

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 101-林發-08-保-14

中華白海豚族群生態與棲地環境 噪音監測計畫

Population Ecology of Chinese White Dolphins and
Ambient Noise Monitoring in its Habitat



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立台灣大學生態與演化生物研究所

國立中山大學海下科技暨應用物理研究所

計畫主持人：周蓮香 教授

國立台灣大學生態與演化生物研究所

協同主持人：魏瑞昌 助理教授

國立中山大學海下科技暨應用物理研究所

中華民國 一百零一年十二月

目 錄

| 內容 | 頁碼 |
|---------------------------|-----|
| 研究人員名錄 | i |
| 謝誌 | ii |
| 總摘要 | iii |
| 第壹章 計畫緣起與目標 | 1 |
| 第貳章 中華白海豚族群在熱區的長期監測 | 5 |
| 第參章 中華白海豚在重要棲息環境範圍之時空密度變異 | 35 |
| 第肆章 應用水下聲學定點監測中華白海豚行為生態 | 55 |
| 第伍章 中華白海豚棲地海洋環境噪音監測與分析 | 77 |

表目錄

第貳章

| | |
|-----------------------------------|----|
| 表一、各航線努力量 | 19 |
| 表二、各行面的中華白海豚目擊率 | 19 |
| 表三、海豚目擊地點環境因子 | 19 |
| 表四、中華白海豚各航線年齡結構 | 20 |
| 表五、各航線的中華白海豚群體資訊 | 20 |
| 表六、匯整各計劃歷年(2006 - 2012)於各調查區段之目擊率 | 20 |

第參章

| | |
|-------------------------------------|----|
| 表一、每季調查期間、努力時間及里程 | 45 |
| 表二、各區域的努力量和目擊群次 | 45 |
| 表三、中華白海豚目擊點與定時測站量測之環境因子分布(n=11,548) | 46 |
| 表四、穿越線相關參數估計 | 46 |
| 表五、中國各地和台灣中華白海豚族群豐度和密度估算比較 | 47 |

第肆章

| | |
|--|----|
| 表一、中華白海豚水下聲學監測努力量與偵測到之哨叫聲累積時間、每小時偵測率及每小時平均秒數 | 67 |
| 表二、廣義線性模型分析中華白海豚哨叫聲偵測秒數在日夜周期與地區雙因子之統計結果 | 67 |
| 表三、廣義線性模型分析中華白海豚哨叫聲偵測秒數在潮汐周期與地區雙因子之統計結果 | 67 |
| 表四、自動化偵測器所偵測出之中華白海豚哨叫聲與寬頻脈衝聲結果範例 | 68 |

第伍章

| | |
|--------------------|----|
| 表一、YL 各頻率聲壓位準之統計分析 | 83 |
| 表二、WS 各頻率聲壓位準之統計分析 | 83 |
| 表三、YL 不同時段平均聲壓位準表 | 83 |
| 表四、WS 不同時段平均聲壓位準表 | 84 |
| 表五、小型漁船噪音與背景值之比較 | 84 |

圖目錄

第貳章

| | |
|--|----|
| 圖一、中華白海豚苗栗白沙屯 - 台中港海上調查航線 | 21 |
| 圖二、中華白海豚外傘頂洲西側沿海海上調查航線 | 22 |
| 圖三、中華白海豚之目擊位置圖。(a) 白沙屯 - 台中港調查海域 (b) 外傘頂洲西側調查海域 | 23 |
| 圖四、中華白海豚目擊觀察 30 分鐘以上的海豚移動軌跡圖。(a) 白沙屯 - 台中港調查海域(n=14);(b)外傘頂洲西側海域(n=3) | 24 |
| 圖五、調查海域的中華白海豚目擊群體大小頻度 | 25 |
| 圖六、台灣西海岸 (a) 白沙屯 - 台中港海域中華白海豚年齡組成;(b) 外傘頂洲西側海域中華白海豚年齡組成 | 26 |
| 圖七、近五年台灣西海岸中華白海豚目擊率(群次/公里)年間變異 | 27 |
| 圖八、近五年台灣西海岸中華白海豚南北熱區目擊率(群次/公里)變化趨勢 | 27 |
| 圖九、各海域中華白海豚目擊率年間變化(a)北熱區各海域目擊率年間變化(2008 年苗栗南海域並未監測, 2010 年台中南海域由於調查海域不完整而不列入計算)(b) 南熱區各海域目擊率年間變化 | 28 |
| 圖十、近五年海上調查趟次 | 29 |
| 圖十一、台灣西海岸中華白海豚累積辨認個體數量 | 29 |
| 圖十二、中華白海豚 (a) 本年度曾出現在北熱區之個體年齡組成示意圖;(b) 曾出現在南熱區之個體年齡組成示意圖 | 30 |
| 圖十三、會出現在南熱區也會出現在北熱區的中華白海豚個體組成 | 31 |
| 圖十四、2012 西岸中華白海豚緯度活動範圍示意圖 | 31 |
| 圖十五、台灣西海岸各海域中華白海豚母子對目擊率(群次/努力公里) | 32 |
| 圖十六、台灣西海岸中華白海豚每月母子對累積目擊次數 | 32 |
| 圖十七、編號#116 個體(a)2011 年照片正常(b)2012 年身上掛有異物 | 33 |
| 圖十八、編號#83 個體(a)2010 年照片正常(b)2012 年有嚴重受傷痕跡 | 33 |
| 圖十九、編號#30 個體 2011 年 3 月身上掛有網具 | 34 |

第參章

| | |
|--|----|
| 圖一、中華白海豚在重要棲息環境範圍之時空密度變異預定調查範圍 | 48 |
| 圖二、2012 年 Z 字型穿越線調查中華白海豚目擊點 | 49 |
| 圖三、2012 年 Z 字型穿越線調查中華白海豚目擊群體估計大小頻度圖 | 50 |
| 圖四、中華白海豚密度在(a)鹽度(ppt),(b)溫度(°C),(c)深度(公尺),(d)pH 值 及(e) 濁度(NTU)等環境因子的分布模型比較 (虛線為 2012 年 Z 字型穿越線調查區域定點測站資料分布, 實線為中華白海豚目擊點資料分布) | 51 |
| 圖五、2012 年 Z 字型穿越線調查中華白海豚南北分布季節差異 | 54 |

第肆章

| | |
|---|----|
| 圖一、彰化縣崙尾水道口儀器佈放位置 | 70 |
| 圖二、雲林縣新虎尾溪口儀器佈放位置 | 70 |
| 圖三、雲林縣外傘頂洲北端儀器佈放位置 | 71 |
| 圖四、本計畫所採用的 SM2M 海洋錄音機固定在儀器支架後，固定在海床上之 前的工作照片 | 71 |
| 圖五、鯨豚哨叫聲自動化偵測系統流程示意圖。(a)短時距傅立葉轉換之原始頻譜 圖，(b)頻譜等化處理後之頻譜圖，(c)篩選出之相對峰值頻率位置(黑色圓 點)，代表鯨豚哨叫聲採納頻率 | 72 |
| 圖六、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之各日夜時段平均哨 叫聲監測秒數，誤差線表示 95% 信心區間 | 73 |
| 圖七、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之各潮汐時段平均哨 叫聲監測秒數，誤差線表示 95% 信心區間 | 73 |
| 圖八、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之採納頻率機率分 布 | 74 |
| 圖九、中華白海豚在外傘頂洲北端之各日夜時段的採納頻率機率分布 | 74 |
| 圖十、中華白海豚在新虎尾溪口之各日夜時段的採納頻率機率分布 | 75 |
| 圖十一、中華白海豚在外傘頂洲北端之各潮汐時段的採納頻率機率分布 | 75 |
| 圖十二、中華白海豚在新虎尾溪口之各潮汐時段的採納頻率機率分布 | 76 |
| 圖十三、中華白海豚哨叫聲與小型漁船噪音之頻譜圖，白色箭頭處為白海豚哨叫 聲出現時間 | 76 |

第伍章

| | |
|-----------------------------------|----|
| 圖一、彰化縣崙尾水道口(CH)儀器佈放位置 | 85 |
| 圖二、雲林縣新虎尾溪口(YL)儀器佈放位置 | 85 |
| 圖三、雲林縣外傘頂洲北端(WS)儀器佈放位置 | 86 |
| 圖四、YL(06/09~06/21)每小時平均之環境噪音時間序列 | 86 |
| 圖五、YL(06/09~06/21)每小時平均之環境噪音時間序列 | 87 |
| 圖六、YL(07/18~08/11)每小時平均之環境噪音時間序列 | 87 |
| 圖七、YL(07/18~08/11)每小時平均之環境噪音時間序列 | 88 |
| 圖八、YL(08/21~09/20)每小時平均之環境噪音時間序列 | 88 |
| 圖九、YL(08/21~09/20)每小時平均之環境噪音時間序列 | 89 |
| 圖十、WS(07/16~07/29)每小時平均之環境噪音時間序列 | 89 |
| 圖十一、WS(07/16~07/29)每小時平均之環境噪音時間序列 | 90 |
| 圖十二、WS(09/02~10/02)每小時平均之環境噪音時間序列 | 90 |
| 圖十三、WS(09/02~10/02)每小時平均之環境噪音時間序列 | 91 |
| 圖十四、YL 聲壓位準分佈之箱型圖 | 91 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 圖十五、WS 聲壓位準分佈之箱型圖..... | 92 |
| 圖十六、YL 於頻率 1 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖..... | 92 |
| 圖十七、YL 於頻率 2 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖..... | 93 |
| 圖十八、WS 於頻率 1 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖..... | 93 |
| 圖十九、WS 於頻率 2 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖..... | 94 |
| 圖二十、石首魚群鳴音時頻譜..... | 94 |
| 圖二十一、小型漁船噪音時頻譜..... | 95 |

研究人員名錄

國立台灣大學
生態學與演化學研究所

主要研究人員：

周蓮香
林子皓
余欣怡
蘇珊慧
郭毓璞
侯 雯

協同研究人員：

林圻鴻
林思瑩
葉志慧
王俊傑
劉明章
劉昱閔
郭祥廈
陳飛龍
王忠斌
吳立信

協同研究人員：

林明慶
吳彥頡
區家欣
莊淳如
劉哲聿
黃彥樺
王錦堯
張 意
張弘明

國立中山大學
海下科技暨應用物理研究所

魏瑞昌
劉建明
郭連翰

誌 謝

台灣西海岸的中華白海豚族群地位極度瀕危，並且正面臨嚴重人為活動威脅，尤其是近年來西部沿海多項工業開發案在環境影響評估過程中皆面臨對中華白海豚族群保育的嚴峻挑戰。為了解中華白海豚在重要棲息環境內的生態資料，提供未來保育相關措施或規範的擬定依據，林務局保育組特委託補助本團隊執行「中華白海豚族群生態與棲地環境噪音監測計畫」。本調查計畫得以進行，源自許多人協助；首先感謝林務局農業委員會管組長立豪、張科長弘毅、林技正華慶及李小姐佩芬的行政協助，及研究期間，承尖再發七號洪昆仲船長、彰濱壹號楊留煜船長、及台福利號林捷成船長協助海上調查。感謝張維倫小姐在個體辨識上的指導與諮詢。最後，感謝兩個研究團隊其他成員對研究相關的瑣務的協助，謹此深致謝忱。

總 摘 要

台灣的中華白海豚族群量小，並且正面臨嚴重人為活動威脅，保育地位「極危」(CR)等級。為了解中華白海豚在重要棲息環境內的生態、環境資料，提供海洋保護區細部區域劃分與相關管制規範的基礎資料，長期監測中華白海豚的生態活動勢在必行。本計畫目的是持續調查中華白海豚在重要熱點區域內之族群生態現況，追蹤年間變動趨勢。另外開啟台灣西岸全區各季節的白海豚分布與密度調查，以釐清關鍵棲地因子與季節性變化。除此之外，本計畫也嘗試建立長期水下聲學監測系統監測中華白海豚水下聲音與環境噪音之變動。本計劃內容包括四大項，其結果分述下：

1. **中華白海豚族群在熱區的長期監測：**本計畫延續過去在中華白海豚的熱區海域（苗栗台中、外傘頂洲西側），於6-9月在兩區各進行10趟海上目視觀測調查，共目擊中華白海豚29群次。與前兩年比較，北熱區的目擊率與以往相似，而南熱區則有下降的趨勢。歷年資料累計辨識出74隻非嬰幼兒個體，但各年度所辨識出之個體數目持續下滑，從2008年的66隻降到本年度的62隻，顯示中華白海豚的族群這五年來為負成長趨勢。此外，本年度反常發現北熱區目擊的母子對次比南熱區多，許多南區個體遷移至北區，顯示其棲地環境品質可能有變化。從照片檢視發現部分個體身上掛有異物以及嚴重受傷的狀況，顯示台灣西岸中華白海豚族群所承受人為活動壓力不小。

2. **中華白海豚在重要棲息環境之時空密度變異探討：**為了解中華白海豚其族群密度與棲地分布的季節變異，本研究採用Z字型穿越線調查法東西與南北向橫跨中華白海豚重要棲息環境預定地，每季一趟5-6天全區調查來記錄白海豚的時空分布變異與環境因子的分布梯度。結果顯示在擴大調查深水區的狀況下，中華白海豚仍沿著近岸海域活動，海豚出現的位置和淺水、稍高濁度之環境因子相關，有河口偏好的傾向。因此建議在以8公尺以淺之海域以及河口海域未來應該劃設為保護區之核心區。此外還在發嘉義海域目擊兩次中華白海豚，且有覓食行為，本區值得後續關注。

3. **應用水下聲學定點監測中華白海豚行為生態：**為了建立可應用在中華白海豚重要棲息環境或保護區內之水下聲學長期監測平台，於新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)放置SM2M海洋錄音機各進行了68天及45天的連續收錄海洋環境噪音資料與中華白海豚聲音。本部分進行中華白海豚的聲音分析，白海豚聲音分為兩大類--寬頻脈衝聲及哨叫聲。新虎尾溪口的每小時哨叫聲偵測率較高，但是外傘頂洲北端平均每小時所偵測到的聲音數量較多。哨叫聲出現的時間模式在日夜週期皆沒有顯著的變異，但是在潮汐週期中，以外傘頂洲北端的漲潮與滿

潮出現機率較高。哨叫聲有六型，其採納頻率分布會隨著日夜、潮汐週期而變，其分佈以 4kHz - 6kHz 頻率範圍為主，但新虎尾溪口的採納頻率略高。此外，白海豚哨叫聲的出現頻度可以反映地區之間的活動變異，其主要音頻範圍容易受到漁船噪音遮蔽，新虎尾溪口的低頻環境噪音較高，可能與人為活動影響有關。

4. 中華白海豚棲地海洋環境噪音監測與分析：上述新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)的海洋錄音機環境噪音監測，另外進行環境噪音時間序列、聲壓位準分佈、時段變動與噪音事件時頻譜等分析。結果顯示 WS 的低頻噪音(125-500 Hz)較低，平均聲壓位準值約 70-76 dB re 1 μ Pa，YL 的平均聲壓位準約 86-88 dB，主要貢獻來源為船舶或工程噪音。日夜週期分析發現環境噪音在頻率 1 kHz 與 2 kHz 有較大且週期性的變動，主要是受到石首魚群大量鳴音的影響，YL 地點的石首魚固定於前夜(18 點至 00 點)出沒，而 WS 區則較不固定。此外，YL 與 WS 兩測站的船舶噪音主要來自於小型漁船或動力小艇，其影響頻率範圍較為高頻，以頻率 4 kHz 上下的能量為最強。中華白海豚哨叫聲的頻率範圍主要以 3-5 kHz 為主，顯示當地為數不少的小型漁船有可能遮蔽海豚哨叫聲。

第壹章、計畫緣起與目標

一、研究背景

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 3km 以內的淺水海域，其中又以 7-8 m 的出現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 1.4 km，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，其目擊點海域的水表鹽度範圍介於 29 ppt (溪口) 至 33 ppt (沿近海) 之間，顯示其對於鹽度的適應能力尚廣。(周蓮香 2006; 2007; 2008; 2009; 2011; 周蓮香與李政諦 2009; 周蓮香等人 2010)。

除了海上調查之外，也在大肚溪口、崙尾水道口、新虎尾溪口、外傘頂洲北端等地透過水下聲學監測中華白海豚的行為活動。各地區都有監測到中華白海豚活動，且白海豚活動呈現一明顯的空間和季節變異。白海豚活動在夏秋轉換之際呈顯著下降，且在冬季發現白海豚聲音的機會最低。除此之外，白海豚日夜與潮汐活動模式皆以春夏季的變異較顯著，初步推論濕季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(周蓮香與李政諦 2010; 周蓮香等人 2010; 2011)。

截至 2011 年為止，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(周蓮香 2011)。台灣的中華白海豚數量，根據過去六年以來之調查結果，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。臺灣中華白海豚族群以目前所知的國內外族群參數，經由數學模式模擬其族群的延續動態，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。因此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棲地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，建議未來保護區成立後應：(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 2010）。

二、擬解決問題

由於台灣西部沿海的漁業資源下降及蓬勃人為活動，台灣的中華白海豚族群在 2008 年 8 月被世界自然保育聯盟(IUCN)列為「極危」(CR)等級。為兼顧環境的保育與開發，農委會林務局即將在近日公告中華白海豚重要棲息環境，並在日後研擬海洋保護區之範圍，以落實中華白海豚棲地的生態保育。為了解中華白海豚在重要棲息環境內的生態、環境資料，提供海洋保護區細部區域劃分與相關管制規範的基礎資料，長期監測中華白海豚的生態活動勢在必行。尤其是長期的行為生態、棲地利用與族群動態指標，將是保育主管機關制定相關保育策略的重要參考資料。但由於重要棲息環境面積廣達 763 平方公里，僅依靠傳統海上調查方法將耗費大量人力。水下聲學是一種輔助目視觀察的方法，可以提供長時間且連續的錄音資料，並針對鯨豚活動、發聲魚類以及海域環境變動進行監測。

本計畫持續調查中華白海豚在重要熱點區域內之族群生態現況，以深入了解其行為生態與族群動態之年間變動趨勢。同時也在台灣西岸進行全區密度調查，以確認影響中華白海豚分布的關鍵棲地因子，並了解其季節性分布趨勢。除此之外，本計畫也建立長期水下聲學監測系統平台，透過監測中華白海豚水下聲音與環境噪音之變動來探討中華白海豚行為活動模式、聲音行為，以及與海洋環境噪音變動之關係。

三、計畫目標

1. 全程目標：

- (1) 長期監測台灣西海岸中華白海豚族群生態活動現況。
- (2) 建立中華白海豚水下聲學長期監測平台。
- (3) 提供台灣中華白海豚重要棲息環境之重要監測指標。

2. 本年度目標：

- (1) 調查臺灣西部兩個中華白海豚高目擊率棲地，苗栗-台中海域，以及外傘頂洲沿岸海域中華白海豚之族群結構、棲地利用模式以及個體辨識資料庫。
- (2) 調查中華白海豚在台灣西部的密度分布模式與海域環境因子之關聯性，以及在不同季節之間之分布模型。
- (3) 利用水下聲學平台調查中華白海豚在日夜與潮汐週期之出現機率以及聲學行為模式。
- (4) 分析中華白海豚棲地的海洋環境噪音趨勢與變動，以及顯著噪音事件與海豚活動之相關性。

四、計畫內容

以下分四章來敘述各個計畫目標的執行成果。

1. 中華白海豚族群生態長期監測：為瞭解台灣西海岸中華白海豚的長期生態變動趨勢，在兩個熱點區域持續調查中華白海豚生態現況，針對海上調查目擊率、空間分布、移動模式、棲地利用與族群交流等生態指標進行歷年資料分析。此外為瞭解族群成長趨勢以及白海豚族群受到人為活動之衝擊，也透過建立個體照片辨識資料庫鑑別歷年個體數量以及身上傷痕之變化。

2. 中華白海豚在重要棲息環境之時空密度變異探討：為瞭解中華白海豚在重要棲息環境預定地之密度及影響分布梯度之關鍵環境因子，在苗栗至嘉義海域進行乙字型穿越線調查以及環境因子資料收集。此外為了進一步探討中華白海豚在重要棲息環境內之可能的季節性分布變異，本計畫也進行了夏秋不同季節的調查，提供未來保護區劃設之分區規劃與管理之重要參考依據。

3. 應用水下聲學定點監測中華白海豚行為生態：為了建立可應用在中華白海豚重要棲息環境或保護區內之水下聲學長期監測平台，本計畫建立了兩個長期測站，並利用海洋錄音機連續收錄海洋環境噪音資料與中華白海豚聲音，分析中華白海豚在日夜周期與潮汐周期之出現機率。此外為了瞭解環境噪音顯著事件與白海豚聲音行為之關聯，結合環境噪音資料探討白海豚與當地優勢魚種聲音之相關性，並分析人為噪音對白海豚之可能的影響。

4. 中華白海豚棲地海洋環境噪音監測與分析：為了應用水下聲音長期監測來了解海洋環境之變動，透過分析海洋環境噪音在各頻率範圍之變異趨勢，來建立各個區域之環境噪音變動模式，並辨識出主要的人為、生物性噪音貢獻來源與時間變異模式。目前的水下聲音監測平台可以作為中華白海豚重要棲息環境之生物活動、人為影響之長期監測平台。

