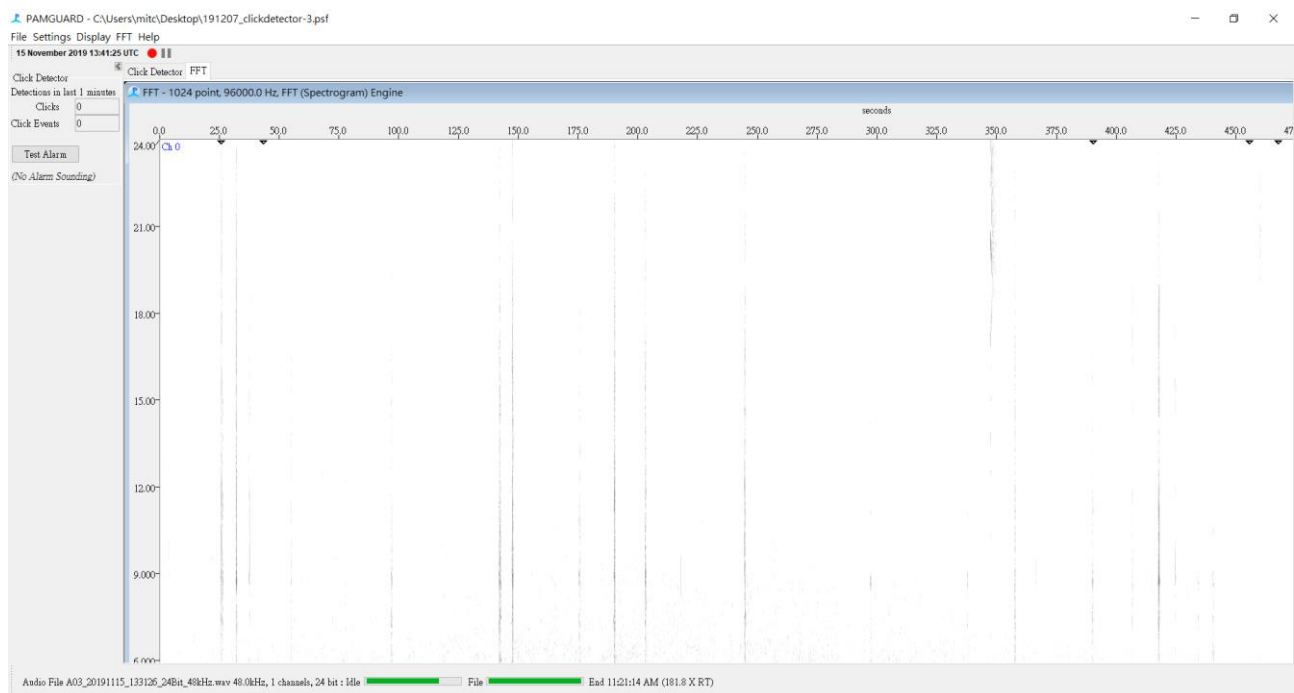


圖 60 被動聲學監測軟體 PAMGuard 的時頻譜圖

第五節 被動聲學監測鯨豚棲地案例

以臺灣白海豚棲地保育為例，其的重要棲息地主要分布於苗栗到嘉義的沿海一帶，從臺灣白海豚調查資料進一步估算監測範圍，臺灣白海豚的主要棲息海域的面積約為 330 平方公里(沿海岸線約 110 公里長)，紀錄上觀測到臺灣白海豚出現的分布面積約有 750 平方公里。如採用海上目視調查方式(效率約每小時 11 平方公里)，欲完成所有分布面積的調查，則每次須費時至少 68 小時，如有目擊到鯨豚並跟隨觀察行為活動，則所需時間會隨著目擊次數延增加而拉長，較難符合長期監測時效目的。

被動聲學監測的主要優勢在可長期監測鯨豚活動的豐度統計，監測資料同步應用於水下噪音分析，同時佈放多套系統可提高鯨豚活動趨勢分析效果。此外，被動聲學監測可彌補目視監測方式在海況不佳或秋冬季無法有效觀測的瓶頸，是目前國際上調查鯨豚活動範圍的重要技術，應納入臺灣白海豚長期監測計畫中。參考本年度海上作業情況與經驗，提出以下規劃，表 14 為現行可採用的被動聲學監測系統之應用重點比較，可作為臺灣白海豚主要棲地監測計畫運用參考。

表 14 不同被動聲學監測系統的應用重點比較

資料來源：知洋科技公司彙整(2019)

系統型號(代號)	H1	A2	L8
水下麥克風數量	1	2	8
數據應用重點	- 鯨豚出現頻度 - 水下噪音量分析	- 鯨豚活動方位與距離 - 鯨豚叫聲強度估算 - 水下噪音量分析	鯨豚水下定位與追蹤
取樣頻率(kHz)	48 kHz	48 kHz	100 kHz
海上布放方式	底碇、錨碇	底碇、錨碇、拖曳	拖曳
每日作業單價基數	1X	1.4X	10X

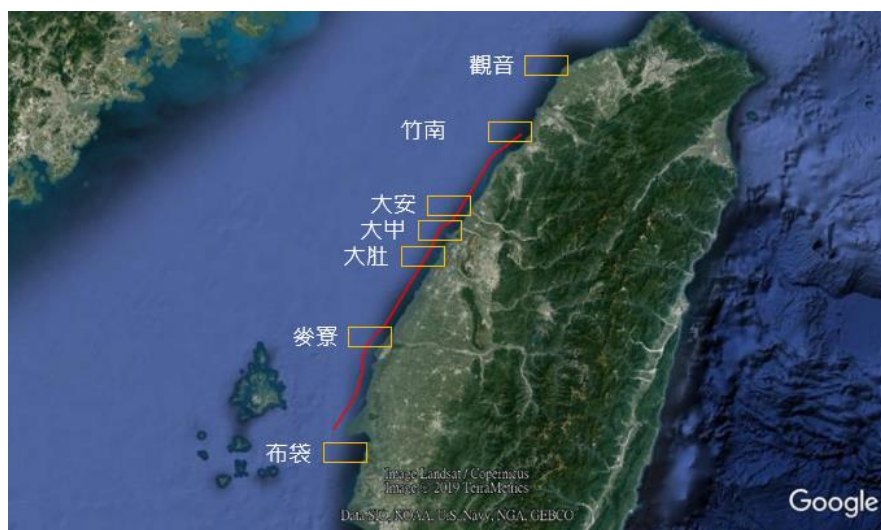


圖 61 白海豚水下聲學監測主要範圍及重點區域

使用被動聲學監測系統將布放於臺灣白海豚的主要棲息地及可能復育地(圖 61)，在 7 個重點區域將規劃如圖 62 的監測方式，至少使用 10 組 H1 型及 3 組 A2 型，可長期監測臺灣白海豚出現的豐度、活動方位、水下噪音，並按季節分次採用 L8 拖曳型進行鯨豚水下定位與追蹤調查(可同時搭配目視調查)。在 7 個主要區域之間則布放適當數量的 H1 型系統，擴大監測鯨豚頻度與水下噪音。

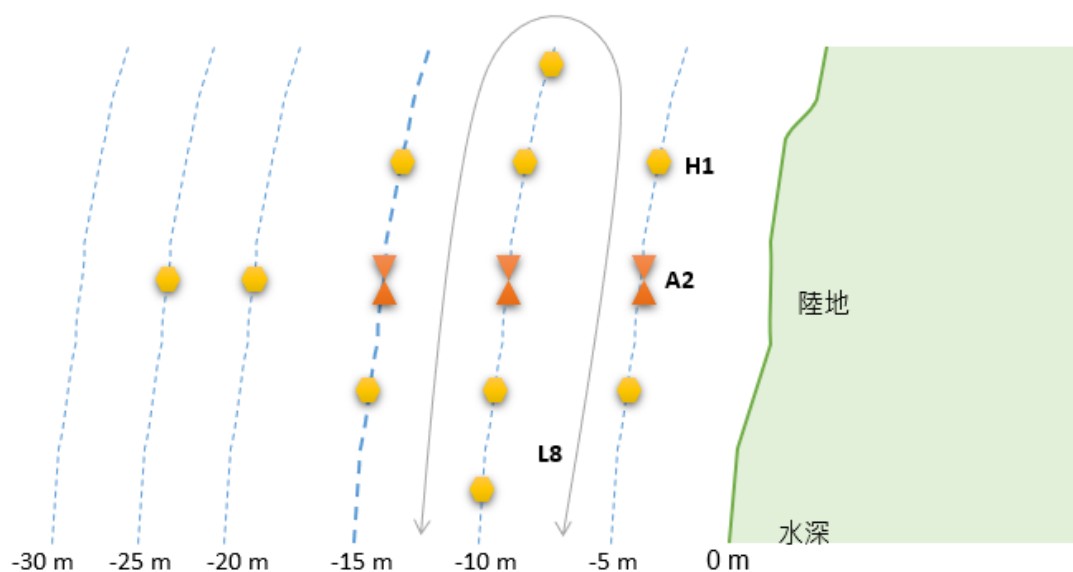


圖 62 臺灣白海豚棲地設置水下聲學監測系統布放方式

表 15 被動聲學監測鯨豚生態調查之參考預算

資料來源：知洋科技公司彙整(2019)

序	項目及內容	數量	單位	單價 (千元)	複價 (千元)
1.	被動聲學監測系統(H1)	120	台	230	27,600
2.	被動聲學監測系統(A2)	40	台	290	11,600
3.	錨碇系統(在海上固定水下聲學紀錄器) • 佈放水深 30 公尺以內	160	組	120	19,200
4.	電池包(D-cell) · 更換週期 15 天	3000	組	12	36,000
5.	海上佈放費用(租船、耗材、人事費、潛水員) • 作業船舶 10 GT 以上或漁船 CT-2 • 作業時數日間 8 小時內 • 技術員 3 人一組，潛水員 3 人一組	180	次	220	39,600
6.	被動聲學監測系統(L8)	2	台	1,500	3,000
7.	海上船拖監測費(租船、耗材、人事費) • 作業船舶 40 GT 以上 • 作業時數日間 8 小時，船速 4-6 節	20	次	350	7,000
8.	一年監測數據分析及相關族群結構研究	1	式	14,000	14,000
9.	管理費(15%)	1	式	23,700	23,700
	合計				181,700

執行前述方案監測臺灣白海豚棲地與生態調查的 1 年所需預算如表 15，預計連續監測 3 年後的生態調查指標可提升到表 16，預估可較完整掌握族群結構，並估算季節性或地理性的密度變化，以及獲得人為影響(如漁業干擾、水下噪音影響)的證據，有助於執行白海豚復育計畫中的風險管控。

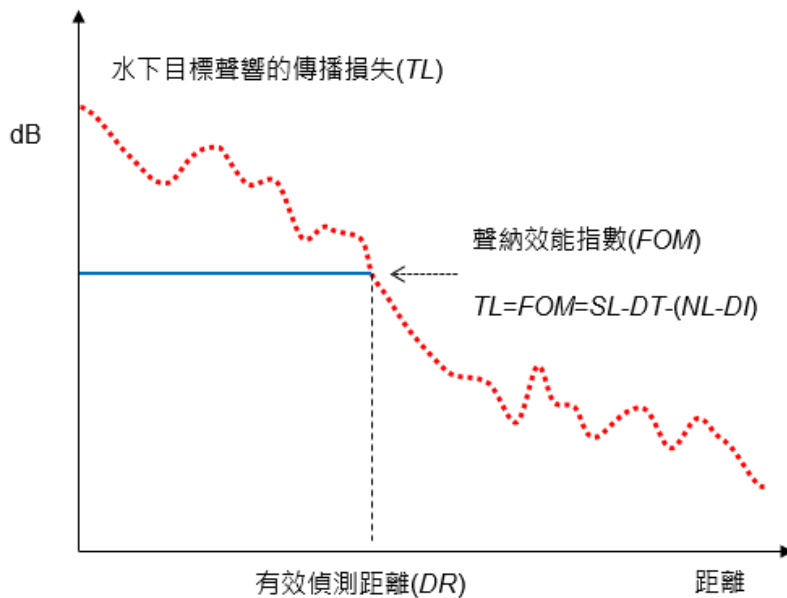
表 16 臺灣白海豚生態調查及監測計畫執行 3 年後的生態調查指標

資料來源：知洋科技公司彙整(2019)

生態調查指標				
族群結構分析	豐度分析	人為影響分析	評估報告數量	評估報告頻率
2 → 3	2 → 4	1 → 4	1 → 3	4 → 4
有至少兩個證據等級(level of evidence)為 2 及 1 的族群結構研究	可估算季節性或地理性的密度變化	精確估計人為影響(CV<30%)或沒有人為致死的證據	不套用預設或替代值，使用較先進的確定性模型評估	最新的評估報告為 1 年內發表

第六節 聲納偵測效能分布研究案例

被動聲納偵測效能是指水下目標聲響經過傳播後的損失，在特定距離剛好等於背景噪音值，此傳播距離稱為有效偵測距離，其偵測機率為百分之五十，如圖 63 所示。在計算傳播損失時，可依照實績狀況，採用理論公式、經驗公式及數值模擬進行研究，其他相關參數之研究方法及資訊獲得方式彙整於表 17 中。



