

行政院農業委員會林務局
一百零一年度委託研究計畫報告

中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃

100
| 林發
| 07
•
1
| 保
|
37

周蓮香

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 (100-林發-07.1-保-37)

中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃

Population monitoring and acoustic system

planning for Chinese white dolphin

(*Sousa chinensis*)



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立台灣大學 生態學與演化生物學研究所

周蓮香 教授

中華民國一零一年元月

參與研究人員

台灣大學 生態學與演化學研究所

周蓮香
張維倫
余欣怡
林子皓
葉志慧
柯孟辰
林明慶
郭毓璞
吳彥頡
王俊傑
劉明章
郭祥廈
陳飛龍
劉昱閏
翁霈琪
王錦堯
歐家欣
張弘明

台灣大學 工程科學及海洋工程學系

陳琪芳
湛翔智
蔡鴻儒
林虹君

中山大學 海下科技暨應用物理研究所

魏瑞昌
張偉涵
秦敬仁
蔡孟汎

中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃

摘 要

台灣的中華白海豚族群數量，目前約少於 90 隻個體，於 2008 年 8 月被世界自然保育聯盟（IUCN）進一步列為極度瀕危（Critically Endangered, CR）等級的保育類動物，我們發現台灣的族群量及動態目前處於非常脆弱的關鍵點。然而西部海域蓬勃的人為活動所帶來的威脅壓力頗巨，因此中華白海豚族群的長期監測是首要的基礎工作項目。本計畫針對中華白海豚在重要熱區水域的族群生態進行監測調查，探討其季節與年間變化趨勢，並規劃海洋保護區即時水下聲學系統監測系統的設立與管理。

長期監測方面，本年度共完成 30 趟海上調查，南北熱區各 15 趟，有效努力航程達 1859.60 公里，共目擊中華白海豚 35 群次，兩熱區的群次發現率都以南區海域為高。中華白海豚平均目擊水深不超過 8 公尺，群體大小以 3-4 隻為主。今年度共辨識出 52 隻非嬰幼兒個體，以及 17 對母子對。整合六年所累積的海上調查資料發現，南熱區群體的平均隻數顯著比其他海域多，全台灣共辨識出 72 隻非嬰幼兒個體，年齡結構以青少年期為主（77.5%），依據本族群個體間的社會連結可分為兩個社群，各自有定居者與遷徙者。生殖動態分析指出，春到夏季（四到九月）為生殖高峰，新生兒在出生第一年內最為脆弱。

水下聲學監測方面，今年於崙尾水道口、新虎尾溪口、外傘頂洲北端等三地共進行 161 天水下聲學監測，三測站都有監測到中華白海豚活動，海豚接觸率有明顯的空間及季節變異：三測站中以崙尾水道口最高，接觸率皆在夏秋轉換之際呈顯著下降，各測站之日夜與潮汐活動變異皆以夏季較顯著，初步推論，夏季的河川流量與潮汐週期對中華白海豚生態活動的影響可能間接來自於影響其食餌魚類的活動。建議未來應擴大水下聲學監測範圍，以瞭解中華白海豚完整的季節性活動模式，並且搭配不同頻率範圍的水下錄音設備進行深入研究。

為建構海洋保護區即時水下被動式聲學監測(passive acoustic monitoring, PAM)系統，本計畫規劃二種監測系統：「非即時傳輸訊號系統」與「即時傳輸訊號系統」。後者採用海床底碇式水下麥克風(bottom-mounted hydrophone)搭配資料浮標(data buoy)無線傳輸，整體運作成本高、需要考量漁業活動對其安全性衝擊，在目前尚無法立即使用。「非即時傳輸訊號系統」採用聲納浮標(sonobuoy)、A-tag (Acoustic data logger)、EAR (Ecological Acoustic Recorder)等，可先佈放在中華白海豚熱區，持續進行生態和背景噪音的監測。最後並估計各 PAM 系統在不同調查階段可提供的資料，以及建置各系統所需的建置成本與維護成本。

關鍵字(詞):中華白海豚、海上調查、空間分布、社會結構、水下聲學監測、活動模式、水下被動式聲學監測、非即時傳輸訊號系統。

謝 辭

本報告得以進行，源自許多人協助。首先感謝農業委員會林務局管組長立豪、張科長弘毅及林技正華慶的行政協助。研究期間，承台中縣台中區漁會柯仕麟先生、泰新祥一號鄭溪和船長、彰濱一號楊留煜船長、及台福利號林捷成船長協助海上調查。最後，對周蓮香及陳琪芳、魏瑞昌的研究室許多人員投入相關工作的辛勞，謹致謝忱。

目 錄

摘要.....	i
謝辭.....	ii
目錄.....	iii
第壹章、前言.....	1
一、研究背景.....	1
二、擬解決問題.....	2
三、計畫目標.....	2
四、參考文獻.....	2
表一、彙整往年發表族群數量或個體辨識數量.....	4
第貳章、中華白海豚於熱區海域的監測—海上目視調查.....	5
摘要.....	5
一、前言.....	6
二、材料與方法.....	6
三、結果.....	8
四、討論.....	11
五、參考文獻.....	15
表一、各航線的努力量.....	20
表二、各航線的中華白海豚目擊率.....	20
表三、各航線的中華白海豚群體資訊.....	20
表四、彙整各計畫歷年於各調查近岸航線區段之目擊率.....	20
圖一、中華白海豚苗栗白沙屯海上調查航線.....	21
圖二、中華白海豚外傘頂洲西側沿海海上調查航線.....	21
圖三、中華白海豚之目擊位置圖.....	22
圖四、中華白海豚目擊期間，觀察海豚 30 分鐘以上的海豚移動軌跡圖.....	22
圖五、中華白海豚目擊估計群體大小頻度圖.....	23
圖六、中華白海豚核心區疊加圖.....	24
圖七、Half-weight index 頻度圖.....	25
圖八、(a)回推生殖月份分布圖；(b) 0.5-3 歲海豚存活率.....	26
第參章、利用水下聲音資料記錄器(A-tag)監測中華白海豚之季節活動.....	27
摘要.....	27
一、前言.....	28
二、材料與方法.....	28
三、結果.....	31

四、討論.....	33
五、參考文獻.....	36
表一、中華白海豚水下聲學監測努力量與偵測結果.....	40
表二、Generalized linear model 分析日夜、季節與地區三項因子之結果....	41
表三、Generalized linear model 分析潮汐與地區兩項因子之結果.....	41
表四、Generalized linear model 分析潮汐、季節在二測站三項因子之結果	42
圖一、彰化縣崙尾水道口儀器佈放位置.....	43
圖二、雲林縣新虎尾溪口儀器佈放位置.....	44
圖三、雲林縣外傘頂洲北端儀器佈放位置.....	45
圖四、固定式水下聲音資料紀錄器(A-tag).....	45
圖五、A-tag 水下聲音資料記錄器偵測海豚聲音示意圖	46
圖六、中華白海豚在各測站各月份之平均接觸次數.....	46
圖七、中華白海豚在夏秋兩季各測站每天日夜平均接觸次數.....	47
圖八、中華白海豚在夏秋兩季各測站每天各個潮汐狀態平均接觸次數.....	48
第肆章、鯨豚保護區之即時水下聲學監測系統規劃.....	49
摘要.....	49
一、水下聲學應用技術.....	49
二、監測系統規格概述.....	54
三、監測系統建置規劃.....	56
四、歸納與結論.....	58
五、參考文獻.....	59
圖一、水下聲學的監測方法及資料處理流程之概念.....	63
圖二、由聲音數據偵測中華白海豚的 click 叫聲.....	63
圖三、由聲音數據偵測中華白海豚的 whistle 叫聲.....	64
圖四、估算 PAM 對中華白海豚叫聲(4 kHz)的偵測距離.....	64
圖五、A-tag 的外觀及判斷音訊入射方位的方法	65
圖六、EAR 的硬體組件和外觀照片.....	65
圖七、資料浮標與海床底碇式水下麥克風的構想外觀和零組件說明.....	66
圖八、2011 年 10 月 28 日至國立成功大學近海水文中心參訪討論情況.....	66
圖九、近海水文中心品保組陳秋份組長介紹資料品管和展示系統.....	67
圖十、近海水文中心現有的資料浮標.....	67
圖十一、水下聲音監測系統的建議規劃之建置進程.....	68
圖十二、中華白海豚的保護區及棲息地設置水下聲學監測系統規劃藍圖..	68
圖十三、各類水下聲學監測系統的建置成本及使用年限之建議與參考.....	69
附件.....	70
附件一、台灣西岸中華白海豚重要棲息地劃設會議結論紀錄及簽到表.....	70
附件二、中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊會議結論及簽到表..	73
附件三、中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊議程摘要集.....	81

第壹章、前 言

一、研究背景

中華白海豚 (*Sousa chinensis*) 分布範圍起自南非、截至東澳洲的印太平洋沿海 (Jefferson and Karczmarski 2004)，喜好沿岸的淺水海域，水深淺於20公尺 (Karczmarski *et al.* 1999)。因其水深偏好與人類沿岸活動範圍大幅重疊，生活環境常受到干擾。初探研究發現台灣西岸的族群平均不到100隻 (Wang *et al.* 2007)，因此在2008年被IUCN紅皮書列入Critically Endangered (CR)等級，危急情況只低於「絕種 (Extinct)」兩個等級 (Reeves *et al.* 2008)，其族群生態資訊亟須研究與蒐集。

周蓮香研究團隊在農委會委託下，自2006年起連續進行五年中華白海豚生態研究，前兩年的初步研究確認中華白海豚分佈範圍介於苗栗至台南將軍港之間，可能以港口、河口與外傘頂洲為分佈熱點，初期以為呈叢集分佈 (周蓮香 2006；2007)。2008年起受農委會、台電、台塑及國光公司委託開始執行深入調查，就中華白海豚之海上調查資料分析其棲地特徵與分佈熱點，發現中華白海豚在台灣西岸自苗栗龍鳳漁港至台南將軍港的沿海呈一連續且狹長的帶狀分佈，主要分佈在水深15 m、離岸 5 km以內的淺水海域，其中又以7-8 m水深為中華白海豚在台灣西岸最主要之棲息範圍。就離岸距離的分佈而言，平均離岸距離為1.4km，整體呈現南、北較窄，中部較寬的特性。活動範圍包含溪口以及沿海，其目擊點海域 (溪口-沿近海) 的水表鹽度範圍介於29 ppt至33 ppt之間，顯示其對於鹽度的適應範圍尚廣 (周蓮香2008，周蓮香2009，周蓮香與李政諦2009，周蓮香與李政諦2010)。

台灣的中華白海豚數量，根據過去五年以來之調查結果，以不同方式估算，發現目前約少於 90 隻個體(表一)。另外，以目前所知的國內外族群參數，經由數學模式模擬臺灣族群的延續動態，我們發現台灣的族群量及動態目前處於非常脆弱的關鍵點。然而西部海域的自然環境變異及蓬勃人為活動，如：過漁、漁具傷害、廢水排放污染、工程噪音干擾及大型工業區填海造陸等威脅壓力頗巨。2010 年度受農委會委託進行保護區與重要棲息環境的規劃，綜合中華白海豚分布與環境因子關係、中華白海豚棲地利用及活動模式，以及保育管理之可行性，建議將目前所確認之中華白海豚目擊紀錄範圍劃為中華白海豚重要棲息環境，並參考本種台灣的族群生態特性，及國外案例經驗，建議應：(1) 持續長期中華白海豚族群與棲地監測；(2) 成立專責總籌經營管理機構；(3) 成立衝擊通報管制系統以及預警機制；(4) 每年訂定 2 至 4 個月的全面禁漁期，達到復育海豚部分食餌資源的目的 (周蓮香等 2011)。因此中華白海豚族群的長期監測是首要的基礎工作項目。

二、擬解決問題

在台灣經濟發展為當今重點工作考量之下，近年有許多已成立或仍研議中的重大開發案在西部沿岸進行，加上沿海地區長年漁業資源的過度使用，中華白海豚生活範圍的海洋環境健康已面臨嚴重威脅。2008年8月世界自然保育聯盟（IUCN）將世界各地的中華白海豚種類列為「近危」（NT）等級，但特別將台灣的族群列為「極危」（CR）等級（Reeves *et al.* 2008）。為兼顧環境的保育與開發，去年度完成了中華白海豚「重要棲息環境」與「海洋保護區」的草案研擬，但本海域的中華白海豚族群動態資訊仍須深入與強化，俾為後續海洋保護區細部規劃與管理設計的基礎資料。因此，本計畫目的為持續調查中華白海豚在重要熱點區域內之族群生態現況，深入探討其季節與年間變化趨勢，並規劃海洋保護區即時水下聲學系統監測系統的設立與管理。

三、計畫目標

1. 全程目標：

- （1）海上調查中華白海豚在台灣西岸之空間分布、族群結構及年間變異。
- （2）利用水下聲學 A-tag 儀器調查中華白海豚在台灣西岸之長期活動變異。
- （3）規劃未來台灣中華白海豚海洋保護區的監測系統。

2. 本年度目標：

- （1）調查臺灣西部兩個中華白海豚熱區，苗栗-台中海域，以及雲林縣的外傘頂洲沿岸海域中華白海豚之空間分布、族群結構及年間變異。
- （2）利用水下聲學 A-tag 儀器在台中縣及雲林縣海域進行中華白海豚活動監測，並將分析海豚活動的日夜、潮汐、季節變異。
- （3）彙整國際上相關的鯨豚保護區之即時水下聲學監測系統設立與管理方式，並規劃台灣未來的中華白海豚保護區的即時水下聲學監測系統。

四、參考文獻

- Chang, W.-L., Yu, H.-Y., Lin, T.-H., and Chou, L.-S. 2009. Preliminary research on Chinese white dolphin (*Sousa chinensis*) social structure in western Taiwan coast. *In* 18th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Quebec, Canada.
- Chang, W.-L., Chou, L.-S., and Karczmarski, L. 2011. Population structure of Indo-Pacific humpback dolphins in Taiwan. *In* 19th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Tampa, Florida.
- Friday, N., Smith, T.D., and Stevick, P.T. 2000. Measurement of photographic

- quality and individual distinctiveness for the photographic identification of humpback whales. *Marine Mammal Science* **16**: 355-374.
- Yu, H.-Y., Lin, T.-H., Chang, W.-L., Huang, S.-L., and Chou, L.-S. 2010. Using the mark-recapture method to estimate the population size of *Sousa chinensis* in Taiwan. In Workshop on Population Connectivity and Conservation of *Sousa chinensis* off Chinese Coast, Nanjing, China.
- 周蓮香，2006。台灣沿海鯨豚誤捕研究與中華白海豚生態調查。行政院農委會漁業署委託計劃報告，72 頁。
- 周蓮香，2007。臺灣週邊海域鯨豚數量評估及生態環境之研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告，63 頁。
- 周蓮香，2008。臺灣週邊海域鯨豚數量評估及生態環境之研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告，37 頁。
- 周蓮香，2009。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業委託計畫，95 頁。
- 周蓮香，2009。彰工火力第一、二號機發電計畫-中華白海豚生態調查。台灣電力公司委託計畫，55 頁。
- 周蓮香，2009。確立瀕臨絕種或亟需保育之海洋生物資源現況及其生物學特性：臺灣西岸海域中華白海豚生態與漁業互動研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告，63 頁。
- 周蓮香，李政諦 2009。中華白海豚棲地熱點評估及整體保育方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，71 頁。
- 周蓮香，2010。中華白海豚棲地熱點評估及整體保育方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，71 頁。
- 周蓮香，陳孟仙，2010。彰化大城海埔地工業區與工業專用港設置計畫-中華白海豚調查評估整合報告。台灣世曦工程顧問股份有限公司與中興工程顧問股份有限公司委託計畫，184 頁。
- 周蓮香，陳孟仙，黃祥麟，林子皓，張維倫，葉志慧，2011。中華白海豚台灣族群歷史研究資料彙整，於”中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃”。行政院農委會林務局委託研究計畫，8-15 頁。
- 周蓮香，李政諦，李培芬，高家俊，邵廣昭，莊慶達，陳孟仙，陳琪芳，魏瑞昌，楊瑋誠，蔡惠卿，2011。中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，202 頁。
- 張維倫，林子皓，林健洲，周蓮香，2008。台灣西岸中華白海豚族群量之估計。台灣海峽兩岸鯨類生態與保育研討會，10 月 27-29 日，武漢，中國。

表一、彙整往年周蓮香團隊所發表之族群量估算或個體辨識隻數。個體辨識隻數結果受到調查努力量、調查涵蓋範圍影響，2009 年起本團隊採用更嚴謹的篩選照片標準(Friday *et al.* 2000)，將過往名錄中照片品質較不清晰的個體移除，且歷年皆有幼年個體成長進入少年期、補充整體族群，因此數字略有變動。

作者	出版年份	調查地點	調查年份	調查方法	調查趟次	估算族群量	辨識隻數	備註
周蓮香	2007	台中-崙尾，雲林-嘉義	2007	Mark-recapture	17	99	-	Lincoln-Petersen model；未校正 unmark-ratio
Yu, H.-Y. <i>et al.</i>	2010	苗栗-嘉義(全)	2007-2008 2009	Mark-recapture	258	80 (95%CI: 74-86) 75 (95%CI: 69-81)	-	Bailey's modified Lincoln-Petersen model
張維倫等	2008	苗栗南-嘉義	2006-2008	photo-ID	64	-	82-105	部分個體只有單側照片；不含嬰幼兒隻數
周蓮香	2008	外傘頂洲-嘉義	2008	photo-ID	20	-	56	不含嬰幼兒隻數
周蓮香	2009	台中南	2007-2008	photo-ID	45	-	63	不含嬰幼兒隻數
周蓮香與李政諦	2009	雲林	2008-2009	photo-ID	32	-	54	不含嬰幼兒隻數
周蓮香	2009	苗栗-台中北，外傘頂洲	2009	photo-ID	36	-	37	不含嬰幼兒隻數
Chang, W.-L. <i>et al.</i>	2009	苗栗-嘉義(全)	2006-2009	photo-ID	305	-	88	不含嬰幼兒隻數
周蓮香	2010	雲林	2009	photo-ID	40	-	59	不含嬰幼兒隻數
周蓮香與陳孟仙	2010	崙尾-濁水溪口	2009-2010	photo-ID	70	-	25	不含嬰幼兒隻數
周蓮香等	2011	苗栗-嘉義(全)	2005-2010	photo-ID	318	-	84-86	六年內所有辨識非嬰幼兒個體，再以嬰幼兒比例校正(嬰幼兒比例由海上調查估計約 10%)
Chang, W.-L. <i>et al.</i>	2011	苗栗-嘉義(全)	2007-2010	photo-ID	333	-	98	四年內所有辨識個體(包含嬰幼兒累積隻數，由緊隨母豚個體為依據)

第貳章、中華白海豚於熱區海域的監測—

海上目視調查

周蓮香¹、張維倫¹

¹：國立台灣大學生態學與演化生物學研究所

摘 要

為深入了解及監測台灣西岸的中華白海豚族群生態狀況，本計畫在中華白海豚的熱區海域（苗栗-台中、外傘頂洲）進行生態目視監測調查，目的是追蹤其空間分佈、移動模式、棲地利用、族群結構，並探討其時間上的變化趨勢。2011 年 5-9 月共完成 30 趟固定航線的海上調查，南北熱區各 15 趟，有效努力航程達 1859.60 公里，共目擊中華白海豚 35 群次，兩熱區的群次發現率都以南區海域為高；與前兩年比較，北熱區的目擊率似有下降趨勢，而南熱區則與往年紀錄相似。中華白海豚目擊位置平均水深不超過 8 公尺，群體大小則是 3-4 隻為主。今年度共辨識出 52 隻非嬰幼兒個體，及 17 對母子對。母子對在全區皆曾出現，但在南區的所佔群次比例較北區明顯為高（64%:10%），顯示南區在育幼功能上可能更為重要。另外，整合六年來的各單位委託之海上調查資料發現，南熱區的平均群體顯著比其他海域大。全區範圍的海豚個體辨識數量經由鑑定共辨識出 71 隻非嬰幼兒個體被列入個體名錄（photo-ID catalog），年齡結構以青少年期為主（77.5%），但老年期比例較外國族群低，值得關注與後續深入研究。台灣中華白海豚個體間的社會連結結構經由分層群聚分析（hierarchical cluster analysis）與棲地活動模式分析皆可發現台灣族群內可再分為兩個社群，各自有定居者與遷徙者。生殖動態分析指出，春到夏季（4-9 月）為生殖高峰，新生兒在出生第一年內最為脆弱。

關鍵詞：中華白海豚、族群、監測調查、空間分佈、移動模式、棲地利用、族群結構

一、前言

中華白海豚 (*Sousa chinensis*) 成體大小約 250-270 公分，幼體出身身長約 100 公分 (Jefferson *et al.* 2011)；除了駝峰形狀較不明顯，東南亞水域種群的個體體色會隨著年齡增長而變化：出生時是灰黑色，黑色色素漸漸退去，老年時呈現粉紅色體色 (Jefferson and Leatherhood 1997)。分布範圍起自南非、截至東澳洲的印太平洋沿海 (Jefferson and Karczmarski 2004)，喜好沿岸的淺水海域，水深淺於 20 公尺 (Karczmarski *et al.* 1999)。因其水深偏好與人類沿岸活動範圍大幅重疊，生活環境常受到干擾。世界上種群分布除了珠江口的族群估計量達 2500 隻外 (Chen *et al.* 2010)，其他族群量均不及 1000 隻 (如南非 Algoa 灣 466 隻，Karczmarski *et al.* 1999；又如印度 Goa 灣 842 隻，Sutaria and Jefferson 2004)；台灣西岸的族群甚至不到 100 隻 (Wang *et al.* 2007)，而在 2008 年被 IUCN 紅皮書列入 Critically Endangered (CR) 等級，危急情況只低於「絕種 (Extinct)」兩個等級 (Reeves *et al.* 2008)。

有鑑於本種存續之危及性，本團隊自 2006 年即展開系統性的科學調查。目前主要發現台灣的中華白海豚呈一連續且狹長的帶狀分佈 (苗栗龍鳳漁港至台南將軍港的沿海)，主要分佈在水深 15 公尺、離岸 5 公里以內的淺水海域，其中又以 7-8 公尺的出現水深為中華白海豚在台灣西岸最主要之棲息範圍。活動範圍包含溪口以及沿海，對於鹽度的適應範圍尚廣，其目擊點海域的水表鹽度範圍介於 29 ppt (溪口) 至 33 ppt (沿近海) 之間。目擊群體大小以 1-5 隻為主。藉由照片辨識，已建立 71 隻非嬰幼兒的海豚個體名錄 (photo-ID catalog)，年齡結構上老年期個體比例偏低 (周蓮香 2008, 2009, 周蓮香與李政諦 2009, 周蓮香等 2011)。人為衝擊下的族群存續力評估也在 2009 年完成，發現現階段正為此族群存續的至關點 (周蓮香 2009)。為了持續長期監測此族群，以提供未來保育政策研擬，今年延續海上生態調查，以追蹤其空間分佈、移動模式、棲地利用、族群結構，並探討其時間上的變化趨勢。

二、材料與方法

(一) 海上調查

監測區域：本年度共進行 30 趟海上調查。分為南北兩個監測區域：

1. 苗栗白沙屯至台中港 24°34'N-24°18'N（圖一），進行海上調查 15 趟。
2. 外傘頂洲西側沿海 23°34'N-23°26'N（圖二），進行海上調查 15 趟。

監測方式：

租用漁船於海上進行調查，每次調查沿著水深約 3-10 m 沿岸航線為一天的調查路線。預計於 100 年 4-10 月份選擇天氣良好時，執行 30 趟（天次）海上調查。每次調查至少四人輪流觀測，海上調查過程中船速保持在 4-9 節（海浬/小時），以望遠鏡及肉眼搜尋中華白海豚蹤跡，並紀錄航行努力量表。當遇見海豚時，紀錄最初發現海豚的位置與角度，並視情形慢慢接近動物，以估算隻數、觀察海豚的行為，及蒐集相關環境因子資料，並填寫鯨豚目擊紀錄表。此外，使用相機或攝影機記錄海豚影像，以便進行影像資料分析，觀察後嘗試以不干擾海豚行為的方式，跟隨並每三到五分鐘記錄該群次的白海豚之行為與位置。若所跟蹤的海豚消失於視野且連續 10 分鐘之等待或尋找無再目擊，則返回穿越線繼續進行下一群之搜尋。調查結束後，依照所觀測的群次隻數，配合照片所拍攝之個體辨識資訊比對，估計該海域所出現的白海豚群體數量。

（二）資料分析

調查資料就中華白海豚的空間分佈、移動模式、棲地利用、族群結構進行分析。

依據目擊資料中的經緯度以地理資訊系統（GIS）進行空間分佈定位，同時挑出總觀察時間超過 30 分鐘以上的群體，將長時間追蹤所定位之經緯度利用地理資訊系統建立追蹤海豚的路徑。同時將各航線所接觸海豚位置之環境因子（水表面溫度、鹽度、pH 值、水深）進行統計分析。將海上調查所拍攝之照片以身體或背鰭之輪廓、缺刻、疤痕、色斑點等特徵仔細比對建立不同個體的照片身份檔案（Photo-ID）然後分析其群體年齡組成。年齡鑑定與分期主要是依據體表顏色變化與身體大小。參考香港與大陸分成六期（Jefferson and Leatherwood 1997，賈曉平等人 2000，Jefferson 2000），分別為 Unspotted calf（簡稱 UC，嬰年期，身長為成體 1/3 到 1/2，全身深灰色，沒有斑點，身體側面可能還留有胎摺）、Unspotted juvenile（簡稱 UJ，幼年期，身長為成體 2/3 到 3/4，體色深到淺灰色，

沒有斑點)、Mottled (簡稱 MT, 少年期, 自 spotted juvenile 修改, 體色為淺灰色, 身體上有白色或灰色斑點)、Speckled (簡稱 SK, 青年期, 自 spotted subadult 修改, 已出現粉紅色體色但面積不到 50%, 幾乎滿佈白色或灰色斑點)、Spotted adult (簡稱 SA, 成年期, 粉紅體色面積大於 50%, 斑點較 SK 少)、Unspotted adult (簡稱 UA, 老年期, 體色以粉紅色或白色為主, 可能帶有些許灰色或黑色斑點)。

三、結果

(一) 海上調查

自 2011 年 6 月 17 日至 9 月 18 日為止總共進行 31 趟次的海上調查, 其中在北熱區 (白沙屯至台中港) 海域執行 16 趟但完成 15 趟 (其中一趟因船隻故障而提早返航的無效趟次), 在南熱區 (外傘頂洲附近) 海域 15 趟 (圖一、圖二)。航程共計 167.57 小時, 其中總努力小時為 133.68 小時, 合計 1859.60 公里 (平均每天出航 4.46 小時, 調查努力 50.74 公里, 表一)。

1. 中華白海豚的目擊率以及空間分布

海上調查共目擊中華白海豚 40 群次, 在有效努力航程上目擊 35 群次。非有效群次中有三群次為在苗栗沿海觀察海豚中發現被目擊, 一次為在外傘頂洲西側海豚中發現被目擊, 還有一次為剛離開港口、尚未開始正式努力量調查途中即目擊海豚, 這五群次因非在正式努力量紀錄中, 不列入目擊率的計算。

三十趟調查中有 20 趟次曾目擊到白海豚, 總航次目擊率為 66.6%。二條航線目擊率的各種指標如表二, 苗栗-台中海域的 73.3% 趟次目擊率較高。經過校正努力距離量後, 不論是每十小時的群次發現率或是每百公里的群次發現率都是外傘頂洲西側海域較高, 分別為 2.88 群次/10 小時與 2.87 群次/100 公里。

海豚目擊的位置如圖三 (包含非有效群次), 多在沿岸地帶目擊, 接近點水深平均為 7.44 ± 4.39 ($\pm$ SD) 公尺。苗栗-台中航線上目擊點的分佈較均勻於航線沿岸, 但在大安溪以南到梧棲港北堤間因受沿岸沙洲地形影響, 分佈離岸

稍遠（圖三 a）；外傘頂洲海域分布則較不均勻，集中於沙洲起端以及西南半部（圖三 b）。

藉由追蹤中華白海豚超過 30 分鐘的移動路線可了解其活動範圍。在 40 群次目擊中有 26 群次適合繪製追蹤軌跡如圖四。苗栗-台中海域最長的一次觀察長達 72 分鐘，海豚移動了 5.3 公里。由圖三可看出海豚群體在苗栗-台中海域幾乎完全沿著海岸線平行游動、範圍不超過離岸 2 公里，且未有明顯的東西移動現象，偶有原地繞圈或覓食等行為。而外傘頂洲海域的海豚觀察期間最長達 115 分鐘，海豚游動的 7.9 公里，主要沿著外傘頂洲北海域的沿線往東北或西南方游動，亦無往外海移動的跡象，不過比北區的游動軌跡較多曲折。外傘頂洲海域的海豚行為狀態除遊走外，常見覓食行為，原地繞圈和社交行為亦有紀錄。

2. 中華白海豚族群生態

在群體資訊方面：目前在努力航程中所目擊的 35 群中華白海豚共 134 隻次，平均每群隻數為 3.82 ± 3.00 ($\pm$ SD) 隻（範圍 1-10 隻），以群體大小 1-4 隻為最常見，佔目擊群次的 71.9%（圖四），群體大小超過五隻以上的群次則佔 28.1%。各航線海域的白海豚群體資料如表三。在白沙屯-台中港區域的海豚群體大小平均為 3.05 ± 2.46 （範圍 1-9 隻），而外傘頂洲西側的群體大小則是 5.00 ± 3.44 （範圍 1-10 隻），兩區的群體大小無顯著差異（Wilcoxon rank-sum test， $W=94.5$ ， $p\text{-value} = 0.075$ ）。

藉由照片個體辨識技術，今年度共辨識出 52 隻非嬰幼兒個體，只在白沙屯-台中港區域出沒的有 21 隻，28 隻只在外傘頂洲海域被發現，另外有 3 隻今年度在兩個區域皆有被拍攝到照片。被辨識出的 52 隻非嬰幼兒個體年齡結構為：少年期 32.7%，青年期 46.2%，成年期 17.3%，老年期 3.8%。

今年共發現 17 對母子對（其中 3 對出現在白沙屯-台中港區域，14 對在外傘頂洲北側海域，並無相同個體，表三）。除了在外傘頂洲海域的一次目擊母子對為單獨成群，其他母子對旁邊皆有其他成員共游，成員總數為 4-10 隻。另外在南北區海域皆有發現兩對母子對共游之現象，外傘頂洲海域甚至有一次目擊三對母子對的紀錄。不論是平均每群次母子對數或育幼群次比例，外傘頂洲海域都較白沙屯-台中港海域高，顯示南區為重要育幼區之一（表三）。

(二) 本團隊近年重要研究結果彙整

本團隊自 2006 年起接受漁業署、台電、台塑及國光公司委託連續進行中華白海豚生態研究，截至 2011 年底，共進行 420 趟海上調查，各調查區段目擊量統計於表四，從表中可清楚看到北熱區（苗栗南-台中南）以及南熱區（雲林南-外傘頂洲）的目擊率的確相較其他區段高上許多。目擊群體數量大小方面，整體群體大小為 4.78 ± 3.55 ($\pm$ SD, $n = 413$)；依照目擊率粗分為三區，北區（苗栗北-彰化北）目擊平均群體大小 4.38 ± 3.59 ($\pm$ SD, $n = 203$)，中區（彰化南） 3.14 ± 1.98 ($\pm$ SD, $n = 21$)，南區（雲林-嘉義海域）則為 5.40 ± 3.52 ($\pm$ SD, $n = 189$)，統計分析發現三區間有顯著差異 (Kruskal-Wallis chi-squared = 20.9441, p -value < 0.05)，再以 Kolmogorov-Smirnov test 檢定，發現南區海域的目擊群體較北區 ($D = 0.1919$, p -value < 0.05) 以及中區 ($D = 0.3545$, p -value < 0.05) 為大，而北區與中區的群體大小則無顯著差異 ($D = 0.1626$, p -value = 0.6959)。

藉由身上的疤痕、斑點，自 2006 年來個體名錄 (photo-ID catalog) 共辨識出 71 隻非嬰幼兒個體，包含 22 隻哺乳中雌性海豚。在年齡結構上，少年期個體占 35.2%，青年期個體 42.3%，壯年期個體有 16.9%，老年期個體數量最少，只占 5.6% (張維倫 2011)。