五、參考文獻

- 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畫報告，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畫報告，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畫報告，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畫報告，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，李政諦 2010。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業，88 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，2010。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 2011。中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫，103 頁。
- 周蓮香，陳孟仙，李政諦 2011。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業，139 頁。

第貳章、中華白海豚族群在熱區的長期監測

周蓮香、蘇珊慧、林子皓、余欣怡、郭毓璞、侯雯

國立台灣大學生態學與演化生物學研究所

摘 要

台灣西岸的中華白海豚族群量很小，IUCN 於 2008 年將台灣族群列入 Critically Endangered (CR) 等級。為深入了解及監測中華白海豚的長期生態變動趨勢，本計畫延續過去在中華白海豚的熱區海域（苗栗台中、外傘頂洲西側），於 6-9 月在兩區各進行 10 趟海上目視觀測，追蹤其空間分佈、移動模式、棲地利用及族群交流。調查期間共目擊中華白海豚 29 群次，群次發現率以苗栗台中海域為較高。與前兩年比較，北熱區的目擊率與以往相似，而南熱區則有下降的趨勢。歷年資料累計辨識出 74 隻非嬰幼兒個體，但各年度所辨識出之個體數目持續下滑，從 2008 年的 66 隻降到本年度的 62 隻，顯示中華白海豚的族群這五年來為負成長趨勢。此外，本年度反常發現北熱區目擊的母子對次比南熱區多，還有過去常利用南熱區的個體或母子對，今年在北熱區活動較頻繁，顯示其棲地環境品質可能有變化。從照片資料也發現部分個體身上掛有異物以及嚴重受傷的狀況，顯示台灣西岸中華白海豚族群所承受人為活動壓力不小。為了維繫中華白海豚族群之存續，建議加強白海豚棲息環境內之違法行為取締，推動劃設積極作為的保護區，並研擬可能的禁漁期以回復白海豚棲地內之食餌資源來提升棲地品質。

壹、前言

中華白海豚 (*Sousa chinensis*) 族群分布範圍西起印度東岸、東至澳洲東部 (Jefferson and van Waerebeek 2004)、北迄中國寧德海域 (Chen 2012)，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 (如印度 Goa 灣 842 隻, Sutaria and Jefferson 2004)；而台灣西岸的族群甚至不到 100 隻 (Wang *et al.* 2007, Wang *et al.* 2012)。在台灣，中華白海豚偏好水深 30 公尺以內且受淡水注入的沿岸淺水海域，因棲地與人類沿岸活動範圍大幅重疊，使中華白海豚受到漁業衝擊、水質汙染、噪音影響和棲地減少等危害 (Ross *et al.* 2010)，並且已於 2008 年被 IUCN 紅皮書列入 Critically Endangered (CR) 等級，危急狀況僅次於兩個絕種等級 (Extinct, EX; Extinct in the wild, EW) (Reeves *et al.* 2008)。

有鑑於本種存續之危及性，本團隊自 2006 年展開系統性的科學調查，發現台灣的中華白海豚呈南北狹長的帶狀分佈在近岸海域，從苗栗龍鳳漁港到台南將軍港，且主要分佈在水深 15 公尺、離岸 5 公里以內的淺水海域，其中又以水深 7 – 8 公尺為中華白海豚在台灣西岸最常出現的主要棲息範圍，群體大小範圍為 1 – 5 隻為主，活動範圍包含河口以及沿岸淺水域。藉由照片辨識，過去已建立 71 隻非嬰幼兒的海豚個體名錄 (photo identification catalogue, photo ID catalog)。整體年齡結構上，壯年以上的個體比例偏低 (周蓮香 2008；2009；周蓮香與李政諦 2009；周蓮香等 2011)。藉由五年來累積目擊十次以上的 57 隻個體的活動範圍疊加方法，發現中華白海豚集中使用兩個熱區海域：大安溪口-大肚溪口、以及新虎尾溪口-外傘頂洲西側兩個海域。依據棲地忠誠性分析發現本族群可再分成四小群：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 2011)。另外根據個體間社交的分層群聚分析 (hierarchical cluster analysis)，目擊十次以上的 55 隻個體可分為兩個社群 (community)，各自傾向使用北或南熱區 (張 2011)，與 Dungan *et al.* (2012) 結果類似。為了瞭解此瀕危族群的長期族群生態變動，今年延續兩熱區的海上目視調查，以追蹤其空間分佈、移動模式、棲地利用、族群結構，並探討其族群交流狀況。

貳、材料與方法

一、海上調查

監測區域：本年度共進行 20 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 10 趟，每趟約 80 公里。
2. 外傘頂洲西側沿岸 23°34'N – 23°26'N (圖二)，進行海上調查 10 趟，每趟約 40 公里。

監測方式：

租用漁船於海上沿固定航線航行，每趟調查依照水深 3 – 10 m 之範圍，沿岸來回航行。於 101 年 6 – 9 月選擇天氣良好時，執行 20 趟 (天次) 海上調查。每次進行調查時皆以手持式全球衛星定位系統 GPSmap 60CSx (Garmin Corp., Taiwan) 定位並依照規劃航線進行調查。調查期間在浪級小於 4 級且能見度遠達 500 m 以上時視為有效努力量 (On-effort)，當天氣狀況不佳難以進行有效觀測，或是當進行海豚追蹤時，則視為無效之努力量 (Off-effort)。

每次調查至少有四人參與作業，其中三人各於船首及船隻左右側的高處位置持望遠鏡觀察海面，觀察人員約每 20 分鐘交換一次位置以避免對同一觀察區域產生心理上的疲乏，每個人輪替完三個不同的觀察位置後 (約 1 小時)，會交換到休息位置約 20 分鐘以保持觀察員的體力。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，北緯每經過一分 (約一海浬) 即利用 YSI 30 (Y.S.I., U.S.A.) 量測水表溫度、鹽度，YSI 60 (Y.S.I., U.S.A.) 量測水表氫離子濃度 (pH)，2100Q 濁度計量測濁度 (HACH, U.S.A.)，以及記錄當時漁探機顯示之深度。當遇見海豚時，紀錄最初發現海豚的位置、離船距離與角度，並視情形慢慢接近動物，以估算隻數、觀察海豚的行為，在最初的海豚接觸點量測水表溫度、鹽度、氫離子濃度 (pH)、濁度、水深等環境因子資料，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 (geographic information system,

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, 將長時間調查船隻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(水表溫度、鹽度、pH 值、濁度、水深、最近離岸距離、海豚離船距離) 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、色斑點等特徵當做個體辨識的依據, 建立不同個體的照片辨識名錄, 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褶)、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, 壯年期, 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)。

辨識出個體後, 篩選掉本年度累積目擊次數低於三次的海豚(Xu *et al.* 2012), 以目擊緯度位置, 依據過去利用群集分析棲地忠誠性建立的四個海豚分群: 北部居留者、北部遷移者、南部居留者、南部遷移者(葉 2011), 以分布範圍緯度之最大值、最小值, 及中位數, 繪製出所有個體的分布範圍。

參、結果

一、海上調查

自 2012 年 6 月 27 日至 9 月 13 日為止, 在北熱區(白沙屯至台中港) 執行 10 趟(圖一), 在南熱區(外傘頂洲西側) 執行 10 趟(圖二), 共進行 20 趟次的海上調查。航行時數總計 114.63 小時, 其中努力時數(在調查航線上的時數) 為 84.72 小時, 總計 1106.64 公里(平均每天出航 5.73 小時, 平均調查努力小時 4.23, 平均調查努力量 55.33 公里, 個別努力量如表一)。

1. 中華白海豚的目擊率變化以及棲地利用

二十趟調查中有 13 趟次曾目擊到白海豚, 總航次目擊率為 65%。苗栗-台中海域的趟次目擊率較高, 為 100%, 外傘頂洲海域的趟次目擊率為 30% (表二)。經過標準化努力量後, 不論是每十小時的群次發現率或是每百公里的群次

發現率都是白沙屯至台中港海域較高，分別為 4.91 群次/10 小時與 3.31 群次/100 公里。外傘頂洲海域之群次發現率為 0.89 群次/10 小時與 0.86 群次/100 公里(表二)。

海上調查共目擊中華白海豚 29 群次，在努力航程上目擊的有效群次有 28 群次，另外有一群次為在正在追蹤海豚時看見，並非有效力量調查途中目擊海豚，不列入目擊率的計算。海豚目擊的位置如圖三(包含非有效群次)，多在沿岸海域，接近點水深平均為 5.30 ± 1.03 (\pm SD) 公尺(表三)。苗栗-台中航線上目擊點的分佈較均勻於航線沿岸，大安溪以南到梧棲港北堤間因受沿岸潮間帶地形影響，分佈離岸稍遠(圖三 a)；外傘頂洲海域則集中於沙洲北端，近北港溪與牛挑灣溪河口處的沙洲區(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 29 群次目擊中有 17 群次可供繪製追蹤軌跡如圖四。苗栗-台中海域最長的一次觀察長達 68 分鐘，海豚移動了 4.4 公里。由圖四可看出海豚群體在苗栗-台中海域幾乎完全沿著海岸線活動、範圍不超過離岸 3 公里，且未有明顯的東西向移動，常見覓食行為，原地繞圈和社交行為亦有紀錄。而外傘頂洲海域的海豚群體觀察期間最長為 52 分鐘，海豚游動的距離為 3.2 公里，主要沿著外傘頂洲北海域的沙洲往東北或西南方游動，亦無往外海移動的跡象。外傘頂洲海域的 3 群海豚行為狀態均為遊走，無社交行為或覓食行為出現。軌跡一路延伸到外傘頂洲陸地上，有可能是今年外傘頂洲形狀與位置已有些微改變(地圖為 2010 年 SPOT5 衛星影像資料)，或是與當時潮水位置較高有關。

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 28 群中華白海豚共 105 隻次，平均每群隻數為 3.45 ± 2.65 (\pm SD) 隻(範圍 1-10 隻)，以群體大小 1-2 隻為最常見，佔目擊群次的 53.6% (圖五)，群體大小超過五隻以上的群次則佔 28.6%。白沙屯-台中港區域的海豚群體大小平均為 4.7 ± 4.6 (範圍 1-11 隻)，而外傘頂洲西側的群體大小則是 4.3 ± 1.2 (範圍 4-6 隻)，兩區的群體大小無顯著差異(Mann-Whitney U test, p value = 0.112)。而年齡結構方面，白沙屯-台中港地區壯年以上個體比例佔 37.50% 較外傘頂洲的 11.11% 為多，而青少年個體的比例則相反，外傘頂洲海域的 89% 略高於北熱區海域的 63% (表四、圖六)。

今年在兩處航線調查海域僅發現五對次母子對，皆出現在白沙屯-台中港區域(表五)，除了在白沙屯-台中港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 4–18 隻，且有一次目擊三對母子對的紀錄（表五）。

二、歷年研究結果變動趨勢

彙整 2008 年後南北熱區的海調目擊率，以 2011 年最高（圖七），而南熱區及北熱區的目擊率變化有互補的趨勢，若當年南熱區目擊率偏低，北熱區目擊率就會偏高（圖八）。兩熱區的各海域目擊率變化都呈現波動的趨勢，並沒有持續下降或持續上升，唯獨外傘頂洲海域自 2008 年以後的目擊率趨勢都是下降的（圖九），然而此趨勢與近五年西岸總海調趨次並不相符（圖十）。今年度不同於以往，整體北熱區與南熱區的目擊群體大小並無顯著差異（Mann-Whitney U test, $U = 566$, $p = 0.338$ ）。

藉由個體辨識技術，今年的結果比過去多了兩隻少年個體，使自 2006 年以來的累積隻數增加到 74 隻，但是每年辨識數量卻逐年減少，且母親角色數量亦有減少的趨勢（圖十一）。彙整其他計劃調查包括非熱區海域結果，今年度共辨識出 62 隻非嬰幼兒個體，年齡結構為：少年期 32.26%，青年期 37.10%，壯年期 24.19%，老年期 6.45%。其中曾經在北熱區出現的有 49 隻，年齡結構如圖十二（a）所示，壯年與老年比例略低；在南熱區出現的有 38 隻，年齡結構如圖十二（b）所示，無老年個體，且壯年個體所佔比例甚少，南北兩區年齡結構沒有顯著差異（Pearson's chi-square test, $\chi^2 = 2.987$, $p = 0.225$ ）。另外，其中 25 隻今年度在兩個區域皆有被拍攝到照片，年齡結構與南熱區年齡組成較相似（圖十三），這些遷徙的個體多為原先偏好使用南熱區的個體。

今年度持續監測四個海豚分群的分布範圍，觀察到海豚分布變化趨勢為：北部型的個體有三隻活動範圍往南擴張，但中位數位置還是都落在北熱區之內。南部型個體有 17 隻（48.6%）活動範圍往北熱區擴張，且有 13 隻南部型個體（37.1%）中位數緯度位置落在濁水溪以北，其中又包含 9 隻遷徙型及 4 隻居留型（圖十四）。

根據幼豚跟隨之母豚以及體色、體型大小判斷，今年度在台灣西岸全區共目擊七隻嬰幼年個體，但有一個體未能確認其母親。與去年結果不同的是本年度發現累積目擊頻率以北熱區較高（北熱區：南熱區 = 9：6），其中台中南海域母子對目擊率最高（圖十五）。在季節變化上，從四月到十月均有母子對目擊記錄，大約以夏秋季較多（圖十六）。這六對的母豚中，有五隻是南部遷徙者，另一隻為北部居留者，而五隻南部遷徙者母豚中，有三隻今年有在北熱區目擊的紀錄。

透過照片累積與辨識，我們可以追蹤了解每隻個體的狀況，像是編號#38 號個體在過去兩年（2010、2011）皆未拍攝到照片，但今年度再度發現其蹤跡。今年拍攝到編號#116 號少年個體身上被繩子纏住（圖十七 b），但去年的照片並沒有異樣（圖十七 a）；而編號#83 號壯年個體相較於前一個目擊年分，身上明顯多了許多深的傷痕（圖十八 a、b）。另外編號#66 號以及編號#107 號個體迄今各有三年及四年沒有目擊記錄，且這兩隻多年沒有目擊的個體為一少年個體與一老年個體，與 2009 年擱淺的編號#16 號個體以及 2011 年 4 月擱淺死亡的個體不同。編號#30 號個體在 2011 年 3 月曾目擊身上掛有網具，且在其後乃至於今年皆未再目擊。

肆、討論

一、中華白海豚的目擊率變化以及棲地利用

今年發現北熱區的目擊率遠比南熱區高，北熱區的趟次目擊率 100 %、努力里程標準化之 3.31 群/100 公里，而南熱區的外傘頂洲海域的趟次目擊率僅有 30.0 %、0.86 群/100 公里。同時也發現有 13 隻原屬於南部型的個體活動範圍中位數落在北區。此現象是否與其棲地品質變異有關值得關注，當然目前也無法排除可能只是尋常的年間變異結果。

今年調查結果與往年跟隨白海豚的活動軌跡相似，海豚大多沿南北平行海岸移動，活動範圍多在近岸處，過去研究顯示，瓶鼻海豚的分布熱點多與覓食行為有關（Hastie *et al.* 2004），而關於中華白海豚的食性研究顯示其食餌魚類多為近海、河口性魚種（Jefferson 2000；Barros *et al.* 2004），透過這些移動軌跡，未來可以進一步的分析白海豚不同行為的分布範圍之差異。長時間的跟隨白海豚可獲得許多海豚移動模式及棲地利用的資訊，但仍有許多盲點：無法長時間連續監測，也難以在風大浪高的天候下進行調查（例如：颱風天、東北風盛行時）；故使用衛星追蹤器（Satellite Tracker）則是最有效率且可獲得完整資訊的重要方法（Hooker and Baird 2001），另外使用被動式聲學監測系統（Passive Acoustic monitoring, PAM）也可從不同角度能提供海豚活動的模式資料。

二、中華白海豚族群動態

個體辨識與年齡結構

自 2006 年至 2012 年計畫結束，累積辨識出 74 隻非嬰幼兒個體，其年齡結構為青年與少年各占約 1/3，而老年與壯年合併佔約 1/3，與香港族群明顯不同（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) 台灣族群可能與中國沿海其他族群產生地理隔離，因此在皮膚斑點退色變化的趨勢有所不同。Wang *et al.* (2008) 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、生殖情形對應分析。(2) 受台灣沿海海域環境品質下降影響，台灣老年個體壽命較短。根據林明慶 (2012) 針對台灣的白海豚身上傷疤研究指出，個體越接近老壯年期，身上傷疤比例越高，顯示台灣族群的有受到人為活動壓力，但是否因此而有較短壽命則需要進一步比較各海域之棲地狀況。

社會結構與棲地利用

葉志慧在 2011 的研究依活動範圍，利用群聚分析將台灣中華白海豚分為四個群體：南部居留型、遷徙型及北部居留型、遷徙型，繪製出所有個體的緯度範圍後，發現海豚分布緯度範圍有侷限在北部或南部和範圍跨越南北兩區者，但北部型不論是居留型或遷徙型，其分部緯度中位數位置依舊落在北熱區內；反之，南部型亦然，所以依中位數位置大致可分為南北兩群。今年的調查結果顯示在北熱區活動的個體數量大於南熱區的結果，主要受到南部遷徙者以及南部居留者較頻繁的在北熱區範圍內出現的記錄影響。Rayment *et al.* (2009) 曾提出核心區可以提供重要的資源如庇護處或穩定的食源，今年度相較於歷年分析有較多南部個體出現在北熱區，甚至有南部的母豚帶著嬰幼年個體在北熱區出現。一般來說，海豚活動的核心範圍為其主要覓食食餌資源之棲地 (Hastie *et al.* 2004)，因此推測本年度在西岸南熱區之食餌資源可能有下降之趨勢此一現象是否為一般年間變異或者是今年北部魚類資源較豐富，或是南部魚類資源大幅下降，抑或是有其他因子造成此一現象，需要往後持續監測以深入了解影響中華白海豚南北利用頻度變異之機制。

今年南部個體雖然頻繁在北熱區被目擊，但北熱區的個體並沒有往南移動的趨勢，所以個體對棲地的利用大致上還是分成南北。兩個社群的年齡結構也有所不同，南區的壯年以上個體較少，僅佔不到五分之一，北區則是佔了超過三分之一，代表著兩社群的年齡結構一如過去有著明顯的差異，顯示南北熱區之間可能有棲地功能上的差異，影響在此活動的族群結構。

生殖生態

台灣的中華白海豚全年皆有生殖紀錄，但春夏季為生產高峰 (張 2011)，

此一現象與香港族群相同 (Jefferson 2000)。香港與台灣的研究都顯示中華白海豚有可能有兩次的生殖高峰，分別在四五月與七八月，與中華白海豚可能捕食的魚類如石首魚的主要繁殖季相符 (陳與邵 2010)，未來可多加注意是否海豚的繁殖季與季節性的水溫變化以及食物資源有關。

三、中華白海豚面臨的危機

台灣的中華白海豚族群量在過去五年來有逐年下降的趨勢，回溯過去每年的個體辨識數量在 2008 年為 66 隻，之後每年遞減一隻，今年剩 62 隻。一般動物族群的補充來源來自其他地區族群，或是足歲的幼年個體 (Wells and Scott 1990)。台灣族群目前尚未發現與其他族群交流的個體，因此足歲的幼年個體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，唯有出生率大於死亡率時，族群才有機會成長。Wilson *et al.* (1999) 的族群研究發現：一個海豚族群數量下降 10% 需要調查八年才會發現，如果在更短的時間內發現海豚數量減少更多則表示—海豚個體數量以更快的速度在下降。

目前本團隊在結合不同計畫資源下，海上調查有幸能維持每年 60 趟以上，雖然少數海豚有可能較會躲避特定船隻或使用小範圍棲地而較不容易被目擊，但是有兩隻個體已三年及四年未見，已經兩年未見的個體也有三隻。因此懷疑台灣的族群可能面臨不小的人為活動或環境惡化的影響，台灣西岸沿岸缺乏長期且完整的水質監測資料，誤捕鯨豚也只是要求漁民丟回海中，難以建立重要的資料庫或標本庫。國外有研究顯示多氯聯苯與瓦解海豹和鯨豚的生殖系統和免疫系統有關 (Ross 2000)，而有機汞也有可能在海豚體內累積到令人擔憂的濃度 (Hung *et al.* 2004)。因此棲地品質會直接影響生態承載量，進而影響族群大小與變化趨勢 (Shaffer 1981)。台灣中華白海豚除了面臨海岸與潮間帶快速開發的壓力外，食源也與漁業的目標物種大幅重疊，尤其鯧科和石首魚科都是漁業的重要目標魚種 (柯 2011；林 2012)，加以現代漁具漁法之效率，若保護區無法確實劃設與執法管理，台灣白海豚族群的滅絕將指日可待。未來除了持續監測海豚生態外，應深入探討海豚與食餌之間的互動關係及海豚的棲地利用行為，為了維護熱區棲地品質，建議加強白海豚棲息環境內之違法行為 (底拖網) 取締，進一步推動劃設積極作為的保護區，並研擬可能的禁漁期以復育白海豚棲地內之食餌資源。

伍、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.
- 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.
- 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.
- Chen, B.Y., Zheng, D.M., Wang, L., Xu, X.R., and Yang, G. (2012). The northernmost distribution of Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the world: evidence from preliminary survey in Ningde, China. *Pakistan Journal of Zoology* **44** (5): 1209 – 1214.
- Dungan, S.Z., Hung, S.K., Wang, J.Y., and White, B.N. (2012). Two social communities in the Pearl River Estuary population of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). *Canadian Journal of Zoology* **90**: 1031–1043.
- 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.
- Hastie, G.D., Wilson, B., Wilson, L.J., Parsons, K.M., and Thompson, P.M. (2004). Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphins are linked to foraging. *Marine Biology* **144**: 397–403.
- 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.
- Hung, C.L.H., So, M.K., Connell, D.W., Fung, C.N., Lam, M.H.W., Nicholson, S., Richardson, B.J., Lam, P.K.S. (2004). A preliminary risk assessment of trace elements accumulated in fish to the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) in the Northwestern waters of Hong Kong. *Chemosphere* **56**: 643–651.
- Jaroensutasinee, M., Jutapruet, S., and Jaroensutasinee, M. (2010). Population size of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) at Khanom, Thailand. *Walailak Journal of Science and Technology* **7**(2): 115 – 126.
- 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. (2012). Life history of the Indo-Pacific humpback dolphin in the Pearl River Estuary, southern China. *Marine Mammal Science* **28**(1): 84 – 104.
- Jefferson, T.A., and Van Waerebeek, K. (2004). Geographic Variation in Skull Morphology of Humpback Dolphins (*Sousa* spp.). *Aquatic Mammals* **30**(1): 3 – 17.
- 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.
- Lenanton, R.C.J., and Caputi, N. (1989). The roles of food supply and shelter in the relationship between fishes, in particular *Cnidoglanis 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. pp. 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* **82**(6): 1423–1433.
- 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.
- Ross P.S. (2000). Marine mammals as sentinels in ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment* **6**: 29–46.
- Ross, P.S., Dungan, S.Z., Hung, S.K., Jefferson, T.A., Macfarquhar, C., Perrin, W.F., Riehl, K.N., Slooten, E., Tsai, J., Wang, J.Y., White, B.N., Würsig, B., Yang,

- S.Chu., and Reeves, R.R. (2010). Averting the baiji syndrome: conserving habitat for critically endangered dolphins in eastern taiwan strait. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* **20**: 685–694.
- 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., 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.
- 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., Yang, S.C., Fruet, P.F., Daura-Jorge, F.G., and Secchi, E.R. (2012). Mark-recapture analysis of the critically endangered eastern taiwan strait population of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*): implications for conservation. *Bulletin of marine science* **88**(4):885–902.
- 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.
- Wilson, B., Hammond, P.S., and Thompson, P.M. (1999). Estimating size and assessing trends in a coastal Bottlenose dolphin population. *Ecological Applications* **9** (1): 288–300.