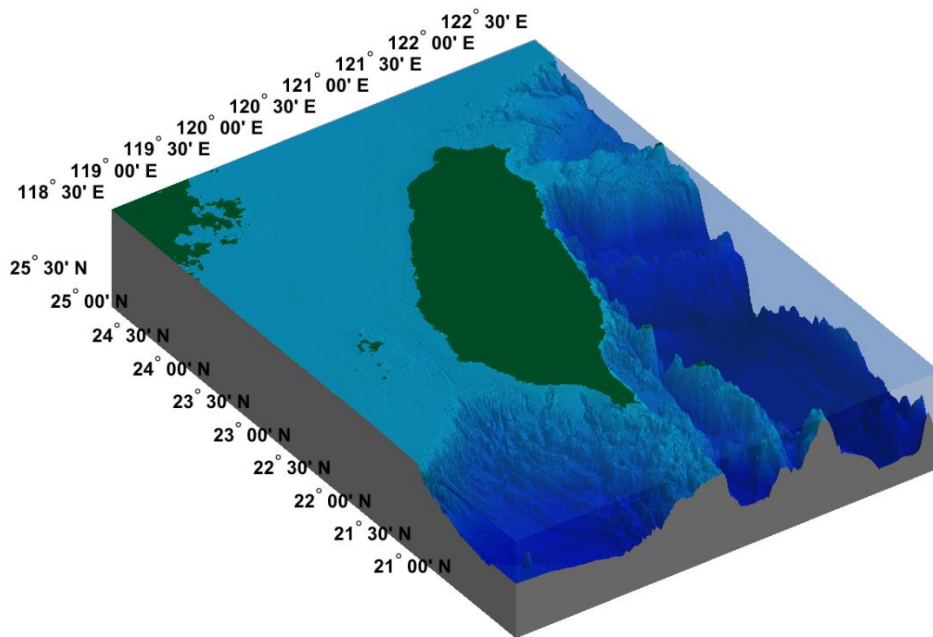
資料來源：知洋科技公司(2019)

圖 63 被動式聲納的效能指數計算方式

在聲納偵測效能分析中，海域的水深地形、海水聲速及海床地質聲學特性 (geoacoustics parameters) 等環境條件，是影響傳播損失的重要因素。在使用數值模擬計算中，採用開放的程式碼 RAM (range-dependent acoustic model) 可推估隨音傳距離改變的環境條件的複雜問題，其中，海床水深地形資料採用科技部海洋資料庫所提供的 200 公尺水平解析度之地形數據，如圖 64，在今年研究的台中港附近水域，經緯度範圍約北緯 23.5 至 24.5 度，東經 119.5 至 120.5 度，水深約在 50 公尺以內。

表 17 被動聲納偵測效能計算方式

聲納參數	研究方法	資訊獲得方式
TL 傳播損失 Transmission Loss	● 理論公式 ● 經驗公式 ● 數值模擬	● 調查數據推估 ● 研究報告分析 ● 電腦程式計算
SL 聲源位準 Source Level	● 經驗推估 ● 數值模擬	● 調查數據推估 ● 研究報告分析 ● 電腦程式計算
NL 噪音位準值 Noise Level	● 經驗公式 ● 數值模擬	● 調查數據分析 ● 電腦程式計算 ● 海洋環境分析
DT 聽力閾值 Detection Threshold	● 理論公式 ● 經驗推估	● 研究報告分析 ● 設備預設值 0
DI 聲納指向性 Directivity Index	● 理論公式 ● 實際測量	● 設備規格 ● 試驗報告

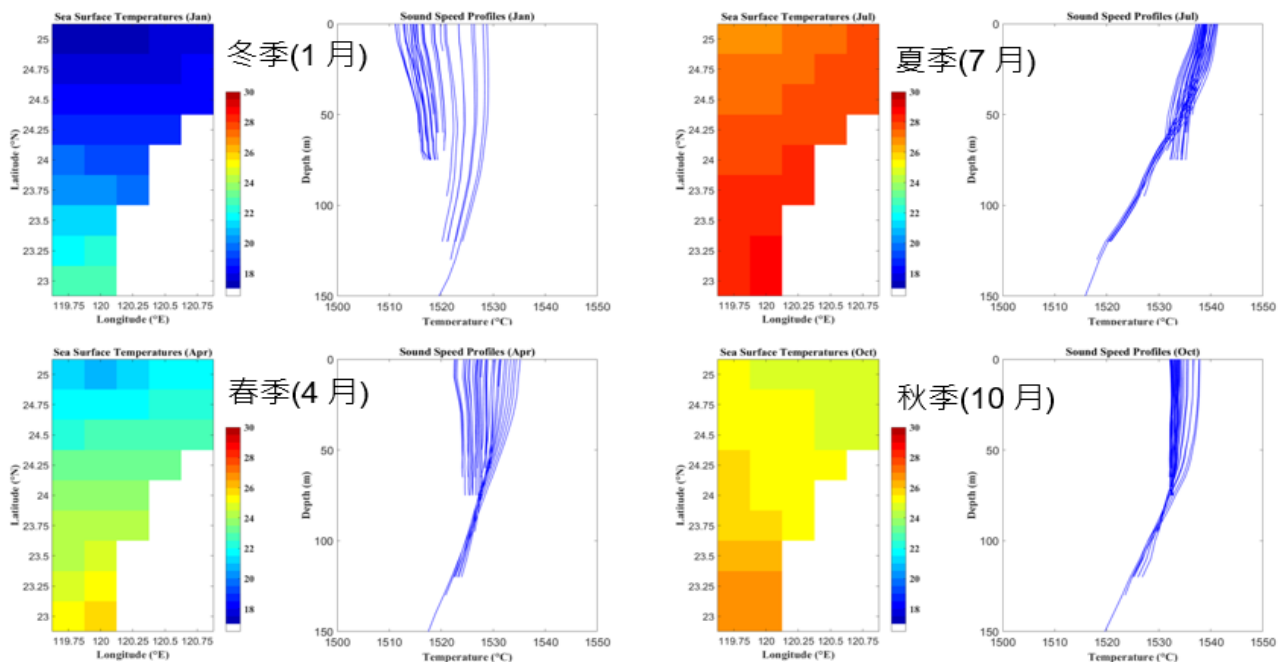


資料來源：科技部海洋資料庫，知洋科技公司製圖(2019)

圖 64 臺灣週邊海域水深地形圖

1. 海洋水文變化影響

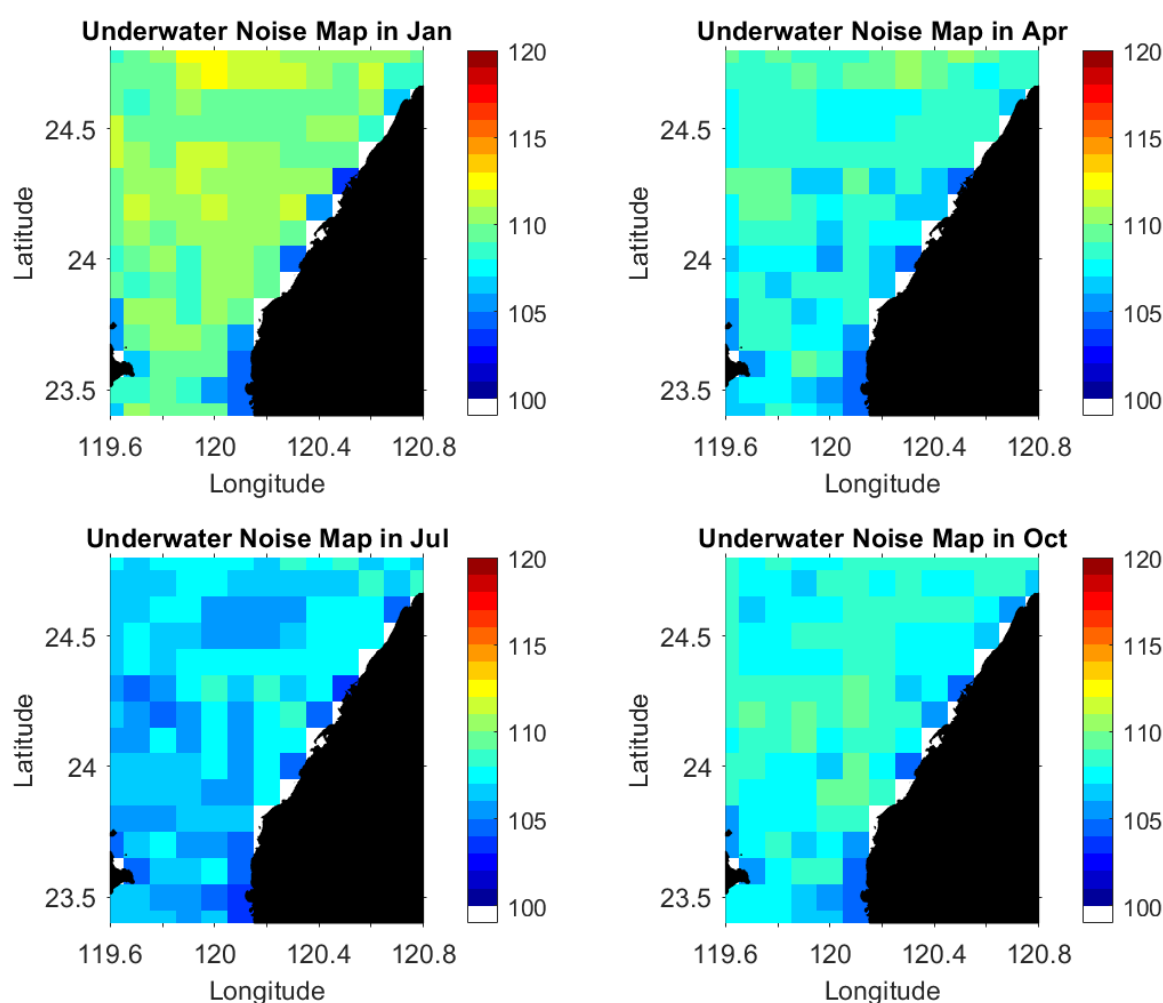
海洋水文變化是影響海水聲速及音傳損失的因素之一，由於各種實測資料的代表性較難以定量的方式來描述空間分布的準確性，因此，利用公開資料 GDEM V3 (Generalized Digital Environmental Model) 所提供的均月海水聲速資料，水平方向每 0.25x0.25 度網格有一筆海水聲速剖面值，如圖 65，顯示台中港附近水域在四季(以 1 月、4 月、7 月、10 月表示)的海表面水溫(圖中的色塊)及海水聲速剖面(曲線)，從趨勢尚可看到，天氣溫暖的夏秋季之海水聲速在空間中的變化較小，這表示聲納效能預估在空間中的不確定性降低。



資料來源：GDEM V3，知洋科技繪圖(2019)

圖 65 台中港附近海水聲速剖面數值資料

利用這樣的水文季節性變化，可用來探討水下噪音地圖及進一步分析聲納效能預估(圖 63 中的計算式)，圖 66 為四季的水下噪音地圖模擬結果，採用 RAM 計算音傳損失，假設海面尚有均勻分布的點聲源，頻率為 500 Hz，聲源位準為 140 dB，水平網格均勻 0.02 度；接收深度為水面下 10 公尺，水平網格為 0.1 度，以所有接收到的聲壓疊加結果表示噪音地圖資料。從水下噪音地圖的分布特性可看出冬季的海水聲速會加強水下噪音，約略提高了 3-5 dB，這也就是水下噪音的季節性變動情況。



資料來源：知洋科技公司(2019)

圖 66 台中港附近水下噪音地圖

2. 船舶分布密度影響

船舶分布密度是影響聲納偵測效能的水下背景噪音變動因素之一，主要可利用雷達、航道劃設航線、船舶自動辨識系統(AIS)、漁船監控系統(vessel monitoring system,VMS)、船航程紀錄器(voyage date recorder,VDR)等資料，估算船舶在時空分布的密度資訊。為各種資料種類用於分析船舶密度之可利用性分析，依照資料原始用途分別列出權責政府單位及船舶種類，並以資料取得管道來分析可利用性之差異。例如海委會海巡署、交通部航港局、海軍等政府單位在港口及要塞設有雷達站，可監視距離數十公里至數百公里之各種船舶，如船舶裝設有雷達答詢機，在雷達上可顯示辨識碼；由於雷達資訊多用於航權管理及安全監視，欲取得再作其他用途之實際案例不多。

表 18 船舶密度資料可利用性分析

資料來源：知洋科技公司彙整(2019)

資料種類	船舶種類	資料可利用性	資料原始用途	權責政府單位
雷達	不限	中	航權管理、安全監視	海委會海巡署、交通部航港局、海軍
航線	商船及交通船	低	航權管理	交通部航港局、海軍
AIS	商船	高	國際公約、安全管理、國際保險	交通部航港局
VMS	漁船	中	漁業用油優惠計算	農委會漁業署
VDR	不限	低	需由每艘船提供	無

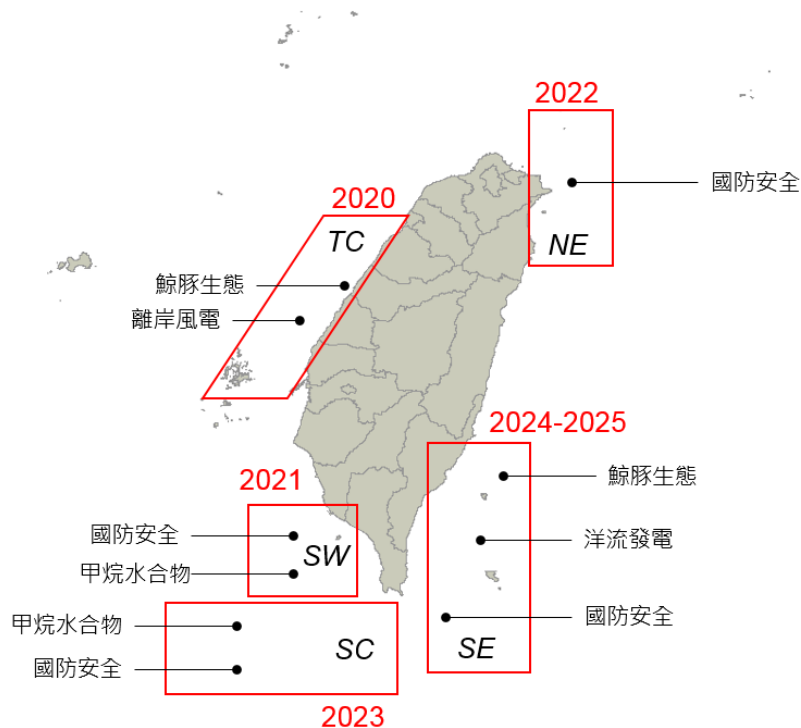
在資料利用上，有較高可能取得的船舶資訊應屬 AIS 數據，主要原因是商船 AIS 透過無線電射頻發送資訊，除了交通部航港局設有資料庫外，一般只要架設接收器亦可取得附近船舶資訊，國際上更有商業公司提供付費數據，如圖 11，提供台灣週邊海域 1 整年歷史資料的價格約 50-70 萬元，其中包含了岸際 AIS 及衛星 AIS 資料。