海豚的空間分佈模式是保育規劃的關鍵基礎資訊。為了解海豚活動範圍，選取目擊十次以上的 57 隻個體，以最小多邊形法 (Minimum Convex Polygon, MCP) 測繪棲地利用範圍並疊加，發現海豚集中使用大甲溪口-台中港沿岸、以及新虎尾溪口-外傘頂西側沿岸兩個海域 (即熱區範圍，圖六)。依據群集分析探討棲地忠誠性，海豚可被分成四大群：只使用南區或北區的居留者兩群，以及傾向使用南區或北區但偶爾離開、往返南北的遷徙者兩群 (葉志慧 2011)。

海豚個體間的結群關係稱做社會連結 (social association)，會直接影響族群的基因結構 (Archie *et al.* 2008)、適存度 (fitness, Silk 2007)、以及資訊和疾病的傳播 (Altizer *et al.* 2003)，因此探討海豚的社會連結對了解其生態是重要的。根據分層群聚分析 (hierarchical cluster analysis)，目擊 10 次以上的 55 隻個體 (辨識超過 75% 成員的群體資料) 被分為兩個社群 (community) (圖七)，一個傾向使用北熱區，另一個社群的成員則多使用南熱區 (張維倫 2011)。

族群的生殖動態是了解族群動態發展的另一重要基礎資訊。但嬰幼年期的個體因身上的疤痕或是斑點不明顯，無法被獨立辨識；但可根據幼豚緊緊伴隨的母豚做辨認，過去六年期間，嬰幼年個體累積至少有 27 隻分屬 22 隻母豚。即使是遷徙者，在育幼期間也傾向留在南或北熱區；約 68.2% 的雌性選擇在南熱區育幼，可見南熱區為中華白海豚在台灣的重要育幼棲地。雖全年都有新生兒出生的紀錄，春到夏季（四到九月）為生殖高峰（calving seasonality，圖八(a)），新生兒在出生第一年內存活率下降曲線最陡（圖八(b)，張維倫 2011）。

四、討論

(一) 今年度海上調查

1. 中華白海豚的目擊率以及空間分布

表四列出各年在南北熱區的海上調查目擊率比較，雖然每年的計畫因補助單位及計畫目標有異，調查穿越線稍有變異，年間與空間比較結果的大體趨勢仍具參考價值。今年度在北熱區（白沙屯-台中港）海域的趟次目擊率 73.3%、努力里程標準化之 2.03 群/100 公里，較去年與前年為低（2010 年:93.3%、3.47 群/100 公里，周 2010；2009 年: 100%、3.78 群/100 公里，周 2009）。相對的，南熱區的南部（外傘頂洲西側）海域今年的趟次目擊率 60.0%與前兩年相當（2010 年:53.3%，周 2010；2009 年:60%，周 2009），但努力里程標準化之 2.87 群/100 公里，則較去年與前年為高（2010 年:2.12 群/100 公里，周 2010；2009 年:1.68 群/100 公里，周 2009）。此一結果可能只是中華白海豚對棲地利用的一般年間變異，然而，中科三期自 2011 年四月開始於大甲溪口排放廢水，雖目前尚未有廢污水排放對鯨豚動物直接影響的報告，但對當地生態造成的衝擊也可能連帶影響海豚的棲地利用行為，亟須繼續嚴密追蹤確認。但自 2009 年後，北熱區的目擊率持續下降值得注意，顯示中華白海豚可能容易受到人為活動干擾。

本調查與往年跟隨白海豚的活動軌跡大多沿南北平行海岸移動，可再次印證白海豚的分佈的確非常侷限於近岸處，根據南非 Algoa Bay 族群的研究，海豚偏好利用水深不超過 25 公尺的海域（Karczmarski *et al.* 2000），台灣族群以預測模式運算也顯示水深為影響海豚分布的關鍵因子（葉志慧 2011）。長時間

的跟隨白海豚可獲得更多海豚移動模式及棲地利用的資訊，但仍有許多盲點：無法進行夜間觀測，無法連續數日的觀察，更難以在風大浪高的冬季進行調查；故使用衛星追蹤器或無線電追蹤器則是有效率且可獲得完整資訊的重要方法（Hooker and Baird 2001），或是使用被動式聲學監測系統（Passive Acoustic monitoring, PAM）也能提供海豚活動的模式資料。當能瞭解的白海豚活動範圍與棲地利用後，對於劃設保護區的位置與大小或是減低與漁業活動的衝擊才能有更精準的依據。

2. 中華白海豚族群生態

今年度辨識的個體數量 52 隻較整體族群累積辨識數量 71 隻為低，可能原因為調查海域並未涵蓋整個熱區：北熱區的台中南部海域以及南熱區北部的雲林海域在本年度調查未涵蓋，偏好侷限使用上述海域的海豚便可能不被拍攝到照片；另外，某些動物可能特定使用非熱區的小範圍棲地而未被包含在調查航線內，例如根據往年資料，編號#107 的海豚對苗栗北區有高度棲地忠誠性，但今年度計畫未延伸至苗栗北部海域，而使得此個體今年沒有目擊紀錄。

(二) 本團隊近年重要研究結果彙整

1. 群體大小

中華白海豚在台灣西岸的整體群體大小為 4.78 ± 3.55 ($\pm$ SD)，與澳洲 Cleveland Bay ($3.5 \pm$ s.e. 0.19, 範圍 1-12, Parra 2005), 香港 ($2.76 \pm$ s.d. 2.29, Parson 1998; $3.8 \pm$ s.d. 3.63, 範圍 1-23, Jefferson 2000), 以及南非 Algoa Bay ($6.0 \pm$ s.d. 2.72, 範圍 1-24, Karczmarski *et al.* 1999) 類似。但在阿拉伯附近的海域、馬達加斯加以及莫三比克，平均群體大小皆超過十隻以上（阿拉伯海域： $11.7 \pm$ s.d. 14.6, 範圍 1-20, 偶爾有超過 100 隻的群體紀錄, Baldwin *et al.* 2004；馬達加斯加： $13 \pm$ s.d. 7.61, 範圍 5-25, Razafindrakoto *et al.* 2004；莫三比克： $14.9 \pm$ s.d. 7.32, 範圍 2-25, Guissamulo and Cockcroft 2004）。若以熱區粗分，在南熱區及以南地區的群體大小顯著較大。

影響群體平均大小的因素有食源豐度、天敵出現與否以及群體的行為狀態。食源豐度、天敵出現與否是影響群體大小的主要因素（Heithaus and Dill

2002, Dunphy-Daly *et al.* 2007, Pearson 2009)。當食源豐度較高時，可以提供較多能量，會有更多海豚聚集而使得群體成員數量會增加 (Smith *et al.* 2008)。南非 Algoa Bay 的中華白海豚在夏天以及晚冬時被觀察到較大群體，可能與其食餌季節性遷移有關 (Karczmarski *et al.* 1999)。形成比較大的群體在抵禦天敵時則有互相警告以及減低自身被捕食機會的好處 (Lingle 2001)。

群體的行為狀態或是功能則是影響群體成員數的另一項因素。在澳洲 Cleveland Bay，中華白海豚遷移、覓食、繞圈時群體較小，但跟隨拖網船覓食以及社交時會形成較大群體 (Parra *et al.* 2011)。在香港也曾觀察到超過 10 隻的中華白海豚一同跟隨雙拖網船覓食 (Jefferson 2000)。

目前台灣中華白海豚在南北兩熱區平均群體大小顯著不同，因尚未有南北區域食餌多寡的量化比較研究，食源豐度對群體大小的影響還不清楚。而一般認知海豚的天敵-鯊魚-在台灣西岸的族群量低，分布也偏深水域 (莊守正個人通訊)，對於中華白海豚的影響應該不大。在群體行為狀態方面，尚待未來深入分析才能了解其影響。不過，育幼群體較大對新生兒的生存率有正向幫助 (Mann *et al.* 2000)，台灣的南熱區是重要的育幼棲地 (張維倫 2011)，中華白海豚可能為了提高生殖成功率而形成較大的群體。未來也應深入探討造成南北群體大小不同的原因。

2. 個體辨識與年齡結構

自 2006 年至 2011 年計畫結束，累積辨識出 71 隻非嬰幼兒個體，其年齡結構與香港族群明顯不同，香港族群壯年、老年期個體合併比例將近一半，青年、少年期個體比例各約 10% (Jefferson 2000)。顯示台灣壯年、老年期個體比例偏低，可能原因有二：(1) 台灣族群是個地理隔離的特殊族群，有著獨特的外表皮膚花紋成長變化。Wang *et al.* (2008) 以主觀分析認為，台灣族群的在少年、青年體色變化趨勢與廈門、香港族群明顯不同。壯年、老年的體色變化是否也有異，則須後續實際年齡與體色對應分析，如採用生物採樣 (biopsy)。(2) 台灣老年比例低可能是因為台灣的中華白海豚壽命較其他族群低 (香港海域個體壽命至少 38 年，Jefferson *et al.* 2011)。壽命較短雖可能是受遺傳基因影響，亦有可能是台灣沿海海域環境品質下降，海豚無法存活。若是後者影響較大，則棲地品質需被嚴格監測。

3. 社會結構與棲地利用

由 57 隻海豚頻繁使用的海域可知，目前認知的熱區範圍（大甲溪口-台中港沿岸、新虎尾溪口-外傘頂西側）為中華白海豚的核心區（core area），棲地忠誠性結果更顯示出海豚個體核心區偏好只位於單一熱區。核心區可能提供重要的資源如庇護處或穩定的食源（Rayment *et al.* 2009），但目前此區的資源資料仍不足，仍待後續量化驗證。同位素（isotope）和生物取樣（biopsy）可以分析台灣西海岸的中華白海豚尚未明瞭之覓食習性。透過瞭解它們的食餌魚類發聲資料，未來 PAM 也可以提供監測這些食餌魚類時間與空間分布模式的平台，小型的測深儀（echo-sounder）亦能探討白海豚與其食餌的行為互動。

社群結構的結果發現台灣的中華白海豚分成南北兩個社群，除了使用範圍不同外，兩個社群的年齡結構也有所不同，南區的比較年輕，北區的年長海豚數量較多，代表著兩熱區可能提供不同的功能。超過 2/3 的哺育中中華白海豚選擇在南熱區育幼，顯示南熱區為重要育幼區（張 2011）。雖目前尚不清楚海豚的食源分布及豐度在南北熱區的差異，但南熱區寬廣的淺灘海底地形可能是減少被獵捕、外海海浪干擾的庇護所（Barco *et al.* 1999, Weir *et al.* 2008），以及外傘頂洲的冲浪區（surf zone）可能是魚類的棲所（Lenanton and Caputi 1989）而提供足夠的能量來源，使得雌性中華白海豚選擇南熱區做為育幼地。未來可深入探討中華白海豚在南北熱區行為上的不同。透過海上觀察收集海豚各種行為狀態之聲音資料或是利用暫時性黏附在動物身上的聲音和行為記錄器

（acoustic and behavioral tag）來建構統計模型，連結不同行為狀態下的不同聲頻特徵，進一步從 PAM 所記錄之聲音資料得以推測海豚可能的行為狀態，應用於在海況不佳、海上調查受限的時節（如冬天），海豚在兩熱區間移動的模式。

未來除了深入探討海豚與食餌之間的互動及海豚的棲地利用行為，持續監測海豚生態外，因海豚深度依賴且頻繁利用南北熱區，建議維持、提升熱區棲地品質。棲地品質會直接影響環境承載量，進而影響族群大小與變化趨勢（Shaffer 1981）。

4. 生殖生態

台灣的中華白海豚全年皆有生殖紀錄但春夏為生殖高峰，此一現象與其他族群如南非 Algoa Bay 族群以及香港相同（Karczmarski 1999, Jefferson 2000）。雖目前尚未明瞭實際機制，可能與海豚的食餌在溫暖的時期豐度較高有關

(Karczmarski 1999)。在台灣，某些食餌魚類會進行垂直海岸的洄游，春夏時到岸邊淺水區，秋冬則往離岸方向遷移（陳孟仙與邵廣昭 2010）。

族群的補充（recruitment）來源一般來自其他地區族群，或是足一歲的幼年個體（Wells and Scott 1990）。台灣族群目前尚未發現與其他族群交流的個體（Reeves *et al.* 2008），因此足一歲的幼年個體非常可能是補充台灣西岸中華白海豚族群的唯一來源。在沒有遷入、移出的狀況下，唯有出生率及各齡期存活率大於死亡率時，族群才有機會成長。雖目前尚未估算成體死亡率，保育政策方面建議先往提高嬰幼兒生存率努力。

在育幼期間，雌性個體需要攝取比一般個體更多的食物，以提供哺乳時所需的能量（Huang *et al.* 2009）。從研究結果可知，春夏季為中華白海豚生殖的高峰，而且新生兒在第一年最為脆弱。但台灣中華白海豚除了面臨海岸快速開發的壓力外，食源也與漁業的目標物種大幅重疊（柯孟辰 2011）。若能在生殖高峰季實施禁漁，除了可維持當時食餌豐度，維持當地環境品質外（Mora *et al.* 2009），當成魚遷移外海也有溢出（spillover）的正向效益（Stobart *et al.* 2009，Goñi *et al.* 2010，Russ and Alcala 2011）。

五、參考文獻

- Altizer, S., Nunn, C. L., Thrall, P. H., Gittleman, J. L., Antonovics, J., Cunningham, A. A., Dobson, A. P., Ezenwa, V., Jones, K. E., Pedersen, A. B., Poss, M., and Pulliam, J. R. C. 2003. Social organization and parasite risk in mammals: integrating theory and empirical studies. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **34**: 517-547.
- Archie, E. A., Maldonado, J. E., Hollister-Smith, J. A., Poole, J. H., Moss, C. J., Fleischer, R. C. and Alberts, S. C. 2008. Fine-scale population genetic structure in a fission-fusion society. *Molecular Ecology* **17**: 2666-2679.
- Baldwin, R.M., Collins, M., Van Waerebeek, K., and Minton, G. 2004. The Indo-Pacific humpback dolphin of the Arabian region: a status review. *Aquatic Mammals* **30**(1): 111-124.
- Barco, S.G., Swingle, W.M., McLellan, W.A., Harris, R.N., and Pabst, D.A. 1999. Local abundance and distribution of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the nearshore waters of Virginia Beach, Virginia. *Marine Mammal Science* **15**(2): 394-408.
- Chen, T., Qiu, Y.-S., Jia, X.-P., Hung, S.K., and Liu, W.-H. 2011. Distribution and

- group dynamics of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the western Pearl River Estuary, China. *Mammalian Biology* **76**(1): 93-96.
- Dunphy-Daly, M.M., Heithaus, M.R., and Claridge, D.E. 2008. Temporal variation in dwarf sperm whale (*Kogia sima*) habitat use and group size off Great Abaco Island, Bahamas. *Marine Mammal Science* **24**(1): 171-182.
- Goñi, R., Hilborn, R., Díaz, D., Mallol, S., and Adlerstein, S. 2010. Net contribution of spillover from a marine reserve to fishery catches. *Marine Ecology Progress Series* **400**: 233-243.
- Guissamulo, A., and Cockcroft, V.G. 2004. Ecology and population estimates of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in Maputo Bay, Mozambique. *Aquatic Mammals* **30**(1): 94-102.
- Heithaus, M.R., and Dill, L.M. 2002. Food availability and tiger shark predation risk influence bottlenose dolphin habitat use. *Ecology* **83**(2): 480-491.
- Hooker, S.K., and Baird, R.W. 2001. Diving and ranging behaviour of odontocetes a methodological review and critique. *Mammal Review* **31**(1): 81-105.
- Huang, S.-L., Chou, L.-S., and Ni, I.-H. 2009. Comparable length at weaning in cetaceans. *Marine Mammal Science* **25**(4): 875-887.
- Jefferson, T.A. 2000. Population biology of the Indo-Pacific hump-backed dolphin in Hong Kong waters. *The Journal of Wildlife Management* **64**(4): 1-65.
- Jefferson, T.A., and Leatherwood, S. 1997. Distribution and abundance of Indo-Pacific hump-backed dolphins (*Sousa chinensis* Osbeck, 1765) in Hong Kong waters. *Asian Marine Biology* **14**: 93-110.
- Jefferson, T.A., and Karczmarski, L. 2001. *Sousa chinensis*. *Mammalian Species* **655**: 1-9.
- Jefferson, T.A., Hung, S.K., Robertson, K.M., and Archer, F.I. 2011. Life history of the Indo-Pacific humpback dolphin in the Pearl River Estuary, southern China. *Marine Mammal Science*, doi:10.1111/j.1748-7692.2010.00462.x.
- Karczmarski, L. 1999. Group dynamics of humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Algoa Bay region, South Africa. *Journal of Zoology, London* **249**(3): 283-293.
- Karczmarski, L., Cockcroft, V.G., and McLachlan, A. 1999. Group size and seasonal pattern of occurrence of humpback dolphins *Sousa chinensis* in Algoa Bay, South Africa. *South African Journal of Marine Science* **21**(1): 89-97.
- Karczmarski, L., Cockcroft, V.G., and McLachlan, A. 2000. Habitat use and preferences of Indo-Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis* in Algoa Bay, South Africa. *Marine Mammal Science* **16**(1): 65-79.
- Karczmarski, L., Winter, P.E.D., Cockcroft, V.G., and McLachlan, A. 1999.

- Population analyses of Indo-Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis* in Algoa Bay, Eastern Cape, South Africa. *Marine Mammal Science* **15**(4): 1115-1123.
- Lenanton, R.C.J., and Caputi, N. 1989. The roles of food supply and shelter in the relationship between fishes, in particular *Cnidogobius macrocephalus* (Valenciennes), and detached macrophytes in the surf zone of sandy beaches. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **128**(2): 165-176.
- Lingle, S. 2001. Anti-predator strategies and grouping patterns in white-tailed deer and mule deer. *Ethology* **107**: 295-314.
- Mann, J., Connor, R.C., Barre, L.M., and Heithaus, M.R. 2000. Female reproductive success in bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.): Life history, habitat, provisioning, and group-size effects. *Behavioral Ecology* **11**(2): 210-219.
- Mora, C., Myers, R.A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T.J., Sumaila, R.U., Zeller, D., Watson, R., Gaston, K.J., and Worm, B. 2009. Management Effectiveness of the World's Marine Fisheries. *PLoS Biology* **7**(6): e1000131.
- Parra, G.J. 2005. Behavioural ecology of Irrawaddy, *Orcaella brevirostris* (Owen in Gray, 1866), and Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis* (Osbeck, 1765), in northeast Queensland, Australia: a comparative study. PhD thesis, *In* School of Tropical Environment Studies and Geography. James Cook University, Townsville, Australia. p. 385.
- Parra, G.J., Corkeron, P.J., and Arnold, P. 2011. Grouping and fission–fusion dynamics in Australian snubfin and Indo-Pacific humpback dolphins. *Animal Behaviour*, doi:10.1016/j.anbehav.2011.09.027.
- Parsons, E.C.M. 1998. The behaviour of Hong Kong's resident cetaceans: the Indo-Pacific hump-backed dolphin and the finless porpoise. *Aquatic Mammals* **24**(3): 91-110.
- Pearson, H.C. 2009. Influences on dusky dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) fission-fusion dynamics in Admiralty Bay, New Zealand. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **63**(10): 1437-1446.
- Rayment, W., S. Dawson, E. Slooten, S. Bräger, S. D. Fresne, and T. Webster. 2009. Kernel density estimates of alongshore home range of Hector's dolphins at Banks Peninsula, New Zealand. *Marine Mammal Science* **25**:537-556.
- Razafindrakoto, Y., Andrianarivelo, N., and Rosenbaum, H.C. 2004. Sightings, catches, and other records of Indo-Pacific humpback dolphins in the coastal waters of Madagascar. *Aquatic Mammals* **30**(1): 103-110.
- Reeves, R.R., Dalebout, M.L., Jefferson, T.A., Karczmarski, L., Laidre, K., O'Corry-Crowe, G., Rojas-Bracho, L., Secchi, E.R., Slooten, E., Smith, B.D., Wang, J.Y., and Zhou, K.-Y. 2008. *Sousa chinensis* (eastern Taiwan Strait

- subpopulation). IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4.
- Russ, G.R., and Alcala, A.C. 2011. Enhanced biodiversity beyond marine reserve boundaries: The cup spillith over. *Ecological Applications* **21**(1): 241-250.
- Shaffer, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. *BioScience* **31**(2): 131-134.
- Silk, J. B. 2007. Social components of fitness in primate groups. *Science* **317**: 1347-1351.
- Smith, J.E., Kolowski, J.M., Graham, K.E., Dawes, S.E., and Holekamp, K.E. 2008. Social and ecological determinants of fission-fusion dynamics in the spotted hyaena. *Animal Behaviour* **76**: 619-636.
- Stobart, B., Warwick, R., González, C., Mallol, S., Díaz, D., Reñones, O., and Goñi, R. 2009. Long-term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community. *Marine Ecology Progress Series* **384**: 47-60.
- Sutaria, D., and Jefferson, T.A. 2004. Records of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*, Osbeck, 1765) along the coasts of India and Sri Lanka: an overview. *Aquatic Mammals* **30**(1): 125-136.
- Wang, J.Y., Yang, S.-C., Hung, S.K., and Jefferson, T.A. 2007. Distribution, abundance and conservation status of the eastern Taiwan Strait population of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Mammalia* **71**(4): 157-165.
- Wang, J.Y., Hung, S.K., Yang, S.-C., Jefferson, T.A., and Secchi, E.R. 2008. Population differences in the pigmentation of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*, in Chinese waters. *Mammalia* **72**(4): 302-308.
- Weir, J.S., Duprey, N.M.T., and Würsig, B. 2008. Dusky dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) subgroup distribution: Are shallow waters a refuge for nursery groups? *Canadian Journal of Zoology* **86**(11): 1225-1234.
- Wells, R.S., and Scott, M.D. 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. Report of the International Whaling Commission, Special Issue **12**: 407-415.
- 柯孟辰，2011。台灣西部中華白海豚與沿岸漁業的食源潛在競爭。碩士論文，台灣大學，台北，台灣，86 頁。
- 周蓮香，2008。臺灣週邊海域鯨豚數量評估及生態環境之研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告，37 頁。
- 周蓮香，2009。確立瀕臨絕種或亟需保育之海洋生物資源現況及其生物學特性：臺灣西岸海域中華白海豚生態與漁業互動研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告，63 頁。
- 周蓮香，2010。中華白海豚棲地熱點評估及整體保育方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，71 頁。

- 周蓮香，2010。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業委託計畫，97 頁。
- 周蓮香，陳孟仙，黃祥麟，林子皓，張維倫，葉志慧，2011。中華白海豚台灣族群歷史研究資料彙整，於”中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃”。行政院農委會林務局委託研究計畫，8-15 頁。
- 周蓮香，李政諦，李培芬，高家俊，邵廣昭，莊慶達，陳孟仙，陳琪芳，魏瑞昌，楊瑋誠，蔡惠卿，2011。中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，202 頁。
- 周蓮香，李政諦，2009。中華白海豚棲地熱點評估及整體保育方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，71 頁。
- 張維倫，2011。台灣的中華白海豚社群結構及生殖參數。碩士論文，台灣大學，台北，台灣，124 頁。
- 陳孟仙，邵廣昭，2010。中華白海豚與漁業資源。於”中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃”。行政院農委會林務局委託研究計畫，93-110 頁。
- 葉志慧，2011。中華白海豚在台灣之分布預測與活動模式。碩士論文，台灣大學，台北，台灣，112 頁。
- 賈曉平，陳濤，周金松，郭智，2000。珠江口中華白海豚的初步調查。中國環境科學 20: 80-82。

表一、各航線的努力量。

調查海域	白沙屯-台中港 (北熱區)	外傘頂洲西側(北熱區)
調查趟次	16*	15
努力里程(公里)	1034.38	487.72
努力時間(小時)	85.05	48.63
航行里程(公里)	1200.80	658.80
航行時間(小時)	100.50	67.07

*包含一趟為因船隻故障而提早返航的無效趟次。

表二、各航線的中華白海豚目擊率。

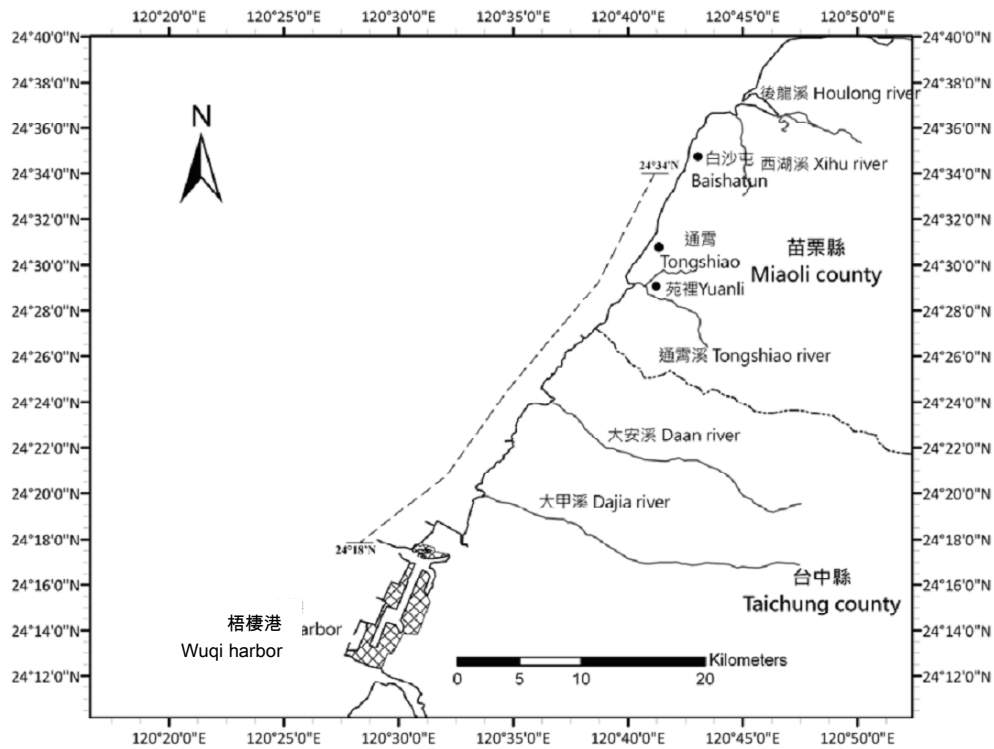
調查海域	白沙屯-台中港	外傘頂洲西側
有效群次	21	14
趟次目擊率	73.3%	60.0%
群/趟	1.40	0.93
隻/趟	4.27	4.67
群次/10 小時	2.47	2.88
群次/100 公里	2.03	2.87

表三、各航線的中華白海豚群體資訊。

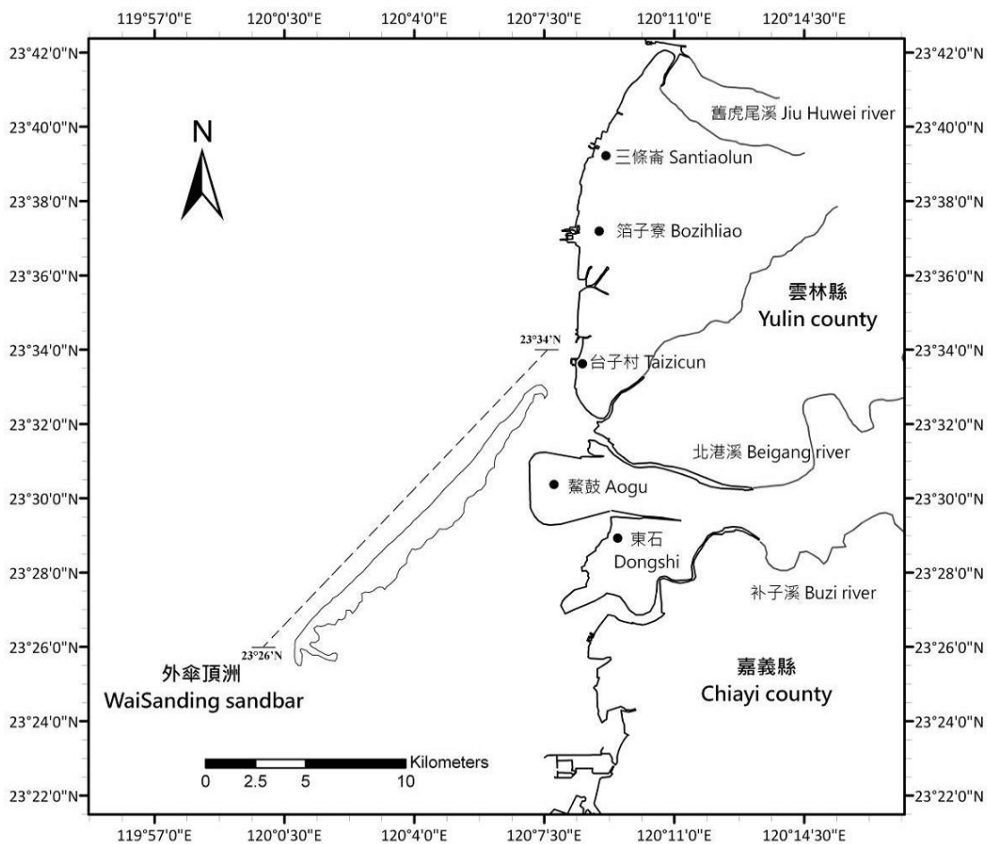
調查海域	白沙屯-台中港 (n=21)	外傘頂洲西側 (n=14)
每群隻數	3.05 ± 2.46 (範圍 1-9)	5.00 ± 3.44 (範圍 1-10)
累計目擊母子對數	3	14
平均每群次母子對數	0.14	1.00
育幼群次比例	10%	64%

表四、彙整各計畫歷年(2006-2011 年)於各調查區段之目擊率。

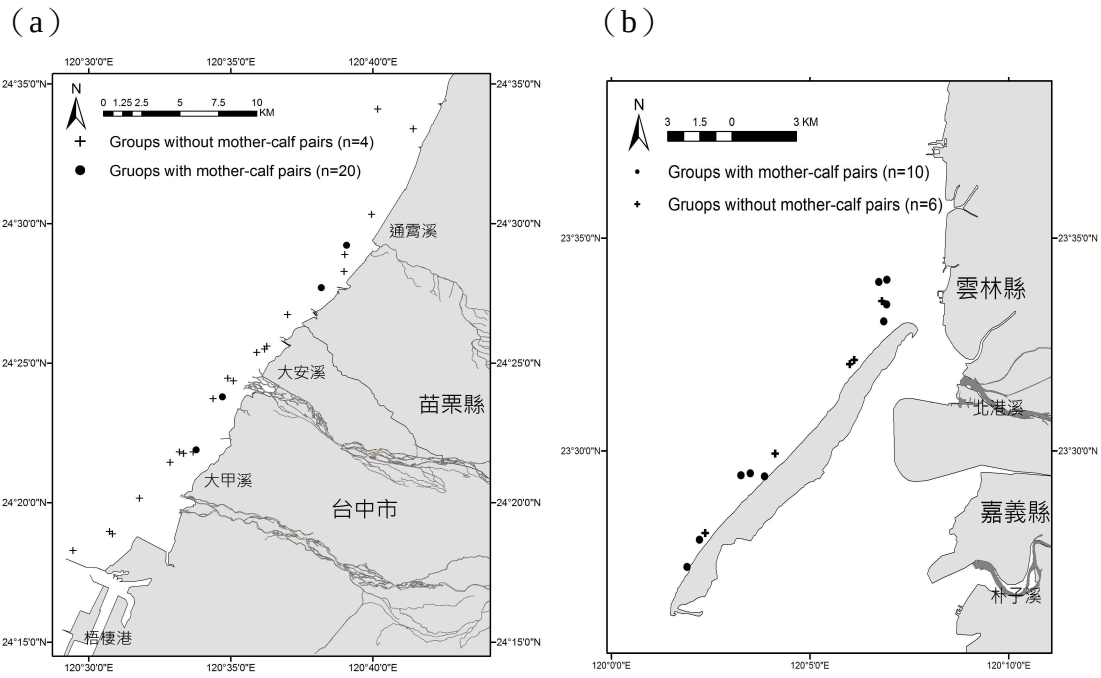
調查區段	群/100 公里	群/10 小時	努力航程(km)	努力小時(hr)
苗栗北	0.84	1.20	953.07	66.71678
苗栗南	2.18	2.79	1286.26	100.4829
台中北	2.71	3.48	2617.67	203.8743
台中南	2.00	2.51	1546.85	123.5373
彰化北	1.47	1.89	2373.52	185.2193
彰化南	0.71	0.87	2545.77	205.7617
雲林北	0.07	0.08	1370.12	120.1193
雲林南	2.86	3.18	3747.17	336.1812
外傘頂洲	2.53	2.73	1973.97	183.1833
嘉義	0.49	0.57	1015.80	87.89