- Xu, X., Zhang, Z., Ma, L., Li, P., Yang, G., Zhou, K. (2012). Site fidelity and association patterns of Indo-Pacific humpback dolphins off the east coast of Zhanjiang, China. *Acta Theriol* **57**: 99 – 109.
- 林明慶，2012。台灣中華白海豚的傷痕研究。碩士論文，台灣大學，台北，台灣，90 頁。
- 林儀禎，2012。台灣西部海域中華白海豚食餌漁獲量的長期變動。碩士論文，中山大學，高雄，台灣，83 頁。
- 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，陳孟仙，黃祥麟，林子皓，張維倫，葉志慧，2010。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，2010。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。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 | 外傘頂洲西側 |
|-------------|-----------|--------|
| 調查趟次 | 10 | 10 |
| 努力里程 (km) | 755.76 | 350.88 |
| 努力時數 (hr) | 50.92 | 33.80 |
| 總努力里程 (km) | 1106.64 | |
| 總努力時數 (hr) | 84.72 | |
| 平均努力里程 (km) | 55.33 | |
| 平均努力時數 (hr) | 4.23 | |

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 | 25 | 3 |
| 趟次目擊率 | 100% | 30% |
| 群/趟 | 2.5 | 0.3 |
| 隻/趟 | 8.50 | 1.50 |
| 群次/10 小時 | 4.91 | 0.89 |
| 群次/100 公里 | 3.31 | 0.86 |

表三、海豚目擊地點環境因子。

| 調查海域 | 白沙屯 - 台中港 | 外傘頂洲西側 |
|-----------|--------------|--------------|
| 水溫 (°C) | 29.02 ± 1.24 | 29.90 ± 0.80 |
| 鹽度 (‰) | 30.90 ± 6.04 | 31.27 ± 1.31 |
| pH | 8.09 ± 0.14 | 8.16 ± 0.07 |
| 濁度 (NTU) | 7.24 ± 6.92 | 5.78 ± 0.90 |
| 水深 (m) | 6.32 ± 3.30 | 4.27 ± 0.87 |
| 離岸距離 (km) | 0.66 ± 0.41 | 0.50 ± 0.35 |

表四、中華白海豚各航線年齡結構。

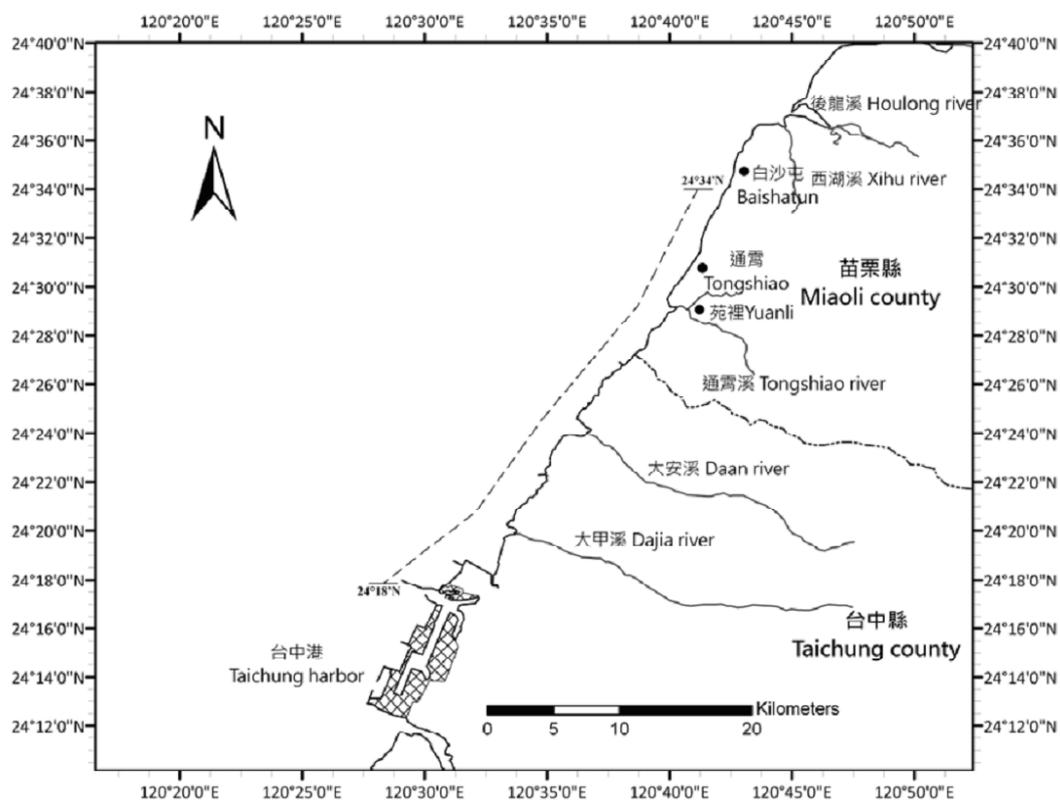
| 調查海域 | 白沙屯 - 台中港 | 外傘頂洲西側 |
|------|-----------|---------|
| 老年 | 7.50 % | 0.00 % |
| 壯年 | 30.00 % | 11.11 % |
| 青年 | 30.00 % | 55.56 % |
| 少年 | 32.50 % | 33.33 % |

表五、各航線的中華白海豚群體資訊。

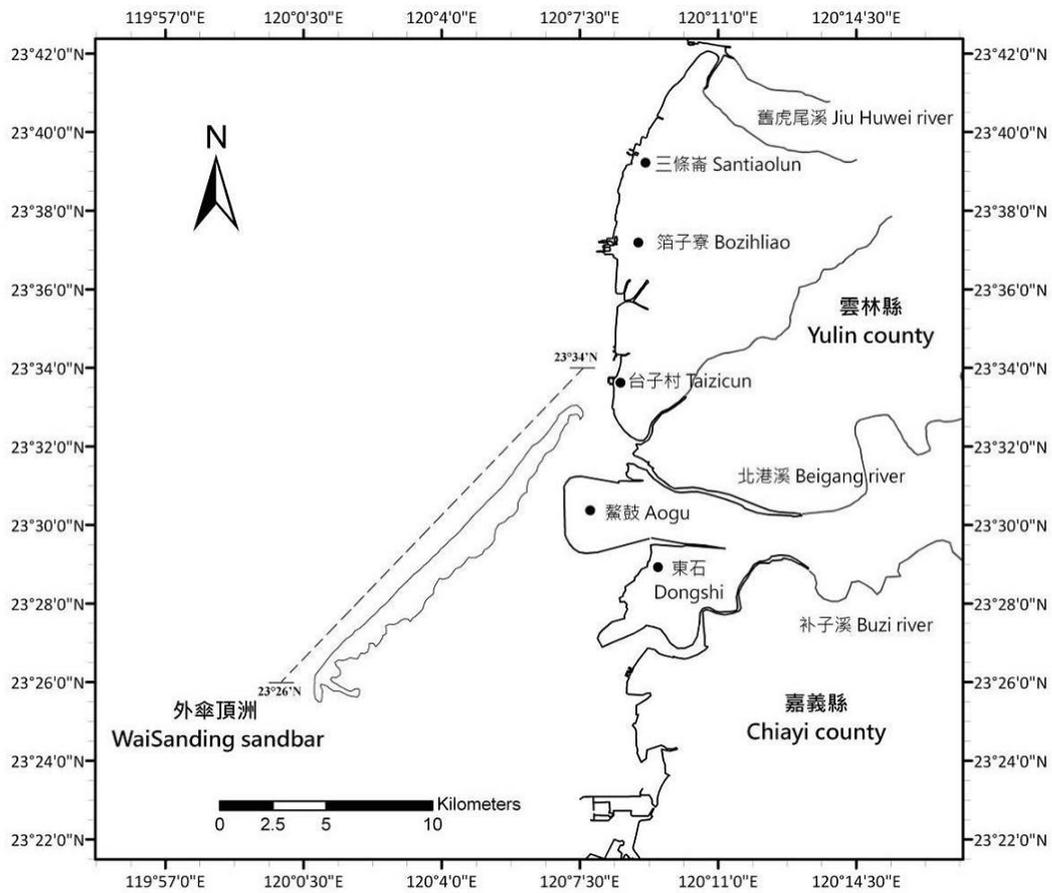
| 調查海域 | 白沙屯 - 台中港 (n=25) | 外傘頂洲西側 (n=3) |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| 平均每群隻數 (\pm 標準偏差) | 4.8 \pm 4.9 | 4.3 \pm 1.2 |
| 累積目擊母子對 | 5 | 0 |
| 平均每趟次母子對 | 0.2 | 0 |
| 育幼群次比例 | 12 % | 0 % |

表六、彙整各計畫歷年 (2006 - 2012 年) 於各調查區段之目擊率。

| 調查區段 | 群/100 公里 | 群/10 小時 |
|------|----------|---------|
| 苗栗北 | 0.94 | 1.35 |
| 苗栗南 | 2.47 | 3.23 |
| 台中北 | 2.99 | 3.94 |
| 台中南 | 2.13 | 2.72 |
| 彰化北 | 1.28 | 1.68 |
| 彰化南 | 0.57 | 0.73 |
| 雲林北 | 0.29 | 0.33 |
| 雲林南 | 2.38 | 2.70 |
| 外傘頂洲 | 2.38 | 2.56 |
| 嘉義 | 0.59 | 0.68 |



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。

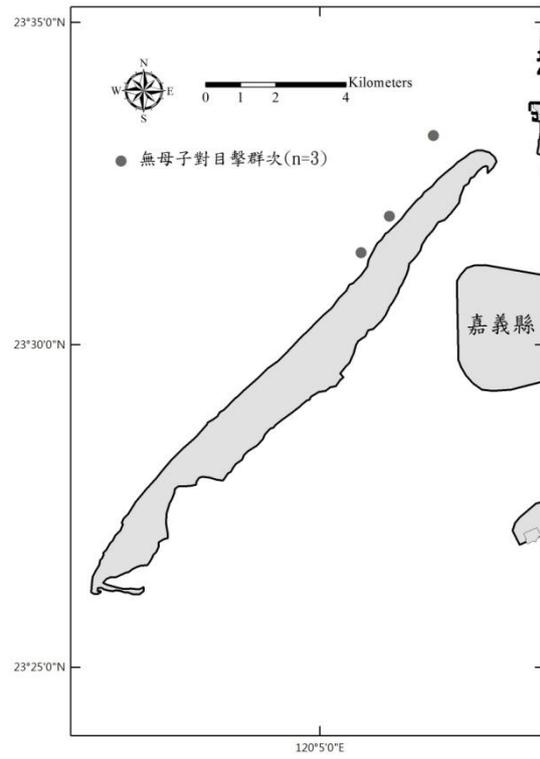


圖二、中華白海豚外傘頂洲西側沿海 23°34'N – 23°26'N 海上調查航線。

(a)



(b)



圖三、中華白海豚之目擊位置圖。(a) 白沙屯 - 台中港調查海域 (b) 外傘頂洲西側調查海域。

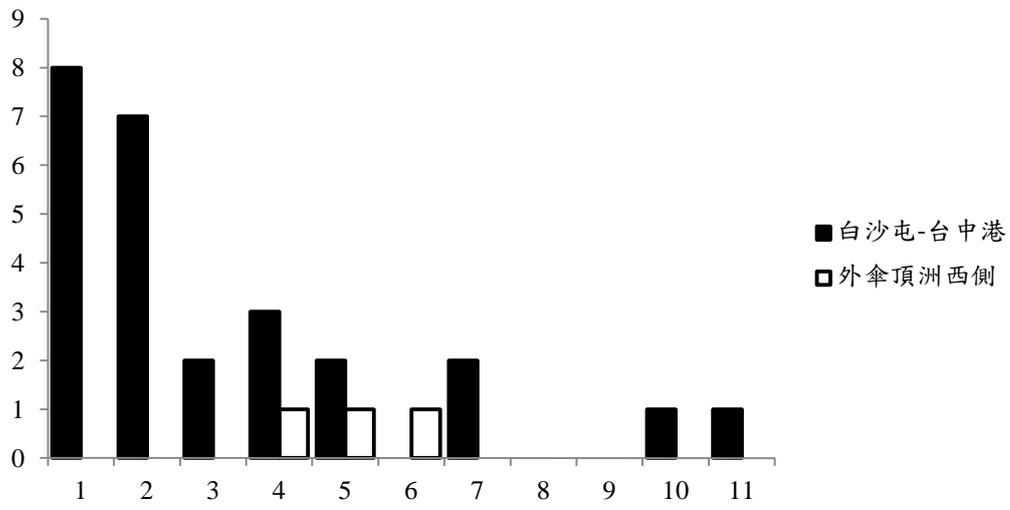
(a)



(b)

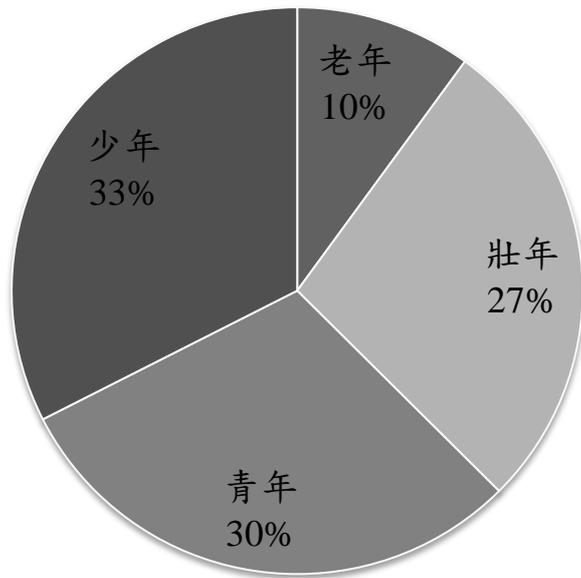


圖四、中華白海豚目擊觀察 30 分鐘以上的海豚移動軌跡圖。(a) 白沙屯 - 台中港調查海域 (n=14); (b) 外傘頂洲西側海域 (n=3)。

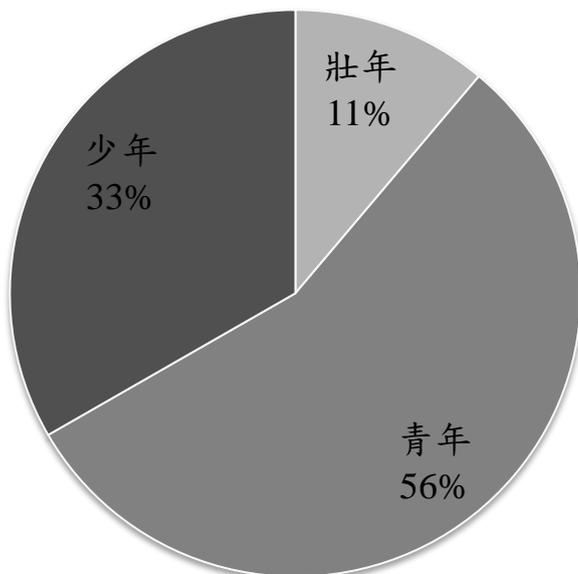


圖五、調查海域的中華白海豚目擊群體大小頻度。

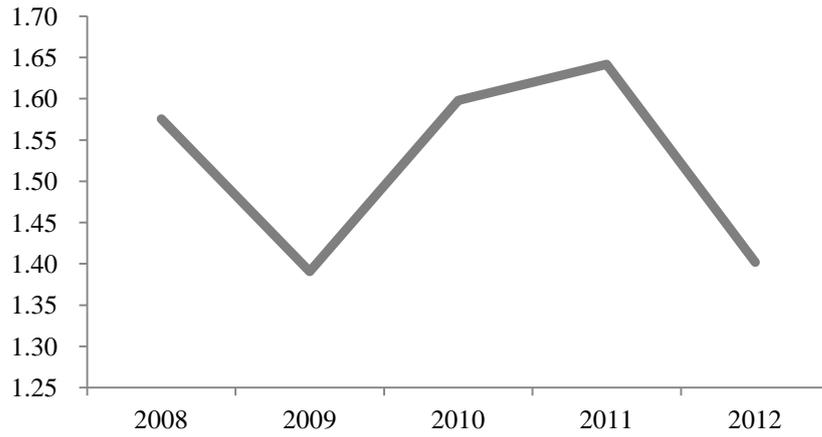
(a)



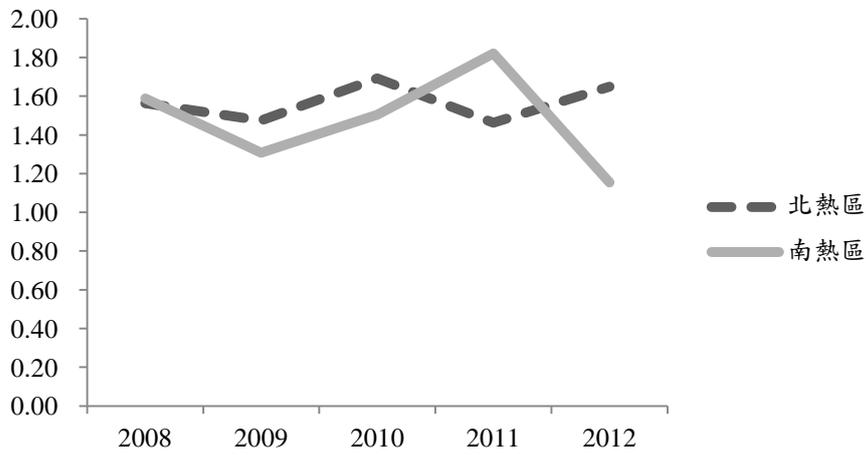
(b)



