海洋委員會海洋保育署
OCEAN CONSERVATION ADMINISTRATION,
OCEAN AFFAIRS COUNCIL

「114年圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用計畫」案
成果報告書

執行單位 | 國立臺灣大學獸醫學系

中華民國 115 年 4 月

目錄

目錄 i

中文摘要 viii

英文摘要 ix

第壹章 前言 1

1.1 計畫緣起與目標 1

1.2 背景分析 4

1.3 計畫工作內容 5

1.3.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料 5

1.3.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化 5

1.3.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析 6

1.3.4 微生物群落的總體基因體分析 6

1.3.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索 7

第貳章 計畫背景資料收集 8

2.1 國內外圈養鯨豚現況 8

2.2 動物福利評估趨勢 10

2.3 現有監控技術之比較分析 12

2.4 相關研究基礎與趨勢 14

第參章 工作執行方式 16

3.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料 16

3.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化 17

3.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析 27

3.4 微生物群落的總體基因體分析 31

3.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索 35

第肆章 預定進度規劃與進度報告 38

4.1 期中預定工作進度 38

4.2 期末預定工作進度 38

4.3 整體計畫執行進度與時程 38

4.4 期末執行進度 44

4.4.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料 44

4.4.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化 44

4.4.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析 44

4.4.4 微生物群落的總體基因體分析 44

4.4.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索 45

4.5 結論與建議 46

4.6 預期效益 48

第伍章 經費分配及預算細目 51

第陸章 參考資料 52

附件一 國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料整理 55

國際圈養鯨豚歷史 56

動物福利與五大面向 61

第一面向-營養（Nutrition） 61

第二面向-環境（Physical Environment） 61

第三面向-健康（Health） 61

第四面向-行為與互動（Behavioural Interactions） 62

第五面向：心理（Mental） 62

檢測方法 63

一、緊迫賀爾蒙 64

二、微生物菌群組成與多樣性 71

三、血液學檢測 72

四、參與意願與訓練表現 75

五、預期行為與認知偏差 76

六、發聲行為 78

七、水面行為 81

參考資料 84

附件二 圈養鯨豚水面行為觀察操作指引 92

前言 93

錄影設備建議 94

全方位運動攝影機 94

全景攝影機 96

安裝建議 97

全方位運動攝影機 97

全景攝影機 100

行為圖譜 **102**

行為記錄表範本 **105**

參考資料 **106**

附件三 圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引 ***107***

前言 **108**

錄音設備建議 **109**

水下麥克風 附加 20 公尺延長線（適合短時間攜帶式錄音） 109

錄音機（可配合水下麥克風） 109

錄音機（適合長時間定點錄音） 114

安裝建議 **118**

錄音機（連接水下麥克風） 118

錄音機（適合長時間定點錄音） 124

分析軟體 **127**

需安裝使用之分析軟體（此計畫所用之軟體為 Raven Pro） 127

無須安裝即可使用之分析軟體（此計畫所用之軟體為 AudioMoth Play） 128

聲紋樣本圖 **130**

參考資料 **133**

附件四 微生物群落總體基因操作指引 ***134***

前言 **135**

圈養鯨豚無菌氣孔樣本採集材料 136

圈養鯨豚無菌氣孔樣本採集操作步驟 137

圈養鯨豚無菌直腸樣本採樣操作指引 140

無菌直腸樣本採集材料 140

圈養鯨豚無菌直腸樣本採集操作步驟 141

圈養鯨豚氣孔與糞便樣本處理操作指引-DNA 萃取步驟 144

氣孔與糞便樣本 DNA 濃度測量步驟 146

參考資料 147

附件五 圈養鯨豚水面行為觀察記錄成果報告 148

一、行為資料收集總時數 149

二、影像收集方法 149

三、水面行為記錄方法 150

四、三大園區水池平面圖 151

五、結果範例 155

六、鯨豚水面行為觀察未來工作 164

附件六 圈養鯨豚發聲行為觀察記錄成果報告 165

一、水下聲音資料收集總方法時數 166

二、水下聲音收集方法 166

三、發聲行為記錄方法 167

四、三大園區水池平面圖 167

五、鯨豚發聲結果範例 169

六、鯨豚發聲行為觀察記錄未來工作 169

附件七 微生物群落總體基因體分析報告.....170

一、樣本採集與研究設計.....171

品質控制（Quality Control）.....172

二、16S rRNA 全長定序與生物資訊分析流程.....173

三、微生物物種組成.....176

ASV 分類解析比例（Percentage of ASV Classification）.....176

前 10 大微生物群相對豐富度堆疊長條圖（Top 10 Taxon Stacked Plot）.....177

核心微生物群（Core Microbiome）.....178

前 50 高豐富度微生物群熱點圖（Top 50 abundant taxa heatmap）.....180

GraPhlAn 系統發育樹圖（GraPhlAn）.....182

四、群落多樣性與變異分析（Diversity Analysis）.....184

Alpha 多樣性分析（Alpha Diversity）.....184

Beta 多樣性分析（Beta Diversity）.....188

附件八 緊迫荷爾蒙指標與免疫細胞操作指引與分析報告.....196

一、緊迫賀爾蒙指標.....197

血液採集方法.....197

緊迫賀爾蒙追蹤結果.....197

緊迫賀爾蒙追蹤未來工作.....198

二、免疫細胞分析.....198

血液採集方法.....198

免疫細胞分析結果.....198

免疫細胞分析未來工作.....199

附件九 多層次數據交叉整合與診斷指標報告 200

目標 201

（一）執行方式 201

（二）完成進度 203

（三）使用者介面功能介紹 204

（四）使用範例 205

附件十 委員審查意見辦理情形表 207

期中報告委員審查意見辦理情形表 208

期末報告委員審查意見辦理情形表 214

中文摘要

隨著全球動物福利與保育意識逐步提升，圈養鯨豚的生存與健康狀況正日益受到關注。過去監測方法多仰賴人員主觀觀察，難以即時掌握動物於不同環境與事件下的身心狀態。國內外文獻指出，圈養鯨豚若在空間受限、缺乏社交刺激或長期暴露於高噪音環境下，常出現刻板行為、免疫功能下降與慢性壓力反應，圈養海豚在無外部刺激下可能呈現長期皮質醇濃度偏高，呼吸孔微生物多樣性變動可用於診斷緊迫狀態，行為與生理資料之整合對於早期預警與福利評估具有重要意義。本計畫旨在建構一套整合行為、生理與微生物資料的多層次監測工具，以提升圈養鯨豚之健康管理與動物福利。本計畫以系統化方法收集水面與水下行為記錄、聲學資料、生理檢測數據（如皮質醇與免疫細胞組成），並應用 metagenomics 技術分析呼吸孔與糞便樣本中的微生物群落結構，作為反映緊迫與健康異常的重要生物指標。並將這些資料與環境變數與人為事件進行時間序列與交叉分析，藉以辨識在壓力情境下穩定變動的核心指標。本計畫除建構整合性監測架構外，亦探索適用於主管機關與水族館自主管控的低侵入性監測技術與標準化流程，以強化設施日常管理能力，並為未來政策推動提供實證依據。本計畫預期成果包括：（1）建立行為、生理與微生物之資料庫，（2）篩選具高度敏感度與特異性的健康指標，（3）發展初步預測指標應用於緊迫預警系統，（4）提出可應用於國內圈養場域之科學化福利監測工具。最終目標為提升圈養鯨豚之福祉與健康，並為臺灣圈養野生動物管理提供創新典範。

關鍵字(詞)：鯨豚、圈養、動物福利、緊迫、監測

英文摘要

As global awareness of animal welfare and conservation grows, the health and living conditions of captive cetaceans have gained increasing attention. Previous monitoring methods rely heavily on subjective observation, limiting real-time assessment of animals' physical and psychological states. Studies show that when captive cetaceans exposed to restricted space, limited social interaction, or chronic noise often develop stereotypic behaviors, immune suppression, and stress responses. Indicators such as elevated cortisol levels and changes in blowhole microbiota highlight the value of integrating behavioral, physiological, and microbial data for welfare assessment. This project aims to develop an integrated, multi-level monitoring system combining behavioral observations, acoustic data, physiological markers (e.g., cortisol and immune profiles), and microbiome analysis from blowhole and fecal samples. These data will be analyzed alongside environmental variables and human-related factors using time-series and cross-analytical approaches to identify reliable stress indicators. The project will also explore low-invasive, standardized monitoring methods suitable for aquarium use, enhancing routine management and supporting evidence-based policy. Expected outcomes include: (1) a comprehensive multi-dimensional database; (2) identification of sensitive health indicators; (3) development of early warning tools for stress; and (4) practical welfare monitoring systems for captive facilities in Taiwan. The ultimate goal is to improve cetacean welfare and advance captive wildlife management.

Keywords: cetaceans, captivity, animal welfare, stress, monitoring

第壹章 前言

1.1 計畫緣起與目標

隨著全球動物福利及保育意識日益提升，圈養海洋哺乳類動物（如鯨豚）在非自然環境中的生存狀況逐漸引起關注。這些動物若被安置於空間受限、社會互動不足或高度人為干擾的環境中，長期下來可能產生身心壓力，進而影響其健康與行為表現。例如，圈養空間的尺寸遠不及野外棲息地的活動範圍，限制了其自然遷移行為與社交網絡的建立，可能進而引發緊迫反應。

以國外海洋主題樂園為例，曾發現圈養瓶鼻海豚在夏季遊客高峰期間出現刻板行為（stereotypic behavior）與食慾減退等現象，顯示其可能正處於慢性壓力狀態。該機構後續雖嘗試透過增設玩具或延長餵食互動時間來改善行為表現，但效果仍有限，反映出缺乏具科學依據的監測工具難以即時掌握動物的真實狀況。其他國際案例亦顯示，圈養虎鯨（*Orcinus orca*）在音量過高或環境噪音頻繁的水族館中，可能會展現逃避互動或發聲異常，進一步影響其社會行為與生理平衡。因此，開發適切之整合型監控工具，將有助於掌握鯨豚在各類環境與事件刺激下的行為與生理反應，作為調整多樣性飼養環境與管理策略的科學依據。

過去針對圈養鯨豚的監測方式，多仰賴飼養員或研究人員的經驗性觀察，評估其活動量、食慾變化及表面外觀（如皮膚病變、體態消瘦等），此類方法雖具實務價值，卻存在數項限制。首先，觀察結果常受觀察者主觀判斷影響，難以保證資料的一致性與可重複性。例如不同觀察者可能對於「活動異常」或「互動減少」的定義有所不同，即使在相似情境下，也可能出現評估結果的偏

差。

其次，部分壓力或疾病症狀於外觀未必立即顯現，恐導致延遲診斷與處置。某些生理異常（如慢性發炎、內分泌失衡）在早期並不會反映於外觀或行為，而是潛伏於體內，直到症狀已達一定嚴重程度才被察覺，此時往往已錯過最佳介入時。此外，有些行為改變可能為緊迫反應的指標，但若無配合生理或環境資料進行對照，則難以準確判讀其成因。例如高頻率的垂直浮動可能源自環境壓力，也可能與社群結構改變有關，需多重資料輔助才能進一步釐清。

然而，過去常以活動量、食慾變化及表慢外觀為主的經驗性觀察方法，仍難以明確掌握內在生理變化。例如對於血液中緊迫荷爾蒙或免疫指標的監測，能提供更具時間敏感性且客觀的資料來源，補足僅依觀察所得之侷限。而微生物群落結構的變動，亦可能反映動物免疫系統與整體健康狀況的改變，是過去方法 容易忽略的重要層面。總體而言，這些限制突顯出傳統監測方式仍有所不足，進一步顯示本計畫導入多層次資料整合與客觀指標開發的必要性。

因此，本計畫藉由建立多樣性整合群體行為觀察、個體生理參數與個體微生物群落資料的多層次監控系統，補足過去監測手段的不足。利用收集群體行為資料、群體聲音資料、個體生理檢測數據（如血液中荷爾蒙濃度、免疫細胞比例），並針對該個體呼吸孔與直腸糞便採樣進行微生物群落的 metagenomics 分析。將這些資料與外部環境變數以及特定人為事件進行同步記錄與交叉比對，建立一套可量化並具高度敏感度與特異性的監控指標系統，期能突破以往單一資料來源分析的侷限。

此外，本計畫亦引入時間序列資料分析與事件關聯模型，探索行為與生理反應變化在事件發生前後的動態差異。例如在訓練或動態展示內容調整前後，

是否出現特定發聲模式改變或緊迫荷爾蒙升高的趨勢；或微生物群落是否產生結構性變異。透過這些資料之間的系統性整合與關聯性探索，我們可進一步辨識最具預測價值的核心指標。

透過跨領域整合分析，本計畫期望初步檢驗於不同環境與情境下穩定表現、能早期預警壓力或健康異常的核心項目，作為下一階段重複驗證之基礎。這些指標可用於日常健康監控，也可提供潛在事件發生前的預警訊號，協助圈養單位預先介入，降低風險與損害。最終目標為建立一套適用於主管機關與圈養單位管控的評估工具，使飼養人員得以即時偵測並調整飼養策略，有效提升動物福利與健康管理成效，並作為未來政策制定與國內動物保護規範改善的重要依據。

1.2 背景分析

圈養鯨豚所處的人工環境與野外自然棲地存在顯著差異，包括空間限制、社群結構變化、人為干預頻率高等因素，均可能對其行為表現與生理狀態產生緊迫效應。這些可能會導致鯨豚改變成與野外環境有差別之行為，如社交、覓食與遷移行為，進而可能引發情緒緊繃、免疫力下降與內分泌異常等問題。與自然棲地相比，人工環境的變數變化更為頻繁，若人流過於密集與日常活動過於高度規律的情境下，鯨豚可能經歷刺激形式單一、密度高，可能造成感官過度刺激與慢性緊迫。

目前國內外雖有若干圈養健康監控之實務經驗，例如部分機構已導入行為評分表或定期的體檢制度，然而這些方法大多偏重單一層面的評估，缺乏能夠跨行為、生理與環境進行整合分析的機制。此外，這些監測方式常見資訊斷層現象，例如行為觀察與生理數據之間未能建立明確對應，導致監控結果難以解釋，也無法用以做出即時管理決策。敏感指標的驗證亦是一大缺口，過去即便有初步指標提出，也常因樣本數不足或標準不一而無法廣泛應用。

此外，尚未有能將群體行為、個體生理與個體微生物群落作為整體監控系統的一部分進行通盤規劃，例如微生物群落的分析較少被檢視與應用，然而已有研究指出微生物組成變化與壓力、疾病之間存在密切關聯，若能納入評估系統，將為動物健康監測開啟新的面向。

本計畫提出創新整合方案，結合多樣性資料並透過時間序列分析，建構一套動態、靈敏、可複製且可擴充的圈養鯨豚健康監控系統。該系統將可做為未來不同機構、不同物種間比較與合作的基礎，也有潛力應用於野放訓練與野外監測之中，長遠而言可提升整體海洋哺乳類保育與管理水準。

1.3 計畫工作內容

1.3.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料

收集及彙整國際水族館或研究設施中，圈養保育類鯨豚動物之行為和身心狀況(包含行為觀察與評估、身體健康與生理指標、動物福祉)及具體研究與案例分析等相關資料。

1.3.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化

1. 鯨豚水面行為觀察記錄：分析國內 (國立海洋生物博物館、野柳海洋世界、遠雄海洋公園等 3 處)圈養鯨豚動物行為，利用視訊設備及手持裝置進行即時記錄以利設計標準化的觀察指標（如活動頻率、社交互動、休息行為、異常行為等），並建立定時與事件觸發式的記錄機制。辦理鯨豚水面行為觀察記錄總時數至少 90 個小時，倘發現動物異常狀況（行為)應立即通報業者，並提供相關專業諮詢。
2. 鯨豚發聲行為記錄：於國內圈養鯨豚動物場域（應包括國立海洋生物博物館、野柳海洋世界、遠雄海洋公園等 3 處)設置水下聲音監控設備，建立音頻資料，針對不同情境下的發聲進行標註與分類。同步記錄行為與環境變數，分析發聲模式與環境狀態的相關性。辦理鯨豚發聲行為記錄總時數至少 1,200 分鐘（有效時數是以可清楚地觀察行為與辨識聲音之資料長度為根據），倘發現動物異常狀況（行為)應立即通報業者，並提供相關專業諮詢。

3. 提出圈養鯨豚水面行為觀察、發聲行為操作指引及記錄成果報告各 1 份。

1.3.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析

1. 利用抽血檢驗進行追蹤緊迫荷爾蒙指標：利用國內 3 處之圈養鯨豚動物進行定期抽血以追蹤血中緊迫荷爾蒙（如 cortisol、aldosterone 等）變化，作為壓力指標，並針對不同情境（例如動態展示活動或訓練前後)下進行不定期抽血檢驗。辦理緊迫荷爾蒙指標總數至少 120 次，倘發現動物異常狀況（行為)應立即通報業者，並提供相關專業諮詢。
2. 進行免疫細胞分析：同步抽取血液樣本，透過自動化血球計數儀進行白血球分類與數量統計。分析免疫細胞比例變化，探討其與壓力、感染或其他健康狀況的相關性。 辦理白血球相分析總數至少 120 次，倘發現動物異常狀況（行為)應立即通報業者，並提供相關專業諮詢。
3. 提出緊迫荷爾蒙指標、免疫細胞操作指引及分析報告各 1 份。

1.3.4 微生物群落的總體基因體分析

1. 噴氣孔與肛門樣本採集並建立總體基因體(metagenomics)流程：制定無菌採樣流程標準，確保樣本不受外源性污染。以定期採集噴氣孔與直腸糞便樣本，並儲存於低溫條件下，進行 DNA 萃取與分析。標準化 DNA 萃取、基因體資料庫建立與高通量定序程序，使用生物資訊平台進行序列比對與群落結構分

析，評估微生物群落變化與動物健康狀態之間的關聯。辦理總體基因體(metagenomics)分析總數至少 60 次。

2. 提出微生物群落的總體基因體(metagenomics)操作指引及分析報告各 1 份，原始資料(Raw data)與分析結果將以硬碟存檔轉交予海保署。

1.3.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索

將行為觀察記錄、生理數據（如荷爾蒙、免疫細胞相變化）、微生物群落 metagenomics 數據，與環境變數（如水溫、季節等）及特定事件（如訓練、檢查、環境干擾等）進行系統整合。透過時間序列與事件前後的比較，找出在緊迫情境下呈現顯著變化的行為模式、生理參數或微生物群落結構，篩選出具有高敏感度與特異性的指標項目，理出在不同情境下均能有效反映動物的緊迫狀態的指標，並提出「多層次數據交叉整合與診斷指標」報告 1 份。

第貳章 計畫背景資料收集

2.1 國內外圈養鯨豚現況

本章將依下列四個面向，說明本計畫之背景基礎與必要性，並佐以近年研究文獻：

根據 World Association of Zoos and Aquariums（WAZA）與 Humane Society International 的報告顯示，截至 2020 年，全球有超過 3,000 隻鯨豚被圈養於各類水族設施中，主要集中於北美、歐洲及東亞地區，且多數作為娛樂或教育展示用途（Rose, Parsons, & Farinato, 2020）。Rose 等人指出，這些圈養機構常無法提供足夠的空間與環境刺激，限制了鯨豚表現其自然行為的能力，如高速游動、深潛、獵食與複雜的社會互動。此外，圈養生活導致動物處於高度人為控制之下，其日常作息與野外族群大異其趣，造成生理與心理健康的潛在風險。

研究指出，圈養虎鯨的平均壽命約為野外族群的一半，圈養個體的平均年齡為 12 至 15 歲，而野外可達 30 歲甚至更長。Jett 與 Ventre（2015）針對美國 SeaWorld 資料進行分析，發現高達 60%的圈養虎鯨出現嚴重牙齒磨損，需定期進行牙科處置，這些問題與圈養中反覆啃咬池壁或金屬設施有關。同時，多數圈養虎鯨出現背鰭下垂現象，這在野外個體中極為少見，可能反映鯨魚組織張力、健康或心理狀態的異常。

在圈養瓶鼻海豚方面，Clegg 等人（2017）於其福利評估研究中指出，圈養個體常呈現行為單調與刻板行為，特別是在缺乏社交互動或環境刺激變化的場域中更為明顯。他們發展出 C-Well welfare index 來量化這些行為指標，

並認為與設施類型、互動頻率、群體組成等變因密切相關。Champagne 等人（2012）則進一步從生理層面探討圈養海哺類的緊迫荷爾蒙變化，發現長期圈養個體的 cortisol 濃度在無外部刺激下仍顯著高於野外群體，顯示不當的圈養生活可能構成慢性壓力來源。

根據臺灣動物社會研究會與黑潮海洋文教基金會的調查與倡議報告指出，目前合法飼養鯨豚的單位包括國立海洋生物博物館（海生館）、野柳海洋世界與遠雄海洋公園等，飼養物種主要為瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*），另有少數飼養白鯨（*Delphinapterus leucas*）與其他 pinnipeds（鰭腳類動物）如海獅等（臺灣動物社會研究會與黑潮基金會, 2015）。這些海洋哺乳類多為 1990 年代至 2000 年代初期自野外捕獲或繁殖所得，目前年齡普遍偏高。根據該基金會在 2021 年所公開的報告，圈養海豚個體中多已顯現年齡相關的健康問題，包括關節退化、牙齒損耗、皮膚病變與慢性疾病等。基金會透過觀察與專家訪談指出，部分個體也出現行為異常，例如長時間靜止、社交意願降低、反覆游動等刻板行為，可能與飼養環境刺激不足或人為干擾頻繁有關。

然而，目前尚缺乏針對臺灣圈養鯨豚健康狀況的系統性研究，亦無公開發表之學術期刊能提供長期追蹤資料。臺灣動物社會研究會與黑潮基金會曾指出，臺灣水族設施多以管理經驗與現場飼育觀察為主，欠缺跨單位共享健康資料的統一平台。此外，現行法規對於圈養鯨豚的健康監控缺乏明確規範與科學指標，導致即使出現生理或行為異常，也未必能有效即時因應。

因此，未來若欲強化圈養鯨豚的健康管理與動物福利保障，勢必須建立具科學基礎的監控體系，並透過公開透明的資料累積，促進跨機構合作與政策修訂。臺灣動物社會研究會與黑潮基金會呼籲應引進包括非侵入性生理監測、

微生物分析與標準化行為評估等方法，以填補現階段資訊不足的空缺，提升臺灣圈養鯨豚管理之科學性與社會信任。

綜合上述文獻可知，無論是在國際還是國內情境中，圈養鯨豚雖有教育與娛樂功能，卻也面臨潛在的福利風險與健康挑戰。隨著動物福利倫理與社會關注的升高，建構更科學化、標準化且多層次的監測體系已成為國際趨勢，為後續飼養策略與政策制定提供依據。

2.2 動物福利評估趨勢

隨著動物倫理學與保育科學的興起，「動物福利」一詞的內涵已遠遠超出過去僅止於身體健康的層次，而涵蓋心理狀態、行為自主性與環境適應能力。近年來的理論發展與實務應用，逐漸聚焦於綜合性動物福利評估方法，強調生理、行為與環境三者整合的監測系統。在這樣的背景下，國際間逐步形成一套以科學指標為基礎的「動物福利評估架構」（Animal Welfare Indicators, AWIs），尤其在圈養野生動物領域，獲得廣泛應用與關注。

英國 Animal Welfare Committee 提出的「五大面向福祉模型」（Five Domains Model）是目前國際間應用最廣的架構之一。該模型由 Mellor 等人（2015）發展，強調動物福利須從五個面向進行評估：(1)營養狀況、(2)環境條件、(3)健康狀態、(4)行為表現、(5)心理狀態。前三者為生理性因素，後兩者則屬心理層面，整體構成動物正負向經驗的來源。此模型的重要性在於其明確區分出感知層面的主觀經驗，並鼓勵監測方法朝向量化與客觀化邁進。

以圈養哺乳動物為例，Mason 與 Veasey（2010）曾指出，傳統以飼養員觀察記錄為依據的判斷過於主觀，且難以評估動物的內在感受。他們主張應將行為學、神經生理學與內分泌指標整合進動物園監控機制中，並強調刻板行為、

行為多樣性、互動選擇性等為關鍵行為指標（behavioral indicators），可用於識別壓力與福利受損的早期徵兆。

在實務應用上，Clegg 等人（2015）開發出一套針對圈養瓶鼻海豚的福利評估系統，稱為 C-Well Welfare Index。該指標系統根據五大類別構建評量標準，包括社交結構、活動多樣性、餵食模式、醫療記錄與聲音反應。透過長期追蹤，他們認為活動種類多樣、社交頻繁、聲音表現正常的個體，其福利評等顯著較高。這項研究證實福利指標具有可行性與科學效度，且可用於評估不同設施管理下動物福利的差異。

除了行為觀察外，動物福利研究亦日益重視生理資料的導入。例如血中皮質醇（cortisol）、免疫反應細胞變化、心跳變化率（HRV）等均為目前可能使用的壓力與福利評估指標。Champagne 等人（2012）對圈養海哺類進行的內分泌監測顯示，即使在無明顯外部刺激情況下，部分圈養個體仍呈現高濃度 cortisol，可能顯示慢性壓力反應的長期存在。此結果亦突顯傳統以行為為主的評估方式無法全面掌握動物內在生理壓力。

綜合上述可知，當前動物福利評估已進入跨領域整合階段，不僅納入行為觀察，更融合生理指標與環境監測數據，逐步形成一套科學、標準化與可操作的指標體系。未來在鯨豚圈養環境中，應進一步應用此類評估工具，並針對不同個體、設施與事件進行精細化分析，方能確保每一隻動物在其生活環境中皆能享有最佳之生理與心理福祉。傳統以外觀與行為評估為主的健康評估，逐漸轉向更全面的動物福利指標（Animal Welfare Indicators, AWIs），並強調結合生理、行為、環境三方面的量化方法（Mason & Veasey, 2010）。例如英國 Animal Welfare Committee 倡議使用五大面向福祉（Five Domains Model）

評估圈養野生動物，涵蓋營養、環境、健康、行為互動與心理狀態（Mellor et al., 2015）。

2.3 現有監控技術之比較分析

當前圈養鯨豚健康與行為監控技術的發展呈現多元化趨勢，從傳統的行為觀察到新興的生理指標與微生物監測系統，各機構所採用的工具與方法不盡相同。然而，多數設施仍偏重單一指標的記錄，缺乏跨層次、跨領域的整合架構，導致監測成效有限。

在行為監控方面，目前多數水族設施仰賴飼養員每日記錄活動狀況，包括進食量、社交互動、游泳軌跡與休息行為等。然而，這些記錄極度仰賴人員主觀判斷，缺乏一致性與量化標準，且常因觀察者經驗與場域環境不同而產生偏差。部分機構導入標準化行為打分表（如 C-Well Index）以改善此問題，但仍受限於人力與訓練資源分配（Clegg et al., 2015）。

聲學監測則逐漸成為近年新興的技術之一。鯨豚具高度發達的聲音感知與訊號傳遞能力，其發聲行為可視為行為狀態與環境感知的重要指標。一些研究指出，不同情境（如壓力事件、社交互動或獵食模擬）會誘發特定類型的聲音訊號（Ridgway et al., 2012）。目前已有設施開始在池邊安裝水下麥克風（hydrophones）進行長期聲學記錄，並嘗試與行為表現交叉比對，然而聲音資料的分析門檻高，需依賴聲學專業人員與演算法協助進行模式辨識。

在生理監控方面，血液檢測仍為最直接且具診斷價值的方法。透過抽血分析緊迫荷爾蒙（如 cortisol、aldosterone）與免疫細胞組成，可判斷個體是否處於慢性緊迫或感染狀態。Champagne 等人（2012）發現，圈養海洋哺乳類即便無明顯環境變動，也可能因長期處於人工控制情境中而產生高濃度 cortisol，

反映其潛在慢性壓力負荷。但實務上，由於抽血需麻醉或擾動個體，易對動物造成二次壓力，因此多數單位無法定期進行，限制了其作為常態性監控工具的可能。

近年亦有研究關注非侵入式監控技術的發展，如糞便激素檢測、皮膚組織採樣或呼吸孔揮發物分析（blow sampling）。其中，呼吸孔微生物群落的 metagenomics 分析已被證實可反映出免疫反應與緊迫狀態（Wan et al., 2022），並有潛力發展成為具體指標系統。然而，此類方法需依賴 DNA 萃取、定序與生物資訊分析平台，尚未普及至多數設施常規應用中。

環境監控則涵蓋水質、光照、溫度、pH 值與背景噪音等變因。其中，噪音被認為是圈養設施中最顯著的人為壓力源之一。根據臺灣動物社會研究會與黑潮海洋文教基金會（2015）針對臺灣某海洋樂園的空氣聲音環境調查，發現場館內聲音多來自背景音樂、擴音器與遊客吵雜聲，峰值音量常達 90 至 100 dB，報告中提出，這可能高於鯨豚可忍受的閾值，恐對其聽覺與神經系統造成慢性影響。此論點的正確性還需水下錄音數據以供討論，不過，聲音環境之控管應納入設施設計與管理標準中。

綜觀，目前應用於圈養鯨豚的監控技術，雖各具特色，但多仍處於各自為政的階段，缺乏整合分析框架與長期數據儲存平台。此外，監控資料與事件記錄（如訓練、醫療操作或環境變化）常未建立時間對應關係，使得後續分析無法明確推論因果。本計畫提出以跨領域整合為核心理念，透過建立群體行為、個體生理與個體微生物資料的同步記錄與關聯建模，補足目前監控技術碎片化與低敏感度的問題，並為圈養鯨豚的健康福祉管理開啟新方向。目前圈養機構常用的監控方法包括：行為觀察表、餵食記錄、定期血檢及外觀記錄等，但多屬

單一面向，且資訊整合性不足（Clegg et al., 2015）。部分進步機構已導入水下聲學監測與心跳記錄器，但多仍處於初步應用階段，缺乏標準化分析流程。

2.4 相關研究基礎與趨勢

圈養鯨豚的生理與微生物監控方法，正成為新興的研究與應用焦點。過去多數鯨豚健康評估研究集中於外觀與行為，但隨著分子技術與微生物組學的快速發展，越來越多學者開始關注微生物群落在動物健康監測中的潛力，尤其在非侵入式樣本來源方面，如呼吸孔分泌物、皮膚表面與腸道代謝產物等，均為研究突破點。

Nelson 等人（2015）在其發表於《Microbiology Australia》的研究中指出，海洋哺乳動物的微生物組成與宿主健康密切相關，微生物多樣性變化可反映免疫狀態、壓力反應與環境干擾。他們呼籲建立系統性的微生物監測資料庫，以強化海洋哺乳動物的保育與健康管理。Apprill（2017）則進一步指出，微生物群落變動可作為生態系變化的早期預警指標，尤其在面對快速變化的海洋環境與圈養壓力下，宿主與微生物的互動變得更加敏感且易受干擾。

鯨豚呼吸孔樣本的應用方面，Wan 等人（2022）針對瓶鼻海豚進行為期數月的現場研究，透過非侵入性方式收集呼吸孔水氣樣本，並進行 16S rRNA 高通量定序。研究結果顯示，在急性緊迫事件（如體檢與轉場）後，個體的呼吸孔微生物多樣性顯著下降，且部分致病菌比例上升，推論與免疫壓抑有關。這項發現支持微生物群落可作為健康與壓力狀態的替代指標，具有實用潛力。

除了微生物層面，內分泌與免疫指標也為重要的生理監測工具。Champagne 等人（2012）以圈養海哺類為研究對象，檢測其血液中皮質醇濃度，發現即使在無明顯壓力刺激情境下，部分個體仍長期維持高濃度 cortisol，

顯示人工環境可能對生理系統造成潛在慢性影響。該研究亦指出荷爾蒙變化與免疫細胞比例有高度相關性，特別是單核球、嗜中性球與淋巴球的比例波動，可能為疾病或長期緊迫的早期警訊。

結合這些研究可見，單一資料來源難以充分掌握動物整體健康狀態，而跨層次資料整合提供了更細緻與全面的分析架構。目前已有部分研究嘗試整合行為、生理與微生物資料進行機器學習建模，用於識別異常模式與預測健康風險，雖仍處起步階段，但已展示極大潛力。

此外，臺灣動物社會研究會與臺灣黑潮海洋文教基金會於 2015 年所發表的圈養海豚表演倡議報告中，亦提出呼籲：應引入非侵入式檢測方法，強化長期資料累積，並透過跨機構合作建立標準化流程與資料共享平台。該報告中特別指出，在當前動物保護法規尚未針對鯨豚圈養提出具體監測規範的情況下，民間科研單位與水族設施應主動研發科學工具，以利未來政策推動。

總結而言，結合分子生物學、行為科學與資料科學的跨領域健康評估方法，已成為圈養鯨豚研究的新方向。可預期 metagenomics、免疫指標與長期行為資料庫的建立，將共同構築出一套敏感、準確且實用的圈養鯨豚健康預警系統。

第參章 工作執行方式

本計畫透過整合圈養鯨豚之行為、生理與微生物資料，提供未來進行系統性分析各資料模態在特定事件（如訓練活動、展示安排或醫療介入）前後的變動趨勢與互動關聯，進一步探索跨領域資料在壓力反應偵測與健康風險辨識上的應用潛力。本目標旨在找出鯨豚遭遇動態展示方式調整時，有助於鯨豚動物福利監控之目標，這些具敏感性與特異性的變化指標包括但不限於荷爾蒙濃度變化、行為活動頻率下降、或微生物群落多樣性降低與致病菌上升等訊號。對應各項工作內容於各小節內分別詳述。

3.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料

目標：建立系統化的知識基礎，掌握國際間針對圈養鯨豚於行為、生理與福祉評估上的研究進展與應用實例。此目標在分析各監測技術的優勢與限制，並提供後續本土化標準設計、操作指引制定及跨設施應用之參考依據。透過文獻與案例分析，本項工作將作為整體評估系統建構的基礎。

執行方式：

1. 擬定系統性文獻收集策略：根據 PRISMA 系統性回顧準則設計搜尋邏輯，於 PubMed、Scopus、Web of Science 及 Google Scholar 等國際資料庫使用關鍵詞（例如“captive cetaceans,” “behavioral welfare,” “stress biomarkers,” “microbiome,” “captive dolphin monitoring”）進行系統性檢索，預計納入過去十年內之相關期刊文獻。
2. 建立文獻分析資料庫：使用 Excel 或 NVivo 建立具結構性的資料庫，針對各文獻內容進行編碼與標記。分類欄位包含物種別、行為監測指標類

型、生理參數（如皮質醇濃度、心跳變異度）、監測與檢測方法、樣本數、記錄頻率、實施成本、倫理與干擾等級等，利於後續整合比較與適用性篩選。

3. 收集應用實例與會議資料：收集國際動物園與水族館協會（如 EAZA、AZA、IAAAM、EAAM）之年會論文摘要集與技術報告，並進行案例選擇分析。例如 Loro Parque 針對虎鯨的多面向健康監控系統，以及 Baltimore National Aquarium 於瓶鼻海豚實施之聲學監控與免疫數據整合策略進行研究，並製作流程圖與資料關聯矩陣呈現其監測系統邏輯。
4. 撰寫報告成果：《國際圈養鯨豚動物福利監測方法概述》將彙整指標項目與實施條件，提供指標分類比較表、觀察與檢測方法之技術評估、適用性條件與潛在風險因素分析，並於附錄納入各項技術操作參數與未來本土化實施建議。

3.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化

目標：制定一套具備標準化程序與可量化指標的圈養鯨豚群體行為監測方式，涵蓋「群體水面行為」與「群體水下聲學行為」兩大層面，並使之運用於國內各類圈養設施。此目標在提升觀察資料的準確性、重複性與跨場域比較性，同時作為異常行為預警與健康風險辨識的重要依據，為後續生理與微生物監測提供整合基礎。

執行方式：

（一）群體水面行為觀察記錄：

1. 於三處設施（海生館、野柳、遠雄）安排觀察時段，例如分早、中、

下午三時段，每次觀察約 1 小時，總時數達 90 小時以上。

2. 可使用高解析度監控攝影機（至少 1080p）安裝於主要觀察水池，同時由現場人員使用平板或手持裝置（可搭載行為標註 App，如 BORIS 或 Observer XT）進行同步標記。
3. 建立行為分類系統（ethogram）建立觀察記錄，列出鯨豚日常生活中可觀察的行為類型，例如活動行為（如高速遊泳、跳躍、環繞游動等）、社交行為（如追逐、身體接觸、同步呼吸）、靜止行為（如懸浮不動、停留水底）、探索與互動行為（與物件互動、對環境產生反應）以及異常或刻板行為（如重複固定軌跡游動、持續發出聲音、長時間孤立等）（如下表）。觀察記錄表將採用 5 分鐘連續取樣法以掌握時間內行為頻率與變化趨勢，並輔以事件觸發記錄機制（event sampling），針對如訓練方式調整、醫療操作等特定刺激下的行為反應進行標記。所有觀察記錄將對應至 Excel 時間軸資料庫，以利與聲學、生理或環境資料進行整合分析。

表一、水面行為圖譜

編碼	行為類型	行為	定義
AFT	狀態事件	互相觸碰 Affiliative Tactile	- 利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
AGT	點事件	競爭性觸碰 Agonistic Tactile	- 非友好地利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
BIT	狀態事件	咬 Biting	- 閉合吻部使上下顎牙齒得以捕捉到另一隻鯨豚的身體任何一部分；或利用牙齒在另一隻鯨豚身體任何一部分造成刮痕
BRE	點事件	躍身擊浪 Breaching	- 鯨豚跳離開水面，在入水時以身體擊水造成水花
CHA	狀態事件	追趕 Chasing	- 高速游向另一隻鯨豚，頭部方向對準另一隻鯨豚的尾鰭
CHU	點事件	用力噴氣 Chuffing	- 短促、強力且大聲的呼氣
CIS	狀態事件	重複繞圈 Circular Swimming	- 以重複固定的路線繞圈游泳三次或以上
FAS	狀態事件	快速游泳 Fast Swimming	- 鯨豚快速往單一方向游泳 3 秒或以上，並在水面形成水花（沒有追趕其他鯨豚）
FLO	點事件	倒立舉尾 Fluke out of the water	- 鯨豚垂直倒立在水中，頭部朝向水底，尾鰭與尾幹露出水面
JAC	點事件	吻部用力開合	- 吻部高速開合，閉合過程中發

		Jaw Clapping	出明顯聲響
JUM	點事件	跳躍 Jumping	- 明顯的空中運動，鯨豚整隻從水中跳出，所有身體部分都離水
LAN	狀態事件	上岸 Landing	- 鯨豚離開水池，在陸地上靜止移動
LIE	狀態事件	伏下 Lying	- 鯨豚在水中或水底靜止移動
OTH	狀態事件	其他 Other	- 任何未有歸類的行為
PLE	狀態事件	使用環境豐富物 Playing with Enrichment	- 鯨豚以身體任何一部分與環境豐富物互動
PLW	狀態事件	玩水 Playing with Water	- 鯨豚張開嘴巴並含著一定份量的池水，然後從嘴裡加壓，讓池水如同噴水池一樣從牙齒間噴出 - 用胸鰭拍打池水，讓飛濺的水花滴回身上
POR	狀態事件	豚游 Porpoising	- 週期性連續躍出水面的前進動作，當鯨豚的頭部進水時，尾鰭會離開水面
REG	狀態事件	吐食 Regurgitation	- 鯨豚把食物或胃內容物從口中吐出
RES	狀態事件	休息 Resting	- 鯨豚靜止移動並浮在水面
RUB	狀態事件	摩擦 Rubbing	- 鯨豚利用身體任何一部分，與水池的牆壁、閘門、池底或任何水池的部分摩擦

SLA	點事件	拍打 Slapping	- 以尾鰭、胸鰭或頭部拍打另一隻鯨豚的身體任何一部分
SOP	狀態事件	社交玩耍 Social Play	- 兩隻或以上的鯨豚交錯游泳，游泳的模式和規律會隨之而改變 - 兩隻或以上的鯨豚同時與用一件環境豐富物互動
SPO	狀態事件	S 形姿勢 S-Posture	- 鯨豚弓起身體，呈 S 形
SPY (P)	點事件	浮窺（點） Spyhopping	- 鯨豚垂直在水中，頭部和眼睛離開水面，及後在沒有造成水花的情況下回到水中
SPY (S)	狀態事件	浮窺（狀態） Spyhopping	- 鯨豚垂直在水中，頭部離開水面，及後在沒有造成水花的情況下回到水中
SWI	狀態事件	游泳 Swimming	- 鯨豚以背鰭朝上的方式往前游，泳速平均而穩定 - 鯨豚以背鰭朝下的方式往前游，泳速平均而穩定 - 鯨豚以背鰭與水面呈水平的方式往前游，泳速平均而穩定
SYS	狀態事件	共游 Synchronous Swimming	- 兩隻或以上鯨豚一起以相近的速度和深度游泳，而且游泳和呼吸的節奏相同
TAL	點事件	尾鰭擊浪 Tail Lobbing	- 鯨豚於水面拍打尾鰭，造成水花

4. 建立數據品質檢核機制，規劃每週定期進行抽樣回放監視器錄影畫面，

針對相同時間點的行為片段，由兩位或以上受過訓練的觀察員獨立進行行為標註與分類。比對項目涵蓋行為類型判別、事件標記的準確性、行為出現的時間點、持續時間與重複頻率等關鍵指標，並記錄是否有觀察誤差或定義不一致的情況。資料彙整後將採用統計方法例如組內相關係數（Intraclass Correlation Coefficient, ICC）以 ICC 值達 0.8 作為最低一致性標準。若 ICC 值低於門檻，將針對誤差來源進行追蹤分析，安排觀察員參與再訓練，並重新比對訓練樣本，以強化對行為定義與分類標準的掌握。

5. 利用統計學分析不同環境條件下的水面行為變化

為釐清圈養鯨豚在各種環境條件下的行為差異，未來將可採用以下統計方法進行分析：

(1) 描述性統計分析：首先針對每一環境變項分類（如高/中/低訓練或展演內容），計算主要行為指標（如跳躍頻率、社交互動次數、靜止時長等）的平均值、標準差與範圍，掌握整體分布趨勢。