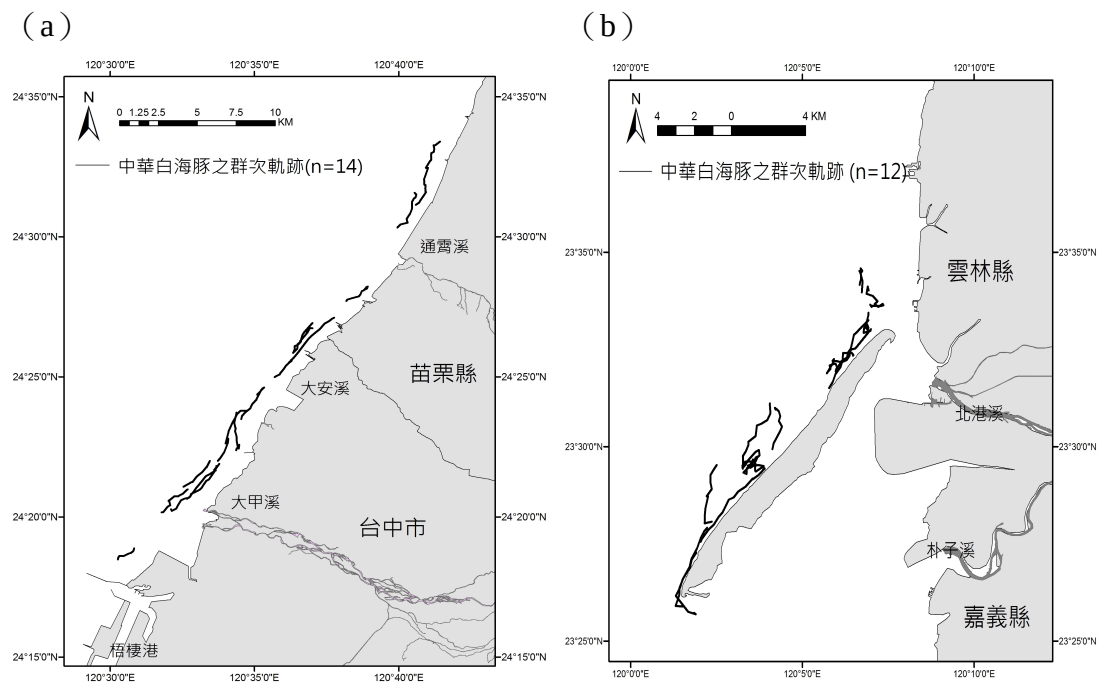
圖一、中華白海豚苗栗白沙屯 24°34'N-台中港 24°18'N 海上調查航線。



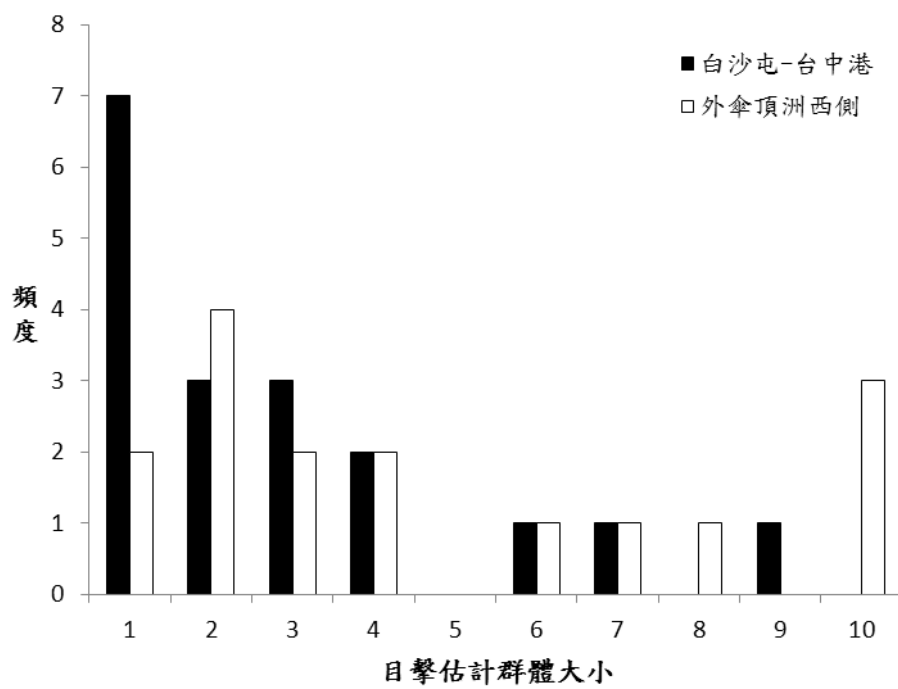
圖二、中華白海豚外傘頂洲西側沿海 23°34'N-23°26'N 海上調查航線。



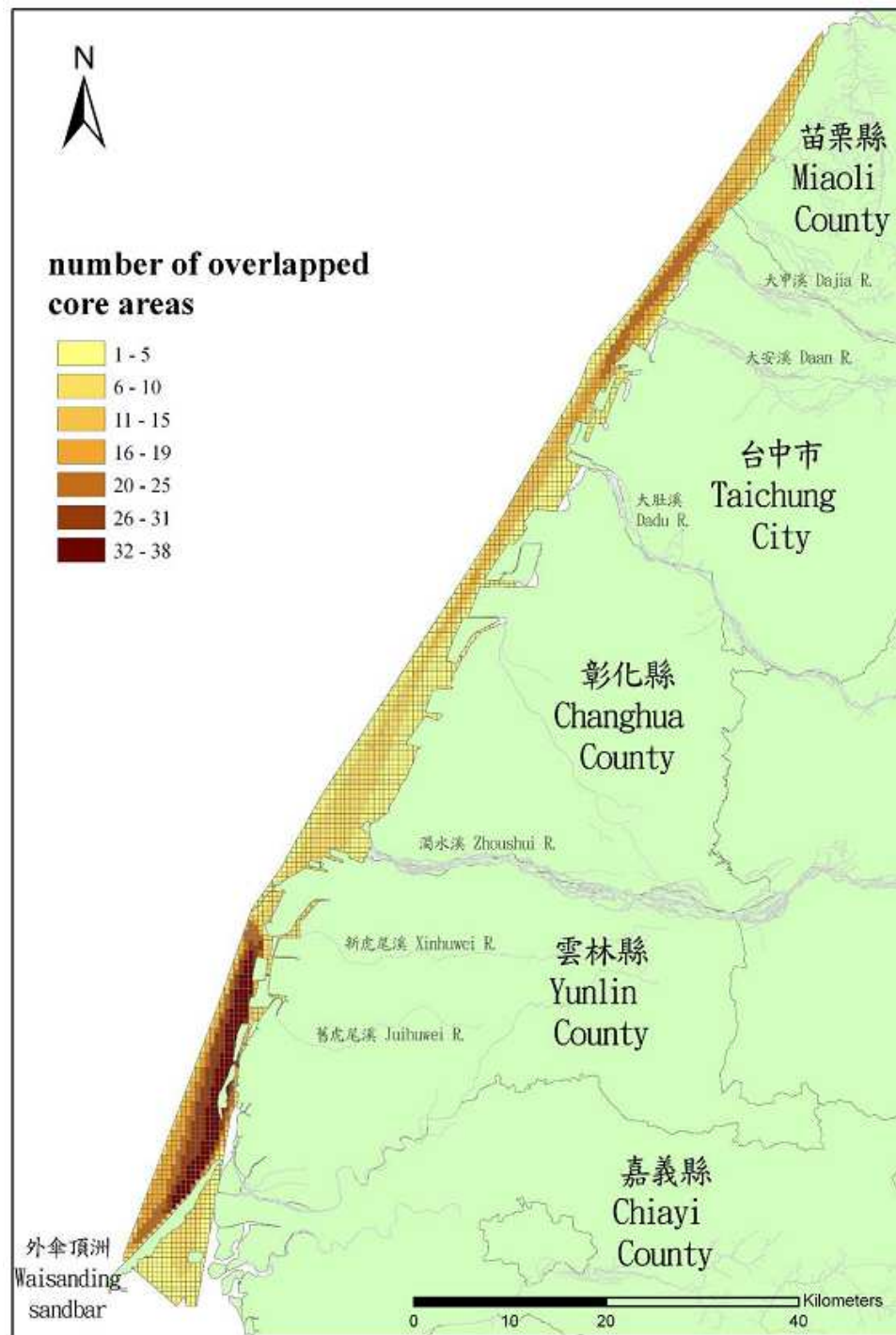
圖三、中華白海豚之目擊位置圖。(a) 苗栗白沙屯-台中港海上調查範圍；(b) 外傘頂洲西側海上調查範圍。



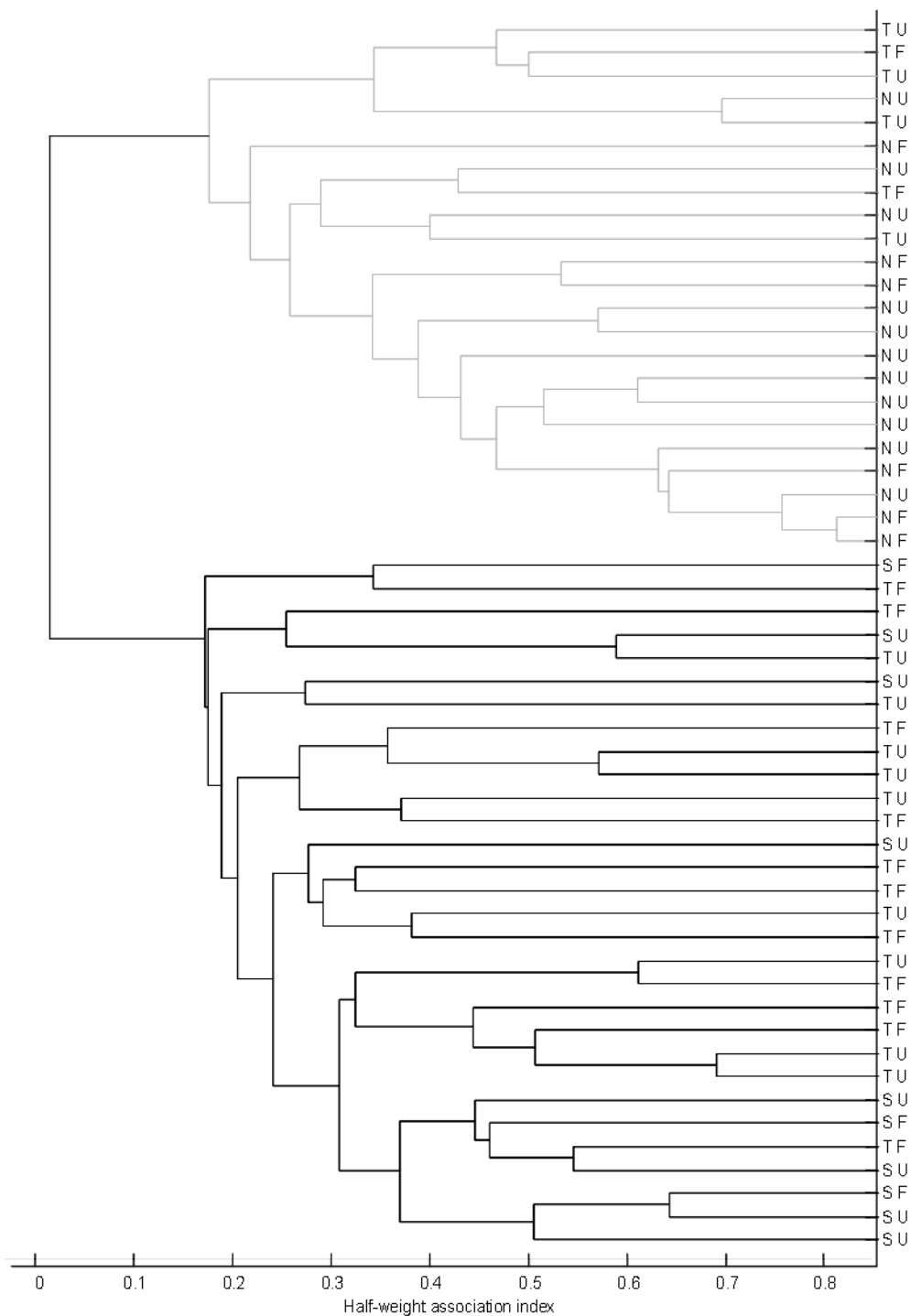
圖四、中華白海豚目擊期間，觀察海豚 30 分鐘以上的海豚移動軌跡圖。(a) 苗栗與北台中海域 (n=14)；(b) 外傘頂洲海域 (n=12)。



圖五、兩個調查海域的中華白海豚目擊群體大小頻度圖。

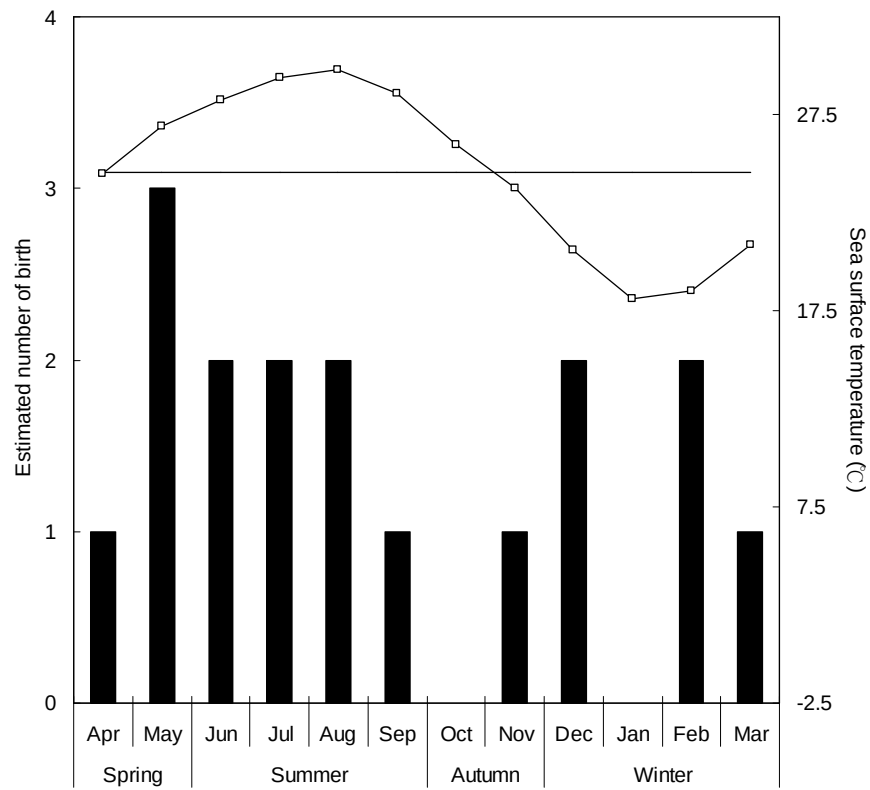


圖六、57 隻中華白海豚核心區疊加圖。網格的顏色表示疊加多寡的程度（葉志慧 2011）。

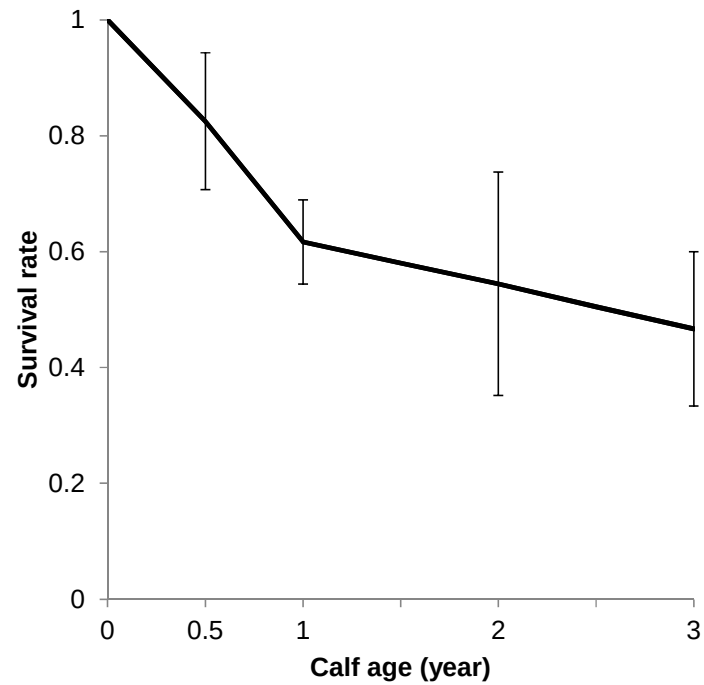


圖七、Half-weight index (HWI) 係數分層群聚分析結果。可看出分成兩個社群，分枝點 HWI 為 0.1722。個體發現的地點（‘N’:只在北熱區發現，‘S’:只在南熱區發現，‘T’個體在南北熱區皆有發現）以及性別（‘F’為曾經育幼的雌性，‘U’為不明性別）以不同字母標示。相關係數（cophenetic correlation coefficient）為 0.8991（張維倫 2011）。

(a)



(b)



圖八、(a)回推生殖月份分布圖。實線為年均溫，月均溫以空心方塊標示。海水表層溫度資料來自中央氣象局。(b) 0.5-3 歲海豚存活率。上下範圍代表 SD。(張維倫 2011)

第參章、利用水下聲音資料記錄器(A-tag)監測

中華白海豚之季節活動

周蓮香¹、林子皓¹

1：國立台灣大學 生態與演化生物研究所

摘 要

鯨豚水下聲學監測可以不受海況、能見度等因素的限制，且可長時間連續的進行監測，近年來已開始被廣泛採用。為瞭解中華白海豚日夜、潮汐與季節性活動的模式，本計畫利用水下聲學資料記錄器(A-tag)監測中華白海豚的回聲定位聲音。於 2011 年 6-11 月期間分別在崙尾水道口進行 51 天、新虎尾溪口 63 天、外傘頂洲北端 47 天的水下聲學監測。三測站都有監測到中華白海豚活動，而且在崙尾水道口的海豚接觸率最高，與本計畫在當地的海上調查結果相符。三測站的海豚接觸率皆有顯著的季節變化，夏季顯著高於秋季，但是各測站之間日夜與潮汐活動模式則有所不同，不過皆以夏季的日變異較明顯。在夏季，河口棲地型的崙尾水道口與新虎尾溪口的海豚接觸率皆為夜晚高於日間，且漲潮與滿潮期較退潮與乾潮為高；但是在非河口棲地型的外傘頂洲北端，海豚的活動則與其他測站呈現相反的趨勢。地區之間的白海豚活動模式變異可能與海洋環境因子有關，如河川降雨量的季節變化以及潮汐周期變化等。初步推論河川流量與潮汐週期在夏季對中華白海豚生態活動有顯著影響其可能間接源於對中華白海豚食餌魚類的活動影響。未來建議應擴大水下聲學監測範圍，以瞭解中華白海豚完整的季節性活動模式，並且搭配不同頻率範圍的水下錄音設備來進一步了解中華白海豚活動與環境變動之相關性。

一、前言

海洋中聲音傳導的距離遠高於光傳導的距離，因此在海洋裡的鯨豚極端仰賴聲音來了解牠們的生活環境。齒鯨會利用回聲定位聲音來探測獵物的距離 (Au 1993)，也會利用哨叫聲來與其他個體溝通、交換訊息 (Janik 2009)，鬚鯨更是被認為會透過極低頻率的哨叫聲來與數百公里遠的其他同種各體溝通 (Tyack and Whitehead 1983)。這種特性讓鯨豚發出的聲音成為一個監測牠們是否出現的絕佳研究標的，近年來由於水下技術的發展，世界上也開始廣泛採用水下聲學方式來長期監測鯨豚類的活動 (Moore *et al.* 2006, Mellinger *et al.* 2007, Akamatsu *et al.* 2008, 2010, Todd *et al.* 2009, Soldevilla *et al.* 2011)。此外，水下聲學方法透過固定其偵測的閾值和篩選的條件，將可以提供一個不受到其他人為因子影響的監測結果 (Akamatsu *et al.* 2008)，有助於更客觀的描述鯨豚活動模式的變化。

歷年來台灣對於中華白海豚的研究大都來自於擱淺與海上調查 (Wang *et al.* 2004, 周蓮香 2006, 周蓮香 2007, Wang *et al.* 2007, 周蓮香等 2011a)。海上調查受限於能見度，在夜間完全無法觀察中華白海豚的活動情形。另外台灣西海岸的氣候僅在春夏兩季有較佳的海況，使得秋冬季不易進行海上調查，無法了解中華白海豚的季節性活動。基於總總因素，到目前為止我們對於中華白海豚完整的每日與季節性的活動模式皆未能有所了解，但是保育經營對策的建立卻又相當仰賴這些基礎生態資料。在這種情況下，水下聲學方法提供了一個適當的監測工具來了解這些問題。近年來，水下聲學方法也漸漸應用在西岸的中華白海豚監測上 (周蓮香與李政諦 2010, 周蓮香等 2011a, 周蓮香等 2011b)，尤其在雲林縣沿海的台西海氣象觀測樁，周蓮香團隊已在此持續監測中華白海豚水下聲音為期 2 年，去年度在林務局委託之下，也曾在大肚溪口進行短暫的試驗性監測。未來仍待持續的追蹤調查，並擴大監測範圍以提供更多中華白海豚生態資料。

本計畫目標利用水下聲學方式在彰化縣與雲林縣建立水下聲學監測平台來瞭解中華白海豚在日夜、潮汐周期的活動模式，並且分析這些活動模式是否再不同的地區與季節之間是否有所差異。本計畫在建立水下聲學監測平台的經驗也可提供未來海洋保護區劃設時，利用水下聲學監測系統來提供一個可以長期監測海洋環境與中華白海豚生態的重要參考研究。

二、材料與方法

(一) 監測位置

本計畫在彰化縣與雲林縣選擇三個調查地點記錄中華白海豚的水下聲音。第一個測站位於彰化縣北區的崙尾水道口（代號 CH）（圖一），緊鄰彰濱工業區崙尾段與鹿港段之間，水道內有崙尾、塭仔兩漁港，為當地漁民出入港口之重要交通要道，此外崙尾水道內與彰濱工業區南側也有大排水道，可能受到上游的河川淡水注入影響。本測站在春夏季時盛行西南季風，因此選擇水道口北側堤防佈放監測儀器，但在秋冬季由於強勁的東北季風，為了減少海浪噪音之影響，改以水道口南側堤防佈放監測儀器，無論是水道口北側或南側，佈放位置之當地水深隨著潮汐變化皆在 4 至 8 公尺範圍之內。第二個測站位於雲林縣的新虎尾溪口（代號 CH）（圖二），緊鄰麥寮六輕工業區與計劃中的新興工業區，為雲林縣漁民進行漁業活動之重要溪口，佈放位置之當地水深隨著潮汐變化約在 8 至 12 公尺範圍之內。第三個測站位於雲林縣外傘頂洲北端（代號 WS）（圖三），附近有台子村漁港，在外傘頂洲東側內部有牛挑灣溪與北港溪口。雖然秋冬季該處海域盛行強勁的東北季風，但監測地點西北側約一海哩處有一隱沒之沙洲（舊名統仙洲）可供減少大浪造成的可能影響。由於此處海域為沙洲淺灘地形，佈放位置之水深隨著潮汐變化僅有約 1 至 5 公尺。

（二）監測系統

在去年度計畫確認水下聲學方式可以有效監測中華白海豚活動之後，本年度延續去年度監測方法，利用「水下聲音資料記錄器」（Acoustic data logger，ML200AS2，Marine Micro Technology，Japan），簡稱「A-tag」（圖四）來監測中華白海豚活動。一組 A-tag 具有兩個水下麥克風，可以響應在 55 - 235 kHz 頻率範圍的聲音(Akamatsu *et al.* 2005)，此頻率範圍剛好為中華白海豚回聲定位聲音(echolocation click)的主要頻率分布範圍(Goold and Jefferson 2004)，兩個水下麥克風之間間隔 60 公分，資料記錄解析度為每 2 毫秒記錄一次資料，並可依據兩個水下麥克風接受到聲音訊號的時間差來推導此聲音的來源角度。

（三）水下儀器固定方式

由於不同的調查地點其地形或附近的人工設施物有所不同，因此本計畫採取兩種不同的儀器固定方式。在彰化縣北區的崙尾水道口(CH)與雲林縣外傘頂洲北端(WS)，每次監測時將一組 A-tag 固定在船錨上，以船錨做為 A-tag 的載具平台，並連接一組浮標作為警示之用，並將船錨固定在海床上。由於此方式容易受到漁網、船隻交通影響而破壞儀器，因此在佈放時需將船錨固定在離岸較近的地方減低漁網與船隻交通之干擾。

在雲林縣新虎尾溪口(YL)，由於當地有經濟部水利署、成功大學水工試驗所管理之海氣象觀測樁，因此可以將 A-tag 固定在樁上，比起其他測站利用船錨做為載具更為安全。每次監測由潛水夫在海床上約 4 公尺之處將兩組儀器固定在樁的兩側，以便獲得 360 度完整的監測範圍。

1. 聲音資料篩選

在收回 A-tag 之後，利用 Igor Pro 5.01(Wave Metrics, U.S.A.)軟體分析 A-tag 所記錄到的海豚回聲定位聲音訊號。由於許多水下聲音皆有可能被記錄，因此需要設定一些條件來確定篩選出的訊號是否為海豚的回聲定位聲音。雖然 A-tag 所偵測的頻率範圍高達 55-235 kHz，一般的生物以及人為噪音不容易發出此頻率範圍的聲音，但距離很近的船隻所引起的水花以及部份生物（如槍蝦）所發出的聲音仍可能會擴展到此頻率範圍，因此首先去除掉音量小於 133.3 dB peak-peak (re 1 μ Pa) 的聲音訊號，做為初步的篩選。再去除掉在前一訊號 4 毫秒(ms)以內的回音反射，再進一步篩選以確認海豚的聲音訊號。

海豚所發出的回聲定位聲音是由一連串的單波(Single pulse)訊號而組成的，在過去的研究發現，每一段回聲定位聲音中，每一單波之間的間隔長度(interpulse interval, IPI)應會呈現穩定變化(Au 1993, Akamatsu *et al.* 2008)，相較於船隻引擎噪音與槍蝦產生的聲音，其 IPI 會極為不穩定甚至是變化甚大。本研究參考過去的篩選設定，設定前後連續的 IPI 變化在 0.5 - 2 倍之間。在篩選過後船隻的聲納仍有可能會被保留，但船隻聲納的 IPI 會長時間在某些範圍內規律跳動，可以透過人工篩選再進一步將船隻聲納去除。

每次海豚所發出的回聲定位聲音皆可能有不同的單波數目，在本研究中，我們篩選出最少連續 6 個、最多連續 500 個單波的聲音訊號，此外為了降低訊號偵測的誤報率(false alarm rate)，我們更額外僅篩選音量變化（標準差/平均） < 0.3 及音源角度變化（標準差/平均） < 0.4 的回聲定位聲音訊號，確保所篩選出的聲音訊號皆是穩定從一個方向傳來的，避免錯誤偵測到像是槍蝦連續發出的聲音等不想要的聲音。經過以上的篩選以後，才被當作可信的海豚回聲定位聲音訊號進行後續分析研究。

2. 資料分析

每一個被篩選出的聲音訊號自其被偵測到的時間起 1 分鐘內，我們根據海豚在此時間間隔(time frame)內的角度軌跡判斷當時至少偵測到幾隻海豚（圖五），並將每條聲音角度軌跡記錄為一次海豚的「接觸(encounter)」，此方法就如同在陸上觀察海豚時，記錄每分鐘至少有幾隻海豚游經過監測區域。透過量化接觸的

次數，我們可以推估海豚活動的頻度，接觸率越高，可能顯示進入監測範圍的海豚數量增加，或是停留在監測範圍的時間變長。

為了瞭解中華白海豚在日夜、不同潮汐階段之間的活動變化，我們利用中央氣象局所提供之日出日落時刻表將每天切為日、夜兩個時段。同時也利用潮汐表所提供之潮汐預報，將最高水位與最低水位的前後 1.5 小時劃為滿潮與乾潮，再將滿潮與乾潮之間的時段劃分為退潮與漲潮。在每天的不同時段裡面，記錄每時段所偵測到的接觸次數。此外為了瞭解中華白海豚在季節之間的活動變化，雖然本計畫受限於執行期程的限制而無法囊括四季，但我們仍可將 6 至 9 月分為夏季，10 至 12 月分為秋季來探討季節之間的活動變異，並記錄中華白海豚每天的接觸率。為了瞭解在不同地區與季節之間觀察到的日夜與潮汐活動模式是否有所差異，我們利用 generalized linear model 來探討三項時間因子與監測地點之間的以及其交互作用是否顯著。

三、結果

本計畫於 2011 年 6 至 11 月期間利用 A-tag 分別在崙尾水道口進行了 51 天次（1,101 小時）、新虎尾溪口進行了 63 天次（1,459 小時）、外傘頂洲北端則進行了 47 天次（1,029 小時）的水下聲音監測，各測站在每月份的有效努力量如表一。

（一）季節性活動

中華白海豚在三個測站各月份之接觸率如圖六。各月份的接觸率皆以崙尾水道口為最高，新虎尾溪口次之，外傘頂洲北端為最低。監測期間在三個測站內皆呈現接觸率隨著月份進入秋季而逐漸下降的趨勢，只有崙尾水道口測站在 11 月份的接觸率較 9-10 月份高。

（二）日夜活動

中華白海豚在三個測站日夜之間的接觸率如圖七，結果顯示無論是哪個季節，崙尾水道口在夜晚的接觸率皆較白天高。新虎尾溪口的接觸率在夏季也有些許的日低夜高之趨勢，但是在秋季則不明顯。三測站當中，以外傘頂洲北端的日夜活動模式最為特殊，夏季的接觸率與另外兩測站呈相反的趨勢，在秋季則沒有明顯的區分。

(三) 潮汐活動

中華白海豚在三個測站不同潮汐階段之間的接觸率如圖八，結果顯示夏季和秋季的潮汐活動模式在三個測站皆有所改變。夏季時，崙尾水道口與新虎尾溪口的接觸率皆呈現漲潮與滿潮較高，退潮與乾潮較低的趨勢，但是在外傘頂洲北端則是滿潮最高，漲潮最低，與另外兩測站完全不同。秋季時的接觸率在三個測站皆沒有如同夏季時明顯隨著潮汐而變化的模式。

(四) 日夜、季節與地區之間交互作用

透過 generalized linear model 統計分析，可以針對日夜、季節與地區三項因子同時進行分析，並且瞭解在不同季節與不同地區之間的日夜活動變化模式是否改變。結果顯示中華白海豚在地區與季節之間的接觸次數皆有顯著差異，但是在日夜之間沒有顯著差異。此外在日夜與地區之間以及日夜、季節與地區三項因子之間也有顯著的交互作用（表二），顯示中華白海豚在不同地區之間的日夜活動模式如同討論日夜活動時，確實有所不同，尤其在中華白海豚活動較頻繁的夏季特別明顯（圖七）。三項因子之間顯著的交互作用也顯示不同季節對中華白海豚在某些地區的日夜活動也有影響。換言之，海豚在河口棲地型的崙尾水道口與新虎尾溪口的活動模式不同於非河口棲地型的外傘頂洲北端。

(五) 潮汐、季節與地區之間交互作用

由於外傘頂洲北端目前在秋季的乾潮並沒有偵測到中華白海豚活動，在 generalized linear model 統計分析中無法同時針對潮汐、季節在三個測站三項因子進行分析。因此我們先針對三個測站的潮汐與地區兩項因子進行分析，從三個測站的整體資料來看（表三），結果顯示中華白海豚除了在地區之間，在不同潮汐階段之間的接觸次數也有顯著差異。此外潮汐與地區之間顯著的交互作用顯示在各地區之間觀察到的潮汐活動相對趨勢確實有所不同。