第五章 中長程規劃

臺灣位處於西太平洋上的歐亞大陸外緣大陸棚上，週邊海域富含多樣的海洋能源、漁業資源、海水資源及海底礦產，在海域空間保護利用上，必須加強環境監測能力，達到永續發展目標。此外，臺灣地理位置鉗住東西方海洋強權對抗咽喉，不論是國土安全、防禦搜索、航海安全及物資進口供應等，應採用積極監測作為，確保民生物資及島國防禦皆處於安全狀態。

第一節 發展重點及藍圖

從水下監測作業化目標中，可依據臺灣週邊海域的海洋環境、能源開發、資源開採、國防安全等需求，提出 6 年中程綱要計畫的水下監測網發展重點，分布地理位置如所示。



圖片來源：知洋科技公司繪製(2019)

圖 67 臺灣週邊海域水下監測中長程規劃

表 19 水下監測網作業化發展需求

水下監測需求規劃項目	代號	鯨豚生態 與環境	海域國防 安全	海洋能(資)源 開發
海洋環境噪音 (ocean ambient noise)	OAN	●		●
水下噪音值變化 (noise level variation)	NLA	●	●	●
水下噪音污染問題 (underwater noise pollution)	UNP	●		●
鯨豚生態調查 (cetacean ecological investigation)	CEI	●		●
反潛作戰 (anti-submarine warfare)	ASW		●	
港口安全 (harbor safety and security)	HSS		●	
海上搜救 (maritime search and rescue)	MSR		●	●
海洋防災 (ocean disaster prevention)	ODP	●		●

進一步盤點水下監測網作業化發展需求，由說明「鯨豚生態與環境」、「海域國防安全」及「海洋能(資)源開發」等三大重點，分別對應到的水下監測需求規劃項目，並規劃以下中長程計畫藍圖。

1. 臺灣西部海域(TC-2020)

在 2020 年起，因應離岸風電開發計畫，臺灣西部海域(TC)應開始在大範圍監測水下噪音(UNP)及鯨豚生態調查(CEI)，水下監測網範圍涵蓋在主要的離岸風場場址，北端至新竹市，南邊到嘉義縣最南界(外傘頂洲南緣)，如中標示 TC 的區塊。在長期作業化監測上，主要任務包含水下噪音監測(UNP)、鯨豚生態調查(CEI)、災防監測(MSR, ODP)，進一步說明如下。

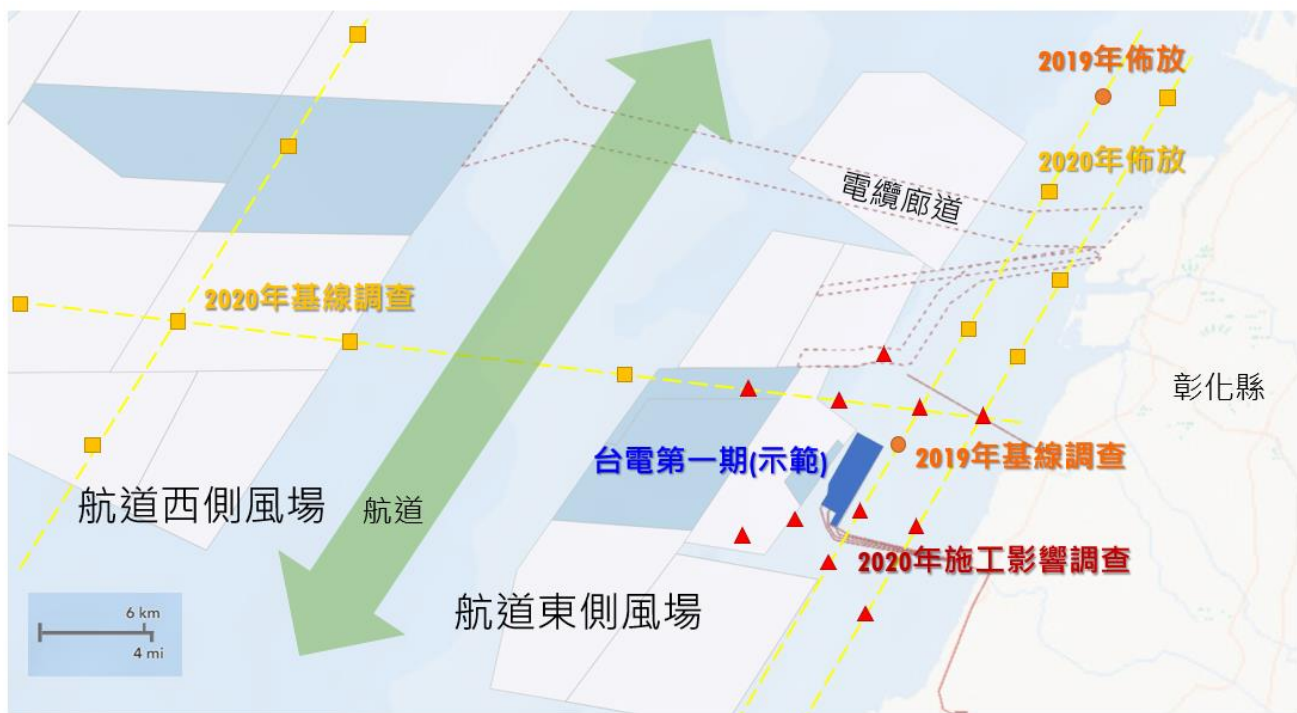
- (1) 臺灣西部海域水下噪音污染(UNP)監測：至少連續監測 5 年以上，重點目標為船舶(航道)、離岸風電開發、法定海洋保護區(含國家公園、預告棲息地)，水下噪音頻率範圍至少在 10-40k Hz 之間，水下聲壓範圍在 20-110 dB re. 1uPa。參考歐盟規範(MSFD)應至少公開水下噪音頻率在 63 Hz 及 125 Hz 的長期變化趨勢，並進一步提出管制措施。
- (2) 臺灣西部海域鯨豚生態調查(CEI)：從目視調查及擱淺紀錄彙整相關資訊，已發現到的鯨豚種類有白海豚(*Sousa chinensis*)、小抹香鯨(*Kogia breviceps*)、侏儒抹香鯨(*Kogia sima*)、江豚(*Neophocaena phocaenoides*)、小虎鯨(*Feresa attenuata*)、瓶鼻海豚(*Tursiops truncatus*)、印太平洋瓶鼻海豚(*Tursiops aduncus*)等。本項任務應使用被動聲學監測(PAM)技術，偵測各種鯨豚發音(哨叫聲及喀嚟聲)，長期目標是建立臺灣西海域鯨豚分布的基線調查資料，並與海洋環境資料包含水下噪音值(UNP)、海表水溫、鹽度、濁度、酸鹼度(pH)、潮汐等主要因子比對時空分布。在數據分析上，可配合鯨豚目視調查，經過辨識和比對後，逐步建立各種鯨豚叫聲資料庫，提高更大監測範圍的自動化偵測效果。
- (3) 鯨豚行為改變水下噪音閾值：鯨豚行為改變是當鯨豚受到水下噪音影響，甚至是產生聽力閾值改變前，最具有科學意義的調查方法。為加強保護鯨豚，減少受到打樁水下噪音的傷害，必須利用離岸風場打樁期間(至少到 2025 年)，在風場附近水域調查鯨豚分布密度的變化趨勢，並進一步分析水下噪音值(UNP)及鯨豚生態改變(CEI)之差異，推估出鯨豚行為改變的水下噪音閾值。後續的施政目標應以本項任務執行成果，也就是所獲得的水下噪音閾值，進一步規定海上打樁時的減輕措施警戒範圍(離打樁位置的半徑距離)及水下噪音量管制量。

根據離岸風場開發計畫的公開資訊，2020 年在彰化外海興建施工的離岸風場有台電公司的第一期(示範獎勵計畫)，因此，進一步說明 2020 年在台中彰化外海的水下監測網規劃，如所示。

- (1) 航道東側離岸風場施工影響監測網設置：以台電第一期風場 2020 年施工為監測目標，採用十字形水下監測網絡，設置南北向的 PAM 測線約與台中及彰化的海岸線平行，水深在 10-20 公尺之間，主要目的是監測白海豚及其他鯨豚在打樁期間的南北向躲避情況。在台電第一期風場北緣(台電王功海氣象觀測塔以北)，設置東

西向 PAM 測線，調查鯨豚在隨水深變化的密度分布，同時調查更多白海豚以外的鯨豚族群數量。此外，在其他方位的監測缺口，應增加監測站或使用拖曳型系統。水下監測數量及位置應由聲納偵測效能預估來推算及規劃。

- (2) 航道西側離岸風場基線監測網設置：以水深 20-50 公尺的風場為監測目標，此水域的鯨豚調查資料相當貧乏，由於後續開發風場的面積都比示範計畫大，必須先掌握鯨豚基線調查資料及分布密度概估，才能規劃出有效的監測範圍。在航道西側風場的深水風場比照航道東側風場，設置十字形水下監測網絡，東西向測線從航道東側延伸，南北向測線則是設置在風場分佈中心位置，水下監測數量及位置應由聲納偵測效能預估來推算及規劃。
- (3) 作業化監控中心規劃及初期建置：可設置在政府機關內部或設置在執行單位，並建立原始數據、分析資料、通報流程、專業訓練等控管規範，建議執行單位有品質管理系統認證(如 ISO 9001)及實驗室品質管理系統認證(如 ISO 17025)。



圖片來源：底圖擷取於 4COffshore 網站，知洋科技公司整理繪製(2019)

圖 68 台中彰化外海的水下監測網規劃

2. 臺灣西南海域(SW-2021)

水下監測網在 2021 年延伸到臺灣西南(SW)海域，主要範圍北從高雄左營港，南至屏東恆春，如中標示 SW 的區塊。主要監測任務有國防安全(NLA, ASW, HSS)、甲烷水合物開採前的鯨豚生態調查(OAN, CEI)及災防監測(MSR, ODP)。

3. 臺灣東北海域(NE-2022)

延續國防安全監測任務，在 2022 年增加東北(NE)海域，北從北方三島(棉花嶼、花瓶嶼、彭佳嶼)，南至宜蘭蘇澳港，如中標示 NE 的區塊。主要監測任務為國防安全(NLA, ASW, HSS)，並增加災防監測(MSR, ODP)項目。

4. 臺灣西南海域(SC-2023)

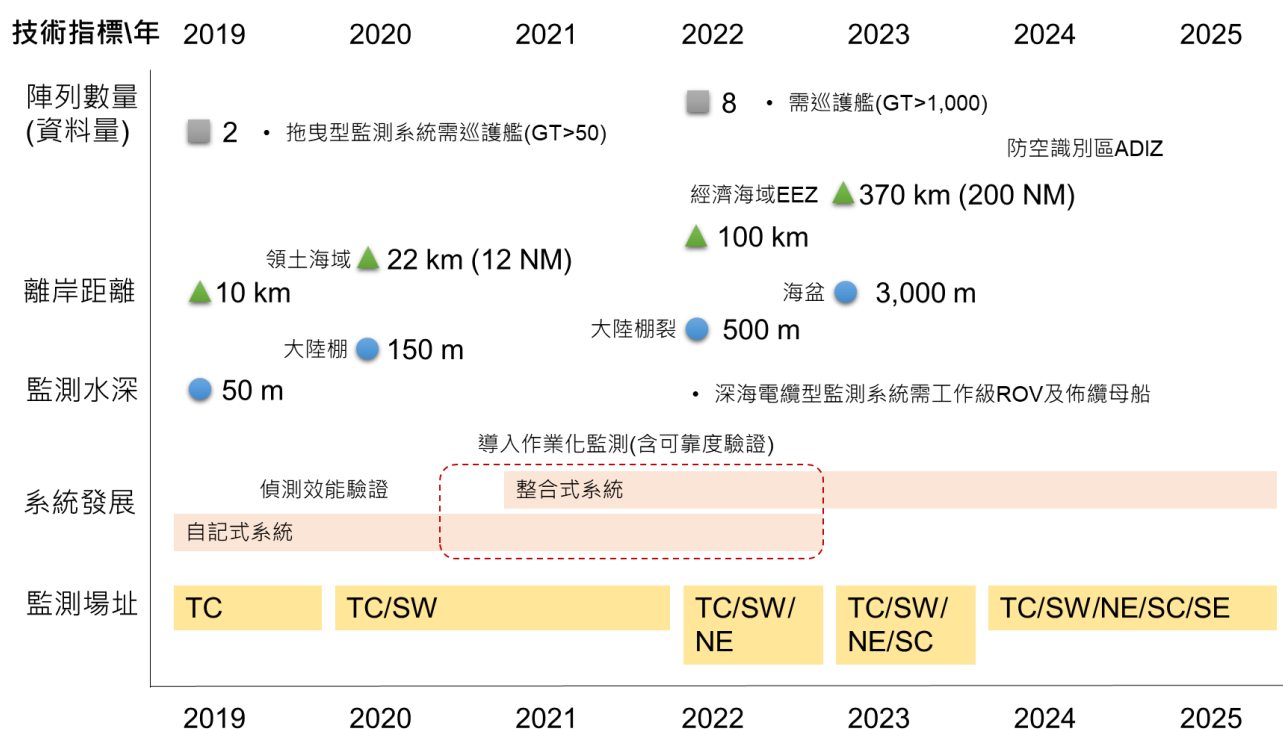
在 2023 年的水下監測網涵蓋到離岸較遠的南海(SC)，北自屏東恆春，南到北緯 20 度 30 秒，往西到東沙島水域，如中標示 SC 的區塊。主要監測任務延伸西南海域至深海的國防安全(NLA, ASW, HSS)及甲烷水合物開採前的鯨豚生態調查(OAN, CEI)，屬於擴大預防監測效果及領海主權宣示策略。