(2) 變異數分析（ANOVA）或多變量變異數分析（MANOVA）：若有三種以上的環境條件分類，透過單因子或多因子變異數分析，檢視不同環境條件下鯨豚行為表現是否存在顯著差異，並可進行事後比較（post-hoc tests）如 Tukey HSD 以確定哪些組間存在差異。

(3) 線性混合模型（LMM）：考慮鯨豚個體間差異，將個體編號設為隨機效應，環境變項作為固定效應，探討特定環境變項

對行為頻率的影響，並控制個體差異。

(4) 重複測量分析（Repeated Measures ANOVA）：當同一個體在不同時間點或不同環境條件下被重複觀察時，可使用此方法評估行為變化趨勢。

(5) 時間序列分析（例如 Autocorrelation、Cross-correlation、ARIMA）：若資料具有連續時間順序，可分析行為模式是否隨環境條件變動而改變，並識別延遲效應或預測行為變異點。

(6) 主成分分析（PCA）或因子分析：將多種行為變項整合簡化為數個潛在指標，協助辨識行為群聚模式，並觀察在不同環境下其分布是否一致。

(7) 相關性與迴歸分析：探討特定環境變數（如溫度、水質指標、噪音）與特定行為變數（如叫聲頻率、社交時間長短）之間的線性或非線性關係。

上述統計結果結合視覺化圖表（如箱形圖、熱點圖、趨勢線、群聚圖）呈現，並與其他生理或聲音資料交叉比對，建立多面向的行為解釋模型。

6. 若觀察到異常行為（如暴力互動、進食減少、長時間孤立等），立即截取影片片段、註記異常事件，並聯絡設施獸醫與飼養人員共同研判並啟動應對建議流程

（二）群體發聲行為監測：

1. 研究人員在每處設施主要表演或生活水池以至少 1 組水下聲學監控系統（hydrophone + 記錄器）進行錄製群體圈養鯨豚發聲行為，支援持續錄音與聲學頻譜記錄，儀器規格為收錄在 20 Hz - 150 kHz 頻率範圍間的聲音，具備至少 96 kHz 的取樣頻率，錄音格式為 16-bit WAV，並能支援長時間錄製與自動分段儲存功能，以便於後續分析與備份。
2. 每次聲音記錄應與同步的環境與行為觀察資料連結，由訓練過的操作人員標示特定事件，例如餵食、表演訓練、遊客靠近、獸醫介入等，並同步記錄環境變數（如背景噪音分貝、水池區域、天氣等）。每次錄音預計涵蓋 30 分鐘以上時段，以捕捉背景與事件前後聲音變化。
3. 所得音訊資料將利用開放或商業聲學分析工具（如 Raven Pro、PamGuard、LTS Analyzer）進行聲紋分析與分類，將聲音依特徵分類為哨聲、脈衝聲、爆裂音、社交叫聲等類別（如圖 3.2.5)。分析內容包括每類聲音的頻率分布、時長、重複出現的時間間隔與變異度，並與行為與環境事件對照，分析其時序性與重現性。
4. 若錄音資料中偵測出潛在異常聲音樣式（如尖銳突然升高的頻率波段、反覆出現的聲音等），針對這些片段將配合影片與行為記錄進行回溯分析，確認是否伴隨異常行為（如逃避、靜止不動、聚集或驚跳等），並撰寫異常聲音事件報告，通報設施主管與獸醫人員。
5. 所有聲學資料應定期備份並整理為可供視覺化分析的 Excel 資料庫，搭配統計圖表（如聲音出現熱點圖、事件前後音型變異線圖）協助識別高緊迫或高互動時段之聲學特徵，並可作為未來風險管理與動物行為預測之應用基礎。

圖 3.2.1　　本計畫所使用之水下錄音設備

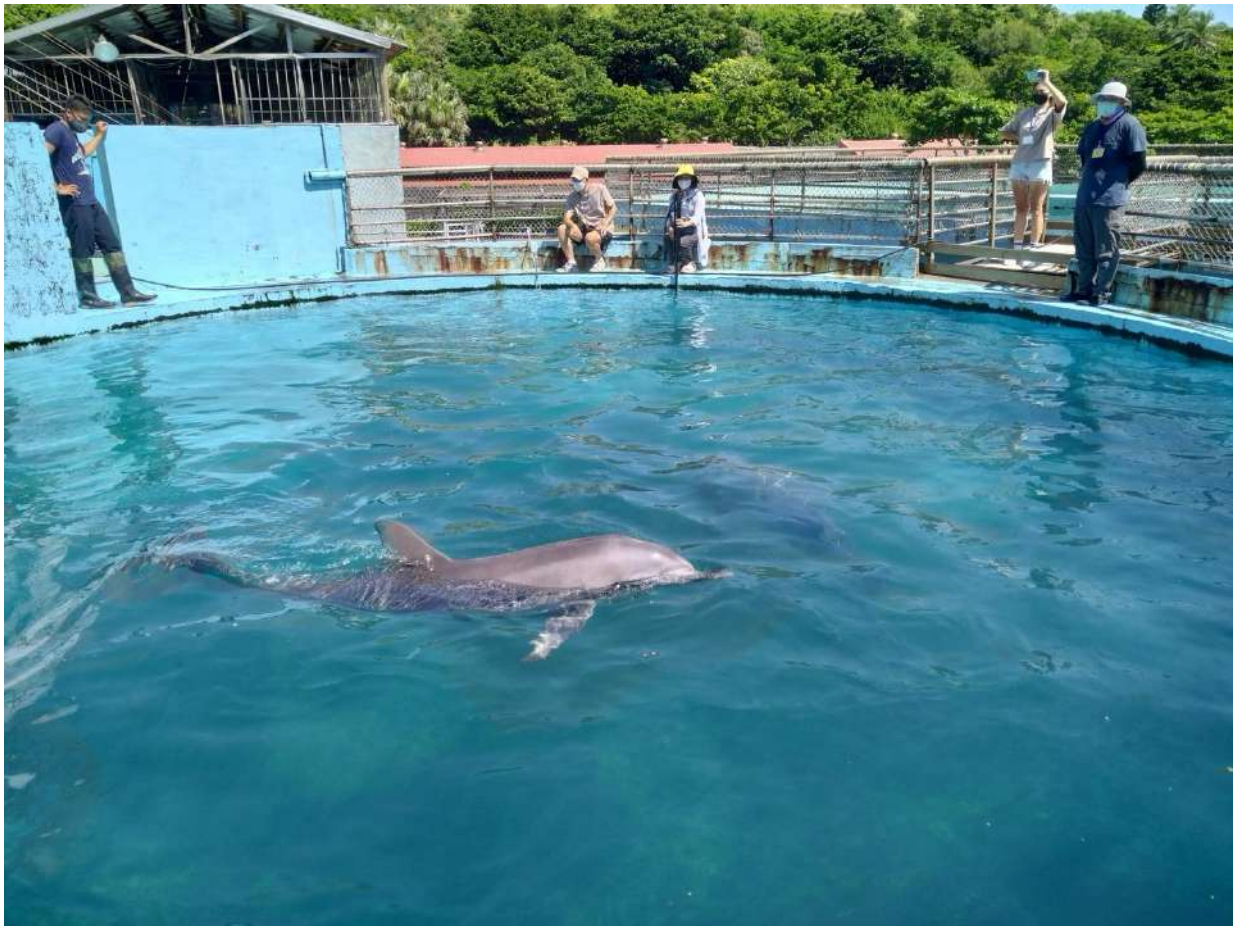


圖 3.2.2　　本計畫人員進行水下錄音工作照片

（三）成果彙整：

1. 撰寫《圈養鯨豚水面行為觀察操作指引》1 份，內容詳列各類行為定義、錄影布點原則、觀察時段建議與標記流程，並附錄行為記錄表範例與標準化編碼系統，利於不同場館之間的資料一致性與後續比對。
2. 撰寫《圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引》1 份，內容涵蓋水下錄音設備之安裝建議、錄音參數設定（如取樣率、時間範圍、儲存格式等）、行為事件與聲音訊號之對應方式、異常聲型辨識原則與聲紋樣本圖，提供基礎應用者與進階分析者之參考依據。
3. 製作《行為與聲音綜合分析報告》1 份，彙整至少 90 小時水面行為觀察記錄與 1,200 分鐘水下發聲樣本分析結果，內含統計摘要（如行為頻率分布、聲音類型出現次數、事件對應聲型模式）、可視化圖表（如趨勢圖、熱點圖、相關矩陣等）與應用建議。報告中將說明資料處理流程、分析工具選擇邏輯、敏感指標篩選準則，並提供未來研究與常規監測建議方向，以利不同場域應用與政策推廣。考量各場域條件差異大，配合度影響實際樣本數，預期遠雄樣本數可能較多；國立海洋生物博物館無展示改變，樣本數可能較少，作為對照參考；會儘可能將野柳與遠雄的樣本量能平均。採樣頻率尚待與主管機關討論後敲定。

3.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析

目標：建立一套科學、標準化且具時效性的圈養鯨豚個體生理監測流程，能夠敏感且可靠地反映動物在不同環境與事件刺激下的壓力反應與免疫狀態。此系統將涵蓋壓力荷爾蒙（如 cortisol 與 aldosterone）與免疫細胞比例等指標，藉由定期與情境特定之抽血檢測，搭配個體健康歷程建檔，發展可即時追蹤健康

變化並提供早期預警的生理評估架構。

執行方式：

（一）荷爾蒙指標追蹤至少 120 次：

1. 與三處合作場館（海生館、野柳、遠雄）協調，訂定年度抽血計畫，明確規劃每月固定抽血時程與檢測目標，並於鯨豚參與特定行為事件（如醫療訓練、轉池作業、密集互動展示後）追加不定期抽血，以利了解事件前後生理反應。
2. 抽血操作前，透過正向強化訓練讓鯨豚逐步習慣採血情境，包括平台靠岸、靜止姿態與尾鰭伸出等動作，降低操作時的不適感與風險，避免使用鎮靜或強制壓制方式，以保障動物福祉與數據準確性。
3. 採集後的血液樣本需即刻置入冷鏈保存容器（如 4°C 冰袋），及時運送至合作實驗室。檢測流程以 ELISA（酵素免疫分析法）為主，定量分析血漿中 cortisol 與 aldosterone 濃度，並建立個體專屬生理基準值，作為日後異常偵測之參考。
4. 每次抽血時配合記錄採樣時間、操作人員、動物配合程度、當時環境參數（溫度、噪音、活動密度）與設施事件背景，輸入生理資料 Excel 管理，包括時間軸與個體對應，便於日後進行統計趨勢分析與整合應用。
5. 對每一隻參與此計畫接受抽血檢驗的個體，建立其專屬之荷爾蒙濃度時間序列與變異範圍，並使用 Z-score 計算各測值與個體基準值（mean ± SD）之偏差程度。當任一荷爾蒙指標（如 cortisol 或 aldosterone）偏離該個體基準值超過±2 個標準差（Z-score > 2 或< -2）時，視為生理狀態可能異常，將進行異常偵測程序。因荷爾蒙改變受影響的時間約

為兩天內，因此會包括：回溯檢視異常數值前後 48 小時內之行為觀察記錄與聲學樣本、同步比對當時環境變數（如互動強度、水溫變動、人流密度、背景噪音等），進行多方資料整合分析，以探討是否存在明確的觸發因素或環境壓力源。若資料判讀結果顯示異常，具備重現性或與特定事件明確關聯，則納入異常事件資料庫，供後續飼育團隊早期預警使用。

（二）免疫細胞分析：

1. 抽血樣本將於現場即時分裝，分別用於荷爾蒙與免疫細胞分析。針對白血球檢測部分，使用自動化血球計數儀（如 Sysmex XT-2000iV 或 Beckman Coulter Hematology Analyzer）進行分類統計，涵蓋嗜中性球（neutrophils）、嗜酸性球（eosinophils）、淋巴球（lymphocytes）、單核球（monocytes）等指標，記錄於 Excel 並計算其相對比例與絕對數量，以利比對個體免疫反應趨勢。
2. 每筆樣本皆對應建檔個體 ID、採樣時間、性別、年齡與當日環境條件，由於免疫細胞受影響的時間約為 2-3 天，同時輸入其前 72 小時內行為記錄與重大事件背景（如醫療、搬移、表演等），進行多變項交叉編碼，以建立具解釋性的資料結構。
3. 透過時間序列資料累積與 Z-score 分析，為每個個體建立其免疫指標之變異基線，並以 90%信賴區間定義常態範圍（即上下 5th percentile）。當任何單項比例出現統計顯著偏離，且 Z-score > 2 或 < -2，將進行異常偵測程序。此程序包括：檢視異常數值前後 48 小時內之行為觀察記錄與聲學樣本、同步比對當時環境變數（如訓練強度、水溫變動、人流密

度、背景噪音級數等），進行多方資料整合分析，以探討是否存在明確的觸發因素或環境壓力源。若資料判讀結果顯示異常具備重現性或與特定事件明確關聯，則納入異常事件資料庫，供後續飼育團隊早期預警使用。

（三）成果產出：

1. 辦理緊迫賀爾蒙 cortisol 和 aldosterone 指標及白血球和分析總數至少個 120 次。
2. 撰寫《鯨豚緊迫荷爾蒙監測操作指引》，包含抽血操作 SOP、檢體保存運送流程、檢測儀器設定與數據解讀門檻。
3. 撰寫《鯨豚免疫細胞檢測指引》，內容涵蓋樣本分離處理、細胞分類校正與警示機制建議。
4. 彙整前述兩項數據與案例分析，完成《圈養鯨豚生理監測分析報告》，附圖表與潛在異常情境分析對應處置建議。檢測 cortisol 與 aldosterone 等緊迫相關激素，涵蓋定期與事件前後不定期取樣。結果將用以追蹤個體之緊迫狀態。

3.4 微生物群落的總體基因體分析

目標：建立一套標準化、可重現性高的微生物群落監測與分析流程，作為圈養鯨豚個體健康監控體系中的關鍵模組，進一步探討其於壓力反應與疾病預警中的應用潛力。該流程涵蓋從樣本採集、處理、DNA 萃取、定序技術到資料分析的全流程標準化，並結合行為、生理與環境資料，建立個體微生物群落結構與宿主健康狀態之間的關聯模型。透過多樣性指標（如 Shannon index、Faith's Phylogenetic Diversity）與特徵分類群（如 LEfSe 篩選的生物指標）之比對，評估特定菌群在不同生理與環境條件下的敏感性與特異性，進而發展可用於早期偵測壓力或免疫異常的微生物組生物標記（microbiome biomarkers）。同時，本計畫亦關注資料平台建置與跨年度比較之可行性，以利未來建立長期追蹤資料庫與監控演算法，推進動物福利指標化之實踐基礎。

執行方式：

（一）樣本採集與處理：

1. 訂定無菌採樣 SOP，參考國際文獻（如 Apprill et al., 2017），設計專用採樣套件，如 γ 射線滅菌棉棒、無 RNA 酶處理的冷凍小管、樣本編碼貼紙、採樣記錄單，以及具備溫度監控功能的低溫即時保存裝置，確保從採樣到實驗操作的全流程符合微生物檢體保存與品質控管需求。由受過訓練之人員操作，每次採樣前均應更換手套與消毒操作工具，並使用無菌遮罩以減少氣溶膠污染。
2. 配合該場館之醫療訓練內容，採樣頻率預計與採血同一時間進行，約每月 1 次，並於重大行為事件（如醫療操作、環境改變）前後增加採樣密度，以強化事件比對效力。

3. 噴氣孔樣本將由訓練師引導鯨豚浮出水面進行自發性呼氣，使用無菌培養皿在鯨豚呼氣時擷取氣體冷凝物與分泌物；直腸糞便樣本則由飼養員以拋棄式無菌矽膠吸管採集少量糞塊與黏液，操作過程盡量避免接觸水體以減少環境 DNA 干擾。所有樣本需立即置入預冷之保護管中，並附上完整採樣記錄，包括動物行為狀態、採樣時間、天氣與人流資訊。
4. 樣本現場完成分裝與冷藏處理（以 4°C 冷藏盒儲存）後送回實驗室。樣本進入實驗室後抽取 DNA，DNA 抽取流程將統一採用 QIAGEN PowerSoil Kit 搭配標準離心梯度步驟與雙重清洗程序，確保抽取結果可供後續分析品質要求。以 Nanodrop 及 Qubit 檢查 DNA 濃度與純度（如 A260/280 與濃度 ng/μl）。

5.

圖 3.4.1　　圈養海豚噴氣孔採樣

（二）資料分析：

1. 建立樣本登錄系統，記錄樣本 ID、採樣時間、個體編號、採樣人員、採樣前 48 小時事件記錄與環境參數（水溫、光照、鹽度等）。
2. 使用 Illumina MiSeq 平台進行 16S rRNA 區域的高通量定序。資料過濾與群落分析透過 QIIME2 進行 ASV 辨識與 Alpha/Beta 多樣性計算，再以 LEfSe 進行顯著分類群比較，探索與緊迫/健康變化的關聯。除鯨豚個體的呼吸孔及糞便以外，將依據預算執行狀況評估是否加做水池微生物鑑定。
3. 結果整合至個體健康資料，並與行為、生理記錄交叉分析，以交叉比對探索行為與生理反應變化在事件發生前後的動態差異。例如在訓練或動

態展示內容調整前後是否伴隨微生物群落多樣性下降或致病菌增加等指標。

（三）成果彙整：

1. 辦理總體基因體(metagenomics)分析總數至少 60 次。
2. 撰寫《圈養鯨豚微生物群落 metagenomics 操作指引》，內容含樣本採集準備、現場處理、DNA 萃取、定序參數與資料分析流程。
3. 完成《微生物群落變異與健康狀態分析報告》1 份，針對特定族群之變化趨勢、潛在預警物種與與其他資料源的交互關係進行闡述，並建議未來監測應用模式。

3.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索

目標：透過整合圈養鯨豚之群體行為、個體生理數值與個體微生物資料，系統性分析各資料模態在特定事件（如訓練活動、展示安排或醫療介入）前後的變動趨勢與互動關聯，進一步了解跨領域資料在緊迫反應偵測與健康風險偵測上的應用潛力。本目標在找出鯨豚遭遇動態展示方式調整時，有助於鯨豚動物福利監控之目標，這些具敏感性與特異性的變化指標包括但不限於荷爾蒙濃度變化、行為活動頻率下降、或微生物群落多樣性降低與致病菌上升等訊號。

（一）執行方式：

1. 建立長期整合型資料：採用開放整合系統（如 PostgreSQL + Python Dash/RShiny 介面）進行結構化資料整合，涵蓋時間序列格式的行為觀察記錄、生理指標（如 cortisol 濃度、白血球比例）、微生物群落資料（多樣性指標、特徵菌群）及環境變數（如噪音、訓練內容、互動頻率等）。
2. 導入展示方式變動之時間區段標記設計：將一年內展示安排的主要變動（如表演頻率調整、互動項目更動、觀眾互動密度提升等）以階段劃分方式進行標記，建立「展示變動區段時間表」，作為後續比較之主要自變項分類架構。

   應用統計分析與趨勢建模工具：

   (1) 採用廣義加成模型（GAM）或貝氏時間動態模型，評估各生理、行為與微生物指標於不同展示調整階段間之趨勢變化。

   (2) 計算每一指標的變異幅度、變異率與指標穩定性分數（stability index），辨識受影響最顯著之變項。

   (3) 透過整體相關性矩陣與主成分分析（PCA），瞭解多領域資料間之共

變結構。

(4) 個體層級的生理-微生物變異檔案：針對每隻鯨豚建立年度趨勢檔案，標示其主要福利相關指標在各展示階段之改變型態，並以 Z-score 與 Rolling Mean 等指標標註偏離點，評估是否為預警信號。

3. 季度資料研判會議：邀集行為觀察員、生理資料分析人員、微生物研究團隊、飼育管理者與獸醫，逐季審閱當期數據，討論各領域之變化是否符合預期或是否顯示潛在福利風險，調整後續監測與干預策略。
4. 目前計畫項目設計與 C-Well 國際動物福利評估指標有連結，有涵蓋其大部分核心面向，包括以動物為中心的評估方法，強調直接觀察動物的行為、健康、環境適應等狀態（本計畫為行為、叫聲、緊迫生理、感染、微生物相等），而非僅依賴飼養環境或管理措施。本次計畫的「對照組」即為目前尚未進行展示調整狀態的鯨豚，未來展示方式逐步改變，來觀察動物福利是否同步改善或惡化，故採被動式監測方法（非主動干預），定期觀察其自然變化。計畫成果將建立 3 家場域一年期的基礎資料，可供政府部門未來監督與輔導工作的評估依據，對於 3 家業者建議挑選 1~2 項能例行且可自主管理的方法，將來亦可由業者定期採樣，自行或委託分析，提供主管機關監督輔導。

（二）成果彙整

完成綜整性成果報告：《展示方式調整下圈養鯨豚福利指標變動評估報告》涵蓋：

(1) 不同展示區段下各指標平均值與趨勢圖

(2) 各資料領域初步關聯性分析與變異說明力（Explained Variance）

(3) 個體層級生理-微生物初步評估檔案

(4) 初步建議之動物福利敏感指標清單與預警閾值。

(5) 供未來常態化監測流程導入之初步指標判讀邏輯與管理對應建議。

第肆章 預定進度規劃與進度報告

4.1 期中預定工作進度

依招標文件規定之工作項目進度要求，本計畫於 114 年 10 月 15 日前函送期中報告，達成下列必完成及預期工項，以供機關辦理第 1 次期中審查。

(1) 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料

(2) 建置圈養鯨豚行為指標標準化

(3) 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析

(4) 微生物群落的總體基因體分析

4.2 期末預定工作進度

依招標文件規定之工作項目進度要求，本計畫於 115 年 3 月 15 日前函送期末報告，達成下列必完成及預期工項，以供機關辦理期末審查。

(1) 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料

(2) 建置圈養鯨豚行為指標標準化

(3) 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析

(4) 微生物群落的總體基因體分析

(5) 多層次數據交叉整合與診斷指標探索

4.3 整體計畫執行進度與時程

本計畫於函送期末報告前完成所有工作項目，並於民國 115 年 4 月 15 日前繳交成果報告書及本計畫相關影像、資料電子檔、文件等。期末報告函送後至合約完成期間，除進行報告內容修正外，將持續提供海洋委員會海洋保育署相

關業務諮詢及協助。參與計畫之研究生論文發表前皆會將稿件交與圈養單位及海保署進行確認以避免個別資料外洩。

. 圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用

表 4.4-1　　整體計畫執行進度與時程

重要工作項目	執行進度	114 年			115 年	
		5-7 月	8-10 月	11-12 月	1-3 月	4 月
收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料	工作內容	文獻收集	文獻收集	文獻收集	文獻收集	《國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料整理》1 份
	工作進度	● **完成撰寫《國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料整理》初稿 1 份**		-	● **完成撰寫《國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料整理》1 份**	

.

. 圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用

表 4.4-1　整體計畫執行進度與時程（續）

重要工作項目	執行進度	114 年			115 年	
		5-7 月	8-10 月	11-12 月	1-3 月	4 月
建置圈養鯨豚行為指標標準化	工作內容	觀察鯨豚水面行為、發聲行為	《圈養鯨豚水面行為觀察操作指引》初稿 1 份、《圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引》初稿 1 份	進行鯨豚水面觀察記錄、鯨豚發聲行為記錄	分析鯨豚水面觀察記錄、鯨豚發聲行為記錄	《圈養鯨豚水面行為觀察記錄成果報告》1 份、《圈養鯨豚發聲行為觀察記錄成果報告》1 份
	工作進度	● **完成撰寫《圈養鯨豚水面行為觀察操作指引》初稿 1 份。** ● **完成撰寫《圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引》初稿 1 份。** ● **鯨豚水面行為觀察記錄總計 86 筆資料，共計 42 小時。** ● **鯨豚發聲行為記錄總共 20 筆資料，共計 591 分鐘。**		● **完成撰寫《圈養鯨豚水面行為觀察操作指引》1 份。** ● **完成撰寫《圈養鯨豚水面行為觀察記錄成果報告》1 份。** ● **完成撰寫《圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引》1 份。** ● **完成撰寫《圈養鯨豚發聲行為觀察記錄成果報告》1 份。** ● **鯨豚水面行為觀察記錄總計 137 筆資料，共計 90 小時。** ● **鯨豚發聲行為記錄總共 35 筆資料，共計 1233 分鐘。**		

.

. 圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用

表 4.4-1　整體計畫執行進度與時程（續）

重要工作項目	執行進度	114 年			115 年	
		5-7 月	8-10 月	11-12 月	1-3 月	4 月
建置鯨豚生理數據指標收集與分析	工作內容	設計抽血操作 SOP、設計抽血記錄表	檢測鯨豚血液進行追蹤緊迫賀爾蒙指標、分析鯨豚免疫細胞	檢測鯨豚血液進行追蹤緊迫賀爾蒙指標、分析鯨豚免疫細胞	檢測鯨豚血液進行追蹤緊迫賀爾蒙指標、分析鯨豚免疫細胞	《緊迫荷爾蒙指標與免疫細胞操作指引與分析報告》1 份
	工作進度	● **檢測鯨豚血液緊迫賀爾蒙指標 20 次、鯨豚免疫細胞檢驗 20 次**		● **完成《緊迫荷爾蒙指標與免疫細胞操作指引與分析報告》1 份。** ● **完成檢測鯨豚血液緊迫賀爾蒙指標 168 次、鯨豚免疫細胞檢驗 145 次。**		

.

. 圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用

表 4.4-1　整體計畫執行進度與時程（續）

重要工作項目	執行進度	114 年			115 年	
		5-7 月	8-10 月	11-12 月	1-3 月	4 月
微生物群落的總體基因體分析	工作內容	建立噴氣孔與肛門樣本採樣操作流程	《圈微生物群落總基因體操作指引》初稿 1 份	建立噴氣孔與肛門樣本採樣	分析圈養鯨豚總體基因體	《微生物群落總基因體操作指引》1 份、《微生物群落總體基因體分析報告》1 份
	工作進度	● **完成撰寫《微生物群落總基因體操作指引》初稿 1 份。** ● **已採集 30 個噴氣孔與直腸糞便樣本，14 個樣本已經完成次世代定序，準備進行分析。**		● **完成撰寫《微生物群落總基因體操作指引》1 份。** ● **完成撰寫《微生物群落總體基因體分析報告》1 份。** ● **已採集 115 個噴氣孔與直腸糞便樣本，64 個樣本已經完成次世代定序分析。**		
多層次數據交叉整合與診斷指標探索	工作內容	無	無	無	建立展示變動區段時間表、季度資料研判	《多層次數據交叉整合與診斷指標報告》1 份
	工作進度	-		● **完成《多層次數據交叉整合與診斷指標報告》1 份**		

.

4.4 期末執行進度

本計畫於函送期末報告前完成所有工作項目，並於民國 115 年 3 月 15 日前繳交成果報告書及本計畫相關影像、資料電子檔、文件等。

4.4.1 收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料

- 根據期中審查會議意見繼續精進撰寫《國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料》1 份（附件一）。

4.4.2 建置圈養鯨豚行為指標標準化

- 根據期中審查會議意見繼續精進《圈養鯨豚水面行為觀察操作指引》1 份（附件二）及《圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引》1 份（附件三）。
- 鯨豚水面行為記錄總共至少 90 小時（遠雄 72 小時，野柳 12 小時，國立海洋生物博物館 6 小時）（附件五）。
- 鯨豚發聲行為觀察記錄總計 35 筆資料，共計 1233 分鐘（遠雄 596 分鐘，野柳 457 分鐘，國立海洋生物博物館 180 分鐘）（附件六）。

4.4.3 建置鯨豚生理數據指標搜集與分析

- 完成緊迫賀爾蒙與免疫細胞操作報告指引一份（附件八）。
- 檢測鯨豚血液緊迫賀爾蒙指標至少 120 次與鯨豚免疫細胞檢驗至少 120 次。

4.4.4 微生物群落的總體基因體分析

- 根據期中審查會議意見繼續精進撰寫《圈養鯨豚無菌採樣操作指引》1

份（附件四）。

- 完成採集至少 60 個噴氣孔與直腸糞便樣本（遠雄 38 個樣本分別來自 5 隻個體、野柳 20 個樣本分別來自 3 隻個體、國立海洋生物博物館 6 個樣本分別來自 3 隻個體）（附件七）。

4.4.5 多層次數據交叉整合與診斷指標探索

- 完成初步交叉整合與診斷指標分析（附件九）。

4.5 結論與建議

本年度研究已順利建立圈養鯨豚多層次監測之基礎架構，完成行為觀察、水面與水下聲學資料蒐集流程，以及生理指標與微生物樣本（包含呼吸孔與糞便）之採集與分析標準化方法。同時，本研究亦整合環境變數與人為管理因子，建立初步資料整合與分析框架，為後續多變量分析奠定基礎。

本計畫特別之處為於展演方式調整前即啟動並完成大規模且系統性的資料收集，建立完整之基準資料集，此為相當難得且具高度價值之研究條件。多數與動物福利相關之研究，往往在管理措施改變後才開始進行，導致缺乏可靠的前測資料作為比較基準，使得後續評估多僅能依賴橫斷式或回溯性分析，限制了因果推論的能力。本計畫則透過前瞻性設計，在展演與飼養模式改變前即建立多面向資料，使未來能進行嚴謹的前後對照，大幅提升對管理措施影響之判斷力，亦有助於建立具實證基礎的動物福利評估模式。

此外，近年來圈養設施逐步將展演形式轉型為強調教育意涵與保育宣導之模式，此類調整在社會觀感上常被視為應也可提升動物福利。然而，此類「教育導向」之展演仍可能隱含潛在壓力來源，例如動物可能被置於較低程度之互動情境、環境豐富化刺激減少，或在訓練與展示過程中接受與先前不同的方式。由於這些壓力不一定能透過外顯行為立即辨識，甚至可能在短期內被忽略，因此若缺乏客觀且整合性的監測工具，將難以準確評估其對動物長期健康與福利之影響。

本計畫所建立之多面向監測工具可回應上述挑戰，透過結合行為、生理與微生物等多層次指標，提供更全面且敏感的評估工具，用以偵測潛在之慢性

壓力與亞健康狀態。此有助於釐清展演轉型是否亦達成動物福利維持或提升之目標，亦可避免僅依賴主觀判斷或單一指標所造成之誤判。

建議未來兩年之研究延續既有監測架構，重點聚焦於展演方式調整期間及調整後之持續資料收集，並與本年度建立之基準資料進行系統性比較分析。研究目標在於評估展演模式與相關飼養管理措施之調整，是否能有效維持、提升或降低圈養鯨豚之動物福利與健康狀態，並進一步驗證整合性指標於實務應用上的準確性與穩定性。

具體建議如下：

- 持續進行長期縱向監測，涵蓋展演調整前、中、後三階段，以提升時間序列分析之解析能力
- 強化展演方式與飼養管理措施之量化紀錄（如訓練頻率、互動模式、展示強度），以利與生理及行為反應進行精確對應
- 以整合性多變量分析模型辨識對福利變動最具解釋力之核心指標
- 比較不同階段之關鍵指標變化，驗證展演與管理調整對壓力、生理狀態及微生物組成之影響
- 發展具應用潛力之預測模型，作為動物福利早期預警工具
- 持續優化低侵入性監測技術與操作流程，提高實務應用性與跨場域可行性。

4.6 預期效益

(1) 可量化效益

項次	項目	分項	標的名稱、規格及型號	單位	數量	單價(元)	本項總價(元)	備註
一	收集及彙整國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料	1	收集及彙整國際上水族館或研究設施中圈養保育類鯨豚動物鯨豚行為和身心狀況及具體研究與案例分析等相關資料	式	1	100000	100000	包含獻資料處理(收集、使用、編撰等)、結果分析及報告撰寫相關費用、雜支(耗材、碳粉)等。
二	建置圈養鯨豚行為指標標準化	2	鯨豚水面行為觀察記錄	小時	90	1200	108000	包含人事費、樣本及資料處理、結果分析及報告撰寫相關費用、雜支(耗材、碳粉)等。 補充：原鯨豚發聲行為記錄總時數 1000 分鐘，經雙方協議增加為 1200 分鐘。
		3	鯨豚發聲行為記錄	分鐘	1000	100	100000	
		4	圈養鯨豚水面行為觀察、發聲行為操作指引及記錄成果報告	式	1	100000	100000	

(1)　可量化效益（續）

三	建置鯨豚生理數據指標收集與分析	5	追蹤緊迫荷爾蒙指標	次	120	1000	120000	包含人事費、樣本及資料處理、結果分析及報告撰寫相關費用、雜支(耗材、碳粉)等。
		6	免疫細胞分析	次	120	1000	120000	
		7	緊迫荷爾蒙指標、免疫細胞操作指引及分析報告	式	1	100000	100000	
四	微生物群落的總體基因體(metagenomics)分析	8	噴氣孔與肛門樣本採集並建立總體基因體流程	次	60	8000	480000	包含人事費、樣本及資料處理、結果分析及報告撰寫相關費用、雜支(耗材、碳粉)等。
		9	微生物群落的總體基因體操作指引及分析報告	式	1	100000	100000	
五	多層次數據交叉整合與診斷指標探索	10	將行為觀察記錄、生理數據、微生物群落數據等，與環境變數及特定事件進行系統整合，篩選出具有高敏感度與特異性的指標項目，並提出「多層次數據交叉整合與診斷指標」報告	式	1	152000	152000	包含人事費、樣本及資料處理、結果分析及報告撰寫相關費用、雜支(耗材、碳粉)等。

(2)　不可量化效益

本計畫提出創新整合方案，結合多來源資料並透過時間序列分析，建構一套動態、靈敏、可複製且可擴充的圈養鯨豚健康監控系統。該系統將可做為未來不同機構、不同物種間比較與合作的基礎，也有潛力應用於野放訓練與野外監測之中，長遠而言可提升整體海洋哺乳類保育與管理水準。

第伍章 經費分配及預算細目

海洋委員會海洋保育署

「圈養鯨豚動物身心行為評估工具建置與應用計畫」

一、計畫年期：114 年-115 年

二、主辦單位：國立臺灣大學獸醫學系

三、協辦單位：無

四、總計畫經費：

五、經費來源：

（一）中央款：1480,000

（二）地方配合款：無

（三）其他：無

六、工作項目及經費：

工作項目	經費(元)	概述
人事費	500,000	博士後研究員、學碩士以上專任研究助理、獎金及保險等費用
業務費（臨時工與雜支）	562,000	與本計畫相關臨時人員酬金、按日按件計資酬金、保險費、物品、材料、雜支等費用
消耗性器材及原材料費	50,000	與本計畫相關物品、實驗耗材等費用
國內差旅	12,000	執行本計畫相關國內差旅費
租金	100,000	執行本計畫相關租車費
行政管理費	148,000	
總額	1480,000	

第陸章　參考資料

Apprill, A. (2017). Marine animal microbiomes: Toward understanding host–microbiome interactions in a changing ocean. *Frontiers in Marine Science, 4*, 222. https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00222

Champagne, C. D., Houser, D. S., Costa, D. P., & Crocker, D. E. (2012). The effects of handling and anesthetic agents on the stress response and carbohydrate metabolism in northern elephant seals. *PLoS ONE, 7*(5), e38442. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038442

Clegg, I. L. K., Borger-Turner, J. L., & Eskelinen, H. C. (2015). C-Well: The development of a welfare assessment index for captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Animal Welfare, 24*(3), 267–282. https://doi.org/10.7120/09627286.24.3.267

Clegg, I. L. K., Rödel, H. G., & Delfour, F. (2017). Bottlenose dolphins engaging in more social affiliative behaviour judge ambiguous cues more optimistically. Behavioural Brain Research, 322, 115–122. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.01.026

Jett, J., & Ventre, J. (2015). Captive killer whale (*Orcinus orca*) survival. *Marine Mammal Science, 31*(4), 1362–1377. https://doi.org/10.1111/mms.12225

Mason, G. J., & Veasey, J. S. (2010). How should the psychological well-being of zoo elephants be objectively investigated? *Zoo Biology, 29*(2), 237–255. https://doi.org/10.1002/zoo.20256

Mellor, D. J., & Beausoleil, N. J. (2015). Extending the 'Five Domains' model for animal welfare assessment to incorporate positive welfare states. *Animal Welfare, 24*(3), 241–253. https://doi.org/10.7120/09627286.24.3.241

Nelson, T. M., Apprill, A., Mann, J., Rogers, T. L., & Brown, M. V. (2015). The marine mammal microbiome: Current knowledge and future directions. *Microbiology Australia, 36*(1), 8–13. https://doi.org/10.1071/MA15004

Ridgway, S. H., Carder, D. A., Smith, R. R., Kamolnick, T., Schlundt, C. E., & Elsberry, W. R. (2012). Dolphin continuous auditory vigilance for five days. *Journal of Experimental Biology, 215*(18), 3578–3587. https://doi.org/10.1242/jeb.072397

Rose, N. A., Parsons, E. C. M., & Farinato, R. (2020). *The case against marine mammals in captivity* (5th ed.). Humane Society International

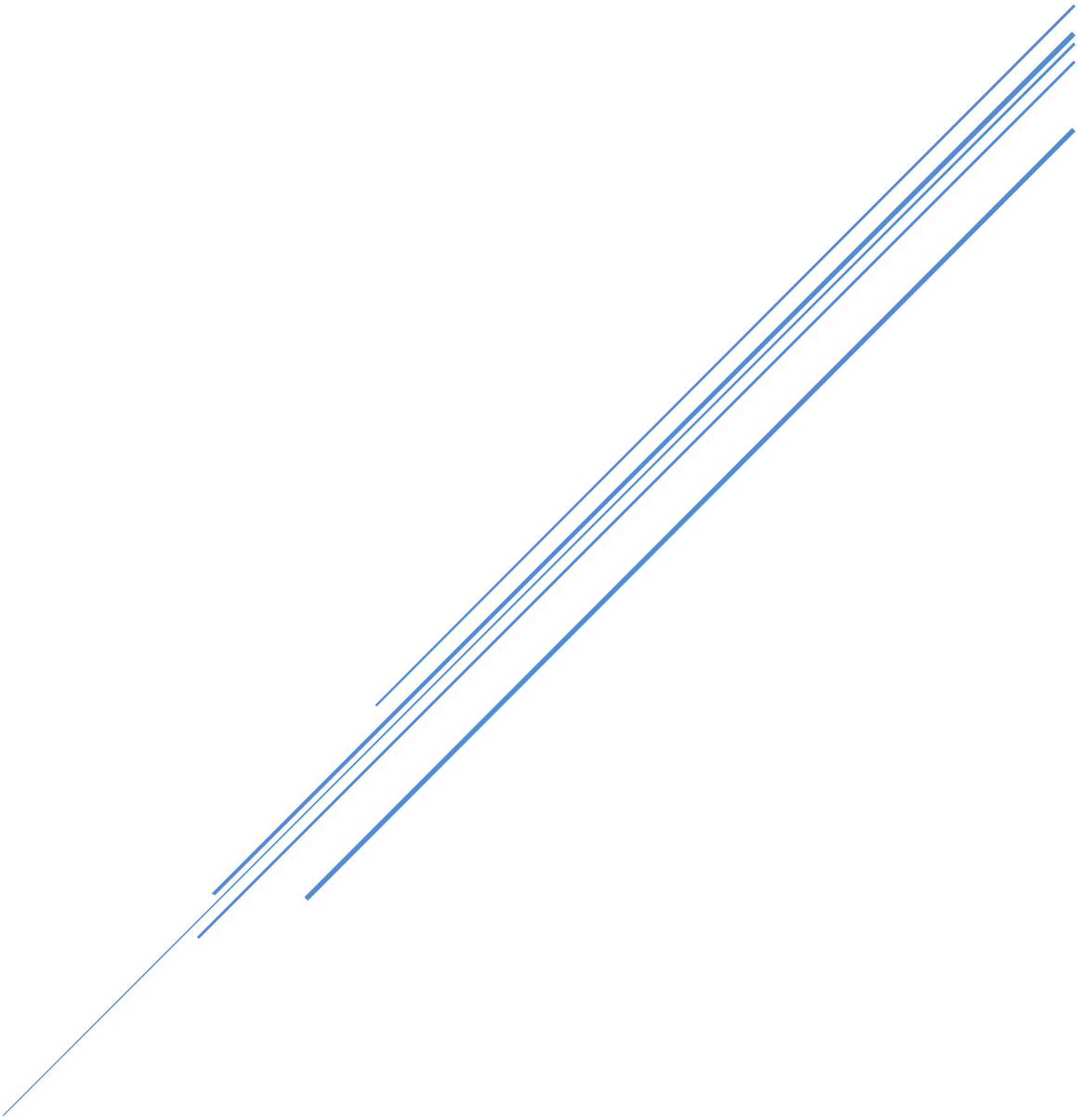
& World Animal Protection. https://www.hsi.org/wp-content/uploads/2020/10/case-against-marine-mammals-in-captivity.pdf

Wan, Y., Zhao, J., Liu, X., Liu, S., Wu, J., Zhang, W., Wang, D. (2022). Respiratory microbiome dynamics of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in response to acute stress. *Frontiers in Marine Science, 9*, 1024117. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1024117

台灣動物社會研究會，黑潮海洋文教基金會（2015）。*台灣海洋哺乳動物圈養表演調查報告* [研究報告] 。

附件一

國際圈養鯨豚身心行為相關文獻與資料整理



國際圈養鯨豚歷史

第一隻圈養的白鯨（*Delphinapterus leucas*）出現在 1860 年代的美國波士頓水族公園（Boston Aquarial and Zoological Gardens），是由北極海捕捉回美國，並運送到波士頓水族公園展示(Ryan, 2011)。

美國佛羅里達海洋工作室(Marine Studio)成立於 1938 年，是世界上第一作水族館(Oceanarium)。美國佛羅里達海洋工作室成立後，圈養鯨豚的方式也有所改變，從以往單純的餵食秀，轉變成鯨豚行為訓練展示。1940 年開始，圈養鯨豚表演以更多樣化的方式展現。隨著海洋工作室對於的鯨豚飼養經驗逐漸提升，海洋工作室成功經由人工繁殖出史上第一隻鯨豚幼體(Marineland, 2025)。