將外傘頂洲北端的資料去除掉以後，可同時針對中華白海豚在崙尾水道口與新虎尾溪口兩地區的接觸次數與潮汐、季節之間進行分析。結果顯示除在前述的潮汐、季節與地區之間的接觸率皆有顯著差異之外，在潮汐與季節之間以及潮汐與地區之間也有顯著的交互作用（表四）。顯示中華白海豚的潮汐活動模式在不同地區、不同季節也會產生變化。從圖八可以發現，不管在崙尾水道口或是新虎尾溪口，秋季的潮汐活動模式皆與夏季的觀察呈現很大的差異。

四、討論

本計畫成功的利用水下聲學方式在惡劣海況的秋季持續監測中華白海豚的活動，而且監測範圍涵蓋過去經由目視觀察確認的中華白海豚活動熱區：彰化縣北區、雲林縣與外傘頂洲海域。經由水下聲學方式所收集的中華白海豚生態資料，可以提供保育主管機關做為經營規劃的重要參考依據。

結果顯示地區之間有顯著的差異，而且與過去目視觀察所發現的目擊率趨勢有所不同，過去資料顯示中華白海豚在雲林、外傘頂洲沿海兩地皆有較彰化縣北區沿海高的目擊率，但是在本計畫結果中卻觀察到彰化縣北區偵測到的聲音次數比起雲林和外傘還要高。此結果可能受到幾個原因影響：(1)儀器佈放的深度與離岸距離在測站之間有所不同，從去年度計畫可以發現中華白海豚在廣大的河口海域，會隨著潮汐而利用不同水深與離岸距離的海域，因此水下聲學方式的偵測率在不同海域也會有所變化（周蓮香等 2011）。但是此一因素應僅會低估雲林新虎尾溪口測站的偵測率，而無法解釋外傘頂洲北端為何有這麼低的偵測率。(2)各測站的中華白海豚活動頻度隨著年間變異而有所不同，周蓮香團隊(2011)海上調查發現本年度彰化北區海域的目擊率是歷年平均 2-3 倍，較外傘頂洲海域為高。(3)海豚在各測站的行為活動模式有所不同，水下聲學由於無法辨識發聲的是否為同一隻個體，如果海豚群體長時間逗留在監測區域內覓食或社交，將會大幅度拉高接觸率。反之，如果海豚群體大部分都只是移動旅行經過監測區域，則在海上目視觀察得到同樣目擊率的情況下，接觸率將會較低。雖然目前無法釐清以上三點是否確實影響目前觀察到的地區性差異，但是綜觀以上三點，又以第二、三點特別值得注意，因為此結果可能表示中華白海豚在台灣西岸近年來的棲地利用模式可能有所變化，需要持續追蹤。

地區上的差異除了接觸率的高低之外，在日夜與潮汐活動的模式上也有所不同。三個地區尤其又以外傘頂洲北端最為特殊，在日夜與潮汐活動的模式上皆與其他地區不同。目前水下聲學方式監測沿岸海豚日夜活動的結果與在崙尾水道口監測的中華白海豚日夜活動模式相似，大都顯示在晚上有較高偵測到海豚活動的機會 (Carlström 2005, Akamatsu *et al.* 2008, Todd *et al.* 2009, Akamatsu *et al.* 2010)。在一般大洋海域，海豚在夜晚活動較頻繁的可能原因是因為深海散射層內的許多海洋生物在夜晚垂直向海面遷移，進而吸引高級掠食者前來覓食。在夏威夷的飛旋海豚就發現到會在夜晚群體合作覓食散射層中的魚群 (Benoit-Bird and Au 2009)。沿海的許多底棲魚類也發現會在生殖季的夜晚頻繁的發出聲音，如中華白海豚捕食的石首魚就發現有這種特殊的習性 (Mok and Gilmore 1983, Lin *et al.* 2007)。而海豚不只利用他們的聲納系統主動尋找獵物的位置，也可能會透過被動竊聽來尋找食餌魚類的存在。但目前對於中華白海豚在外傘頂洲北端海域，白天活動較為頻繁的結果仍無法解釋，需進一步探討。

地區之間潮汐活動模式的差異，可能是受到各測站附近環境的變異而影響，在崙尾水道口與新虎尾溪口兩測站海域皆受到鄰近的數個大排與溪流淡水注入的影響，在海上調查的過程中也常可以看過隨著潮汐變化而有濁度的改變。雖然外傘頂洲附近也有北港溪，但由於北港溪口位於外傘頂洲的東側，受到外傘頂洲本身的阻擋，其淡水注入的影響可能較低。國內外相關的研究也發現，在河口鄰近的海域，由於潮汐會大幅度的影響海水與淡水的匯聚，改變當地的水文因子，因此在這些區域的海豚大多皆有明顯的潮汐活動週期。例如蘇格蘭 Moray Firth 的河口地區也發現瓶鼻海豚在漲潮時有較多的個體數量會出現，而且與漲潮期間形成的潮汐鋒有明顯的關聯，潮汐鋒的水文結構可能會讓海豚覓食的效率提高(Mendes *et al.* 2002)。此外在台灣西岸的研究，Lin *et al.* (2011a)也透過水下聲學方式觀察到中華白海豚在新虎尾溪口河口側的潮汐周期活動比起台灣海峽側更為明顯。此外在外傘頂洲北端的監測區域由於位處於沙洲邊緣，乾潮時水深僅 1-2 公尺，可能由於水深較淺而選擇主要在滿潮進入監測區域。過去在佛羅里達的研究也發現瓶鼻海豚會隨著漲潮追隨魚群進入較淺的海域，再順著退潮返回較深的海域(Scott *et al.* 1990)。未來應針對中華白海豚的覓食行為進一步探討，以了解這些活動模式背後影響的機制為何。

雖然目前本計畫至目前僅執行了夏秋兩季監測，但在兩季節之間已經發現到顯著的活動頻度變化，從夏季到秋季，三測站的海豚接觸率皆顯著下降（儘管在崙尾水道口 11 月份的接觸率有短暫上昇，但沒有顯著的影響），其造成原因可能有兩個因素：(1)秋季風浪增強使噪音雜訊增加，進而降低偵測海豚的機率。此點確實可能存在影響目前系統的偵測率，但是經過初步目視的檢查後，在秋季監測期間，並沒有發現海豚僅出現在風浪小的監測日期。此外崙尾水道口在 11 月的接觸率在惡劣海況下也較 9-10 月增加顯示中華白海豚活動頻度的變化應佔更大一部分的因素。(2)中華白海豚季節活動範圍改變，降低海豚被偵測的機會。雖然中華白海豚目前已經確認是全年都會在台灣西岸活動(Wang and Yang 2010)，但是確切的活動分佈範圍是否在季節之間有所變動仍屬未知。Rayment *et al.* (2010)曾發現賀氏矮海豚在夏季的主要分佈較靠岸的淺水海域，在冬季則分佈至部分離岸較遠的深水區域。另外，珠江口的中華白海豚在濕季（珠江水量較豐）時分佈可離江口較遠，乾季（珠江水量稀少）時則距江口較近(Jefferson 2000, Jefferson and Hung 2004, Hung 2008, Chen *et al.* 2010)。這些季節性差異顯示海豚分布可能會隨著季節而改變，但是在台灣西岸，目前仍然不清楚中華白海豚在秋冬季是否會往離岸較遠的深水區域移動，或是就像珠江口的中華白海豚一樣，往更靠近河口的區域聚集。甚至台灣西岸海域以外傘頂洲為界，以北受到東北季風吹襲的影響，易有大浪。但是在嘉義台南沿海，受到外傘頂洲的屏障浪級普遍較低，中華白海豚是否會有南北移動的遷移行為仍待後續的調查進一步了解。

季節性差異不只表現在海豚接觸率的變化，海豚的潮汐活動模式亦有顯著的季節差異。Lin *et al.* (2011b)曾討論過中華白海豚在新虎尾溪口活動的季節性變化與上游降雨量的關係，如同本計畫所觀察到的結果，不管是哪一個測站，中華白海豚在秋季幾乎沒有如同夏季一般明顯的潮汐週期活動。台灣西岸的降雨量在不同季節之間有明顯的變化，相較於夏季每月份 100-300 毫米甚至更高的降雨量，10 月份之後的降雨量普遍在 100 毫米以下，這種情況尤其在台中以南最為明顯（中央氣象局）。上游降雨量的變化會直接影響河川淡水的流量，就如前面討論潮汐活動時所提到的，河川淡水注入的影響一旦減少，潮汐影響淡水匯聚的程度就可能降低，進而減少海豚利用潮汐增加覓食效率的機會。此外，河川流量影響河口營養鹽輸入的多寡，可能間接影響河口魚類的分佈。中華白海豚食餌魚類以河口性魚類為主(Jefferson 2000, Barros *et al.* 2004, Parra and Jedensjö 2009)，因此河口魚類分佈狀況會直接影響中華白海豚活動範圍的變動。

去年度計劃中，陳孟仙與邵廣昭(2010)也彙整了相關資料，發現近海魚類在河口與外海之間會有季節性的遷移行為，而且許多中華白海豚的食餌魚類會選擇在春夏季進入河口區域產卵。除此之外，目前對於中華白海豚食餌魚類的季節性豐度、分佈變化仍不清楚。根據台塑六輕周遭海域水質及生態監測計畫(2010)指出，不管是浮游植物或是浮游動物的豐富度皆以春季為最高，夏季次之，而以秋冬為最低。根據獵物和掠食者之間的關係，應可以預期中華白海豚的食餌魚類在春夏的豐度與活動較高，進一步吸引中華白海豚在河口附近的活動。本計畫的觀察到目前為止也仍符合此一預期，未來可以應加強了解中華白海豚在四季的活動模式，以確認季節間活動變化的模式與機制。

本計畫顯示水下聲學監測系統可以廣泛的應用在中華白海豚棲息範圍內，做為一種長期的監測平台。監測過程中確實有部分問題發生，例如浮標遭船隻螺旋槳切斷，或是在秋季風浪較大時，儀器受到漂砂掩蓋。但本計畫也顯示透過船錨將儀器固定在海床，可以有效固定儀器的位置，儘管水面上的浮標消失，也仍可以透過全球衛星定位系統來尋找到海床上的儀器。未來可以搭配海氣象觀測浮標，裝置即時定位系統與夜間警示系統，提高水下監測系統的安全性。此外，目前所使用的 A-tag 雖然每次的監測長度可長達 30 天，減少系統維持的人力需求，但是卻只能針對海豚超音波範圍的回聲定位聲音進行監測。中華白海豚也會使用哨叫聲（一般具有社交功能）來互相溝通，哨叫聲的頻率範圍一般落在人耳可聽見的頻率範圍(Van Parijs and Corkeron 2001)，針對此頻率範圍進行監測同時也可以獲得船隻噪音、魚類叫聲等可能影響中華白海豚活動的資料。因此建議未來可以同時針對超音波與人耳可聽見的頻率範圍同步監測，以了解中華白海豚活動與環境變動之相關性。

五、參考文獻

- Akamatsu, T., Matsuda, A., Suzuki, S., Wang, D., Wang, K., Suzuki, M., Muramoto, H., Sugiyama, N. and Oota, K. (2005) New stereo acoustic data logger for free-ranging dolphins and porpoises. *Marine Technology Society Journal* **39**: 3-9.
- Akamatsu, T., Nakamura, K., Kawabe, R., Furukawa, S., Murata, H., Kawakubo, A. and Komaba, M. (2010) Seasonal and diurnal presence of finless porpoises at a corridor to the ocean from their habitat. *Marine Biology* **157**: 1879-1887.
- Akamatsu, T., Nakazawa, I., Tsuchiyama, T. and Kimura, N. (2008) Evidence of nighttime movement of finless porpoises through Kanmon Strait monitored using a stationary acoustic recording device. *Fisheries Science* **74**: 970-975.
- Au, W.W.L. (1993) *The Sonar of Dolphins*. Springer, New York. 277pp.
- Barros, N.B., Jefferson, T.A. and Parsons, E.C.M. (2004) Feeding habits of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) stranded in Hong Kong. *Aquatic Mammals* **30**: 179-188.
- Benoit-Bird, K.J. and Au, W.W.L. (2009) Phonation behavior of cooperatively foraging spinner dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America* **125**: 539-546.
- Carlström, J. (2005) Diel variation in echolocation behavior of wild harbor porpoises. *Marine Mammal Science* **21**: 1-12.
- Chen, T., Hung, S.K., Qiu, Y., Jia, X. and Jefferson, T.A. (2010) Distribution, abundance, and individual movements of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China. *Mammalia* **74**: 117-125.
- Goold, J.C. and Jefferson, T.A. (2004) A note on clicks recorded from free-ranging Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Aquatic Mammals* **30**: 175-178.
- Hung, S.K. (2008) *Habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins (Sousa chinensis) in Hong Kong*. The University of Hong Kong, Hong Kong. 253 pp.
- Janik, V.M. (2009) Acoustic communication in delphinids. *Advances in the Study of Behavior*. pp. 123-157. Academic Press.

- Jefferson, T.A. (2000) Population biology of the Indo-Pacific hump-backed dolphin in Hong Kong waters. *Wildlife Monographs*: 1-65.
- Jefferson, T.A. and Hung, S.K. (2004) A review of the status of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in Chinese waters. *Aquatic Mammals* **30**: 149-158.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T. and Chou, L.-S., (2011a) Tidal activity of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) monitored by fixed acoustic data loggers. 19th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Tampa, Florida, USA.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T. and Chou, L.-S., (2011b) Seasonal behavior, and their influence on tidal behavior of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) at Xinhuway River Estuary. Symposium on Animal Behavior, Ecology and Environmental Education, Tainan, Taiwan.
- Lin, Y.C., Mok, H.K. and Huang, B.Q. (2007) Sound characteristics of big-snout croaker, *Johnius macrorhynus* (Sciaenidae). *The Journal of the Acoustical Society of America* **121**: 586-593.
- Mellinger, D.K., Stafford, K.M., Moore, S.E., Dziak, R.P. and Matsumoto, H. (2007) An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. *Oceanography* **20**: 36-45.
- Mendes, S., Turrell, W., Lütkebohle, T. and Thompson, P. (2002) Influence of the tidal cycle and a tidal intrusion front on the spatio-temporal distribution of coastal bottlenose dolphins. *Marine Ecology Progress Series* **239**: 221-229.
- Mok, H.K. and Gilmore, R.G. (1983) Analysis of sound production in estuarine aggregations of *Pogonias cromis*, *Bairdiella chrysoura*, and *Oynoscion nebulosus* (Sciaenidae). *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* **22**: 157-186.
- Moore, S.E., Stafford, K.M., Mellinger, D.K. and Hildebrand, J.A. (2006) Listening for large whales in the offshore waters of Alaska. *BioScience* **56**: 49-55.
- Van Parijs, S.M. and Corkeron, P.J. (2001) Vocalizations and behaviour of Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Ethology* **107**: 701-716.
- Parra, G.J. and Jedensjö, M. (2009) Feeding habits of Australian Snubfin (*Orcaella heinsohni*) and Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). Project Report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville and Reef

and Rainforest Research Centre Limited. 22pp.

- Rayment, W., Dawson, S. and Slooten, E. (2010) Seasonal changes in distribution of Hector's dolphin at Banks Peninsula, New Zealand: implications for protected area design. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **20**: 106-116.
- Scott, M.D., Wells, R.S. and Irvine, A.B. 1990. A long-term study of bottlenose dolphins on the west coast of Florida. Pages 235-244 in S. Leatherwood and R.R. Reeves. *The bottlenose dolphin*. Academic Press.
- Soldevilla, M., Wiggins, S., Hildebrand, J., Oleson, E. and Ferguson, M. (2011) Risso's and Pacific white-sided dolphin habitat modeling from passive acoustic monitoring. *Marine Ecology Progress Series* **423**: 247-260.
- Todd, V.L.G., Pearse, W.D., Tregenza, N.C., Lepper, P.A. and Todd, I.B. (2009) Diel echolocation activity of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) around North Sea offshore gas installations. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **66**: 734 -745.
- Tyack, P.L. and Whitehead, H. (1983) Male competition in large groups of wintering humpback whales. *Behaviour* **83**, 132-154.
- Wang, J.Y., Hung, S.K. and Yang, S.-C. (2004) Records of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis* (Osbeck, 1765), from the waters of western Taiwan. *Aquatic Mammals* **30**: 189-196.
- Wang, J.Y., Yang, S.C., Hung, S.K. and Jefferson, T.A. (2007) Distribution, abundance and conservation status of the eastern Taiwan Strait population of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Mammalia* **71**: 157-165.
- Wang, J.Y. and Yang, S.C. (2010) Evidence for year-round occurrence of the eastern Taiwan Strait Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the waters of western Taiwan. *Marine Mammal Science* **27**: 652-658.
- 台塑六輕周遭海域水質及生態監測計畫(九十八年四月至九十九年三月), 2010。
離島式基礎工業區石化工業綜合區開發案環境監測報告, 台塑關係企業。
- 周蓮香, 2006。台灣沿海鯨豚誤捕研究與中華白海豚生態調查。行政院農委會漁業署委託計劃報告, 72 頁。
- 周蓮香, 2007。台灣週邊海域鯨豚數量評估及生態環境之研究。行政院農委會漁業署委託計劃報告, 63 頁。
- 周蓮香, 2008。彰工火力第一、二號機發電計畫中華白海豚生態調查。台灣電力公司委託計劃報告, 55 頁。

周蓮香，李政諦，2010。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業，87 頁。

周蓮香，李政諦，李培芬，高家俊，邵廣昭，莊慶達，陳孟仙，陳琪芳，魏瑞昌，楊瑋誠，蔡惠卿，2011a。中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，202 頁。

周蓮香，陳孟仙，李政諦，2011b。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業，87 頁。

周蓮香，2011。台中發電廠環境監測計畫-中華白海豚長期生態監測計畫。台灣電力公司，34 頁。

陳孟仙，邵廣昭，2010。中華白海豚與漁業資源。於”中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃”。行政院農委會林務局委託研究計畫，96-113 頁。

表一、中華白海豚水下聲學監測努力量與偵測結果。

代號	地區	月份	監測天數	監測小時	海豚偵測率(天%)
CH	崙尾水道口	6	1	12	100%
		7	8	180	100%
		8	8	174	100%
		9	13	287	62%
		10	12	262	67%
		11	9	186	67%
YL	新虎尾溪口	7	9	204	89%
		8	24	562	83%
		10	17	390	53%
		11	13	303	54%
WS	外傘頂洲北端	6	3	63	100%
		7	8	183	88%
		8	8	160	88%
		9	11	240	55%
		10	15	320	33%
		11	2	63	50%

表二、Generalized linear model 分析日夜、季節與地區三項因子之結果。

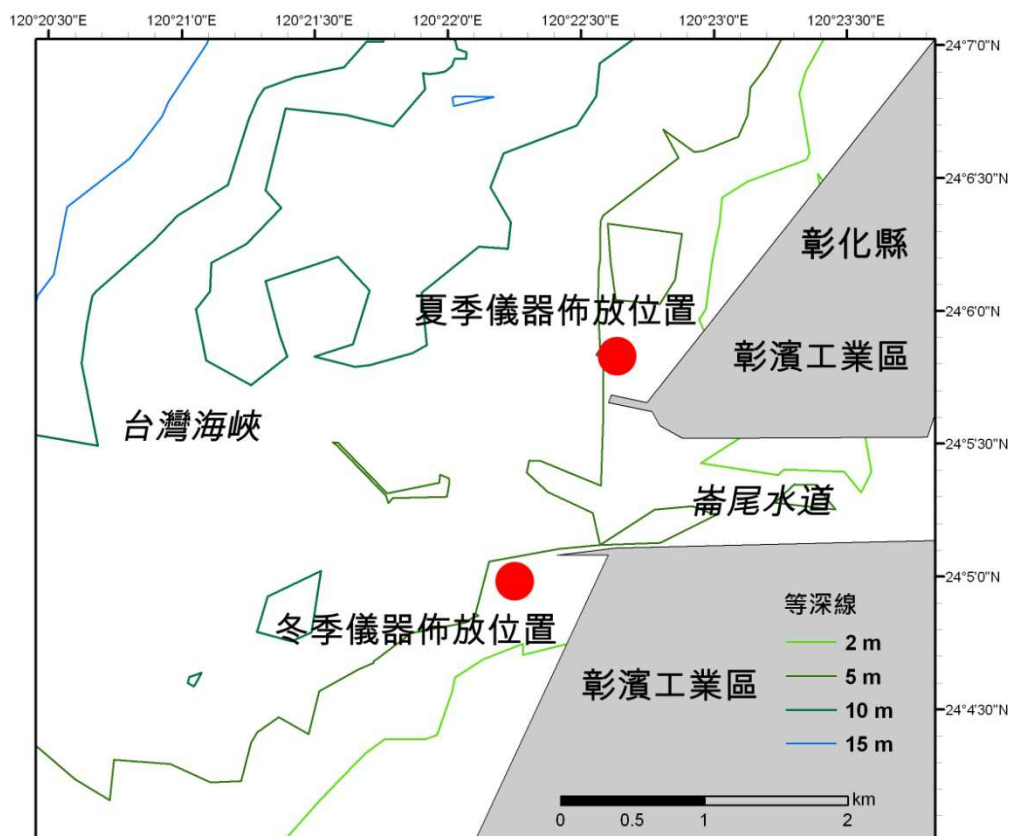
因子	DOF	Wald Statistic	P
截距	1	1.59	0.21
日夜	1	1.04	0.31
季節	1	61.06	<0.001
地區	2	34.83	<0.001
日夜*季節	1	0.05	0.82
日夜*地區	2	12.91	<0.01
季節*地區	2	2.91	0.23
日夜*季節*地區	2	8.13	0.02

表三、Generalized linear model 分析潮汐與地區兩項因子之結果。

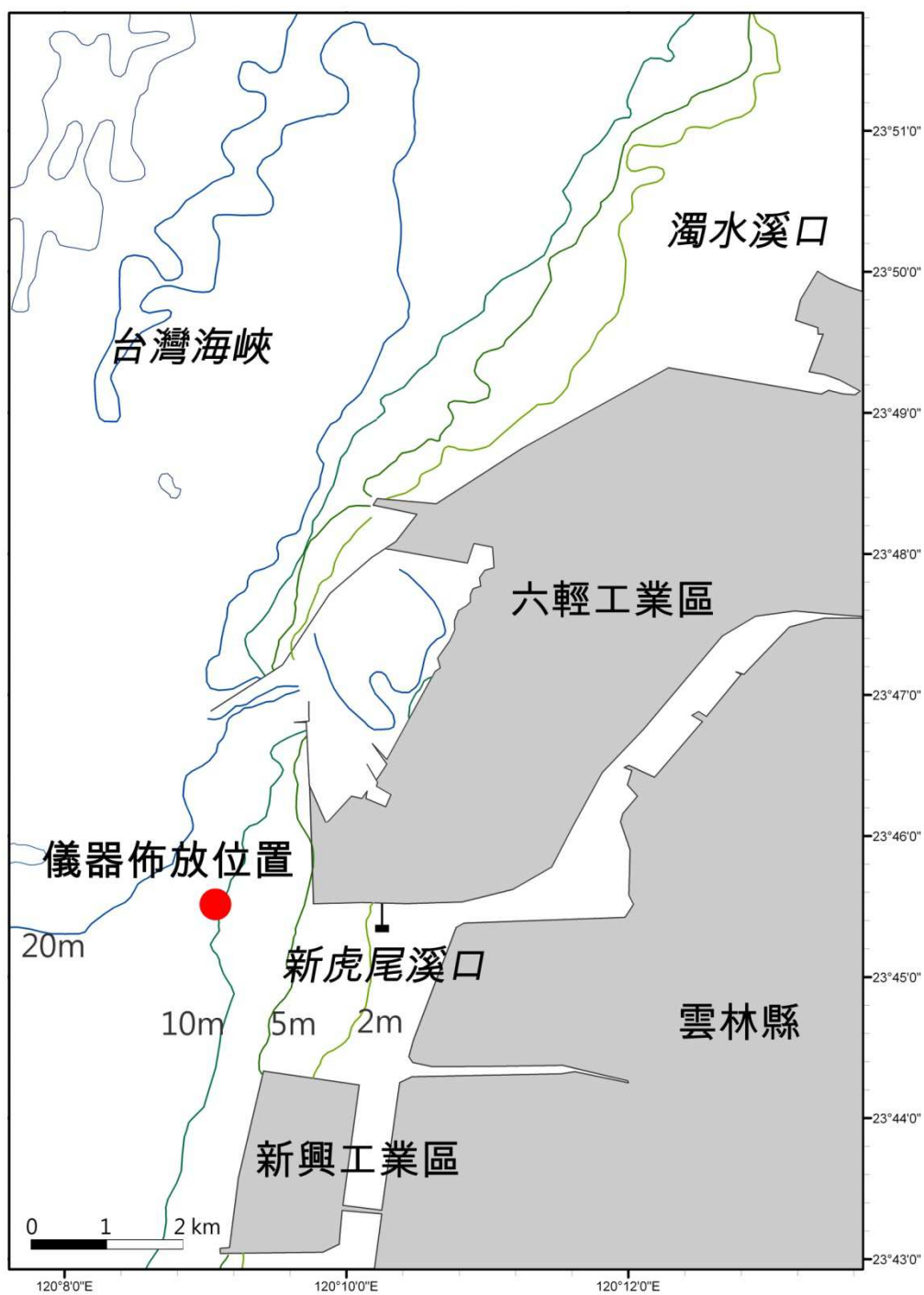
因子	DOF	Wald Statistic	P
截距	1	7.88	<0.01
潮汐	3	47.74	<0.001
地區	2	154.82	<0.001
潮汐*地區	6	31.93	<0.001

表四、Generalized linear model 分析潮汐、季節在崙尾水道口與外傘頂洲北端兩測站三項因子之結果。

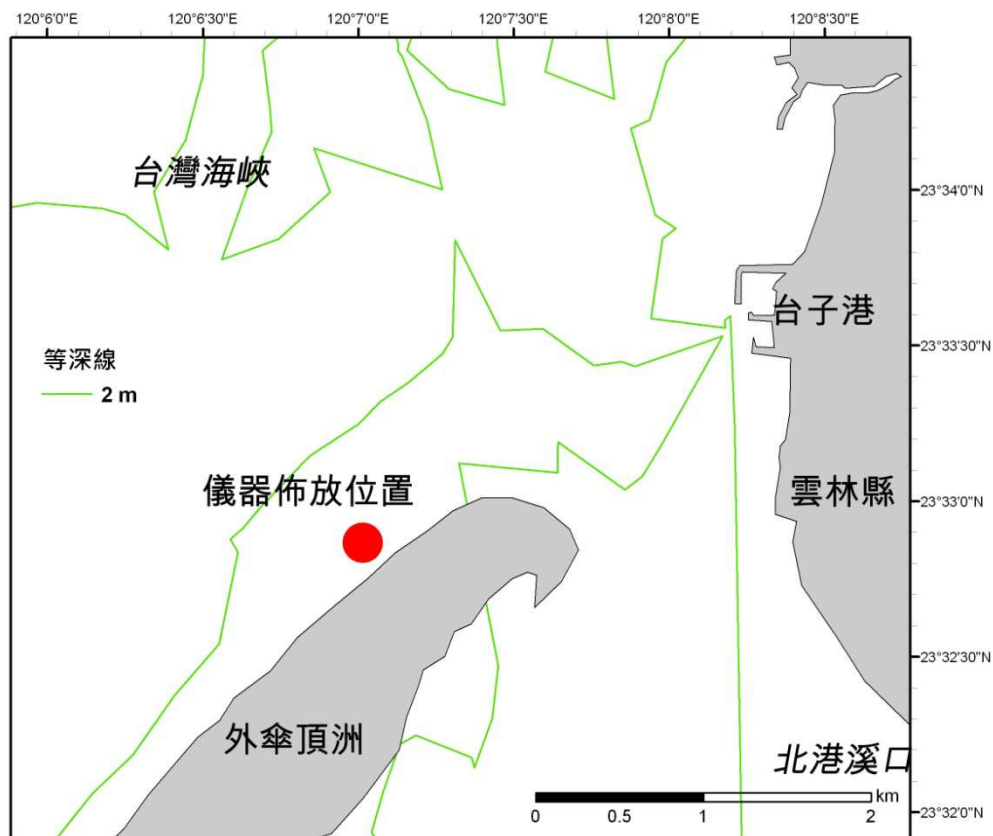
因子	DOF	Wald Statistic	P
截距	1	0.55	0.46
潮汐	3	16.15	<0.01
季節	1	147.84	<0.001
地區	1	41.74	<0.001
潮汐*季節	3	13.79	<0.001
潮汐*地區	3	8.81	0.03
季節*地區	1	0.01	0.91
潮汐*季節*地區	3	2.93	0.40



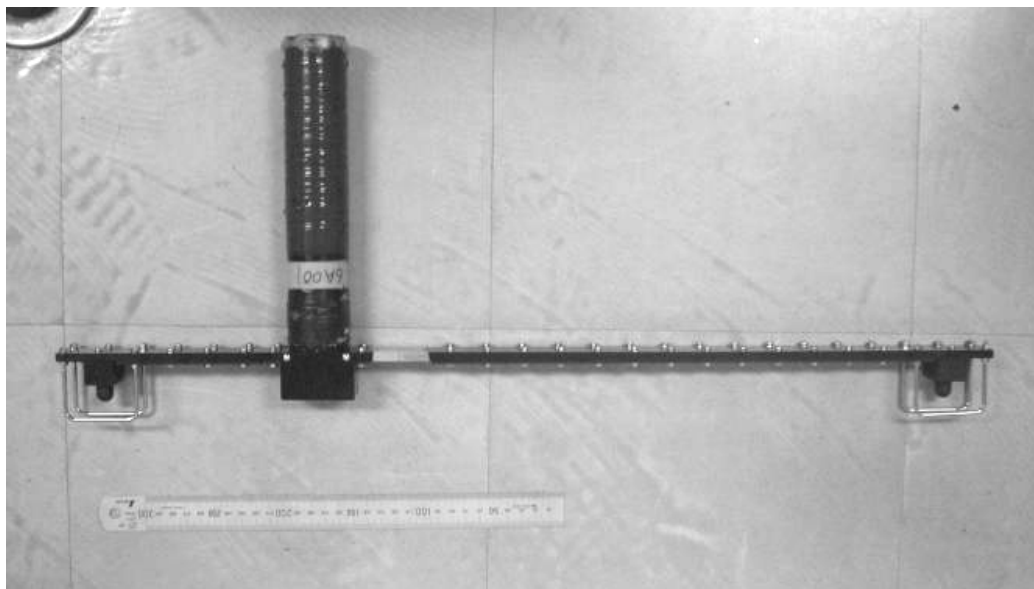
圖一、彰化縣崙尾水道口儀器佈放位置。夏季期間儀器佈放於崙尾水道出海口北側，冬季期間則佈放於崙尾水道出海口南側。