5. 臺灣東南海域(SE-2024/2025)

在 2024-2025 年將增加臺灣東南(SE)海域，北起花蓮縣最南界，覆蓋到綠島及蘭嶼，向南延伸直到北緯 21 度 0 分(約與菲律賓群島交界)的海域，如中標示 SE 的區塊。主要監測任務包含迴游鯨豚生態調查(OAN, CEI)、海洋流發電場址基線調查(UNP, CEI)、國防安全(NLA, ASW, HSS)及災防監測(MSR, ODP)等。

第二節 技術指標

根據水下監測場址的需求規劃，進一步說明中長程計畫的每年關鍵技術指標，包含系統發展、監測水深、離岸距離、陣列數量等，如所示。在系統發展上，以水域背景調查為主軸，可先採用自記式系統為主，逐步發展至整合式系統，同步監測海洋水文環境()。在 2020 年後期，應逐步導入作業化監測，其中在可靠度驗證上，應由第三方驗證為目標，建議包含 ISO 9001 及 ISO 17025，軟體功能性驗證建議採用 ISO 25000 系統或 IEC 61508 標準。



圖片來源：知洋科技公司繪製(2019)

圖 69 中長程計畫的關鍵技術指標

在監測水深及離岸距離中，分別以離岸 12 海浬的領土海域範圍、200 海浬專屬經濟海域(exclusive economic zone, EEZ)，防空識別區(air defense identification zone, ADIZ) 為重要指標，最大水深則以水下監測設備國際市場上的 3,000 公尺為主。在水下監測系統發展上，以 1 組水下麥克風或 2 組水下麥克風陣列為主，可設置在定點或由 50 總噸以上的巡護艦拖曳偵測。進入到深海的 500 公尺後，因應偵測距離及加強聲納效能，則擴展至 8 組水下麥克風陣列，拖曳時需搭配 1,000 總噸以上的巡護艦。

第三節 作業標準化

各項水下監測作業應訂出作業上的標準化流程，至少包含標準作業程序、作業系統化、品質管理要求及風險管理說明等。

1. 標準作業程序

在制訂標準作業程序前，應先確立作業可量化目標，例如達到可作業天數、可測量範圍等，以本計畫為例，在執行鯨豚生態調查前，會先完成作業計畫書，其重點說明如下：

(1) 摘要：說明作業目標及重點，內容如「本監測作業計畫書係依照國家海洋研究院「台灣周邊海域水下噪音與被動聲學監測往先期規畫委託專業服務案」，規劃鯨豚族群生態調查。以長期鯨豚族群生態監測為目標，規劃於大肚溪口以及台電第一期示範風場區，進行鯨豚目視調查。」

(2) 測量作業：說明海上作業流程及調查設備，以海上鯨豚目視調查作業流程為例：

- [1] 船舶駛離碼頭前，領隊指派作業人員於目視監測以及目擊事件期間的工作分配。
- [2] 出港時記錄人員(1 位)填寫出港時間、位置以及天候狀態。
- [3] 到達測線前，目視人員(至少 2 位)就位並以肉眼掃視海平面是否有鯨豚出現，記錄人員開啟測量設備電源。此階段不算努力量，無須填寫紀錄表。人員每 30 分鐘輪班作業。
- [4] 到達測線起始點，調查作業開始。目視人員(至少 2 位)持續以肉眼掃視海平面是否有鯨豚出現，記錄人員(1 位)每 10 分鐘進行水質採樣並填寫努力量表，紀錄樣點的時間、經緯度、天候與水質環境，其餘人員待命。人員每 30 分鐘輪班作業。
- [5] 觀測期間，發現疑似鯨豚的物體時，先使用雙筒望遠鏡觀測目標物，兩位目視人員確認觀測目標是否為鯨豚，若是則立刻通知船長與作業人員目擊事件開始。

- [6] 目擊事件開始，船舶駛離測線並追蹤鯨豚游向。船隻靠近鯨豚時需保持距離，盡量與動物游向平行，船隻應在動物正側方或是前側方，切勿切到動物正前方。作業人員須注意船隻靠近時鯨豚是否有緊迫行為，適當調整距離，避免對鯨豚造成干擾。
- [7] 目擊事件期間，記錄人員(1 位)應於接近點、離開點進行水質採樣，填寫目擊事件相關資訊，每 5 分鐘紀錄鯨豚行為；觀測人員(1 位)協助觀察鯨豚行為與游向，於鯨豚冒出水面時大聲報出鯨豚所在方位；拍照人員(1 位)使用單眼相機拍攝鯨豚。有多餘人力時應優先分配拍照錄影的工作，其次為觀測人員。
- [8] 目擊事件期間，發現動物有明顯緊迫行為(如頻繁換氣)，或是目擊對象包含母子對，則應視狀況停止追蹤。追蹤鯨豚時間到達 30 分鐘時，拍照人員確認以留下所有目擊對象的清楚照片，且鯨豚行為穩定無變化，則可結束該次目擊事件。動物行為持續變化，則應繼續觀察，但應視狀況終止目擊事件，避免過度延長調查時間。
- [9] 目擊事件結束，船隻駛回離開測線的航點，所有人員回復目視監測作業位置，持續觀察並紀錄。
- [10] 到達測線終點，記錄人員填寫時間、經緯度、天候與水質環境。若測線的最後樣點與終點的紀錄時間間隔為 3 分鐘以內，則最後樣點可視為測線終點。
- [11] 船隻前往下一條測線，航行期間不算努力量，無須填寫紀錄表，但目視人員(至少 2 位)應持續觀測，人員每 30 分鐘輪班作業。
- [12] 重複步驟 4 到步驟 10。
- [13] 結束所有測線，完成調查。返航期間不算努力量，無須填寫紀錄表，但目視人員(至少 2 位)應持續觀測，人員每 30 分鐘輪班作業。
- [14] 進入港口前記錄人員(1 位) 填寫入港時間、位置以及天候狀態。
- (3) 附件圖說：包含流程圖、測線圖、位置圖、儀器圖、紀錄圖表、安全規定說明等。

2. 作業系統化

作業系統化所指的是多利用可靠的儀器設備直接測量數據，減少人為操作造成測量品質上的不確定性。

(1) 水文測量作業

以本研究所要求的鯨豚生態調查為例，測量水文項目包含溫度、鹽度、pH、水深及濁度等，參考國內其他相關研究的調查方法 (周, 林, & 孫, 2017)，是以水桶採水至船上甲板，再使用各種儀器測量相關數據，本計畫在初期亦採用此方式，如。這樣的操作方式需要多道程序，且採水到測量之過程容易產生誤差，例如水溫、酸鹼值及鹽度之改變等。實際上在目前相關研究中，並無明確指出這些水文環境測量項目的品質要求，包含測量深度、誤差容許值、測量間隔等，關鍵在缺乏自訂標準化的要求。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 70 以採水方式測量水文數據之方式

本研究計畫為了達到作業化目標，特別投資採購 2 組鹽溫深度計(CTD)，合計金額超過 100 萬元；其中 1 組還附掛了酸鹼值及濁度，如圖 71，主要功能規格列於表 20。在標準作業程序中，操作人員只須在定點處將儀器投放到海面下，儀器會自動完整紀錄所有項目的資料，並產生數據報表，如圖 72 所示，其中必須要強調的重點在海水水文(水團)特性常隨深度改變，因此，取得採樣海水溫度、密度、酸鹼值及濁度之實際深度，對於標準作業化而言，應屬十分關鍵的要項。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 71 作業化所採用的水文測量儀器

表 20 水文測量儀器重要規格

	Idronaut OCEAN SEVEN 304Plus	Idronaut OCEAN SEVEN 310
溫度	範圍：-5 ~ +35 °C 解析度：0.0001 °C 精準度：0.002 °C	範圍：-5 ~ +50 °C 解析度：0.0001 °C 精準度：0.0015 °C
壓力	範圍：0 ~ 1000 dbar 解析度：0.0015% full scale 精準度：0.05% full scale	範圍：0 ~ 7000 解析度：0.0015% full scale 精準度：0.05% full scale
鹽度	範圍：0 ~ 90 mS/cm 解析度：0.001 mS/cm 精準度：0.003 mS/cm	範圍：0 ~ 90 mS/cm 解析度：0.0001 mS/cm 精準度：0.0015 mS/cm
酸鹼值		範圍：0 ~ 14 pH 解析度：0.1 mpH 精準度：0.01 pH
濁度		範圍：0 ~ 2500 FTU 解析度：0.025 FTU 精準度：0.1 FTU

OCEAN SEVEN 3xx Iterm - Probe Serial Number: 310-0519058

File

Edit

Port

Probe

Aspect

Transfer

Help

DSR

TX

RX

CTS

DCD

1.30

27.512

43.122

26.280

6.858

8.04

10:09:53.34

03/10/2019

1.32

27.446

43.996

26.911

7.012

1.97

10:09:54.34

03/10/2019

1.34

27.389

44.754

27.461

7.148

3.36

10:09:55.34

03/10/2019

1.31

27.349

45.372

27.908

7.267

-0.35

10:09:56.34

03/10/2019

1.23

27.331

45.891

28.275

7.372

-1.28

10:09:57.34

03/10/2019

1.13

27.341

42.305

25.820

7.464

5.04

10:09:58.34

03/10/2019

1.02

27.356

37.565

22.623

7.515

6.14

10:09:59.34

03/10/2019

0.92

27.361

32.977

19.589

7.539

3.43

10:10:00.34

03/10/2019

0.83

27.358

28.871

16.924

7.557

-2.34

10:10:01.34

03/10/2019

0.75

27.348

25.262

14.622

7.639

4.11

10:10:02.34

03/10/2019

0.68

27.334

22.101

12.638

7.710

-0.07

10:10:03.34

03/10/2019

0.62

27.318

19.336

10.929

7.771

11.88

10:10:04.34

03/10/2019

0.57

27.301

16.917

9.455

7.904

12.31

10:10:05.34

03/10/2019

0.52

27.285

14.801

8.182

8.040

0.00

10:10:06.34

03/10/2019

Type

<Space>

To continue, <ESC>

To exit - <48:6795 - page 2 - 000Z>

Press

Temp

Cond

Sal

pHTur(FTU)

Time & Date

0.48

27.272

12.950

7.083

8.098

8.55

10:10:07.37

03/10/2019

0.45

27.258

11.330

6.134

8.136

10.66

10:10:08.34

03/10/2019

0.42

27.237

9.913

5.315

8.168

11.88

10:10:09.34

03/10/2019

0.40

27.219

8.674

4.606

8.197

10.57

10:10:10.34

03/10/2019

0.38

27.201

7.589

3.993

8.228

11.76

10:10:11.34

03/10/2019

0.36

27.186

6.640

3.462

8.259

11.17

10:10:12.34

03/10/2019

0.34

27.174

5.810

3.003

8.292

11.39

10:10:13.34

03/10/2019

0.33

27.170

5.084

2.605

8.326

11.14

10:10:14.34

03/10/2019

0.32

27.169

4.449

2.260

8.359

15.04

10:10:15.64

03/10/2019

0.31

27.175

3.893

1.961

8.364

14.90

10:10:16.35

03/10/2019

0.30

27.183

3.406

1.702

8.361

15.65

10:10:17.35

03/10/2019

0.29

27.195

2.981

1.478

8.381

12.56

10:10:18.35

03/10/2019

0.28

27.209

2.608

1.283

8.402

15.28

10:10:19.35

03/10/2019

0.27

27.222

2.282

1.115

8.424

15.22

10:10:20.35

03/10/2019

0.27

27.232

1.997

0.969

8.444

15.36

10:10:21.35

03/10/2019

0.26

27.243

1.748

0.842

8.461

15.59

10:10:22.35

03/10/2019

0.26

27.252

1.529

0.732

8.476

15.59

10:10:23.35

03/10/2019

0.25

27.257

1.338

0.637

8.492

15.44

10:10:24.35

03/10/2019

0.25

27.257

1.171

0.555

8.511

14.98

10:10:25.35

03/10/2019

0.25

27.257

1.025

0.483

8.511

15.69

10:10:26.35

03/10/2019

0.24

27.322

0.897

0.420

8.514

15.62

10:10:27.35

03/10/2019

0.24

27.398

0.785

0.366

8.518

15.77

10:10:28.35

03/10/2019

0.24

27.458

0.687

0.319

8.521

15.10

10:10:29.35

03/10/2019

0.24

27.501

0.602

0.278

8.529

15.27

10:10:30.35

03/10/2019

Type

<Space>

To continue, <ESC>

To exit - <72:6795 - page 3 - 001Z>

COM3 8 None 1 38400

Port Open

OS 310 - FW version 1.312 - Product code 000.000.2016 - Hw revision 1.0

圖片來源：知洋科技公司(2019)