1963 年英國約克郡火鶴樂園(Flamingoland)成立英國第一間海豚水族館(Dolphinarium)後，圈養鯨豚的風潮開始在英國流行。由於環保團體對於動物福利的意識抬頭下，英國政府於 1981 年訂定展演動物的相關條文 (Zoo Licensing Act)，條文中提到圈養海豚需要由政府核發許可，且圈養環境需要符合相關標準("Zoo Licensing Act 1981," 1981)。1986 年，英國政府進一步委託 Margaret Klinowska 博士和 Susan Brown 博士一同參與圈養鯨豚的研究與建立飼養鯨豚的細則。其內容中提到飼養瓶鼻海豚(*Tursiops truncatus*)的水池深度為 7 公尺，而飼養虎鯨(*Orcinus orca*)的水池深度為 15 公尺(Brown & Klinowska, 1986)。在上述之相關法規通過之後，英國大部分的海豚水族館逐漸退場，直到 1993 年英國所有的海豚水族館全數結束營運。

在 56 個國家中記錄至少有 346 個水族館有圈養鯨豚，其中又以瓶鼻海豚(*Tursiops spp.*)佔大多數(Whale and Dolphin Conservation, 2025)。根據國際鯨豚保育協會(Whale and Dolphin Conservation)的統計，目前尚有圈養

鯨豚的國家包括美國、加拿大、阿根廷、哥倫比亞、委內瑞拉、墨西哥、古巴、法國、義大利、西班牙、中國、日本、澳洲、南非等，其飼養鯨豚的種類包括白鯨、虎鯨、港灣鼠海豚及其他海豚科物種。另根據中國鯨類保護聯盟的數據(China Cetacean Alliance, 2025) 顯示，中國圈養的鯨豚物種包括白鯨、瓶鼻海豚、偽虎鯨(*Pseudorca crassidens*）、窄脊露脊鼠海豚(*Neophocaena asiaeorientalis sunameri*)、長江露脊鼠海豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*)、印太平洋駝海豚(*Sousa chinensis*)、虎鯨*(Orcinus orca)*、太平洋斑紋海豚(*Lagenorhynchus obliquidens*)、熱帶斑海豚(*Stenella attenuata*)、花紋海豚(*Grampus griseus*)、短肢領航鯨(*Globicephala macrorhynchus*)、糙齒海豚(*Steno bredanensis*)、飛旋海豚(*Stenella longirostris*)、條紋海豚(*Stenella coeruleoalba*)和瓜頭鯨(*Peponocephala electra*)。而根據 Ric O'Barry's Dolphin Project 的資料(Ric O'Barry's Dolphin Project) 顯示，除瓶鼻海豚、虎鯨和白鯨外，太平洋斑紋海豚、偽虎鯨、糙齒海豚、瑞氏海豚和熱帶斑海豚都是常見的圈養鯨豚種類。中國鯨類保護聯盟和 Ric O'Barry's Dolphin Project 都有提到，圈養鯨豚的水族館中都有提供「鯨豚表演」、「與鯨豚互動」、「一日訓練師」、「與鯨豚共游」等活動。

近年來，全球對於鯨豚保育與動物福利的關注日益提高，許多國家逐步建立相關法規與管理制度，以規範鯨豚的圈養、展示與利用方式。在相關法律與管理制度中，「圈養」（captivity）通常指將動物飼養於人類控制之環境中，例如水族館、海洋公園或其他管理設施（Marino et al., 2025；Clegg & Delfour, 2018）。在此類設施中，鯨豚常被用於供公眾觀賞之展示活動。於相關法律與動物管理制度中，這類用途通常被稱為「公開展示」（public display）或「動物展示」（exhibition），即將動物提供給公眾觀賞或展演之活動

（NOAA Fisheries, 2023；USDA APHIS, 2023）。在部分情況下，相關展示活動亦可能包含經訓練動物在公眾觀賞下進行行為展示或表演，並作為觀光或娛樂活動的一部分。此類以展示或娛樂為目的的動物利用，在政策與法律討論中亦常被描述為鯨豚的「商業性利用」（commercial exploitation）（French Republic, 2021）。隨著動物福利議題日益受到重視，部分國家已逐步檢視或限制此類利用方式，並規定圈養鯨豚應以救傷、科研、教育等目的為主，而非單純的娛樂或商業性用途（Government of Canada, 2019）。綜上所述，各國對於圈養鯨豚展示與相關展演活動的管理亦逐漸趨於嚴格（Marino et al., 2025）。

在國際管理層面，相關專業組織亦提出圈養鯨豚的飼養與照護指引。例如，動物園與水族館協會（Association of Zoos and Aquariums, AZA）建議圈養鯨豚之餵食量應依體重與體態評分（body condition score）調整，並要求設施至少聘僱具鯨豚醫學專業之獸醫師，以定期進行健康檢查並監測個體健康狀態。此外，AZA 亦建議依不同物種制定適當的飼養空間、水溫與水質管理標準（AZA, 2021）。歐洲動物園與水族館協會（European Association of Zoos and Aquaria, EAZ）於 2024 年進一步提出更完整的圈養鯨豚管理準則，涵蓋環境品質、營養供給、健康監測以及行為管理（如環境豐富化）等多面向評估指標（EAZA, 2024）。

在法律制度方面，各國對於鯨豚圈養的規範程度亦有所不同。例如，加拿大於 2019 年通過《Ending the Captivity of Whales and Dolphins Act》（Bill S-203），在聯邦層級禁止新增圈養及繁殖鯨豚，並禁止將圈養鯨豚用於娛樂性表演。該法亦於加拿大《刑法》（Criminal Code）第 445.2 條中明定相關規範，僅在既有圈養個體、救傷復健或經許可之科學研究等情況下允許例外

法國則於 2021 年通過《Animal Welfare Law》（Loi n° 2021-1539），規定禁止鯨豚表演、貿易與繁殖，並規劃於 2026 年前逐步終止商業性圈養與展示活動，但在特定條件下仍可允許科學研究或教育用途。

相較之下，美國目前尚未在聯邦層級全面禁止鯨豚圈養或展示，但相關法律已對其利用方式設立限制。例如，《Marine Mammal Protection Act (MMPA)》規定（NOAA Fisheries, 2023），海洋哺乳類的捕捉、進口及展示須取得許可，且公開展示須建立符合專業標準的教育或保育計畫；《Animal Welfare Act (AWA)》則規範展演動物之照護與飼養條件（USDA APHIS, 2023）。此外，美國國會亦提出《Strengthening Welfare in Marine Settings Act》(SWIMS Act)，若未來通過，可能進一步限制特定鯨豚物種（如虎鯨與白鯨）的捕捉、繁殖與長期娛樂性圈養。同時，部分州政府亦制定更嚴格的規範，例如加州通過《Orca Welfare and Safety Act》，禁止虎鯨繁殖並限制新增圈養。

在亞洲地區，部分地區亦建立展演動物管理制度。例如香港《公眾衞生（動物及禽鳥）（展覽）規例》（第 139F 章）規定，凡以付費方式供公眾觀賞之展演動物設施，須申請許可並接受主管機關監管，管理項目包括食物來源、飼養空間、動物健康及生物安全等，若有不符標準處，需限期改善否則將被處以罰鍰或撤銷許可證。

相較於部分國家已建立全面禁止或逐步淘汰圈養鯨豚的制度，臺灣目前尚未以單一法律全面禁止鯨豚圈養或娛樂性表演，但相關管理主要依據《動物保護法》、《動物展演管理辦法》及《野生動物保育法》等法規進行。《動物展演管理辦法》對展演場所與動物照護提出基本規範，例如禁止未離乳之哺乳類動物參與展演或與人互動；《動物保護法》則作為動物福利管理之上位法，

提供展演管理的法律依據；此外，《野生動物保育法》將鯨豚列為保育類野生動物，其捕捉、輸入、輸出、持有及利用須經主管機關核准，並以教育或學術研究用途為主要原則。近年來，主管機關亦逐步透過修訂《動物展演管理辦法》與強化行政管理措施，對展演動物之福利與行為管理提出更嚴格的要求，顯示我國在圈養野生動物管理上亦逐步朝向提升動物福利的方向發展。

綜合上述，可見全球對於鯨豚圈養與展示活動的管理趨勢，已逐漸由傳統展示導向轉向以動物福利與保育為核心的制度設計。在此背景下，建立科學化且可量化的動物福利評估方法，對於評估圈養鯨豚之健康狀態與飼養品質具有重要意義。本計畫將整合行為觀察、水下聲學監測、生理內分泌指標（如血液皮質醇與醛固酮）、微生物樣本（噴氣孔與糞便）及免疫細胞分析等多面向資料，以建立圈養鯨豚健康與動物福利之整合性評估架構，作為未來我國圈養鯨豚管理與動物福利政策的重要科學依據，下一章節將會更詳細介紹動物福利的五大面向。

動物福利與五大面向

隨著社會對於圈養動物福利意識提升，學者將動物福利分成五大面向進行探討。1994 年，D. J. Mellor 博士和 C. S. W. Reid 博士以動物福利五大自由為基礎，提出動物福利五大面向，進一步建構正向動物福利的條件和評量標準。2020 年，Mellor 博士對五大領域提出修正，將動物與人類互動納入評估範圍(Mellor et al., 2020)。

第一面向-營養（Nutrition）

當動物攝取合適份量的水分與多樣化的食物時，且營養均衡，被認爲是一種正向的營養狀態；相反的，當動物攝取不足量或是過量的水分與食物，造成營養過剩或是營養不良的情況下，則被認為是負向的營養狀態。

第二面向-環境（Physical Environment）

當動物擁有充足的活動空間、合適的遮蔽物、充足的日照或照光、有足夠且合適的休息空間與時間，且生活環境的空氣、水質、環境音量都符合規範，被認為是正向的環境狀態；相反地，當空間、照明、空氣、水質、溫度、聲音等任一項目無法滿足動物需求，或是動物無法擁有足夠的休息時間，則被認為是負向的環境狀態。

第三面向-健康（Health）

當我們觀察到動物擁有良好的體態、生活環境不會接觸到有害物質、生病時可以得到立即且有效的治療，我們認為這是一種正向的健康狀態；相反地，當動物體態過胖或過瘦，或是動物出現急性或是慢性疾患，甚至導致功能性損傷，

我們認為這是一種負向的健康狀態。

第四面向-行為與互動（Behavioural Interactions）

行為和互動可以分為三大類別，分別是「與環境互動」、「與其他動物互動」和與「人類互動」。

與環境互動

當動物可以自由移動、探索、展現覓食行為，且能夠接觸到多樣的環境豐富物以及感官刺激，被認為是正向的環境互動狀態；相反地，當動物活動受限，且缺乏感官刺激，被認為是負向的環境互動狀態。

與其他動物互動

當動物本身可以與其他動物建立關係，如玩耍、社交、展示適當的性行為，被認為是正向的動物互動狀態；相反地，當動物之間的互動受到限制，且無法建立正常的社交，被認為是負向的動物互動狀態。

與人類互動

當動物表現冷靜、自信、受到控制、能夠讓人類近距離接觸，並與人類保持密切關係，被認為是正向的人類互動狀態；相反地，當動物展現出對人類的恐懼、與人類保持一定距離、出現避開或是遠離人類的行為，且不受到控制，被認為是負向的人類互動狀態。

第五面向：心理（Mental）

當前面四個領域的結果皆為正向時，動物處於正向的心理狀態，表示動物感到飽足、活潑、善於社交、自信、冷靜、受控；相反地，當動物出現沉悶、孤獨、憤怒、緊迫、不受控，被認為是負向的心理狀態。

檢測方法

我們可以透過以下的檢測方法的結果，評估動物福利五大面向。我們可以透過以下的檢測方法來評估動物福利的五大面向。

五大領域	檢測方法
第一面向　營養	● 血液學檢測
第二面向　環境	● 微生物菌群組成與多樣性
第三面向　健康	● 微生物菌群組成與多樣性 ● 血液學檢測
第四面向　行為與互動	● 參與意願與訓練表現 ● 預期行為與認知偏差 ● 發聲行為 ● 水面行為
第五面向　心理	● 緊迫賀爾蒙 ● 微生物菌群組成與多樣性 ● 血液學檢測 ● 參與意願與訓練表現 ● 預期行為與認知偏差 ● 發聲行為 ● 水面行為

一、緊迫賀爾蒙

在海洋哺乳類的生理與動物福利研究中，內分泌激素常被用作評估動物生理狀態與環境壓力的重要指標。其中，皮質醇（cortisol）與醛固酮（aldosterone）皆為腎上腺皮質分泌的類固醇激素，在調節動物的壓力反應與體內恆定（homeostasis）方面具有重要作用。皮質醇屬於糖皮質激素（glucocorticoid），主要與下視丘–腦垂腺–腎上腺軸（Hypothalamus–Pituitary–Adrenal axis, HPA axis）相關，當動物受到環境刺激或生理壓力時，HPA 軸會被活化並促使皮質醇分泌增加，以調節能量代謝、免疫功能及生理適應能力。另一方面，醛固酮則屬於鹽皮質激素（mineralocorticoid），主要參與腎素–血管收縮素–醛固酮系統（Renin–Angiotensin–Aldosterone System, RAAS），其主要功能為調節腎臟對鈉離子與水分的再吸收以及鉀離子的排除，以維持體液平衡與血壓穩定 (Atlas, 2007; Sapolsky et al., 2000)。

在海洋哺乳類中，維持體液與電解質平衡對於適應高鹽度的海洋環境具有重要意義，因此 RAAS 系統與 HPA 軸在生理調節過程中可能具有相互影響的作用。研究指出，在鯨豚受到急性壓力刺激時，血液中的皮質醇與醛固酮濃度皆會上升，顯示兩種激素可能共同參與壓力與生理調節機制 (Ortiz & Worthy, 2000)。因此，在評估海洋哺乳類的生理狀態與環境壓力時，同時監測皮質醇與醛固酮濃度可提供更全面的生理資訊。

隨著保育生理學（conservation physiology）的發展，研究者已建立多種不同的生物樣本來源來測量類固醇激素，包括血液、唾液、呼氣凝結液（blow）、鯨脂（blubber）、表皮組織（epidermis）、尿液（urine）及糞便（feces）等。不同樣本來源可反映不同時間尺度的內分泌變化，例如血液與

唾液樣本通常反映即時或短時間內的生理反應；尿液與糞便中的激素代謝物則可反映數小時至數天內的整體內分泌活動；而鯨脂、表皮或其他角蛋白組織則可能反映較長時間尺度的生理變化。由於尿液與糞便樣本可透過非侵入性方式取得，因此，在野生動物與海洋哺乳類研究中被廣泛應用於監測壓力反應與生理狀態 (Touma & Palme, 2005; Palme, 2019; Hunt et al., 2013)。

基於上述，本計畫將以皮質醇與醛固酮作為主要生理指標，並透過不同生物樣本來源的分析，評估圈養鯨豚在不同環境條件下的生理反應與動物福利狀態。

皮質醇濃度

皮質醇（cortisol）為海洋哺乳類主要分泌的糖皮質激素（glucocorticoid）。當動物遭遇緊迫或潛在威脅（例如人為噪音、疾病或低溫等）時，會活化下視丘–腦垂腺–腎上腺軸（Hypothalamus–Pituitary–Adrenal axis, HPA axis），促使腎上腺皮質增加分泌糖皮質激素。皮質醇可透過調節能量代謝、免疫反應與其他生理機制，使動物能夠適應環境刺激與生理變化。雖然緊迫反應為正常且必要的生理調節機制，但長期或過度的緊迫可能對動物的免疫功能、生殖能力、生長發育與整體健康造成負面影響。因此，皮質醇濃度常被用作評估動物生理緊迫反應的重要指標。透過監測不同時間點的皮質醇濃度變化，可了解動物在不同時期所承受的生理壓力，進而推估其整體福利狀態。

皮質醇濃度會受到多種因素影響，包括季節變化、晝夜節律、健康狀況、年齡與性別等。研究指出，寒冷對於鯨豚而言亦是一種潛在的緊迫因子，在冬季或水溫下降時，鯨豚的皮質醇濃度可能上升，以協助

動物適應環境變化 (Suzuki et al., 2024)。因此，在解讀皮質醇數據時，需同時記錄並考量可能影響動物生理狀態的環境與個體因素。目前已發展多種不同來源的皮質醇檢測方法，包括血液、鯨脂（blubber）、唾液及表皮等樣本，不同樣本來源可反映不同時間尺度的內分泌變化。

血液皮質醇

血液樣本可直接反映循環系統中的激素濃度，具有較高的準確度與時間解析度，因此常被用於評估急性緊迫反應。研究指出，在遭遇緊迫刺激後數分鐘內，血液皮質醇濃度即可能明顯上升，因此可用於評估動物運輸、醫療操作等短時間事件對動物造成的生理影響 (Lauderdale et al., 2021)。然而，血液採樣具有侵入性，採樣過程本身可能成為額外的緊迫來源。在圈養海洋哺乳類研究中，通常透過行為訓練使動物自願配合採血，以降低採樣過程對生理指標的干擾。此外，由於不同個體對於相同刺激的緊迫反應程度可能不同，因此建立長期監測資料有助於進行個體化評估。

鯨脂（blubber）皮質醇

鯨脂中的皮質醇濃度可反映數小時內的生理壓力反應 (Champagne et al., 2018)。脂肪組織不僅能儲存由血液擴散而來的皮質醇，本身亦具有內分泌活性。研究指出，在冬季期間，血液與鯨脂中的皮質醇濃度皆可能升高，以促進脂肪累積，這被認為是海洋哺乳類適應寒冷環境的生理機制之一 (Galligan et al., 2018)。然而，鯨脂中的皮質醇濃度並不一定完全等同於血液中的濃度，且樣本分析過程通常需要進行組織均質化及多步驟有機

溶劑萃取，分析流程相對複雜，因此在圈養動物研究中較少作為常規採樣方式。

唾液皮質醇

唾液皮質醇可反映血液中游離型激素（free hormone）的濃度，因此常被用於監測急性緊迫反應。唾液採樣具有操作簡單與非侵入性的優點，但樣本容易受到外界因素污染，例如池水或餵食魚類。研究指出，由於冷凍魚可能含有較高濃度的皮質醇，在餵食後唾液中的皮質醇濃度可能顯著升高 (Rickert et al., 2021)。因此，在進行唾液採樣時通常建議於餵食前或空腹狀態下進行，以降低樣本污染的影響。

表皮皮質醇

表皮樣本中的皮質醇濃度可反映數週至數月的 HPA 軸活動，與血液樣本相比通常存在約 45–60 天的時間延遲，因此可作為評估長期壓力狀態的指標。此方法特別適用於研究季節變化、慢性疾病、營養狀態或圈養環境適應等長期生理變化。研究顯示，表皮皮質醇濃度與血液及鯨脂中的濃度具有高度正相關 (Rickert et al., 2021)。相比血液與鯨脂採樣，表皮採集侵入性最小、簡單且快速，但需要注意樣本量過小時（< 20 mg），容易導致樣本的皮質醇濃度較高，進而高估數據結果。評估時必須根據評估目的選擇合適的採樣方式。若是要評估急性緊迫事件（如：運輸緊迫）建議可選擇血液或唾液的樣本；若是評估長期福利狀態（如：圈養適應）則建議可以選擇使用表皮或鯨脂採樣。皮質醇是「緊迫」

的指標，但不等同於「負向的福利狀態」唯一指標。緊迫反應是生物的正常適應過程，因此，皮質醇數據應與行為觀察數據及其他指標結合，進行福利評估，才能得出更全面的結論 (Baumgartner et al., 2024)。

醛固酮濃度

醛固酮（aldosterone）為一種類固醇類激素，屬於鹽皮質激素（mineralocorticoid），主要由腎上腺皮質球狀帶（zona glomerulosa）分泌。醛固酮主要作用於腎臟遠曲小管與集尿管，促進鈉離子與水分再吸收，同時增加鉀離子排除，以維持體內電解質平衡與血壓穩定。醛固酮為腎素–血管收縮素–醛固酮系統（Renin–Angiotensin–Aldosterone System, RAAS）的重要組成之一，該系統負責調節血容量、血壓與體液恆定 (Atlas, 2007)。當動物面臨環境變化或生理壓力時，如低溫、脫水、人為干擾或噪音等因素，RAAS 系統與下視丘–腦垂腺–腎上腺軸（Hypothalamus–Pituitary–Adrenal axis, HPA axis）可能被活化，促使醛固酮與皮質醇分泌增加，以協助動物維持體內電解質與水分平衡並適應外在環境變化 (Sapolsky et al., 2000)。

在海洋哺乳類中，維持水分與電解質平衡對於生理恆定具有重要意義。由於海洋環境具有高鹽度特性，鯨豚與其他海洋哺乳類需透過腎臟與內分泌調節機制來維持體液滲透壓與離子平衡。研究指出，在瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）中，急性壓力或 ACTH 刺激會導致血液中醛固酮與皮質醇濃度同步上升，顯示 RAAS 與 HPA 軸在壓力反應中具有協同作用 (Ortiz & Worthy, 2000)。因此，醛固酮濃度亦可作為評估海洋哺乳類生理調節與壓力反應的重要內分泌指標之一。

目前已有不同來源的醛固酮檢測方法，各優缺點如下：

血液醛固酮

血液醛固酮為最直接且最常使用的檢測方式，可即時反映動物當下的內分泌狀態與生理反應。研究顯示，在急性壓力情境下，血液中的醛固酮濃度會迅速上升，並與皮質醇濃度呈現正相關 (Ortiz & Worthy, 2000)。血液採樣的優點為數據準確且時間解析度高，但缺點是具侵入性，採樣過程本身可能成為額外的緊迫來源，因此在圈養海洋哺乳類研究中，通常透過行為訓練讓動物自願配合採血，以降低採樣造成的干擾。

鯨脂醛固酮

鯨脂（blubber）為海洋哺乳類重要的脂肪組織，不僅具有能量儲存與保溫功能，同時也被視為具有內分泌活性的組織，可儲存或代謝多種類固醇激素。研究指出，類固醇激素可由血液擴散進入脂肪組織並在其中累積，因此鯨脂中的激素濃度可能反映數小時至較長時間尺度的內分泌變化 (Kellar et al., 2015)。然而，鯨脂樣本的分析流程相對複雜，通常需進行組織均質化、脂質去除及多步驟有機溶劑萃取，且不同脂肪層深度可能影響激素濃度的解讀。此外，鯨脂樣本通常透過活體生物檢體採樣（biopsy sampling）取得，因此在圈養動物研究中較少作為常規採樣方式。

唾液醛固酮

唾液中的醛固酮可反映血液中游離型激素（free hormone）的濃度，因此可用於監測急性內分泌反應 (Vining et al., 1983)。唾液採樣具有操作簡單與非侵入性的優點，但在海洋哺乳類研究中，樣本可能受到池水

或食物的影響，因此在解讀數據時需特別注意樣本污染問題。

尿液醛固酮

尿液中的醛固酮或其代謝物可反映數小時內的內分泌變化，因此可用於評估短期的生理反應。尿液激素分析已被廣泛應用於野生動物內分泌研究，通常需透過肌酸酐（creatinine）校正來減少尿液稀釋程度對結果的影響 (Touma & Palme, 2005)。然而，在海洋哺乳類研究中取得尿液樣本具有一定困難，通常需要動物經過行為訓練才能成功收集。

糞便醛固酮

糞便樣本中的類固醇激素通常以代謝物形式存在，可反映數小時至數天前的整體內分泌活動。糞便激素分析具有完全非侵入性的優點(Palme, 2019)，但由於激素在腸道中會經過代謝轉換，不同物種可能具有不同的代謝途徑，因此通常需要進行物種特異性的分析方法驗證。與尿液樣本收集一樣，動物會需要經過訓練，才能成功收集。

呼氣凝結醛固酮

呼氣凝結液（blow）為鯨豚呼氣時所產生的氣溶膠與水氣凝結液，其中可能包含多種生物分子，例如類固醇激素、代謝物、蛋白質及微生物等。研究顯示，呼氣樣本中可檢測到多種類固醇激素，包括皮質醇、醛固酮及性激素，因此具有作為非侵入性急性生理指標的潛力 (Hunt et al., 2013)。然而，由於呼氣樣本中的激素濃度通常較低，且樣本量有限，容易受到海水或環境污染影響，因此在樣本收集與分析方法上需特別謹慎，以確保數據的可靠性 (Burgess et al., 2018)。

二、微生物菌群組成與多樣性

在 Nelson 團隊(2015)針對海洋哺乳類的微生物菌落的文獻回顧中提到，疾病是海洋哺乳動物族群數量下降的主要原因，因此了解微生物菌群如何影響動物健康非常重要。對於海洋哺乳類來說，環境食物量不足或是暴露於噪音等人為壓力源下，更容易受到病原體的感染。Nelson 團隊認為動物微生物菌落改變可能更能預測疾病的發展。

微生物群落能夠反應圈養海豚健康狀況。圈養環境會使其微生物群落的組成趨於接近，並與野生族群產生顯著差異(Wan et al., 2022)。建立每個動物個體的微生物長期監測數據、優化水質與飲食管理，能夠更加了解動物健康狀況，促進動物福利發展，如下詳述：

腸道微生物群

腸道微生物在食物分解、消化和免疫系統的調節中發揮重要的作用。在海豚腸道微生物群中主要細菌門包括厚壁菌門（Firmicute）、梭桿菌門 （Fusobacteria）和變形菌門 （Proteobacteria）。這三個菌門在多項研究中(Nelson et al., 2015; Suzuki et al., 2019; Wan et al., 2022)被一致認為是核心的優勢菌群。

Suzuki 的研究團隊(2019)比較日本不同水族館的鯨豚細菌相，發現在不同的飼養條件，包括提供的魚種、飼養池水種類（開放水域與過濾海水），都會改變海豚腸道微生物的組成且具有顯著差異。Suzuki 團隊(2019)研究也發現圈養海豚即使在健康狀態下，其體內也可能帶有潛在的病原菌，例如金黃色葡萄球菌 （*Staphylococcus aureus*）等，這些細菌平時可能與宿主共存，但在海豚免疫力下降或菌群失衡時，可能

引發感染。

呼吸道微生物群

收集海豚噴氣出來的氣體冷凝物，可用於分析呼吸道內的核心菌群，作為評估呼吸道健康的非侵入性指標，Vendl 的研究(2021)發現每隻海豚間都有獨特且穩定的核心菌群，此核心菌群平均佔其呼吸道微生物總相對豐富度的 73%。

一項針對長期共同飼養的瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）與中華白海豚（*Sousa chinensis*）的研究(Wan et al., 2022)發現，牠們的微生物群落組成（包括呼吸道與腸道）比生活在不同棲地的同物種海豚更相似，這表示相同的環境，如水、空氣和食物，會導致不同物種的微生物群落組成逐漸相似。

海豚的年齡、性別和所在的水池環境會顯著影響菌群的組成，因此需要建立長期的監測資料，菌群種類的豐富度可能與動物健康狀態有關。

三、血液學檢測

血液學分析是評估動物生理與健康狀況的傳統標準，在動物福利中扮演重要的角色(Baumgartner et al., 2024)。透過建立健康的參考範圍，血液檢測除了有助於確定動物的健康情形，也能提供動物營養狀況與急性緊迫反應的客觀數據(Lauderdale et al., 2021)，讓獸醫師可以及時發現潛在的疾病或營養問題。

一份完整的血液報告包含數十項指標，包含皮質醇，還有免疫系統、營養代謝等多個面向，這都與動物福利的健康、營養等領域息息相關，能夠更加

全面地評估動物福利。雖然目前已有 Venn-Watson 等人(2007)發表關於瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）不同年齡與性別的血液數值參考範圍，但管理方法與飲食習慣也會影響血液各種數據，仍無法為所有不同地區的水族館建立可信的研究依據(Lauderdale et al., 2021)，如下詳述 Venn-Watson 研究(2007)的各項血液監測：

免疫與發炎反應監測

免疫系統的狀態反應了動物應對病原體、傷口感染及慢性疾病的能力。白血球總數（WBC）是評估免疫與發炎反應的重要指標，白血球總數異常升高或下降，以及不同類型的白血球比例發生變化，都可能意味著動物感染與免疫系統相關的疾病。

研究發現雌性瓶鼻海豚的白血球、淋巴球與嗜酸性白血球總數顯著高於雄性，這可能與雌性面臨著更高的性病傳播風險，而演化出更強健的適應性免疫有關，而淋巴球數量會隨著年齡增長而顯著下降。

器官功能評估

器官功能的正常運作是維持動物生命與福利的基礎。血液生化指標能評估重要器官（如：肝、腎）及肌肉的健康狀態。

腎功能

肌酸酐（Creatinine）為身體肌肉代謝的廢物，透過腎臟排出體外，因此是評估腎功能的關鍵指標。

雄性海豚的肌酸酐濃度顯著高於雌性，這可能與雄性體型較大、肌肉較多有關，且肌酸酐濃會隨著年齡增長顯著升高。

肝功能

主要透過肝臟中的酵素活性評估，例如丙胺酸轉胺酶（ALT）、天門冬胺酸轉胺酶（AST）等，當肝臟受損時，這些酵素會被釋放到血液中作用，因此是檢測肝功能或肝疾病的重要指標，研究發現 ALT 和 AST 的數值在會隨著年齡顯著升高。

利用血液學有效地監測動物福利，除了建立個體的長期監測數據，也需要參考物種血液數據的參考範圍，多方比較才能更準確地評估動物的健康狀況。

四、參與意願與訓練表現

參與意願（Willingness to Participate, 簡稱 WtP）是一項衡量海豚在正向增強訓練 （Positive Reinforcement Training, PRT）中所展現的動機、熱情與投入程度的指標，已被多項研究證實能夠評估海豚整體福利，尤其是健康狀況的有力指標(Clegg et al., 2023; Clegg et al., 2019)。WtP 主要由最了解動物日常行為的訓練師進行質性評分，在每次訓練課程結束後，對海豚的表現進行評分，例如：0 分表示為海豚在訓練過程中未出現任何意願、而 4 分則代表海豚在整個過程中都表現出高度的專注，並正確執行所有要求的行為，這種方式利用了訓練師的知識與對動物的深入了解，能夠捕捉到更細微的行為變化。

而訓練表現（Training Performance）則是另一項由訓練師評估的指標，與 WtP 密切相關，但更側重於訓練過程中執行任務的品質、專注度與正確性，同樣需要在每次訓練後進行質性評分，評估海豚是否正確執行行為、是否出現分心、離開訓練師等行為。

目前研究發現這兩項指標能高度反應圈養海豚的內在狀態，包含其健康狀況、情緒、動機，以及對環境變化與其他海豚互動的反應，評估人員皆由與動物最親近且經驗豐富的訓練師擔任，因此容易結合至日常管理中(Baumgartner et al., 2024; Clegg et al., 2023; Clegg et al., 2019; Platto & Serres, 2023)。

Clegg 的團隊(2019)研究顯示海豚在訓練過程中的參與意願是一項非常敏感的指標，WtP 數值在獸醫正式診斷出健康問題的 1 天至 3 天前就出現了顯著下降，這可能代表 WtP 的變化可以作為健康狀況惡化的提前預警，讓照顧人員能夠及早介入，較高的 WtP 分數與更佳的健康情形、更高的食物攝取比例，

以及由同伴造成的新攻擊性疤痕減少顯著相關。

在一項完全不使用食物獎勵的研究中(Platto & Serres, 2023)，海豚與訓練師的互動參與率仍高達 94.5%，甚至會在訓練師到達前就已至平台等待互動，這顯示海豚參與互動的動機可能不僅僅是為了食物，也來自於與訓練師的正向互動，這種互動可以滿足牠們的社交需求，成為一種獎勵；且海豚會對不同的訓練師產生偏好，這可能與訓練師的互動風格有關，訓練師可以藉此調整自己的互動方式，進而提升海豚的 WtP 與訓練表現，也能與海豚建立更穩固的互動關係。

而 Clegg 後續的研究(2023)中特別強調，提供需要動腦解決問題才能獲取食物的認知覓食豐富化裝置，比起提供簡單的非認知性豐富化裝置更能顯著提升 WtP 與訓練意願，同時也顯著減少了刻板行為，可能代表解決問題的過程本身對海豚具有獎勵價值，能滿足其探索和覓食的本性，進而增加對海豚的正向影響。根據 C-Well 的鯨豚行為評估行為譜，刻板行為也稱為非正常重複性行為（abnormal repetitive behaviour），是指沒有功能的重複、不變行為。

五、預期行為與認知偏差

預期行為（anticipatory behavior）與認知偏差（cognitive bias）都被視為能夠評估動物福利內在情感和潛在心情的重要指標。預期行為可以反應動物對獎勵的動機和興奮程度，認知偏差則能夠衡量動物傾於正向或傾於負向的情感狀態之間的平衡。雖然目前針對動物福利的心理領域相關的研究仍不多，無法明確地代表動物的情感狀態，但這兩項指標能夠結合水面行為與聲學監測數據，更加全面評估動物福利。

預期行為是動物針對即將發生的事件（如：訓練、餵食等）表現出警戒

性增加或活動力增加，預期行為頻率可能反映了動物對獎勵敏感系統（reward-sensitivity system）的平衡。一項關於海豚認知覓食豐富化的研究發現，海豚在面對覓食豐富化裝置時，刻板行為與預期行為顯著減少，而處於鑽井噪音時，海豚表現出更多的預期行為，這可能反映了對環境干擾的緊迫或警戒心(Clegg et al., 2023)。

認知偏差是測試動物在面對模糊的刺激時，傾向於做出悲觀或樂觀的判斷，以此推斷動物潛在情感狀態，Clegg 研究(2017)測試了瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）對於不確定獎勵的情況下做出傾向樂觀或悲觀的判斷，在舞台場地標記數個位置，海豚需要抵達標記處並返回訓練師，研究人員需記錄返回時間，而海豚能夠獲得積極獎勵（如：鯡魚和掌聲）或比較不積極獎勵（僅有掌聲與眼神交流），長期訓練下來，發現具有更多社交親近行為（如：同步游泳）的海豚，在面對獎勵不確定的情況下，作出傾向樂觀的判斷（更快速地完成任務）(Clegg et al., 2017; Mátrai et al., 2022)。

Clegg 與 Delfour 的研究(2018) 發現認知判斷偏差與預期行為的頻率相關，處於較多負向情感狀態的海豚會在積極事件（如：訓練、餵食等）發生之前表現出高頻率的預期行為，可能是因為牠們對即將到來的獎勵給予更高的注意力，也許是由於環境中缺乏其他積極事件，他們也推測動物對即將到來的獎勵（reward）敏感度極高，當牠們面對模糊的刺激時（獎勵不確定時），可能會感受到更大的挫折或緊迫，進而表現出悲觀傾向的判斷。高頻率的預期行為可能同時代表傾於正面或傾於負面的情緒狀態，需要結合當時動物的情境、行為、生理指標等，才能準確評估動物狀況，也能幫助訓練師改善訓練內容或獎勵機制。

六、發聲行為

鯨豚發出的聲音能夠分為三大類，分別是喀答聲（click）、脈衝聲（pulse）和哨叫聲（whistle）。在回聲定位的時候，海豚會發出喀答聲，主要用途是導航和定位(Herzing, 2014)。脈衝聲是一種社交聲音，當進行社交行為的時候會更頻密發出脈衝聲，可是在覓食的時候發出脈衝聲的頻率就會下降(Martin et al., 2019)。哨叫聲是海豚在溝通的時候發出的聲音，同時也是會被用作評估海豚動物福利的指標。透過了解鯨豚的發聲行為，可以評估第四面向的行為與互動和第五面向的心理狀態。

根據 Esch 團隊的研究顯示，檢測海豚的標誌性哨叫聲（signature whistle）的是一個檢測海豚緊迫的潛在指標(Esch et al., 2009)。他們的研究橫跨超過 37 年的時間，透過記錄不同的捉放情況下瓶鼻海豚所發出的標誌性哨叫聲，找出短期緊迫對標誌性哨叫聲的影響。研究中比對了四個不同的情況，情況描述與結果如下：

- 捉放過程中的標誌性哨叫聲與沒有人為干擾下的標誌性哨叫聲
    a. 結果 1：在捉放過程中，發出哨叫聲的頻率較高
    b. 結果 2：在捉放過程中，每一組的哨叫聲的重複度較高
- 同一次捉放過程的開始與結束
    a. 結果 1：捉放過程開始時的重複度較結束時高
    b. 結果 2：捉放過程結束時每一組哨叫聲的時長比開始的時候長
- 第一次捉放與其後的捉放
    a. 結果：捉放的次數越多，發出哨叫聲的頻率越低
- 母親跟小孩一起與母親沒有跟小孩一起

a. 結果：母親跟小孩一起的時候哨叫聲的最高頻率比較高（相對高頻）

研究結果顯示，在面對短期緊迫的時候，標誌性哨叫聲的出現會較多。隨著對捉放過程的適應，發出的標誌性哨叫聲也隨著減少。然而，研究人員也指出如果研究能夠納入生理指標的收集，並與聲學研究一同分析，更能找出標誌性哨叫聲的變化與緊迫之間的關係。但是，這結果仍然顯示出測量標誌性哨叫聲的變化是一個潛在檢測的方法。

Eskelinen 團隊在 2021 年發表的研究中，檢測了六隻瓶鼻海豚在醫療程序和承受緊迫的情況下，血液皮質醇濃度和發聲行為的關係(Eskelinen et al., 2021)。上文曾經提到，皮質醇的濃度可以顯示鯨豚的緊迫程度，因此這研究結果可以反映發聲行為的緊迫程度之間的關係。研究結果顯示，在血液皮質醇濃度上升的情況下，海豚的哨叫聲發出率也有出現上升的情況。由此可見，透過檢測海豚的水下發聲活動和計算哨叫聲的發出率，是一個潛在評估海豚緊迫程度的方法。這一個結果跟上文 Esch 團隊的研究結果類近，在相對緊迫的情況下，哨叫聲會增加。Eskelinen 團隊有提到，即使研究顯示哨叫聲和血液皮質醇濃度有一定程度的關係，仍然需要進一步的研究去確立發聲率作為檢測指標的能力。

除了標誌性哨叫聲以外，鯨豚的綜合發聲行為也可以成為評估動物福利和緊迫程度的指標。Castellote 和 Fossa 在 2006 年發表的研究(Castellote & Fossa, 2006)發現，當白鯨透過空運遷移到新飼養設施後，水下的發聲行為出現明顯的下降，並維持了至少四星期(Castellote & Fossa, 2006。團隊也做出了另一個實驗，測量引進四隻港海豹到白鯨的飼養設施前後的聲學活動變化。結果顯示，在引進港海豹後，白鯨的水下發聲行為出現下降，並維持了兩個星期。

由此可見，白鯨在面對環境緊迫因子的時候，聲學活動都會出現下降的情況。因此，我們可預期監測聲學活動是一個潛在有效的緊迫和動物福利測量方法。

鯨豚的發聲活動檢測有多個不同的方向，包括綜合發聲行為量、哨叫聲發出率、哨叫聲重複度、哨叫聲時長和哨叫聲頻率等。結合聲學研究和生理參數的數據，我們能夠找出發聲行為和緊迫之間的關係，從而更有效追蹤和監測動物福利狀態。

七、水面行為

觀察鯨豚的水面行為是常見的動物福利評估的方法，透過觀察鯨豚群體的日常行為和互動行為，能夠對應五大面向中的第四面向去衡量其福利的狀態。在一般的動物行為觀察評估中，會集中評估以下五大項目(Sherwen et al., 2018)：

- 透過環境豐富物展示行為的機會
- 各式行為展示的時長
- 是否出現不正常或不理想行為
- 行為多樣性
- 透過食物展示行為的機會（是否能夠展示自然覓食行為）

為了有效評估圈養鯨豚的動物福利，必須按鯨豚特定的行為作記錄和後續評估。透過了解鯨豚群體的水面行為，可以評估第二面向的環境狀態、第四面向的行為與互動和第五面向的心理狀態。

根據 Miller 團隊的研究顯示，行為多樣性是瓶鼻海豚的正向動物福利的指標(Miller et al., 2021)。在過去的研究都是觀察鯨豚可視的健康問題和問題行為，為了可以檢測到非可視的變化，這研究在 2018 年和 2019 年間，在全球 25 個獲 Alliance of Marine Mammal Parks and Aquariums 和 Association of Zoos and Aquariums 認證的動物機構裡，記錄瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）和印太瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）的行為表現和糞便荷爾蒙濃度（皮質醇、醛固酮和脫氫異雄固酮）。研究結果如下：

- 行為多樣性越高，糞便皮質醇濃度越低
- 行為多樣性越高，糞便皮質醇-脫氫異雄固酮比越低

- 行為多樣性與醛固酮濃度沒有明顯關聯性
- 行為多樣性越高，刻板行為出現越少

行為觀察為水上錄影，並記錄以下行為的出現時間和次數：

- 快速游泳
- 水中與離水舉尾下潛（覓食行為）
- 社交互動（共游、追逐）
- 主動互動交流
- 與物品互動
- 跳躍
- 生殖部位摩擦
- 豚游
- 浮窺
- 互相觸碰
- 垂直游泳
- 重複性游泳

Mátrai 團隊的研究中，也有針對認知豐富物對印太平洋瓶鼻海豚行為的影響做出觀察(Mátrai et al., 2022)。研究團隊指出，玩耍行為是其中一個有效的正向福利指標，因此在研究中相對集中觀察不同的玩耍行為。以下是這研究中的觀察列表：

- 玩水
- 玩環境豐富物
- 互相觸碰
- 社交玩耍

- 共游
- 攻擊行為
- 刻板行為

關於社交行為的觀察，除了瓶鼻海豚以外，高度社會性的虎鯨也是觀察研究的對象。Sánchez–Hernández 的團隊曾經對圈養虎鯨的社交互動做出研究，並對需要觀察的行為分為三大類：親和行為、競爭行為、性行為(Sánchez-Hernández et al., 2019)。以下為每一個類別的一些例子：

- 親和行為
  - 共游
  - 社交玩耍
  - 一起休息
  - 互相摩擦
- 競爭行為
  - 追逐
  - 推撞
  - 咬
  - 拍打
- 性行為
  - 觸碰生殖裂
  - 展示陰莖

總而言之，鯨豚類的行為類別眾多，包括單獨的水面行為和互動的社交行為。為了有效詮釋行為與動物福利之間的關係，結合生理參數分析才能更準確判斷和檢測圈養鯨豚的動物福利狀態。

參考資料

Association of Zoos and Aquariums. (2021). *Accreditation standards and related policies*. https://www.aza.org/accreditation-standards

Association of Zoos and Aquariums. (2025). *Accreditation standards & related policies*. Association of Zoos and Aquariums.