圖六、台灣西海岸 (a) 白沙屯-台中港海域中華白海豚年齡組成；(b) 外傘頂洲西側海域中華白海豚年齡組成。

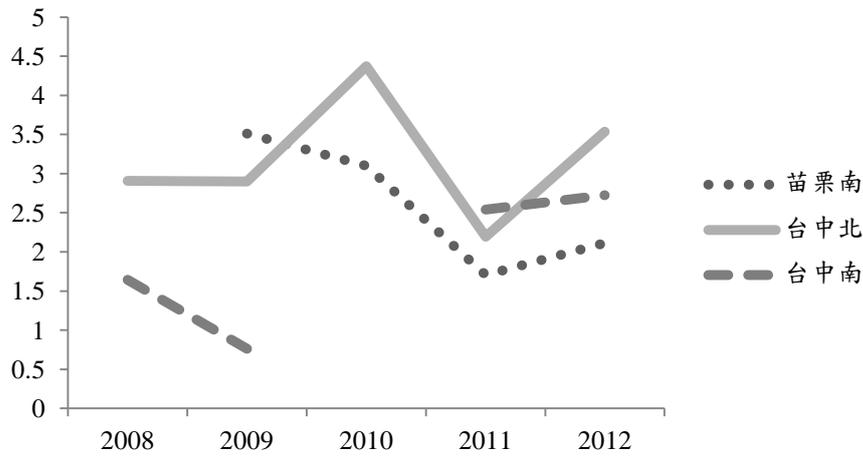


圖七、近五年台灣西海岸中華白海豚目擊率(群次/公里)年間變異。

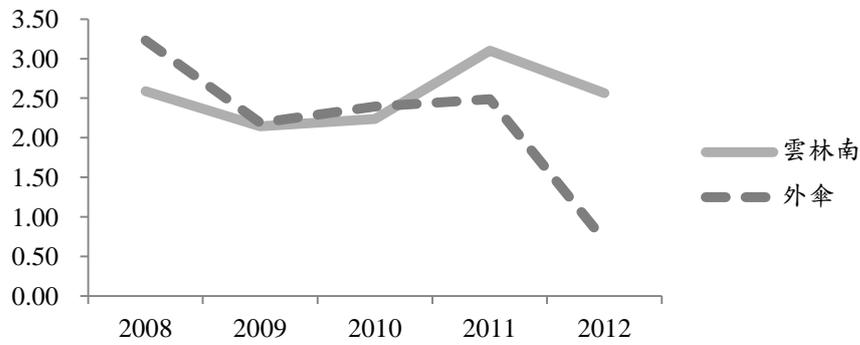


圖八、近五年台灣西海岸中華白海豚南北熱區目擊率(群次/公里)變化趨勢。

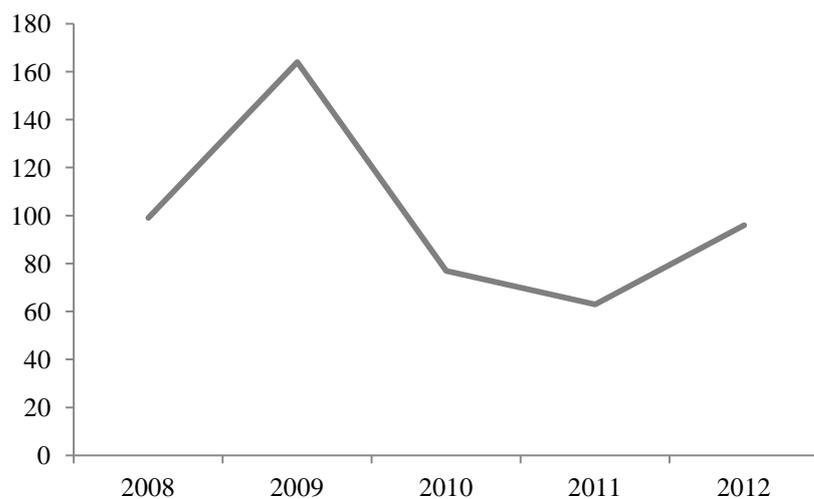
(a)



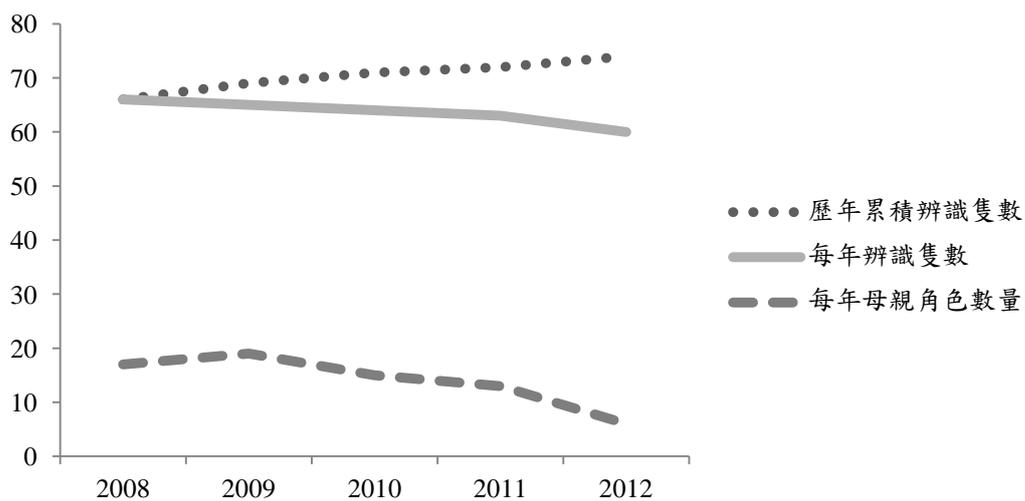
(b)



圖九、各海域中華白海豚目擊率年間變化(a)北熱區各海域目擊率年間變化(2008年苗栗南海域並未監測，2010年台中南海域由於調查海域不完整而不列入計算)
(b)南熱區各海域目擊率年間變化。

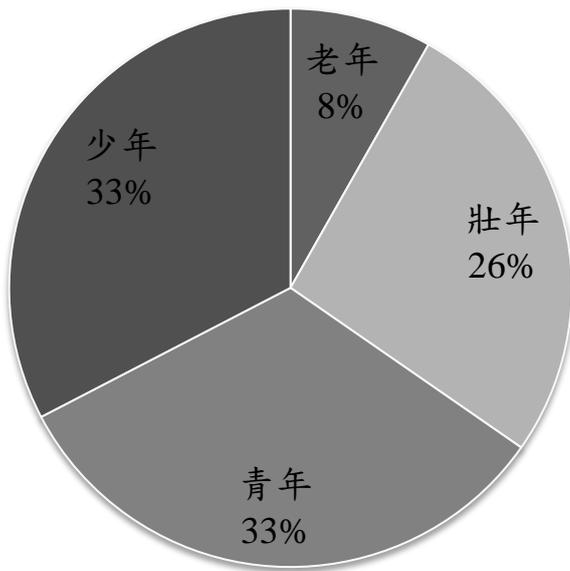


圖十、近五年海上調查趟次。

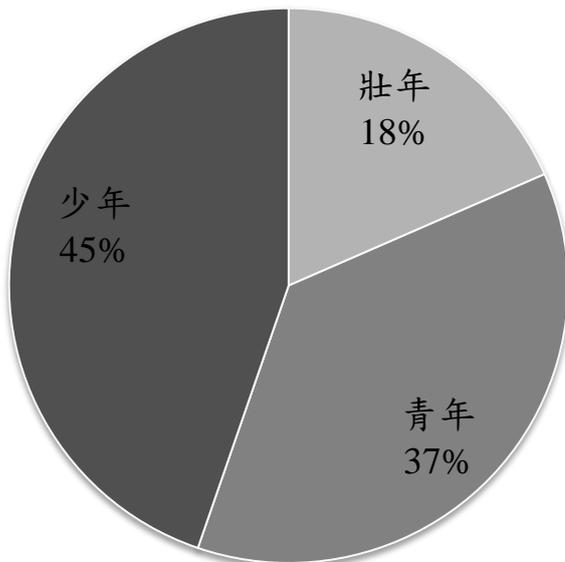


圖十一、台灣西海岸中華白海豚累積辨認個體數量。

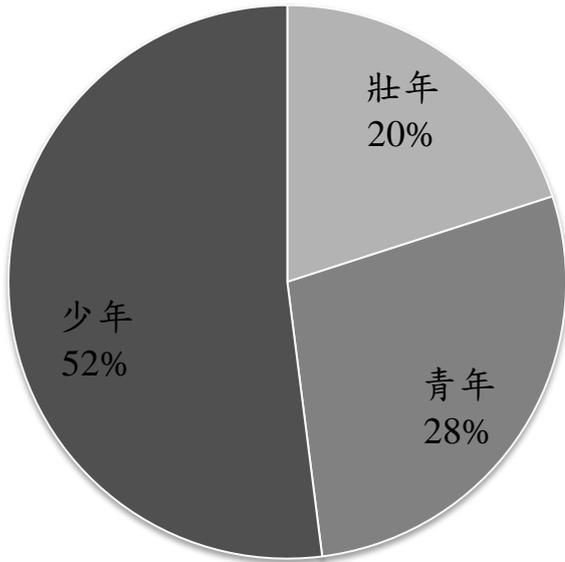
(a)



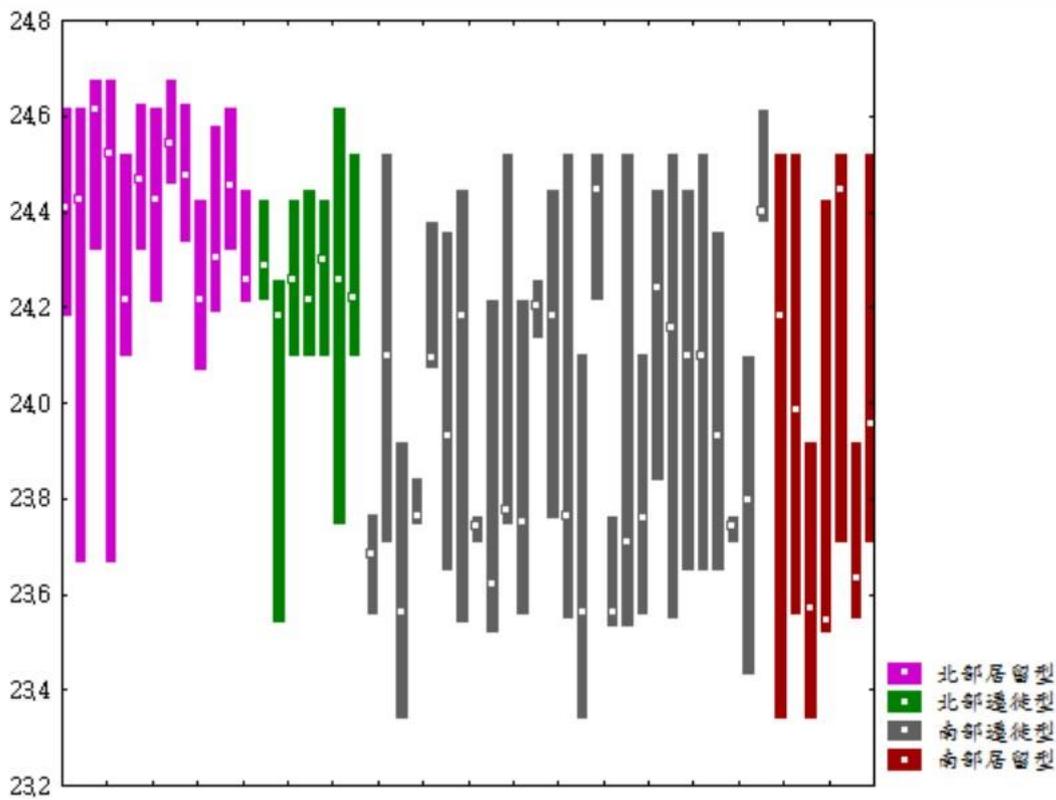
(b)



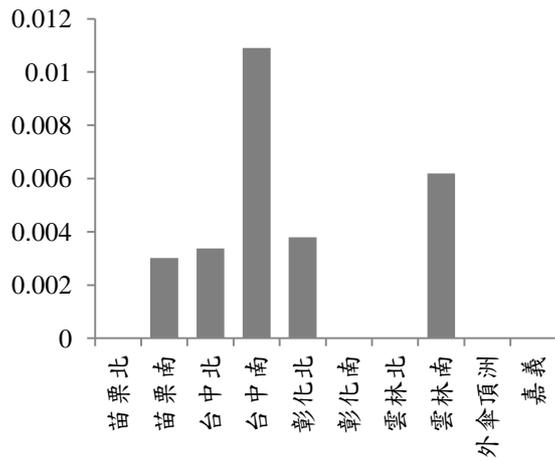
圖十二、中華白海豚 (a) 本年度曾出現在北熱區之個體年齡組成示意圖; (b) 曾出現在南熱區之個體年齡組成示意圖。



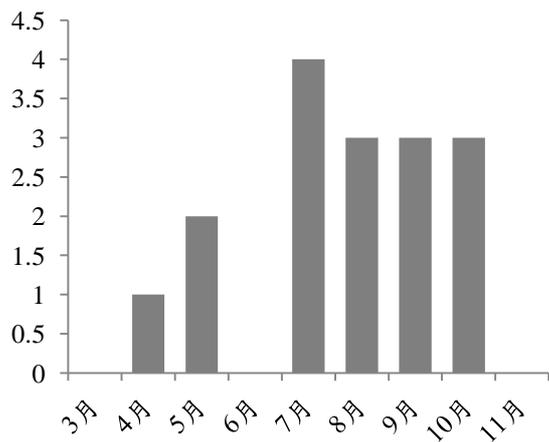
圖十三、會出現在南熱區也會出現在北熱區的中華白海豚個體組成。



圖十四、2012 西岸中華白海豚緯度活動範圍示意圖。中空方塊代表中位數緯度，柱狀兩端則各代表最大值與最小值。桃紅色代表北部居留型個體，綠色代表北部遷徙型個體，灰色代表南部遷徙型個體，紅色代表南部居留型個體。



圖十五、台灣西海岸各海域中華白海豚母子對目擊率 (群次/努力公里)。



圖十六、台灣西海岸中華白海豚每月母子對累積目擊次數。

(a)



(b)



圖十七、編號#116 個體 (a) 2011 年照片正常 (b) 2012 年身上掛有異物。

(a)



(b)



圖十八、編號#83 個體 (a) 2010 年照片正常 (b) 2012 年有嚴重受傷痕跡。



圖十九、編號#30 個體 2011 年 3 月身上掛有網具。

第參章、中華白海豚在重要棲息環境範圍

之時空密度變異

周蓮香、郭毓璞、林子皓

國立台灣大學生態學與演化生物學研究所

摘要

過去 2006-2012 年來的研究顯示中華白海豚密集分布於近岸淺水區，但因過去的調查方式大多以沿著平行海岸線的淺水區進行調查，無法了解離岸深水區之海豚分布狀況。為了提供未來保護區的規劃管理的依據，了解中華白海豚其族群密度與棲地分布的季節變異成為重要課題。本研究透過 Z 字型穿越線調查法東西與南北向橫跨中華白海豚重要棲息環境預定地，每季一趟 5-6 天全區調查來記錄白海豚的時空分布變異與環境因子的分布梯度。結果顯示在擴大調查深水區的狀況下，中華白海豚仍沿著近岸海域活動，海豚出現的位置和淺水、稍高濁度之環境因子相關，有河口偏好的傾向。因此建議在以 8 公尺以淺之海域以及河口海域未來應該劃設為保護區之核心區。此外，本研究在重要棲息環境預定地以南的嘉義海域目擊兩次中華白海豚，且有覓食行為，推測部分中華白海豚也許會在秋冬季南下利用此區，值得後續關注。

壹、前言

台灣西海岸中華白海豚的族群狀態在 IUCN 紅皮書被列為 Critically Endangered (CR) 等級 (Reeves et al. 2008)，其保育相關措施的推行迫在眉捷。本團隊自 2006 年開始即針對近岸淺水區進行集中調查(周 2006-2011)，並透過照片辨識捕捉法估算出台灣西海岸之中華白海豚之族群大小約在 75 隻左右(余 2010)，但目前為止尚未以穿越線調查法在其所有可能棲地環境內進行系統性的族群密度估算。

此外過去多年來由於冬季氣候的因素鮮少在秋冬之時進行海上調查，皆集中在春夏季，已知許多沿海區域之鯨豚類都會有分布的季節變異(Rayment et al., 2010)，可能和他們捕食的魚類季節分布有關，台灣西海岸的中華白海豚季節分布變異則在新虎尾溪口一固定測點有偏好夏季出現的現象(周 2011d)，但整體的季節性變異則尚無明確資料。

林務局已經開始著手推動中華白海豚重要棲息環境的劃設(周 2011)，此時整

清中華白海豚在此預定地的棲地範圍、密度梯度、環境偏好等基本資訊是重要棲息環境的劃設的關鍵的資料，故今年本團隊將使用穿越線調查法調查整個預定地範圍，以進行估算族群密度並了解整個中華白海豚在重要棲息環境預定地內之環境因子分布模式，以了解未來保護區劃設時，核心區之劃設依據標準，以及這些核心區位置的可能時間變異，或找出其他可能其棲地選擇的環境因子，作為後續重要棲息環境修改、保護區劃設與管理的參考依據。

貳、 材料與方法

海上調查

監測區域：

苗栗至嘉義沿海(24°44'N - 23°20'N)，水深 3-25m 範圍之海域，並以重要棲息環境預定地為界。(圖一) 每季 1 次，共進行 3 次。(表一)

監測方式：

穿越線是一種估計密度的系統性調查方式 (Buckland *et al.*, 2001)，一般來說常用的穿越線為橫跨監測區域的平行線。但台灣西海岸的中華白海豚由於其分布範圍呈現一南北狹長的帶狀區域，執行標準穿越線將會耗費大量時間在海上調查中的無效努力航線，因此本年度計畫採用 Z 字形穿越線調查法(Zigzag; Strindberg & Buckland, 2004)，針對苗栗至嘉義沿海水深 3-25m 的範圍進行跨季監測。於 101 年 7-11 月份選擇天氣良好時，執行 3 次海上調查，每次調查需 5-6 天，使用同一艘船(娛樂漁船彰濱一號)，中途會寄港停靠外埔、台中、崙尾、布袋等漁港。每次進行調查時皆以手持式全球衛星定位系統 GPSmap 60CSx (Garmin Corp., Taiwan)定位並依照規劃航線進行調查。調查期間在浪級小於 4 級且能見度遠達 500 m 以上時視為有效努力量(On-effort)，當天氣狀況不佳難以進行有效觀測，或是當進行海豚追蹤時，則視為無效之努力量(Off-effort)。調查船上有至少五人輪流觀測，海上調查過程中船速保持在 6-7 節(海浬/小時)。船首安排兩人觀察左右各 90 度角的海面範圍，肉眼高度約為 2.5-3 公尺之間，以望遠鏡及肉眼搜尋中華白海豚蹤跡，船頂安排一名獨立觀察者進行海上調查記錄。為防止觀察疲勞，每人連續觀察 30 分鐘後輪替到休息位置。當遇見海豚時，紀錄最初發現海豚的直線距離與角度，利用三角定位法計算出海豚距離穿越線的垂直距離，並視情形慢慢接近動物估算海豚隻數，完成填寫鯨豚目擊紀錄表後，便返回穿越線繼續進行下一群之搜尋。

環境因子方面將在調查航程中每十分鐘設樣點，利用 YSI 30 (Y.S.I., U.S.A.)量測水表溫度、鹽度，YSI 60 (Y.S.I., U.S.A.)量測水表氫離子濃度(pH)、HACH 2100Q

(HACH, U.S.A.)量測濁度，以及記錄當時漁探機顯示之深度。目擊後當距離足夠接近時，則會以此作為白海豚接觸點，並量測以上的環境因子。

資料分析

海上調查結果就中華白海豚海上調查里程目擊率、密度、空間分佈、環境因子、季節變異進行分析。

目擊率為航線上 (有效努力量期間)所目擊的中華白海豚群體數、有效努力里程來標準化海上調查里程目擊率 (群次數/100 公里)。

中華白海豚密度與豐度則由海上調查有效目擊群體之數據 (群體數，每群估計之個體數)、航線長度與調查範圍面積來計算。記錄到最初發現海豚的角度與離船距離 (R)、船隻角度後，可求出海豚與船隻的夾角角度 (θ)，再利用公式 $Y=R \sin\theta$ ，即可得到海豚與穿越線垂直距離 (Y)。將數據代入穿越線法公式，由電腦軟體 DISTANCE 6.0 (Thomas et al. 2010)推算而得。推算族群密度的公式如下：

$$\hat{D} = \frac{n\hat{f}(0)\hat{E}(s)}{2L\hat{g}(0)}$$

\hat{D} = 所欲推估之海豚的族群密度 (以群為單位)

n = 發現群次

$\hat{f}(0)$ = 在垂直距離為 0 時，所發現海豚群體的機率

$\hat{E}(s)$ = 海豚群體大小的期望值

$\hat{g}(0)$ = 直接在航線上發現海豚族群的機率

L = 有效努力穿越線的總長度

族群數量 (\hat{N})也是使用 DISTANCE 6.0 軟體推算而得，推算的公式如下：

$$\hat{N} = \hat{D} * A$$

A = 調查範圍面積 (平方公里)

(將所有調查航線所涵蓋之範圍，使 ArcGIS 9.3 計算面積)