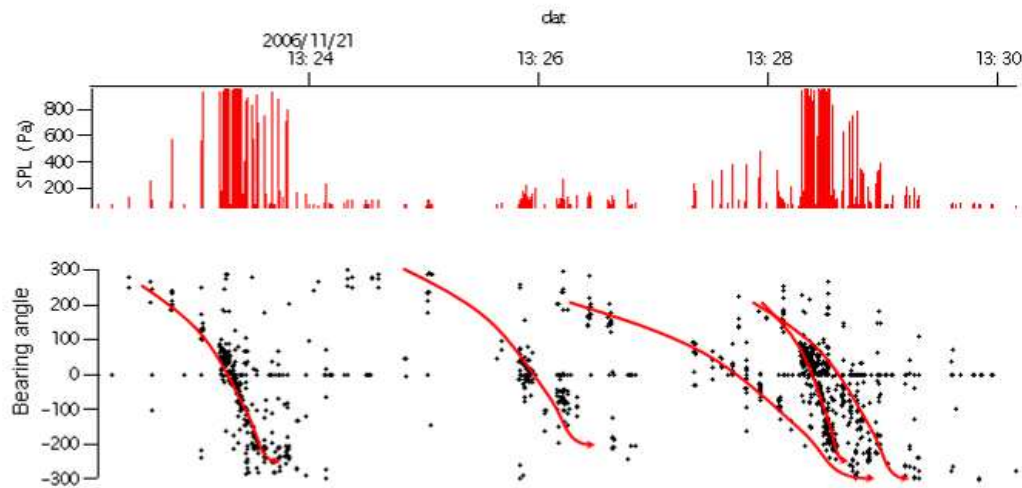
圖二、雲林縣新虎尾溪口儀器佈放位置。



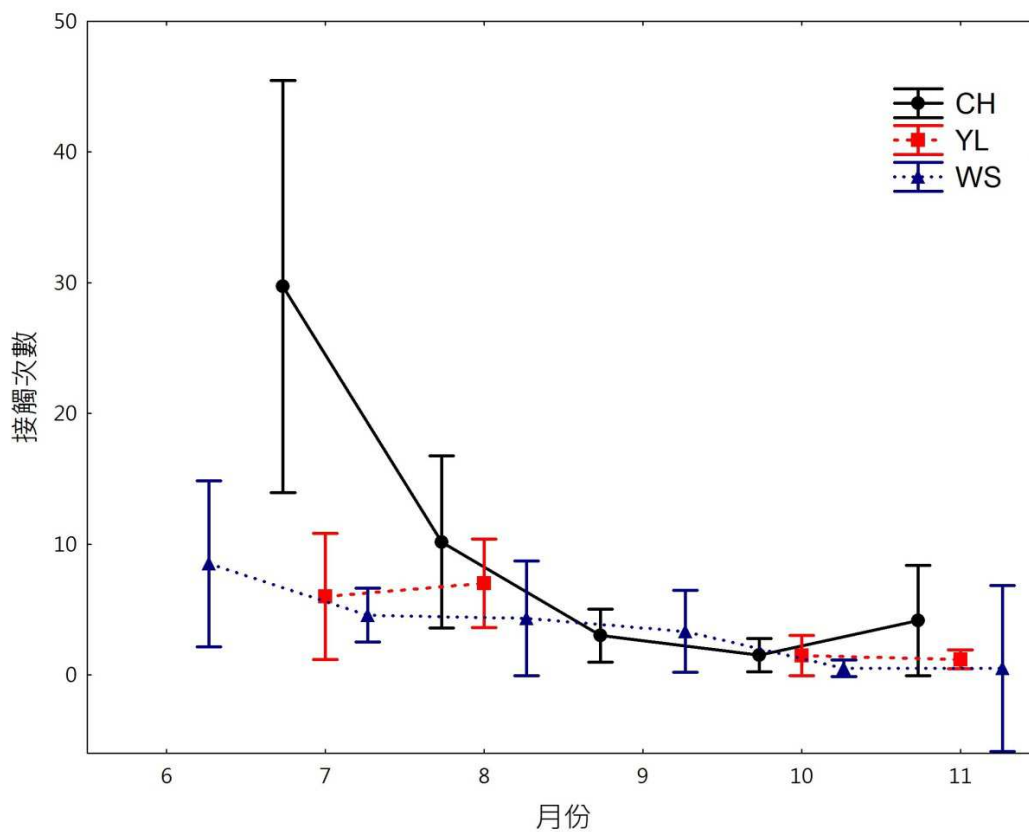
圖三、雲林縣外傘頂洲北端儀器佈放位置。



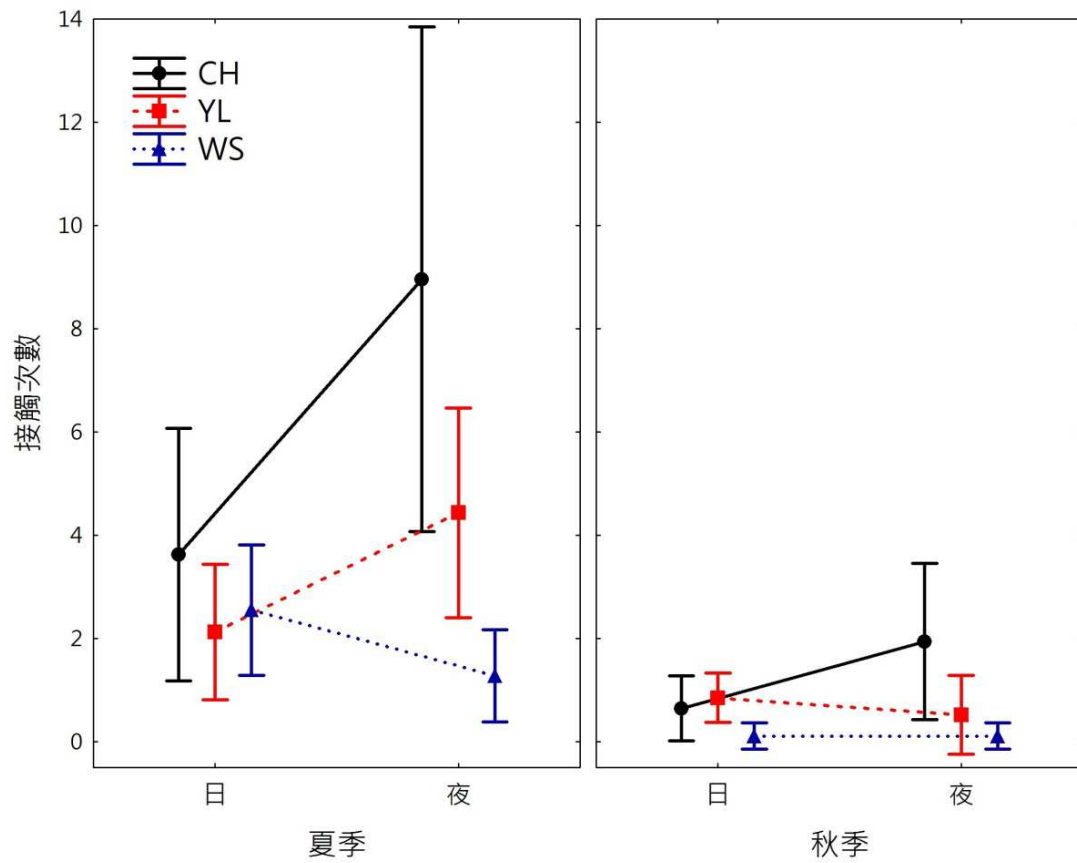
圖四、固定式水下聲音資料紀錄器(A-tag)，圓柱體部份為長效性電池盒，橫桿兩端連接著兩個水下麥克風。



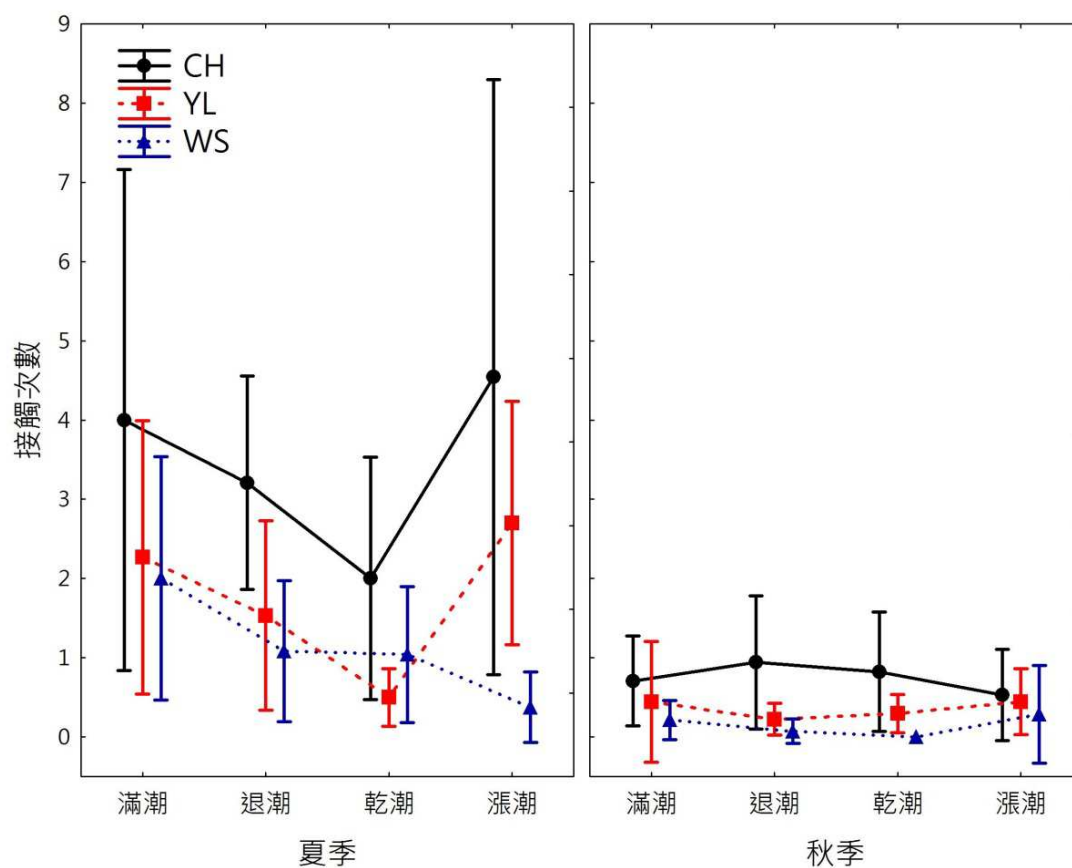
圖五、A-tag 水下聲音資料記錄器偵測海豚聲音示意圖，圖中顯示所偵測之海豚聲音角度資料(Bearing angle)，除了在 13:28 分同時偵測到 3 隻海豚軌跡之外，其它時間皆僅偵測到一海豚軌跡。



圖六、中華白海豚在各測站各月份之平均接觸次數。圓點 CH 代表崙尾水道口偵測結果，方塊 YL 代表新虎尾溪口偵測結果，三角形 WS 代表外傘頂洲北端偵測結果，上下範圍代表 95%信賴區間。



圖七、中華白海豚在夏秋兩季各測站在每天日夜之中平均接觸次數。圓點 CH 代表崙尾水道口偵測結果，方塊 YL 代表新虎尾溪口偵測結果，三角形 WS 代表外傘頂洲北端偵測結果，上下範圍代表 95%信賴區間。



圖八、中華白海豚在夏、秋兩季各測站每天各個潮汐狀態之中的平均接觸次數。圓點 CH 代表崙尾水道口偵測結果，方塊 YL 代表新虎尾溪口偵測結果，三角形 WS 代表外傘頂洲北端偵測結果，上下範圍代表 95%信賴區間。

第肆章、鯨豚保護區之即時水下聲學監測系統規劃

陳琪芳¹、魏瑞昌²、湛翔智¹、蔡鴻儒¹、張偉涵²、蔡孟汎²、秦敬仁²

¹ 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系

² 國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所

摘 要

在臺灣西岸從苗栗到台南北部的沿岸是中華白海豚常出現的水域，過去國內對鯨豚的監測大多採用目測方式，但容易受到海況及天色等因素的影響，無法對鯨豚作長期的監測。運用水下聲學監測系統則可以補齊目測方式不足處，並可與目測調查成果相輔相成；加上使用水下被動式聲學監測(passive acoustics monitoring, PAM)方法可降低對鯨豚生態的干擾，是目前全球調查鯨豚生態及族群數量的趨勢之一。而在本報告中，依照監測訊號是否即時傳輸與否的方式，規劃二種監測系統：「非即時傳輸訊號系統」與「即時傳輸訊號系統」。前者的類型可有聲納浮標(sonobuoy)、A-tag (Acoustic data logger)、EAR (Ecological Acoustic Recorder)等選擇，即時傳輸訊號的系統則建議採用資料浮標(data buoy)的無線傳輸方式(衛星、手機、無線電)，傳送裝載在浮標下的水下麥克風或是海床底碇式水下麥克風的量測數據。由於「即時傳輸訊號系統」的整體運作成本高、需要較高安全性考量、降低漁業衝擊等因素，在目前尚無法立即使用。「非即時傳輸訊號系統」則可先佈放在中華白海豚出現的熱區，持續進行生態和背景的調查，加強瞭解對中華白海豚的棲息習性，並且分析熱區的海洋環境及水下背景噪音的狀況。本報告最後提供各 PAM 系統在不同調查階段能夠提供的資源，並且簡略說明建置這些系統所需的建置成本與維護成本。

一、水下聲學應用技術

使用被動式聲學(passive acoustics)作為田野調查的工具時，可對周遭的自然環境之影響降到最低，因此有助於提高調查的可信度。從鯨豚保育的角度來選擇監測系統時，水下被動式聲學監測(passive acoustics monitoring, PAM)系統是最能夠減少對鯨豚干擾的方式；以環境影響評估的立場來看，倘若監測系統能夠長期的設置，便能從鯨豚的叫聲中找到常出現的音頻特性和出現時間，有助於釐清鯨豚在日後受到環境改變的影響。在這一章節內容中，首先描述監測方法的概念，說明如何從聲音資料來作偵測與分類的方法，其次使用數值方法推估在臺灣西岸水域的水下聲學偵測之距離，此結果除了可提供鯨豚數量的統計模型中，分析鯨豚密度的估算結果外，也能作為監測系統的規劃依據。

(一)水下聲學的監測方法

PAM 是來監測鯨豚發出的 click 與 whistle 叫聲(calls)，系統的聲音取樣規格可依據監測目標(鯨豚)的叫聲頻率而定，例如 click 的音頻多在十幾 kHz 至幾十 kHz 之間，因此必須提高聲音取樣頻率，再將訊號通過一高通(highpass)或帶通濾波器(bandpass filter)，才有利偵測鯨豚叫聲，如圖一所示；相較之下 whistle 聲音多出現在低頻段(約幾十 Hz 至幾 kHz 之間，與鯨豚體型大小略相關)，因此必須使用帶通濾波器才能取得較好的分析訊號。上述的方法是先針對監測的目標訊號作資料前處理，在圖一的右半部分，則是開始分析聲音資料，例如訊號的偵測器(signal detector)、訊號的萃取(extraction)等，這將是決定監測成果的關鍵。

中華白海豚發出 click 聲音之主要音頻常出現在數十 kHz，可直接採用時框(time frame)的聲壓值(sound pressure level, SPL)作為偵測依據，例如在圖二的上圖中，出現的脈衝(pulse)波形就是來自中華白海豚的 click，如果觀察 10-40 kHz 的聲壓值(將聲波通過一帶通濾波器即可)，以 0.05 秒的音框並配合 75% 的重疊率(overlap)則可產生如圖二下圖的結果，相當簡單地判斷出 click 叫聲出現的時間以及與周遭背景噪音的聲壓值之差異，約略是在 15-20 dB 左右。而中華白海豚的 whistle 音之頻段雖然較低，但音高的變化卻較為複雜，圖三是一筆中華白海豚的 whistle 叫聲，圖中的 4 筆 whistle 音之音高並不一直，但約略都在 4 kHz 附近做變化，從相關的研究中發現，中華白海豚的 whistle 音大多分布在 4-6 kHz，且音高變化多為降音(down-sweep)的情況(湛翔智等 2010a，湛翔智等 2011)。

此外，在海中的背景噪音值是決定被動式聲學偵測距離的主要條件，根據 Wenz (1962)報告的結果顯示：海洋背景噪音值與其頻率有相當高的關連性，例如幾百 Hz 的背景噪音多來自船舶，因此在船舶數量密集的水域，此頻段的噪音值可能超過 80 dB re.1 μ Pa²。在臺灣西岸對海洋背景噪音的長期調查與完整的報告並不多，尤其是像在中華白海豚喜好的棲息環境，水深在 15 公尺以內的調查更少；從魏瑞昌和林文斐(2002)的研究中得知：高雄西子灣海域水深十幾公尺的海洋背景噪音之變化特性，在風速 3 節以上的風浪噪音可使用線性回歸方式(需有足夠數量的數據才能完成)進行預估，例如這研究的上限頻率 3 kHz 的水下背景噪音，在風速為 3 節時，水下背景噪音值約為 56.7 dB，7 節風速的噪音增加至 61 dB；但資料分析的頻率和環境參數(風速)受限於硬體運作情況而只能到 3 kHz 及 8 節。

海洋背景噪音亦可從數值模式推估出各種可能的結果，湛翔智(2007)的研究中指出，海洋背景噪音主要考量船舶與風浪產生的噪音，兩者貢獻的噪音值均與其噪音聲源條件和噪音傳播情況有關，前者與噪音產生的物理機制有關，例如風浪噪音則可從海面風速作為參考條件(Chan *et al.* 2008)，從 Wilson (1983)的研究

結果，可從海面風速推算出風浪噪音聲源強度；船舶噪音則與船舶密度有關(陳琪芳和湛翔智 2010)，但對於船舶密度的估算則是較為困難，必須藉助像商船自動辨識系統(automatic identification system, AIS)這樣的輔助資料(湛翔智等 2010b)，獲得船舶密度後，可參考 Leigh 和 Eller (2006)建立各種船舶密度產生的噪音聲源強度。

噪音傳播機制與水下音傳(underwater acoustic propagation)特性相同，在比較模式結果與實測噪音數據時，建立最真實的海洋環境，作為噪音傳播條件是絕對必要的，例如海水的聲速、海床深度變化等。在陳琪芳和湛翔智(2011)的研究報告中提到，由於臺灣西海岸的水深不大，許多鯨豚棲息的水域並沒有實測的海水聲速數據，因此，改採用海洋模式的結果作為噪音模擬的聲速條件，有助於分析海洋背景噪音受到海洋環境變化之趨勢。從該報告中得知 63-4k Hz 的噪音值之變化情況，不論是哪一頻段，冬季(1 月)的海水聲速對噪音值的季節性變異影響最大，也就是說，其他季節的噪音值變動並不大(3 dB 以下)，只有在冬季時的噪音值會有較高的情況，至少有 3 dB 以上的差異。而船舶貢獻的低頻噪音之空間變異，與船舶密度有相當高的關連性，且 1k Hz 以下的海洋背景噪音值幾乎都受到船舶噪音的影響。再者，在中華白海豚常出現的臺灣西海岸水域中，125 Hz 的噪音值在空間上的變動約在 6 dB 左右。

(二)監測系統的偵測距離

在 PAM 的偵測距離計算中，採用水下聲學的聲納偵測方法或是聲納效能(sonar performance)，式(1)為被動聲納方程式計算訊號餘裕(signal excess, SE)的公式，當 SE 大於 0 時，表示聲音可被偵測。

$$SE = SL - (NL - DI + DT) - TL \quad (1)$$

其中的 SL 為聲源位準(source level)，單位為 dB re.1 μ Pa²@1 m，NL 為背景噪音值(noise level)，噪音值可能會隨著系統的時空條件而改變(如上一節描述的趨勢)，DI 為聲納的指向性指數(directionality index)，DT 為偵測的門檻(detection threshold)，TL 為音傳損耗(transmission loss)，是在式(1)中唯一隨音傳距離改變的變數。在式(1)中各數據的量測方式採用訊號的均方根(root mean square, RMS)聲壓值；而各變數均為對數尺度(logarithmic scale)，在式中使用加減的計算，實際上是將聲壓作乘除運算。

而運用式(1)估算 PAM 的偵測距離時，可對照圖四的示意概念，需要的參數包括目標物(如中華白海豚)的聲源位準(*SL*)、從目標物的位置到 PAM 的音傳損耗(*TL*)、水下背景噪音(*NL*)等，其他在式(1)中的 *DI* 與 *DT* 可能因系統和偵測方式而有差異，暫時不考慮二者的影響(設為 0 dB)。在偵測中華白海豚的 whistle 叫聲時，對聲壓值偵測的頻率設定為 4 kHz，此參考圖二的特徵；而鯨豚叫聲的聲源強度可能因為鯨豚發聲特性具備指向性(Lammers and Au 2003, Küsel *et al.* 2011)、發聲力量(Holt *et al.* 2011)等因素而產生差異，在實際的監測中並無法立即得知，但可使用更嚴謹的學理方法(如數值模擬)和量測技術(佈放陣列式聲音接收器)來探討，本報告暫不予討論。在此假設聲源位準為定值，因此從估算出的音傳損耗，可推算出 PAM 接收到中華白海豚(聲源)在不同距離的聲壓值(*SPL*)，如圖四的橘色實曲線所示。此外，參考報告(陳琪芳和湛翔智 2011)的水下背景噪音預估值，在海面風速 1 節(風平浪靜時)和 20 節(海況不佳時)的噪音值分別是 46 dB(紫色點線)及 58 dB(紅色虛線)，由這二筆數據來比較偵測距離在不同海況的差異，分別是 1.8 公里和 1.2 公里。依照水下聲學中的被動聲納之偵測距離的理論，水下背景噪音值是決定偵測距離的最重要參數，因此，當 PAM 在保護區中長時間進行監測時，必須適時地預估水下背景噪音值，方能立即得知 PAM 對中華白海豚的有效監測距離。

運用 PAM 的系統即時掌握中華白海豚在保護區或棲息地的動態，可進一步建立族群數量的統計模型，此可稱為「生態指標」；然而，PAM 亦可監測人為對保護區或棲息地的干擾行為，例如航運、漁業、施工等，各種水下噪音的監測另稱為「噪音指標」。而由於前述各類的水下噪音必須與水下背景噪音做相對比較，才能得知水下噪音對周遭環境的影響範圍與程度，因此調查水下背景噪音的工作是必須持續進行，並且建立水下背景噪音的預估方法及模式。

(三)鯨豚數量的調查架構

估算鯨豚數量的最大問題在水域範圍大且活動密度低，最常使用的方法是觀察者搭乘船隻在水域內進行穿越線調查(line transect)的目測觀察(Buckland *et al.* 2001)，這樣的量測方式和數量統計方法已經有相當多，其中 Thomas *et al.* (2010)發表一項研究可針對野外生態調查的生物數量統計方法與軟體。以水下聲學的方法亦可沿用穿越線調查的方式進行監測，如 Lewis *et al.* (2007)在船尾後 200 公尺拖曳一套雙水下麥克風的監測系統，在地中海水域調查抹香鯨(sperm whale)的數量。但對於中華白海豚的調查工作，拖曳方式的水下聲學監測系統必須注意儀器的安全操作範圍，因為中華白海豚棲息的水域相當淺，且在臺灣西岸沿海的潮差大(約 4 公尺)，潮間帶和外傘頂一帶的水深對於倚賴船測的方式會顯得略微困難。

使用固定的水下聲學監測系統則較適合在沿岸水域，但此架構很難建構出穿越線調查的統計模型，除非設置的數量夠密集，因此必須改用切點(point transect)的統計方式(Buckland *et al.* 2001)。在 McDonald 和 Fox (1999)的研究中很詳細地說明使用單一水下麥克風量測長鬚鯨(fin whale)的叫聲並應用在族群數量之估算，在估算的技巧上考量到水中聲音傳遞的能量損失及多重路徑的影響，因此對於叫聲判斷的方法作了相當詳細地說明，例如多重路徑造成長鬚鯨的叫聲訊號顯得相當複雜，從實際的聲波訊號已可概略瞭解前幾個的到達訊號的差異，透過模擬聲音在海洋環境(如海床反射產生的多重路徑)中傳播情況，可以更清楚估算實際的叫聲次數。也就是說使用單一水下麥克風的監測系統雖然很難達到對鯨豚的定位監測，但仍可進一步分析聲波訊號，並運用在鯨豚數量的統計方法中。

使用 PAM 作為鯨豚數量的監測工具時，仍有一些問題尚待克服，例如 Cato *et al.* (2006)的報告中很明確地提到三點重要問題：(1)對生物行為伴隨的叫聲並非完全掌握，(2)像這樣的聲納系統幾乎受到水下聲學環境的影響(也就是上一節提到的聲納偵測效能)，(3)從資料取樣步驟及數據統計分析對族群數量(abundance)的估算是必須相當嚴謹的。在第(1)點的問題其實是在野外調查經常面臨的問題，例如鯨豚可能會隨環境變化而調整發聲情況，Holt *et al.* (2011)的研究提到虎鯨(killer whale)的叫聲強度可能會隨背景噪音值而改變，此舉可讓叫聲減少被水下背景噪音遮蔽的可能。第(2)點則可透過海洋環境結合水下音傳模式(ocean-acoustic coupled model)的預估方法(林勝豐等 2011)，推估聲納偵測的距離，進而解算出單位面積的比例。第(3)點則是目前研究持續進行中，雖然已經粗略瞭解中華白海豚的叫聲特性(如圖二及圖三)，但鯨豚的叫聲有時是個體產生，有時為群體交錯發聲，如何從聲音資料判斷出鯨豚的數量，只以單一水下麥克風的資料來判斷有時是相當困難，因此必須研究出更多的音訊萃取方法。

目前有少數的 PAM 系統可自動化偵測鯨豚的 click 叫聲，從 Kimura *et al.* (2009)的發表成果中得知：名為 A-tag (acoustic data logger)的水下聲音資料記錄器，具備二組水下麥克風可判斷鯨豚 click 叫聲的到達方位。而對於鯨豚發出的 whistle 音則因音高變化多、音長不一、族群與個體的差異辨識不易等因素，訊號的偵測和辨識大多停留在後處理的研究階段(McDonald and Fox 1999, Datta and Sturtivant 2002, Bazúa-Durán and Au 2002, Gillespie 2004, Mallawaarachchi *et al.* 2008, Johansson and White 2011)。少數的研究已可即時地辨識鯨豚 whistle 音，但仍無法完全偵測成功，有時仍需要依賴目測輔助辨識特定鯨豚族群的叫聲(Oswald *et al.* 2007, Roch *et al.* 2011)。

二、監測系統規格概述

水下聲音監測系統早期應用在水下作戰(監聽潛水艇的活動)居多，之後運用到鯨豚觀測也以深海的大型鯨(鬚鯨類)為主要目標(McDonald and Fox 1999, Moore *et al.* 2006, Zimmer *et al.* 2008)，這一類的系統大多採用海底電纜或是大型水下錨碇設備，這對臺灣西岸水域的監測並不十分恰當，原因是漁業干擾多及潮位變化大。對於本研究所需的監測系統考量，建議採用系統體型小且可置換的系統較為恰當，因此，對國外監測系統的資料蒐集，將以此作為目標，並區分為(1)非即時(off-line)傳輸訊號的系統，和(2)即時(on-line)傳輸訊號的系統。

(一) 非即時(off-line)傳輸訊號的系統

使用非即時傳輸訊號的系統之優點是設備建置與維護的費用較低，但缺點是無法立即得知監測情況，也因此無法得知系統遭受破壞或遺失的狀況。在先前的報告(周蓮香等 2011)中已彙整數種水下聲學監測系統的優缺點，在本年度進行「中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊(Workshop on Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan)」之初步結論提到，將與國外的相關研究單位建立合作關係，使用體積小的 A-tag 和 EAR (Ecological Acoustic Recorder)作為非即時傳輸訊號的 PAM 系統(詳細內容請參見附錄二)。

A-tag 的系統為日本東京的 Little Leonardo Ltd.及日本埼玉的 Marine Technology 製造，這樣的系統具備二組水下麥克風，用來量測水下聲音訊號，水下麥克風的間隔約為 17 公分，其偵測鯨豚叫聲的方位是類似人耳判斷聲波到達的時間差異(如圖五)；水下聲音訊號會經過一前置放大器(preamplifier)和帶通濾波器(bandpass filter)後，使用偵測器判斷是否為鯨豚的聲音，判斷聲音的頻率範圍約在 70-300 kHz 或 55-235 kHz(不同時期的製造規格略有差異)。而在 A-tag 的資料儲存中，並不是存聲波的訊號，而是儲存偵測到的訊號之入射方位和強度，因此可相當節省儲存空間及電力(Kimura *et al.* 2009)。

EAR 的系統是由夏威夷的海洋生物研究所(Hawaii Institute of Marine Biology)研發，Lammers *et al.* (2008)的研究中提到在珊瑚礁放置 EAR 的成果，圖六顯示該套系統裝設一組水下麥克風(1-28k Hz 的響應頻率)，聲波訊號先經過放大器後，將資料處理同時分為二部分的處理流程，第一部分是使用二個帶通濾波器過濾訊號後，作為聲能偵測使用，二個帶通濾波器的頻段分別是 20-20k Hz 和 10k-20k Hz，如果訊號符合偵測條件時，則開啟第二部份的訊號處理工作，將原

始的資料再經過適當的放大與數位化後，經過暫存碟(flash disk)作為緩衝裝置後開啟硬碟(hard disk)並儲存資料(120 GB 的空間)。

考量 A-tag 或 EAR 這樣獨立運作的系統時，系統監測的使用率(duty cycle)必須衡量幾個因素：(1)欲偵測訊號的特性、(2)佈放時間長度、(3)硬碟容量、(4)電力支撐時間等，例如 EAR 設定的使用率為 3.3%時，這大約是每 15 分鐘取樣 30 秒的情況，則每個月需要的硬碟空間約 4.38 GB 以及電池容量至少為 3.54 安培(Lammers *et al.* 2008)。

(二) 即時(on-line)傳輸訊號的系統

當需要即時監控鯨豚保護區及棲息地時，可採用浮標式的水下聲學監測系統，例如「聲納浮標(sonobuoy)」或「底碇式水下麥克風(bottom-mounted hydrophone, BMH)搭配資料浮標(data buoy)」，兩者的差異在感測組件(sensor components)中的水下麥克風和資料前處理器(data pre-process unit)之裝設位置(如圖七)，前者全部與浮標結合，當系統欲上岸維護時，必須將整組的聲納浮標取走；相對來說，後者是將感測組件另以水密箱(water-proof housing)包覆並置於海床上，在海面上的資料浮標則提供電力及訊號傳輸，這樣好處是分散組件的損壞風險並可降低維護成本，例如，需要維護感測組件時，只需要潛水俠到海中取出即可，不需要出動大型船隻將所有系統運回岸上。即時傳輸訊號系統的最大優勢是可隨時掌握監測現場的資訊(如聲波訊號、聲壓頻譜值、前處理及分類的音訊等)，並且得知系統本身的各項運作資訊(如電力狀態、放大器調整值、訊號是否正常傳輸等)。

國立成功大學的近海水文中心(Coastal Ocean Monitoring Center, COMC)是國內較熟悉資料浮標的設計與運作的研發單位，本計畫團隊在 2011 年 10 月 28 日曾參訪 COMC(圖八為參訪時的照片)，就本案的需求進行討論時，COMC 黃清哲主任、臺大陳琪芳教授、中山魏瑞昌教授等人共同提出 5 點結論與建議：(1)目前 COMC 在中華白海豚棲息地(苗栗到嘉義沿海一帶)並沒有任何的資料浮標，因此，必須由業主(系統需求者)提供建置(包括浮標及各式裝載儀器)與維護(視合約內容而定)的所有經費；(2)資料浮標蒐集的所有資料為業主所有，COMC 負責資料品管(如圖九)並傳送至業主指定位置；(3)在淺水水域佈放資料浮標可採用較小的系統(如圖十中的右邊系統)，水下麥克風的位置可放在浮標下方，原本放嘍卜勒海流儀(ADCP)的位置；(4) COMC 的資料浮標沒有量測水下聲音的實績，因此對資料的品管需要進一步研議；(5)系統的安全與保護措施還需要與當地漁民溝通，且佈放位置應盡量避免漁業衝突。

COMC 的資料浮標有三種資料傳輸方式，分別是衛星、手機(GSM 或 GPRS)、無線電等；設備和傳輸的費用由高至低排列順序相同，資料傳輸的穩定性亦是如此。但對 PAM 這樣的系統，如欲傳輸最原始的聲音檔案(raw data 或 wav file)，這三種資料傳輸方式的頻寬可能都不足以使用，因此必須在系統中增加資料前處理器，對監測目標的音訊進行偵測，如前一章節提到的工作。當只傳輸像是頻譜圖的聲壓值(經 FFT 或 STFT 處理)或是聲波訊號的包絡曲線(經 decimate 或 down-sampling 處理)時，就可節省相當多的傳輸資料量。

三、監測系統建置規劃

在目前的研究階段中，在考量水下聲學的監測系統之建置進程時，可蓋分為「背景調查」、「整合發展」、「即時監測」等三個階段，如圖十一所示，並根據各建置進程可完成的分項工作、所需的監測系統、運作成本進行評估與說明。而不論是在哪一階段進行的工作，都將以「生態指標」與「噪音指標」的評估作為核心工作。