Atkinson, S., Crocker, D., Houser, D., & Mashburn, K. (2015). Stress physiology in marine mammals: How well do they fit the terrestrial model? *Conservation Physiology, 3*(1), cov018. https://doi.org/10.1093/conphys/cov018

Atlas, S. A. (2007). The renin–angiotensin aldosterone system: Pathophysiological role and pharmacologic inhibition. *Journal of Managed Care Pharmacy, 13*(8 Suppl B), 9–20. https://doi.org/10.18553/jmcp.2007.13.s8-b.9

Baumgartner, K., Hüttner, T., Clegg, I. L. K., Hartmann, M. G., Garcia-Párraga, D., Manteca, X., Mercera, B., Monreal-Pawlowsky, T., Pilenga, C., Ternes, K., Tallo-Parra, O., Vaicekauskaite, R., von Fersen, L., Yon, L., & Delfour, F. (2024). Dolphin-WET: Development of a welfare evaluation tool for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) under human care. *Animals, 14*(5), 701. https://doi.org/10.3390/ani14050701

Brown, S., & Klinowska, M. (1986). *A review of dolphinaria*.

Burgess, E. A., Hunt, K. E., Kraus, S. D., & Rolland, R. M. (2018). Quantifying hormones in exhaled breath condensate of right whales (*Eubalaena glacialis*). *Frontiers in Marine Science, 5*, 61. https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00061

California Legislature. (2016). *California Orca Protection Act (AB-2305)*. https://leginfo.legislature.ca.gov

Castellote, M., & Fossa, F. (2006). Measuring acoustic activity as a method to evaluate welfare in captive beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *Aquatic Mammals, 32*, 325–333. https://doi.org/10.1578/AM.32.3.2006.325

Champagne, C. D., Kellar, N. M., Crocker, D. E., & Wasser, S. K. (2018). Blubber cortisol qualitatively reflects circulating cortisol concentrations in bottlenose dolphins. *Conservation Physiology, 6*(1), coy049. https://doi.org/10.1093/conphys/coy049

Champagne, C. D., Kellar, N. M., Trego, M. L., Delehanty, B., Boonstra, R., Wasser, S. K., Booth, R. K., Crocker, D. E., & Houser, D. S. (2018). Comprehensive endocrine response to acute stress in the bottlenose dolphin from serum, blubber, and feces. *General and Comparative Endocrinology, 266*, 178–193. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.05.015

China Cetacean Alliance. (2025). *Ocean theme parks: China's growing captive cetacean industry (2019–2024)* [Data report].

Clegg, I. L. K., & Delfour, F. (2018a). Can we assess marine mammal welfare in captivity and in the wild? *Aquatic Mammals, 44*(2), 181–200. https://doi.org/10.1578/AM.44.2.2018.181

Clegg, I. L. K., & Delfour, F. (2018b). Cognitive judgement bias is associated with frequency of anticipatory behavior in bottlenose dolphins. *Zoo Biology, 37*(2), 67–73. https://doi.org/10.1002/zoo.21400

Clegg, I. L. K., Domingues, M., Ström, E., & Berggren, L. (2023). Cognitive foraging enrichment improved several longer-term welfare indicators in bottlenose dolphins. *Animals, 13*(2), 238. https://doi.org/10.3390/ani13020238

Clegg, I. L. K., Rödel, H. G., & Delfour, F. (2017). Bottlenose dolphins engaging in more social affiliative behaviour judge ambiguous cues

more optimistically. *Behavioural Brain Research, 322*, 115–122. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.01.026

Clegg, I. L. K., Rödel, H. G., Mercera, B., van der Heul, S., Schrijvers, T., de Laender, P., Gojceta, R., Zimmitti, M., Verhoeven, E., Burger, J., Bunskoek, P. E., & Delfour, F. (2019). Dolphins' willingness to participate in positive reinforcement training as a potential welfare indicator. *Frontiers in Psychology, 10*, 2112. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02112

Esch, H. C., Sayigh, L. S., Blum, J. E., & Wells, R. S. (2009). Whistles as potential indicators of stress in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Mammalogy, 90*(3), 638–650.

Eskelinen, H., Richardson, J., & Tufano, S. (2021). Stress, whistle rate, and cortisol. *Marine Mammal Science, 38*.

European Association of Zoos and Aquaria. (2024). *EAZA best practice guidelines for cetaceans*. https://www.eaza.net

European Association of Zoos and Aquaria. (2024). *EAZA standards for welfare, accommodation and management of animals in zoos and aquariums*.

French Republic. (2021). *Loi n° 2021-1539 du 30 novembre 2021 visant à lutter contre la maltraitance animale*. https://www.legifrance.gouv.fr

Galligan, T. M., Schwacke, L. H., McFee, W. E., & Boggs, A. S. P. (2018). Blubber concentrations in baleen whales reflect physiological stress responses. *Scientific Reports, 8*, 10319. https://doi.org/10.1038/s41598-018-31543-0

Galligan, T. M., Schwacke, L. H., McFee, W. E., & Boggs, A. S. P. (2018). Evidence for cortisol-cortisone metabolism by marine mammal blubber. *Marine Biology, 165*. https://doi.org/10.1007/s00227-018-3373-4

Government of Canada. (2019). *Ending the captivity of whales and dolphins act (Bill S-203)*. https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/C-46/section-445.2.html

Herzing, D. L. (2014). Clicks, whistles and pulses: Passive and active signal use in dolphin communication. *Acta Astronautica, 105*(2), 534–537.

Hunt, K. E., Rolland, R. M., Kraus, S. D., & Wasser, S. K. (2013). Overcoming the challenges of studying conservation physiology in large whales. *Conservation Physiology, 1*(1), cot006. https://doi.org/10.1093/conphys/cot006

Kellar, N. M., Trego, M. L., Marks, C. I., & Dizon, A. E. (2015). Blubber steroid hormones: A potential tool for assessing reproductive state and physiological condition in cetaceans. *Marine Mammal Science, 31*(1), 95–123. https://doi.org/10.1111/mms.12144

Lauderdale, L. K., Walsh, M. T., Mitchell, K. A., Granger, D. A., Mellen, J. D., & Miller, L. J. (2021). Health reference intervals and values for common bottlenose dolphins and beluga whales. *PLOS ONE, 16*(8), e0250332. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250332

Lauderdale, L. K., Walsh, M. T., Mitchell, K. A., Granger, D. A., Mellen, J. D., & Miller, L. J. (2021). Acute stress responses in dolphins measured using circulating glucocorticoids. *Frontiers in Marine Science*. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.628702

Marineland. (2025). A history of adventure. https://marineland.net/our-history/

Marino, L., Doyle, C., Rally, H., O'Brien, L., Tennison, M., & Jacobs, B. (2025). An update on captive cetacean welfare. *PeerJ, 13*, e19878. https://doi.org/10.7717/peerj.19878

Martin, M. J., Elwen, S. H., Kassanjee, R., & Gridley, T. (2019). To buzz or burst-pulse? The functional role of rapidly pulsed signals. *Animal Behaviour, 150*, 273–284.

Mátrai, E., Gendron, S. M., Boos, M., & Pogány, Á. (2022). Cognitive group testing promotes affiliative behaviors in dolphins. *Journal of Applied Animal Welfare Science, 27*(1), 165–179.

Mellor, D. J., Beausoleil, N. J., Littlewood, K. E., McLean, A. N., McGreery, P. D., Jones, B., & Williams, C. (2020). The 2020 Five Domains Model. *Animals, 10*(10). https://doi.org/10.3390/ani10101870

Miller, L. J., Lauderdale, L. K., Bryant, J. L., Mellen, J. D., Walsh, M. T., & Granger, D. A. (2021). Behavioral diversity as a potential indicator of welfare. *PLOS ONE, 16*(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250331

National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service. (2023). *Marine Mammal Protection Act*. https://www.fisheries.noaa.gov

Nelson, T. M., Apprill, A., Mann, J., Rogers, T. L., & Brown, M. V. (2015). The marine mammal microbiome. *Microbiology Australia, 36*(1), 8–13. https://doi.org/10.1071/MA15004

Ortiz, R. M., & Worthy, G. A. J. (2000). Effects of capture on plasma cortisol and aldosterone concentrations. *General and Comparative Endocrinology, 117*(3), 303–312. https://doi.org/10.1006/gcen.1999.7392

Palme, R. (2019). Non-invasive measurement of glucocorticoids. *Physiology & Behavior, 199*, 229–243. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.11.021

Platto, S., & Serres, A. (2023). A quantitative assessment of trainer–dolphin interactions. *Animals, 13*(10). https://doi.org/10.3390/ani13101651

Ric O'Barry's Dolphin Project. (n.d.). *Species guide: Most exploited dolphins*. https://www.dolphinproject.org/species-guide-most-exploited-dolphins/

Rickert, D., Simon, R., von Fersen, L., Baumgartner, K., Bertsch, T., Kirschbaum, C., & Erhard, M. (2021). Saliva and blood cortisol measurement in bottlenose dolphins. *Animals, 12*(1). https://doi.org/10.3390/ani12010022

Rickert, C. E., Champagne, C. D., Kellar, N. M., Trego, M. L., Delehanty, B., Boonstra, R., Wasser, S. K., Booth, R. K., Crocker, D. E., & Houser, D. S. (2021). Evaluation of salivary cortisol as a stress biomarker in dolphins. *Animals, 11*(7), 1936. https://doi.org/10.3390/ani11071936

Ryan, J. (2002). *The forgotten aquariums of Boston*. Finley Aquatic Books.

Sánchez-Hernández, P., Krasheninnikova, A., Almunia, J., & Molina-Borja, M. (2019). Social interaction analysis in captive orcas. *Zoo Biology, 38*(4), 323–333. https://doi.org/10.1002/zoo.21477

Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? *Endocrine Reviews, 21*(1), 55–89. https://doi.org/10.1210/edrv.21.1.0389

Sherwen, S. L., Hemsworth, L. M., Beausoleil, N. J., Embury, A., & Mellor, D. J. (2018). An animal welfare risk assessment process for zoos. *Animals, 8*(8), 130. https://doi.org/10.3390/ani8080130

Suzuki, A., Segawa, T., Sawa, S., Nishitani, C., Ueda, K., Itou, T., Asahina, K., & Suzuki, M. (2019). Gut microbiota of captive dolphins. *Journal of Applied Microbiology, 126*(1), 31–39. https://doi.org/10.1111/jam.14109

Suzuki, M., Funasaka, N., Sato, Y., Inamori, D., Watanabe, Y., Ozaki, M., Hosono, M., Shindo, H., Kawamura, K., Tatsukawa, T., & Yoshioka, M. (2024). Seasonal cortisol changes in dolphins. *General and*

Comparative Endocrinology, 352, 114516. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2024.114516

Touma, C., & Palme, R. (2005). Measuring fecal glucocorticoid metabolites. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1046*, 54–74. https://doi.org/10.1196/annals.1343.006

U.S. Congress. (2024). *Strengthening welfare in marine settings act (SWIMS Act), S.3694*. https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/3694

U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service. (2023). *Animal Welfare Act and animal welfare regulations*. https://www.aphis.usda.gov

Vendl, C., Nelson, T., Ferrari, B., Thomas, T., & Rogers, T. (2021). Airway microbiota in dolphins. *BMC Microbiology, 21*, 20. https://doi.org/10.1186/s12866-020-02076-z

Venn-Watson, S., Jensen, E. D., & Ridgway, S. H. (2007). Clinicopathologic reference ranges in dolphins. *Journal of the American Veterinary Medical Association, 231*(4), 596–601. https://doi.org/10.2460/javma.231.4.596

Vining, R. F., McGinley, R. A., Maksvytis, J. J., & Ho, K. Y. (1983). Salivary cortisol. *Annals of Clinical Biochemistry, 20*, 329–335. https://doi.org/10.1177/000456328302000601

Wan, X., Li, J., Tian, R., McLaughlin, R. W., Hao, Y., Wu, J., Wang, Z., Fan, F., Wang, D., & Zheng, J. (2022). Effects of human care on dolphin microbiota. *Frontiers in Marine Science, 9*. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1024117

Whale and Dolphin Conservation. (2025). *How many whales and dolphins are held in captivity?* https://uk.whales.org/end-captivity/how-many-whales-dolphins-in-captivity/

Zoo Licensing Act 1981. (1981). *UK legislation*. Retrieved July 27, 2026, from https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1981/37/pdfs/ukpga_19810037_en.pdf

中華民國農業部。（2023）。《動物保護法》。

中華民國農業部。（2023）。《野生動物保育法》。

中華民國農業部。（2024）。《動物展演管理辦法》。

香港特別行政區政府。（1997）。《公眾衞生（動物及禽鳥）（展覽）規例》。

附件二

圈養鯨豚水面行為觀察操作指引

前言

動物展示的行為模式能夠反映飼養環境是否合適和符合動物的需求。動物的行為觀察中，有五大項目需要做出評估和記錄(Sherwen et al., 2018)：

- 展示自然覓食行為的機會
- 透過環境豐富物展示行為的機會
- 是否出現不正常或不理想行為
- 各式行為展示的時長
- 行為多樣性

根據動物園和水族館協會（Association of Zoos and Aquariums）的認證標準(Association of Zooz and Aquariums, 2025)，動物園和水族館都需要提供合適的環境讓場內的動物有展示適合該物種行為的機會。除此之外，獲認證的機構也需要有良好的記錄管理，以便需要的時候可以翻閱檢視。

過去，行為觀察都是透過受訓練的觀察員實地進行觀察，並在觀察當下記錄行為的詳細資料。然而，這樣的記錄方式很容易受人力和時間的影響。例如場地需要騰出照護的人手進行行為觀察，而時間也只能設定在上班時間進行觀察，在非工作期間進行行為觀察的安排會變得困難。有見及此，先在場地進行錄影，然後再對錄像進行分析不但能夠讓人力安排和時間安排更有彈性，更能讓超過一位觀察員對同一時間的行為模式做出分析，以取得更客觀的結果。

在硬體的選擇上，高解析度的影片可以清晰顯示動物的行為，因此建議使用能夠拍攝解析度 1080p（全高清）以上的器材。如有需要，建議使用能夠安裝偏光鏡以減少水面反光的影響。另外，全景攝影機能夠同時拍攝超過一個水池的畫面，方便追蹤動物在不同水池的使用狀況。

錄影設備建議

全方位運動攝影機

參數設定步驟與建議

RES	（解析度）	：1080
FPS	（每秒幀數）	：30
鏡頭		：SuperView
HyperSmooth（超強防抖）		：開啟
排程拍攝		：關閉
時間長度		：1 小時
HindSight	（預錄）	：關閉
計時器		：關閉
變焦		：1.0 x

全景攝影機

參數設定步驟與建議

分辨率　　：4K

幀率　　：30

鏡頭　　：360°

音頻設置　　：高降噪

安裝建議

全方位運動攝影機

1. 以延伸桿固定攝影機在圍欄上

2. 或以鯊魚夾固定攝影機在圍欄上

3. 設定攝影機後，需要從前方螢幕確認拍攝範圍

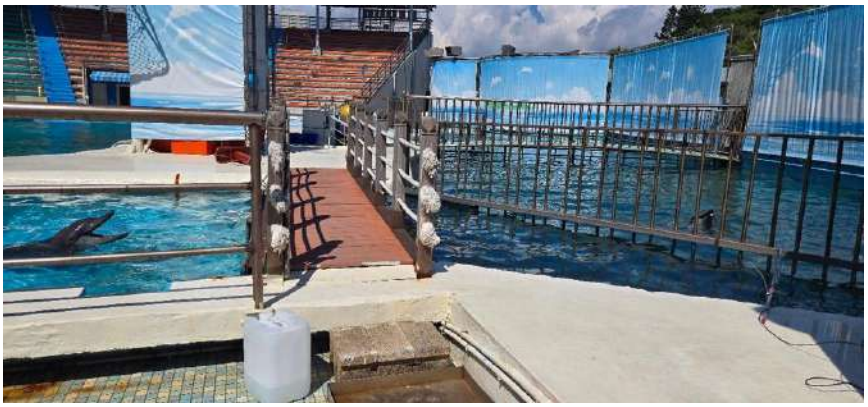
4. 確保拍攝範圍覆蓋大部分水池面積

5. 可以安裝偏光鏡減少水面反光影響

6. 注意：在強風下會出現畫面晃動的情況

全景攝影機

8. 當需要同時錄影前後兩個或以上的水池，可考慮使用全景攝影機



9. 以延伸桿固定全景攝影機於圍欄上，並確認所需水池都有被拍到

10. 確保拍攝範圍覆蓋大部分水池面積

點擊錄影鍵開始錄影

5. 點擊錄影鍵結束錄影
6. 可透過相應的程式從手機或平板電腦遠端操作
7. 點擊普通錄影鍵開始錄影

8. 注意：太陽直曬會造成過熱問題

行為圖譜

編碼	行為類型	行為	定義
AFT	狀態事件	互相觸碰 Affiliative Tactile	- 利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
AGT	點事件	競爭性觸碰 Agonistic Tactile	- 非友好地利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
BIT	狀態事件	咬 Biting	- 閉合吻部使上下顎牙齒得以捕捉到另一隻鯨豚的身體任何一部分；或利用牙齒在另一隻鯨豚身體任何一部分造成刮痕
BRE	點事件	躍身擊浪 Breaching	- 鯨豚跳離開水面，在入水時以身體擊水造成水花
CHA	狀態事件	追趕 Chasing	- 高速游向另一隻鯨豚，頭部方向對準另一隻鯨豚的尾鰭
CHU	點事件	用力噴氣 Chuffing	- 短促、強力且大聲的呼氣
CIS	狀態事件	重複繞圈 Circular Swimming	- 以重複固定的路線繞圈游泳三次或以上
FAS	狀態事件	快速游泳 Fast Swimming	- 鯨豚快速往單一方向游泳 3 秒或以上，並在水面形成水花（沒有追趕其他鯨豚）
FLO	點事件	倒立舉尾 Fluke out of the water	- 鯨豚垂直倒立在水中，頭部朝向水底，尾鰭與尾幹露出水面
JAC	點事件	吻部用力開合	- 吻部高速開合，閉合過程中發

		Jaw Clapping	出明顯聲響
JUM	點事件	跳躍 Jumping	- 明顯的空中運動，鯨豚整隻從水中跳出，所有身體部分都離水
LAN	狀態事件	上岸 Landing	- 鯨豚離開水池，在陸地上靜止移動
LIE	狀態事件	伏下 Lying	- 鯨豚在水中或水底靜止移動
OTH	狀態事件	其他 Other	- 任何未有歸類的行為
PLE	狀態事件	使用環境豐富物 Playing with Enrichment	- 鯨豚以身體任何一部分與環境豐富物互動
PLW	狀態事件	玩水 Playing with Water	- 鯨豚張開嘴巴並含著一定份量的池水，然後從嘴裡加壓，讓池水如同噴水池一樣從牙齒間噴出 - 用胸鰭拍打池水，讓飛濺的水花滴回身上
POR	狀態事件	豚游 Porpoising	- 週期性連續躍出水面的前進動作，當鯨豚的頭部進水時，尾鰭會離開水面
REG	狀態事件	吐食 Regurgitation	- 鯨豚把食物或胃內容物從口中吐出
RES	狀態事件	休息 Resting	- 鯨豚靜止移動並浮在水面
RUB	狀態事件	摩擦 Rubbing	- 鯨豚利用身體任何一部分，與水池的牆壁、閘門、池底或任何水池的部分摩擦

SLA	點事件	拍打 Slapping	- 以尾鰭、胸鰭或頭部拍打另一隻鯨豚的身體任何一部分
SOP	狀態事件	社交玩耍 Social Play	- 兩隻或以上的鯨豚交錯游泳，游泳的模式和規律會隨之而改變 - 兩隻或以上的鯨豚同時與用一件環境豐富物互動
SPO	狀態事件	S 形姿勢 S-Posture	- 鯨豚弓起身體，呈 S 形
SPY (P)	點事件	浮窺（點） Spyhopping	- 鯨豚垂直在水中，頭部和眼睛離開水面，及後在沒有造成水花的情況下回到水中
SPY (S)	狀態事件	浮窺（狀態） Spyhopping	- 鯨豚垂直在水中，頭部離開水面，及後在沒有造成水花的情況下回到水中
SWI	狀態事件	游泳 Swimming	- 鯨豚以背鰭朝上的方式往前游，泳速平均而穩定 - 鯨豚以背鰭朝下的方式往前游，泳速平均而穩定 - 鯨豚以背鰭與水面呈水平的方式往前游，泳速平均而穩定
SYS	狀態事件	共游 Synchronous Swimming	- 兩隻或以上鯨豚一起以相近的速度和深度游泳，而且游泳和呼吸的節奏相同
TAL	點事件	尾鰭擊浪 Tail Lobbing	- 鯨豚於水面拍打尾鰭，造成水花

行為記錄表範本

水池	開始時間	結束時間	總時長	鯨豚數目	行為	編碼	行為次數	備註

參考資料

Association of Zoos and Aquariums. (2025). *Accreditation standards & related policies*. https://assets.speakcdn.com/assets/2332/accred_standards.pdf

Sherwen, S. L., Hemsworth, L. M., Beausoleil, N. J., Embury, A., & Mellor, D. J. (2018). An animal welfare risk assessment process for zoos. *Animals, 8*(8), 130. https://doi.org/10.3390/ani8080130

附件三

圈養鯨豚發聲行為觀察操作指引

前言

鯨豚能夠發出三大類的聲音，有在使用回聲定位是的喀答聲（click）、在社交情況所發出的脈衝聲（pulse）和溝通時的哨叫聲（whistle）(Herzing, 2014)。臺灣現時飼養圈養鯨豚的場所有野柳海洋世界、遠雄海洋公園和國立海洋生物博物館，而飼養物種包括瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）、印太平洋瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）和白鯨（*Delphinapterus leucas*）。臺灣現有的圈養鯨豚物種都屬於齒鯨，而齒鯨發聲包括哨聲（whistles，通常 <20-40 kHz）和回聲定位喀答聲（clicks，常達 100-150 kHz）(May-Collado et al., 2007)，然而人類的聽覺範圍只有 20 赫茲至 20000 赫茲(Masterton et al., 1969)。因此，我們需要使用合適的器材把鯨豚的聲音轉化成為可視的資料和數據，從而輔助進行發聲行為觀察。

根據奈奎斯特取樣定理（Nyquist Sampling Theorem），採樣頻率必須要高於測量訊號最高頻率的兩倍。因此，為了測量上述鯨豚的聲音，錄音機的取樣頻率需要達到 96000 赫茲或以上以避免出現失真的情況。

除此以外，由於需要觀察的是鯨豚的水下發聲行為，因此需要適合水下環境的收音器材才能夠收集到有效的資料做分析。音波換能器，又稱麥克風，是透過轉換聲波的壓力成為電子和可視的訊號(Saheban & Kordrostami, 2021)。然而，基於水的密度比空氣高，聲波的壓力也會比空氣中的高。因此，收音器材需要使用為水下錄音而設計的水下麥克風，以確保能夠承受水壓、防止滲水，提高錄音品質。

本操作指引會提出錄音器材和分析軟體建議、安裝和操作步驟建議和附有聲紋樣本圖作使用和分析參考。

錄音設備建議

水下麥克風 附加 20 公尺延長線（適合短時間攜帶式錄音）

設備介紹

敏感度　　：-201 dB re: 1V/μPa (8.9 V/bar)（沒有使用前級放大器）

　　：最高 -165 dB re: 1V/μPa (562 V/bar)（使用前級放大器）

　　：最低 -240 dB re: 1V/μPa (0.1V/bar)（使用前級放大器）

響應頻率　　：2 – 30 kHz

最大操作深度　　：水下 3048 公尺（10000 呎）

圖 1 此計畫使用之水下麥克風外觀

錄音機（可配合水下麥克風）

設備介紹

麥克風　　：內建 2 個高信噪比（SNR）全向性低噪麥克風

頻道　　：支援雙聲道錄音（單聲道或立體聲），可以連接最多 2 個外接麥克風

錄音格式　：16 位元 .wav 或 壓縮 .w4v 格式

取樣頻率　：8、12、16、22.05、24、32、44.1、48、96 kHz

供電　　：4 顆 1 號鹼性電池 或 外接電源線

資料儲存方式：最多 2 張 SDHC / SDXC 記憶卡

（每張記憶卡最多支援 2TB 容量）

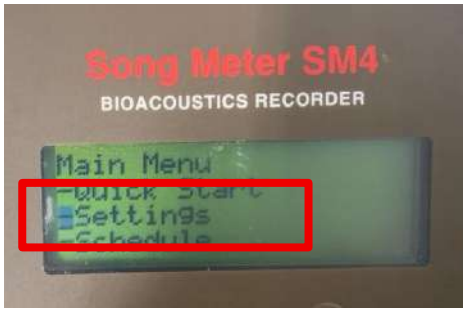
操作　　：可以自訂錄音行程週期時間表（可於機器設定 或 電腦設定）

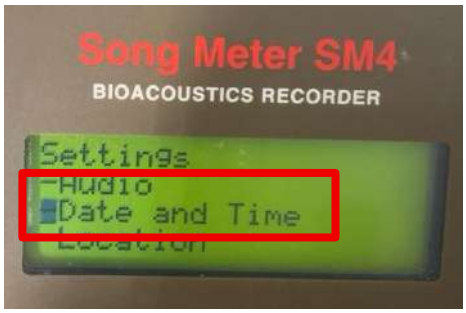
配件　　：附有防水防潮外殼

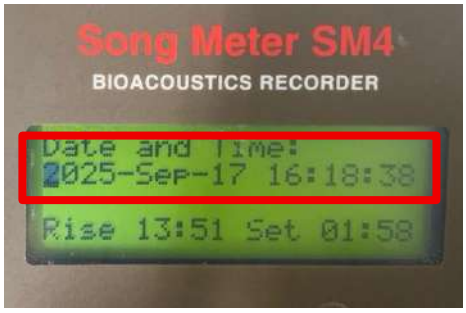
圖 2 此計畫使用之錄音機外觀

日期與時間設定步驟

Main Menu（主目錄）→ Settings（設定）→ Date and Time（日期與時間）



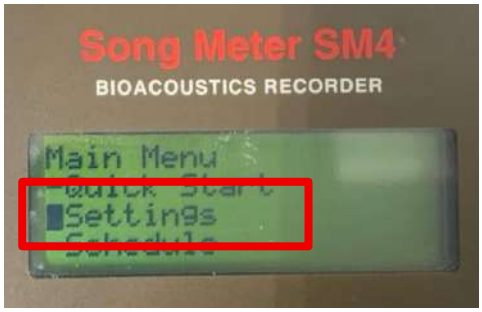


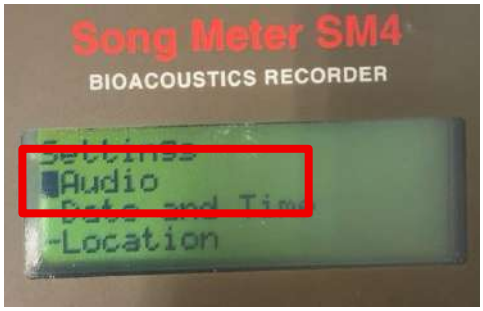


1. 利用 ◀ 和 ▶ 選擇需要修改的欄位
2. 利用 ▲ 和 ▼ 調整欄位上的數值
3. 點選 ENTER 確認

參數設定步驟與建議

Main Menu（主目錄）→ Settings（設定）→ Audio（音訊）


Song Meter SM4
BIOACOUSTICS RECORDER
Main Menu
Settings


Song Meter SM4
BIOACOUSTICS RECORDER
Audio
Location

Channel （聲道） ：stereo（立體聲）

Left Gain （左增益） ：16.0 dB

Right Gain （右增益） ：16.0 dB

Left Preamp （左前擴） ：26 dB

Right Preamp （右前擴） ：26 dB

Left Filter （左減噪） ：off（關）

Right Filter （右減噪） ：off（關）

Sample Rate（取樣頻率） ：96000 Hz

Max Length （最長錄音時間） ：01 h：00 m

Compression（檔案壓縮） ：none（不需要）

錄音機（適合長時間定點錄音）

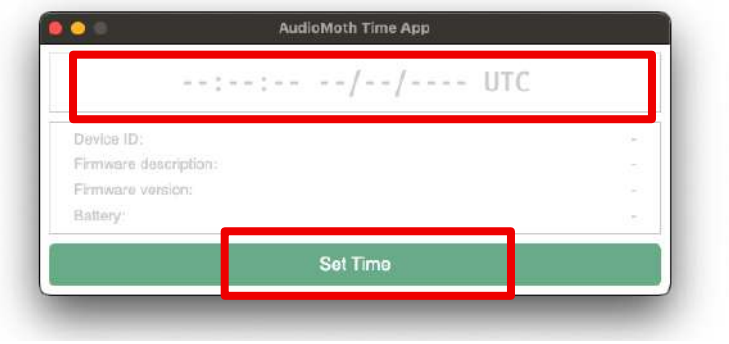
設備介紹

麥克風	：內建 MEMS 麥克風
頻道	：單聲道錄音
錄音格式	：.wav 格式
取樣頻率	：8、16、32、48、96、192、250、384 kHz
供電	：3 顆 3 號鹼性電池 或 可充電鎳氫電池（建議使用後者）
資料儲存	：1 張 MicroSD 記憶卡（最多支援 1TB 容量）
操作	：可以自訂錄音行程週期時間表（須由電腦設定）
配件	：附有防水防潮外殼、磁鐵開關啟動器（選購）
此計畫使用之設定用軟體	：AudioMoth Configuration App
	：AudioMoth Flash App
	：AudioMoth Time App

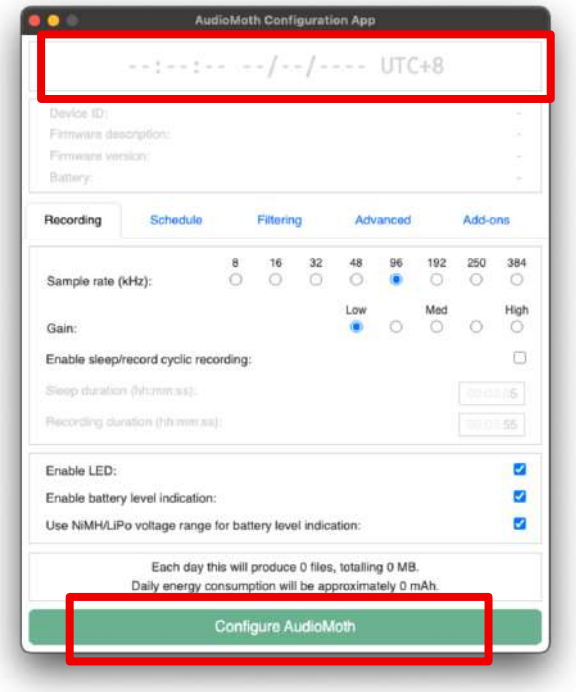
圖 3 此計畫使用之錄音機外觀（照片來源：Open Acoustic Devices）

日期與時間設定步驟

1. 使用 Micro-USB 線連接 HydroMoth 錄音機與電腦
2. 打開 AudioMoth Time App
3. 點擊 Set Time 同步軟體與電腦的時間



4. 打開 AudioMoth Configuration App
5. 把時間設為 Local（讓時間呈現為 UTC +8）
6. 點擊 Configure AudioMoth



參數設定步驟與建議

AudioMoth Configuration App → Recording（錄音）

Sample Rate（取樣頻率）　　：96 kHz

Gain（增益）　　：Low（低）

Enable sleep / record cyclic recording　　：關

（開啟休眠 / 錄音循環）

Enable LED（開啟提示燈）　　：開

Enable battery level indicator（開啟電量提示）　　：開

Use NiMH / LiPo voltage range for battery level indicator

（使用鎳氫電池電壓範圍作為電量提示）（如使用充電電池）：開

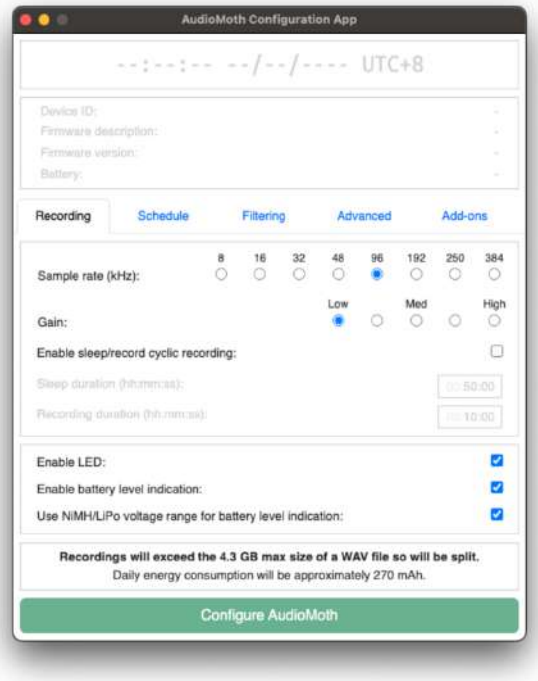


圖 4 HydroMoth 參數設定（一）

AudioMoth Configuration App → Add-ons（外掛）

Enable magnetic switch for delayed start　　：開

（使用磁鐵開關啟動器開始錄音）

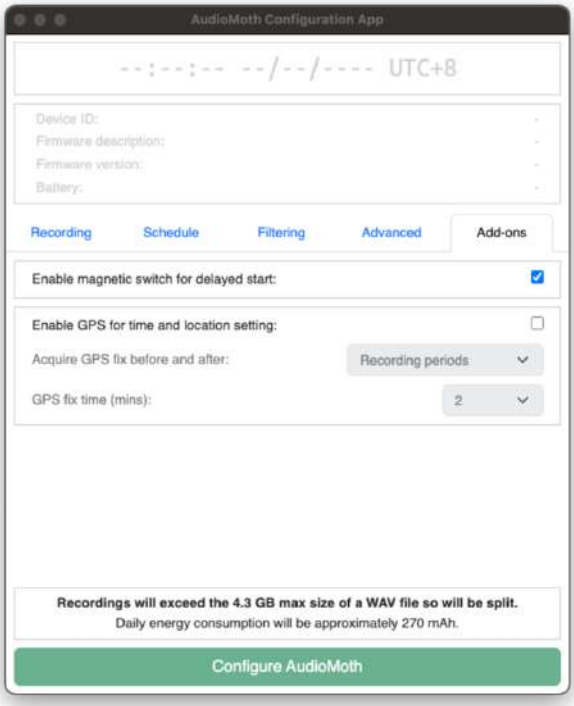


圖 5 HydroMoth 參數設定（二）

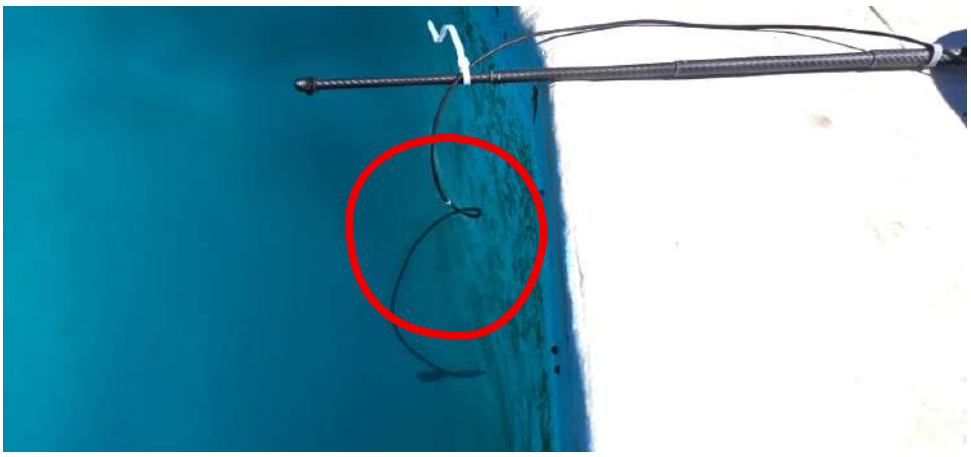
安裝建議

錄音機（連接水下麥克風）

連接連接水下麥克風至錄音機（CH0 (L) MIC 接孔）

1. 與距離水下麥克風 1 公尺位置貼上膠帶標示

2. 以延伸桿把水下麥克風延伸到水池中，水下麥克風的 1 公尺標示剛好碰到水面



3. 把開關撥到 INT 啟動錄音機

4. 啟動錄音機後，等待螢幕會跳出主選單

5. 點擊 SCHEDULE START 開始錄音

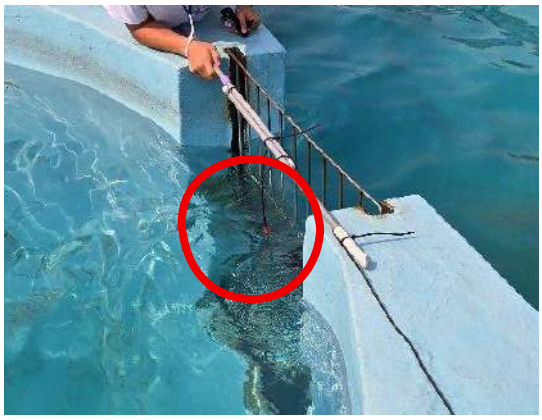
6. 在錄音期間，提示燈會一直閃動

7. 錄音期間需要不定時留意提示燈是否在閃動，以確保錄音正在進行中

8. 點擊 SCHEDULE STOP 結束錄音

9. 必須將開關撥到 EXT 關機後才收拾水下麥克風，以免水下麥克風意外離水錄音，造成損壞

10. 水下麥克風可以長桿固定，水下麥克風的 1 公尺標示剛好碰到水面



11. 水下麥克風可固定在走道的方格板上，水下麥克風的 1 公尺標示剛好碰到水面

12.注意：需固定延伸桿，避免掉落水池

錄音機（適合長時間定點錄音）

1. 根據上一張的建議，利用設定軟體設定錄音參數
2. 把開關撥到 CUSTOM，並放進防水殼關緊，綠色提示燈會每 4 秒閃動一次

（照片來源：Open Acoustic Devices）

3. 使用磁鐵開關啟動器啟動錄音機

（照片來源：Open Acoustic Devices）

4. 對準磁鐵接收點，啟動成功後，綠色提示燈會快速閃動 10 次

（照片來源：Open Acoustic Devices）

5. 利用鯊魚夾把 HydroMoth 錄音機固定在橫桿上

6. 放置橫桿讓 HydroMoth 在水中進行錄音

7. 在末端安裝重錘以固定 HydroMoth 錄音機，以避免錄音機在水中浮起

8. 使用磁鐵開關啟動器停止錄音

分析軟體

需安裝使用之分析軟體（此計畫所用之軟體為 Raven Pro）

參數設定步驟與建議

View（檢視）→ Configure View（設定檢視）

→ Spectrogram Parameters...（聲譜圖參數）

Type	: Hamming
Size	: 2048 samples
3 dB Filter Bandwidth	: 61 Hz
Overlap	: 50 percent
Hop Size	: 1024 samples
DFT Size	: 2048 samples
Grid Spacing	: 46.9 Hz