因預估離穿越線過遠的資料在軟體中可能會嚴重影響有效偵測距離曲線之模擬，故嘗試去除各種界限(不處理、去除 500,600,700 公尺以上等)外之離群值，選取估算結果當中 CV 值最小的作為理想結果。之後進行模型選擇，挑選了 Uniform 以及 Half-normal 兩種統計分布，配合無校正、Cosine 校正、Simple Polynomial 校正三種校正曲線共六種模型進行運算，最後選出 AICc(Akaike Information Criterion correction)較小之模型之推算結果。

透過來自臺灣西海岸南北以及近岸離岸不同水深情況的環境因子取樣資料，計算出其分布模式，並和中華白海豚目擊點的環境因子比較，使用 ArcGIS 9.0 MGET 工具 (Robert et al., 2010) 做出 Density histogram 找出影響中華白海豚的棲地分

布的因子。

季節變異方面則使用不同季目擊點之緯度做出空間分布圖來觀察其南北變異趨勢。

參、 結果

調查努力量與目擊率

在 2012 年 7 月至 11 月進行了三季的調查，共十六天次，除第四季因有一次浪大折返增加一天補行調查，每一季皆進行五天次的有效調查，有效努力里程共 1257.18 公里(平均每天進行 78.57 公里之調查)，各季之調查時間與努力量列於表一。調查途中共目擊 13 次，其中 11 次為有效努力目擊群次，在無效努力量中目擊的兩群次中，有一次在外傘頂洲沿海觀察海豚中發現，還有一次為調查結束回港路上發現，不列入目擊率的計算。十五趟次有效調查中共有八趟次曾目擊到海豚，總航次目擊率為 53.3%，每百公里有效努力里程目擊群次為 0.875 群/一百公里，各區海域之努力量和發現群次如表二。

海豚目擊的位置如圖二，多在近岸河口地帶目擊，在重要棲息環境預定地外的嘉義海域今年出現過兩次目擊，第四季(秋季)的其中一群次更出現在嘉義最南端的八掌溪口，且有觀察到覓食行為。

海豚目擊點之平均溫度為 28.05 ± 0.71 (S.E.) °C，平均鹽度為 31.45 ± 0.86 (S.E.) ptt，平均 pH 值為 8.13 ± 0.025 (S.E.)，平均濁度為 14.19 ± 3.24 (S.E.) NTU，平均水深為 6.81 ± 0.98 (S.E.) 公尺，平均最近離岸距離為 1.33 ± 0.27 (S.E.) 公里，其餘資料分布情況詳見表三。

有效目擊的 11 群次中華白海豚共 39 隻次，平均每群隻數為 3.89 ± 1.32 (S.E.) 隻(範圍 1-14 隻)，以群體大小 1-4 隻最為常見，佔目擊群次的 91%(圖三)

族群密度與豐度估算

在 Distance6.0 軟體中，為使資料分布能符合可能之統計模型，將目擊之海豚離穿越線距離超過 500 公尺之離群值刪除，計算各種統計分布模型之後選出有最小 AICc 值的 Half-normal distribution，並以此模型估計出穿越線密度公式的各參數(表四)。

在本計畫中所估計出來的族群密度為 0.18 ± 9.3 (S.E.) 隻/平方公里，變異係數為 52.09%，將上述密度乘以調查區域大小 627 平方公里得到初估族群豐度 112 ± 58.35 隻。

調查區域環境因子分布模型

今年三季以來在調查區域定時測站所收集到的環境因子和有中華白海豚目擊的環境因子分布比較如圖四，鹽度的部份除了有兩個目擊點位於河口形成兩個偏左之高峰(24-27 ppt)以外，在正常海水鹽度(30-34ppt)部分的分佈是相似的，顯示白海豚可以活動在河口低鹽度與較高鹽度的沿近海海域。溫度的分佈顯現出調查橫跨了不同季節，第四季調查時間在秋季形成較低溫的分佈高峰，而二、三季皆偏夏季的資料分布則形成較高溫的高峰，海豚目擊點的資料分布也橫跨以上溫層，顯示白海豚在三季調查中似乎沒有明顯的溫度偏好。深度的分佈顯現了本調查橫跨了2-30公尺水深範圍，而其中白海豚的分佈明顯偏向小於15公尺的淺水區塊，其中又以5-8公尺水深範圍為最主要分布。pH值不論是否有海豚出現其分布都相對穩定在8-8.5，左方之一些偏酸值則來自於麥寮六輕工業區放流水口附近之樣點。海域濁度受到較離岸海域影響因此呈現以低濁度為主之分布情形，白海豚的出現位置其濁度則稍微偏高一些(7-15 NTU)，並有另一個高峰(30-40 NTU)是在台子村外沙洲和乾潮底過後不久的三條崙漁港外海出現，因此當時濁度較高。

季節變異

今年進行三季的調查中，在夏季時中華白海豚的分布模式與過去所發現之目擊率梯度變化相似，主要集中在台中彰化(北熱區)與雲林、外傘頂洲海域(南熱區)，雖然以Kruskal-Wallis Test檢定三季間的緯度沒有顯著差異($p=0.5414$)，可能受到小樣本影響，但由圖五仍可粗略看出中華白海豚在第三到第四季分布有些許南移之趨勢，尤其是外傘和嘉義兩地。

肆、 討論

調查努力量與目擊結果

今年本計畫所得之整體目擊率0.875(群次/百公里)和以往選在目擊率較高的海域進行之平行海岸線調查相比低了許多(1.82 群次/百公里 周 2012)，主要是受到調查方式的不同，Z字型穿越線調查的目的即是涵蓋深水和離岸之區域，大多數的有效努力里程皆花在白海豚已知不常出現的區域，從表二也看得出來努力里程少的區域(如外傘和嘉義)目擊海豚群次也和其他區域相當。

環境因子和目擊點分布也和過去透過平行海岸線方式觀察到的中華白海豚生態習性相符，皆以近岸為主的分布，並會活動在河口海域(周 2012)。但針對過去較少努力量研究的嘉義海域，今年的調查中出現了兩次目擊，其中一次更出現在嘉義南端的八掌溪口進行覓食行為，顯示此區也是中華白海豚使用棲地的一部份。此區海域的地形特殊，不同於台灣西部淺水體的狹長形狀，本區地形略為

平緩，在外傘頂洲東側與嘉義沿海有相當多的養蚵產業，未來中華白海豚重要棲息環境之劃設修正建議也需考量這一塊。

族群密度與豐度估算

今年透過 Z 字型穿越線調查的方式將可以進行過往調查方式無法進行的密度估算，而透過數學模型所估算出的族群豐度為 112 ± 58.35 (S.E.) 隻，密度則為族群密度為 0.18 ± 0.093 (S.E.)，雖然現階段由於資料量相當少各種參數的預估誤差都相當大，但透過穿越線調查的初步估算，將可以和其他人以相同方式調查之結果相互比較，表五彙整了兩岸三地近幾年的白海豚相關穿越線或捉放法研究所估算出的族群豐度及密度。首先和 2007 年王愈超團隊以穿越線調查所估算的豐度範圍密度相比較，本研究的豐度略有高估而密度則較低，可能是本計畫調查區域較大造成的影響，但兩研究的 CV 皆因樣本數少而偏高 (Wang et al., 2007) 這點須格外注意，初步估算如果再增加 2 倍以上的調查努力量達到 45 天次調查量，可以將變異係數降低至 30% 以下，建議未來可以每三年為期進行台灣西岸的密度估算，以了解台灣西岸中華白海豚的族群密度變動趨勢。

穿越線調查之原理中是假設動物在調查區域的密度是均勻分布，但由過去本團隊的彙整研究 (周 2012) 已知台灣西海岸中華白海豚之南北分布並非均勻，有兩個熱區，在未來穿越線調查之資料量持續累積之後將可針對這個現象進行分層的精細估算，找出各區的族群密度差異。

比較透過照片進行標誌捕捉與再捕捉法進行的族群估算，本團隊在 2010 年所估算的 75-80 隻 (余 2010) 和王愈超團隊於 2012 做出之結果 74 隻相比非常相似 (Wang et al., 2012)，反映出使用照片辨識在小族群估算上的可靠性。而和本研究所估算的結果來比較可了解本結果之豐度應有高估的趨勢，可能是樣本數過小的影響，之後隨著資料逐步累積應可使族群豐度的預估接近捉放法所估算出來之值，從而更準確的預估中華白海豚在台灣西海岸的族群豐度。

現階段所估算出來之密度和大陸廣西大風江區域以及香港珠江海域相比起來相當低 (表五)，反映出台灣西海岸中華白海豚的族群狀況相當危急，需要盡快提高保育層級，並盡速研擬與實施可行之保育策略加緊保護。

調查區域環境因子分布模型

由環境因子分布圖可看出中華白海豚分布地點大部分環境因子都和調查範圍所監測的分布類似，除了深度的分布明顯偏向淺水區，符合先前模式研究運算出水深為影響中華白海豚分布之關鍵因子之一 (葉 2011)，最大值方面不超過 15 公尺也和今年彙整報告中提出的 95% 信賴區間結果相符 (周 2012)，也印證南非 Algoa

Bay 白海豚偏好利用水深不超過 25 公尺的海域之研究結果 (Karczmarski et al. 2000)。部分目擊群次活動在較濁且鹽度較低的海域位置反應了白海豚會利用河口的特性(Hung, 2008)。在雲林沿海，透過分析其活動軌跡的停留比例也發現到中華白海豚會利用河口區域作為覓食行為的主要棲地(周 2011a)，這可能是與牠們主食河口性魚類有關(Barros et al. 2004)。

未來重要棲息環境劃設之後建議可以針對 8 公尺以下淺水區設立核心區加強管理保護，並針對河口海域進一步探討白海豚對河口海域的棲地利用、覓食活動頻度，以確實保護中華白海豚的核心活動範圍與重要覓食棲地，並研擬相關的規範、管制措施。

季節變異

過去由於冬季天候較不穩定因此鮮少進行海上調查，今年為了探究中華白海豚分布的季節變異，特地在第四季(10-12 月)進行了一次完整的穿越線調查，和第二季(夏季)相比可發現第四季(秋季)的白海豚目擊點似乎有向南分布的現象。此結果與過去利用水下聲學針對彰化、雲林海域進行白海豚活動頻度的監測結果相似，皆是在秋季看到了偵測率下滑的現象(周 2011d)，顯示台灣西海岸中華白海豚的棲地範圍可能有隨著季節南北流動。但是 Wang et al. (2010)也在冬季於台中彰化海域發現過兩群次的中華白海豚，本團隊也曾在 12 月份進行陸地觀察時發現白海豚活動在同一海域之蹤跡，顯示冬天部分群體仍是留在北熱區活動，但部分群體向雲林以南移動的季節變異。因此在未來規劃保護區之核心區時，有必要彈性地不同季節進行南北棲地的管理，尤其是前述所提到的較受忽略的嘉義區塊，在海豚可能南移的情況下此區塊在保育上的重要性亦大幅提高，值得後續更加關注。

整體而言海豚分布季節變異方面的研究需要更加長期及有效追蹤的資料方能確認，未來可使用衛星追蹤器或無線電追蹤器 (Hooker and Baird 2001) 來獲得完整海豚軌跡資訊推算海豚活動範圍，並配合被動式聲學監測系統(Passive Acoustic monitoring, PAM)等方式在雲林嘉義海域進行長期監測以釐清中華白海豚南北棲地利用和季節變異情況，做為未來重要棲息環境劃設以及經營管理之參考。

伍、 結論

本研究是本團隊多年來首次採用穿越線調查的方式來進行台灣西海岸中華白海豚族群密度估算，成功的完成了初步的估算，未來累積更多樣本資料才能有效降低變異係數。空間分布和環境因子結果顯示中華白海豚仍如同過去先前報告所顯示的以近岸淺水區河口分布為主，有偏好河口區的傾向，除水深外高濁度是新發

現的有關因子。目前的重要棲息環境預定地所涵蓋的東西向水深範圍相當足夠，但南北向範圍則似仍不夠周詳，尤其是現在在預定地外的嘉義在秋天時在八掌溪口也有發現白海豚覓食的記錄，顯示嘉義外海未來亦需加強調查。

陸、參考文獻

- 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. vi+xv+432pp.
- Chen, B., Zheng, D., Zhai, F., Xu, X., Sun, P., Wang, Q., and Yang, G. (2008). Abundance, distribution and conservation of Chinese White Dolphins (*Sousa chinensis*) in Xiamen, China. *Mammalian Biology* 73(2): 156-164.
- 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.
- 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.
- Hung, S. K., and Jefferson, T. A. (2004). Ranging patterns of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, People's Republic of China. *Aquatic Mammals* 30(1): 159-174.
- 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.
- Jefferson, T. A. (2000). Population biology of the Indo-Pacific hump-backed dolphin in Hong Kong waters. *Wildlife Monographs* 144: 1-65.
- Karczmarski, L., Cockcroft, V. G., 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.
- Morisaka, T., Shinohara, M., Nakahara, F., and Akamatsu, T. (2005). Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. *Journal of Mammalogy* 86 (3): 541-546.
- Parsons, E. C. M. (2004). The potential impacts of pollution on humpback dolphins, with a case study on the Hong Kong population. *Aquatic Mammals* 30(1): 18-37.
- Rayment, W., Dawson, S., 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*

Ecosystems20(1):106-116

Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I., Thompson D.H. (1995). Marine mammals and noise. Academic Press, San Diego

Roberts, Jason J. and Best, Benjamin D. and Dunn, Daniel C., and Treml, Eric A. and Halpin, Patrick N., (2010). Marine Geospatial Ecology Tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++, Environmental Modelling & Software25(10), 1197--1207

Ross, P. S., Dungan, S. Z., Hung, S. K., Jefferson, T. A., Macfarquhar, C., Perrin, W. F., Riehl, K. N., Slooten, E., Tsai, J., Wang, J. Y., White, B. N., Würsig, B., Yang, S. C., Reeves, R. R. (2010). Averting the baiji syndrome: conserving habitat for critically endangered dolphins in Eastern Taiwan Strait. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 20(6), 685-694. doi: 10.1002/aqc.1141

Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. and Thomas, L. 2004. Advanced Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press, Oxford, UK. 416pp.

Thomas, L., S.T. Buckland, E.A. Rexstad, J. L. Laake, S. Strindberg, S. L. Hedley, J. R.B. Bishop, T. A. Marques, and K. P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. Journal of Applied Ecology 47: 5-14. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x

Thomsen, F., K. Lüdemann, R. Kafemann, and W. Piper. 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biota, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd.

Van Parijs, S. M., and P. J. Corkeron. 2001. Vocalizations and behaviour of Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Ethology* 107 (8): 701-716.

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 (1): 187–194.

Wang, J. Y., S. C. Yang, S. K. Hung, T. A. Jefferson. 2007. Distribution, abundance and conservation status of the eastern Taiwan Strait population of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Mammalia* 157–165.

余欣怡、林子皓、張維倫、黃祥麟、周蓮香。(2010)。利用標暨-再捕捉法估計台灣海域之中華白海豚族群數量。中華白海豚種群間關係和保護國際研討會:34，

南京，中國。

- 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。(2008a)。彰工火力第一、二號機發電計畫中華白海豚生態調查。中興工程顧問股份有限公司委託計劃報告。55 頁。
- 周蓮香。(2008b)。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業委託計劃報告。87 頁。
- 周蓮香。(2008c)。台灣週邊海域鯨豚數量評估及生態環境之研究(二)。行政院農業委員會漁業署九十七年度科技計劃研究報告。33 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期末報告。中興工程顧問股份有限公司委託計畫報告。62 頁
- 環保署。(2009)。飲用水管理法之飲用水水質標準。
- 周蓮香。(2011a)。雲林沿海中華白海豚調查計畫期末報告。台塑關係企業。148 頁
- 周蓮香。(2011b)。中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。208 頁
- 周蓮香。(2011c)。台中發電廠環境監測計畫-中華白海豚長期生態監測計畫期末報告。台灣電力公司委託研究計畫。49 頁。
- 周蓮香。(2011d)。中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃。行政院農業委員會林務局委託研究計畫。92 頁
- 張維倫、周蓮香、Leszek Karczmarski。(2011)。台灣的中華白海豚社群結構及生殖參數。國立台灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所碩士論文。131 頁
- 葉志慧、周蓮香、李培芬。(2011)。中華白海豚在台灣之分布預測與活動模式。國立台灣大學生命科學院生態學與演化生物學研究所碩士論文。112 頁
- 邵廣昭，周蓮香。(2012)。中華白海豚重要棲息環境海圖繪製。行政院農委會林務局委託研究計畫報告。57 頁。

表一、每季調查期間、努力時間及里程

| | 調查期間 | 有效努力時間 (小時) | 有效努力里程(公里) |
|-----|----------|-------------|------------|
| 第二季 | 7/3-7 | 24.67 | 363.83 |
| 第三季 | 9/3-7 | 31.71 | 434.48 |
| | 10/20-21 | | |
| 第四季 | 11/3-4 | 32.12 | 458.88 |
| | 11/10 | | |
| | 11/22 | | |
| 總和 | | 89 | 1257.18 |

表二、各區域的努力量和目擊群次

| 地區 | 調查努力量 (公里) | 有效目擊群次 | 無效目擊群次 |
|------|---------------|--------|--------|
| 苗栗 | 241.17 | 1 | 1 |
| 台中 | 254.47 | 2 | |
| 彰化 | 303.61 | 2 | |
| 雲林 | 247.73 | 2 | |
| 外傘頂洲 | 77.93 | 2 | 1 |
| 嘉義 | 132.27 | 2 | |
| 總計 | 1257.18 | 11 | 2 |

表三、中華白海豚目擊點與定時測站量測之環境因子分布(n=11,548)

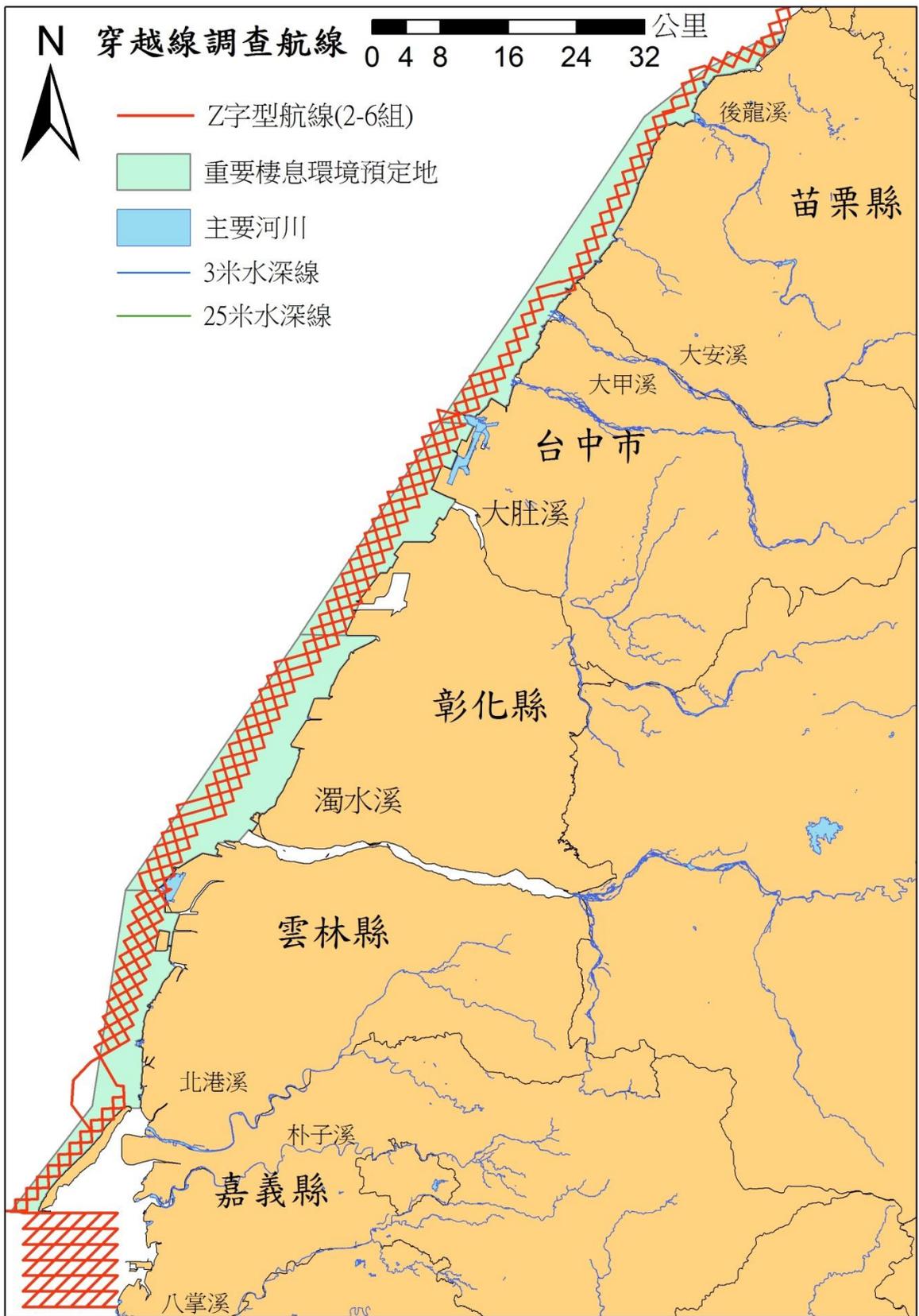
| | 水溫(°C) | | 鹽度(ppt) | | pH | | 濁度(NTU) | | 水深(公尺) | | 最近 離岸 距離 (公 里) |
|---------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|----------------------------|
| | 目擊 | 測站 | 目擊 | 測站 | 目擊 | 測站 | 目擊 | 測站 | 目擊 | 測站 | 目擊 |
| 平均 | 28.05 | 27.96 | 31.45 | 31.65 | 8.13 | 8.11 | 14.19 | 8.98 | 6.81 | 11.96 | 1.33 |
| 標準誤 | 0.71 | 0.09 | 0.86 | 0.16 | 0.025 | 0.005 | 3.24 | 0.53 | 0.98 | 0.26 | 0.27 |
| 中位數 | 29.3 | 29 | 32.4 | 32.5 | 8.14 | 8.11 | 11.2 | 6.38 | 5.9 | 11 | 1.3 |
| 5%百分位數 | 24.4 | 24.54 | 28.12 | 23.87 | 8.005 | 7.96 | 3.556 | 1.32 | 12.2 | 3.6 | 0.17 |
| 95%百分位數 | 30.05 | 30.3 | 33.7 | 24.2 | 8.24 | 8.26 | 33.8 | 26.57 | 4.05 | 23.5 | 2.72 |