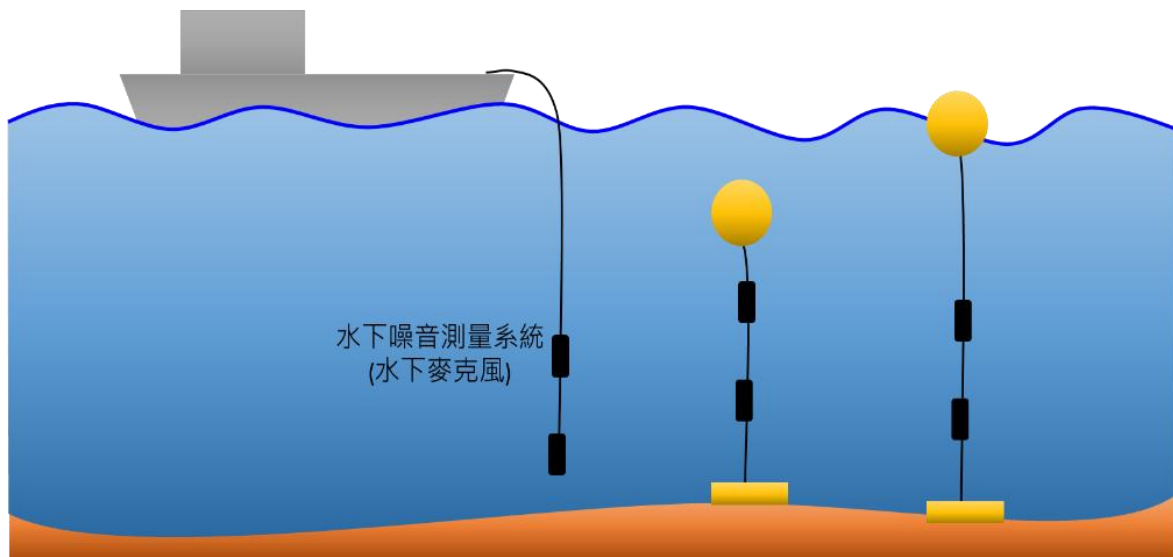
圖 72 水文測量儀器的資料報表

(2) 水下噪音測量作業

近年因水下噪音測量需求大增，各國提出許多相關作業規範與指引，以設置水下噪音測量系統或水下麥克風位置為例，ISO 18406 規定測量系統(水下麥克風)位置必須垂直上下擺放，且應避開水面下及海床上 2 公尺處，以避免介面反射造成測量誤差，如圖 73，本計畫的錨碇式系統一律採用此方式。

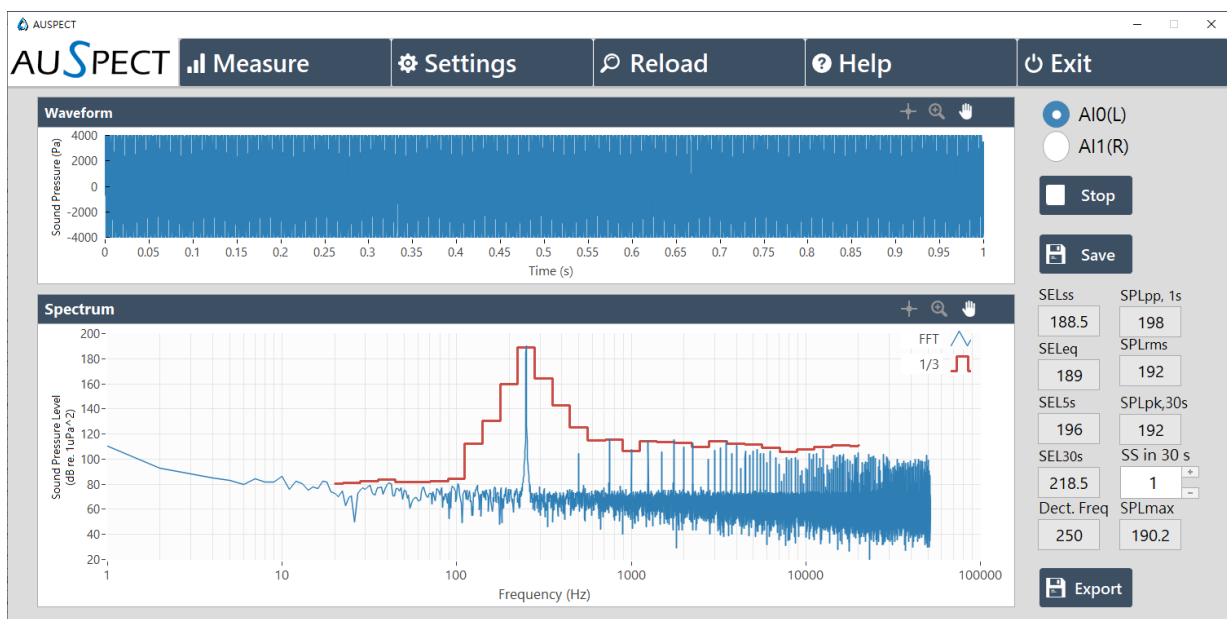
(3) 水下聲壓計算作業

在計算水下聲壓值中，按照 ISO 18405、ISO 18406、NIEA P210.21B 等規範完成，可採用知洋科技公司提供的 AUSPECT 軟體(圖 74)或是以 MATLAB 編譯的數值分析程式碼，可直接取得各種規範所訂的水下聲壓值(SPL)、水下聲曝值(SEL)等指標數據。此外，水下噪音在頻譜分析中，一律採用已驗證過的工具程式碼，例如針對鯨豚聽力閾值分析所需的三分之一八音度頻譜(1/3 octave band)，皆採用符合 IEC 61260-1 標準的軟體工具。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 73 水下聲學監測系統佈設方式



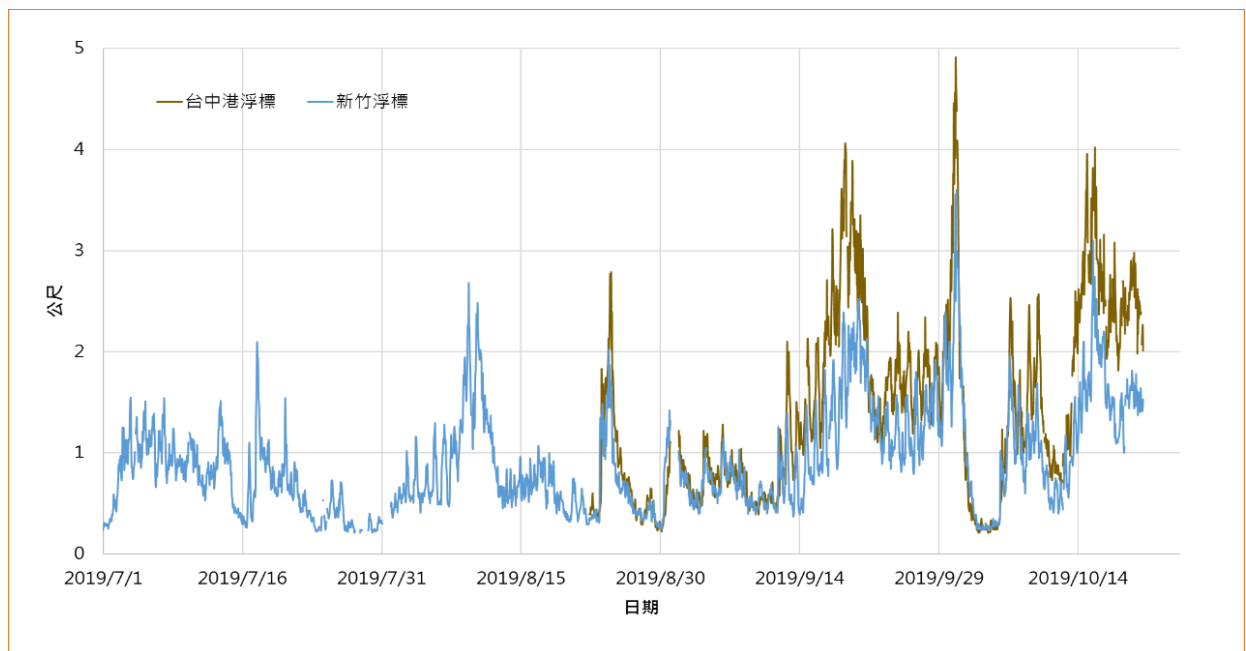
圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 74 水下噪音分析軟體 AUSPECT

3. 風險管理說明

對各種水下監測作業應有風險管理，提出對風險定義、監視、評估和因應策略，以本計畫遭遇問題為例：

- (1) 海洋儀器採購幾乎倚賴進口，採用標準化作業後必須採購品質較高的測量儀器，其採購程序、花費時間、成本預算、維護與校正等，皆須一一考量。因臺灣採購海洋儀器市場不大(需求數量少)，對執行單位而言，國外供應商是否如期如質交貨是一大難題，今年採購 CTD 及水下麥克風皆比預期來得晚交貨，致使研究計畫執行上有困擾。常見的作法是拉長作業期程，如 3-6 個月，但以單一年度計畫的執行上，從決標到採購完成，大概已經是到第二季尾聲，可執行的日程非常有限。
- (2) 海上調查作業完全倚賴好的海氣象狀況才能出動(俗話說看天吃飯)，以本年度為例，原計畫是租用觀光漁船 CT-2 等級(總噸 10-20)的海況限制是浪高 1 公尺以下，布放水下儀器的安全考量上，對海況限制嚴格，還需考慮風速低於每秒 5 公尺。但今年從 8 月至 10 月可作業天數非常有限，如，因此，在布放水下聲學系統時，執行單位必須增加成本租用大型工作船(總噸 499)，才能在海況較差時出動，這樣的費用增加 10 倍以上，是在計畫預算之外。



圖片來源：中央氣象局，知洋科技公司彙整(2019)

圖 75 台中港附近海氣象站資料

第四節 經濟效益評估

本案投入及產出的預期經濟效益說明如下。

1. 成本效益構面

本案可產出水下噪音及被動式聲學監測系統的軟硬體、海上測試及調查數據、水下噪音地圖演算模式結果等，需倚賴一組具有跨領域合作的團隊，同時具有完整的設計製造供應鏈，才能順利達成目標。從成本效益來看，本案可提供的不只有一份學術研究報告，而是具有高度價值的國產水下監測網之系統雛形，可成為中長程綱要發展計畫的具體標的。

政府單位長期投入水下監測作業，則不斷地需要動員的船舶、人力、後勤等，可增加相關業界收入及稅收，在標準作業化的驅動下，因作業需求及方式透明，許多直接成本有機會逐年下降，像是設備運轉時數、設備投資自償率、人員訓練費用等。計畫所產生的資料與資訊經由政府公開資訊方式後，有許多非量化成本效益，例如政策執行觀感、利害關係人溝通提升、環境改善效益、國際社會評比等。

2. 產業環境發展構面

本案吸引業界投入的誘因，乃著眼於全台週邊海域的長期建置與維護合約，如採用國產系統整合方案，則初期帶動國內供應鏈廠商的投資額應有合約價的 2-3 倍，項目包含生產檢驗設備、測試場域建置、技術移轉及研發成本等。以本計畫為例，資產性投資金額約 170 萬元，包含水文儀器設備 CTD、數值分析軟體 MATLAB 等，由於研究用途所需但並未列入到本計畫經費中。因本案長期規劃的帶動下，在設備製造及海上作業服務需求上，預期會增加許多就業機會，初估每 1-2 千萬元合約會增加 1 位。

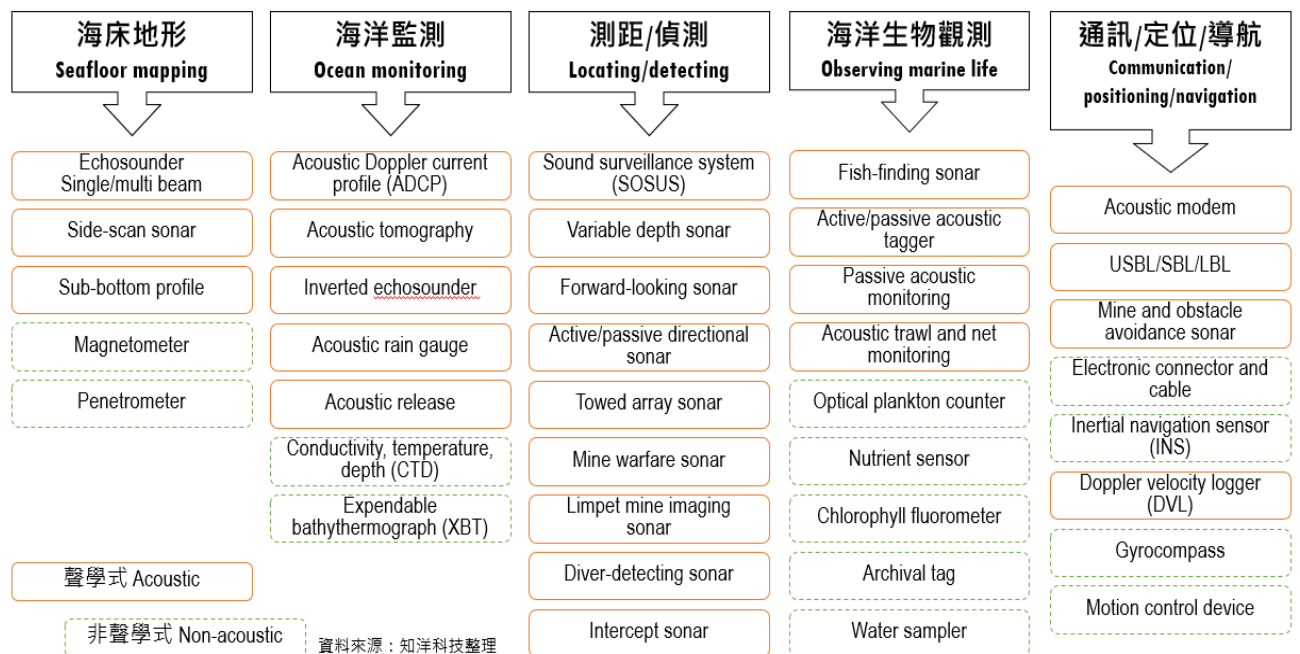
以表 15 的執行方案為例，每年預算約 1.8 億元，全程 3 年期計畫在就業機會上至少增加 18-36 位，包含海洋工程、水下科技、電機、機械、資訊、船舶、系統整合等等領域人才。可帶動研發與投資初估約 1-2 億元，主要可創造感測器製造技術、軟體和雲端運算技術等研發產能，以及檢驗測試設備、系統組裝廠房、海洋水文監測設備和中小型海上作業船舶等投資項目。