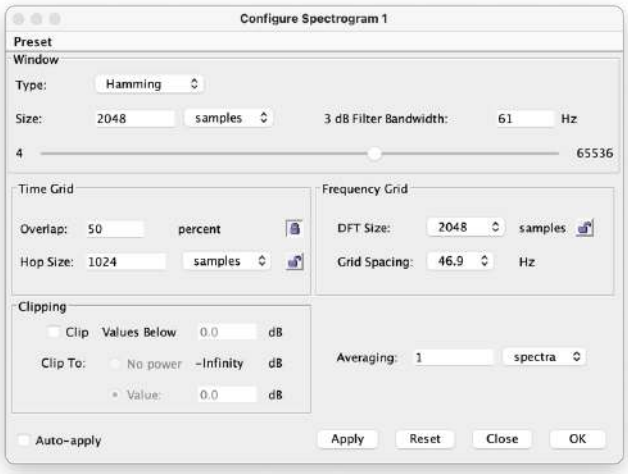


圖 6 Raven Pro 參數設定

- 只顯示聲譜圖（spectrogram）

- 只顯示第一聲道（channel 1）

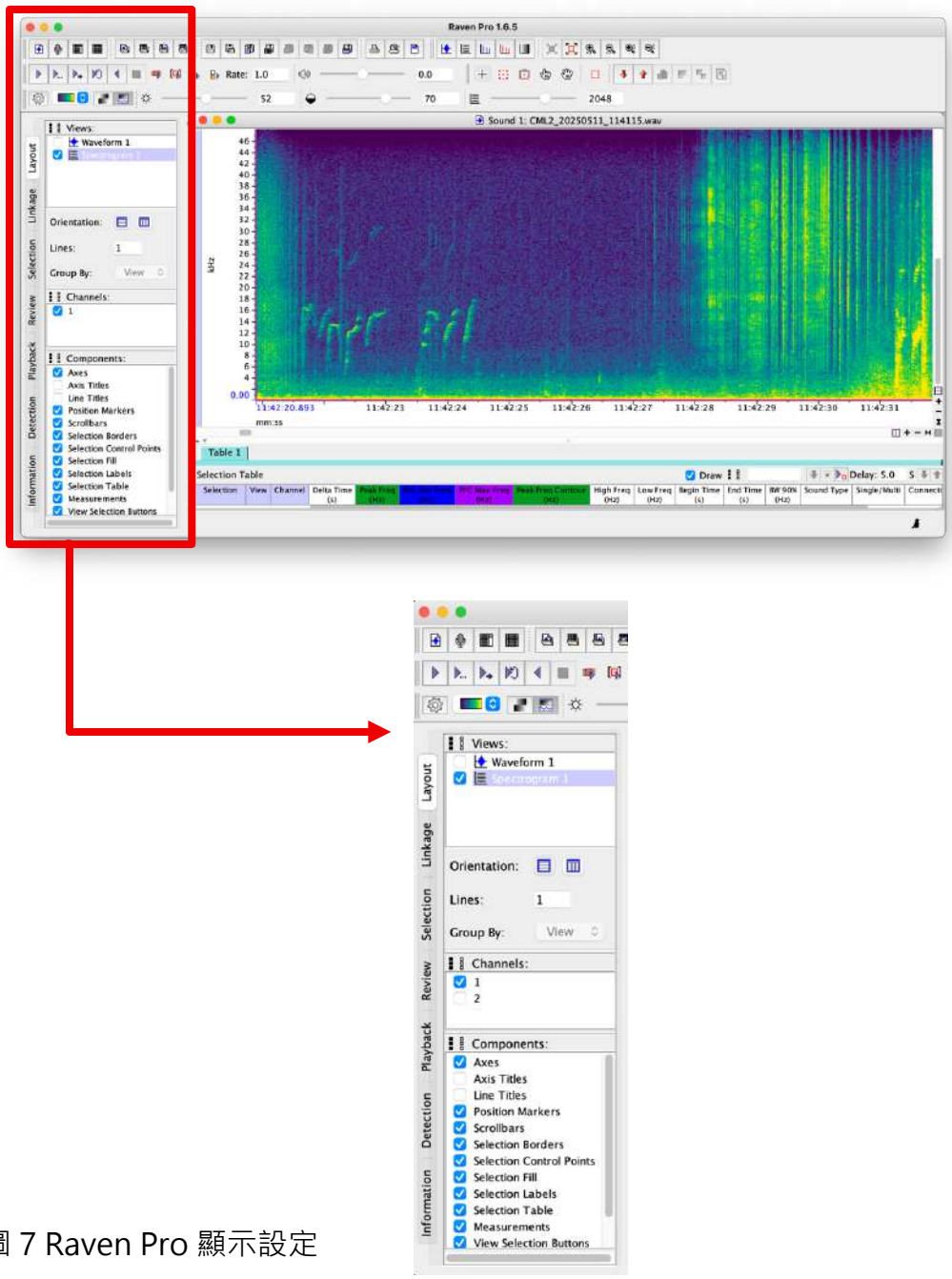


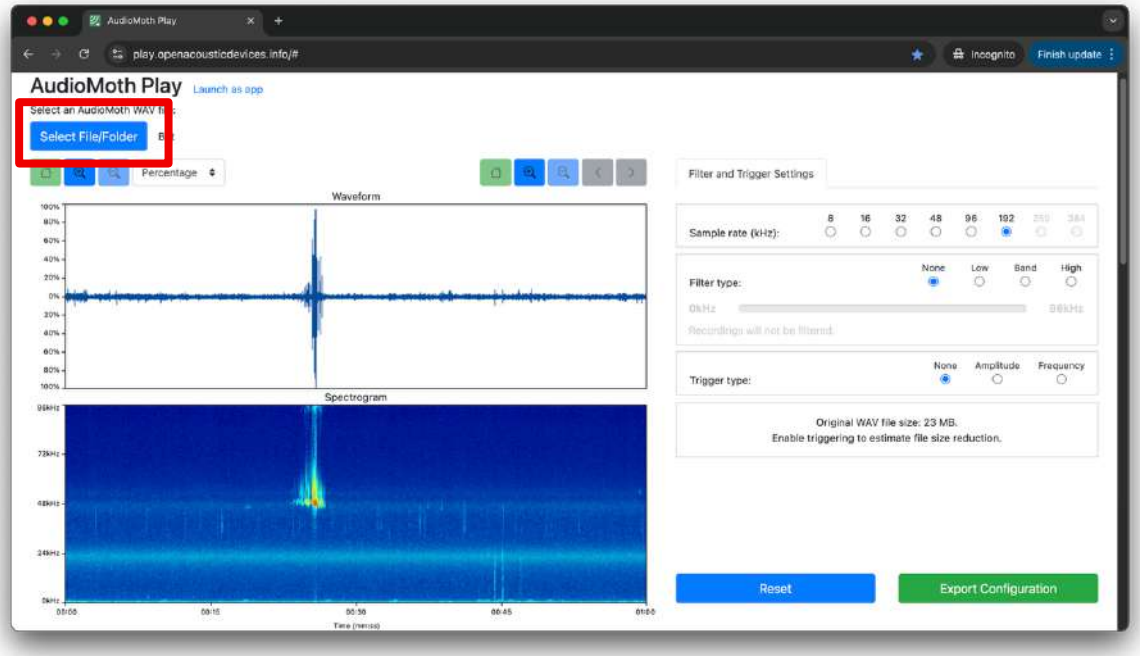
圖 7 Raven Pro 顯示設定

無須安裝即可使用之分析軟體（此計畫所用之軟體為 AudioMoth Play）

- 適用於 HydroMoth 錄製的錄音檔
- 無需安裝

- 網頁：https://play.openacousticdevices.info/#

參數設定步驟與建議



- 上傳錄音檔後會自動顯示聲譜圖，毋需特別參數設定

聲紋樣本圖

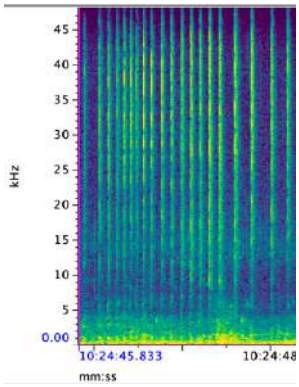


圖 8 喀答聲（click）

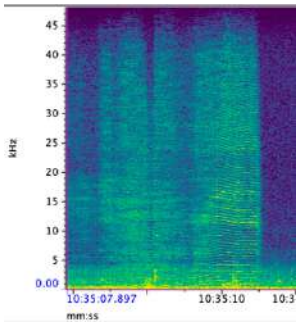


圖 9 脈衝聲（pulse）

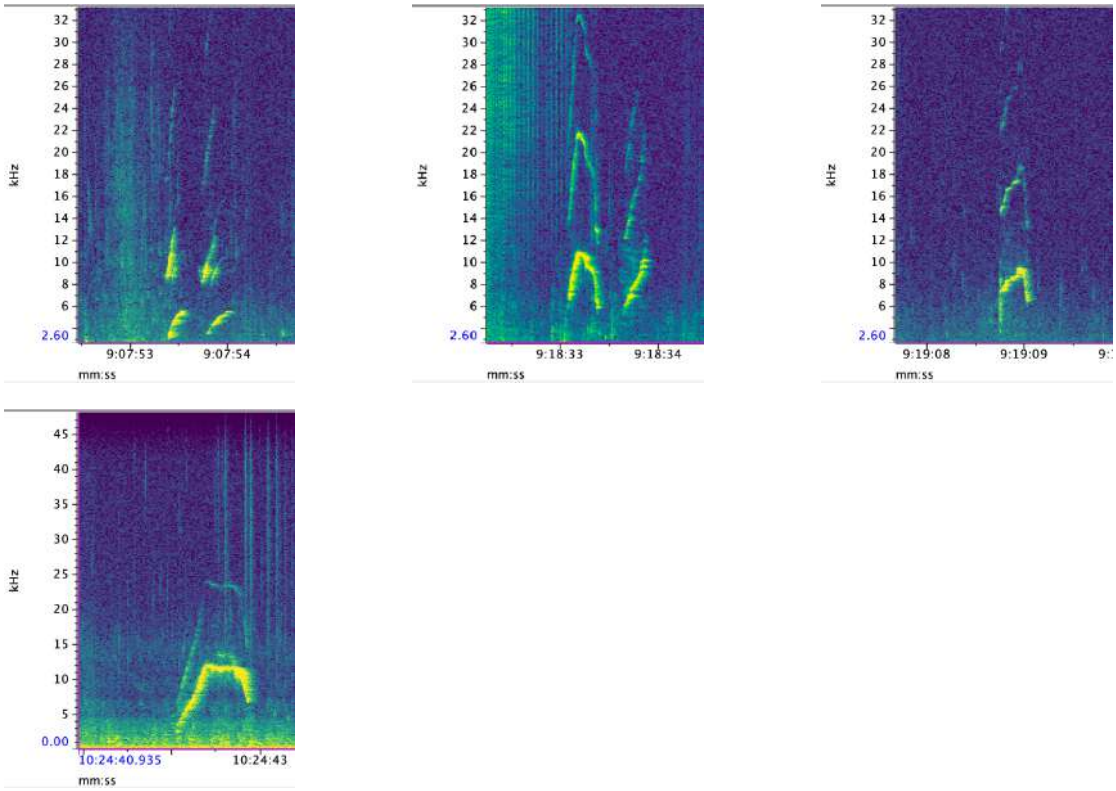


圖 10 哨叫聲（whistle）

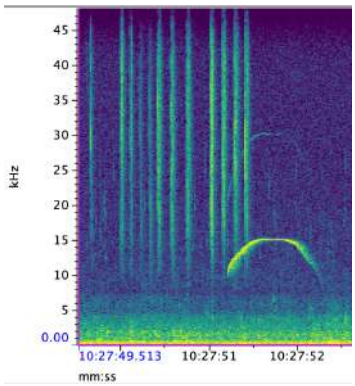


圖 11 喀答聲與哨叫聲部分重疊

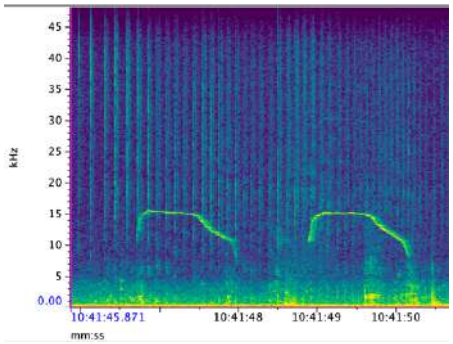


圖 12 喀答聲與哨叫聲完全重疊

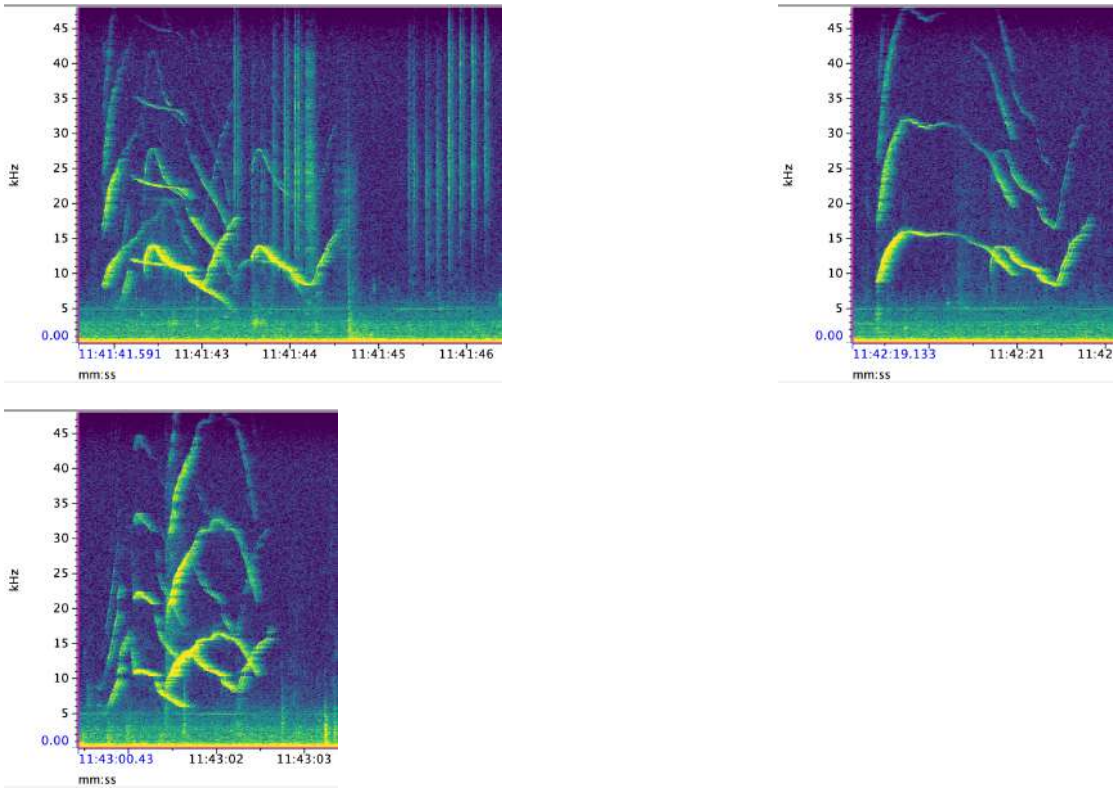

kHz
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0.00
11:41:41.591
11:41:43
11:41:44
11:41:45
11:41:46
mm:ss
11:42:19.133
11:42:21
11:42
11:43:00.43
11:43:02
11:43:03

圖 13 重疊的哨叫聲

參考資料

Herzing, D. L. (2014). Clicks, whistles and pulses: Passive and active signal use in dolphin communication. *Acta Astronautica, 105*(2), 534–537.

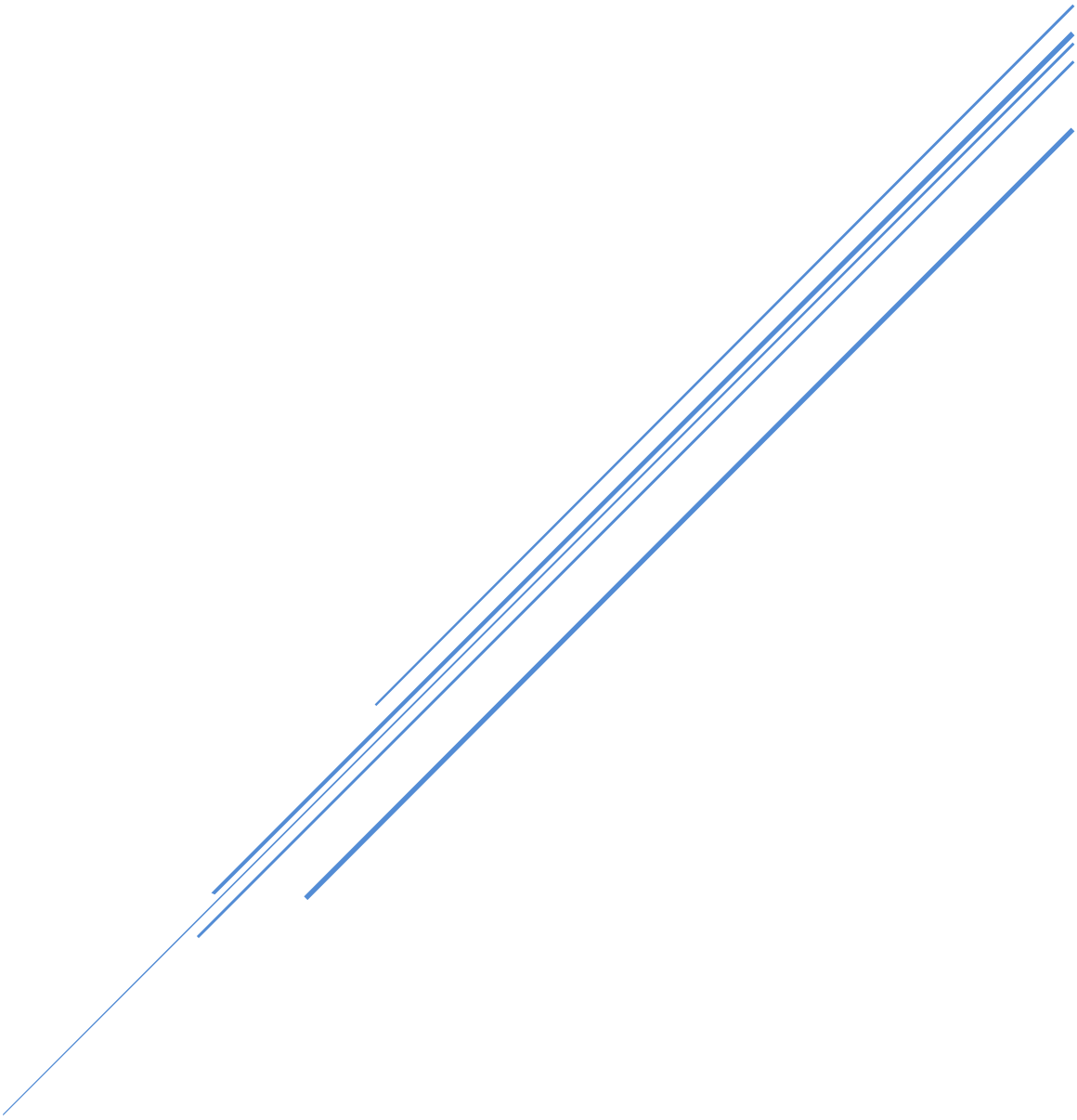
Masterton, B., Heffner, H., & Ravizza, R. (1969). The evolution of human hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America, 45*, 966–985.

May-Collado, L. J., Agnarsson, I., & Wartzok, D. (2007). Phylogenetic review of tonal sound production in whales in relation to sociality. *BMC Evolutionary Biology, 7*, 136. https://doi.org/10.1186/1471-2148-7-136

Saheban, H., & Kordrostami, Z. (2021). Hydrophones, fundamental features, design considerations, and various structures: A review. *Sensors and Actuators A: Physical, 329*, 112790. https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112790

附件四

微生物群落總體基因操作指引



前言

目標建立一套標準化、可重現性高的微生物群落監測與分析流程，作為圈養鯨豚健康監控體系中的關鍵模組，進一步探討其於壓力反應與疾病預警中的應用潛力。該流程涵蓋從樣本採集、處理、DNA 萃取、定序技術到資料分析的全流程標準化，並結合行為、生理與環境資料，建立微生物群落結構與宿主健康狀態之間的關聯模型。透過多樣性指標（如 Shannon index、Faith's Phylogenetic Diversity）與特徵分類群（如 LEfSe 篩選的生物指標）之比對，評估特定菌群在不同生理與環境條件下的敏感性與特異性，進而發展可用於早期偵測壓力或免疫異常的微生物組生物標記（microbiome biomarkers）。同時，本計畫亦關注資料平台建置與跨年度比較之可行性，以利未來建立長期追蹤資料庫與監控演算法，推進動物福利指標化之實踐基礎。

圈養鯨豚無菌氣孔採樣操作指引

圈養鯨豚無菌氣孔樣本採集材料

無菌培養 FALCON 351007 60mm x 15mm Non-Treated Culture Dish	DNA 固定液 R1200-125 DNA/RNA Shield™ (2X Concentrate)
5mL 無菌離心管 BIOSIG CL50.010.0020 5ml	圓形抗凍標籤貼.CRYO LABEL ROLLS 13mm
酒精棉球	奇異筆
擦手紙	手套
1000µL Pipetman	1000µL Tip
夾鏈袋	

圈養鯨豚無菌氣孔樣本採集操作步驟

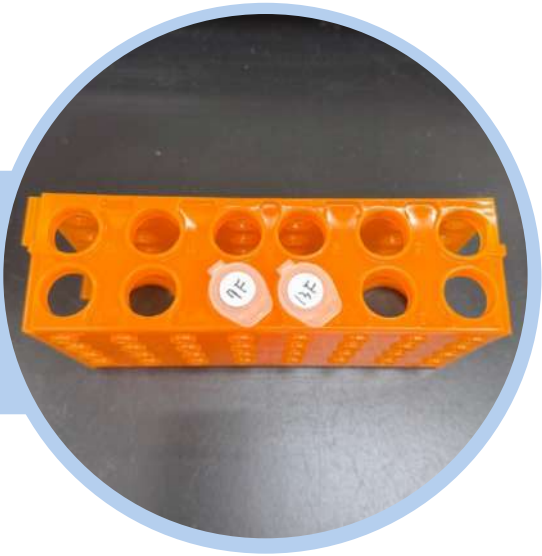
在海豚氣孔周圍使用酒精棉消毒兩次。

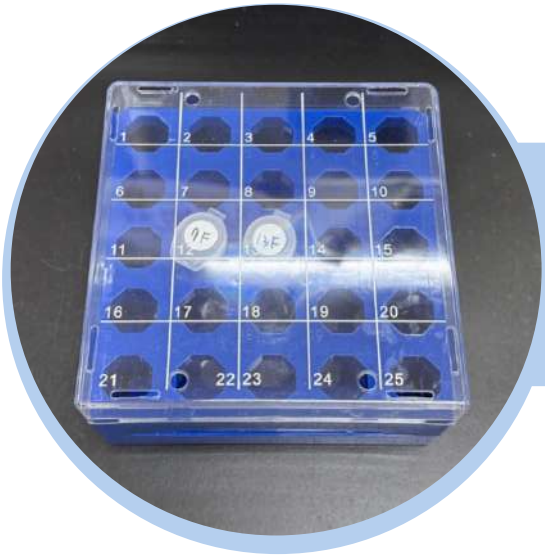
將無菌培養皿移動到海豚氣孔上方約 5 公分處，收集海豚噴氣之黏液。若情況允許，每一隻海豚需噴氣 2~3 次。注意：培養皿的上蓋與下蓋都要朝下擺放以減少污染。

收集好氣孔樣本的培養皿朝下擺放在旁邊籃子上，並且用奇異筆編號。注意：樣本不可曝曬在陽光下，以免影響細菌相。

使用 1 mL 的 2X DNA 固定液來回沖洗培養皿表面 20 次，將氣孔黏液樣本沖洗下來，再將所有液體移動到 5 mL 離心管中。注意：因固定液較為黏稠，請緩慢抽吸。

使用抗凍標籤標記標示管柱，並上下搖晃 5 mL 離心管 20 次。





常溫保存並將樣本送回臺大保育醫學研究室進行 DNA 萃取。

圈養鯨豚無菌直腸樣本採樣操作指引

無菌直腸樣本採集材料

10 mL 針筒	18G針頭 18Gx1 1/2
餵食管 Symphon Feeding Tube AF10	無菌潤滑液 optilube
15 mL 無菌離心管	無菌生理食鹽水
酒精噴瓶	奇異筆
擦手紙	手套
1000μL Pipetman	1000μL Tip
夾鏈袋	奇異筆

圈養鯨豚無菌直腸樣本採集操作步驟

操作之前先用 10 mL 針筒和 18G針頭抽取生理食鹽水後，移除針頭，換成餵食管。

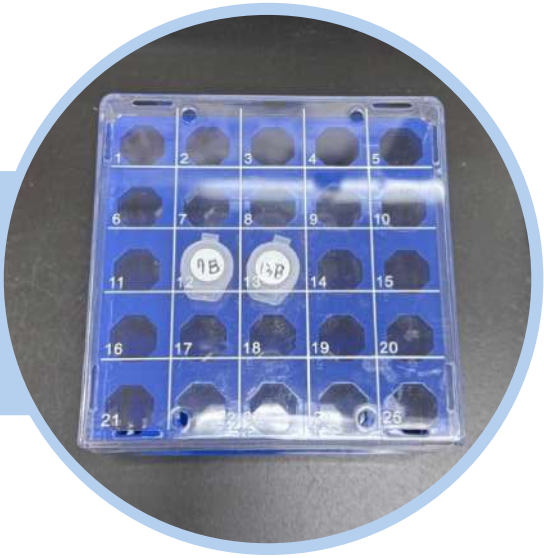
在海豚肛門周圍利用酒精消毒後，塗上無菌潤滑液。

將餵食管緩緩插入海豚肛門，並將針筒中的食鹽水注入海豚腸道後回抽腸道中的糞便。

糞便抽入 10 mL 針筒後，將餵食管移除，並且將糞便樣本全數移入 15mL 離心管，並且寫上編號。注意：樣本不可曝曬在陽光下，以免影響細菌相。

均勻混合糞便樣本後，抽取 0.5 mL 的糞便樣本到含有 2 mL DNA 固定液的保存管中糞便與固定液。使用抗凍標籤標記標示管柱，並上下搖晃 5 mL 離心管 20 次。

常溫保存並將樣本送回臺大保育醫學研究室進行 DNA 萃取。



圈養鯨豚氣孔與糞便樣本處理操作指引-DNA 萃取步驟

Step 1

本計畫使用 ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit。將存放在 DNA 保存液的氣孔與糞便樣本移入無菌操作台。取出混合均勻的 800 µl 氣孔與糞便樣本，移入含有研磨陶磁珠的 2 ml 離心管中。

Step 2

將離心管放入震盪機使用最大轉速震盪 40 分鐘。

Step 3

將 Zymo-Spin III-F Filter 放入 Collection Tube。將震盪完的樣品取上清液 400 µl 至 Filter 中，離心 8000 g 一分鐘，保留下方的 Collection Tube，移除 Zymo-Spin III-F Filter。

Step 4

加入 1200 µl 的 ZymoBIOMICS DNA Binding Buffer 至上一個步驟的 Collection Tube 中，與樣本混合均勻，總體積應為 1600 µl。注意：DNA 在混合物中。

Step 5

將 Zymo-Spin IICR Column 放入 Collection Tube。再來將 800 µl 的混合物移入 Zymo-Spin IICR Column 中，離心 10000 g 一分鐘。此步驟重複兩次，直到所有混合物都完成離心。注意：DNA 在 Filter 上。

Step 6

將 Zymo-Spin IICR Column 放到新的 Collection Tube。加入 400 µl 的 ZymoBIOMICS DNA Wash Buffer 1 到 Zymo-Spin IICR Column 中，離心 10000 g 一分鐘，移除下方離心後的液體，保留 Collection Tube。

Step 7

加入 700 µl 的 ZymoBIOMICS DNA Wash Buffer 2 到 Zymo-Spin IICR Column 中，離心 10000 g 一分鐘，移除下方離心後的液體，保留 Collection Tube。

Step 8

再次加入 200 µl 的 ZymoBIOMICS DNA Wash Buffer 2 到 Zymo-Spin IICR Column 中，離心 10000 g 一分鐘，移除下方離心後的液體。

Step 9

將 Zymo-Spin IICR Column 放入新的 1.5 ml 離心管中，並加入 50 µl ZymoBIOMICS DNase/RNase Free Water 到 Filter 上，靜置一分鐘後，離心 10000 g 一分鐘，獲得初步純化的 DNA。注意：DNA 在離心管中。

Step 10

將 Zymo-Spin III-HRC Filter 放入新的 Collection Tube。將 600 µl ZymoBIOMICS HRC Prep Solution 將至 Zymo-Spin III-HRC Filter，離心 8000 g 三分鐘。將製備好的 Filter 放到新的 1.5 ml 離心管，準備收集 DNA。

Step 11

將初步純化的 50 µl DNA 全部移入製備好的 Zymo-Spin III-HRC Filter，離心 16000 g 三分鐘，完成 DNA 萃取步驟。

Step 12

將初步純化的 50 µl DNA 全部移入製備好的 Zymo-Spin III-HRC Filter，離心 16000 g 三分鐘，完成 DNA 萃取步驟。

氣孔與糞便樣本 DNA 濃度測量步驟

Step 1

本計畫使用 Invitrogen™ Qubit™，並搭配 Qubit™ 1X dsDNA High Sensitivity (HS) and Broad Range (BR) Assay Kits 進行 DNA 濃度測量。首先進行校正。準備兩個 0.5 ml 離心管。從咖啡色瓶中取出 190 µl 1x Working Solution 加入兩管 0.5 ml 離心管中。分別將 10 µl Standard #1 和 10 µl Standard #2 加入離心管中，並標示清楚。

Step 2

打開儀器，選擇 Quant-iT ds DNA, Broad Range。Run new calibration。依照指放入 Standard #1 和 Standard #2。若是先前已經校正過，則只需要選擇 Use last calibration，可直接跳過一、二步驟。

Step 3

取 195 µl 1x Working Solution 加入 0.5 ml 離心管中。將 5 µl 樣本加入離心管中，總體積為 200 µl。用手指輕談，均勻混合樣本，並在避光下靜置兩分鐘。

Step 4

將已經與 working solution 混合的 DNA 樣本，放入 Qubit 儀器測量 DNA 濃度。數值出現後，選擇 Calculate sample concentration 5 µl，換算後會得到最中的 DNA 濃度。

Step 5

紀錄樣本 DNA 濃度，將樣本送 16S 全長定序。分析報告需等待 30 天。

參考資料

Apprill, A. (2017). Marine animal microbiomes: Toward understanding host–microbiome interactions in a changing ocean. *Frontiers in Marine Science, 4*, 222. https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00222

Nelson, T. M., Apprill, A., Mann, J., Rogers, T. L., & Brown, M. V. (2015). The marine mammal microbiome: Current knowledge and future directions. *Microbiology Australia, 36*(1), 8–13. https://doi.org/10.1071/MA15005

Thermo Fisher Scientific. (2021). *Qubit 1X dsDNA assays: Simplified workflow and improved performance (Technical note)*. View document

Wan, X., Li, H., Wang, Z., Zhang, Y., Chen, J., & Zhang, H. (2022). The effects of human care on the blowhole and gut microbiotas of two cohabiting dolphin species based on a year-round surveillance. *Frontiers in Marine Science, 9*, 1024117. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1024117

Zymo Research. (2023). *ZymoBIOMICS DNA Miniprep kit instruction manual* (Version D4300/D4304). View protocol

附件五

圈養鯨豚水面行為觀察記錄成果報告

一、行為資料收集總時數

本計畫人員定期前往遠雄海洋公園收集監視器影像記錄；及前往野柳海洋世界和國立海洋生物博物館架設全方位運動攝影機進行影像記錄，用以觀察瓶鼻海豚（本計畫人員每月定期前往遠雄海洋公園各大園區收集監視器影像記錄，用以觀察瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）和花紋海豚（*Grampus griseus*）的水面行為。本年度共收集遠雄海洋公園 72 小時的影像記錄、野柳海洋世界總計 12 小時、國立海洋生物博物館 6 小時影像記錄，共 90 小時 *Tursiops truncatus*）、印太瓶鼻海（*Tursiops aduncus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）和白鯨（*Delphinapterus leucas*）的水面行為。本年度共收集 90 小時的影像記錄，並從中做出記錄與分析，建立初步之圈養鯨豚水面行為資料庫，作為後續長期監測與動物福利評估之重要基礎。

二、影像收集方法

使用監視器影像記錄，觀察並記錄前置池、醫療池和哺育池的鯨豚水面行為。為避免人為干擾，只會採用非訓練時間的監視器影像。然而，在光線不充足的情況下，監視器的影像會呈現黑白色，難以觀察鯨豚行為。因此，未有採用清晨和黃昏時段的影像。此外，照護人員午膳期間，鯨豚的活動範圍包含訓練池和表演池的範圍，惟該兩水池並未設有監視器。因此，使用午膳期間的影像會導致錯過訓練池和表演池的行為記錄。為此，最終採用照護人員工作時間開始前 1 小時作為觀察時段。主要觀測對象為遠雄海洋公園四隻母瓶鼻海豚和一隻母花紋海豚。

野柳海洋世界記錄圈養鯨豚的水面行為，每隔一週早上 9 點至 10 點進行錄

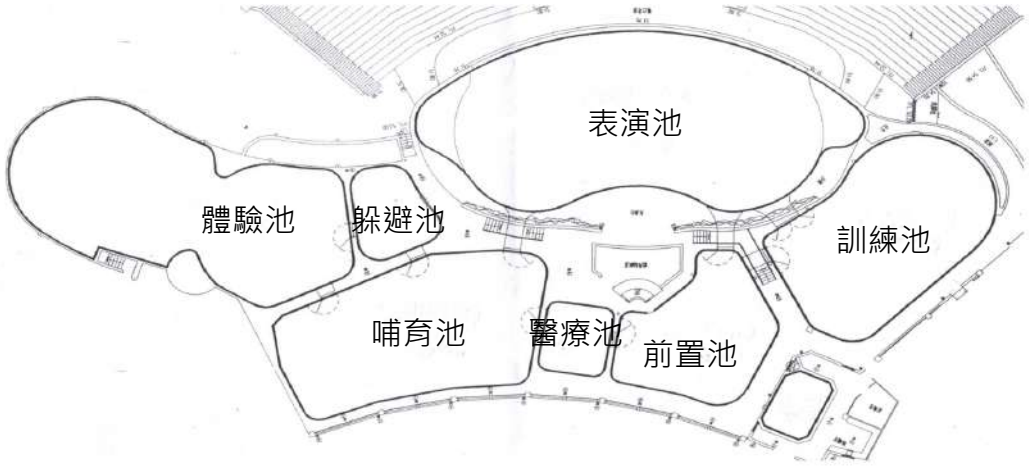
影觀測一次，此時段為野柳海洋世界展示圈養海豚活動前 1 小時，工作人員會在此時段進行餵食與不定期提供環境豐富物，過程中可能會因天氣驟變（如：降雨、大風等）或是機器過熱而出現需中斷錄影之情形，因此有部分影像時長較短。主要觀測對象為野柳海洋世界的三群海豚：兩隻母海豚、五隻公海豚。

國立海洋生物博物館於早上 10 點開始錄影，該時段為白鯨第一次餵食結束後，於當天下午約 4 點（接近落日時間）左右結束錄影。為了捕捉白鯨在不同生理狀況下的行為狀態，從中挑選上午與下午的時段，以確保資料具備初步的代表性。由於目前樣本仍處於初步收集階段，將數據依據實際觀測日期與上下午進行分組，以反映出白鯨在特定觀測時段內的行為表現，避免錯誤解讀數據結果。主要觀測對象為：一隻母白鯨、兩隻公白鯨。

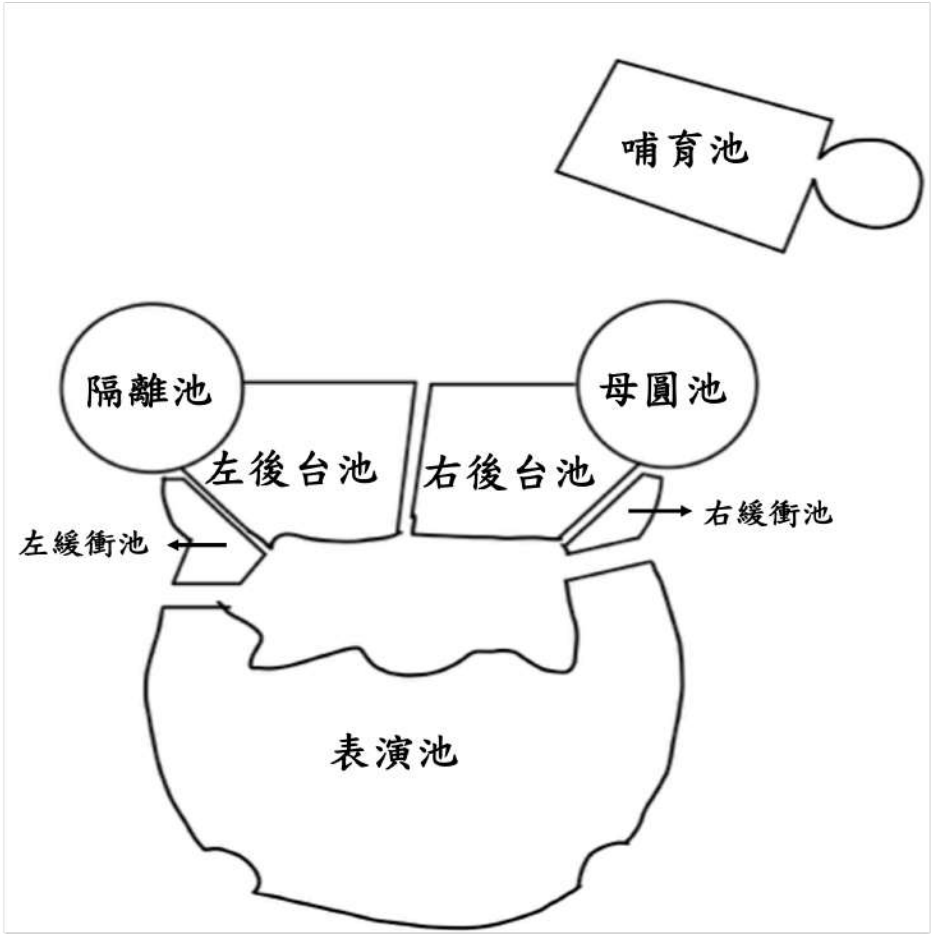
三、水面行為記錄方法

利用 BORIS（Behavioral Observation Research Interactive Software），根據行為譜標示影像裡面鯨豚展示的行為及其開始和結束時間。只有能夠判斷鯨豚物種並有一半身體在影像裡面的行為才會被記錄和標示，因水面反光、池水濁度高或重疊而未能進行物種辨識的行為不會被記錄和標示。

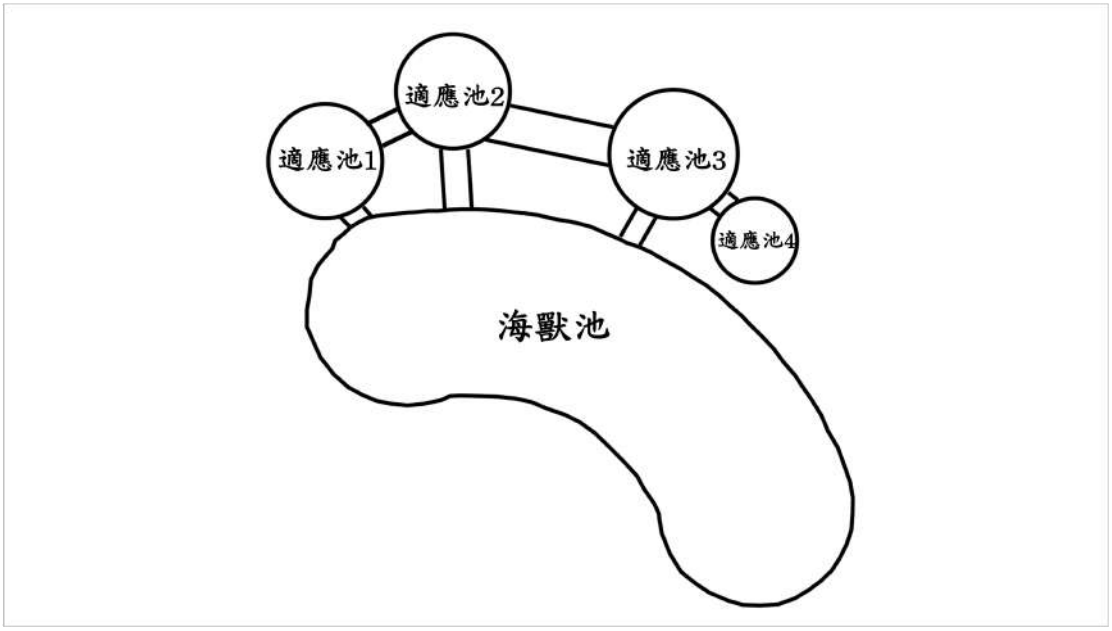
四、三大園區水池平面圖



圖一、遠雄海洋公園水池平面圖



圖二、野柳海洋世界水池平面圖



圖三、國立海洋生物博物館水池平面圖

行為譜如下：

表一、鯨豚水面行為譜

編碼	行為類型	行為	定義
AFT	狀態事件	互相觸碰 Affiliative Tactile	- 利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
AGT	點事件	競爭性觸碰 Agonistic Tactile	- 非友好地利用吻部、胸鰭、尾鰭或其他身體部分觸碰或摩擦另一隻個體
BIT	狀態事件	咬 Biting	- 閉合吻部使上下顎牙齒得以捕捉到另一隻鯨豚的身體任何一部分；或利用牙齒在另一隻鯨豚身體任何一部分造成刮痕
BRE	點事件	躍身擊浪 Breaching	- 鯨豚跳離開水面，在入水時以身體擊水造成水花
CHA	狀態事件	追趕 Chasing	- 高速游向另一隻鯨豚，頭部方向對準另一隻鯨豚的尾鰭
CHU	點事件	用力噴氣 Chuffing	- 短促、強力且大聲的呼氣
CIS	狀態事件	重複繞圈 Circular Swimming	- 以重複固定的路線繞圈游泳三次或以上
FAS	狀態事件	快速游泳 Fast Swimming	- 鯨豚快速往單一方向游泳 3 秒或以上，並在水面形成水花（沒有追趕其他鯨豚）
FLO	點事件	倒立舉尾	- 鯨豚垂直倒立在水中，頭部朝

		Fluke out of the water	向水底，尾鰭與尾幹露出水面
JAC	點事件	吻部用力開合 Jaw Clapping	- 吻部高速開合，閉合過程中發出明顯聲響
JUM	點事件	跳躍 Jumping	- 明顯的空中運動，鯨豚整隻從水中跳出，所有身體部分都離水
LAN	狀態事件	上岸 Landing	- 鯨豚離開水池，在陸地上靜止移動
LIE	狀態事件	伏下 Lying	- 鯨豚在水中或水底靜止移動
OTH	狀態事件	其他 Other	- 任何未有歸類的行為
PLE	狀態事件	使用環境豐富物 Playing with Enrichment	- 鯨豚以身體任何一部分與環境豐富物互動
PLW	狀態事件	玩水 Playing with Water	- 鯨豚張開嘴巴並含著一定份量的池水，然後從嘴裡加壓，讓池水如同噴水池一樣從牙齒間噴出 - 用胸鰭拍打池水，讓飛濺的水花滴回身上
POR	狀態事件	豚游 Porpoising	- 週期性連續躍出水面的前進動作，當鯨豚的頭部進水時，尾鰭會離開水面
REG	狀態事件	吐食 Regurgitation	- 鯨豚把食物或胃內容物從口中吐出
RES	狀態事件	休息 Resting	- 鯨豚靜止移動並浮在水面