(一) 背景調查的階段

在第一階段的調查目標中，「生態指標」的首要工作為瞭解中華白海豚發聲的種類與特性，在過去的研究(湛翔智等 2010a，周蓮香等 2011，湛翔智等 2011，Lin *et al.* 2011a，Lin *et al.* 2011b)中已經對此有初步瞭解；但受限於儀器的耐海況程度和資料儲存空間，嚴格來說，並沒有完整的季節性調查和年度差異概況。此外，中華白海豚的聽力曲線亦是缺乏，因此無法確切地掌握水下噪音對其生心理的影響，這對「生態指標」及「噪音指標」之間的關連性來說，是屬於最基礎的調查；但缺乏的成因受限於鯨豚數量少又是保育類動物，相當難以完成這項工作。而如同報告前文提到，與「噪音指標」有關的水下背景噪音之調查，需要長時間的進行才能逐步掌握，如欲使 PAM 的系統發揮較好的效能，在現階段的研究中應加強補齊。

對於這一階段的工作，採用的系統應以佈放簡易且低成本的「非即時傳輸訊號的系統」為主。所謂的低成本(如圖十一中「運作成本」曲線的 A-B 段)除了是儀器本身的價格外，可委託學校研究單位配合進行調查，並且與海洋生態同步進行觀測與分析，可加強瞭解中華白海豚棲息環境及活動特徵。而現階段中，可採

用聲納浮標(湛翔智等 2010a)、A-tag (Kimura *et al.* 2009)、EAR (Lammers *et al.* 2008)等系統，調查水域可先集中在中華白海豚常出現的熱區，如台中及雲嘉沿海一帶(周蓮香等 2011)。這類的系統體積與重量都不大，可雇用小型漁船和潛水俠協助作業，其他作業人員約 2-3 人即可。

(二) 整合發展的階段

這階段是屬於過渡時期，由於國內在過去的水下聲音監測系統的使用上，大多為上一階段使用的系統，為配合需求單位開發即時監測系統之前，必須對這樣的系統開發進行整合與測試，並且適時地提出最佳的標準作業程序和資料品管方法。在這一階段當中，是非即時監測與即時監測的二類系統可併行使用的階段，前者可持續做背景調查，後者可初步進行測試與驗證，因此對運作成本而言，如圖十一中的 B-C 段，很明顯地開始增加成本。當即時監測的系統開始設置時，將先以重點水域、佈放安全、未來擴充等條件，作為開發測試的主要依據，因此系統的數量應以 1-2 套為成本考量。

對即時訊號傳輸系統的海上設備之架構而言，無論感測組件(水下麥克風和資料前處理器)的配置為何(參考圖七)，建議可採用近海水文中心的資料浮標系統，並可沿用近海水文中心的資料傳輸方式(衛星、手機、無線電)。在系統整合的時期，可委託學校研究單位就此系統的穩定度、資料的品質、日後的發展等項目，做進一步地分析與評估，並且應提出日後移轉至監測管理單位的運作方式，如品管後的資料傳輸與顯示等。在這一階段的後期，如果已經開始完整地運作即時監測系統，並逐步擴充系統的數量與監測單位的營運時，運作成本將會大幅增加，如圖十一中的 C-D 段之成本曲線。而預算的考量不只有建置成本而已，應開始將設備折舊與維護的成本也納入。

在這階段的研究工作中，部分延續前一階段的背景調查，例如從鯨豚音訊量測的接觸次數(encounter)結合生物數量的統計模型，得到中華白海豚在 PAM 的有效偵測距離之族群估算量。而從水下噪音的量測與研究中，應結合鯨豚的聽力反應，探討水下噪音對中華白海豚產生干擾的臨界值，例如現有的文獻(Holst 2009)提到，使用 $160 \text{ dB}_{\text{RMS re.1}\mu\text{Pa}^2}$ 作為海洋地質震測(seismic)音響對鯨豚干擾的聽閾臨界之參考值。

近海水文中心現有的資料浮標大多為氣象與海象的觀測，裝載的儀器有風速風向計、雨量計、波高計、海流儀等，在這一階段中如能將水下聲學的監測系統與資料浮標結合，將有助於先行觀察中華白海豚棲息地的海洋環境，其中像是風

速計和雨量計就對水下背景噪音的推估有相當大的助益。此外，對保護中華白海豚的主管機關而言，也應開始規劃即時監測資訊的資料接收和數據備份，可經過委辦方式或內部籌建等方案。

(三) 即時監測的階段

在前一階段完成的即時監測系統，可視中華白海豚的保育需求增加數量與監測位置，對於運作成本而言，除非系統的數量增加，否則只需每年編列折舊與維護預算，在使用年限到後再行更換新系統即可，因此後續的成本變化端賴保育需求和營運情況而定。當即時監測系統完成後，透過即時傳輸系統的功能，可提供主管機關即時瞭解鯨豚類的活動現況，例如每日定時回報中華白海豚在重要棲息地的出現時間與次數等，同時也可記錄人為(非自然或非法)的干擾事件，作為生態保育措施的依據與輔助的調查工具。像這樣的自動化系統可擴充成周遭水域的環境監控警示浮標，例如在保護區外水域施工(打樁)時，當產生的水下噪音傳播到保護區內時，可提出超過標準的警示訊號，提醒施工單位改善作業方式或降低噪音產生的頻繁度。

四、歸納與結論

本報告對中華白海豚保護區及棲息地的水下聲音監測系統之規劃可參閱圖十二的藍圖，從先前的報告(周蓮香等 2011)得知中華白海豚常出現在臺灣西岸苗栗到台南北部的沿岸水域，其中熱區可分為南北各一處，分別在苗栗台中和雲林嘉義一帶的外海，因此建議設置即時監測系統的優先位置可考量在熱區。並且為了更多背景調查和更密集生態指標，將依照生態調查需求佈放非即時傳輸訊號的系統，根據附件二「中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊(Workshop on Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan)」的建議：可從這些系統的調查數據獲得更多中華白海豚的活動行為和遷徙情況，並且有助於推估數量。例如在南處熱區的南端設置一組監測系統，可進一步瞭解中華白海豚的活動界線；或者從南北兩處熱區的中間水域調查中華白海豚南來北往的次數。在此仍必須強調，PAM 系統雖然可以有效監測中華白海豚的叫聲，但對於生物個體的行為及族群數量的統計，現階段仍須藉助目視觀察方法驗證，無法完全取代之。

各類系統的建置成本與使用年限，常依照儀器與設備本身在海上的耐用程度而定之，在本報告中提出的建議僅供計畫需求單位就預算考量上的參考，實際仍須與委託的學校單位、研究中心及私人廠商決議之。圖十三說明 Sonobuoy(去年調查使用的系統，請參考周蓮香等，2011)、A-tag、EAR、BMH (Bottom-mounted Hydrophone)、Data buoy 等系統的(a)可用年限、(b)建置與維護成本、(c)委託建置費用的各項比例。各系統可用年限的項目分成非電子類組件(如水密箱、浮材、系統保護架、固定重錘、鈎錨等)及電子類組件(如水下麥克風、訊號放大器、資料處理器、資料儲存裝置、訊號傳送接收器、天線、充電電池等)，一般性的電子類產品在海洋高濕度及高鹽度的環境中容易損壞，大多數產品在原廠的保固範圍只有一年，因此必須在翌年的維護成本中開始分攤這些設備的折舊。而各系統的可用年限對年度預算編列上相當重要，如果從圖十三中的(b)圖來討論 Sonobuoy 的建置與維護成本時，第一年建置需要 1 百萬元(參考值)，這筆費用在委託單位中的 4 大項比例可參考圖十三的(c)圖，其中的 $1 \times 40\% = 0.4$ 百萬元為儀器採購費用，其他項目如消耗性材料(各類五金、浮材、電池、繩索、扣環等消耗品)、系統佈放回收(租船、潛水伏、運費、油資等)、委託單位管理費(包括辦公室雜支、聘僱從業人員薪資等)等，各佔 $1 \times 20\% = 0.2$ 百萬元，這例子說明其中的設備折舊費應該以 0.4 百萬元來估算。因此，在翌年的設備折舊費用中應以此為考量，假設以 30% 的損毀機率(也就是說可能只是部分設備發生損壞)來說，翌年的設備折舊預算應該要 $0.4 \times 30\% = 0.12$ 百萬元，再加上其他的費用，因此需編列 0.72 百萬元的維護成本。而因為 Sonobuoy 電子類組件的耐用年限預期為 2 年(圖十三 a)，因此到了第 3 年就需要再重新建置，當然其中的非電子類組件可耐用 3 年，所以也可以節省部分消耗性物品的成本。

折舊的概念是以每年的預算編列來分攤儀器設備損壞的風險(機率也可能是各種儀器或設備而權衡之)，對各類系統的可用年限可視為期望值，但在實際的運作中，也許會遭遇不可預期的情況，因此將翌年開始的維護費加入設備折舊的費用，可降低預算不足而系統發生匱乏的風險。但對 Data buoy 而言比較特別，翌年的維護費用與第一年相同，這是因為 Data buoy 系統的設置目的為即時監測，因此在進行維護時必須運回近海水文中心，有必要建置一套相同的系統取代之，才能持續地進行監測，所以對於 Data buoy 的折舊應從第三年開始計算。

五、參考文獻

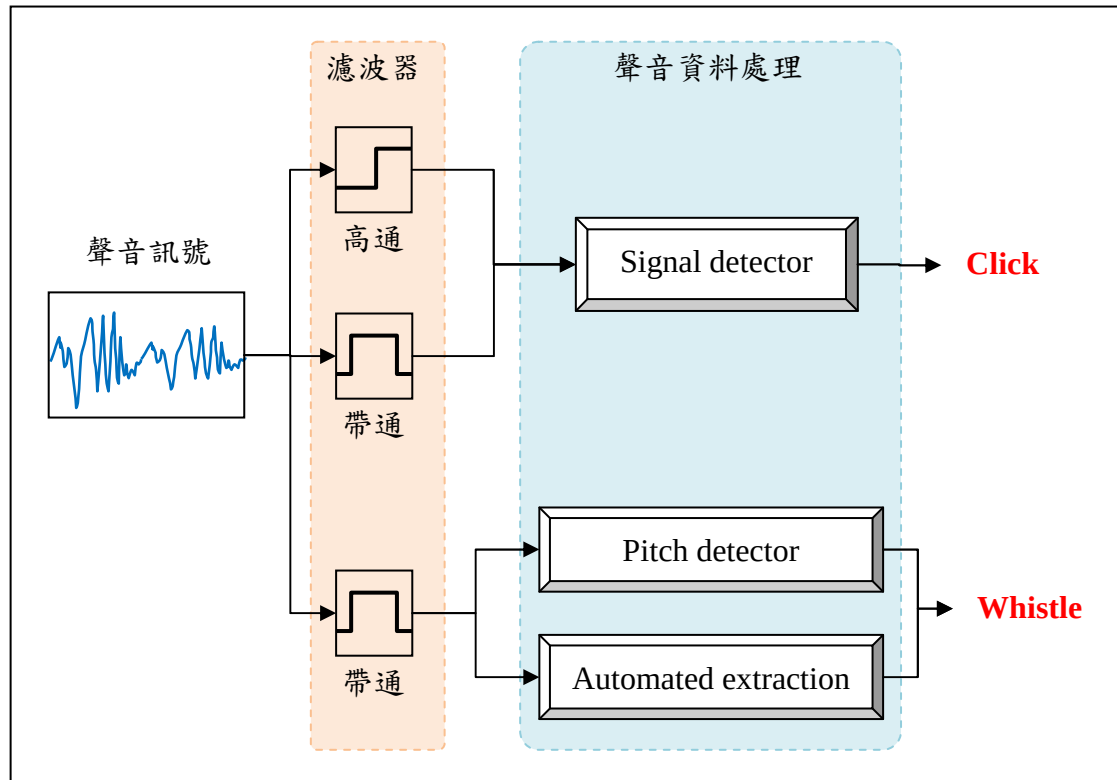
- Bazua-Duran, C., and Au, W. W. L. (2002). The whistles of Hawaiian spinner dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112(6), 3064-3072.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., and Thomas, L. (2001). *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of*

Biological Populations (Oxford University Press, Oxford, UK)

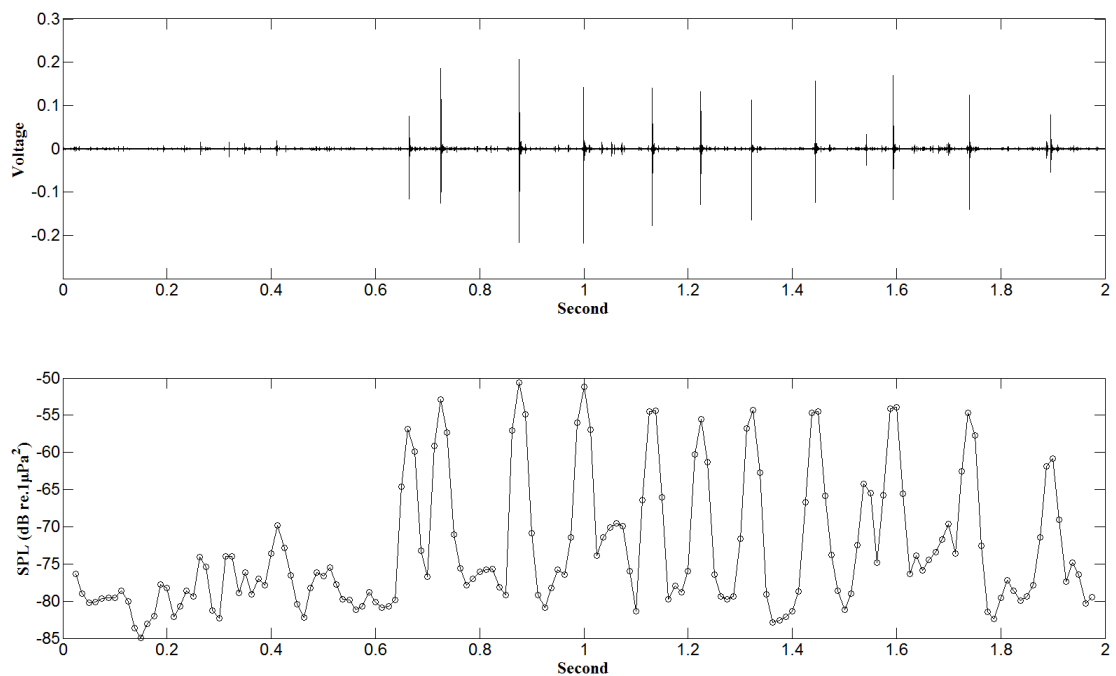
- Cato, D., McCauley, R., Rogers, T. and Noad, M. (2006). Passive acoustics for monitoring marine animals progress and challenges. In Proceedings of ACOUSTICS 2006. *Australian Acoustical Society Conference*, Christchurch, New Zealand, (453-460). 20-22 November, 2006.
- Chan, H.-C., Chen, C.-F., and Wei, R.-C. (2008). Measurement and simulation for wind noises in the ocean environments with nonlinear internal waves. *Journal of Computational Acoustics*, 16(2), 163-176. doi: 10.1142/S0218396X08003555
- Datta, S. and Sturtivant, C. (2002). Dolphin whistle classification for determining group identities. *Signal Process.* 82, 2 (February 2002), 251-258.
- Gillespie, D. M. (2004). Detection and classification of right whale calls using an 'edge' detector operating on a smoothed spectrogram', *Canadian Acoustics*, 32(2), 39-47.
- Holst, M. (2009), Marine mammal and sea turtle monitoring during Lamont-Doherty Earth Observatory's TAIGER marine seismic program near Taiwan, April – July 2009. LGL Rep. TA4553-4. Rep. from LGL Ltd., King City, Ont., for Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia Univ., Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD. 103 p.
- Holt, M. M., Noren, D. P. and Emmons, C. K. (2011). Effects of noise levels and call types on the source levels of killer whale calls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(5), 3100-3106.
- Johansson, A.T. and White, P. R. (2011). An adaptive filter-based method for robust, automatic detection and frequency estimation of whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(2), 893-903.
- Kimura, S., Akamatsu, T., Wang, K. X., Wang, D., Li, S. H., Dong, S.Y. and Arai, N.. (2009). Comparison of stationary acoustic monitoring and visual observation of finless porpoises. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(1), 547-553.
- Kusel, E. T., Mellinger, D. K., Thomas, L., Marques, T. A., Moretti, D. and Ward, J. (2011). Cetacean population density estimation from single fixed sensors using passive acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), 3610-3622.
- Lammers, M. O., Brainard, R. E., Au, W. W. L., Mooney, T. A. and Wong, K. B. (2008). An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(3), 1720-1728.
- Lammers, M. O. and Au, W. W. L. (2003). Directionality in the whistles of hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*): a signal feature to cue direction of

- movement. *Marine Mammal Science*, 19(2), 249-264.
- Leigh, C. V. and Eller, A. I. (2006). Dynamic Ambient Noise Model Comparison with Point Sur, California, *In Situ* Data. Seattle, Washington: Applied Physics Laboratory, University of Washington.
- Lewis, T., Gillespie, D., Lacey, C., Matthews, J., Danbolt, M., Leaper, R., McLanaghan, R. and Moscrop, A. (2007). Sperm whale abundance estimates from acoustic surveys of the Ionian Sea and Straits of Sicily in 2003. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87, 353-357.
- Mallawaarachchi, A., Ong, S. H., Chitre, M., and Taylor, E. (2008). Spectrogram denoising and automated extraction of the fundamental frequency variation of dolphin whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(2), pp.1159-1170.
- McDonald, M. A., and Fox, C. G. (1999). Passive acoustic methods applied to fin whale population density estimation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(5), 2643-2651.
- Moore, S. E., Stafford, K. M., Mellinger, D. K. and Hildebrand, J. A. (2006). Listening for Large Whales in the Offshore Waters of Alaska. *BioScience*, 56(1), 49-55.
- Oswald, J. N., Rankin, S., Barlow, J. and Lammers, M. O. (2007). A tool for real-time acoustic species identification of delphinid whistles. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(1), 587-595.
- Roch, M. A., Brandes, T. S., Patel, B., Barkley, Y., Baumann-Pickering, S. and Soldevilla, M. S. (2011). Automated extraction of odontocete whistle contours. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(4), 2212-2223.
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A. and Burnham, K. P. (2010). Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 5-14.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T. and Chou, L.-S., (2011a). Seasonal behavior, and their influence on tidal behavior of Chinese white dolphins (*Sousa chinensis*) at Xinhui River Estuary. Symposium on Animal Behavior, Ecology and Environmental Education, Tainan, Taiwan.
- Lin, T.-H., Akamatsu, T. and Chou, L.-S., (2011b). Tidal activity of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) monitored by fixed acoustic data loggers. 19th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Tampa, Florida, USA.
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R., Marques, T. A. and Burnham, K. P. (2010). Distance software:

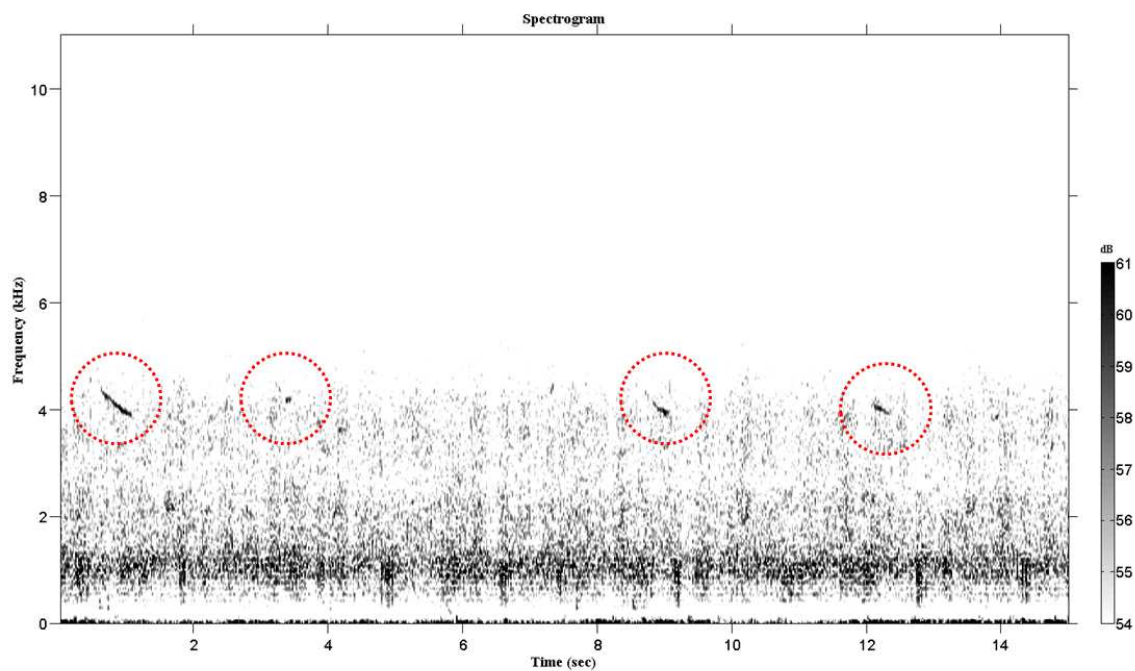
- design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47: 5–14.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936-1956.
- Wilson, J. H. (1983). Wind-generated noise modeling. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73(1), 211-216.
- Zimmer, W M. X., Harwood, J, Tyack, P L., Johnson, M P. and Madsen, P. T. (2008). Passive acoustic detection of deep-diving beaked whales. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(5), 2823-2832.
- 林勝豐、湛翔智、方銀營、陳琪芳、戴仁華(2011)，“臺灣西部海域的水下音傳特性與背景噪音模擬分析”，第 33 屆海洋工程研討會，787-792。
- 周蓮香、李政諱、李培芬、高家俊、邵廣昭、莊慶達、陳孟先、陳琪芳、魏瑞昌、楊瑋誠、蔡惠卿(2011)，“中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃”，行政院農委會林務局委託研究計畫系列 99-林發-08.1-保-32(01)-結案報告，臺灣海洋保育學會。
- 陳琪芳、湛翔智(2011)，“臺灣西岸水下背景噪音之季節性變動模擬 Simulation on seasonal variability of underwater ambient noise off western Taiwan”。國立臺灣大學，工程科學及海洋工程學系水下聲學實驗室技術報告，NTU-UAL PTR 2011-06。
- 湛翔智(2007)，*臺灣鄰近海域環境噪音之資料分析及數值模擬*。國立台灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所博士論文。
- 湛翔智、陳琪芳、魏瑞昌、周蓮香、林子皓(2010a)，“中華白海豚棲息地的水下聲學觀測”，中華民國音響學會九十九年會員大會暨第二十三屆學術研討會，194-200。
- 湛翔智、魏瑞昌、許修瑋、吳政峰(2010b)，“航運對海洋產生的噪音污染”，*海洋及水下科技季刊*，第 20 卷，第 3 期，22-26。
- 湛翔智、陳琪芳、魏瑞昌(2011)，“齒鯨叫聲的偵測與分類之演算法”，中華民國音響學會一百年會員大會暨第二十四屆學術研討會，239-244。
- 魏瑞昌、林文斐(2002)，“風延遲效應對海洋環境噪音之影響研究”，*中華民國音響學刊*，第 8 卷，第 2 冊，29-44。



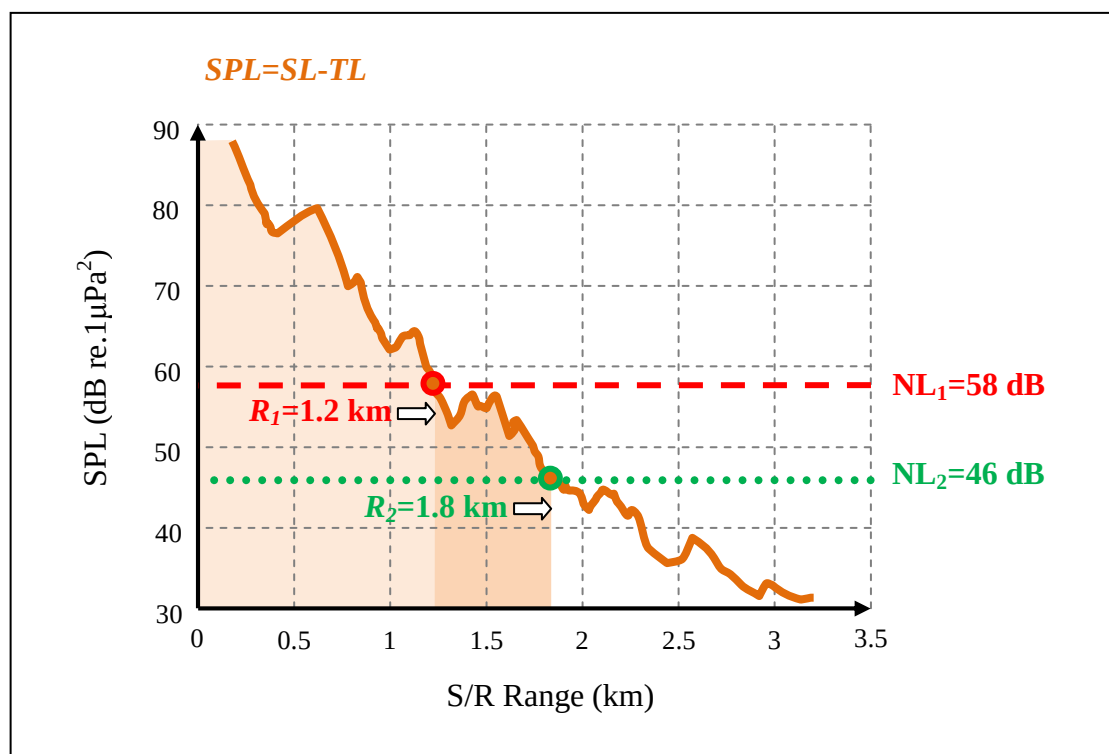
圖一、水下聲學的監測方法及資料處理流程之概念。



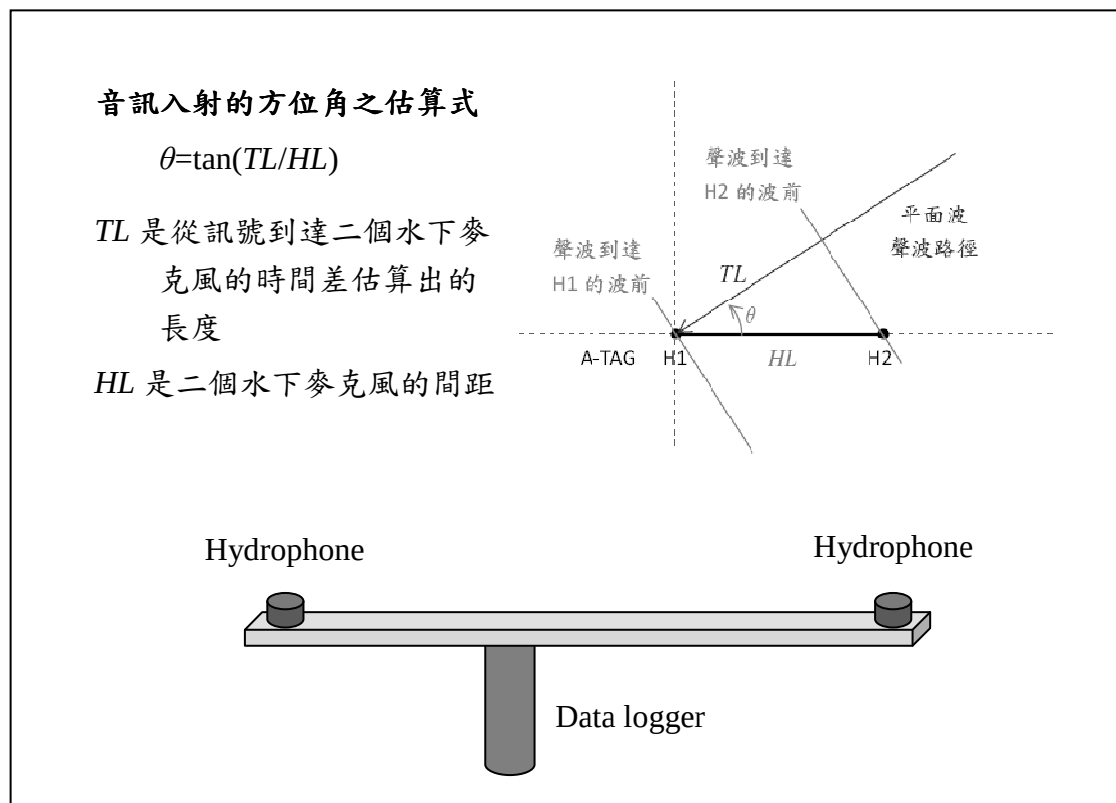
圖二、由聲音數據偵測中華白海豚的 click 叫聲。



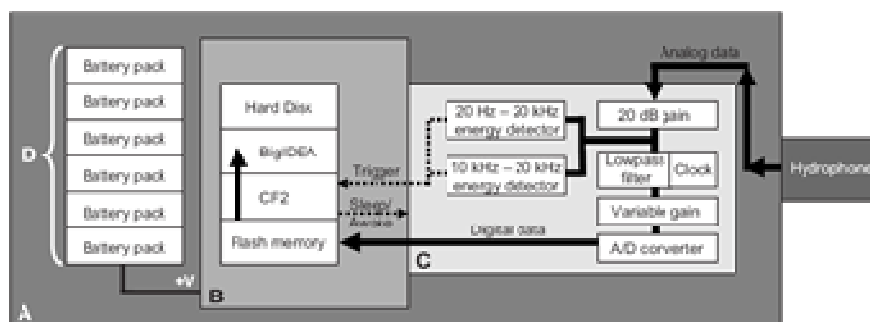
圖三、由聲音數據偵測中華白海豚的 whistle 叫聲。



圖四、估算 PAM 對中華白海豚叫聲(4 kHz)的偵測距離之概念圖。



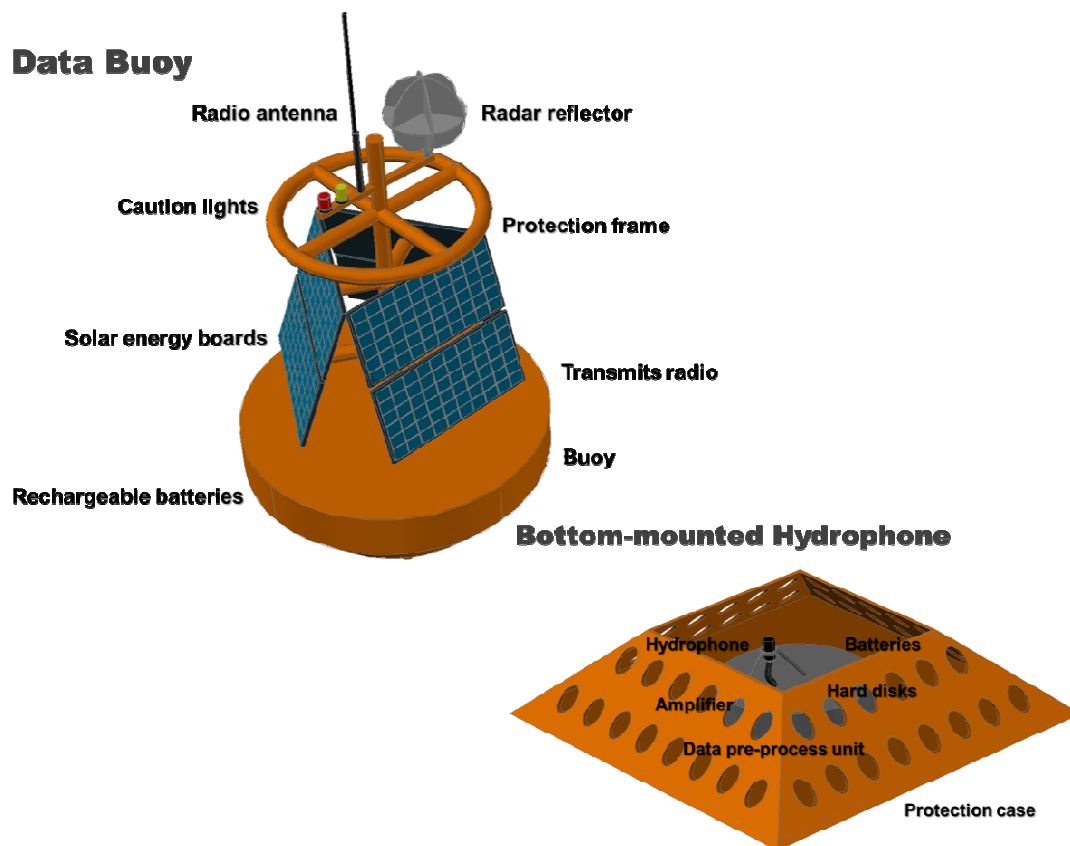
圖五、A-tag 的外觀及判斷音訊入射方位的方法。



↑ EAR 的硬體組件

← EAR 的外觀照片

圖六、EAR 的硬體組件和外觀照片(Lammers *et al.* 2008)。



圖七、資料浮標(data buoy)與海床底碇式水下麥克風(bottom-mounted hydrophone)的構想外觀和零組件說明。



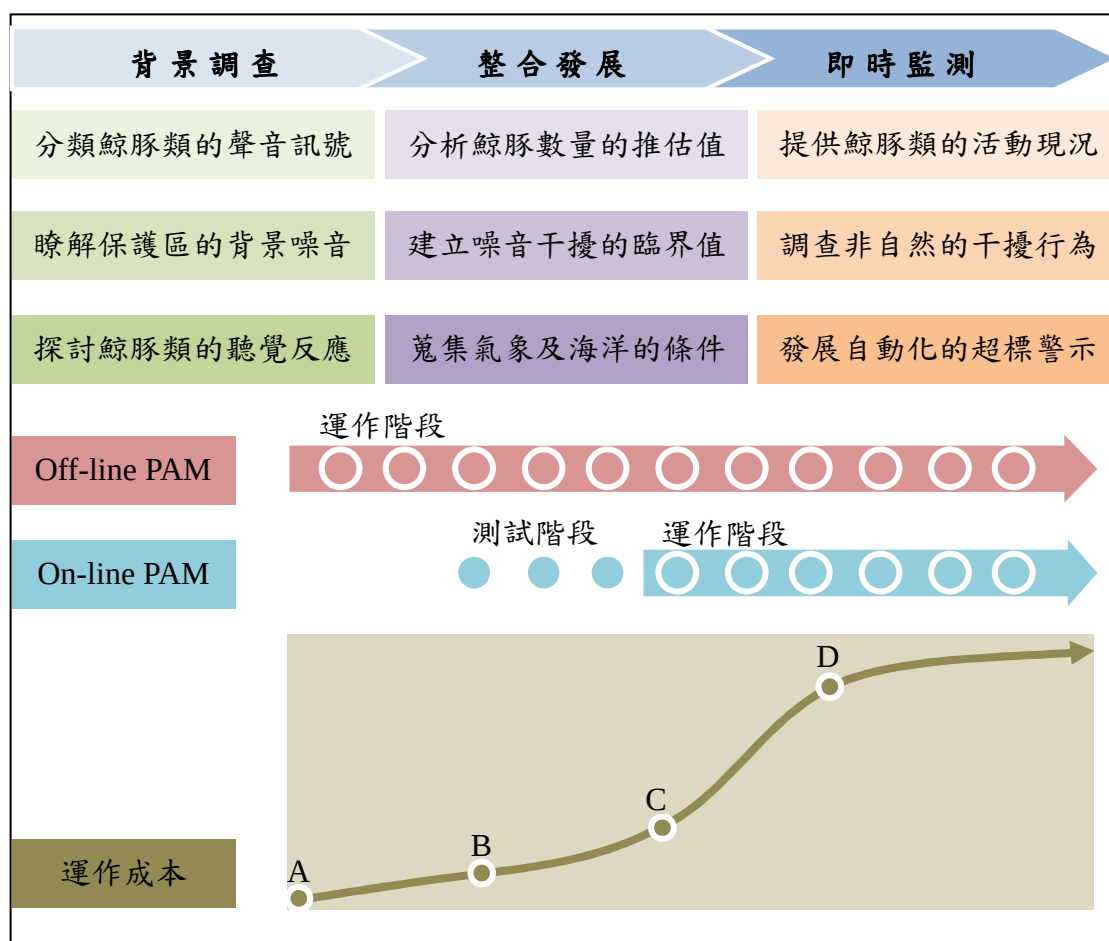
圖八、在 2011 年 10 月 28 日至國立成功大學近海水文中心參訪時的討論情況。