表四、穿越線相關參數估計

| Parameters | Estimates | S.E. | CV(%) |
|--------------------------|-----------|-------|-------|
| Probability of detection | 0.17 | 0.031 | 18.52 |
| Effective width(m) | 82.84 | 15.34 | 18.52 |
| Density | 0.18 | 0.093 | 52.09 |
| Abundance | 112 | 58.35 | 52.09 |
| Mean group size | 3.89 | 1.32 | 33.87 |

表五、中國各地和台灣中華白海豚族群豐度和密度估算比較

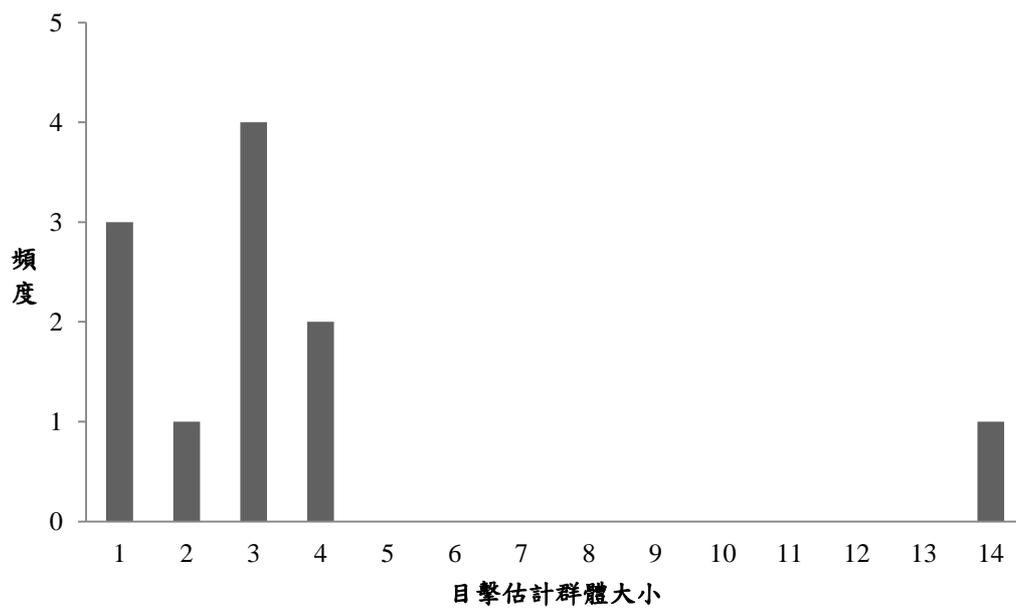
| Stocks | Location | N | D | Source |
|-----------------------------------|-----------------|----------|----------|-------------------|
| Dafengjiang River | China | 114 | 0.326 | Chen et al., 2009 |
| Hepu | China | 39 | 0.111 | Chen et al., 2009 |
| HongKong and adjacent area | China | 1028 | 0.409 | Jefferson, 2000 |
| Leizhou Bay | China | 237 | N.A. | Zhou et al., 2007 |
| Xiamen | China | 84 | 0.1240 | Chen et al., 2008 |
| Eastern Taiwan Strait | Taiwan | 99 | 0.193 | Wang et al., 2007 |
| Eastern Taiwan Strait | Taiwan | 75 | N.A. | Yu et al., 2010 |
| Eastern Taiwan Strait | Taiwan | 74 | N.A. | Wang et al., 2012 |
| Eastern Taiwan Strait | Taiwan | 112 | 0.18 | This study |



圖一、中華白海豚在重要棲息環境範圍之時空密度變異預定調查範圍

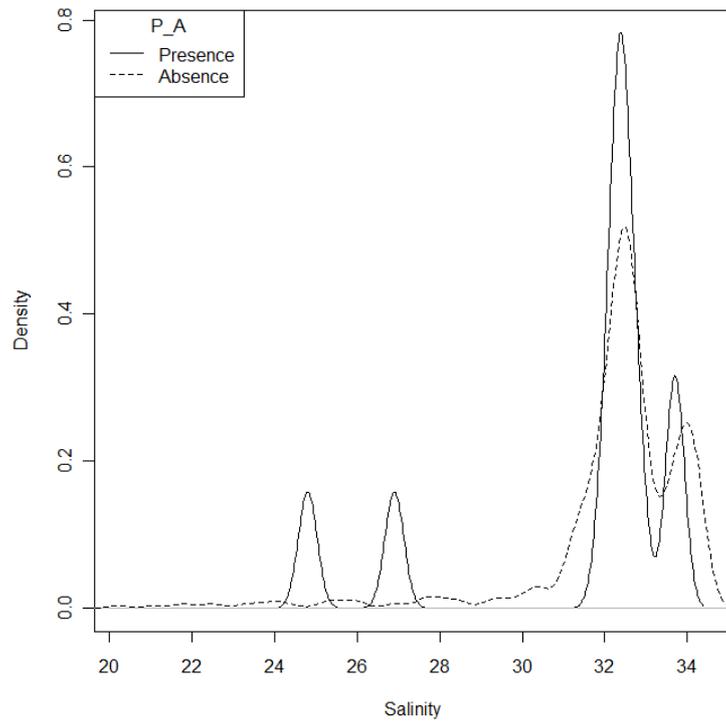


圖二、2012年Z字型穿越線調查中華白海豚目擊點

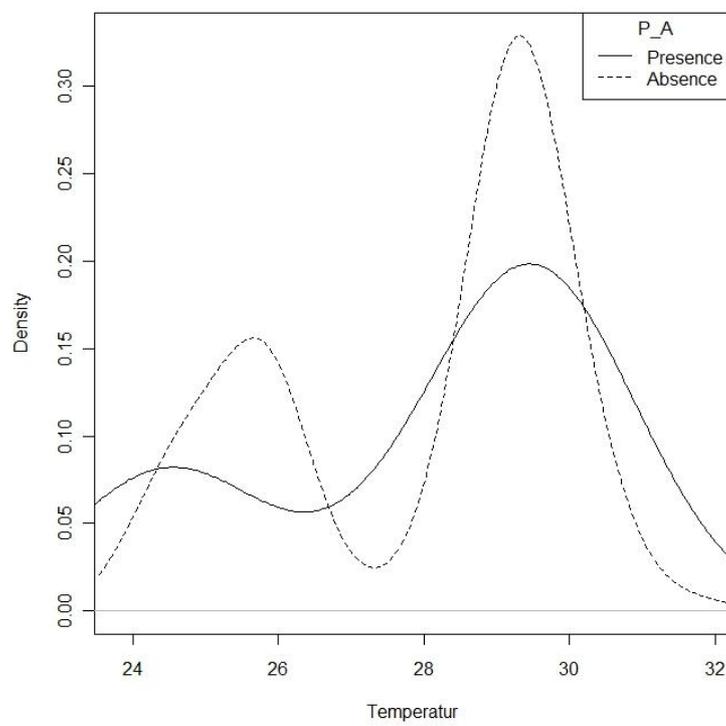


圖三、2012年Z字型穿越線調查中華白海豚目擊群體估計大小頻度圖

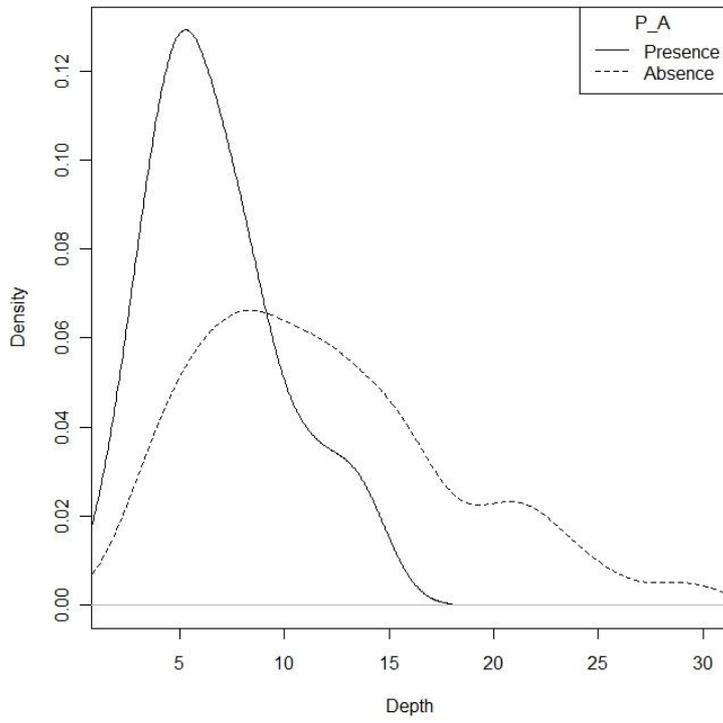
(a)



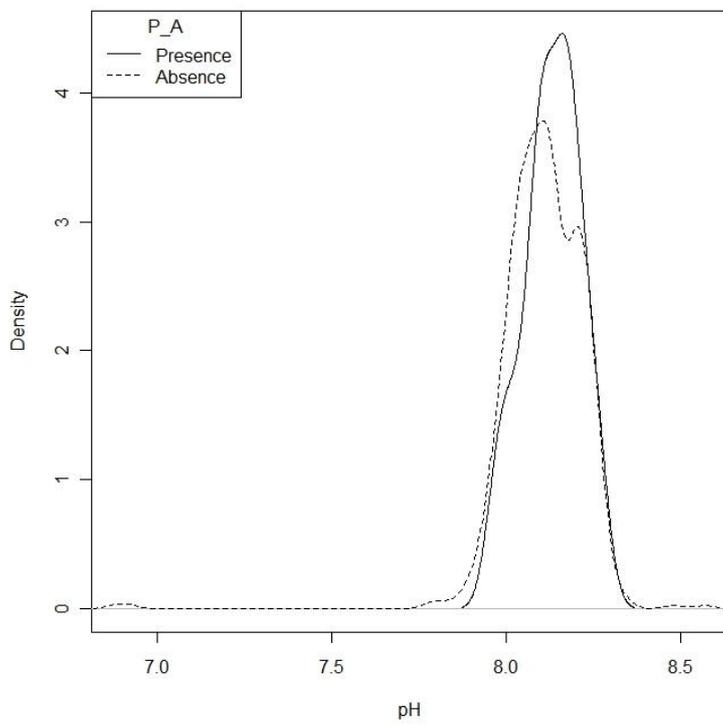
(b)



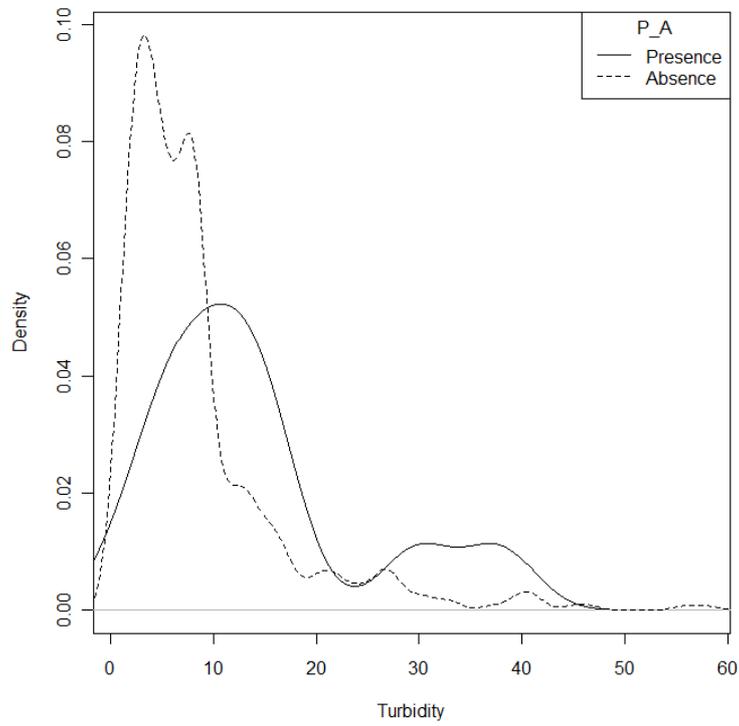
(c)



(d)

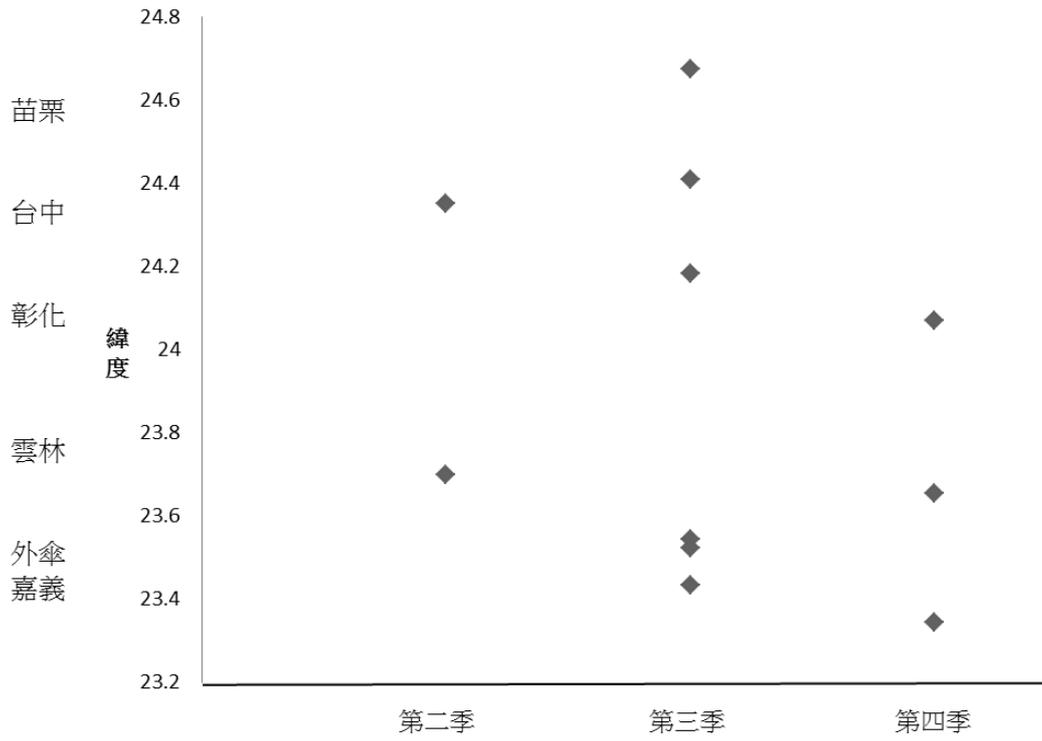


(e)



圖四、中華白海豚密度在(a)鹽度(ppt),(b)溫度(°C),(c)深度(公尺),(d)pH值及(e)濁度(NTU)等環境因子的分布模型比較（虛線為2012年Z字型穿越線調查區域定點測站資料分布，實線為中華白海豚目擊點資料分布）

中華白海豚目擊點季節性變異



圖五、2012 年 Z 字型穿越線調查中華白海豚南北分布季節差異

第肆章、應用水下聲學定點監測

中華白海豚行為生態

周蓮香、林子皓

國立台灣大學 生態與演化生物研究所

摘 要

利用水下聲學方式可以有效地在各種天候狀況監測鯨豚類的活動，為了解中華白海豚在日夜、潮汐週期中的長期活動模式，其聲音行為和環境噪音之相關性，本計畫採用海洋錄音機針對人耳可聽範圍與超音波範圍進行水下聲音監聽，並透過自動化偵測器來萃取中華白海豚哨叫聲的出現時間與採納頻率分佈。在外傘頂洲北端與新虎尾溪口放置 SM2M 錄音機完成各 30 天次的分析。偵測出的聲音包含寬頻脈衝聲與哨叫聲，後者又可分為恆定頻率、上升頻率、下降頻率、U 型、倒 U 型與正弦波形等六大類，以前兩類型最常見。結果顯示，新虎尾溪口的每小時哨叫聲偵測率較高，但是外傘頂洲北端平均每小時所偵測到的聲音數量較多。哨叫聲出現的模式在日夜週期皆沒有顯著的差異，但是在潮汐週期中，以外傘頂洲北端的漲潮與滿潮出現機率較高。哨叫聲的採納頻率分佈會隨著日夜、潮汐週期而變，以 4kHz - 6kHz 之間為主要分布範圍，但新虎尾溪口的採納頻率在 5kHz - 10kHz 以上的分布機率較外傘頂洲北端略高。白海豚哨叫聲的出現模式與其食餌石首魚在夜間鳴叫的行為未呈現明顯的關聯，在前夜出現的寬頻脈衝聲應是較佳的覓食聲音指標。此外，白海豚哨叫聲的出現頻度可以反映地區之間的活動變異，其主要音頻範圍容易受到漁船噪音遮蔽，可能導致其溝通效率下降。人為活動(船舶、工業區噪音)造成新虎尾溪口的低頻環境噪音較高，可能是影響白海豚哨叫聲行為不同之原因。本計畫所建立的水下聲學監測平台，未來可以做為即時警示鯨豚活動、或是針對重要棲息環境人為活動與中華白海豚生態進行長期海洋環境觀測之用。

壹、前言

鯨豚在水中活動主要仰賴聲音了解環境、與同種溝通，以齒鯨為例，他們會利用寬頻的回聲定位聲音來探測獵物的距離(Au 1993)，當獵物位於極近距離時，齒鯨利用快速發出的寬頻脈衝聲精確定位以捕捉獵物。此外，齒鯨也會利用窄頻的哨叫聲來與其他個體溝通、交換訊息(Janik 2009)。這些鯨豚所發出的聲音讓我們可以利用水下聲學監測來調查鯨豚動物的出現與行為生態。近年來由於科技的發展，尤其是長時間連續且自動化的水下聲學監測，讓偏遠的調查地區也可以透過水下錄音機獲得大量的調查資料。此外，水下聲學監測也補足了目視觀察在惡劣海象和無能見度時之不足，讓我們可以進一步了解鯨豚類動物在棲息地的日夜活動、季節活動模式(Moore *et al.* 2006; Akamatsu *et al.* 2008; Soldevilla, *et al.* 2010)，進而提供鯨豚保育與經營管理的重要基礎資料。

世界上對於中華白海豚的水下聲學監測資料極少，目前僅有一些聲音行為的描述(Van Parijs & Corkeron 2001a; Parsons 2004; Sims *et al.* 2012; Xu *et al.* 2012)。在台灣，台大周蓮香團隊自 2009 年開始展開長期性的水下聲學監測，透過水下聲學資料紀錄器(A-tag)在新虎尾溪口的研究，發現中華白海豚在春夏季表現出明顯隨著潮汐而改變的活動模式，這種活動模式與中華白海豚捕食隨著潮流迴游的河口表層性魚類可能有關(周蓮香等 2011; Lin *et al.* 2011)。2010 年擴大水下聲學調查，在大肚溪口不同水深處監測中華白海豚的聲音活動，發現牠們的出現水深以 5 公尺以淺之海域為主(陳琪芳等 2010)。2011 年針對彰化縣崙尾水道口、雲林縣新虎尾溪口、外傘頂洲北端等地中華白海豚的活動模式與季節性變化進行研究，發現入秋後中華白海豚在三地的偵測率皆下降，且其日夜、潮汐活動模式隨著地點和季節改變而異(周與林 2011)。然而，以上研究大部分皆針對中華白海豚超音波範圍的回聲定位聲音事件進行生態研究，針對寬頻脈衝聲、以及人耳可聽頻率範圍的哨叫聲則受限於偵測與分析的困難，而無法進行長期的監測。