RUB	狀態事件	摩擦 Rubbing	- 鯨豚利用身體任何一部分，與水池的牆壁、閘門、池底或任何水池的部分摩擦

五、結果範例

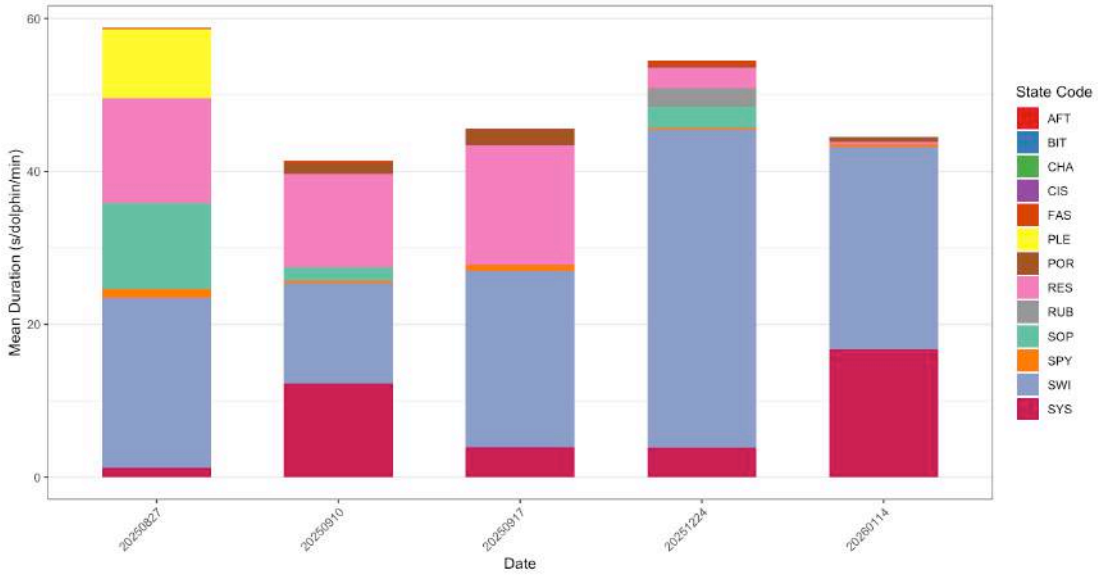
為準確比較觀察結果，會對狀態事件觀察數據進行標準化處理。

步驟如下：

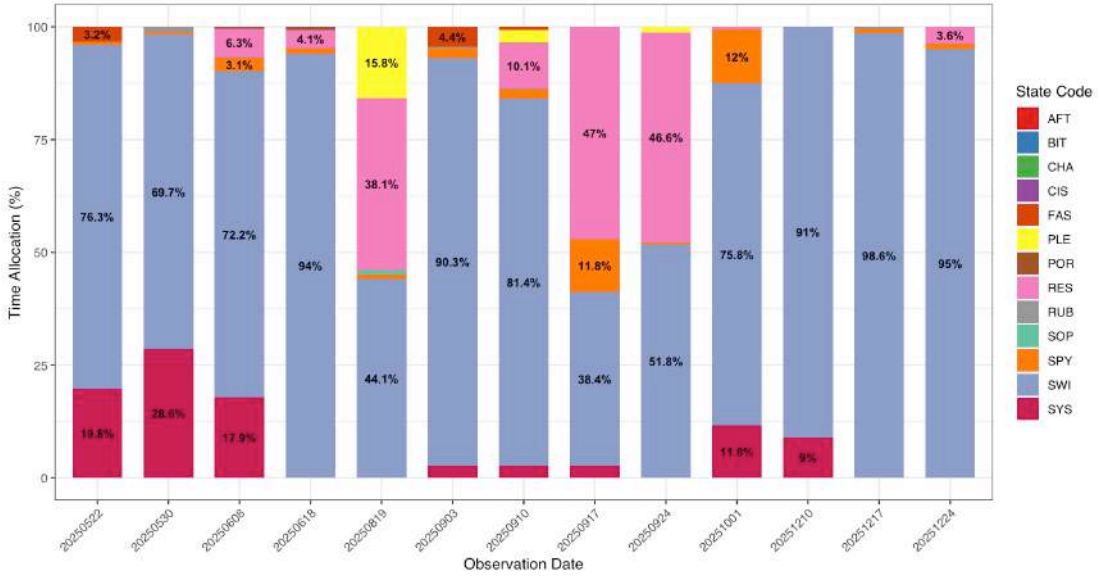
1. 按觀察影像的個體數量作出標準化處理，計算平均一隻個體的行為總時長。

2. 按觀察影像時長作出標準化處理，計算平均一分鐘或一小時個體的行為總時長。

3. 按有效影像數量作出標準化處理，計算平均一隻個體在一個有效影像的行為總時長。



圖四、標準化後平均一隻個體每分鐘狀態事件每日行為時間分配（範例）



圖五、狀態事件每日行為時間百分比（範例）

表二、狀態事件行為總時數【未分群】（範例）

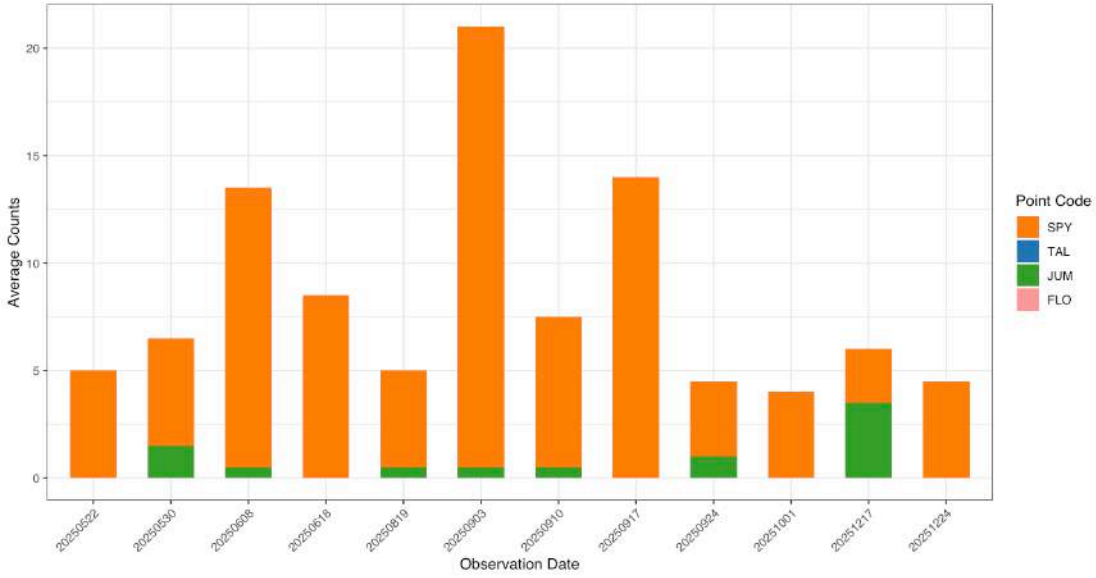
物種/行為編碼	狀態事件行為時長（秒/隻/分鐘）												
	AFT	CHA	FAS	LAN	LIE	OTH	RES	RUB	SOP	SPO	SPY (S)	SWI	SYS
Dolphin 1													
Dolphin 2													
總時數（秒）													

表三、狀態事件行為總時數【有分群】（範例）

水池/行為編碼	狀態事件行為時長（秒/隻/分鐘）												
	AFT	BIT	CHA	CIS	FAS	PLE	POR	RES	RUB	SOP	SPY(S)	SWI	SYS
水池 A													
水池 B													
總時數（秒）													

為準確比較觀察結果，會對點事件觀察數據進行標準化處理。

按觀察影像的個體數量作出標準化處理，計算平均一隻個體的行為總次數。

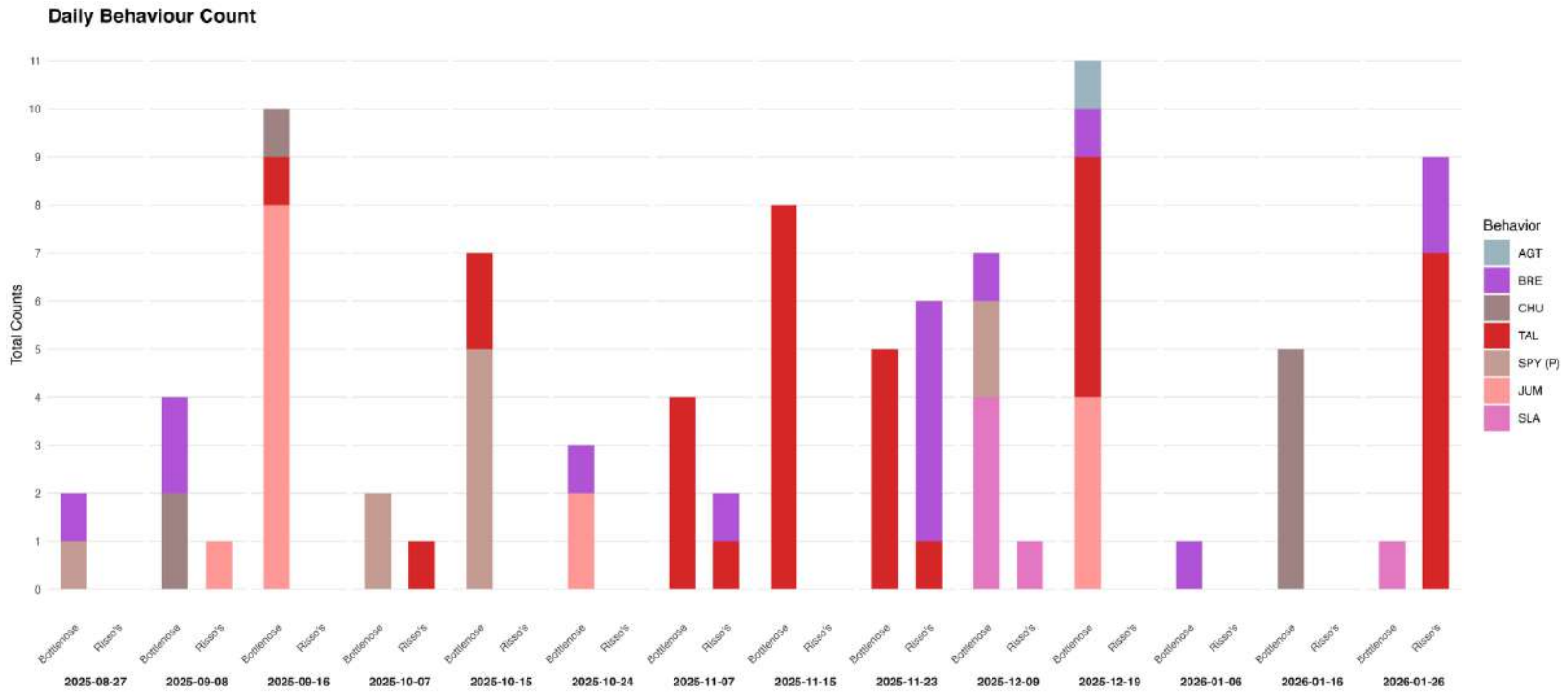


圖六、標準化後點事件每日行為次數（範例）

表四、點事件行為總次數【未分群】（範例）**物種/行為編碼**	**點事件行為次數（次/隻）**			
	FLO	**JUM**	**SPY(P)**	**TAL**
Dolphin 1				
Dolphin 2				
總次數				

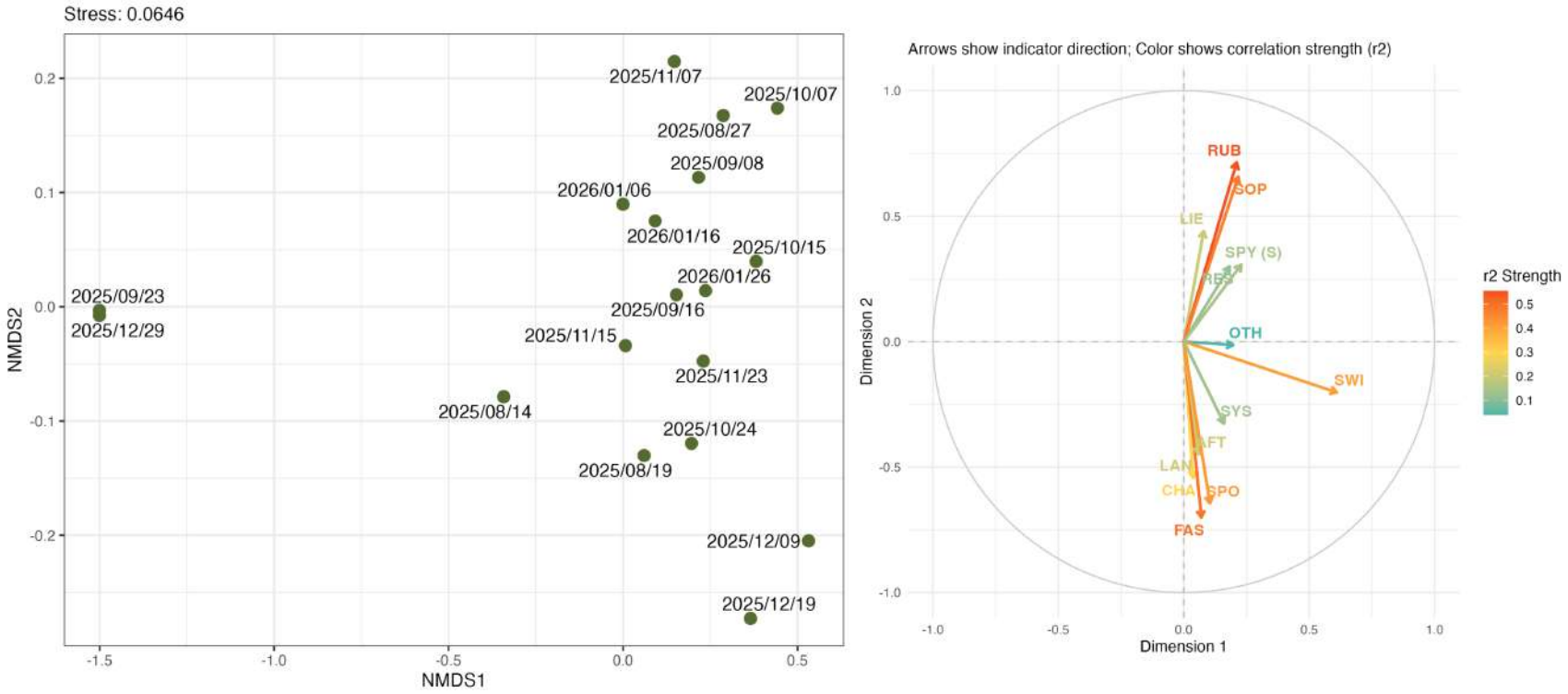
表五、點事件行為總次數【有分群】（範例）

水池/行為編碼	次數（次/隻）			
	FLO	JUM	SPY(P)	TAL
水池 A				
水池 B				
總次數				



圖七、點事件每日行為次數結果（範例）

除了統計各行為的表現時數和次數外，也針對兩個物種的行為表現進行非度量多維度分析（Non-metric Multidimensional Scaling，NMDS）。NMDS 為非線性模型，因此能夠充分放映行為記錄資料的非線性結構。NMDS 分析出來的排序圖會以點的形式呈現，透過點與點之間的距離展示當中的差異程度。分析中，壓力值（stress）越低，排序圖越有代表性。排序圖應與貢獻圖配合使用，以便解讀點位位置。由於各展館的鯨豚點事件行為表現數據較少，因此只對狀態事件行為進行 NMDS 分析。



圖八、鯨豚行為 NMDS 排序圖（左）與貢獻圖（右）（範例）

圖九、無法辨別物種和行為的影像

除了因為拍攝角度的因素外，也因為水池濁度和水面反光的關係，難以辨識鯨豚的物種和行為。因此，那些鯨豚的行為也無法被記錄下來，行為時數和次數會被低估。

六、鯨豚水面行為觀察未來工作

未來也會維持定期收集水面行為影像作記錄與分析。

附件六

圈養鯨豚發聲行為觀察記錄成果報告

一、水下聲音資料收集總方法時數

本計畫人員定期前往、野柳海洋世界和國立海洋生物博物館收集水下錄音記錄各大園區收集水下錄音記錄）、印太瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）、和和白鯨（*Delphinapterus leucas*）。本年度共收集遠雄海洋公園 596 分鐘小時、野柳海洋世界 457 分鐘、國立海洋生物博物館 180 分鍾的聲音記錄，共 1233 分鐘，並從中做出記錄與分析，建立初步之圈養鯨豚發聲行為資料庫，作為後續長期監測與動物福利評估之重要基礎。

二、水下聲音收集方法

下午 04 時後，每天約 30 分鐘的水下錄音，觀察遠雄海洋公園鯨豚的發聲行為。為避免人為干擾，只會採用非訓練時間的水下錄音。然而，因為每一天的訓練時間表和表演時間表並非固定，即使是照護人員的午膳時間都會出現不一的情況。因此，只有照護人員上班前和下班後才能進行固定時間的水下錄音。然而，由於錄音設備需要本計畫人員於錄音時架設，但照護人員開始工作（早上 08 點）前難以到達園區進行錄音。因此，最終採用照護人員最後訓練結束後 30 分鐘作為觀察時段。

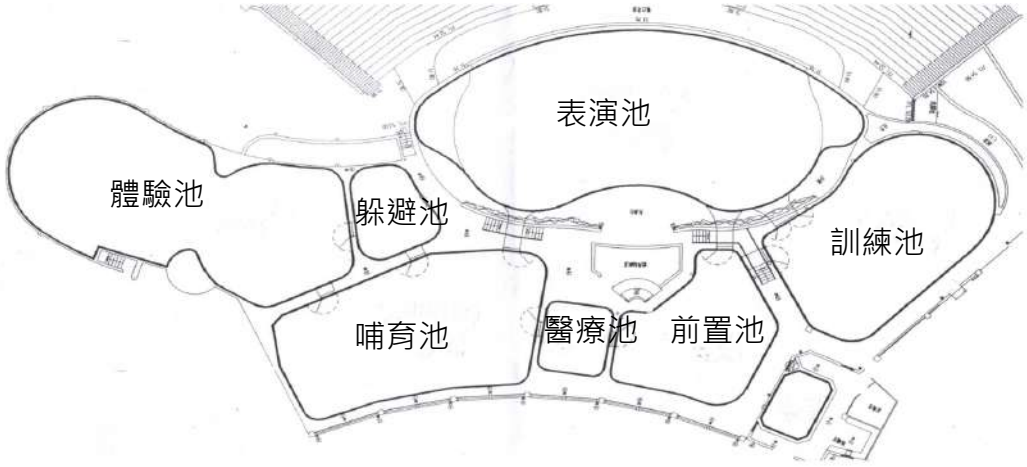
野柳海洋世界每隔一週於早上 9 點至 10 點進行錄音記錄一次，此時段為野柳海洋世界展示圈養海豚活動前 1 小時，工作人員會在此時段進行餵食與不定期提供環境豐富物。由於臺灣北部縣市冬季下雨頻繁，無法進行錄音。

國立海洋生物博物館於早上 10 點開始錄音，該時段為白鯨第一次餵食結束後。為了捕捉白鯨在不同時間狀況下的水下發聲行為狀態，並且能夠與水面行為合併分析，從中挑選上午與下午的時段，較少人為干擾，以確保資料具備初步的代表性。

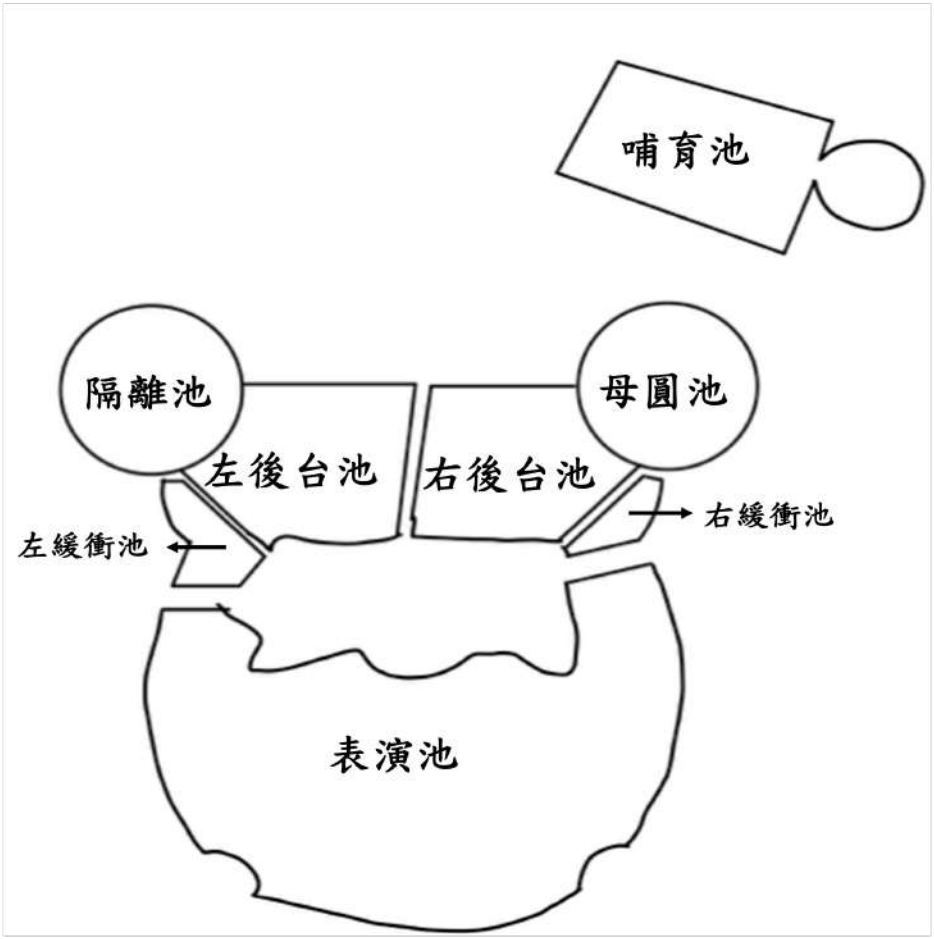
三、發聲行為記錄方法

利用 Raven Pro，觀察水下錄音檔的頻譜圖，並把鯨豚發出的脈衝聲（pulse）、哨叫聲（whistle）、混合聲（combo）分類標示和記錄。只有能夠在頻譜圖上看見的聲音會被標示下來。如果聲音的能量值過低，無法在頻譜圖上呈現，將不會被記錄下來。

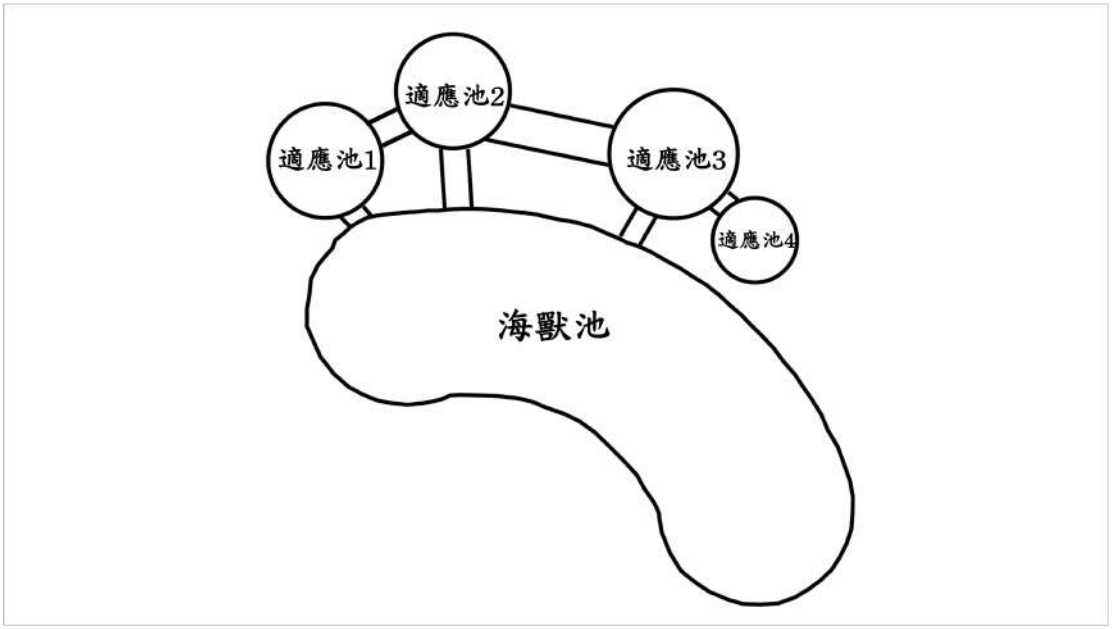
四、三大園區水池平面圖



圖一、遠雄海洋公園水池平面圖

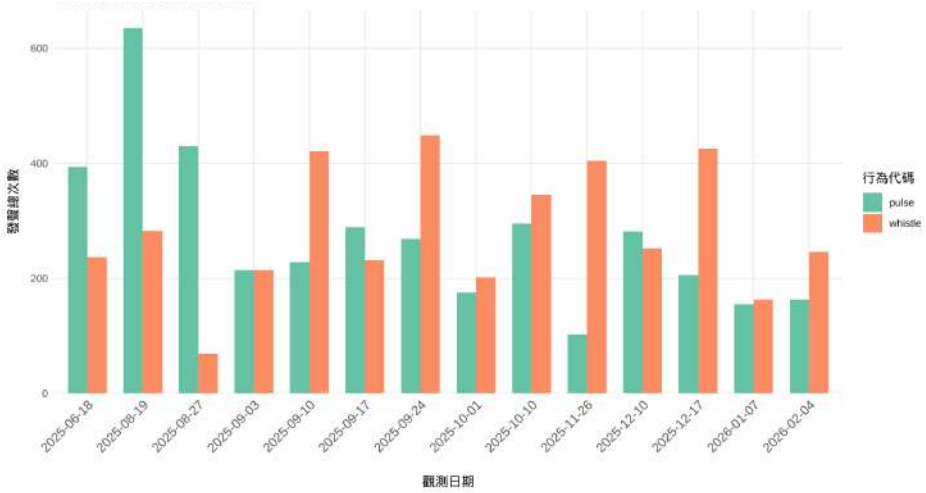


圖二、野柳海洋世界水池平面圖



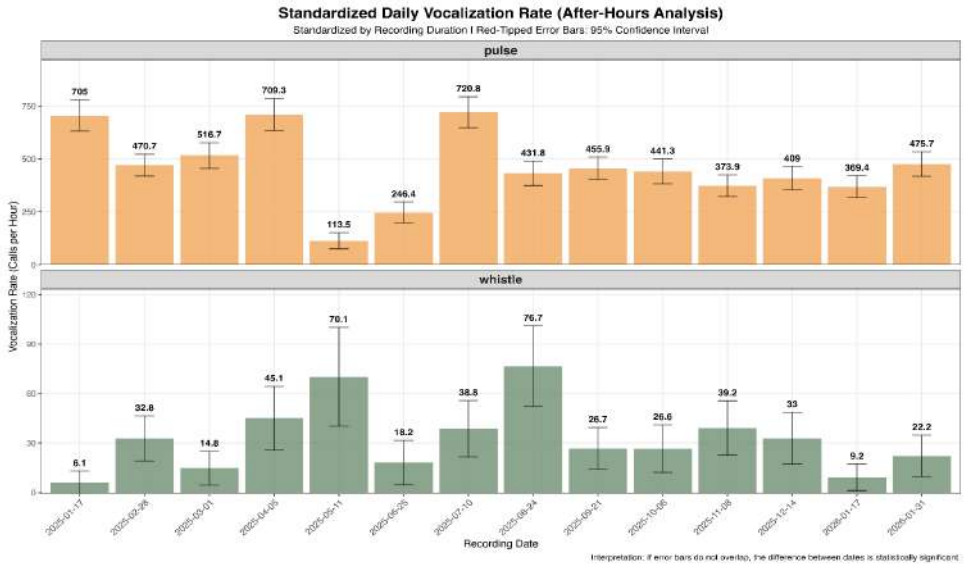
圖三、國立海洋生物博物館水池平面圖

五、鯨豚發聲結果範例



圖四、鯨豚發聲行為條狀圖（範例）

由於每一次的錄音時長不一致，為準確比較觀察結果，因此對觀察數據作出標準化處理，並計算平均一小時或一分鐘的發聲行為記錄量。



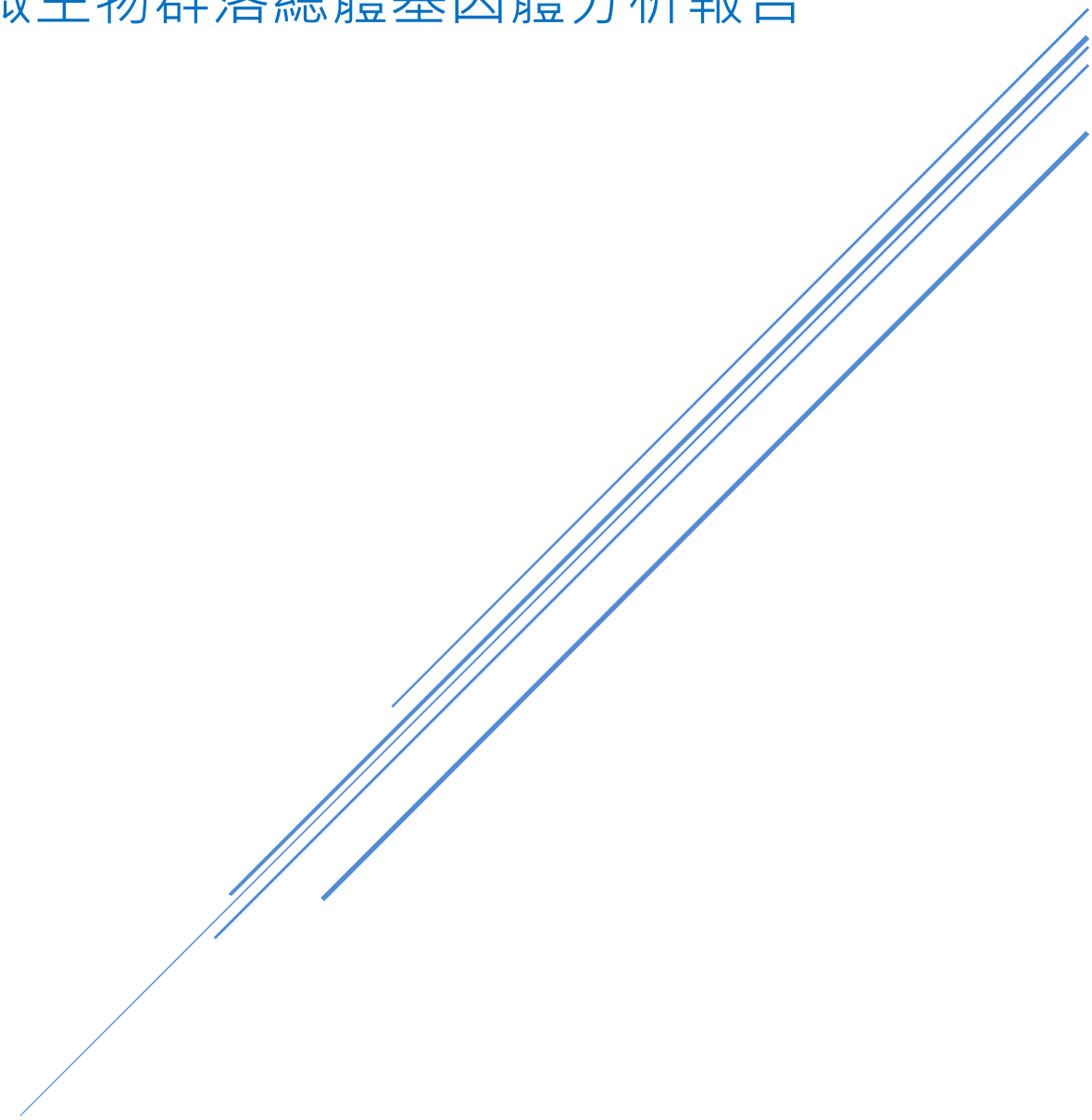
圖五、標準化後鯨豚發聲行為條狀圖及 95%信心區間（範例）

六、鯨豚發聲行為觀察記錄未來工作

未來也會維持定期收集水下錄音作記錄與分析。

附件七

微生物群落總體基因體分析報告



一、樣本採集與研究設計

本計畫於本年度收集臺灣三處海洋場館之圈養鯨豚糞便與噴氣孔樣本，包括遠雄海洋公園、野柳海洋世界及屏東國立海洋生物博物館。研究物種包含瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）、印太瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）及白鯨（*Delphinapterus leucas*）。

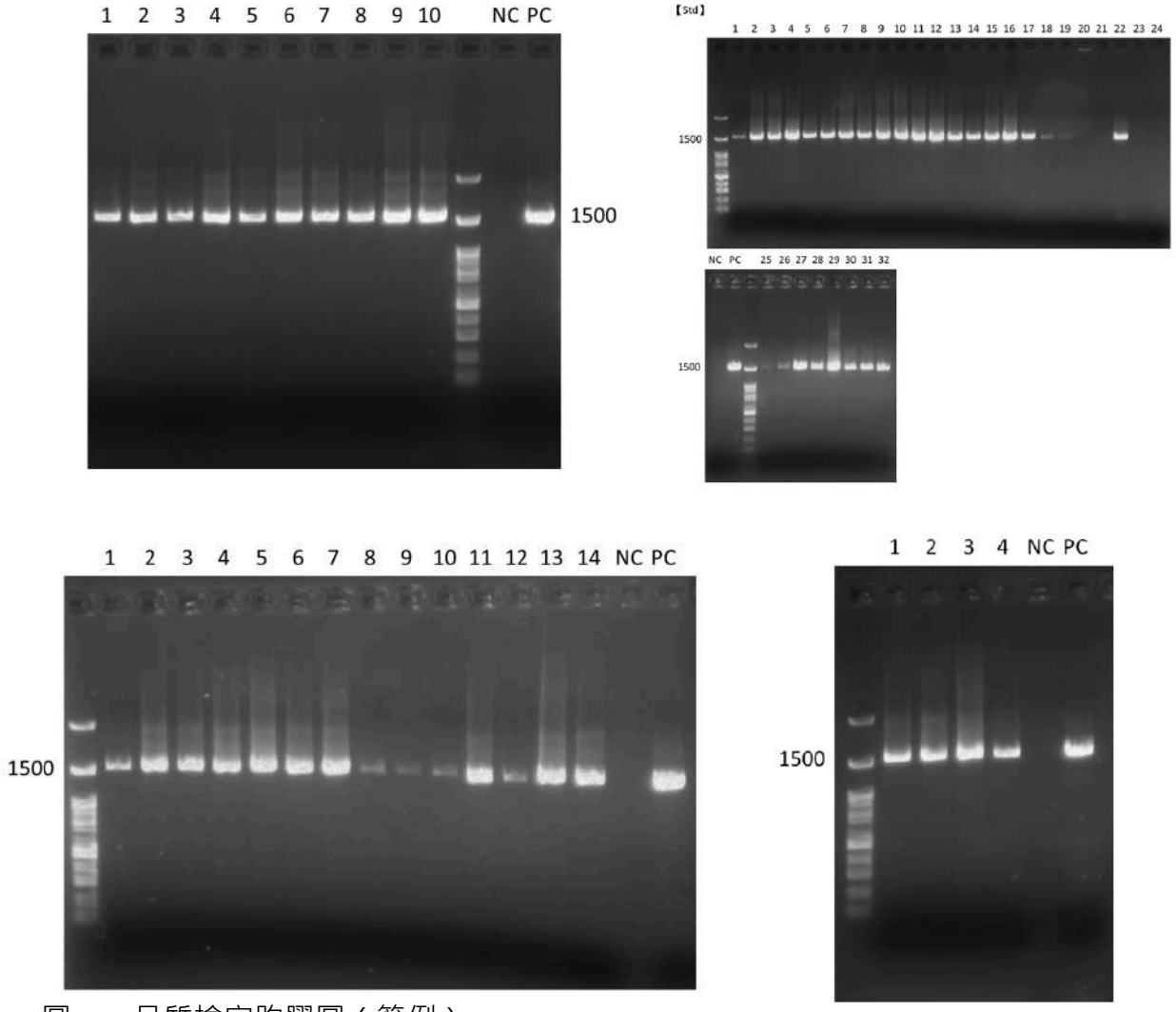
本計畫人員每月前往遠雄海洋公園與野柳海洋世界各一次，每三個月前往屏東國立海洋生物博物館一次進行樣本採集。所有樣本均於醫療訓練或例行健康檢查過程中取得。糞便樣本以 16 Fr 無菌餵食管經肛門插入直腸約 30 公分後採集；噴氣孔樣本則於呼吸瞬間以無菌培養皿收集噴氣霧與液體。樣本採集後立即置入 DNA 保存液並帶回實驗室。

實驗室端使用 Zymo Research ZymoBIOMICS™ DNA MiniPrep Kit 進行 DNA 萃取。萃取完成後，委由基龍米克斯公司進行 DNA 品質檢定（quality control），檢定作業約需一週。品質符合標準後，進行 16S rRNA 全長序列定序（full-length 16S rRNA sequencing），定序流程約需八週完成；後續樣本分組與生物資訊分析約需兩週。

本年度共完成 13 次採樣，已完成分析樣本共 64 個噴氣孔與直腸糞便樣本（遠雄 38 個樣本分別來自 5 隻個體、野柳 20 個樣本分別來自 3 隻個體、國立海洋生物博物館 6 個樣本分別來自 3 隻個體）。此外，另有前測試樣本 15 份及定序進行中樣本 32 份，累計已收集樣本總數達 115 份。已建立初步之圈養鯨豚微生物基礎資料庫，作為後續長期監測與動物福利評估之重要基礎。

品質控制（Quality Control）

截至 115 年 03 月 15 日，完成採集並順利進行分析共 64 個樣本，目前仍有 32 個樣本已完成萃取並通過品質檢定，正在等待後續定序作業，品質檢定跑膠圖見下方圖示範例：



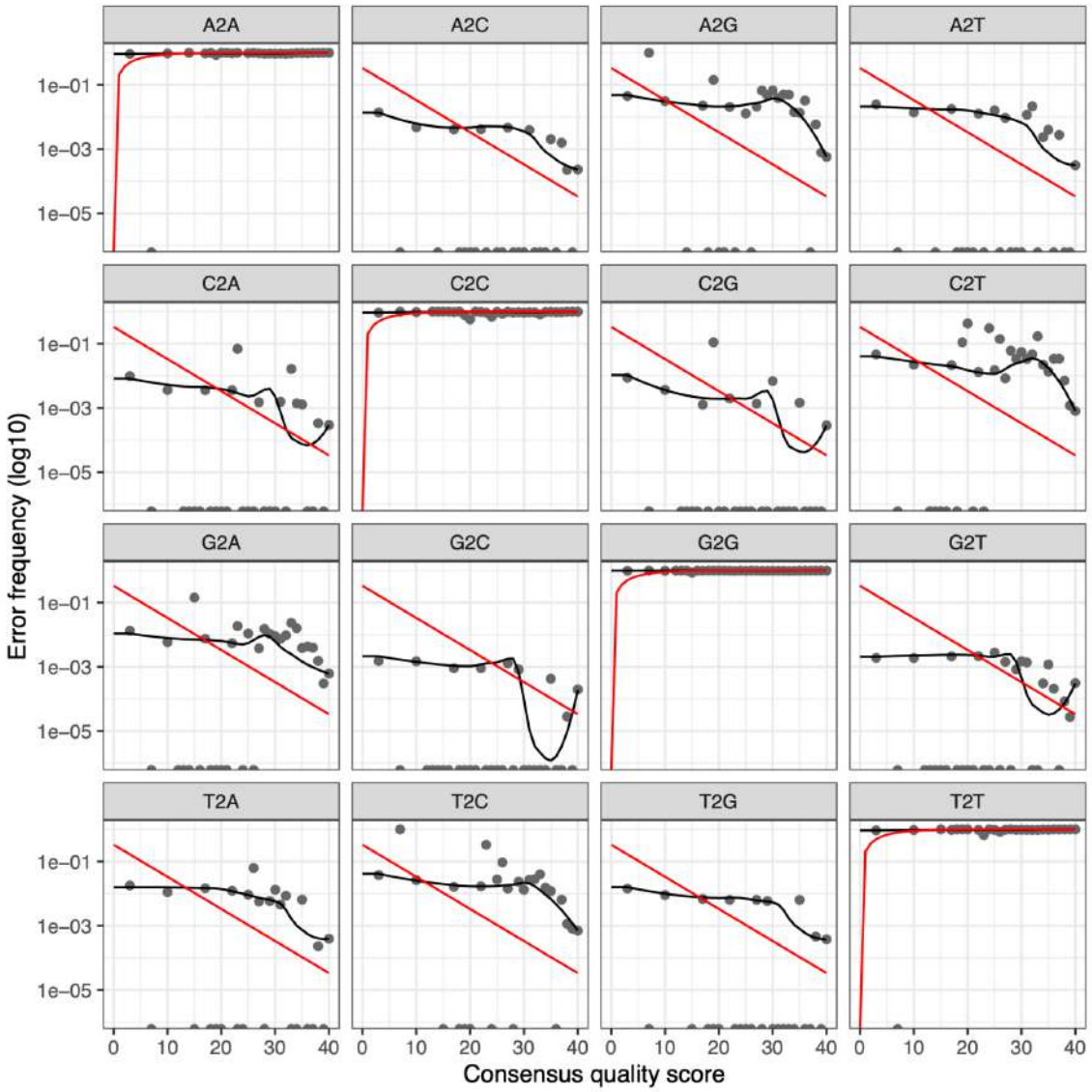
圖一、品質檢定跑膠圖（範例）

二、16S rRNA 全長定序與生物資訊分析流程

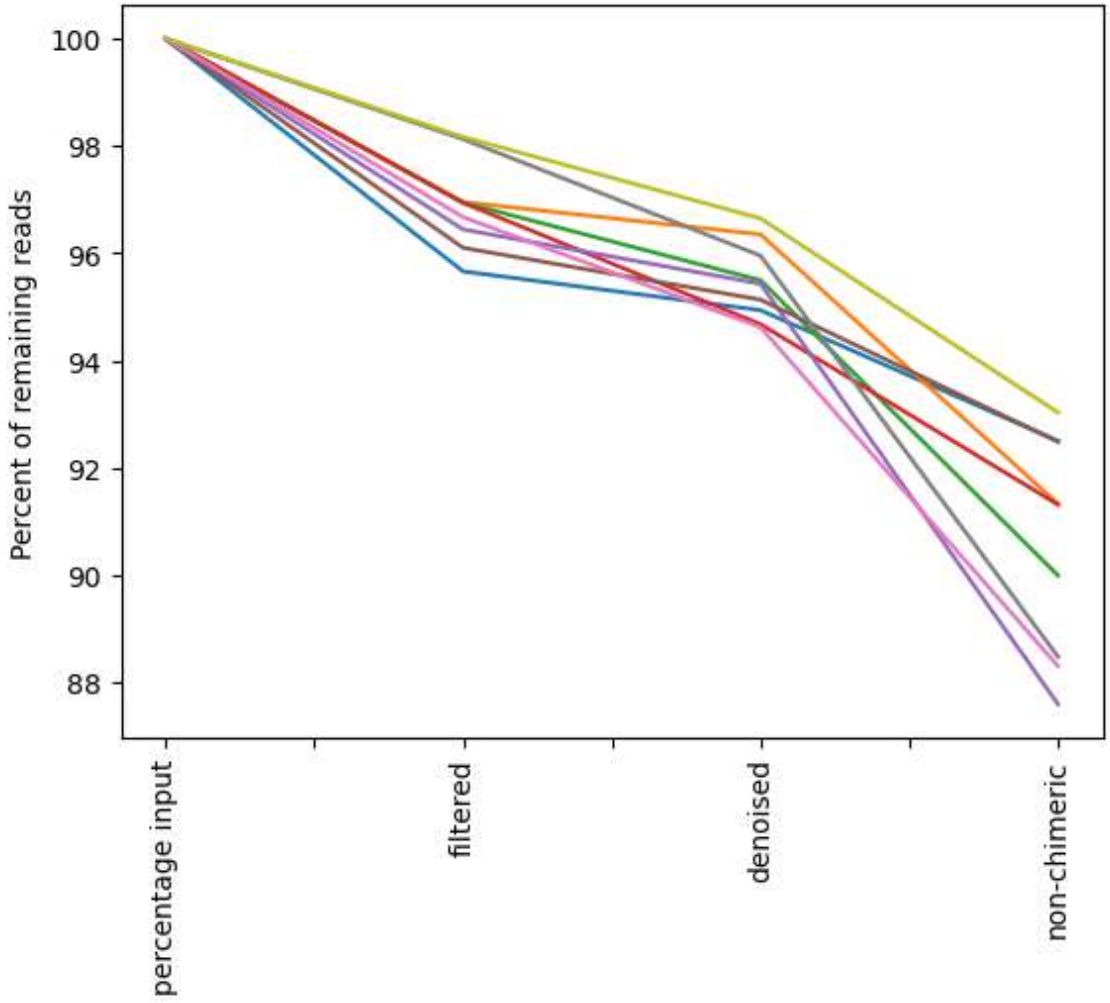
回顧過往圈養海豚氣孔與糞便微生物群落研究，多採用 16S rRNA 基因 V3–V4 區段進行定序分析。然而，短片段定序在物種層級之分類解析度仍有限。本計畫突破既有研究設計，為全球首次針對圈養鯨豚氣孔與糞便樣本，採用細菌 16S rRNA 全基因序列（約 1,500 bp）進行高通量定序與微生物群落分析，顯著提升分類解析能力與物種鑑別精準度。16S rRNA 全長定序及生物資訊分析報告由基龍米克斯（Genomics）協助完成。