第六章 產業發展策略規劃

水下監測的市場需求上，早期以軍事作戰及領海防禦為主，因全球經濟貿易開放及海洋利用開發，水下監測需求與技術已朝向軍民通用，在整體發展架構上，將先分析國內外市場驅動相關水下監測產品技術之近況發展，探討關鍵技術之專利地圖分析及供應來源，再以臺灣週邊海域水下監測需求上，提出整體發展規劃及作業化目標項目。

第一節 市場驅動力

水下監測用的感測器可分為聲學式及非聲學式，彙整相關應用領域範圍。以本年度研究計畫為例，所需使用的包含海洋監測用的鹽溫深度計(conductivity, temperature, depth; CTD)、海水採樣器(water sampler)及海洋生物觀測用的被動聲學監測(PAM)等。

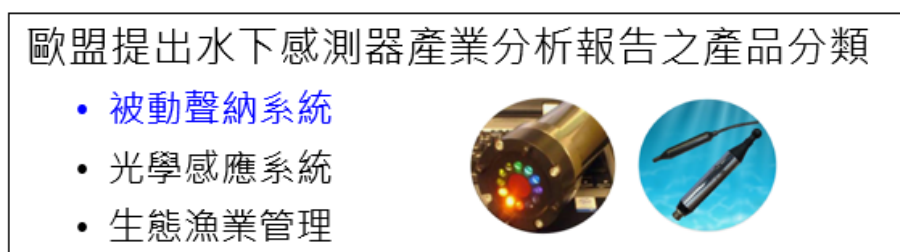


圖片來源：知洋科技公司(2019)

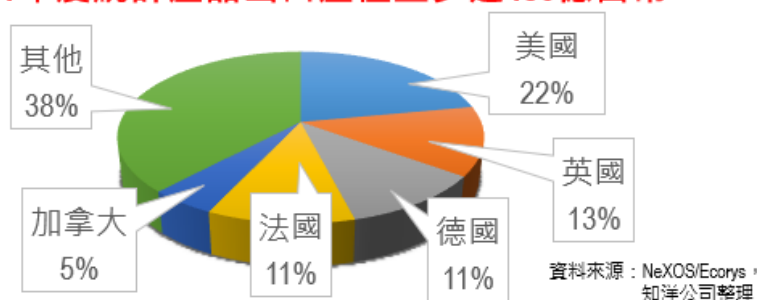
圖 76 海洋應用領域範圍所需的聲學式及非聲學式水下感測器

從海洋產業應用領域來分析，市場驅動力仍以政府單位及能源開發為大宗，由於水下監測系統製造的市場進入門檻高於傳統製造業，因此，這項產業發展興盛的國家中，市場驅動力以政府單位長期需求為市場基礎支撐力。可借鏡歐美國家的發展經驗，提出國內產業發展策略，並盤點關鍵技術成熟度和市場應用價值。

全球市場的水下感測器產值尚無完整計算基礎，本研究先參考歐洲研究報告資料，以 2001 至 2011 年出貨金額保守估計，總產值約有 75 億美金，在 2011 年度至少有 16 億美金(約 480 億台幣)，前五大生產國家分別為美國、英國、德國、法國、加拿大，合佔 62% 的市場規模()。水下感測器產品市場經營，皆需要依附在大型海洋產業下，如反潛作戰(anti-submarine warfare, ASW)水下監測、離岸油氣(offshore oil & gas)探測與鑽取、海洋再生能源(ocean renewable energy)等；或由先進國家主導海洋產業政策驅動，像是美國的 Integrated Ocean Observing System(IOOS)計畫、歐盟 Marine Strategy Framework Directive(MSFD)計畫等。



2011年度統計產品出口產值至少達480億台幣

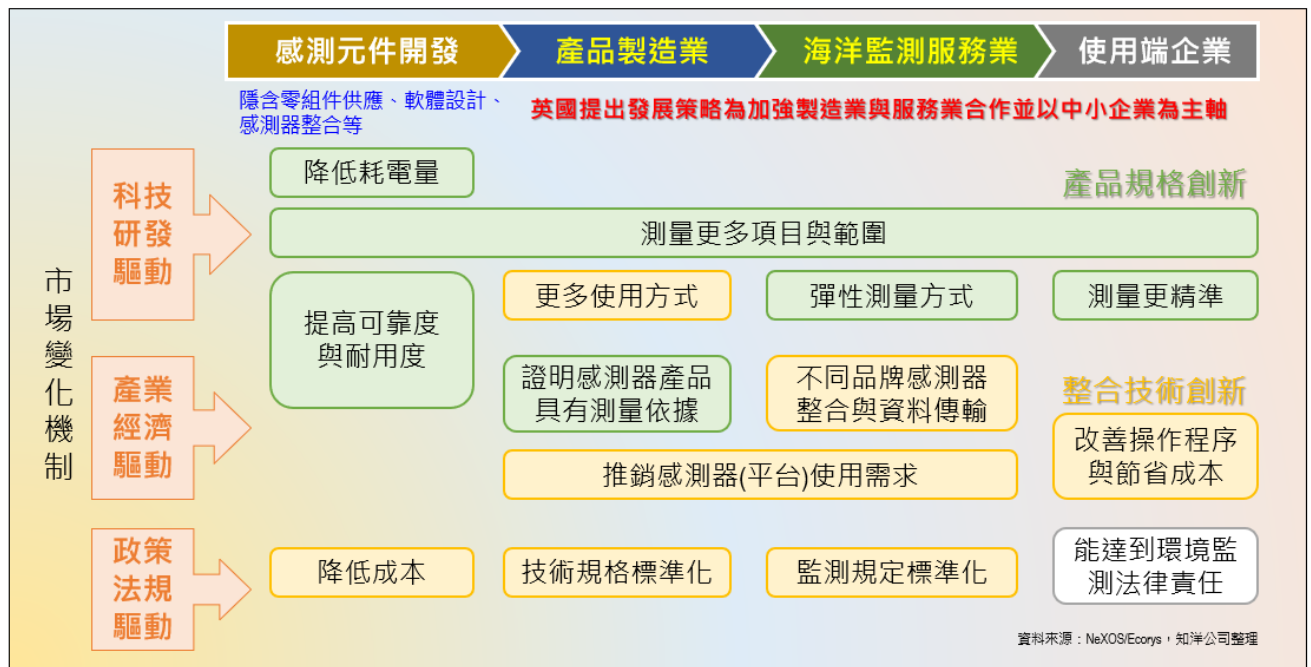


圖片來源：NeXOS/Ecorys，知洋科技公司(2016)

圖 77 歐美國家出口水下感測器產值

在歐盟產業推動策略分析報告(Gille, Swart, and Giannelos, 2014)中提到，國家法規是除了海軍作戰、產業需求之外，能夠有效驅動水下感測器產業發展的重要誘因。在歐盟通過 MSFD 之後，第 11 項工作即針對水下噪音對海洋環境的影響問題，制訂出重要的監測條件與改善要求(Tasker et. al, 2010)，因此，在近年可看到歐洲國家出現許多水下音訊測量產品。在後續發表的水下噪音測量建議指引(Robinson, Lepper, and Hazelwood, 2014)中，則更明確提出水下噪音測量設備的規格要求、測量方式、配套內容及管制建議等。

水下監測網所需的感測器及系統製造商多位於歐洲及美加，其發展過程所需的市場區動機制包含科技研發、產業經濟及政策法規，其中水下感測器產業在發展初期，尤需倚賴長期性政策推動()，藉由環境監測法規要求，進一步達到設備技術規格標準化及監測規定標準化，可促進上下游產業鏈同步發展。此外，近年海洋產業經濟對水下感測器的需求大增，與新興海洋能源、深海資源探勘及漁業活動有密切關係，加上電子科技進步，感測器朝向多功能性的系統整合為主要潮流，也是刺激市場擴大的重要誘因。



圖片來源：NeXOS/Ecorys，知洋科技公司(2016)

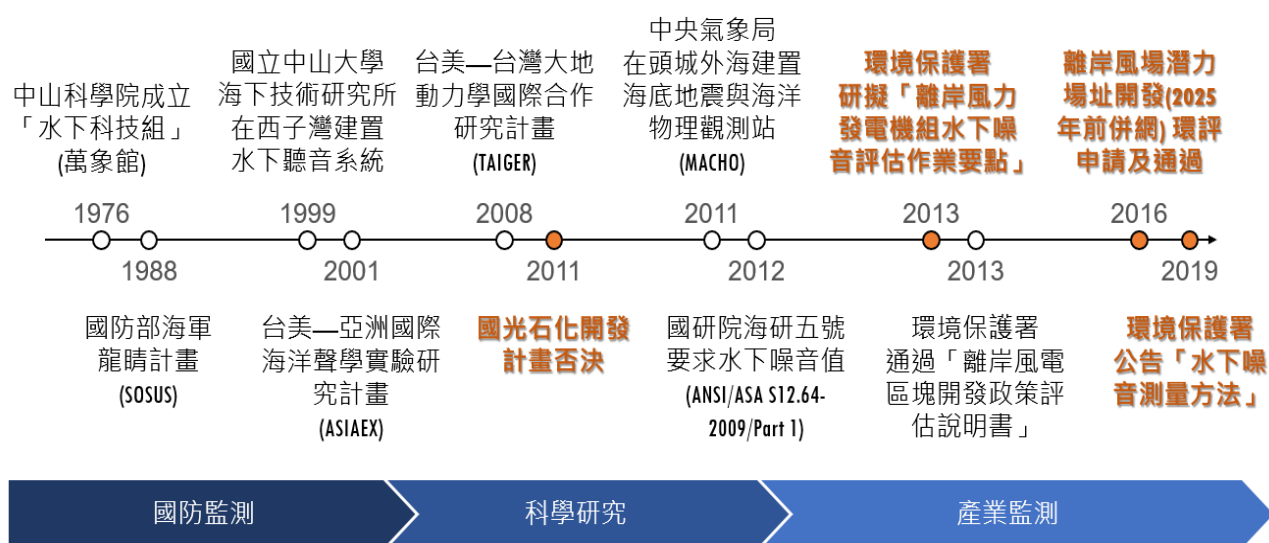
圖 78 水下感測器產業價值鏈及市場變化機制

全球的水下監測技術發展之所以興盛，與中小企業在創新研發能量高及彈性調整商業策略優勢有非常密切的關係。以英國為例：英國海洋產業聯盟於 2011 年提出發展策略與未來展望(UK Marine Industries Alliance, 2011)，其重點綜整如下：(1)出口機會是成功的關鍵，因此須掌握先進國家與開發中國家的各種海洋需求，運用英國產業供應鏈的強項，創造國內就業機會與出口貿易商機。(2)由於海洋產業供應鏈複雜，不論是製造或服務項目，中小企業(SME)皆佔多數，且扮演產業成長的關鍵角色，更須妥善運用中小企業的技術創新性與經營機動性。(3)加強海洋產業和海洋服務業的合作，則年度總產值可目前(應為 2010 年之前)的 170 億英鎊，提升到 2020 年的 250 億英鎊(約 1.25 兆台幣)。

第二節 臺灣市場

臺灣早期從事水下噪音相關研究範疇，以國防監測及科學研究為主，開始關注到水下噪音對海洋動物影響問題，應與國光石化開發案有關，在 2008 年規劃設立於彰化縣，在環評會議上有諸多環境保護問題受到爭議，因此，在 2011 年決議不予開發，如圖 79。因此，在近年在臺灣西海岸各項海洋工程開發，水下噪音評估與監測都被納入環境影響評估範圍。我國政府在 2012 年進一步推動離岸風力發電開發計畫，水下噪音影響問題再度受到關切，因此有機會帶動一波需求，吸引國內外設備製造商及技術服務商進入臺灣市場。

現有調查資料中已知：國內近年有少數水下音訊感測器的硬體建置情況，例如中央氣象局於 2011 年曾完成建置一座「臺灣東部海域電纜式海底地震儀及海洋物理觀測系統建置計畫」(Marine Cable Hosted Observatory, MACHO)，在宜蘭外海鋪設 45 公里長的海底電纜，裝設有一組水下麥克風，用於觀測臺灣東部外海的鯨豚音訊；不過，MACHO 系統乃委託日本 NEC 公司建造，國內相關產業並未像歐美日國家，因內需而發展出產業規模。MACHO 目前已經完成第一期與第二期，正規劃第三期系統。經濟部為推動國內發展離岸風電產業，在「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」中規定(經濟部，2012)，受獎勵業者應於示範風場內設置一座海氣象觀測塔，其中的福海離岸風力發電計畫，在觀測塔的水下測量系統(獎勵辦法僅要求測量波浪、海流、水位、海水鹽溫密度)中，額外裝設一組水下麥克風，此乃因應行政院環保署的環評會議審查要求，需長期監測離岸風場水下噪音及觀測鯨豚活動次數。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 79 國內水下噪音監測相關計畫及重要事件之發展過程