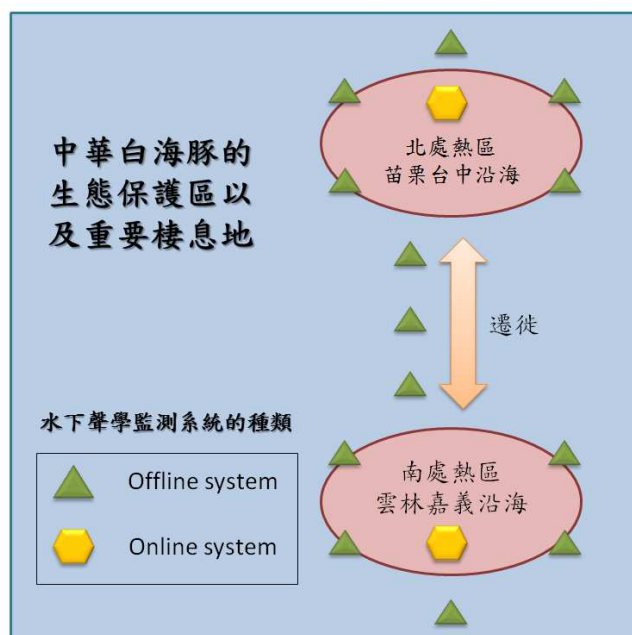
圖九、近海水文中心品保組陳秋份組長介紹資料品管和展示系統。



圖十、近海水文中心現有的資料浮標，最右側為適合淺海用的資料浮標。括號內標註浮標直徑(D)以及高度(H)，單位為公尺(m)。

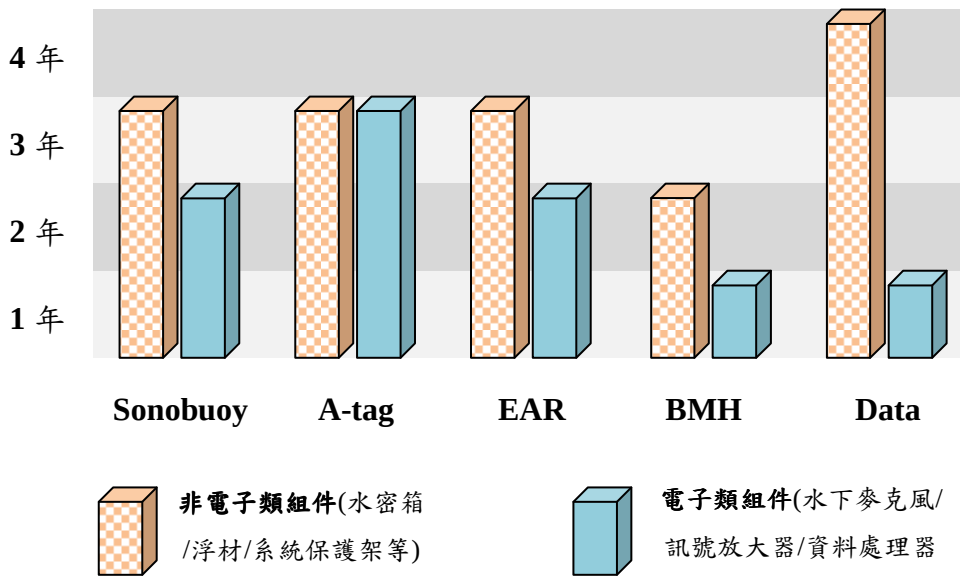


圖十一、水下聲音監測系統的建議規劃之建置進程。

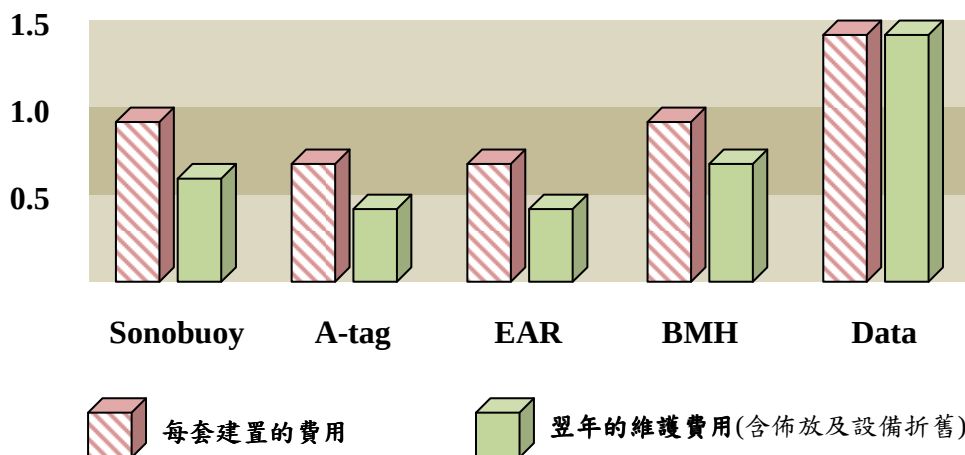


圖十二、在中華白海豚的保護區及棲息地設置水下聲學監測系統的規劃藍圖。

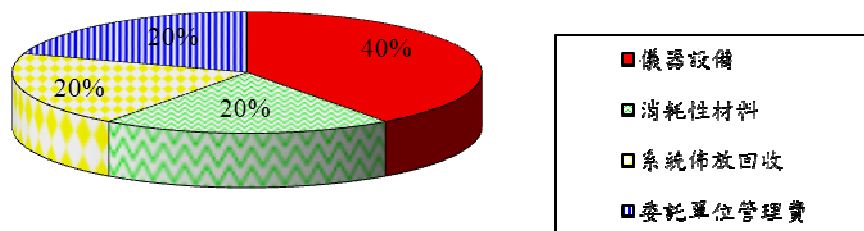
(a) 在標準的作業程序下各類水下聲學監測系統的可用年限之建議



(b) 各類水下聲學監測系統預估每套的建置與維護成本(單位：百萬元)



(c) 每套水下聲學監測系統委託學校單位或研究中心的建置費用比例概估



圖十三、各類水下聲學監測系統的建置成本及使用年限之建議與參考。

附件

為集結多方專家學者對於台灣西岸設置中華白海豚重要棲息地劃設以及未來海洋保護區水下聲學監測的意見，本計畫共舉辦了一個會議(七月九日，附件一)以及一個工作坊(十月七-八號，附件二、三)，會議結論、會議簽到表以及會議摘要集附加在後。

附件一、「台灣西岸中華白海豚重要棲息地劃設會議」結論紀錄及簽到表

台灣西岸中華白海豚重要棲息地劃設會議結論紀錄

時間:2011/7/9 10:00-12:00

地點:台灣大學生命科學館三樓 TecComm 會議室

召集人:台灣大學生態與演化生物研究所周蓮香教授

出席專家:林務局保育組科長張弘毅、林務局保育組技正林華慶、環保署副署長(兼海洋大學海洋資源管理研究所教授)邱文彥(書面意見)、環保署技監兼署長辦公室執行秘書黃萬居(書面意見)、中華鯨豚協會理事(兼前海巡署海洋巡防副總局長)林星亨、海洋大學河海工程學系教授及近海防災中心主任簡連貴、成功大學海洋科技與事務研究所教授劉大綱、成功大學法律學系暨科技法律學研究所教授王毓正、中央研究院生物多樣性研究中心研究員邵廣昭、中興工程顧問公司總經理(兼成功大學水利及海洋工程學系教授)龔誠山、中山大學海洋事務研究所教授李政諦、世曦工程顧問有限公司水環部林瑞琦(書面意見)

工作人員:吳彥頡、張維倫、葉志慧、柯孟辰、林子皓、余欣怡、楊惠雯

結論:

1. 中華白海豚重要棲息地之劃設要以聚科學資料以利與大眾溝通，台灣西岸由北至南(苗栗-外傘頂洲)的海豚分佈明顯不同，故因區制宜，選擇適當寬度、分為四區，每區西界由離岸距離來界定:第一區為1海浬，第二區為2海浬、第三區為3海浬、第四區為2海浬。為求管理方便，界線劃設拉成直線，並在各轉彎處標明坐標。
2. 範圍東界以海岸基線為主，河口處則依照水利署規定之河口基線為準。
3. 港區(港內、錨泊區、堤防)是否排除，將待後續與各相關部會協商研議。

中華白海豚重要棲息地劃設範圍討論會

簽到表

時間:2011 年 7 月 9 日上午十時至十二時

地點:台灣大學生命科學三樓 TechCom 會議室

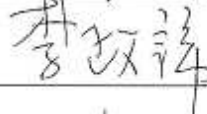
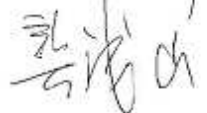
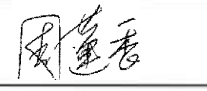
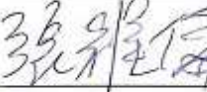
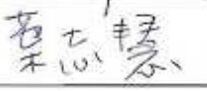
單位	職稱	姓名	簽名
林務局	保育組科長	張弘毅	張弘毅
林務局	保育組技正	林華慶	林華慶
環保署	副署長(兼海洋大學海洋資源 管理研究所教授)	邱文彥	請假(書面 意見)
環保署	技監兼署長辦公室執行秘書	黃萬居	請假(書面 意見)
中華鯨豚 協會	理事 (前海巡署海洋巡防副總局長)	林星亨	林星亨
海洋大學	河海工程學系教授及近海 防災中心主任	簡連貴	簡連貴
成功大學	海洋科技與事務研究所助理 教授	劉大綱	劉大綱
成功大學	法律學系暨科技法律學研究 所助理教授	王毓正	王毓正

中華白海豚重要棲息地劃設範圍討論會

簽到表

時間:2011 年 7 月 9 日上午十時至十二時

地點:台灣大學生命科學三樓 TechCom 會議室

單位	職稱	姓名	簽名
中央研究院	生物多樣性研究中心研究員	邵廣昭	
中山大學	海洋事務研究所助理教授	李政諱	
中興工程 顧問公司	總經理(兼成功大學水利及 海洋工程學系教授)	龔誠山	
世曦工程顧 問公司	水環部	林瑞琦	請假(書面意 見)
漁業署	資源管理科科长	王茂城	
台灣大學	生態學與演化研究所教授	周蓮香	
台灣大學	生態學與演化研究所碩士生	吳彥頤	吳彥頤
"	"		
"	"		
"	"		柯孟辰
"	"		林子皓
	"	余政怡	余政怡

附件二、「中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊」會議結論及簽到表

2011 年十月 7-8 號中華白海豚海洋保護區水下聲學監測工作坊

會議結論

- 被動式聲學監測系統(Passive Acoustic monitoring, PAM)可以透過長期監測來了解中華白海豚在監測範圍內活動變化的資訊，但是在監測開始前以及監測期間需要注意特定重要事項。

1. 海豚棲地的環境噪音特徵

海豚棲地的環境噪音特徵不只是計算 PAM 偵測範圍的必要資訊，海洋環境、發聲生物活動與人為活動之變化也可透過環境噪音的變動來推測，進一步了解可能影響海豚行為的因子。

2. 海豚行為狀態與聲學行為之關係

透過海上觀察收集海豚各種行為狀態之聲音資料或是利用暫時性黏附在動物身上的聲音和行為記錄器(acoustic and behavioral tag)來建構統計模型，進一步從 PAM 所記錄之聲音資料以推測海豚可能的行為狀態。

3. 實際海上/陸上觀察與 PAM 結果的搭配

透過建構統計模型瞭解海上/陸上觀察與 PAM 結果之相關性。由於 PAM 的使用受天氣限制較小，可以透過 PAM 來輔助目視觀察之不足。同時兩方面比較的結果也可以幫助研究團隊精確的估計重要的族群參數，如族群密度。

4. 海豚的食餌魚類發聲資料

同位素(isotope)和生物取樣(biopsy)可以分析台灣西海岸的中華白海豚尚未明瞭之覓食習性。透過瞭解它們的食餌魚類發聲資料，未來 PAM 也可以提供監測這些食餌魚類時間與空間分布模式的平台。除了 PAM，小型的測深儀(echo-sounder)亦能探討白海豚與其食餌的行為互動。

- 藉由上述的基線資料，透過目視觀察與其他技術的輔助，PAM 可以提供許多海洋保護區經營管理的重要資訊。

1. 中華白海豚生態資訊

- ✓ 中華白海豚時間與空間上的棲地利用模式
- ✓ 中華白海豚在南北兩熱區間的移動模式
- ✓ 海豚潛在棲地的實地監測
- ✓ 更有效的密度估算

2. 中華白海豚的食餌魚類生態資訊

- ✓ 食餌魚類時間與空間上的發聲模式
- ✓ 中華白海豚與其食餌魚類的行為互動

3. 人為活動資訊

- ✓ 人為活動的時間變化模式
- ✓ 人為活動對中華白海豚行為、棲地利用的影響

● PAM 系統的設計與選擇

錄音的頻率範圍因應不同的偵測對象而有所不同:如船舶噪音(20 Hz-2 kHz), 海豚哨音(2-20 kHz), 還有海豚回聲定位喀答聲(> 20 kHz)。

在人耳可接收的頻率範圍之內, 夏威夷大學的 Lammers 博士建議採用之生態聲學紀錄器(ecological acoustic recorder, EAR), EAR 已經在夏威夷海域被證實適合應用在長期監測船舶噪音、海豚哨音甚至魚類的發聲。但 EAR 系統目前只供合作計畫租用, 預估每套系統之租金為第一年 4,000 美金, 第二年起每年 1,600 美金。在超音波頻率範圍的聲音, 日本水產工學研究所 Akamatsu 博士建議採用水下聲學資料記錄器(Acoustic data logger, A-tag), A-tag 適合長期監測海豚的回聲定位喀答聲, 目前廣泛應用在長江、日本沿海的江豚監測上, 也成功應用在台灣西海岸中華白海豚的監測計畫中。A-tag 可由日本進口(MMT Inc.), 預估價格為一隻 12,000 美金。

每套 PAM 系統之間的距離可以視用途而定: 如果針對海豚小範圍的行為模式, PAM 之間的距離要相對靠近, 若是針對南北季節性的遷移, 間距則可以拉大。在人為活動的監測上面, 針對小型漁船的監測所需的 PAM 密度也會較貨輪來得高。

結合兩個以上的監測系統將有協同作用, 可以獲得更豐富的資訊, 例如結合超音波範圍聲音資料記錄器與人耳可接收範圍的聲學記錄器, 並搭配海洋物理因子觀測系統。

此外, 離線監測系統(offline system)之費用相較於即時監測系統(real-time system)低廉許多, 適合在廣泛的區域放置數個離線系統來獲得完整的資訊。即時監測系統可以藉由資料浮標或是海底纜線傳送資料, 但是資料浮標的無線電、3G 或衛星傳輸的傳送速度遠不及原始聲音資料儲存的速度, 需要搭配資料自動偵測的初步篩選技術。海底纜線雖然傳輸速度快, 但價格相當昂貴。因應不同目的, 可針對性的採用離線及即時監測系統。以海洋保護區為例, 緩衝區可以採用離線系統進行長期資料收集, 而核心區則可以採用即時系統監測海豚與人為活動, 以提供保護區管理的一套重要監測工具。

根據目前的研究資訊, 超音波範圍聲音(如回聲定位喀答聲)由於其傳播距離較短, 偵測率可能會因為不同水深或不同離岸距離影響海豚活動密度而變化。因此選擇地點時, 除了考慮海豚沿岸的水平移動, 也應考慮不同離岸距離的影響。

● 未來建議可分成三個階段配置離線 PAM 系統在中華白海豚棲息範圍內

第一階段-關注於海豚在南北兩熱區之間遷徙的模式以及在南熱區的行為

- 1.為監測中華白海豚在南北兩熱區間的遷徙模式，在中區(濁水溪口海域附近)建議佈放三組 PAM 並垂直海岸線佈放，此設計可增加海豚通過時的偵測率。
- 2.為了解中華白海豚在熱區的行為模式，在南熱區平行海岸線各佈放三組 PAM 在雲林縣海域與外傘頂洲西側海域。
- 3.為了解中華白海豚在目擊率較低的中區之行為模式，在彰化縣海域放置平行海岸、三組 PAM。此設計可以比較海豚在熱區與非熱區行為上的差異，並與海上調查的結果進一步比較。

第二階段-保留第一階段的配置並延伸監測範圍至北熱區

- 1.為擴展監測範圍至完整的重要棲息環境範圍，建議在北熱區各放置三組 PAM 在台中縣海域與苗栗縣海域)。包含第一階段的系統佈放，至此 PAM 系統已涵蓋整個中華白海豚在台灣主要的分布範圍。

第三階段-保留前兩階段之配置並延伸監測範圍至潛在棲地

- 1.為了解中華白海豚利用潛在棲地的狀況，建議可在熱區南北界各放置 PAM 在外傘頂洲東側、外傘頂洲以南海域，以及苗栗縣以北海域。

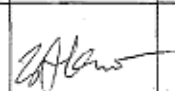
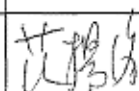
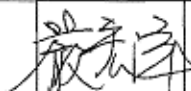
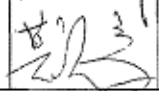
Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of

Sousa chinensis in Taiwan Workshop

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan

10/7

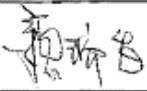
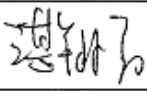
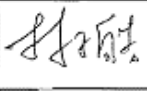
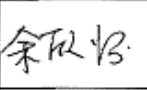
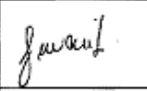
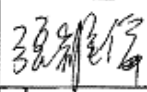
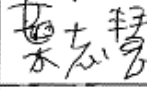
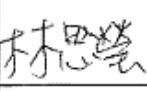
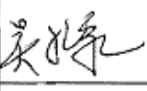
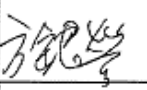
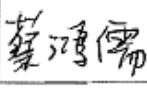
Affiliation	Title	Name	Signature	Vegan
School of Biological Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong	Associate Professor	Leszek Karczmarski		
Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii at Manoa, U.S.A.	Assistant Researcher	Marc O. Lammers		
National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Japan	Head of Bioacoustics Group	Tomonari Akamatsu		
農委會林務局保育組	組長	管立豪		
農委會林務局保育組	科長	張弘毅		
農委會林務局保育組	技正	林華慶		
國立臺灣大學工程科學及海洋 工程學系	教授	陳琪芳		
國立臺灣大學生態學及演化生 物學研究所	教授	周蓮香		
國家實驗研究院台灣海洋科技 研究中心	主任	高家俊		
國立臺灣大學工程科學及海洋 工程學系	主任	宋家驥		
國立成功大學近海水文中心	研發組組長	范揚銘		
中央研究院臨海研究站	研究員	嚴宏洋		
國立中山大學海洋生物研究所	教授	莫顯藩		

Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan Workshop

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan

10/7

Affiliation	Title	Name	Signature	Vegan
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	副教授	王兆璋		
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	助理教授	魏瑞昌		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士後研究員	湛翔智		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士候選人	林子皓		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士班學生	余欣怡		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士班學生	Florence Evacitas		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	張維倫		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	葉志慧		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	林思瑩		
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	碩士班學生	秦敬仁		
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	碩士班學生	張偉涵		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士班學生	吳誌豪		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士班學生	方銀營		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	碩士班學生	蔡鴻儒		

Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of

Sousa chinensis in Taiwan Workshop

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan

10/7

Affiliation	Title	Name	Signature	Vegan
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	碩士班學生	吳高兆	吳高兆	
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	碩士班學生	林天祥	林天祥	
國立中山大學海洋生物研究所		邱百合	邱百合	
IEEB, NTU		劉時璋	劉時璋	
IEEB, NTU		郭祥慶	郭祥慶	
IEEB, NTU		郭錦亮	郭錦亮	
LSD, NTU		侯雯	侯雯	
IEEB, NTU		林明慶	林明慶	
LSD, NTU		王錦亮	王錦亮	

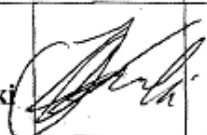
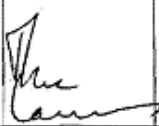
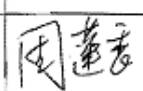
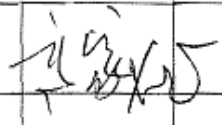
Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of

Sousa chinensis in Taiwan Workshop

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan

10/8

Affiliation	Title	Name	Signature	Vegan
School of Biological Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong	Associate Professor	Leszek Karczmarski		
Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii at Manoa, U.S.A.	Assistant Researcher	Marc O. Lammers		
National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Japan	Head of Bioacoustics Group	Tomonari Akamatsu		
農委會林務局保育組	組長	管立豪		
農委會林務局保育組	科長	張弘毅		
農委會林務局保育組	技正	林華慶		
國立臺灣大學工程科學及海洋 工程學系	教授	陳琪芳		
國立臺灣大學生態學及演化生 物學研究所	教授	周蓮香		
國家實驗研究院台灣海洋科技 研究中心	主任	高家俊		
國立臺灣大學工程科學及海洋 工程學系	主任	宋家驥		
國立成功大學近海水文中心	研發組組長	范揚銘		
中央研究院臨海研究站	研究員	嚴宏洋		
國立中山大學海洋生物研究所	教授	莫顯藩		

Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of

Sousa chinensis in Taiwan Workshop

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan

10/8

Affiliation	Title	Name	Signature	Vegan
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	副教授	王兆璋		
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	助理教授	魏瑞昌		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士後研究員	湛翔智	湛翔智	
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士候選人	林子皓	林子皓	
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士班學生	余欣怡	余欣怡	
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	博士班學生	Florence Evacitas		
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	張維倫	張維倫	
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	葉志慧	葉志慧	
國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所	研究助理	林思瑩	林思瑩	
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	碩士班學生	秦敬仁		
國立中山大學海下科技暨應用物理研究所	碩士班學生	張偉涵		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士班學生	吳誌豪		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	博士班學生	方銀營		
國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系	碩士班學生	蔡鴻儒		

Workshop on Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan

7-8 October 2011

National Taiwan University, Taipei, Taiwan



Organizers:

Dr. Lien-Siang Chou

Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University

Dr. Chi-Fang Chen

Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

Sponsor:

The Forestry Bureau, Council of Agriculture, Taiwan

Workshop on

Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan

Index

Agenda.....	3
Abstract	
Habitat use and population size of the Indo-Pacific humpback dolphin, <i>Sousa chinensis</i> , off the western coast of Taiwan (Lien-Siang Chou)...	4
Conservation ecology of humpback dolphins (genus <i>Sousa</i>): A comparative perspective (Leszek Karczmarski).....	5
Density estimation and direct counting of odontocetes using stereo acoustic event recorders (Tomonari Akamatsu).....	8
Long-term passive acoustic monitoring of marine ecosystems in the Hawaiian archipelago (Marc O. Lammers).....	9
Passive acoustic monitoring of Indo-Pacific humpback dolphins (<i>Sousa chinensis</i>) in western Taiwan waters (Tzu-Hao Lin).....	10
Preliminary proposal on the PAM system off the western Taiwan (Chi-Fang Chen & Hsiang-Chih Chan).....	11
Appendix	
1. a) The proposed major wildlife habitats; and b) Sighting locations in four sections of proposed major wildlife habitats.....	13
2. Sighting rate	16
3. The relationship strengths and latitudinal ranges of 57 dolphins..	17
4. a) Environmental factors; and b) vocalization characteristics.....	18
5. Preliminary proposal on the PAM system.....	19
Attending list.....	20

Workshop on Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan

Date: 7-8 October 2011

Location: National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Organizers:

Dr. Lien-Siang Chou

Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University

Dr. Chi-Fang Chen

Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

Sponsor: The Forestry Bureau, Council of Agriculture, Taiwan

Background and purpose:

The Chinese white dolphins, *Sousa chinensis*, which live off the western coast of Taiwan, are very likely a closed population of about 80 individuals based on the latest estimate. While over 90% of the sightings were recorded within 5km off the coast, these dolphins are active mostly within an average distance of 1.4km from the shore. Because of their special habitat preference, various immediate anthropogenic threats from the coastal developments and fishery activities are faced.

Passive acoustic monitoring is a well adopted tool on the cetacean investigation in recent years. It provides the ability of long duration monitoring in remote area, and the possibility of investigation during limited visibility. The development of autonomous recording systems and the techniques of instantaneous data transfer make PAM becomes a powerful tool in cetacean conservation. The proposed MPA for Chinese white dolphins occupies extensive areas and will rely on the PAM heavily for monitoring and management in the future. The current workshop is convened to bring together experts experienced in marine mammal monitoring to provide experiences and recommendations on the (a) acoustic investigations on Chinese white dolphins and (b) techniques used in the off-line and real-time recording analysis (c) scheme of the passive acoustic monitoring system for this proposed MPA.

Workshop on Acoustic Monitoring for the Marine

Protected Area of *Sousa chinensis* in Taiwan

Agenda

10 / 7 (Fri) Life Science Building, R628 conference room

Time	Speaker	Topic
09:00-09:30	Registration	
09:30-09:40	Opening	
Population and habitat ecology of <i>Sousa chinensis</i>		<u>Moderator:</u> Dr. Hin-Kiu Mok
09:40-10:10	Dr. Lien-Siang Chou	Habitat use and population size of the Indo-Pacific humpback dolphin, <i>Sousa chinensis</i> , off the western coast of Taiwan
10:10-10:40	Dr. Leszek Karczmarski	Conservation ecology of humpback dolphins (genus <i>Sousa</i>): A comparative perspective
10:40-11:00	Coffee Break	
Case-study reports on marine mammal monitoring by PAM		<u>Moderator:</u> Dr. Hong-Young Yan
11:00-11:30	Dr. Tomonari Akamatsu	Density estimation and direct counting of odontocetes using stereo acoustic event recorders
11:30-12:00	Dr. Marc O. Lammers	Long-term passive acoustic monitoring of marine ecosystems in the Hawaiian archipelago
12:00-13:10	Lunch	
13:10-13:40	Mr. Tzu-Hao Lin	Passive acoustic monitoring of Indo-Pacific humpback dolphins in western Taiwan waters
Scheme of passive acoustic monitoring system		<u>Moderator:</u> Dr. Chia-Chi Sung
13:40-14:10	Dr. Chi-Fang Chen Dr. Hsiang-Chih Chan	Preliminary proposal on the PAM system off the western Taiwan
14:10-16:00	Open Discussion	<u>Moderator:</u> Dr. Ruey-Chang Wei

10 / 8 (Sat) Department of Engineering Science and Ocean Engineering, R262

Time	Topic
09:00-09:30	Registration
09:30-12:00	Roundtable meeting, drafting the conclusion

Habitat use and population size of the Indo-Pacific humpback dolphin, *Sousa chinensis*, off the western coast of Taiwan

Lien-Siang Chou¹, Chi-Huei Yeh¹, Tzu-Hao Lin¹, Weilung Chang¹, Hsin-Yi Yu¹ and Pei-Fen Lee¹

¹Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University

Chinese white dolphins, *Sousa chinensis*, a likely isolated population, inhabit shallow coastal waters of western Taiwan and were categorized as “critically endangered” on the IUCN Red List. Effective conservation measures are critically needed. The purpose of our research is to obtain the most crucial baseline information for conservation decision making, including the population parameters, size, and distribution range. After intensive and extensive fishermen interview survey, we selected the coastal waters of 5 counties of western Taiwan (from the Miaoli with latitudes 24°44.5′ and longitudes 120°51′, to the southern end of Chiayi with latitudes 23°20′ and longitudes 119°59′), and have executed 318 days of boat surveys with 20,770 km distance parallel to the shore line from 2006-2010 April. In total, 268 groups were sighted. We confirmed that the distribution range was a narrow coastal strip of the north-south direction along the middle-western coast, with mean distance 1.41km from the shore, and mean water depth 7.61m (the majority of groups seen in water less than 15 m deep). There appear to be two core areas with higher sighting rates, one at north and the other further south, with low sighting rate area in between.