目前普遍認為鯨豚利用高度複雜的哨叫聲互相溝通，在進行不同行為時改變哨叫聲的使用，這種變異可能包括了頻率範圍的使用、聲音曲調的變化，還有哨叫聲曲譜的組成(Van Parijs & Corkeron 2001a; Quick & Janik 2008; Díaz López 2011)。在鯨豚哨叫聲主要分布的人耳可聽頻率範圍，還有其他的生物性聲音(槍蝦聲音、石首魚鳴聲等)、環境的風雨噪音，甚至還有許多人為活動所製造的聲音(船隻噪音、水下工程聲音、人工聲納等)。因此，進行人耳可聽頻率範圍的水下聲音監測，除了收集中華白海豚的聲音行為之外，也可以進一步探討中華白海豚行為生態與環境聲音事件、人為噪音之關係。

本計畫目標在彰化縣與雲林縣建立水下聲學監測平台，透過自動化偵測人耳可聽範圍與超音波頻率範圍的哨叫聲與寬頻脈衝聲，以調查這些聲音在日夜、潮汐周期的出現模式，同時分析其哨叫聲頻率範圍之變異來了解中華白海豚的行為生態。此外，結合背景環境噪音的分析，進一步探討中華白海豚的行為生態與環境噪音變動之關係。本計畫在建立水下聲學監測平台的經驗將可提供未來利用水下聲音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。

貳、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。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。監測站位置之當地水深隨著潮汐變化皆在 4 至 8 公尺範圍之內，離岸約 400 公尺。

第二個測站位於雲林縣的新虎尾溪口（代號 YL，圖二），緊鄰麥寮六輕工業區與新興工業區，為雲林縣漁民進行漁業活動之重要溪口。新虎尾溪口外海有一海氣象監測平台可供作為保護水下監測儀器之屏障，因此本計畫選用該監測平台作為新虎尾溪口之監測站。監測站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，離岸約 1 公里。

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 4 公尺，離外傘頂洲可見之沙洲範圍約 200 公尺。

(二) 監測系統與固定方式

本年度所採用之水下聲學儀器為 Wildlife Acoustics 公司所生產的 SM2M 海洋錄音機（圖四）。SM2M 海洋錄音機具有一組高效能的水下麥克風（敏感度： -165 dB re $1\mu\text{Pa}$ ，響應頻率範圍（ ± 1 dB）： $2\text{Hz} - 40\text{kHz}$ ），其響應頻率範圍可以接收到

低頻的船舶噪音、風雨噪音、魚類叫聲，或是中高頻的海豚哨叫聲與回聲定位脈衝聲。除此之外，此海洋錄音機可以裝置大容量的記憶卡與多組長效性電池，可供進行連續長達一個月以上的水下錄音。在錄音設定上，本計畫利用 96 kHz 的聲音取樣頻率來對 48kHz 以下的音頻範圍進行 24 小時連續的監測，每次監測時間長度以 2 - 4 個星期不等。

在水下儀器固定的方法上，本計畫先行在岸上製作梯形白鐵鋼架，作為海洋錄音機的固定平台。每次佈放水下儀器時，派遣潛水夫到監測地點的海床上，將儀器支架固定在海床上，並將海洋錄音機平貼在海床上減少受到海流的影響。每次的儀器回收也透過潛水人員下水，將海洋錄音機自儀器支架上拆除回收。

(三) 中華白海豚聲音偵測與篩選

海洋錄音機回收後所取得的錄音資料，單一測站每天的錄音資料容量大約為 15.4GB，需要耗費極大量的時間與人力來對這麼龐大的資料進行處理，難以達成計畫目標。本計畫應用本實驗室所開發出之自動化哨叫聲偵測器，以快速的萃取出中華白海豚哨叫聲出現的時間與頻率位置。此自動化哨叫聲偵測器具有不需要特定的聲音模板即可以偵測所有具有哨叫聲頻率利用特徵的聲音，為一種非特定對象的自動化偵測器，經過前置實驗的驗證，其偵測正確率為 76% 的正確率，而僅有 6% 的誤報率(Lin et al. 2012)。

目前所應用的自動化偵測系統之架構如圖五，此偵測器利用訊號處理的方式首先將錄音資料進行短時距傅立葉轉換(short-time Fourier transform)與頻譜等化(spectral equalizing)，以獲得獨立於背景噪音的頻譜資料。此頻譜資料可以顯示每個頻率範圍瞬間的能量變化，而減少如風浪、船隻引擎等可能遮蓋鯨豚哨叫聲的噪音來源。在校正過後的頻譜資料上抽取這些鯨豚哨叫聲瞬時間的峰值頻率，並計算其-3 dB 之頻率範圍寬度，如果-3 dB 之頻率範圍寬度過寬，代表是寬頻的噪音，因此不被納入後續的哨叫聲訊號分析。由於鯨豚的哨叫聲屬於一種窄頻且具有音頻操作特性的聲音，每次發出的哨叫聲約不長於數秒。因此我們進一步計算剩餘的每個資料取樣點在指定的頻率和時間範圍內所出現的其他資料抽取點數量，如果鄰近的資料取樣點太少，代表這些各自獨立的資料取樣點不是具有一定時間長度的鯨豚哨叫聲。經過以上的篩選，剩餘的資料取樣點才被視為是鯨豚哨叫聲的採納頻率點(adopted frequency)。

由於小型漁船之引擎噪音、高強度的寬頻脈衝噪音、以及部分的低頻噪音也同樣具有頻率變動或是短暫出現的特性，因此這些非中華白海豚哨叫聲的噪音還是可能被本計畫所應用的自動化偵測器萃取出來。為了要去除這些噪音，我們僅

使用出現在 3 kHz 頻率範圍以上的採納頻率。然後再透過人工檢視頻譜圖，來篩選掉可辨識出的引擎噪音、寬頻脈衝噪音等雜訊。經過人工檢視後留下的採納頻率，才會進行中華白海豚哨叫聲採納頻率的後續資料分析。

(四) 資料紀錄與分析

為了瞭解中華白海豚在日夜週期與潮汐周期內不同時段之間的聲音出現頻度變化，我們將每天切為上午(6-12 點)、下午(12-18 點)、前夜(18-0 點)與後夜(0-6 點)四個時段。同時也利用潮汐預報表所提供之滿潮與乾潮時間，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。在每天各時段中，紀錄所偵測到的哨叫聲秒數與萃取出之採納頻率位置。

在聲音出現頻度的統計分析上，我們利用廣義線性模型搭配過度分散的卜瓦松分布模型來分析監測地點之間、兩種時間週期內所偵測到的哨叫聲秒數之差異，並測試地點與時間週期之間是否存在交互作用。在聲音行為的分析方面，我們將各個時段中所收集到的採納頻率，依照其頻率位置計算在各個頻率範圍內出現之機率分布，以比較各個時段之間的採納頻率分布峰值與範圍。

參、結果

本計畫於 2012 年 6 至 9 月期間利用 SM2M 海洋錄音機分別在崙尾水道口(CH)、新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)進行水下聲學監測。其中在崙尾水道口之監測未能成功，一次因為儀器設定問題而未取得錄音資料，另一次則是錄音機受拖網作業干擾導致整組儀器遺失，至今未尋回。因此本年度僅順利完成在新虎尾溪口與外傘頂洲北端之監測作業。在新虎尾溪口收回 6/8-6/23、7/16-8/14、8/20-9/20 之間的錄音資料，在外傘頂洲北端則收回 7/15-7/30、9/1-10/2 之錄音資料，各月份的有效分析天數與小時數，以及白海豚哨聲的偵測率與偵測秒數列於表一。

兩測站在各個月份皆有偵測到中華白海豚哨叫聲，但是海豚的偵測機率與趨勢在兩地略有不同。在新虎尾溪口的每小時偵測率隨著月份增加而降低，但外傘頂洲北端此現象並不明顯。此外，在新虎尾溪口每小時偵測到中華白海豚哨叫聲的機率普遍較外傘頂洲北端來得高，但新虎尾溪口平均每小時的偵測秒數則是較外傘頂洲北端為低，顯示在外傘頂洲偵測到中華白海豚的哨叫聲數量較多。

(一) 日夜活動

中華白海豚在兩個測站日夜週期中的哨叫聲偵測秒數如圖六。根據廣義線性模型之檢驗結果(表二),哨叫聲偵測秒數在外傘頂洲北端顯著較新虎尾溪口為高,雖然日夜週期中各個時段之間沒有顯著的差異($p=0.09$),但是我們還是可以發現在外傘頂洲北端的上午與下午時段,偵測到的哨叫聲秒數較前夜與後夜時段有略高的趨勢。

(二) 潮汐活動

中華白海豚在兩個測站潮汐週期中的哨叫聲偵測秒數如圖七。與日夜活動之結果相似,在廣義線性模型之檢驗結果(表三)也顯示,外傘頂洲北端之哨叫聲偵測秒數顯著較新虎尾溪口為高。除此之外,哨叫聲偵測秒數在潮汐活動週期各個時段之間也發現到有顯著的差異。這種潮汐週期的變化又以外傘頂洲北端較為明顯,在漲潮與滿潮時有著較高的偵測秒數。在新虎尾溪口,哨叫聲的偵測秒數則僅在漲潮時段較其他潮汐階段為高。

(三) 收錄哨叫聲之曲調變化類型

在本計畫中所應用的自動化哨叫聲偵測器,已經被驗證過不須特定的聲音模板即可以偵測各種鯨豚所發出的哨叫聲。透過 SM2M 海洋錄音機,本計畫也收錄到許多不同類型的中華白海豚哨叫聲與脈衝聲。

由於各種鯨豚的哨叫聲都具有很大的曲調變異,一般來說將哨叫聲曲調變化分為六類:恆定頻率、上升頻率、下降頻率、U 型、倒 U 型與正弦波形。從表四可以看到目前透過海洋錄音機所收集到的六類哨叫聲曲調變化在頻譜圖上之示意圖。這六類中,初步發現以恆定頻率和下降頻率為主要出現的兩類型,在這兩類型中,雖然不同的聲音在頻率分佈上略有不同,但主要以 3-6 kHz 頻率範圍為主。上升頻率類型主要也與前述兩種類型的主要頻率分佈範圍相似,但在目前所分析的錄音資料中極少出現。U 型、倒 U 型與正弦波形,其曲調變異模式特殊,也不像恆定頻率等較具有較為穩定的頻率分佈範圍,其頻率分佈經常在 5 kHz 以上。

此外本偵測器也可以偵測出寬頻脈衝聲。根據目前的了解,脈衝聲其實是由快速發出的寬頻回聲定位聲音所形成,由於每個寬頻脈衝之間的時間極短,造成在頻譜圖上出現兼具哨叫聲的音調特性與回聲定位聲音的寬頻特性。從表四可以看到具有明顯哨叫聲音調特性的脈衝聲在頻譜圖上被偵測出之結果。

(四) 中華白海豚聲音行為模式

本計畫透過分析哨叫聲的採納頻率機率分布，來探討中華白海豚哨叫聲的音頻使用範圍變化。根據目前所收集到的哨叫聲採納頻率分布結果，中華白海豚不管在哪個地區大致上以 3.5kHz - 5kHz 之間為其最常使用的哨叫聲頻率範圍(圖八)。但地區之間有些微差異，在新虎尾溪口收集到的採納頻率在 6kHz - 8 kHz 之間分布機率較外傘頂洲北端為高。

除了地區差異外，日夜週期變異分析發現中華白海豚使用之哨叫聲頻率範圍會因為哨叫聲類型改變、或是脈衝聲音(其頻率分布以 > 10 kHz 的頻率範圍為主)的出現而擴展到相當高頻的範圍，例如圖九顯示在外傘頂洲北端所收集到的哨叫聲採納頻率，在前夜期間，3.5kHz - 5kHz 的採納頻率機率分布下降到低於 30%，而在 10kHz 以上頻段的使用機率大幅增加。類似的日夜週期變異也在新虎尾溪口觀察到(圖十)，哨叫聲在 3.5kHz - 5kHz 的採納頻率機率分布在前夜期間非常低，僅約 10%。此外哨叫聲的採納頻率在外傘頂洲北端也有明顯的潮汐週期變異，10kHz 以上音頻分佈機率在外傘頂洲北端的漲潮大幅增加(圖十一)，但在新虎尾溪口則沒有這麼明顯的潮汐週期變異(圖十二)。

肆、討論

本年度嘗試應用 SM2M 海洋錄音機來長時間蒐錄中華白海豚的哨叫聲與脈衝聲音資料，以評估未來運用水下錄音系統進行中華白海豚與海洋環境監測之可行性。與前兩年計畫中採用水下聲學資料紀錄器(A-tag)監測的目標有所不同，水下聲學資料紀錄器主要是針對超音波範圍的回聲定位聲音事件進行監測，雖然在資料分析上較為簡易，但是後續僅能針對白海豚的回聲定位聲音、槍蝦聲音與船隻通過時產生的浪花噪聲進行分析。海洋錄音機可以直接蒐錄小於 48 kHz 的聲音頻率範圍，包括人耳可聽範圍與超音波範圍，因此可以收集到白海豚大部分的聲音類型，包含回聲定位聲音與哨叫聲，也可收錄到各式各樣的生物性噪音與人為活動噪音。雖然直接錄音的方式可以取得豐富的資料，但是在分析上需要耗費大量的人力與時間。本計畫採用自動化的哨叫聲偵測程式，除了可以減少人力之外，由於透過固定其偵測的閾值和篩選的條件，將可以提供較不容易受到人為判斷影響的監測結果(Akamatsu *et al.* 2008)，有助於客觀的描述鯨豚活動模式的變化。

與去年度的水下聲學資料紀錄器(A-tag)調查結果相比，兩種方法皆發現有顯著的地區差異(周與林 2011)。在新虎尾溪口每小時偵測到白海豚哨叫聲的機率較外傘頂洲北端為高，意謂白海豚出現在新虎尾溪口的機率較高，與今年海

上調查在雲林沿海與外傘頂洲海域的目擊率趨勢相符(周等人 2012)，因此水下聲學監測方式是可以有效反應白海豚在各地區之間的活動頻度。然而換個角度，偵測到的哨叫聲秒數方面卻是以外傘頂洲北端較高，顯示每次在外傘頂洲偵測到的白海豚群體所發出哨叫聲次數較多，其可能源於白海豚群體停留時間較長或是個體數較多的影響。個體數量較多時，雖然哨叫聲總數會較多，但是平均每個體的叫聲次數則可能因為同種聲音互相遮蔽的效應而減少(Quick & Janik 2008)。此外，Quick & Janik (2008)也指出叫聲次數的頻度會受到不同行為狀態的影響。澳洲的白海豚研究也發現，在比較活躍的行為狀態時，白海豚會發出比較多類型的哨叫聲(Van Parijs & Corkeron 2001a)。當白海豚群體裏面有母子對且附近有船隻經過時，研究也發現群體會主動增加哨叫聲的叫聲次數(Van Parijs & Corkeron 2001b)。因此在沒有詳盡的哨叫聲資料庫下，目前尚無法利用哨叫聲的多寡直接做為群體大小的指標。但透過長期監測建立哨叫聲資料庫之後，可以進一步比較長期變化的趨勢，以了解中華白海豚出現在各地的頻度、群體行為是否改變。

在日夜週期活動變化方面，今年與去年的結果有相似的趨勢，白海豚在外傘頂洲北端出現的頻度在日間略高，但在夜間稍低。新虎尾溪口則是沒有明顯的變化趨勢。然而，過去對於白海豚主要捕食的石首魚科生態研究指出，石首魚主要在前夜鳴叫(Lin *et al.* 2007)，與本計畫環境噪音分析結果相符。一般來說，食餌資源分布的核心位置、活動的高峰時段皆容易觀察到掠食者進行覓食活動(Hastie *et al.* 2004; Kimura *et al.* 2012)。哨叫聲在日夜週期出現的頻度與目前所觀察到的石首魚日夜鳴唱活動有差異，有可能是與白海豚在不同行為下會有不同的哨叫聲使用模式有關。雖然在澳洲的白海豚研究發現覓食行為群體會利用較多的哨叫聲類別(Van Parijs & Corkeron 2001a)。但是 Benoit-Bird & Au (2009)也指出夏威夷的飛旋海豚在群體合作捕食魚群時，鮮少發出哨叫聲，僅會增加回聲定位聲音的叫聲次數。因此哨叫聲的出現不一定是白海豚覓食活動的重要聲音指標。

除了哨叫聲之外，本計畫所偵測出的寬頻脈衝聲被認為是當海豚離其獵物極近距離，作為精確捕捉獵物位置的聲音(Herzing 1996; Madsen *et al.* 2005)。雖然脈衝聲的出現時間僅占整體偵測結果很小比例，但是由於脈衝聲的寬頻特性，其出現會使在 10 kHz 以上的採納頻率分布機率大量增加。從聲音行為模式中的採納頻率機率分布來看，可以發現在兩個監測區域的前夜時段，高頻的脈衝聲出現機率明顯提高，支持白海豚會在夜間捕食大量鳴唱的石首魚。

與去年度計畫所觀察到的潮汐週期比較，以外傘頂洲北端的潮汐週期變異

較為明顯，在新虎尾溪口則沒有相符的變化趨勢。這樣的誤差可能來自於兩年度的水下聲學偵測標的聲音不同，另一個可能的原因則是棲地環境的變化。本年度在春夏期間有大量降雨，尤其七八月份在雲林地區的降雨量達到 500-800 釐米。大量的降雨導致河口附近濁度大量上升、水質惡化，可能使海豚暫時離開河口棲地(Fury & Harrison 2011)。本年度海上調查目擊率在雲林與外傘頂洲地區皆較過去為低，而且在新虎尾溪口的水下聲音資料紀錄器也觀測到較低的中華白海豚出現頻度與不明顯的潮汐週期活動(周等人 2012)。以上結果顯示大量的暴雨可能會影響中華白海豚進入河口的頻度與活動模式，需要在未來的環境監測中進一步了解其對中華白海豚的行為生態影響。

從目前所收集到的白海豚哨叫聲來看，主要使用的哨叫聲類型以恆定頻率和下降頻率類別為主。這兩類哨叫聲的曲調變化皆較為平緩，與目前在香港、雷州灣的白海豚哨叫聲較為類似(Sims *et al.* 2012; Xu *et al.* 2012)，但與澳洲的白海豚哨叫聲則有較大的差異(Van Parijs & Corkeron 2001a)，可能與海峽兩岸的中華白海豚族群遺傳關係較為緊密，但與澳洲沿海的白海豚較為遠親有關(Frère *et al.* 2008)。

中華白海豚哨叫聲的音頻分佈主要以 3.5kHz - 5kHz 為主，其哨叫聲音頻分布較為低頻，容易受到人為噪音干擾。從圖十三所觀察到的小型漁船噪音來說，以 4k-5 kHz 的能量為最強，噪音頻率範圍高達 20 kHz 以上。偵測到的哨叫聲次數隨著船隻噪音音量上升而下降。直到船隻噪音下降後，中華白海豚哨叫聲的偵測數目又再次回升。雖然我們沒有辦法確定當時白海豚與船隻的距離、水面行為反應，但是仍然可以發現中華白海豚哨叫聲相當容易被此類小型漁船噪音遮蓋掉。當遮蓋效應發生時，同種之間的溝通就可能受到影響，而需要發出更大或長度更長聲音來提高聲音傳播的範圍(Foote *et al.* 2004)，或是使用音頻更高的哨叫聲，來避免被噪音遮蓋(Parks *et al.* 2007)。白海豚受到噪音干擾而主動改變行為，都可能讓牠們耗費更多的能量，進而降低其適性。

這種噪音影響鯨豚聲音行為的效應可能是相當廣泛且長期的，根據 Morisaka *et al.* (2005) 的研究，不同地區的瓶鼻海豚哨叫聲音頻使用會隨著該地區的環境噪音特性而有所不同。以本計畫目前監測的兩個地區來說，新虎尾溪口緊鄰麥寮工業港與蚊港，其環境噪音受到貨輪進出、漁船活動、夜間石首魚鳴叫的影響，在低頻範圍有較高的強度。但在外傘頂洲附近僅有台子村漁港，可能因為經過的船隻數量較少，而且石首魚鳴唱的模式也較為不穩定，因此有較低強度的環境噪音。比起外傘頂洲北端，中華白海豚哨叫聲在新虎尾溪口 5kHz - 8 kHz 的採納頻率機率分布較高，雖然可能是受到兩地之間環境噪音特性

差異之影響，但仍需釐清不同行為影響哨叫聲頻率使用之後再作進一步確認。但無論如何，水下噪音影響中華白海豚行為、溝通的問題確實存在，需要我們在未來持續的監測以釐清衝突點，並研擬適當的減輕措施。

本計畫雖然在計劃期間損失了一組儀器，但是目前所收集到之錄音資料成本約為每天兩萬元新台幣，還略低於目前的海上調查目視觀察費用，更枉論調查成本隨著錄音資料增加而降低，顯示水下聲學是一種有效的監測方式。此外，目前所應用的自動化的哨叫聲偵測器其處理速度快於錄音速度，未來也可以做為即時警示鯨豚活動之用。例如在開發工程採用此類水下聲學監測平台，以輔助海洋哺乳動物觀察員來確認海豚是否進入警戒區域。針對目前所規劃的重要棲息環境，其幅員廣大且缺乏足夠人力進行管理與監控，水下聲學監測平台可以減少監控人力，達到海洋環境觀測、監視人為活動與中華白海豚生態三重目的。未來可以透過即時的無線傳輸模組，或是如同中央氣象局建立的東北海洋觀測站，透過海底電纜即時傳輸監測資料，以加強主管機關對於中華白海豚重要棲息環境的監測與管理。