在離岸風電的推動策略上採取「先示範、次潛力、後區塊」三階段，首先在 2012 年公告「風力發電離岸示範系統獎勵辦法」，據此評選出 3 案示範風場，目前已分別完成建置 3 座海氣象觀測塔，其中海洋示範風場已完成 2 座示範機組。因應後續區塊開發推動過渡期間較長，為利業者提早辦理準備作業，經濟部能源局於 2015 年公告第 2 階段「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」，並公布 36 處潛力場址，以提供業者進行先期規劃。本階段採自由競爭機制，開發商可參考公告之潛力場址自行選定合適場址進行申請開發。且為順利銜接至第 3 階段，爰規定潛力場址開發業者需於 2017 年 12 月 31 日前取得環保署環評審查小組初審會議建議通過或有條件通過或於 2019 年 12 月 31 日前取得籌備創設登記備案，若未在上述規定期間內完成者，其備查及備查同意函自動失其效力。

然而，近期在環境影響評估會議結論與公眾輿論中，離岸風場開發產生水下噪音的影響問題，成為眾多疑慮之一，且由於水下噪音對海洋生態的影響相當廣泛，且眾多的量測分析方法易造成其他領域人員的混淆、不易正確解讀。由於在 2012 年到 2017 年離岸風場環境影響評估過程中，國內尚無明確指引(guidance)或法令規定，業者在環評說明水下噪音影響問題的內容，包括海上監測方式、影響模擬結果、評估指標等，常缺少標準程序和佐證方法，造成整個環評審議過程缺乏較客觀論述。因此，縱使在離岸風場環評要求下，

水下噪音監測需求增加，但因缺乏產業標準化()，對國內產業的誘因不足，僅有極少數的國內技術服務單位及國外設備製造商受惠於這波市場需求，市場初估約 5-8 千萬元。

我國政府單位曾委託國內研究機構，研擬一份「離岸風力發電機組水下噪音評估作業要點(草案)」，並有相關研究探討歐美相關作業要點之差異。從國內的研究報告中發現，歐美各國對於離岸風場引起水下噪音問題，仍在持續研究與調查的階段，除了德國執行方式(BSH, 2011)較為明確外，歐盟 (Dekeling, et al., 2014)與英國 (GPG 133, 2014)亦有提出指引，只規定重大的調查分析項目，目的在蒐集更多資訊，這是在建立法規及標準前的重要依據。

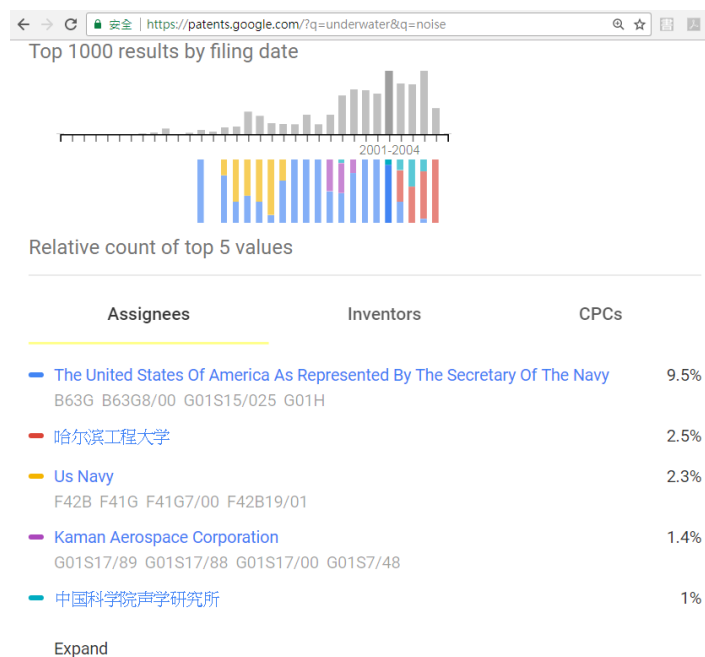
行政院環保署環境檢驗所在 2019 年 2 月 26 日公告「水下噪音測量方法(NIEA P210.21B)」，並於 6 月 15 日正式實施。此方法主要參考 ISO 18406 內容，著重於海上打樁產生水下噪音的測量方法要求，政府部門如可進一步規定國內所有離岸風場在施工階段皆必須採用，則可帶動更大一波水下監測市場發展。由於在環評法施行細則中規定，執行環保署法規檢驗方法單位必須通過環保署合格實驗室資格，其中包含專業檢業人員訓練及測量設備投資，都需要投入相當多的時間與成本，因此，國內業者欲進入這一波市場仍有一定門檻。

國內業界有鑑於水下噪音監測及被動聲學監測之市場需求漸增，在 2018 年成立「海洋調查人員培訓技術中心」，開設培訓課程包含「水下噪音監測技術」及「被動聲學監測技術」，可培養專業人員增加設備操作及海上作業之能力，訓練內容多依據國際標準組織規範(如 ISO 18406)及國內相關測量方法(如 NIEA P210.21B)等，對於國內業界投入水下聲學測量工作有一定能量的助益。

第三節 專利地圖分析

專利地圖(patent map)分析用於掌握關鍵技術之佈局，以及現有技術掌握者之專利壁壘，對後進者需有進一步的專利迴避策略，並尋找更多技術優勢，才有機會進入競爭行列。圖 80 為初步掌握水下噪音專利數，仍以美國海軍為大宗，但近年中國申請數大增，應留意相關專利佈局發展趨勢。

國內專利地圖分析上，以表 21 的關鍵字查詢來判斷關連性，首先以「水下噪音」關鍵字查詢，共有 5 項發明專利及 6 項新型專利，申請人主要來自財團法人船舶暨海洋產業研發中心和知洋科技公司。再由已知的專利內容關鍵字，進一步搜尋及分析其他專利，初步研判國內因相關市場不大，專利申請數較多者為政府單位法人，其次為私人企業(如知洋科技公司)；但有一件專利為個人申請，屬於較特殊情況。國內專利申請與國際上有落差，顯見國內產業對相關技術佈局仍不足。另不排除關鍵技術尚未公開，因此未申請專利。



圖片來源：Google Patent，知洋科技公司整理(2019)

圖 80 全球水下噪音專利數量分析

以國內民間企業知洋科技公司為分析案例，其獲得多項水下感測器專利，主要應用在整合式系統，例如一套系統具備多項水下感測器或水下麥克風陣列之電源供應和資料傳輸技術等，此屬於產品技術實現之智財範疇，也就是產品製造方法，是國內少數擁有關鍵技術之單位。本計畫研究重點在於使用水下監測設備如何測得數據並加以應用，與產品相關專利較無直接關連；換言之，產品技術實現專利可能在於提高儀器性能及可靠度，這對使用者是有利的。而水下噪音監測或被動聲學監測之測量方法屬於習知技術，簡而言之，已有教科書或可從公開文件取得，不易受限於專利之技術障礙。

表 21 水下聲學監測相關專利分析

資料來源：經濟部智慧財產局，知洋科技公司整理(2019/10/30 檢索)

關鍵字	專利數	關鍵專利(申請人)	關鍵字
水下噪音	發明(6) 新型(6)	- 自記式水下噪音量測裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音量化計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音感測計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下感測裝置與水下感測陣列(知洋科技有限公司)	減噪
減噪	發明(260) 新型(136)	- 水下減噪模組(陳琪芳) - 減噪裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心)	離岸風力發電機
離岸風力發電機	發明(25) 新型(7)	- 可監控支撐結構之運維的離岸風力發電場(知洋科技有限公司) - 海洋哺乳類追蹤系統以及載具(知洋科技有限公司)	
被動聲學	發明(5)	無	
(鯨 OR 豚) AND 生態	發明(256) 新型(11) 新式樣(2)	- 減噪裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 搶救鯨豚搬運裝置(亞洲大學) - 海洋哺乳類追蹤系統以及載具(知洋科技有限公司)	
打 樁 AND 噪音	發明(29) 新型(16)	- 水下減噪模組(陳琪芳) - 減噪裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 海洋哺乳類追蹤系統以及載具(知洋科技有限公司)	
船 舶 AND 噪音	發明(226) 新型(50)	- 螺槳噪音之分析方法(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 移動噪音源的檢測系統(逸陞有限公司) - 自記式水下噪音量測裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 減噪裝置(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音量化計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音感測計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 聲納系統(鴻海精密工業股份有限公司) - 船用振動噪音量測與分析裝置及其方法(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 減低船舶振動及噪音之機構及其方法(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 海洋哺乳類追蹤系統以及載具(知洋科技有限公司)	螺槳、聲納
聲納	發明(639) 新型(95)	- 螺槳噪音之分析方法(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音量化計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 水下噪音感測計(財團法人船舶暨海洋產業研發中心) - 對海生哺乳動物提供低衝擊機率的聲納系統及方法(雷森公司 RAYTHEON COMPANY 美國 US) - 水下聲學警示系統(國立中山大學) - 海洋哺乳類追蹤系統以及載具(知洋科技有限公司)	海生哺乳動物

第四節 國內外供應商盤點

水下監測產業價值鏈可概分為 4 個部分(表 22)：感測元件開發、產品設計製造、海洋測量服務及企業使用客戶等，如以水下噪音計或被動聲學監測系統來看，進一步彙整出國內外製造商，如所示。製造商國別中，除了知洋科技公司(Awareocean Technology Co., Ltd.)屬於國內企業，其餘均分佈於歐美國家。

進一步分析本計畫所需的自計式系統和整合式系統之供應方式，大多數可同時供應二種系統，且大多數提供分析軟體和監測技術服務。而除了美國 High Tech, Inc 有製造水下麥克風之外，其餘系統製造商皆採用其他品牌水下麥克風。

表 22 水下監測系統國內外製造商清單

資料來源：知洋科技公司整理(2019)

製造商品牌	國別	自記式系統	整合式系統	水下麥克風製造商	分析軟體	提供監測技術服務
Awareocean Technology Co., Ltd.	臺灣	V	V		V	V
Cetacean Research Technology	美國	V			V	V
High Tech, Inc.	美國		V	V	V	
Kongsberg Maritime	挪威	V	V		V	
Ocean Instruments	紐西蘭	V			V	V
Ocean Sonics Ltd.	加拿大	V	V		V	V
RS Aqua Ltd	英國	V	V		V	V
RTsys	法國		V		V	V
SAES	西班牙	V	V		V	V
Seiche Limited	英國		V		V	V
Wildlife Acoustics, Inc.	美國	V			V	

第五節 規劃說明

我國在海洋監測上，正在發展的作業化網絡包含環島海面雷達站、海氣象浮標測站、海上地震海嘯測站、海水污染測站、衛星遙測海面狀態、船舶自動化辨識系統、水下文資調查、漁業資源調查、海洋水文調查、海底地形測繪及底質探測等，各項權責單位詳列於表 23。從海洋空間的監測分佈中，還缺乏水下面的監測網絡，可用於海洋環境即時監測和國土安全搜索等，達成快速反應與決策依據之目的，此乃本計畫規劃重點。

表 23 海洋監測作業化項目及政府權責單位

資料來源：知洋科技公司整理(2019)

海洋監測作業化項目	政府權責單位
環島海面雷達站	科技部、交通部、海軍
海氣象浮標測站	交通部中央氣象局、觀光局
海上地震海嘯測站	交通部中央氣象局
海水污染測站	環境保護署
衛星遙測海面狀態	科技部
船舶自動化辨識系統	交通部
水下文資調查	文化部
漁業資源調查	農委會漁業署、水產試驗所
海洋水文調查	科技部、海軍
海底地形測繪	內政部、海軍
底質探測	經濟部中央地質調查所
水下監測	海洋委員會、海軍

本研究計畫在規劃水下噪音及被動聲學長期監測網中，將未來長期作業化計畫命名為「臺灣海域水下監測網」，英文名稱「Underwater Surveillance around Taiwan Seas」，簡稱，「USTS」。USTS 以水下聲學(underwater acoustics)技術發展為主軸，但中英文名稱字義省略「聲學(acoustics)」或「聲納(sonar)」，原因是可避免技術發展上的國防安全敏感問題；中文名稱採用「水下監測」源自英文用詞「underwater surveillance」，此為國際慣用技術名詞，可快速與國際合作單位接軌，進行技術交流和資訊交換，並可在全球市場上搜尋到更多有效的解決方案。

借鏡國外在水下聲學監測技術發展上，因各界需求多元且複雜，已走向軍民通用合作方式，其優點是政府單位可方便向業界採購符合規格技術，順勢創造產業發展，此乃重大經濟效益。此外，因應政府推動民間投資及獎勵民營電廠，在海上開發場址調查與環境影響評估作業上，亟需大量公開且客觀的資訊，釐清利害關係人的相關疑慮。因此，本計畫在水下監測資訊公開的規劃上，採取資訊分級制度，由主管機關依照相關法源和權責來發佈。