原始定序資料經品質檢驗後，使用 DADA2（Divisive Amplicon Denoising Algorithm 2）演算法進行序列去雜訊處理（denoising）與去重複化（dereplication），建立擴增子序列變異體（Amplicon Sequence Variants, ASVs）。ASV 為單一定序資料集中可區分之獨特 DNA 序列，即便僅相差一個核苷酸亦視為不同變異體（Callahan et al., 2017）。相較於傳統 OTU 分群方法，ASV 分析具有更高解析度，可有效區分高度相近之微生物分類群，提升群落分析之準確性。

於 DADA2 流程中，filterAndTrim 參數設定為最小序列長度（minLen）1,000 bp、最大序列長度（maxLen）1,600 bp，以符合本計畫 16S rRNA 全長定序之特性。模型並估計各種可能鹼基轉換（如 A→C、A→G 等）之錯誤率，以機器學習方式進行收斂校正。圖中黑色曲線代表估計錯誤率，紅色曲線代表依品質分數（Q-score）理論預期之錯誤率；理想情況下，估計值應與觀察值高度吻合，且錯誤率隨品質提升而下降，表示定序品質穩定。完成 ASV 建立後，透過參照 SILVA 資料庫第 138.2 版進行細菌分類鑑定，以獲得各樣本於不同分類階層（門、科、屬、種）之組成資訊。



圖二、DADA2 單一樣本鹼基轉換錯誤率估計圖（範例）（Single Error Rate Plot）



圖三、DADA2 各處理階段讀數保留率（範例）（DADA2 Stats）

三、微生物物種組成

ASV 分類解析比例（Percentage of ASV Classification）

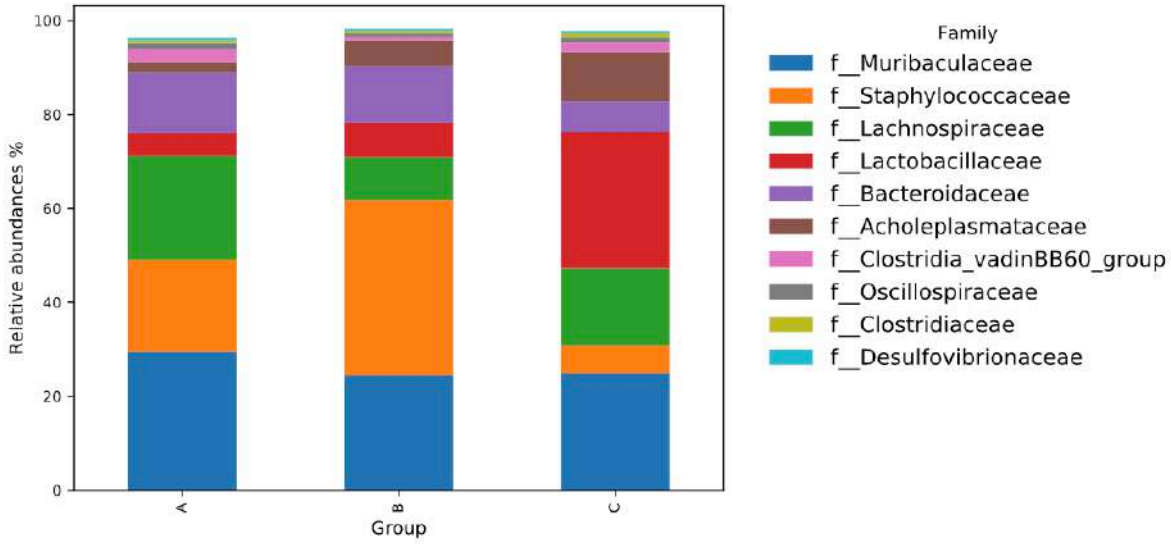
本計畫使用 QIIME2 進行細菌分類鑑定，並參考 SILVA 資料庫第 138.2 版本進行序列比對。為確保分析結果僅包含細菌來源序列，已移除分類結果中標示為粒線體（mitochondria）與葉綠體（chloroplast）之 ASVs。各樣本 ASV 依界（Kingdom）、門（Phylum）、綱（Class）、目（Order）、科（Family）、屬（Genus）及種（Species）階層進行統計與彙整。

表一、ASV 分類百分比（範例）（Percentage of Classification）

Level	Counts of ASV Classification	Percentage of ASV Classification
Kingdom	451	100.00
Phylum	441	97.78
Class	441	97.78
Order	441	97.78
Family	440	97.56
Genus	435	96.45
Species	402	89.14

前 10 大微生物群相對豐富度堆疊長條圖（Top 10 Taxon Stacked Plot）

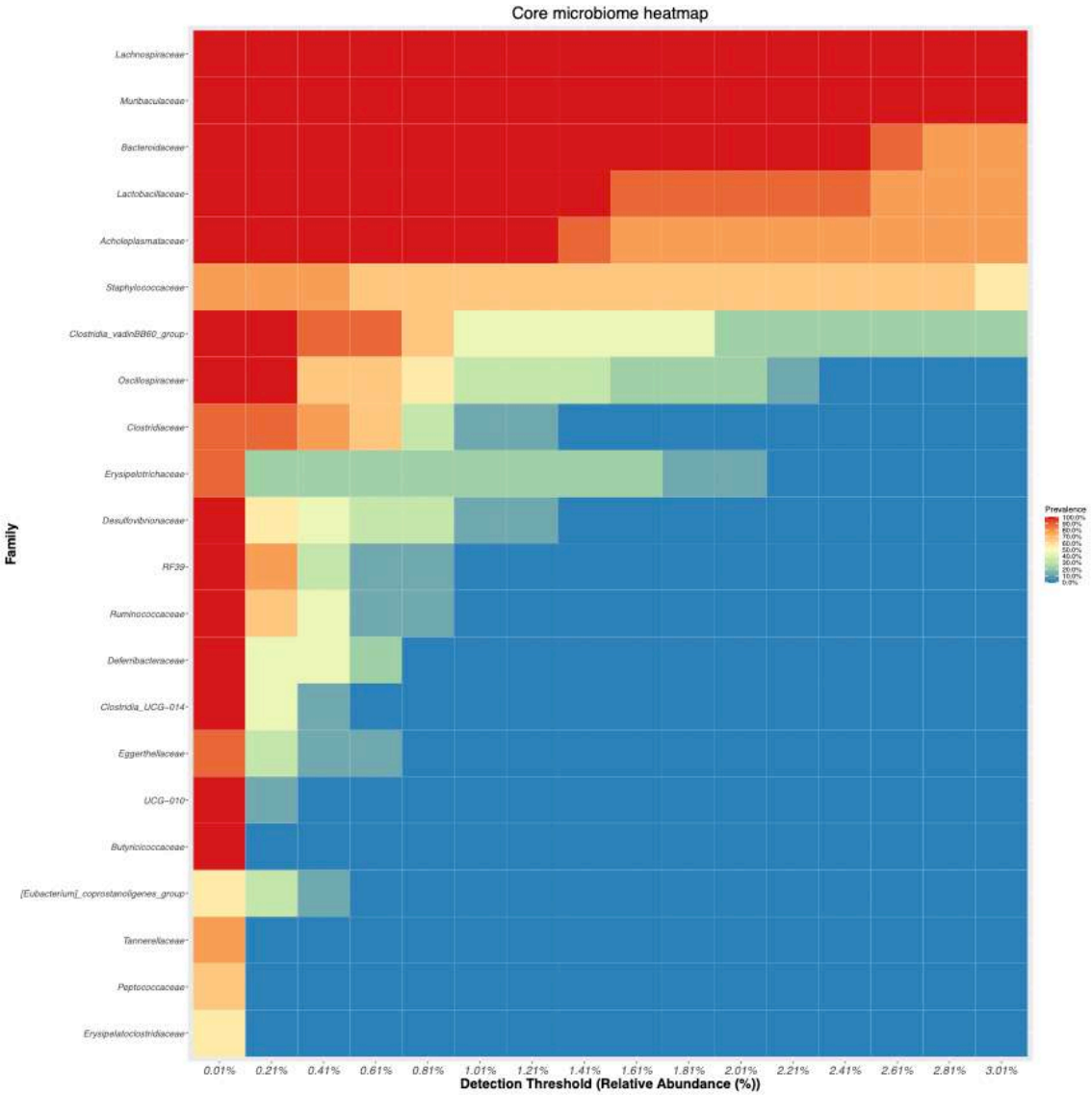
氣孔樣本中常見之優勢菌屬包括 *Vibrio*、*Tenacibaculum*、*Arcobacter*、*Psychrobacter* 及 *Porphyromonas* 等，多為海洋環境中常見之細菌，表示鯨豚呼吸道微生物群可能與周圍海水環境具有一定程度之關聯性，且不同採樣時間之菌相亦呈現一定程度變動。相較之下，糞便樣本之微生物組成則呈現較為典型之腸道菌群結構，其中 *Cetobacterium*、*Clostridium*、*Romboutsia*、*Turicibacter* 及 *Paraclostridium* 等菌屬為主要組成菌群。 本計畫所建立之圈養鯨豚氣孔與腸道微生物基礎資料，未來可作為健康監測與動物福利評估之重要參考基準。



圖四、前 10 大微生物堆疊長條圖（範例）（Top 10 Taxon）

核心微生物群（Core Microbiome）

不同的於前 10 大微生物群分析，核心微生物群分析（core microbiome analysis）則是依據分類群在樣本間之出現頻率（prevalence）進行篩選。核心微生物群定義為出現在超過 50% 樣本中，且相對豐富度（relative abundance）大於 0.1% 之微生物分類群。此方法可辨識在不同個體與不同採樣時間下仍穩定存在之微生物，較能反映宿主微生物生態系中長期穩定存在且可能具有重要生理功能之共生菌群，其組成變動可能與菌相失衡（dysbiosis）相關；前 10 大微生物群分析是依據各樣本中微生物之相對豐度（relative abundance）進行排序，呈現樣本中最具優勢之菌群組成，可用以觀察不同時間、個體或環境條件下微生物群落之變化情形。因此，前 10 大微生物群分析分析主要是反映菌群結構之優勢分類群與群落組成變動趨勢。



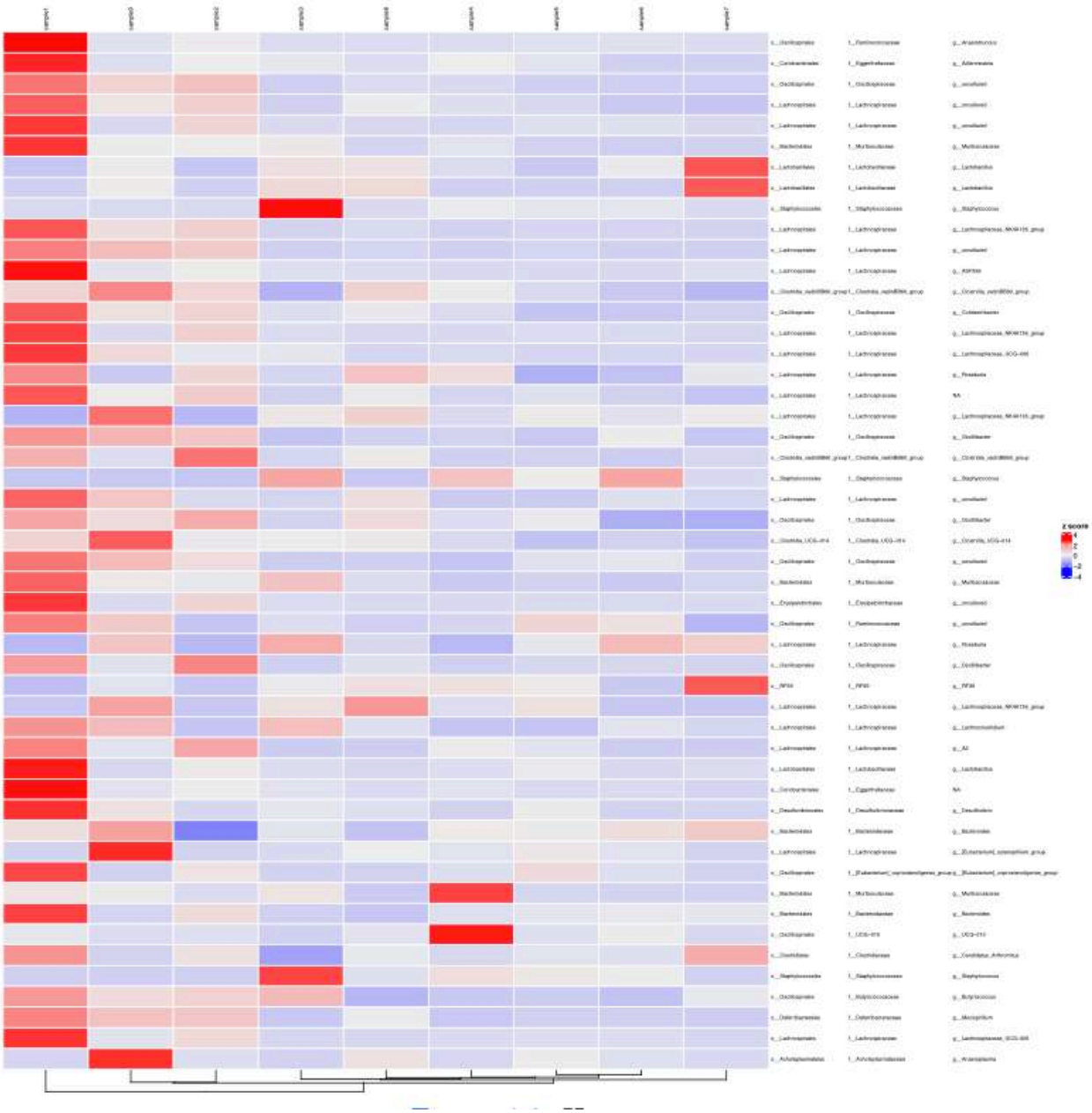
圖五、核心微生物熱點圖（範例）（Core Heatmap）

前 50 高豐富度微生物群熱點圖（Top 50 abundant taxa heatmap）

為辨識各樣本之優勢菌群及其分布，以視覺化的方式呈現排名前 50 高豐富度微生物分類群熱點圖。顏色深淺代表相對豐度，當顏色越深表示相對豐度越高。

在本計畫之微生物群落分析結果中，可觀察到部分分類群於屬（Genus）或種（Species）階層被標示為 unclassified，此現象通常與現有資料庫有關。本計畫使用 SILVA 資料庫（version 138.2）進行序列分類，當部分序列與資料庫中已知菌種之相似度不足，或資料庫尚未收錄的資訊時，該序列可能僅能被分類至較高階層（如科或目），而在較低階層（如屬或種）則被標示為 unclassified。此外，海洋環境及海洋哺乳動物體內仍存在大量尚未被完整描述之微生物類群，因此部分未能分類之序列可能為尚未被鑑定的微生物群。

雖然部分序列未被分類至較種階層，我們仍可以透過其上一分類階層推測其來源。例如氣孔樣本中部分 unclassified 序列為 Flavobacteriaceae 或 Moraxellaceae，前者常見菌屬包括 *Tenacibaculum*，後者則包含 *Psychrobacter* 等海洋相關菌群；在糞便樣本中，部分 unclassified 序列為 Vibrionaceae，該科常見菌屬包括 *Vibrio*、*Photobacterium* 及 *Aliivibrio* 等海洋細菌，其中 *Photobacterium* 在本計畫的糞便樣本中具有較高相對豐度，因此部分 unclassified 序列可能為上述菌群之近緣分類群。此外，部分序列屬於 Fusobacteriaceae，該科常見菌屬包括 *Cetobacterium*，為魚食性動物腸道中常見之優勢菌群之一，在本計畫樣本中亦可觀察到 *Cetobacterium ceti* 具有較高相對豐度。上述菌群多為海洋環境常見細菌，表示部分 unclassified 序列可能來自海洋環境相關微生物。



圖六、前 50 名高豐富度微生物熱點圖（範例）

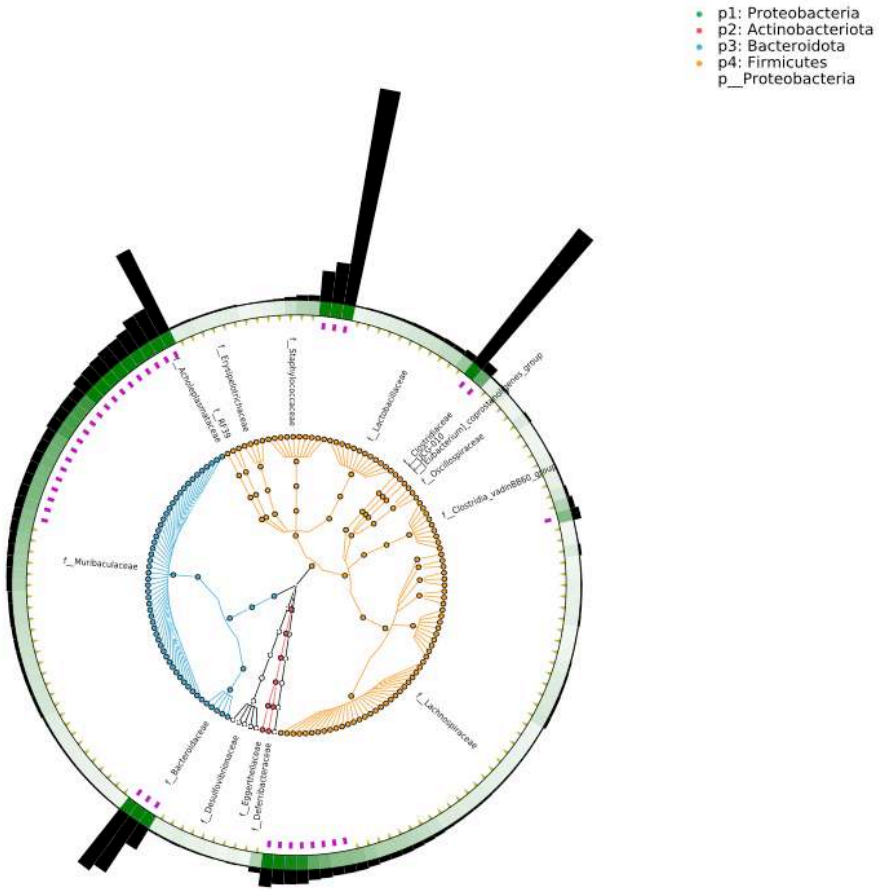
GraPhlAn 系統發育樹圖（GraPhlAn）

GraPhlAn 是一套用於產生高解析度環狀分類與系統發育樹圖之視覺化工具。圖中最內層為細菌分類階層之系統發育樹，由門（phylum）至屬（genus）層級呈現不同分類群之親緣關係。不同顏色代表主要菌門：綠色為 *Pseudomonadota（Proteobacteria）*、紅色為 *Actinomycetota（Actinobacteriota）*、藍色為 *Bacteroidota*、橘色為 *Bacillota（Firmicutes）*。圖中僅顯示相對豐度大於 0.01% 且排名前 150 個分類群。

在氣孔樣本中，系統發育樹顯示多個與海洋環境相關之菌群，包括 *Vibrio*、*Tenacibaculum*、*Psychrobacter*、*Arcobacter* 及 *Porphyromonas* 等菌屬。上述菌群多隸屬於 Pseudomonadota 或 Bacteroidota，且在不同採樣時間呈現一定程度之相對豐度變動，表示呼吸道微生物群落可能持續受到海水環境微生物之影響。

相較之下，糞便樣本之微生物群落結構呈現較為集中之系統發育分布。GraPhlAn 分析顯示，腸道菌群主要集中於 Bacillota 與 Pseudomonadota 等菌門，其中 *Cetobacterium*、*Photobacterium*、*Clostridium*、*Romboutsia* 及 *Paraclostridium* 等腸道相關菌屬形成明顯之群聚結構。

此外，GraPhlAn 系統發育結構亦顯示氣孔與腸道菌群在系統發育上具有明顯差異。氣孔樣本之分類群分布於較多不同菌門與分支，表示其微生物群落組成較為分散；相較之下，糞便樣本之分類群則集中於特定系統發育分支，反映腸道環境中優勢菌群之存在。



圖七、GraPhlAn 系統發育樹（範例）

.

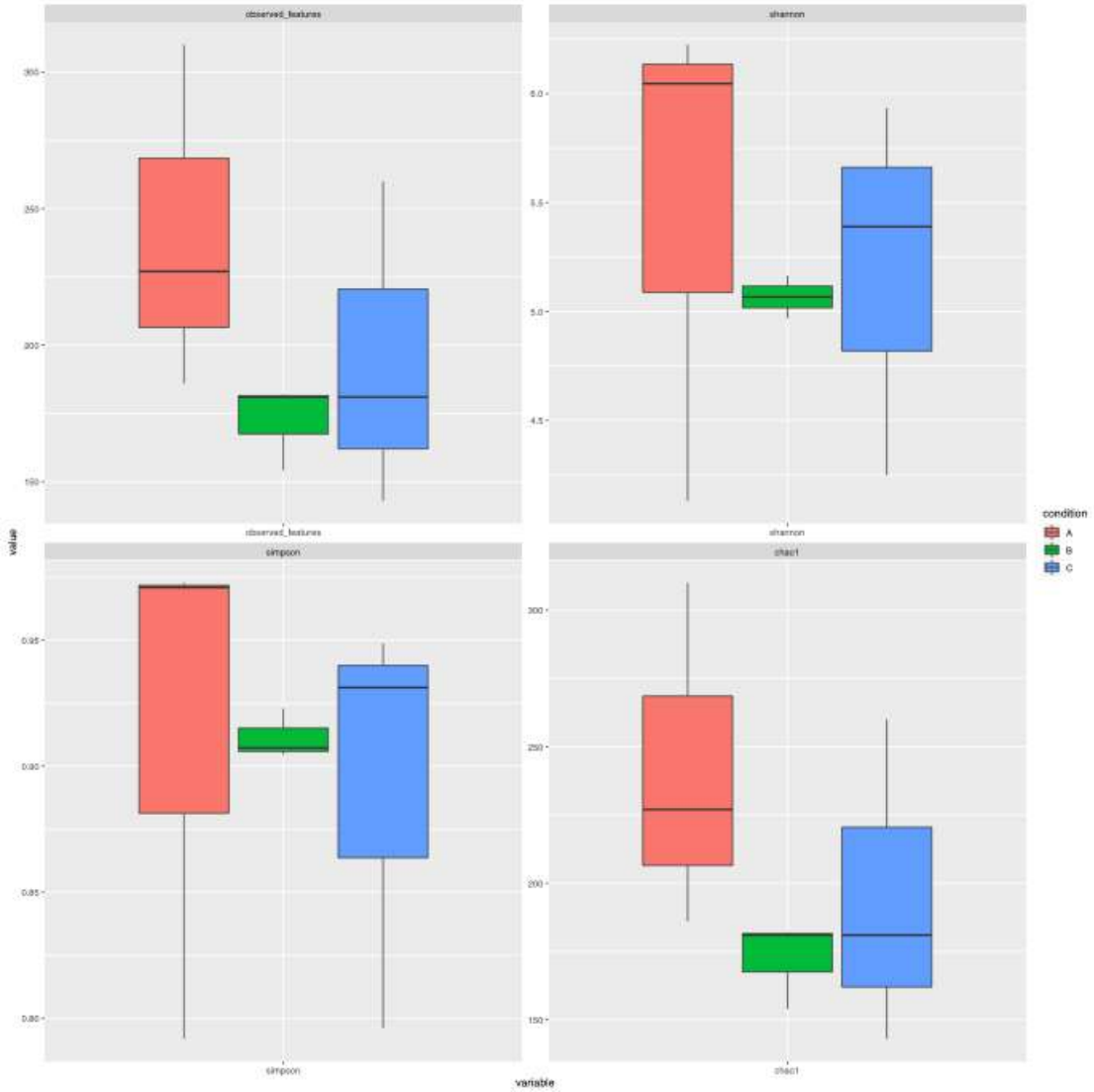
四、群落多樣性與變異分析（Diversity Analysis）

Alpha 多樣性分析（Alpha Diversity）

Alpha 多樣性用於評估單一樣本內之微生物群落多樣性，包含物種豐富度（richness）與均勻度（evenness）。本計畫使用 Observed ASVs、Chao1 index、Shannon index 與 Simpson index 四種指標進行分析。Observed ASVs 為直接觀察到之擴增子序列變異體（ASVs）數量，主要反映樣本中實際檢測到之物種數量；Chao1 index 則為估算之物種豐富度指標，可補償稀有物種未被完全取樣之情形。一般而言，Observed ASVs 與 Chao1 index 數值越高，代表樣本中物種豐富度越高。

Shannon index 同時考量物種數量與各物種之相對豐度，其數值通常介於 0 至約 7 之間，在微生物群落研究中，多數環境樣本之 Shannon index 約介於 3–6，數值越高代表群落多樣性與均勻度越高。Simpson index 則反映群落中優勢菌群之分布情形，其數值介於 0–1 之間，越接近 1 代表群落均勻度越高，若數值較低則表示群落可能由少數優勢菌群主導。本計畫各樣本之 Shannon index 多介於 3–6 之間，Simpson index 多高於 0.8，表示多數樣本之微生物群落具有中至高度之多樣性。

Alpha 多樣性分析結果指出，氣孔微生物群落通常具有較高之群落均勻度，而糞便微生物群落則呈現較大的多樣性變異。部分糞便樣本呈現極高或極低之物種豐富度，表示腸道微生物群落可能受到宿主生理狀態、飲食組成或個體差異之影響。

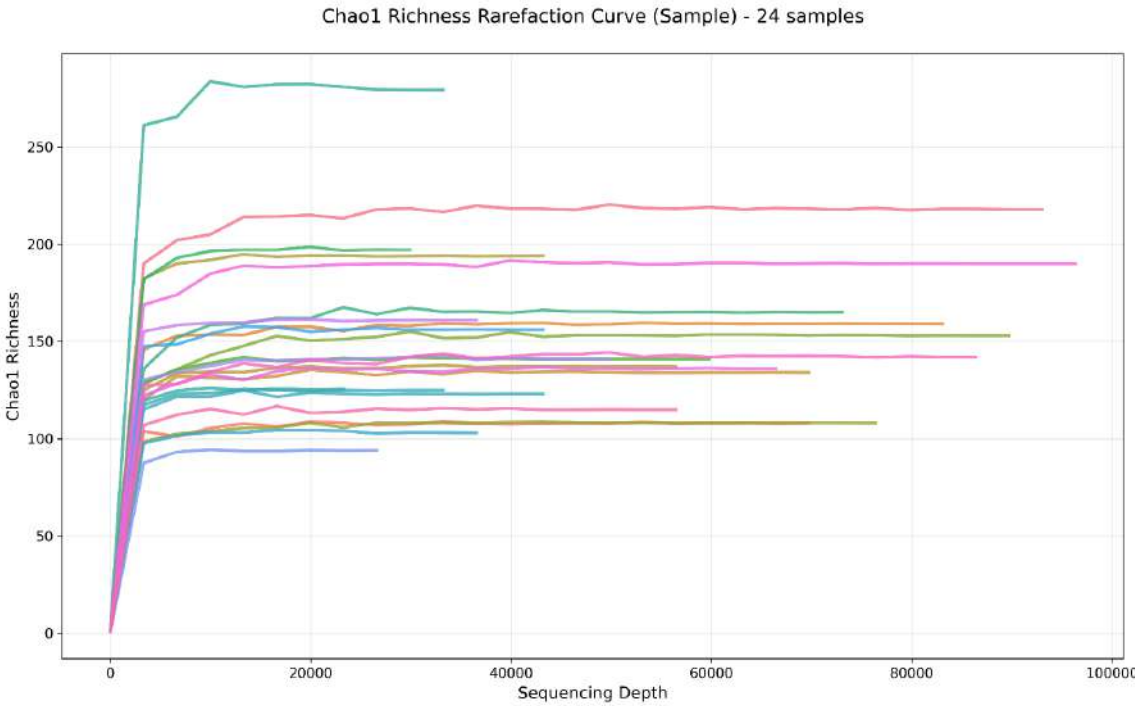


圖八、Alpha 多樣性指標圖（範例）

稀釋曲線（Rarefaction Curve）

稀釋曲線用於評估定序深度是否足以反映樣本中之微生物物種豐富度。橫軸為定序深度（sequencing depth），縱軸為 Chao1 richness index。每條曲線代表一個樣本，隨著定序深度增加，若曲線逐漸趨於平緩並接近平台期（plateau），表示定序深度已接近飽和，能充分代表樣本中之微生物多樣性。

稀釋曲線分析結果顯示，大部分樣本之 Chao1 richness 隨著定序深度增加而迅速上升，並在一定深度後逐漸趨於平緩，表示本計畫之定序深度已能充分捕捉樣本中之微生物多樣性。

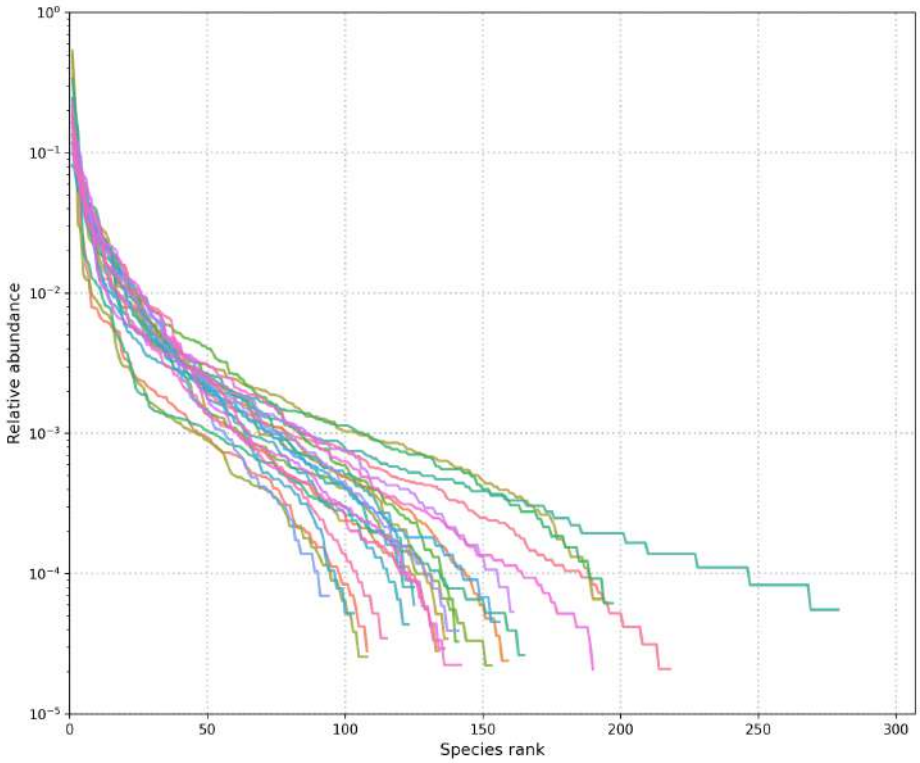


圖九、微生物稀釋曲線（範例）（Rarefaction curve）

物種豐富度排序曲線（Rank Abundance Curve）

物種豐富度排序曲線（Rank Abundance Curve），用來評估樣本內物種豐富度（richness）與均勻度（evenness）。橫軸為物種豐富度，由最豐富至最少，縱軸則為相對豐富度。物種均勻度（evenness）則可由曲線斜率判斷：若曲線快速下降，表示由少數優勢菌佔據大部分，均勻度較低；若曲線較為平緩，則表示各分類群豐富度分布較為平均，均勻度較高。

物種豐富度曲線結果顯示，氣孔微生物群落通常具有較高之物種豐富度與群落均勻度，而腸道微生物群落則較容易受到少數優勢菌群影響。此現象反映不同生理部位之微生物群落可能受到不同生態機制與宿主環境之影響。



圖十、微生物物種豐富度曲線（範例）（Rank Abundance Curve）

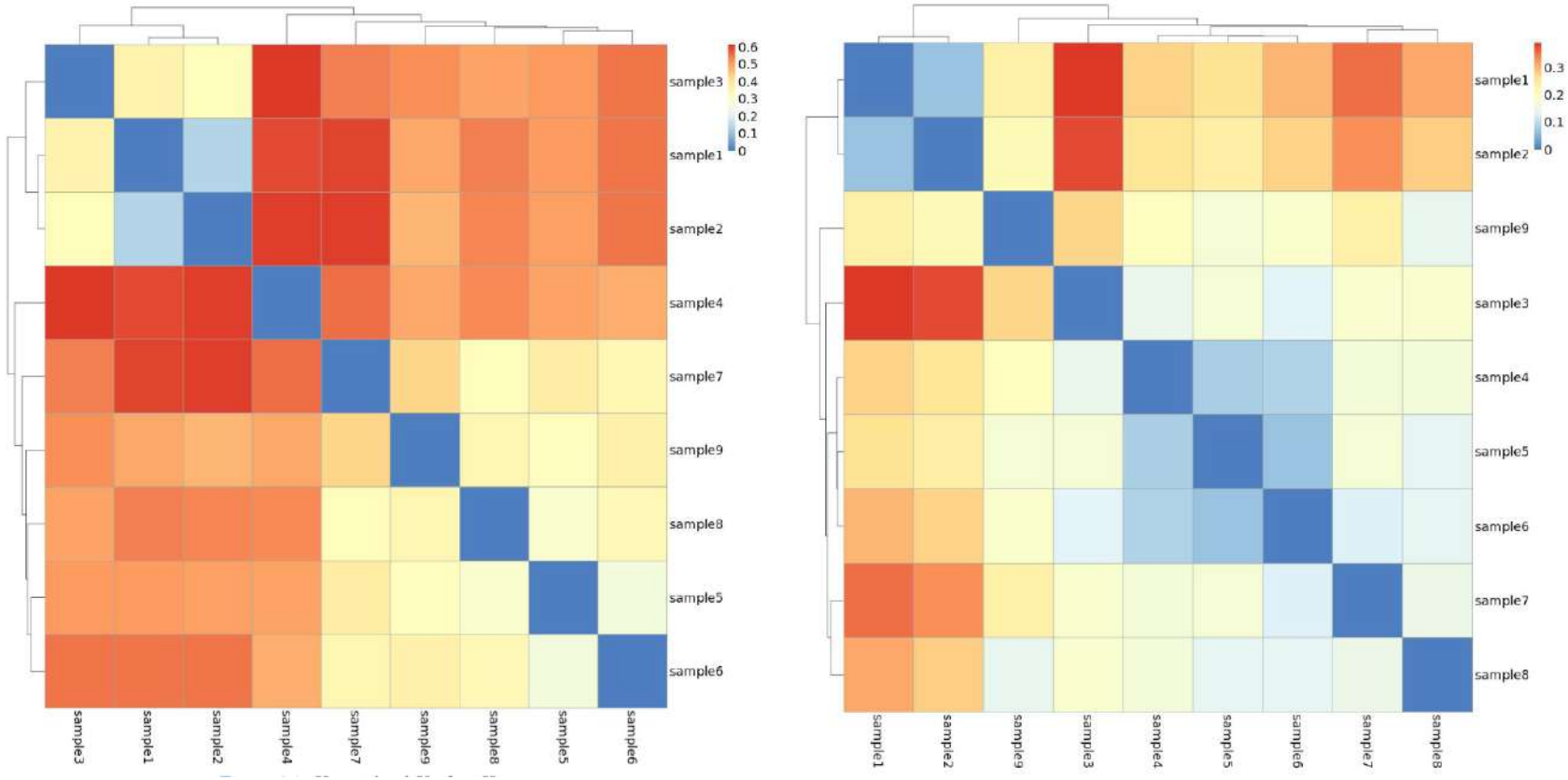
Beta 多樣性分析（Beta Diversity）

相較於 Alpha 多樣性，Beta 多樣性透過距離指標（distance metrics）來衡量樣本與樣本之間微生物群落的相似和差異。

距離指標（Distance Metrics）

- Unweighted UniFrac（非加權 UniFrac）：UniFrac 為一種納入系統發育資訊之距離指標，透過考量分類群於演化樹上的分支長度，衡量樣本間微生物群落之差異。Unweighted UniFrac 僅考慮分類群之存在與否（presence/absence），不納入相對豐富度資訊。
- Weighted UniFrac（加權 UniFrac）：Weighted UniFrac 同時納入分類群之演化距離與相對豐富度資訊，能反映樣本間優勢菌群之豐富度變化。

UniFrac 距離矩陣分析顯示，氣孔微生物群落在不同樣本間具有較高之相似性，而腸道微生物群落則呈現較高之個體差異與群落變異。此外，Unweighted 與 Weighted UniFrac 分析結果整體趨勢一致，代表樣本間微生物群落差異主要同時受到菌群存在與相對豐度變化之影響。



圖十一、Beta 多樣性 UniFrac 距離矩陣（範例）

排序分析（Ordination）

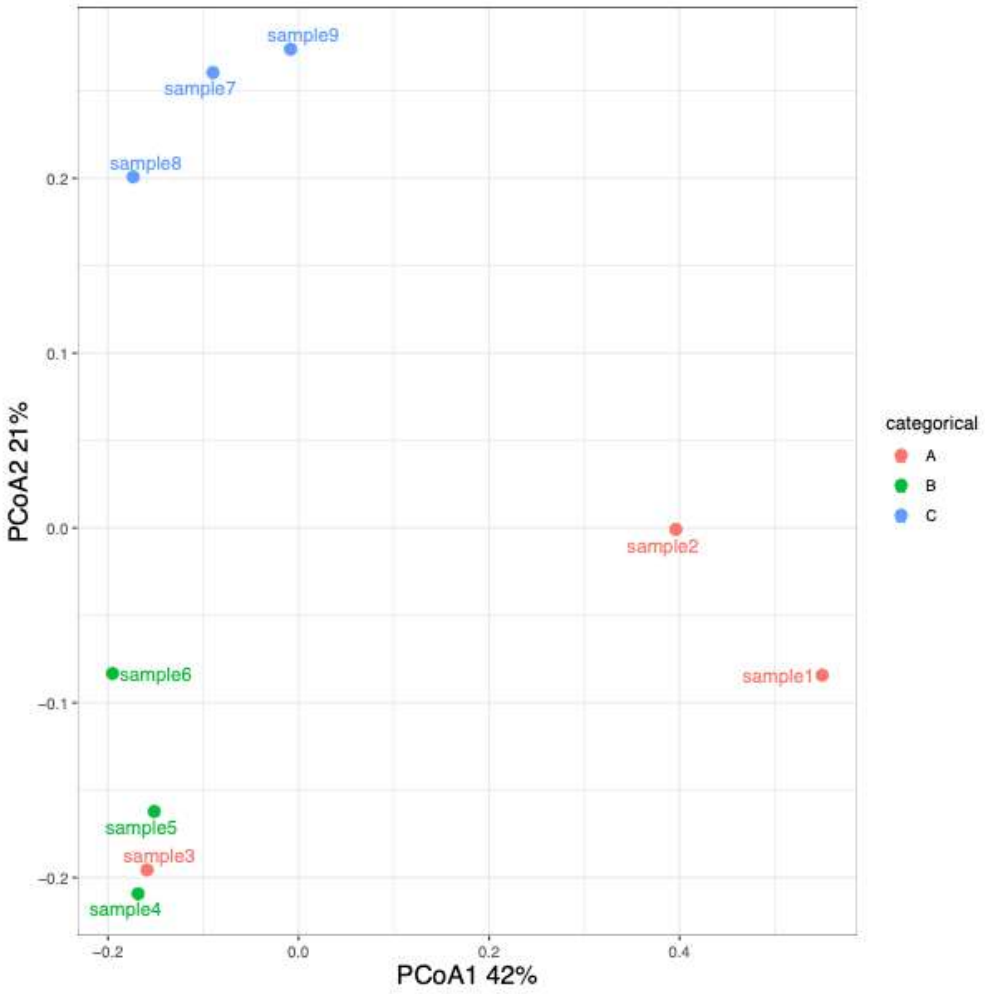
排序分析為多變量分析方法之統稱，用以將高維度資料簡化為低維度空間，使複雜的資料能透過視覺化方式呈現。透過非度量多維尺度分析（Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS）與主座標分析（Principal Coordinate Analysis, PCoA）進行視覺化呈現，以利後續分組統計與長期監測分析。