The total number of dolphins identified through photographic techniques was 71 non-calf individuals. The population size was estimated 69-86 by mark-recapture methods, which reinforces the notion on the highly vulnerable, likely critically endangered status of this population. Based on 57 individuals with more than ten sightings each, we estimate their average home range at 192.6 km² per dolphin by method of Minimum Convex Polygon, and 756 km² for the whole population estimated by kernel density method. However, the use of this home range water was not even. By overlapping each individual core area of 57 dolphins, we identified two heavily used "hot area", which were located in the shallow waters of Miaoli-Taichung City, and Yunlin-the west side of the Waisanding sandbar. These results are consistent with the spatial variation of sighting rates. Using spatial home range parameters (*i.e.*, minimum, median and maximum latitude degree) for cluster analysis, we can distinguish four clusters, *i.e.* southern/northern resident and southern/northern transient dolphin groups. For the two resident groups, the ranges of all individuals are limited to a single hot area, while the transients cover both core areas, albeit with a defined preference for one of these "hot area".

Conservation ecology of humpback dolphins (genus *Sousa*): A comparative perspective

Leszek Karczmarski¹

¹The Swire Institute of Marine Science, School of Biological Sciences, The University of Hong Kong

Humpback dolphins (*Sousa* sp.) inhabit shallow coastal waters of Western Pacific (*Sousa chinensis*), Indian Ocean (*Sousa plumbea*) and tropical West Africa (*Sousa teuszii*); their taxonomy remains debatable. In many regions, the continued survival of a number of local populations remains uncertain, often threatened and/or endangered; habitat loss and incidental fishery-causer mortality represent the greatest threats.

Whenever studied, humpback dolphins occur in small numbers and population growth rates are low. They often depend on limited type of inshore habitats within their restricted inshore distribution; although habitat type differs with region and location. Water depth limits their offshore ranging, and the availability of suitable foraging grounds (and potentially nursing grounds) determine individual habitat use pattern and long-shore movements, and, consequently, the overall population distribution and range. Consequently, they are highly susceptible to the adverse effects of human activities in the coastal waters; habitat loss, alteration and/or destruction of inshore coastal environments, and depletion of local resources, both food and shelter, represent the greatest potential challenges to long-term survival of local populations. The only greater potential threat is direct removals through either incidental or deliberate kills (e.g. some regions in southeast Asia and Africa).

Very few studies have addressed the population ecology and socio-ecology, although these are critical to a functional design and implementation of conservation measures. The few known cases indicate that humpback dolphins frequently form dynamic fission-fusion societies with limited long-term bonding. Their geographic fidelity and residence rates reflect the structure of local habitats; it increases in predictable habitats but remains generally weak in dynamic environments with limited and/or seasonally variable resources. Individual movement and ranging pattern is to some degree affected by age and, at least in the case of females, reproductive status; although the overall pattern of a population is largely shaped by the habitat size and structure and availability of local resources. For example, off

the exposed southeast coast of South Africa, humpback dolphins live in small groups with weak inter-individual associations, while less than 1500 km to the north, in the relatively sheltered Maputo Bay, Mozambique, they form considerably larger and more stable units of association. Along the South African coast, both males and females range over long distances, while the Maputo Bay population shows significantly stronger geographic fidelity. However, these differences do not follow any specific geographic gradient but rather correspond with environmental conditions at each of the investigated locations. The above example and a limited number of comparable studies indicate that the abundance of resources and intra-group scramble competition determine group size and stability, while the distribution of foraging grounds and other critical resources determine individual ranging patterns and effective availability of mates. All the above factors and the apparently habitat-driven differences have serious implications in determining population vulnerability and delineation of effective management units.

Throughout the genus range, very little is known about the genetic structure of local populations, population connectivity and the rate of gene flow. However, preliminary studies in the Pearl River Delta indicate surprisingly low genetic diversity, a potential cause of further conservation concerns. Spatial ecology represents another little known aspect, although earlier and recent research in South Africa indicates highly specific use of certain types of habitat, especially as it concerns foraging grounds, supporting the earlier notion of the dependability on limited local resources. As such, humpback dolphins appear far more 'specialists' than 'generalists' in various aspects of their ecology, and as it is the case in all such specialists, the spectrum of their adaptability and ecological resilience is limited. This is yet another factor of major importance and major concern to all management agencies charged with coastal conservation management in areas where humpback dolphins occur.

Very few analyses of population trends have been performed, but a recent work in the Pearl River Delta depicts a grim perspective, with the population that is thought to be the largest in Asia, possibly among the largest across entire range of the genus, decreasing with an alarming rate of 2.45%/year. If this rate of decrease continues (and there are reasons suggesting that it might become even larger as the time progresses), the population numbers are likely to drop to less than 30% of the current figure in less than three generations.

In Taiwan, humpback dolphins occur as evidently small (less than 100) and apparently isolated population inhabiting the west coast; the population is listed as "endangered" by the World Conservation Union (IUCN). The crude birth rate for this population was estimated at 6.4%; although births occur throughout the year, there is a significant increase during spring and summer. The survivorship to age 1 is estimated at 6.6%, with the survival rate of 7.8% and the recruitment rate of 9%. While these parameters are comparable to those reported for other humpback dolphin populations, the calving interval estimated at 3.52 years for the Taiwan dolphins is longer than anticipated. The population seems to be sub-divided into two communities; however, even though most of the individuals appear more-or-less resident in their respective community range, there is a considerable number of "transient" dolphins that are seen in both communities. Consequently, the individual communities do not represent individual management units, but it is the entire population that needs to be treated as such. The causes of the population sub-division remain unknown; it could be due to the differences on geographic features of the area and individual habitat preferences, but it could also be due to more recent environmental disturbance in the middle of the population range. Further studies are highly recommended, including genetic component which, jointly with the photo-ID work could provide insights into the causes of the current population structure. All current and projected anthropogenic stressors affecting individual animals as well as the entire population require careful attention. Further analyses of population parameters and socio-behavioural dynamics, and their incorporation into demographic models as part of population viability analysis would be a very important next step which could lead to both better understanding of the local population and better management practices.

Density estimation and direct counting of odontocetes using stereo acoustic event recorders

Tomonari Akamatsu¹, Ding Wang², Kexiong Wang², Satoko Kimura³, Songhai Li^{2,4}, Lijun Dong²,
Xiujiang Zhao²

¹ National Research Institute of Fisheries Engineering, Hasaki, Kamisu, Ibaraki 314-0408,
Japan

² Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R.China

³ Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan

⁴ Marine Mammal Research Program, Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii,
46-007 Lilipuna Road, Kaneohe, HI 96744, USA

Small stereo passive acoustic event recorders (A-tag) have been used to separate biosonar sound sources individually in the Yangtze River, China. Independent sound source directions were used to count the number of phonating porpoises by fixed and mobile observation platforms. Excluding ship noise and irregularly changed inter-pulse interval sounds by custom-made software, small false alarm rate (8.6%) and high correct detection (74.7%) were confirmed. For this calculation, acoustic cue-production rate of the animal was measured by biologging experiments, which also provided the source level and beam patterns. Long-term monitoring at the conjunction area of the river and Poyang Lake during 466 days from June 2007 to May 2009 showed variation in the density 0 to 4.79 animals/km²/day. Results suggested a potential gap and seasonal migration of the population in the bottleneck of the lake. Range-wide survey covered 1700 km historic habitat of Yangtze finless porpoises was conducted using two research vessels, which towed A-tags concurrent with visual observation. Acoustically, 204 and 199 porpoises were detected by two vessels, respectively within 300 m from the cruise track. The calculated detection probability using acoustic method was approximately twice that for visual detection for each vessel. Abundance of finless porpoises in the Yangtze River was compared between visual and acoustical observations.

Long-term passive acoustic monitoring of marine ecosystems in the Hawaiian archipelago

Marc O. Lammers^{1,2}

¹ Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii, Kaneohe, Hawaii

² NOAA Fisheries, Pacific Islands Fisheries Science Center, Coral Reef Ecosystem Division, Honolulu, Hawaii

Monitoring the changing state of marine habitats in remote areas is, in most cases, a challenging task due to limited and/or infrequent opportunities to make direct observations. Passive acoustic monitoring is sometimes the best means of establishing long-term biological trends in such areas. Since 2006, an effort has been underway to monitor marine ecosystems of the Hawaiian archipelago using a network of Ecological Acoustic Recorders. A wide range of acoustic signals are being monitored to infer biological trends and to gauge the relative stability of the ecosystem. Among the variables measured are the acoustic activity of snapping shrimp and fish, and the incidence of cetaceans. Multiyear time series of the different measures provide baseline levels of biological activity at each location and also reveal periods of anomaly. The data obtained are providing valuable insights into seasonal trends and geographic variations in the occurrence of various taxa.

Passive acoustic monitoring of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in western Taiwan waters

Lin, Tzu-Hao^{*1}, Akamatsu, Tomonari², Chou, Lien-Siang¹

¹ Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

² National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency, Hasaki, Japan

A marine protected area was proposed for the critically endangered population of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). Due to its wide range, limited monitoring range can only be covered by traditional visual observation. Visual observation was also impeded by strong northeast monsoon during fall and winter. Passive acoustic monitoring (PAM) provides the ability to monitor the occurrence of dolphins in continuous period. In order to understand the temporal and spatial behavioral pattern of humpback dolphins, stereo acoustic data loggers (A-tag) were deployed on a fixed pile near the Xin Huway River Estuary. The echolocation clicks produced from humpback dolphins was recorded since July 2009. Humpback dolphins' vocal activity showed a significant difference between tidal phases, but no difference between diel phases was found in the monitoring area. However, the significant tidal activity pattern was only observed during spring and summer when the vocal activity was also high. The spatial distribution of acoustical encounters showed a clear movement toward river estuary during dry months. It suggests the behavioral pattern of humpback dolphins was significantly influenced by river discharges. The results also show the habitat use pattern of dolphins can be revealed by PAM after long-term monitoring.

Preliminary proposal on the PAM system off the western Taiwan

Chi-Fang Chen¹, Hsiang-Chih Chan¹, Ruey-Chang Wei²

¹ Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

² Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology, National Sun Yat-sen University

Passive acoustics is a useful tool for underwater detection, which can apply to protect the *Sousa chinensis* in coastal region off the western Taiwan. The water depths in the marine pretention area are not over 15 m, and there are not enough measurement data to support the environmental assessments in time- and space-variance. We use ocean model results to represent the ocean environment, such as ocean currents, temperatures, salinities, and sea surface heights. The sound speed profiles for acoustic propagation models are calculated with temperatures and salinities from ocean model. In this study, we will present the scenario of underwater noise monitoring by numerical models. The simulated results indicate that detection ranges of shipping noises below 500 Hz are approximated as 5 km for receivers deployed at 15 m water depth along coast. We also observe the noise impact on cetaceans might be severe near Penghu Channel, which is an effective acoustic propagation channel. For design and deployment of the passive acoustics monitoring, hydrophones should be moored on the seabed due to detection performance (downward refraction of sound rays) and system security (fishing activity). Moreover, we also calculate the effect of tidal currents on the data buoy, which is an important instrument to transmit the monitoring signals in real-time. We would like to acknowledge Dr. Sheng-Fong Lin (from Industrial Technology Research Institute) who provides very useful ocean model results. This work is supported by the Forestry Bureau of R.O.C. (No. 100-林發-07.1-保-37).

Appendix

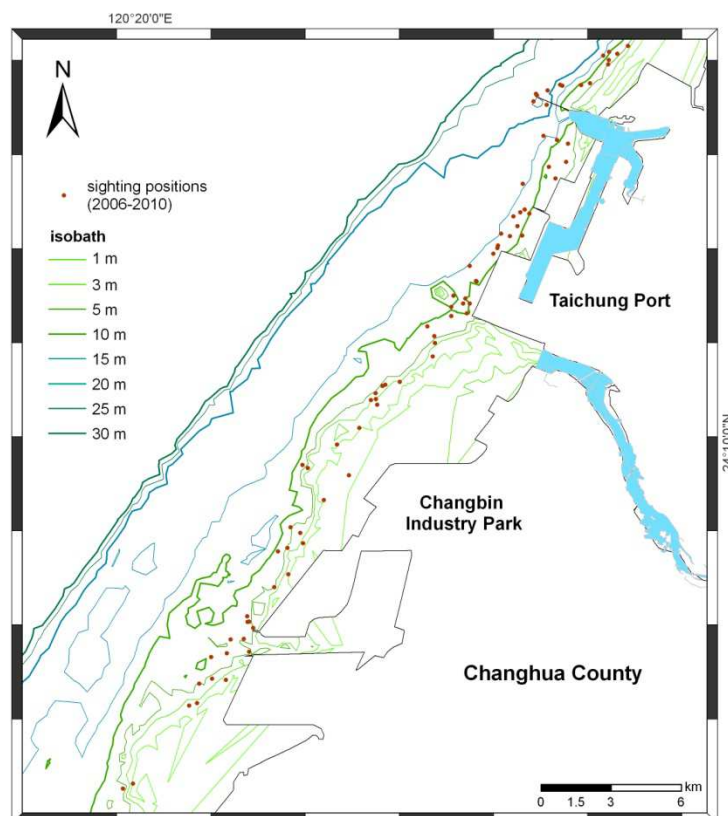
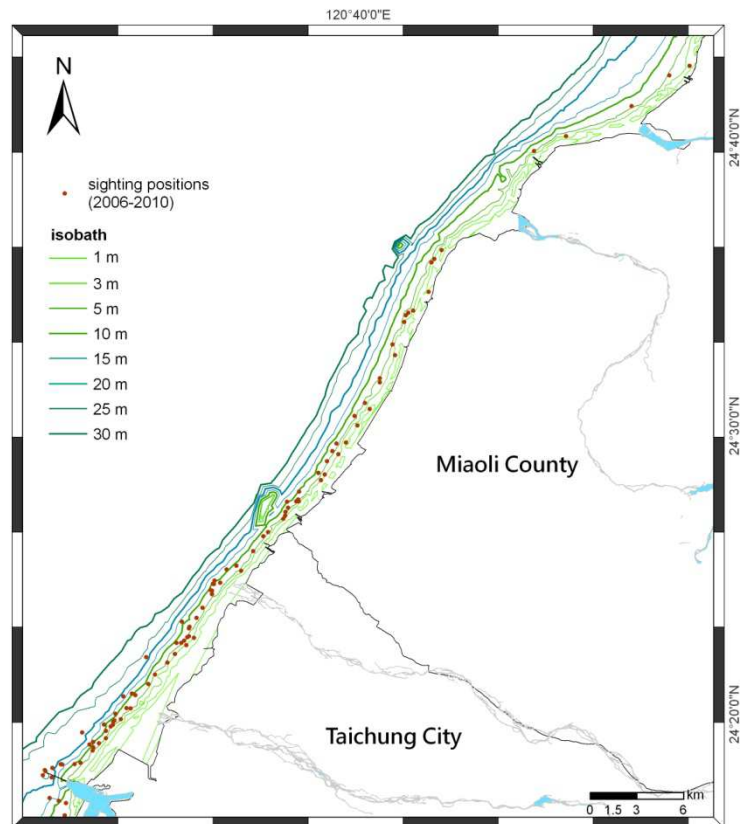
****Unpublished data, please do not cite without written permission.**

Appendix 1. a) The proposed major wildlife habitats of Indo-Pacific humpback dolphins.

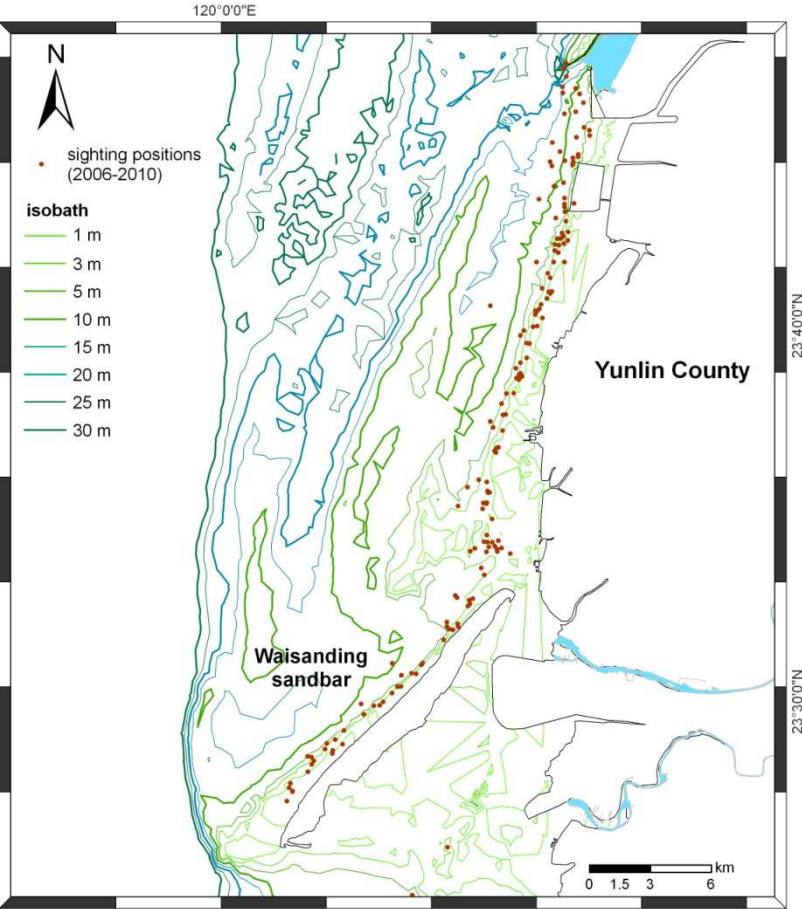
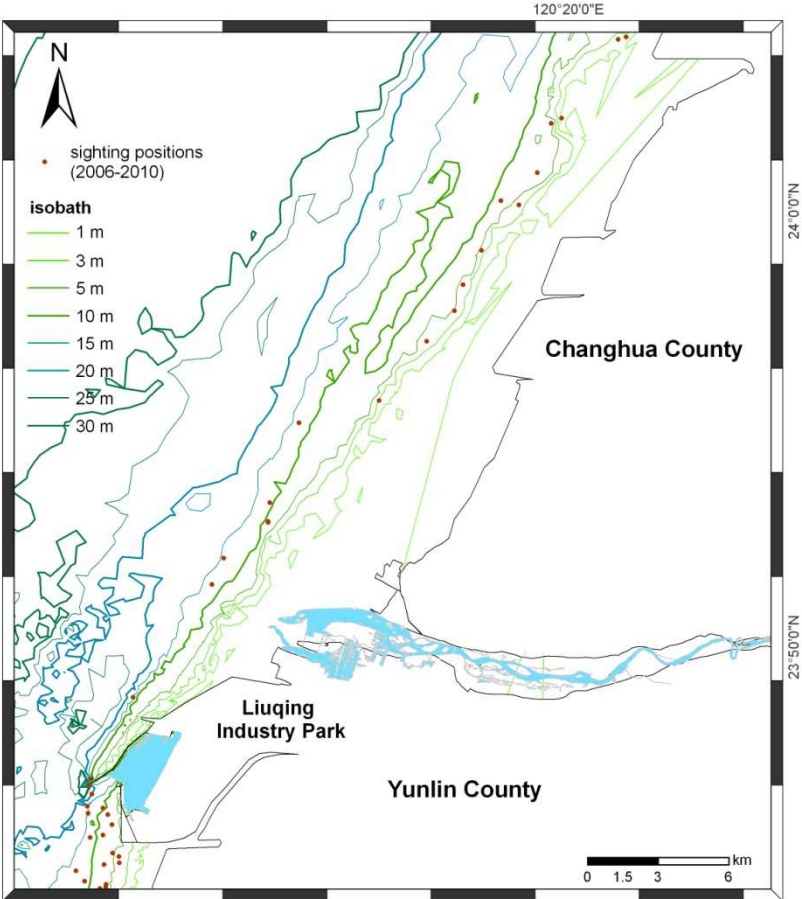


****Unpublished data, please do not cite without written permission.**

Appendix1. b) Sighting locations of Indo-Pacific humpback dolphins (red dots) in four sections of proposed major wildlife habitats.

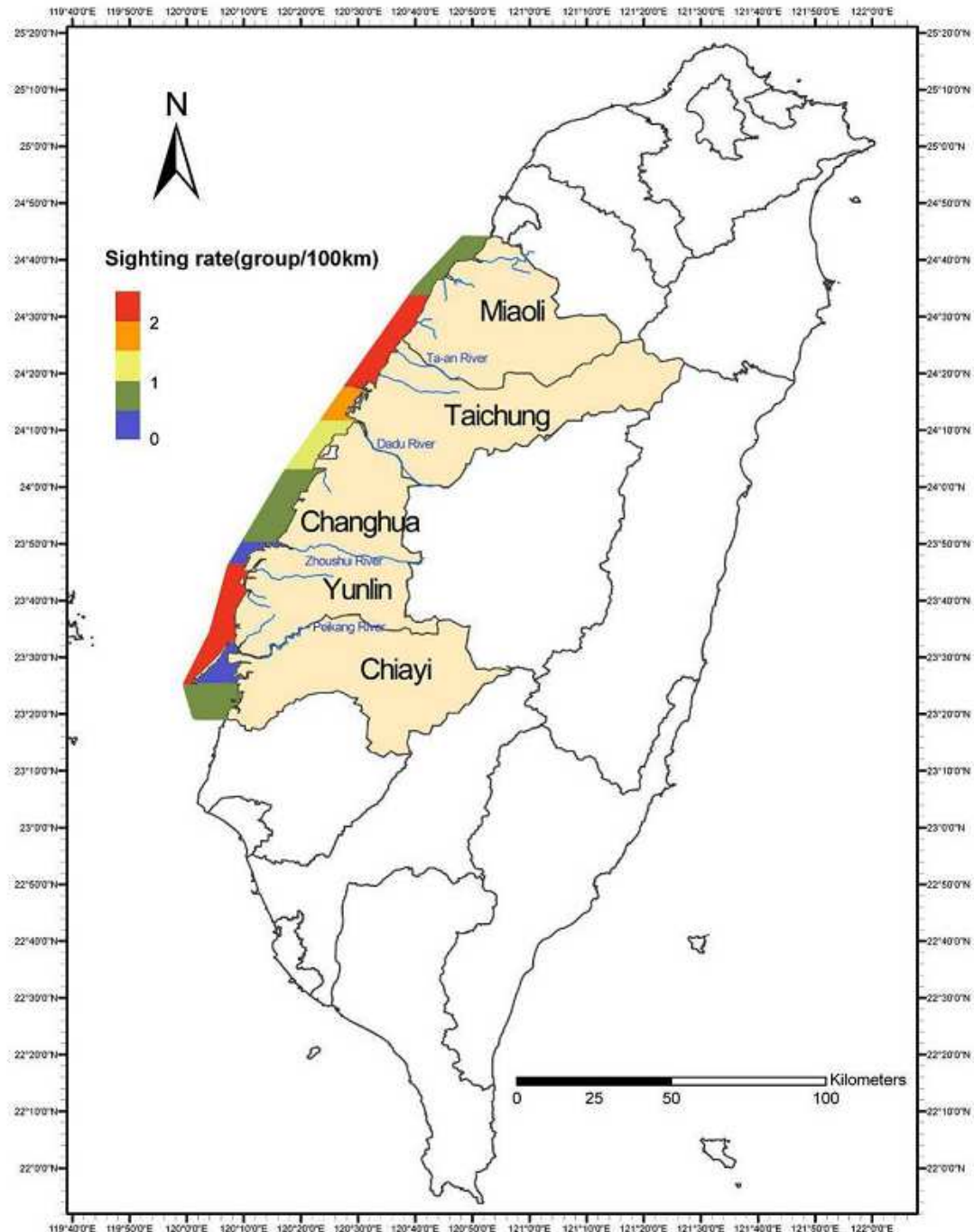


****Unpublished data, please do not cite without written permission.**



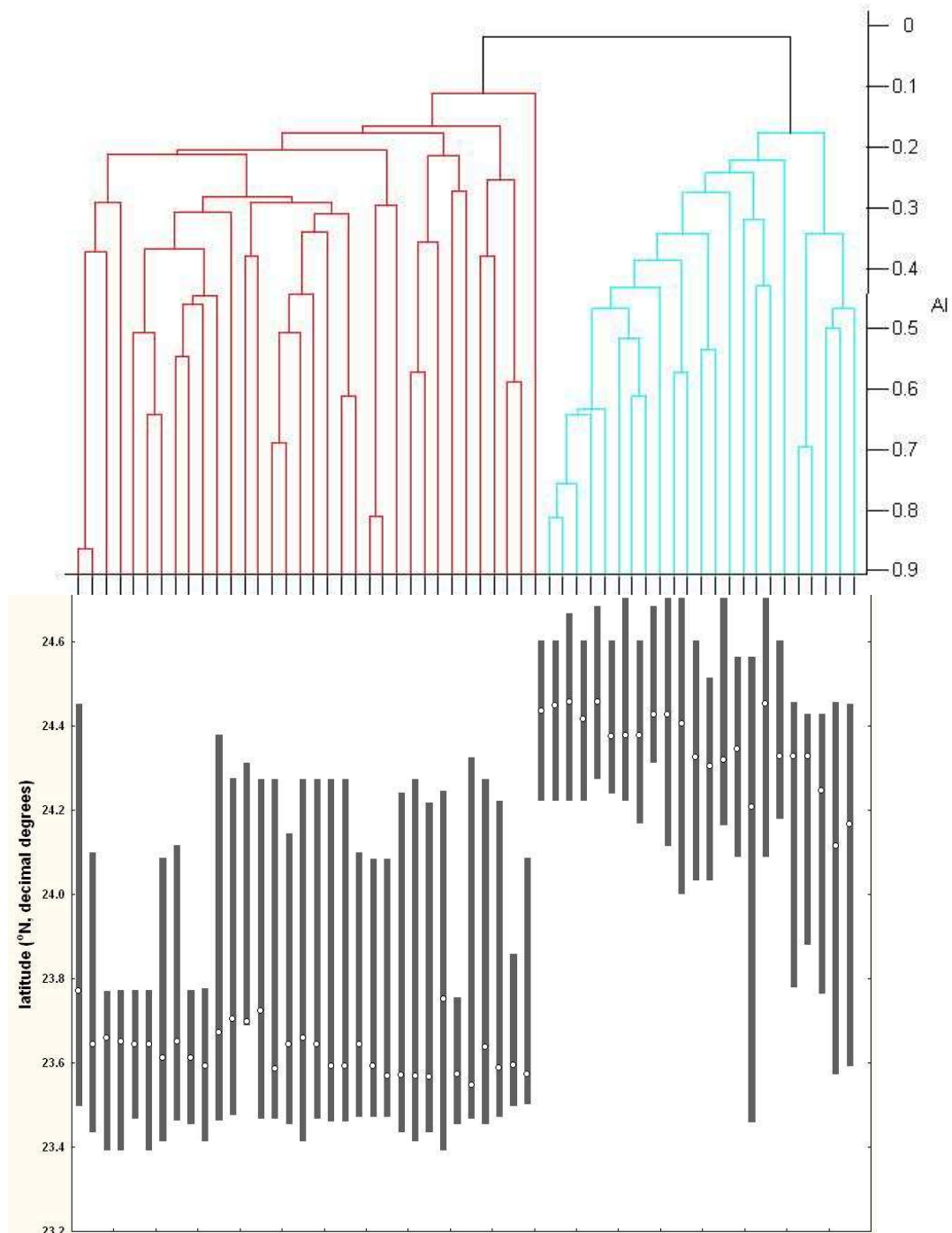
****Unpublished data, please do not cite without written permission.**

Appendix 2. Sighting rate (group/100km) of Indo-Pacific humpback dolphins based on on-board survey in inshore waters during 2006-2010 Apr. The width of color section is enlarged for easier view.



****Unpublished data, please do not cite without written permission.**

Appendix 3. The relationship strengths and latitudinal ranges of 57 dolphins. AI is the association index calculated by the half-weight index.



****Unpublished data, please do not cite without written permission.**

Appendix 4. a) Environmental factors; and b) vocalization characteristics of Indo-Pacific humpback dolphins.

a)

Environmental factors

- Environmental factors when dolphins were encountered during on-board surveys

Env. factor	Mean	Range (min-max)	95% percentile
Depth (m)	7.61	2.1-32.2	15.0
Temperature (°C)	28.83	22.0-33.9	30.6
Salinity (ppt)	32.54	27.7-34.9	34.6
Distance to shore (km)	1.41	0.04-5.9	3.40

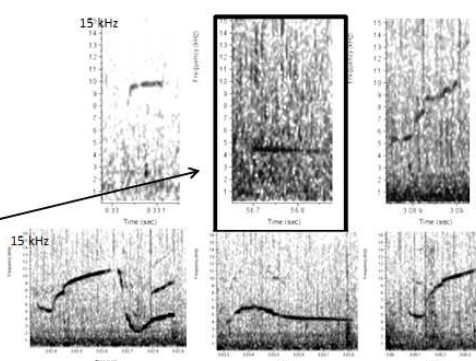
- The 95%, 99% and the peak probability of Px in cumulative distribution function of depth and distance to shore when dolphins were encountered between 4 different sections

section	Depth (m)				Distance to shore (km)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
95%Px	16-17	10-11	11-12	13-14	2-2.5	3.5-4	5-5.5	2.5-3
99%Px	20-21	12-13	14-15	17-18	2.5-3	5-5.5	6-6.5	3.5-4
peak	8-10	6-9	7-9	5-8	1-2	1-2.5	2.5-4.5	0.5-2

b)

Vocalization characteristics

- Broadband sound
 - Click
 - Frequency range from **10 - >44 kHz**
 - Goold & Jefferson (2004) described the peak frequency range between 100-180 kHz
 - Burst pulse
 - Inter pulse interval < 10 ms
 - Frequency range from **3 - >44 kHz**
- Narrowband sound
 - Whistle
 - Frequency range from **2-22 kHz** according to different call types
 - Constant frequency type
 - 4-5 kHz**, occupied 55% of tonal sounds



Workshop on

Acoustic Monitoring for the Marine Protected Area of

***Sousa chinensis* in Taiwan**

Attending list

Name	Affiliation / Department
Leszek Karczmarski	The University of Hong Kong, Hong Kong / School of Biological Sciences
Marc O. Lammers	University of Hawaii at Manoa, U.S.A. / Hawaii Institute of Marine Biology
Tomonari Akamatsu	Fisheries Research Agency, Japan / National Research Institute of Fisheries Engineering
管立豪	農委會林務局/保育組 Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan / Conservation Division
張弘毅	農委會林務局/保育組 Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan / Conservation Division
林華慶	農委會林務局/保育組 Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan / Conservation Division
陳琪芳 Chi-Fang Chen	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
周蓮香 Lien-Siang Chou	國立臺灣大學/生態學及演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
高家俊 Chia-Chuen Kao	國家實驗研究院/台灣海洋科技研究中心 National Applied Research Laboratories / Taiwan Ocean Research Institute
宋家驥 Chia-Chi Sung	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
范揚泓 Yang-Ming Fan	國立成功大學/近海水文中心 National Cheng Kung University / Coastal Ocean Monitoring Center
嚴宏洋 Hong-Young Yan	中央研究院/臨海研究站 Academia Sinica / Marine Research Station
莫顯蕎 Hin-Kiu Mok	國立中山大學/海洋生物研究所 National Sun Yat-sen University / Institute of Marine Biology
王兆璋 Chau-Chang Wang	國立中山大學/海下科技暨應用物理研究所 National Sun Yat-sen University / Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology

魏瑞昌 Ruey-Chang Wei	國立中山大學/海下科技暨應用物理研究所 National Sun Yat-Sen University / Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology
湛翔智 Hsiang-Chih Chan	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
林子皓 Tzu-Hao Lin	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
余欣怡 Hsin-Yi Yu	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
Florence Evacitas	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
張維倫 Wei-Lung Chang	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
葉志慧 Chih-Huey Yeh	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
林思瑩 Si-Ing Lin	國立臺灣大學/生態學與演化生物學研究所 National Taiwan University / Institute of Ecology & Evolutionary Biology
秦敬仁	國立中山大學/海下科技暨應用物理研究所 National Sun Yat-sen University / Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology
張偉涵	國立中山大學/海下科技暨應用物理研究所 National Sun Yat-sen University / Institute of Applied Marine Physics and Undersea Technology
吳誌豪	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
方銀營	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
蔡鴻儒	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
吳高兆	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
林天祥	國立臺灣大學/工程科學及海洋工程學系 National Taiwan University / Department of Engineering Science and Ocean Engineering
邱百合	國立中山大學/海洋生物研究所 National Sun Yat-sen University / Institute of Marine Biology