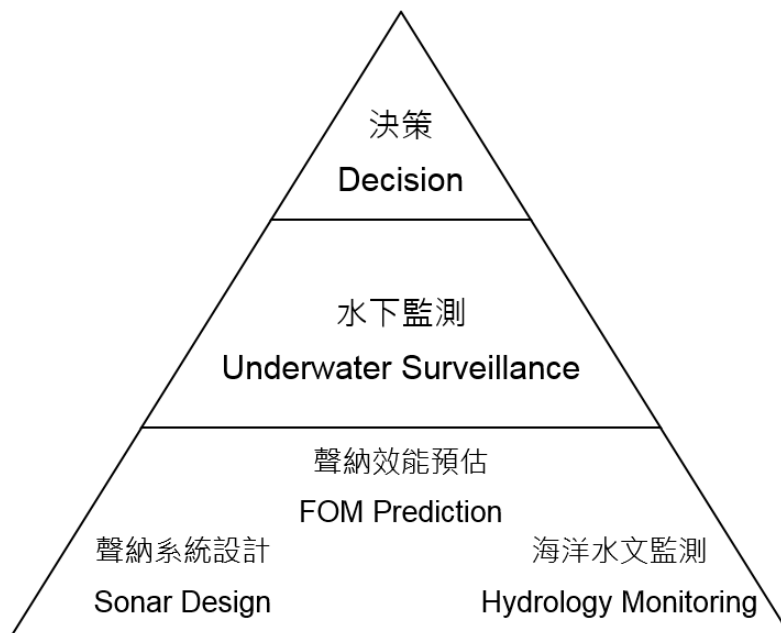
第六節 作業化目標

臺灣目前急需的水下監測主要分為：「環境」及「偵察」，其作業化目標必須以決策導向為依據，如圖 81 所示。不論監測目的為何，使用聲納技術時，需有聲納系統設計、聲納效能預估及海洋水文監測等規格為基礎，才能達到水下監測的具體目標和決策作業參考依據。

1. 環境監測

海洋環境監測的需求包含：

- (1) 海洋環境噪音(ocean ambient noise, OAN)：廣泛性調查作業方式亦可稱為聲景(soundscape)或噪音預算(noise budget)，在還無法有效掌握各種產生水下噪音來源與發生機率的情況下，先以較大頻率範圍來蒐集水下噪音資訊，進一步釐清當處海域的關鍵問題。



圖片來源：知洋科技公司(2019)

圖 81 水下監測作業化目標說明

- (2) 水下噪音值變化(noise level variation, NLA)：軍事上在操作聲納時，必須先預估聲納偵測距離，而水下噪音值是影響被動式聲納效能的主要關鍵，也是主動式聲納訊號被遮蔽因素之一。長期調查方式會在重點海域，依據季節、月份執行監測，並進一步依據海洋環境資訊建立預估方法，參考資訊包含海面風浪條件、船舶密度分佈、海水聲速變化、潮汐水位變化等。
- (3) 水下噪音污染問題(underwater noise pollution, UNP)：因船舶航運、海洋工業發展、海上能源開發、軍事演習、探測聲納等人為因素，不斷地提高水下噪音量，造成海洋動物在利用發聲行為時產生影響或失去既有功效，影響問題包含受傷、失去聽力、行為改變等。歐美國家已逐步制訂管制規範並長期監測，以降低水下噪音污染並達到保護海洋動物生存目的。
- (4) 鯨豚生態調查(cetacean ecological investigation, CEI)：利用鯨豚使用叫聲習性(回聲定位、溝通、社交等)，以被動聲學監測達到調查鯨豚的棲息海域及迴游路徑等目的，進一步建立鯨豚分佈基線調查數據(baseline survey data)。此外，我國目前對水下噪音影響鯨豚活動問題，仍待調查及釐清，尤其是瀕臨絕種的白海豚保

育，其主要棲息地鄰近離岸風電開發場址，應長期追蹤調查。後續在離岸風場施工前中後，需監測各種鯨豚活動趨勢，分析水下噪音及被動聲學監測數據，取得影響鯨豚行為的水下噪音閾值，適當修訂鯨豚保護減輕措施。

2. 偵察監測

國防安全和災防措施的需求包含：

- (1) 反潛作戰(anti-submarine warfare, ASW)：為加強國土海域安全及遭受攻擊威脅前反制，在被動聲學監測方法中，必須建置船艦聲紋資料庫，才能進一步完成敵我辨識及軍事快速反應(military rapid response)決策。我國艦艇應在監造出廠時及定期保養維修後，在海上試驗場完成聲紋資料蒐集。他國艦艇則必須在經過(定點或船拖)水下監測系統時，同步透過雷達識別、海防及空防接觸的目視辨認等方式，取得確認船名(號)的聲紋數據。
- (2) 港口安全(harbor safety and security, HSS)：敵對國可能在重要港口放置水雷，或者海上恐怖攻擊常鎖定港口或下錨船舶，使用水下載具攜帶彈藥產生爆炸，藉此癱瘓港口設施，讓軍警艦艇無法出動發揮功效。應在重要港口進出航道上和重要物資船運航線上，設置被動聲學監測，偵搜水下不尋常活動產生的噪音，例如潛艦、水下載具、魚雷等。
- (3) 海上搜救(maritime search and rescue, MSR)：飛機和船艦在失事後，航行紀錄器(俗稱黑盒子)在水下會發報聲波訊號，可使用水下麥克風陣列偵測發報位置，尋找失事地點及取回航行紀錄器資料。我國應在可執行搜救任務的海軍、海巡署艦艇上，配置簡易型水下麥克風偵測系統，平時可用於訓練及水下偵搜，發生海難時可立即投入搜救。
- (4) 海洋防災(ocean disaster prevention, ODP)：可能造成海洋災難的現象有海底地震(火山)、海底油氣噴發、海嘯、海床土石流、沙波、內波等，根據國內外報告和紀錄，這些現象會對沿岸設施、港灣碼頭、海上結構物、船艦(潛艇)等造成破壞或傷亡，可採用被動聲學監測事件發生時伴隨的噪音特徵，或結合主動聲納及水文感測器，偵測更多特徵條件，達到即時發報，爭取災害擴大前的防範時間與空間。

第七章 成果與建議

根據本研究內容彙整重要成果及相關建議事項如下。

第一節 重要成果

水下聲學監測技術是國際上新興產業發展重點，從過去的國防監測需求，到目前大量的軍民通用系統，歐美各國皆投入大量計畫資源，從事水下噪音汙染監測及被動聲學監測，中長程目標是改善海洋環境中的噪音影響問題。本研究已完成水下噪音監測技術發展現況及國內外供應商分析，進一步分析國內市場因離岸風場開發所帶動的水下監測市場需求量，同時在使用被動聲學監測鯨豚活動之需求亦漸增，因此，有逐步吸引國內外設備製造商及技術服務商進入臺灣市場之趨勢，可預期水下監測產業市場規模將會穩定成長。

因應未來水下監測技術發展的中長程計劃，本報告針對台灣週邊海域之需求分為鯨豚生態與環境調查、海域國防安全監測、海洋能源與資源開發等 3 大類，再依照水下監測技術現況分成 8 項技術發展重點，包含海洋環境噪音、水下噪音值變、水下噪音污染問題、鯨豚生態調查、反潛作戰、港口安全、海上搜救及海洋防災等。依照台灣週邊海域各種潛在的水下監測需求，提出 6 年作業化監測目標，成為本計畫成果重點之一。

水下監測系統採用自記式或即時式各有優缺點，自記式的優勢只有成本較低，包含設備本身價格及布放方式。即時式有拖曳型及海纜型，可快速取得資料進行分析與評估，是最大優勢。在設置上，拖曳型系統必須有適當的作業船舶以及操作人員，其他較容易受到限制之處包含海上作業時間、海況條件、水深限制(不宜太淺)、船舶干擾等。電纜式需長期且完整規劃，如果布放水深及離岸距離較遠，會涉及到相關法規要求提出申請，包含環境影響評估、海岸管理法等。國外海纜式系統多納入各種用途，包含地震海嘯監測、海洋科學調查、海水資源測量及國防監測等。

在今年的海上調查工作及分析案例中，已由台中港南邊的大肚溪口及台電第一期離岸風場進行被動聲學監測及鯨豚目視調查，共計有效努力里程 126.8 公里，總航行時間 32.2 小時，有效努力時數 10.8 小時。在鯨豚調查過程中，在努力航程中目擊 1 次和非努力航程中目擊 1 次，鯨豚物種皆為白海豚。其次，利用水下噪音監測數據，計算出台中港南端大肚溪口的水下噪音變化量，並統計出 5%、50%、90%的機率百分比之水下聲曝值，以

及水下背景噪音基線推估值，可做為鯨豚生態評估參考依據。本研究並使用被動聲學監測方式比對目視調查結果，可取得使用偵測軟體的操作參數，包含鯨豚叫聲偵測模組、濾波器參數、偵測閾值設定等。

第二節 建議事項

本報告提出的建議事項如下。

1. 水下監測網應全面性發展，包含海洋環境噪音、水下噪音值變、水下噪音污染問題、鯨豚生態調查、反潛作戰、港口安全、海上搜救及海洋防災等項目。產業發展在初期仍需倚賴政府推動需求及環境建構，其中應多提供給中小企業相關研發補助及融資貸款方案，加速民間企業建立設備製造產能及海上作業能量，才能有效配合與執行政府機關提出的中長程計畫。
2. 水下監測作業化應訂出作業上的標準化流程，至少包含標準作業程序、作業系統化、品質管理要求及風險管理說明等。逐步採用自動化監測儀器、數據資料庫、雲端智慧化分析技術和公開透明資訊，有效改善海洋環境、創造永續發展條件及顧及人民生活品質與保持健康，亦應列入中長程計畫目標。
3. 政府投入鯨豚生態調查之績效評估，可採用歐美國家相關績效指標，包含「族群結構分析」、「族群豐度分析」、「人為影響分析」、「評估報告量」及「評估報告頻率」等，作為鯨豚保育策略之參考依據。
4. 執行臺灣白海豚棲地與生態調查的 1 年所需預算約 1.7 億元，如連續監測 3 年後生態調查指標可明確提升，預估可較完整掌握族群結構，並估算季節性或地理性的密度變化，以及獲得人為影響(如漁業干擾、水下噪音影響)的證據，有助於執行白海豚復育計畫中的風險管控。
5. 研究計畫案中如有海上調查案，建議在每年的 1 月就啟動計畫，加速完成海上作業所需的各項設備建置與訓練，才有利完成全年度作業。

參考文獻

- Andrewa, R. K., Howe, B. M., & Mercer, J. A. (2011). Long-time trends in ship traffic noise for four sites off the North American West Coast. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(2), pp. 642-651.
- BSH. (2011). *Offshore wind farms: Measuring instruction for underwater sound monitoring, Current approach with annotations*. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Federal Maritime and Hydrographic Agency.
- BSH. (2013). *Standard: Investigation of the Impacts of Offshore Wind Turbines on the Marine Environment (StUK4)*. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Federal Maritime and Hydrographic Agency.
- BSI. (2015). *PD6900: 2015 Environmental impact assessment for offshore renewable energy project – Guide*. The British Standards Institution.
- CIEEM. (2016). *Guidelines for Ecological Impact Assessment: Terrestrial, Freshwater and Coastal* (2nd ed.). Chartered Institute of Ecology and Environmental Management, Winchester.
- Dekeling, R., Tasker, M., Van der Graaf, A., Ainslie, M., Andersson, M., André, M., . . . Young, J. (2014). Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part I: Executive Summary. *JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN*. doi:10.2788/29293
- Gedamke, J., Harrison, J., Hatch, L., Angliss, R., Barlow, J., Berchok, C., . . . Wahle, C. (2016). *Ocean Noise Strategy Roadmap*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- GPG 133. (2014). Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement. National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, Robinson, S.P., Lepper, P. A. and Hazelwood, R.A., NPL.
- HarrisonJolie. (2013). The Marine Mammal Protection Act (MMPA) Incidental Take Authorization Process.
- LinTH, ChouLS, AkamatsuTom, ChanHC, & ChenCF. (2013 年 9 月). An automatic detection algorithm for extracting the representative frequency of cetacean tonal sounds. *J Acoust Soc Am.*, 134(3), 頁 2477-2485.
- National Marine Fisheries Service. (2018). 2018 Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA.

- NOAA. (2018, 11 14). *MMPA*. Retrieved from Laws & Policies, NOAA Fisheries, National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://www.fisheries.noaa.gov/topic/laws-policies#marine-mammal-protection-act>
- OSPAR. (2008). *OSPAR Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development* (Ref. No. 2008-3 ed.). OSPAR Commission.
- Richardson, W., Greene Jr., C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. (1995). *Marine Mammals and Noise* (1st Edition ed.). Academic Press.
- Southall, B. L., Hatch, L., Scholik-Schlomer, A., Bergmann, T., Jasny, M., Metcalf, K., . . . Perera, M. E. (2018). Reducing Noise from Large Commercial Ships. (Spring).
- Tasker, M., Amundin, M., Andre, M., Hawkins, W., Lang, T., Merck, A., . . . Zakharia, M. (2010). *Marine Strategy Framework Directive – Task Group 11 Underwater noise and other forms of energy*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. doi:10.2788/87079
- Taylor B.L., Araújo-Wang C., Pei K., Gerrodette T., Rose N.A., Bejder L., . . . 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., (頁 33 pp.).
- Tubbert Clausen Karin , Tougaard Jakob , & Carsten Jacob . (2019). Noise affects porpoise click detections – the magnitude of the effect depends on logger type and detection filter settings. *The International Journal of Animal Sound and its Recording*(28), 頁 443-458.
- Vancouver Fraser Port Authority. (2018). *ECHO Program: Voluntary Vessel Slowdown Trial Summary Findings*. Vancouver Port.
- 周蓮香, 林幸助, & 孫建平. (2017). 中華白海豚族群生態與食餌棲地監測. 106 年度行政院農業委員會林務局委託研究計畫.
- 周蓮香等人. (2012). 中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃. 行政院農委會林務局委託研究計畫結案報告(100-林發-07.1-保-37).
- 湛翔智, 邱侑蓮, 劉愛慈, 連永順, 林彥勳, 王珮蓉, . . . 胡凱程. (2019). 打樁水下噪音實測分析. 2019 台灣風能學術研討會暨科技部成果發表會.

附件

附件一、鯨豚圖輯生態海上調查作業航跡

附件二、鯨豚生態調查紀錄表

附件三、歷次工作會議紀錄及審查意見回覆