利用 Bray–Curtis、Unweighted UniFrac 及 Weighted UniFrac 距離矩陣進行計算，進行 PCoA 與 NMDS 之視覺化呈現。分析至少需三個樣本方可進行有效之視覺化。Bray-Curtis 距離（Bray-Curtis Dissimilarity）為一種非系統發育（non-phylogenetic）距離指標，僅根據物種豐富度資料計算樣本間之組成差異。與 UniFrac 不同，Bray-Curtis 不考慮分類群之演化關係，而專注於群落組成在數量上的差異。

主座標分析（Principal Coordinate Analysis, PCoA）

主座標分析（PCoA）為一種基於距離矩陣之排序分析方法，可透過降維方式將樣本間之群落差異投影至低維度空間，以呈現不同樣本間之微生物群落結構關係。在 PCoA 圖中，每一個點代表一個樣本，點與點之間的距離反映其微生物群落組成差異，距離越近表示群落結構越相似，距離越遠則表示差異越大。PCoA 分析分別以 Bray–Curtis dissimilarity、Unweighted UniFrac 及 Weighted UniFrac 作為距離指標進行計算。其中，Bray–Curtis 主要反映微生物群落之相對豐度差異；Unweighted UniFrac 強調分類群之存在與否並納入系統發育關係；Weighted UniFrac 則同時考慮演化距離與相對豐度變化；與主成分分析（Principal Component Analysis, PCA）不同，PCoA 並非直接使用原始豐度資料進行降維，而是基於樣本間之距離或差異矩陣

進行計算，因此可適用於多種生態學常用之群落距離指標，特別適合用於微生物群落結構之比較與分析。

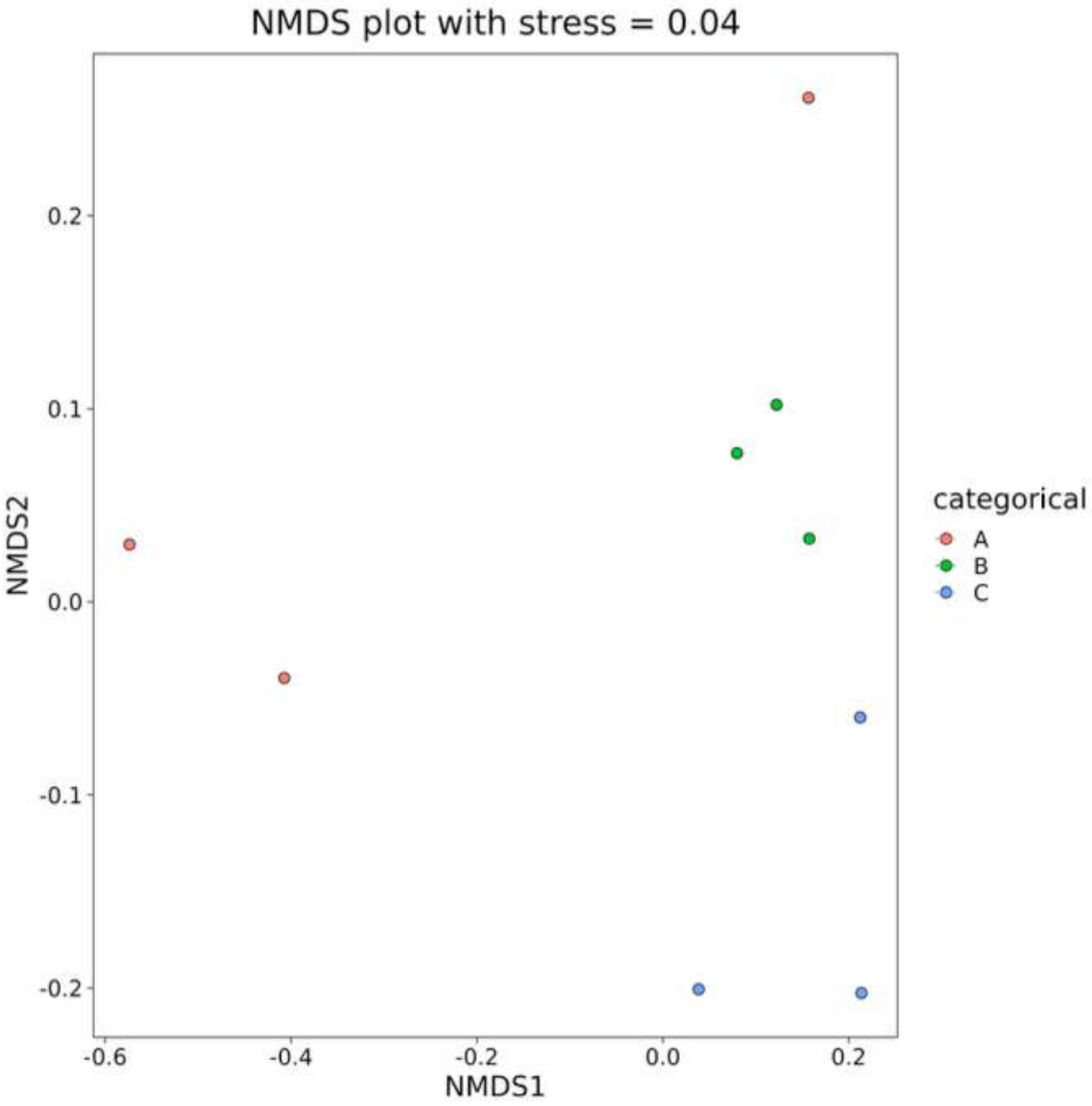


圖十二、PCoA 圖（範例）

非度量多維尺度分析（Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS）

非度量多維尺度分析（NMDS）為一種排序分析方法，用於將樣本間之距離或差異程度投射至低維度空間，以視覺化的方式呈現樣本間之相對關係。本分析分別以 Bray–Curtis dissimilarity、Unweighted UniFrac 及 Weighted UniFrac 作為距離指標進行 NMDS 排序。圖中每一點代表一個樣本，點與點之距離反映其微生物群落差異程度。NMDS 分析結果整體趨勢與 PCoA 分析相似，顯示不同樣本之微生物群落結構在不同場館及生理部位之間具有一定程度差異。與 PCoA 不同的是， NMDS 屬於非參數排序方法，其核心概念為保留樣本間距離的相對排序關係（rank order），透過迭代演算法將樣本配置於低維空間，使排序後距離與原始距離矩陣之順位差異最小化。因此，NMDS 對於生態群落資料中常見的非線性結構與高變異資料具有較高之適用性，常用於驗證 PCoA 分析所得之群落結構趨勢。

NMDS 排序結果之可靠性通常以 stress value 評估，其代表降維後距離與原始距離矩陣之差異程度。一般而言，stress < 0.05 表示排序結果非常良好，0.05–0.10 為良好，0.10–0.20 為可接受範圍。本次計畫 NMDS stress 值介於 0.051–0.149 之間，為可接受或良好範圍內，表示排序結果能合理反映樣本間微生物群落之距離關係。

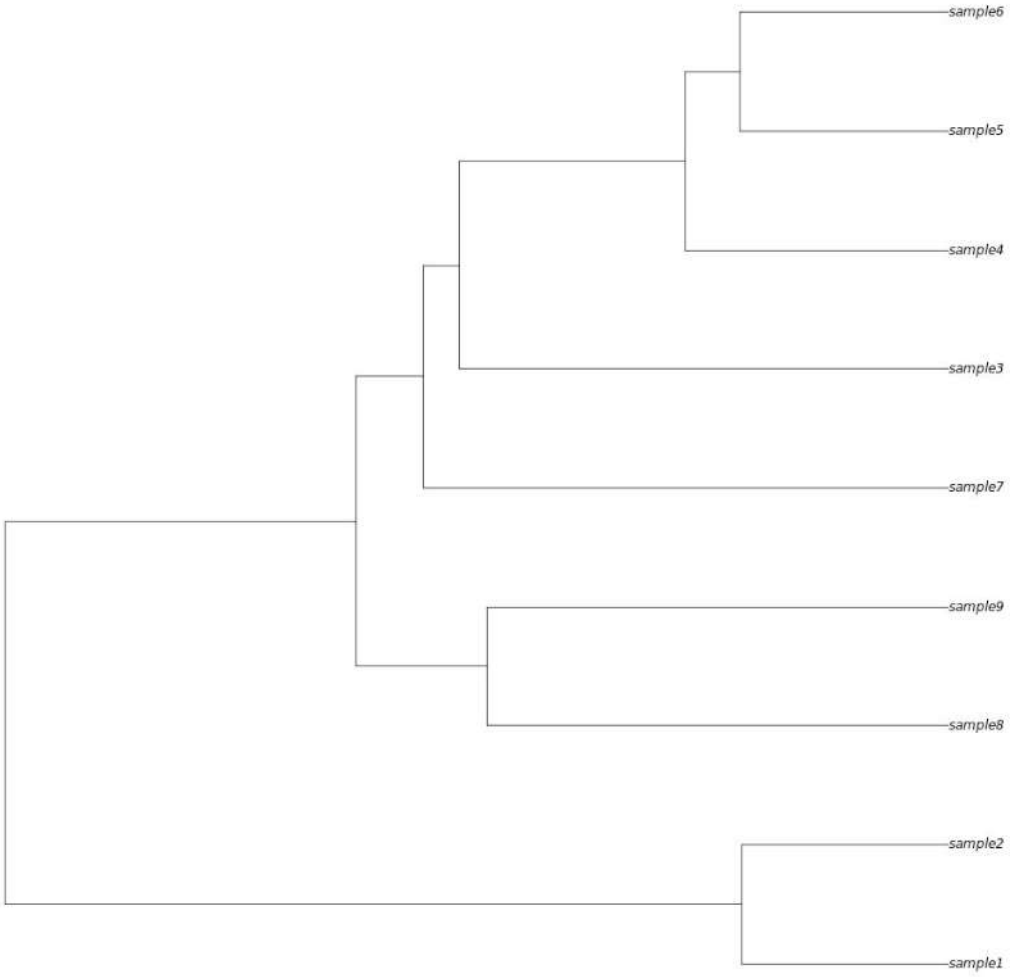

NMDS plot with stress = 0.04
NMDS2
NMDS1
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.6
-0.4
-0.2
0.0
0.2
categorical
A
B
C

圖十四、NMDS 圖（範例）

UPGMA 聚類樹（UPGMA Tree）

UPGMA（Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean）為一種基於距離矩陣之分群方法，透過逐步聚類（sequential clustering）方式建構根植式（rooted）系統樹，用以呈現樣本間之相對關係。利用 Weighted UniFrac 距離矩陣建構 UPGMA 聚類樹，以評估樣本間之群落結構相似性。

整體而言，UPGMA 聚類分析結果與 PCoA 及 NMDS 排序結果一致，顯示氣孔微生物群落結構在不同採樣時間之樣本間具有較高穩定性，而腸道微生物群落則呈現較高個體差異與時間變異。此結果支持不同生理部位微生物群落在群落結構穩定性上的差異。



圖十五、Upgma Cluster Tree（範例）

附件八

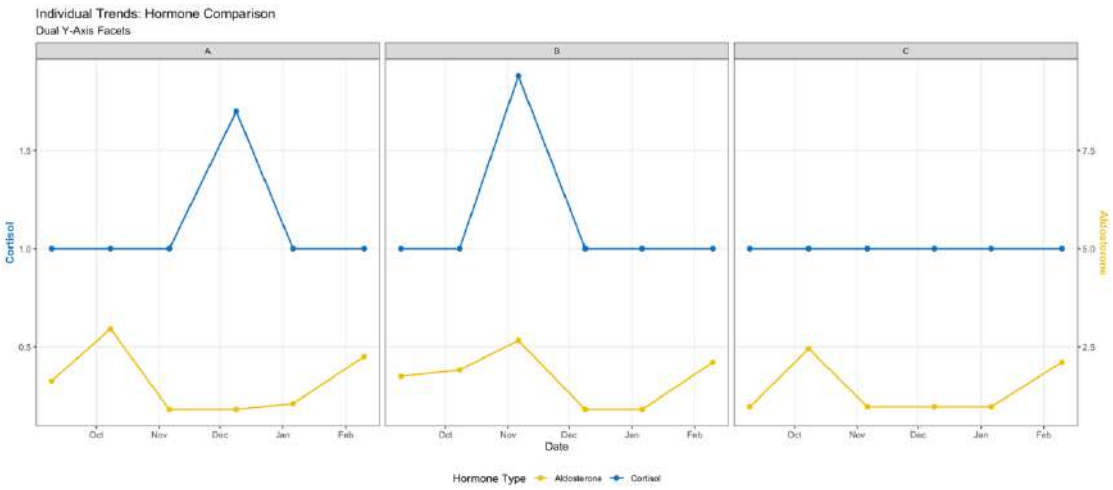
緊迫荷爾蒙指標與免疫細胞操作指引與分析報告

一、緊迫賀爾蒙指標

血液採集方法

展館獸醫師每月採集園區裡鯨豚的血液，用以追蹤瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）、印太瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）和白鯨（*Delphinapterus leucas*）的血液緊迫賀爾蒙濃度。本年度分析鯨豚血液緊迫賀爾蒙指標至少 120 次，其中 2025 年 05 月至 2026 年 02 月期間共進行 109 次皮質醇（cortisol）檢測；2025 年 09 月至 2026 年 02 月期間共進行 59 次醛固酮（aldosterone）檢測，建立初步之圈養鯨豚緊迫荷爾蒙指標資料庫，作為後續長期監測與動物福利評估之重要基礎。

緊迫賀爾蒙追蹤結果



圖一、鯨豚緊迫荷爾蒙濃度（範例）

由於並非每一隻個體都有進行連續月份的緊迫荷爾蒙檢測，如有以上情況，圖表中會出現斷開的折線。從上圖可見，三隻個體的皮質醇濃度都維持在平穩的水平，惟 A 在 12 月的檢測中出現明顯的皮質醇濃度上升，B 的皮質醇濃度也在 11 月的檢測中出現明顯上升。而三隻個體的醛固酮在檢測期間維持波動。

緊迫賀爾蒙追蹤未來工作

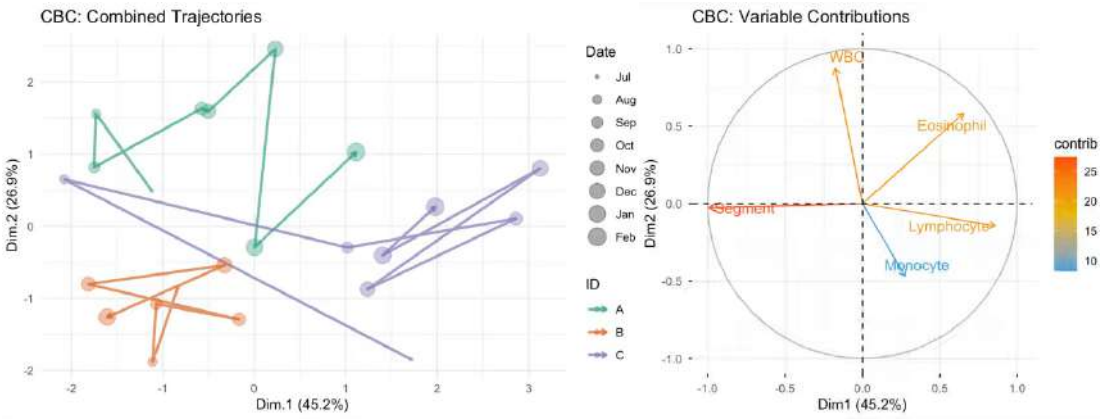
未來也會維持每一個月進行血液緊迫荷爾蒙的追蹤。

二、免疫細胞分析

血液採集方法

展館獸醫師每月採集園區裡鯨豚的血液，用以追蹤瓶鼻海豚（*Tursiops truncatus*）、印太瓶鼻海豚（*Tursiops aduncus*）、花紋海豚（*Grampus griseus*）和白鯨（*Delphinapterus leucas*）的免疫細胞分析。本年度 2025 年 05 月至 2026 年 02 月期間共進行 154 次全血細胞計數（CBC）檢測，以建立初步之圈養鯨豚免疫細胞資料庫，作為後續長期監測與動物福利評估之重要基礎。

免疫細胞分析結果



圖二、鯨豚全血細胞計數 PCA 分析排序圖（左）與貢獻圖（右）（範例）

利用主成分分析（PCA），基於歐幾里得距離（Euclidean distance），進行線性降維，並解釋每個主成分的百分比變異。從圖一可見，每一隻個體的軌跡都存在差異。A 的軌跡垂直波動較大，反映白血球（WBC）的比例有明顯起

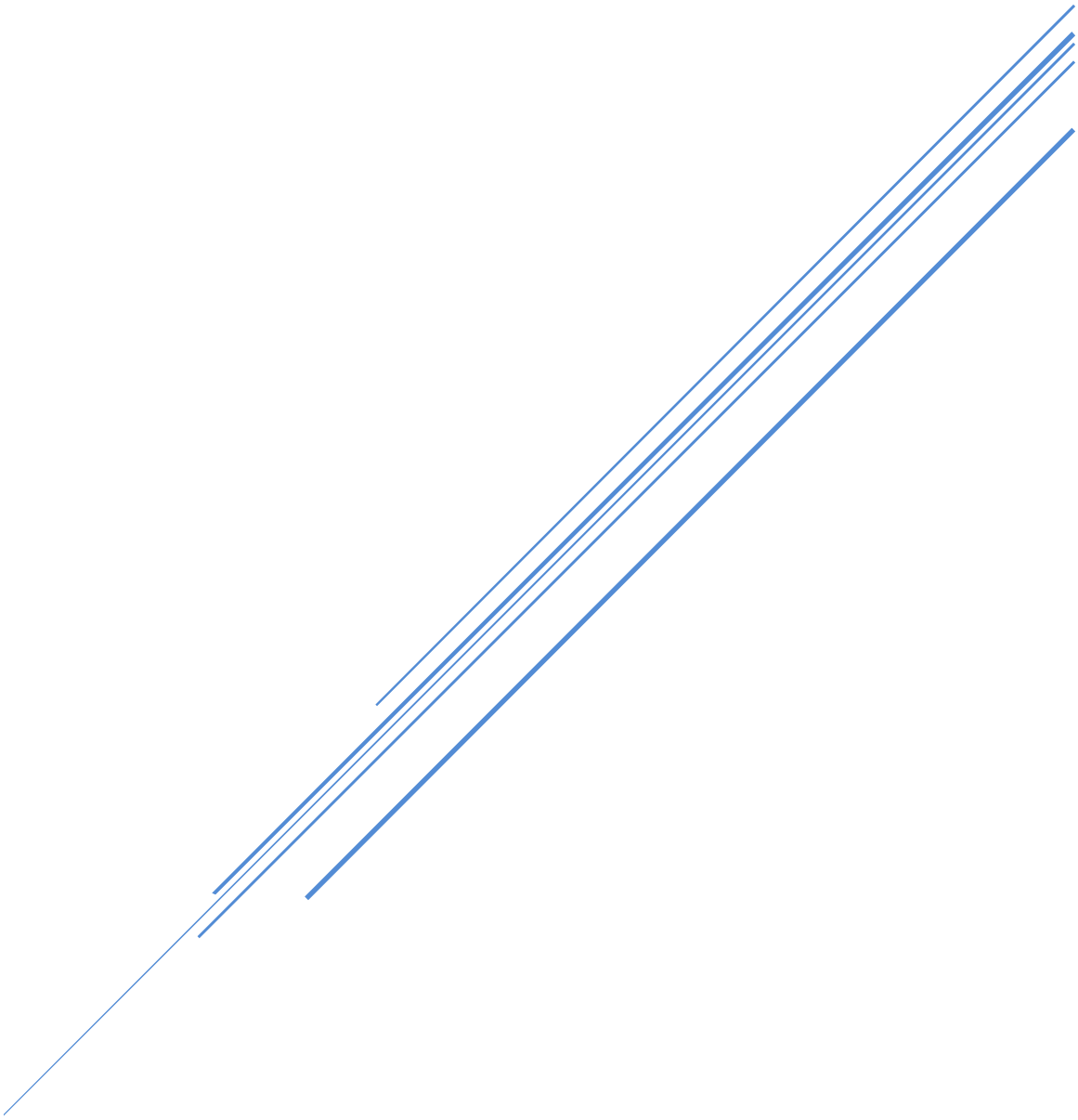
伏。B 的軌跡相對集中，免疫細胞組成比例穩定。C 的軌跡隨著時間的推移，呈現向右側移動，參考貢獻圖反映淋巴球（Lymphocyte）比例上升的趨勢。

免疫細胞分析未來工作

未來也會維持每一個月進行全血細胞計數檢測和追蹤。

附件九

多層次數據交叉整合與診斷指標報告



目標

透過整合圈養鯨豚之行為、生理與微生物資料，系統性分析各資料模態在特定事件（如訓練活動、展示安排或醫療介入）前後的變動趨勢與互動關聯，進一步了解跨領域資料在緊迫反應偵測與健康風險偵測上的應用潛力。本目標在找出鯨豚遭遇動態展示方式調整時，有助於鯨豚動物福利監控之目標，這些具敏感性與特異性的變化指標包括但不限於荷爾蒙濃度變化、行為活動頻率下降、或微生物群落多樣性降低與致病菌上升等訊號。

（一）執行方式

1. 建立長期整合型資料：採用開放整合系統（如 PostgreSQL + Python Dash/RShiny 介面）進行結構化資料整合，涵蓋時間序列格式的行為觀察記錄、生理指標（如 cortisol 濃度、白血球比例）、微生物群落資料（多樣性指標、特徵菌群）及環境變數（如噪音、訓練內容、互動頻率等）。
2. 導入展示方式變動之時間區段標記設計：將一年內展示安排的主要變動（如表演頻率調整、互動項目更動、觀眾互動密度提升等）以階段劃分方式進行標記，建立「展示變動區段時間表」，作為後續比較之主要自變項分類架構。

   應用統計分析與趨勢建模工具：

   (1) 採用廣義加成模型（GAM）或貝氏時間動態模型，評估各生理、行為與微生物指標於不同展示調整階段間之趨勢變化。

   (2) 計算每一指標的變異幅度、變異率與指標穩定性分數（stability

index），辨識受影響最顯著之變項。

(3) 透過整體相關性矩陣與主成分分析（PCA），瞭解多領域資料間之共變結構。

(4) 個體層級的生理-微生物變異檔案：針對每隻鯨豚建立年度趨勢檔案，標示其主要福利相關指標在各展示階段之改變型態，並以 Z-score 與 Rolling Mean 等指標標註偏離點，評估是否為預警信號。

3. 季度資料研判會議：邀集行為觀察員、生理資料分析人員、微生物研究團隊、飼育管理者與獸醫，逐季審閱當期數據，討論各領域之變化是否符合預期或是否顯示潛在福利風險，調整後續監測與干預策略。
4. 目前計畫項目設計與 C-Well 國際動物福利評估指標有連結，有涵蓋其大部分核心面向，包括以動物為中心的評估方法，強調直接觀察動物的行為、健康、環境適應等狀態（本計畫為行為、叫聲、緊迫生理、感染、微生物相等），而非僅依賴飼養環境或管理措施。本次計畫的「對照組」即為目前尚未進行展示調整狀態的鯨豚，未來展示方式逐步改變，來觀察動物福利是否同步改善或惡化，故採被動式監測方法（非主動干預），定期觀察其自然變化。計畫成果將建立 3 家場域一年期的基礎資料，可供政府部門未來監督與輔導工作的評估依據，對於 3 家業者建議挑選 1~2 項能例行且可自主管理的方法，將來亦可由業者定期採樣，自行或委託分析，提供主管機關監督輔導。

成果報告方向為：展示方式調整下圈養鯨豚福利指標變動評估，預期涵蓋：

(1) 不同展示區段下各指標平均值與趨勢圖

(2) 各資料領域初步關聯性分析與變異說明力（Explained Variance）

(3) 個體層級生理-微生物初步評估檔案

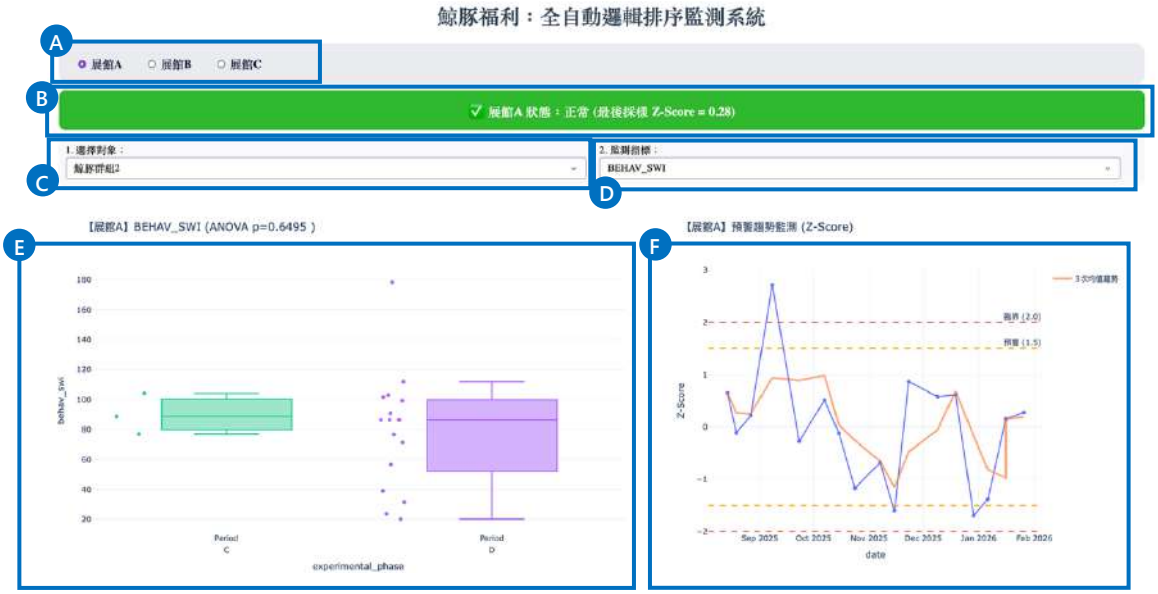
(4) 初步建議之動物福利敏感指標清單與預警閾值。

(5) 供未來常態化監測流程導入之初步指標判讀邏輯與管理對應建議。

(二) 完成進度

1. 已完成涵蓋時間序列格式的行為觀察記錄、生理指標（如 cortisol 濃度、白血球比例）、微生物群落資料（多樣性指標、特徵菌群）及環境變數（如噪音、訓練內容、互動頻率等）。
2. 本計畫期間內三個目標園區尚未有展示方式調整，因此本計畫收集之數據可被視為展示方式調整前的基礎數據。建議需要持續收集數據至展示方式調整後至少兩年以便分析比較各參數之變化狀況。
3. 已完成透過 PostgreSQL 建立資料庫，整合各項行為、生理、微生物群落和環境變數數據。此外，已透過 Dash 建構互動式使用者介面，呈現各指標的比對與趨勢，並評估是否需要做出預警。

（三）使用者介面功能介紹



圖一、使用者介面功能介紹

A. 選擇圈養場地

B. 預警提示

綠色（狀態正常）：最後一次的 Z-Score 維持在±1.5 內

橘色（預警）：最後一次的 Z-Score 介於 1.5 和 2 之間；或-1.5 和-2 之間

紅色（緊急）：最後一次的 Z-Score 超出 2 或-2

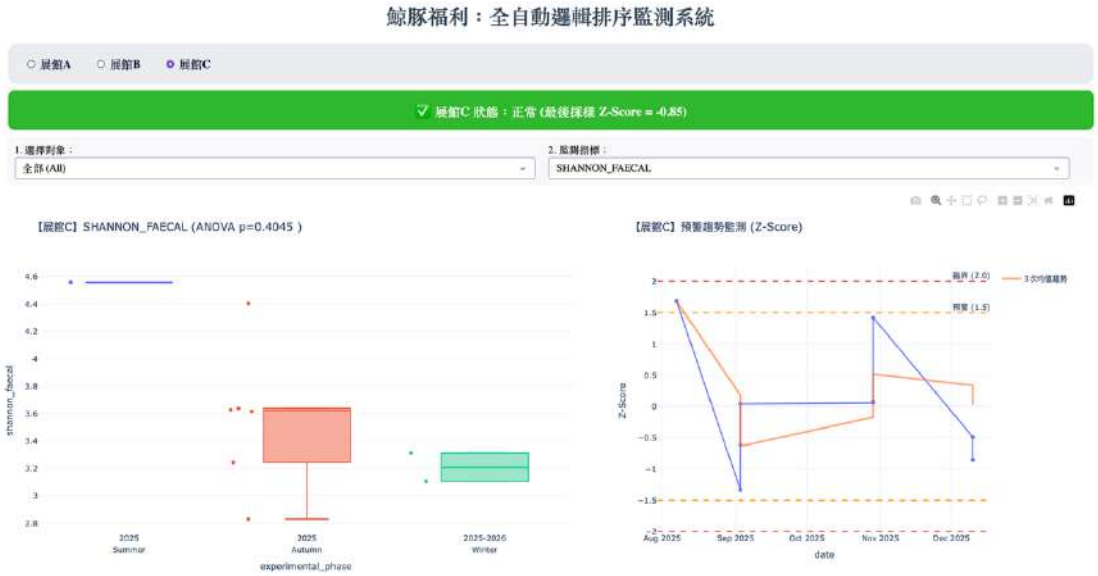
C. 選擇目標個體：所有個體、單一個體、分群

D. 選擇檢測指標

E. 檢測指標於不同時期的箱形圖，並採用單因子變異數分析（ANOVA）檢定組間差異；若出現顯著差異時，進一步進行事後檢定，並以星號（*）標示其顯著性

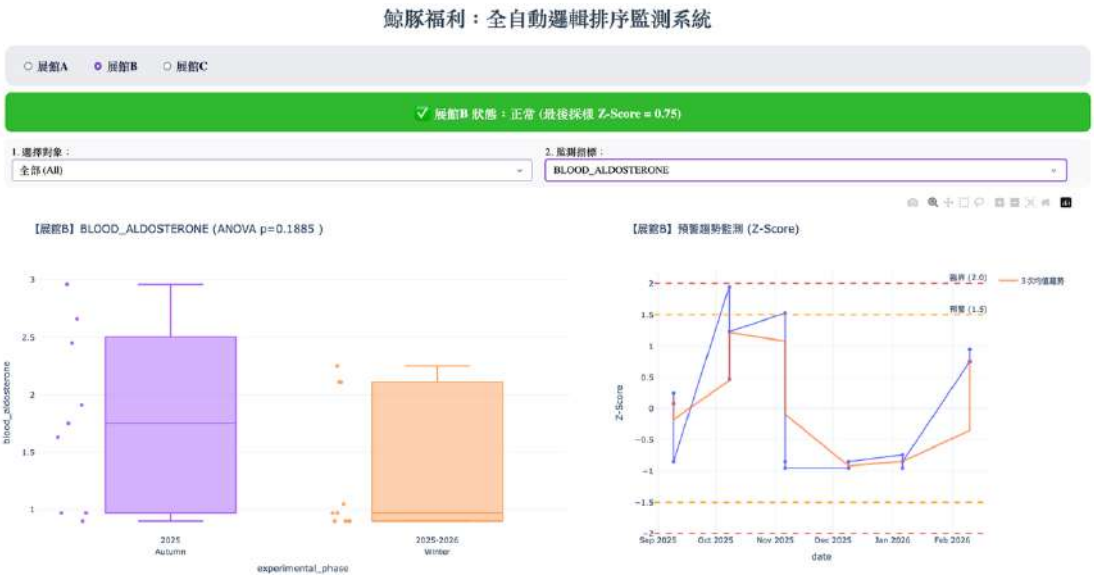
F. 預警趨勢檢測圖：藍線表示單次檢測之 Z-Score 實測值，橘線表示近三次之移動平均 Z-Score，藉此評估該次數據波動是否為偶然起伏

（四）使用範例



圖二、展館 C 所有個體糞便樣本 Alpha 多樣性（Shannon Index）分析結果【綠色預警提示】

圖三、展館 A 鯨豚群組 1 水面行為（休息）分析結果【紅色預警提示】



圖四、展館 B 所有個體血液醛固酮分析結果【綠色預警提示】

附件十

委員審查意見辦理情形表

期中報告委員審查意見辦理情形表

審查委員	審查意見	意見回覆
王委員浩文	一、 摘要(頁碼 ii)第 9 行略以...。本〝研究〞以系統化方法，建議修正為〝計畫〞；Metagenomics 請加上中文。 二、 期末報告是否須加上英文摘要。 三、 後續是否可擴及其他海洋哺乳類動物? 四、 有關 Stress Hormones 要使用壓力賀爾蒙或緊迫賀爾蒙?未再一開始寫到，請加入。 五、 第 8 頁底提到，目前合法飼養鯨豚的「單位」，其正式單位名稱需再次確認。	一：已依照委員建議進行修正。 二：結束報告會加入。 三：理論上可行。 四：已依照委員建議進行修正。 五：目前依照公開資訊定義單位，非以動物所有權單位，以免混淆。

姚委員秋如	一、關於計畫工作內容1.3.1(第 5 頁)蒐集彙整國際圈養海豚身心 行為文獻與資料，請提供完整參考文獻資訊。(第 8 頁)Jett 與 Ventre2015。 二、 1.3.2(第 6 頁)建置鯨豚行為指標標準化：行為表定義請彙整統一(如內文第 18 頁為 8 種行為，以英文書寫，附件二的第 9-12 頁約 15 種行為以中文書寫加英文編碼)。 三、 另外，三個水族館共 4 種齒鯨，研究方法中沒有說明各水族館受試驗鯨豚之物種、性別、年齡分布及個體數、目視行為觀察及血檢、微生物(噴氣及糞便樣本)之相對應之每物種、每個體之 試驗設計(努力量)等、環境因子(如人為活動、水下噪音、溫度、 鹽度等)之資料採集也請說明清楚。當試驗設計說明清楚後，後 續描述統計、多變項統計分析及時間序列分析才能夠令讀者理 解。 四、 附件三，錄音設備建議兩種組合(一)HTI-96-Min+Song Meter	一、1.3.1 為計劃工作內容。文獻回顧資訊於第二章與附件一有完整列出。 二、已依照委員建議進行修正。 三、已依照委員建議進行修正 。 四、已依照委員建議進行修正。 五、本計劃之目標為長期趨勢分析，因此不會試圖區分是哪隻動物發出以及行為與聲音的即時比較。 六、可考慮進行但與本計劃沒有直接關聯。

	SM4(二)HydroMoth，其錄音頻率涵蓋範圍有所差異，請說明其應 用面向。另附件三(第二頁)齒鯨發聲頻率介於25000Hz~48000Hz(May-collado etal2007)是否有誤植? 五、 目視行為觀察與水下鯨豚發聲行為，如何互相配合分析?如 Focal animal observation 為單一個體 5 分鐘連續觀察行為紀 錄，是否同時配合同步錄音資料?但如何區分聲音是同隻動物所 發出? 六、 有考慮水池的 eDNA 檢測嗎?	

蘇專門委員宏盛	一、建議將本委辦案，評選委員意見及回覆情形，列表納入報告書。 二、 報告書附件一，國際圈養鯨豚動物福利檢測方法概述第 4 頁第二面向環境提及其影響因子多元，惟第 6 頁提及環境之檢測方法，僅列〝微生物菌群組成與多樣性〞，無環境外在因子是否合宜? 三、 附件二圈養鯨豚水面行為觀察操作指引，所列錄影設備建議〝運動攝影機〞及〝全景攝影機〞，其規格是否可用於夜間進行或低照度環境?	一、已依照委員建議進行修正。 二、僅列〝微生物菌群組成與多樣性〞是因為其餘的因子不須經本計劃檢測即可取得。 三、不適用於夜間進行攝影。

羅組長進明	一、本計畫的研究動物對象是否含括海生館及其他兩處私人海洋動物園的所有動物，規劃及進度如何?相關抽血等評估計畫所檢測 之紀錄文字，建議於未來報告中呈現。 二、 本報告附件二、三、四，有檢附水面行為觀察操作，發聲行為觀察操作、無菌採樣操作等指引，請問未來在本計畫結束之後會提供給飼養場域之人員作為照顧圈養動物之重要指引嗎?對相關 人員而言，操作可及性或可行性?如何確保，團隊看法如何? 三、 附件一動物福利檢測方法第 4、5 頁，提到動物福利與五大面向，其中第五面向部分，誤繕為領域五，煩請訂正。另請教團隊此五大面向，是否適用於所有的圈養動物、種類或場域? 四、 有關本調查所探討的聲音行為與緊迫關聯性相當值得期待未來分析結果，而對於採樣的選擇上，是否也有考慮動物的作息狀 態，例如海豚是處於休息未參與表演展示的狀態，是否會造成誤 差，團隊如何安排?	一、已依照委員建議進行修正。 二、水面觀察之方法可用於訓練飼養場域人員執行。發聲行為需場域添購錄音設備並可訓練飼養場域人員與專業人員共同進行分析。無菌採樣操作可用於訓練飼養場域人員執行，樣本需外送生技公司處理與分析。 三、已依照委員建議進行修正。五大面向適用於各類動物福利之評估。 四、行為與發聲分析皆於未有人員互動期間紀錄。 五、野柳的生產母豚及子豚因無涉展演，所以未納入本計劃分析。

	五、 對於進行採樣的動物對象，是否另需考慮個體狀況，特別是野柳的母豚及子豚是否有納入考量，觀察進度如何?	

期末報告委員審查意見辦理情形表

審查委員	審查意見	意見回覆
姚委員秋如	一、附件一文獻彙整回應中，補充說明引用文獻時，建議將重要文獻列入正文或清楚交代引用依據，如頁 53、61、63、67、68、73、75、76、77、78、80、115 等處似仍有需要補強之處。 二、高敏感、授動性指標是否具鯨豚物種問差異？或是均類似？ 三、環境因子除展演方式改變外，是否亦需考量噪音、水質、豐富化狀態等變化？ 四、未來若評估工具（行為觀察、聲學、血檢、微生物採集等）要由業者自行利用，是否考慮書面指引外，亦搭配工作坊、增能課程來來提升業者之量能？ 五、附件 9 內容較少，請補充整合及指標判斷結果。 六、部分排版圖表遮住文字，字體大小請調整至清晰一致。 七、三館海豚均無搭聲（clicks）表現是否為圈養鯨豚之常見現象？考量其福利是否有提升聲音表現多樣性之方法？	一、已依照委員建議進行修正，將參考資料整理於後。 二、我們將預期四種鯨豚會有不同適合的指標。將於展演方式改變後進行分析。 三、如有顯著改變的環境因子將會記錄與比較。 四、未來可考慮舉辦考慮舉辦工作坊訓練業者員工。 五、依照委員建議進行修正 六、依照委員建議進行修正。 七、 此計劃錄音有聽到 clicks 但不多。以前人研究來看，皆以 pulse 與 whistle 作為福利監測之用，因此此計劃未計算 clicks 次數。

王委員浩文	一，可與海保署確認，期末報告是否需要英文摘要？ 二、因本期末報告，未來將會公開，且本議題具有很高的重要性，可與海保署確認，在第一章前言的段落，撰寫內容可以有許多的調整。 三、第二章部分，因為是背景資料收集和整理，且附件一亦為相關文件整理與分析，建議在本段落內文中或章節最後可以先提到附件一的部份。同時，本章節的少部份文字也可以做調整。 四、p16 的行為圖譜是否是 N-X？可以補上。 五、p23，是否在渡汶過程中也有設置 hydrophone 錄音分析？	一、結束報告已加入英文摘要。 二、依照委員建議進行修正。 三、依照委員建議進行修正。 四、已依照點事件與狀態事件分別描述。 五、未來有需要可於動態展示時進行水下錄音。

裴委員家麒	一、本監測項目已大致規劃完成，期得後續應用時的微調也能到位，有頭有尾。 二、群體參數和個體參數建議，在方法學上有所說明。取樣人員需標準化。 三、各場域的部分設施調整需求應可提供。例如：攝影機鏡頭設置的方向由上而下等。 四、生理參數的監測通常需要搭配其他行為參數的綜合比對，才可獲得正確的判讀，需要有些規劃 (例如：生物參數是個體資訊，但行為參數如果是群體參數，則如何相互比對？) 需有些規劃。	一、謝謝委員。 二、依照委員建議進行修正。 三、遠雄可使用既有攝影機於水池正上方錄影，其他兩園區僅能於高處設置行動攝影機。 四、個體資訊將計算群體趨勢後與其他群體參數比較。
洪委員國堯	一、期末報告書的格式，建議依需求說明書之大項依序來寫，相關細節請跟業務單位討論。 二、報告書內文所列概況及水下監控設備建議列出需求，報告所用之設備廠牌當作附件。	一、依照委員建議進行修正。 二、依照委員建議進行修正。
蘇委員宏盛	一、本委辦計畫期末報告格式，建議為照本署計畫報告書格式撰寫，如封面、報告書架構，另建議加入英文版摘要。	一、依照委員建議進行修正。 二、依照委員建議進行修正。

	二、計畫報告書之執行意見及結果，建議能扣合本委辦計畫的工作項目予以撰寫。 三、建議能增加結論與建議，俾作為本署推動後續計畫或政策執行之參考。 四、報告書 p92-96，行為記錄表範本內有關「行為量」欄位，對照行為圖譜之若干行為如：快速游水、伏下、玩水、豚游、休息、社交、玩耍等，以次數或時間其他計量方式更為適合，請再說明。	三、依照委員建議進行修正。 四、已依照點事件與狀態事件分別描述。

Ocean Conservation Administration,
Ocean Affairs Council