伍、參考文獻

- Akamatsu, T., Nakazawa, I., Tsuchiyama, T. & Kimura, N. (2008) Evidence of nighttime movement of finless porpoises through Kanmon Strait monitored using a stationary acoustic recording device. *Fisheries Science*, **74**, 970–975.
- Benoit-Bird, K.J. & Au, W.W.L. (2009) Cooperative prey herding by the pelagic dolphin, *Stenella longirostris*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **125**, 125–137.
- Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Van Parijs, S.M., Frankel, A. & Ponirakis, D. (2009) Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, **395**, 201–222.
- Díaz López, B. (2011) Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour. *Mammalian Biology*, **76**, 180–189.
- Foote, A.D., Osborne, R.W. & Hoelzel, A.R. (2004) Environment: Whale-call response to masking boat noise. *Nature*, **428**, 910.
- Frère, C.H., Hale, P.T., Porter, L., Cockcroft, V.G. & Dalebout, M.L. (2008) Phylogenetic analysis of mtDNA sequences suggests revision of humpback

- dolphin (*Sousa* spp.) taxonomy is needed. *Mar. Freshwater Res.*, **59**, 259–268.
- Fury, C.A. & Harrison, P.L. (2011) Impact of flood events on dolphin occupancy patterns. *Marine Mammal Science*, **27**, 185–205.
- Hastie, G.D., Wilson, B., Wilson, L.J., Parsons, K.M. & Thompson, P.M. (2004) Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphins are linked to foraging. *Marine Biology*, **144**, 397–403.
- Herzing, D.L. (1996) Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*, **22**, 61–79.
- Janik, V.M. (2009) Acoustic Communication in Delphinids. *Advances in the Study of Behavior* pp. 123–157. Academic Press.
- Kimura, S., Akamatsu, T., Li, S., Dong, L., Wang, K., Wang, D. & Arai, N. (2012) Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence. *Marine Mammal Science*, **28**, 308–324.
- Lin, Y.C., Mok, H.K. & Huang, B.Q. (2007) Sound characteristics of big-snout croaker, *Johnius macrorhynchus* (Sciaenidae). *The Journal of the Acoustical Society of America*, **121**, 586–593.
- Lin, T.H., Akamatsu, T. & Chou, L.S. (2011) 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., Chan, H.C., Chen, C.F., Akamatsu, T. & Chou, L.S. (2012) Automatic detection on the presence and frequency use pattern of cetacean tonal sound. Acoustics 2012 Hong Kong, Hong Kong.
- Madsen, P.T., Johnson, M., De Soto, N.A., Zimmer, W.M.X. & Tyack, P. (2005) Biosonar performance of foraging beaked whales (*Mesoplodon densirostris*). *J Exp Biol*, **208**, 181–194.
- Moore, S.E., Stafford, K.M., Mellinger, D.K. & Hildebrand, J.A. (2006) Listening for Large Whales in the Offshore Waters of Alaska. *BioScience*, **56**, 49.
- Morisaka, T., Shinohara, M., Nakahara, F. & Akamatsu, T. (2005) Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. *Journal of Mammalogy*, **86**, 541–546.
- Van Parijs, S.M. & Corkeron, P.J. (2001a) Vocalizations and behaviour of Pacific

- humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Ethology*, **107**, 701–716.
- Van Parijs, S.M. & Corkeron, P.J. (2001b) Boat traffic affects the acoustic behaviour of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, **81**, 533–538.
- Parks, S.E., Clark, C.W. & Tyack, P.L. (2007) Short-and long-term changes in right whale calling behavior: the potential effects of noise on acoustic communication. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **122**, 3725.
- Parsons, E.C.M. (2004) The behavior and ecology of the Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*). *Aquatic Mammals*, **30**, 38–55.
- Quick, N.J. & Janik, V.M. (2008) Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of group size and behavior. *Journal of Comparative Psychology*, **122**, 305–311.
- Sims, P.Q., Vaughn, R., Hung, S.K. & Würsig, B. (2012) Sounds of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in West Hong Kong: A preliminary description. *Journal of the Acoustical Society of America*, **131**, 48–53.
- Soldevilla, M.S., Wiggins, S.M. & Hildebrand, J.A. (2010) Spatial and temporal patterns of Risso's dolphin echolocation in the Southern California Bight. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **127**, 124–132.
- Xu, X., Zhang, L. & Wei, C. (2012) Whistles of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*). *AIP Conference Proceedings*, **1495**, 556–562.
- 陳琪芳、魏瑞昌、周蓮香、湛翔智、吳誌豪、劉建明、林子皓。(2010)。利用聲學方式監測海洋環境與中華白海豚生態。於“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。(2010)。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。(2011)。雲林沿海中華白海豚調查計畫。台塑關係企業。87 頁。
- 周蓮香、林子皓。(2011)。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。於“周蓮香。(2011)。中華白海豚族群生態監測及聲學監測系統規劃。行政院農委會林務局委託研究計畫。103 頁”。
- 周蓮香、陳孟仙、林幸助。(2012)。雲林沿海中華白海豚與河口生態系研究-期中報告。台塑關係企業。137 頁。

表一、中華白海豚水下聲學監測努力量與偵測到之哨叫聲累積時間、每小時偵測率及每小時平均秒數。

| | | 分析天數 | 分析小時數 | 偵測時數 | 偵測秒數 | 每小時偵測率 | 每小時偵測秒數 |
|--------|----|------|-------|------|------|--------|---------|
| 新虎尾溪口 | 六月 | 10 | 227 | 59 | 214 | 25.99% | 0.94 |
| | 七月 | 10 | 228 | 57 | 416 | 25.00% | 1.82 |
| | 八月 | 10 | 222 | 34 | 113 | 15.32% | 0.51 |
| 外傘頂洲北端 | 七月 | 16 | 351.5 | 48 | 722 | 13.66% | 2.05 |
| | 九月 | 15 | 347 | 44 | 750 | 12.68% | 2.16 |

表二、廣義線性模型分析中華白海豚哨叫聲偵測秒數在日夜周期與地區雙因子之統計結果

| | 自由度 | Wald | P |
|-----------|----------|---------------|------------------|
| 截距 | 1 | 281.87 | <0.001 |
| 日夜週期 | 3 | 6.61 | 0.09 |
| 地區 | 1 | 4.30 | 0.04 |
| 日夜週期*地區 | 3 | 5.39 | 0.15 |

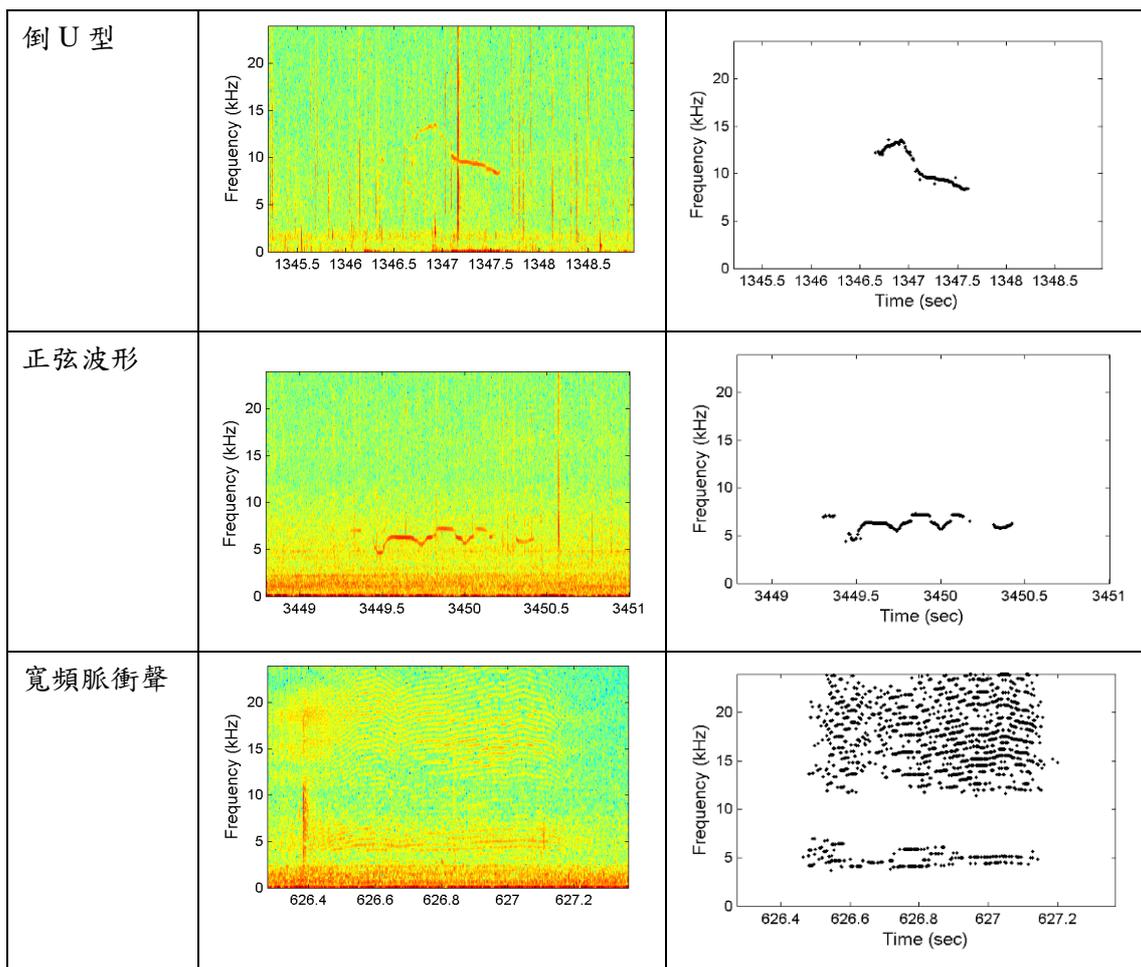
表三、廣義線性模型分析中華白海豚哨叫聲偵測秒數在潮汐周期與地區雙因子之統計結果

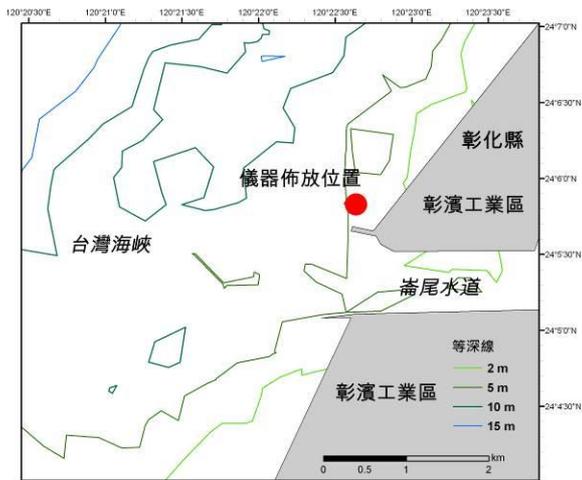
| | 自由度 | Wald | P |
|-------------|----------|---------------|-------------|
| 截距 | 1 | 192.17 | 0.00 |
| 潮汐週期 | 3 | 8.80 | 0.03 |
| 地區 | 1 | 7.46 | 0.01 |
| 潮汐週期*地區 | 3 | 4.67 | 0.20 |

表四、自動化偵測器所偵測出之中華白海豚哨叫聲與寬頻脈衝聲結果範例

| 類別名稱 | 頻譜圖 | 採納頻率偵測結果 |
|------|-----|----------|
| 恆定頻率 | | |
| 下降頻率 | | |
| 上升頻率 | | |
| U型 | | |

表四(續)、自動化偵測器所偵測出之中華白海豚哨叫聲與寬頻脈衝聲結果範例

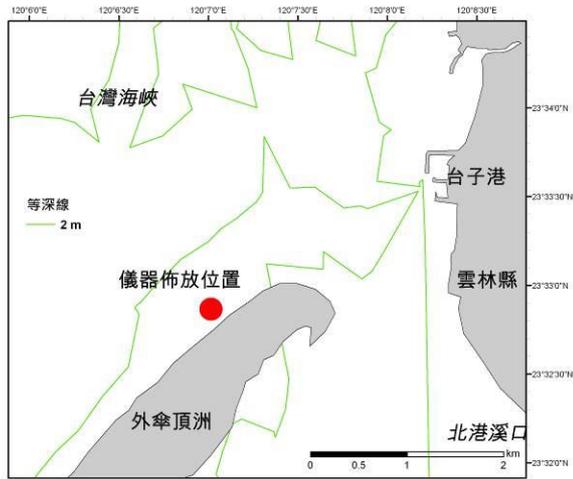




圖一、彰化縣崙尾水道口儀器佈放位置



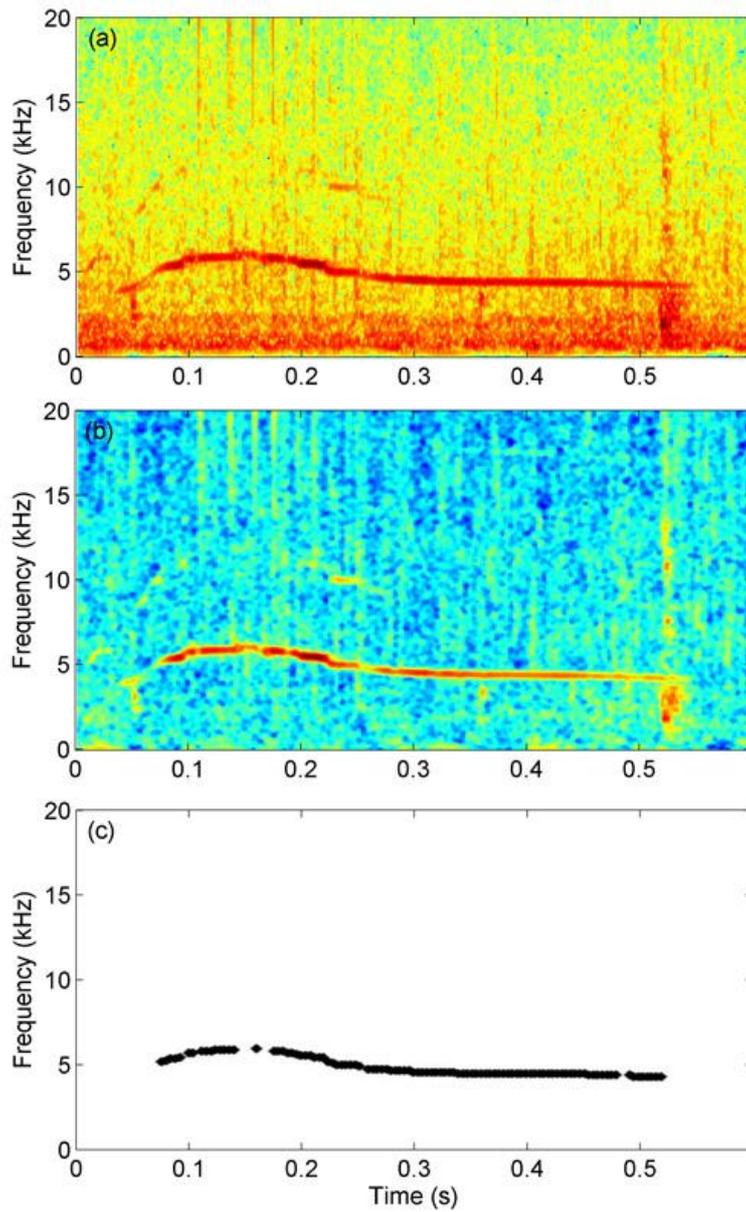
圖二、雲林縣新虎尾溪口儀器佈放位置



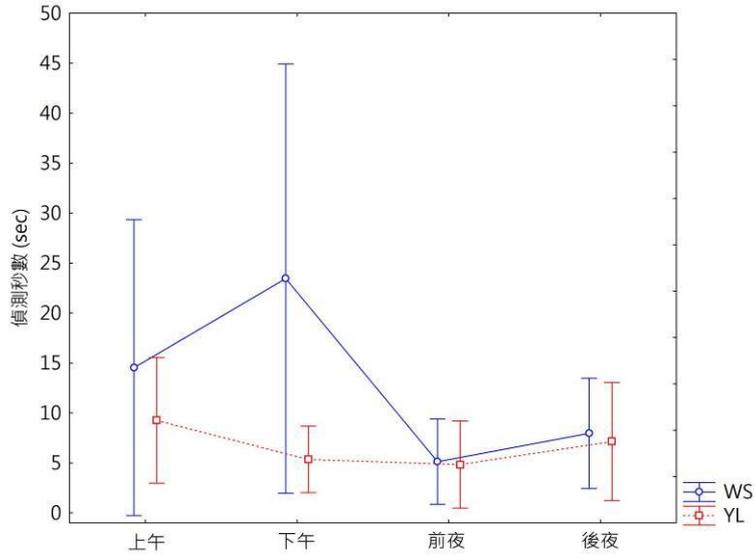
圖三、雲林縣外傘頂洲北端儀器佈放位置



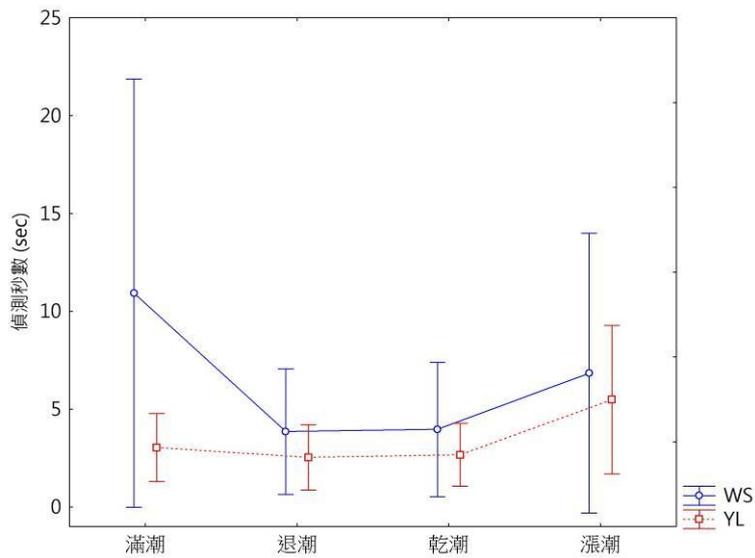
圖四、本計畫所採用的 SM2M 海洋錄音機固定在儀器支架後，固定在海床上之前的工作照片



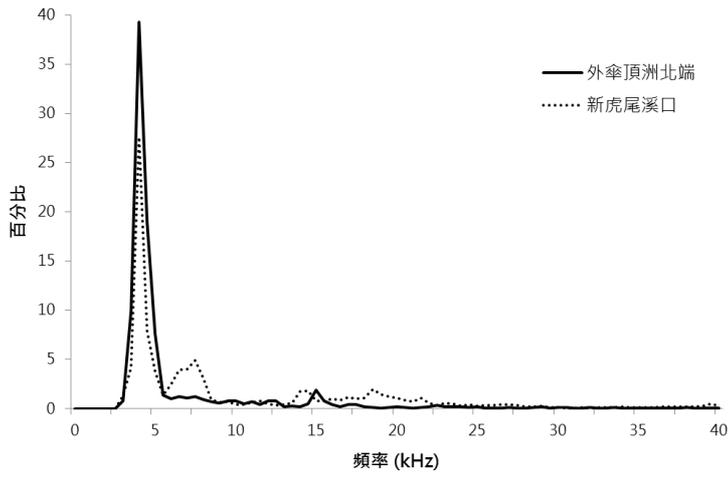
圖五、鯨豚哨叫聲自動化偵測系統流程示意圖。(a)短時距傅立葉轉換之原始頻譜圖，(b)頻譜等化處理後之頻譜圖，(c)篩選出之相對峰值頻率位置(黑色圓點)，代表鯨豚哨叫聲採納頻率。



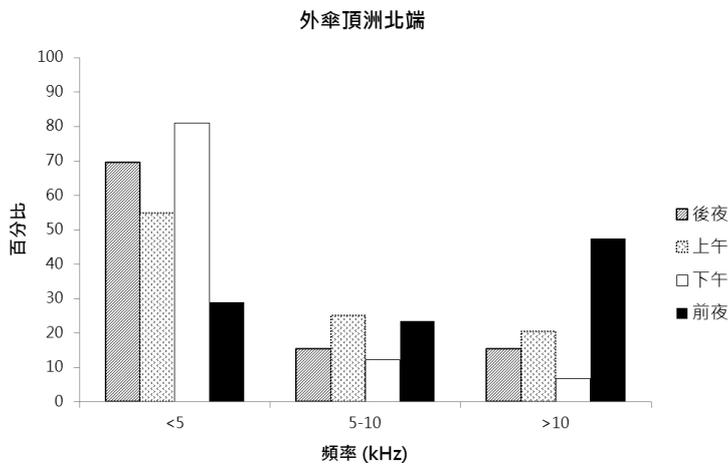
圖六、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之各日夜時段平均哨叫聲監測秒數，誤差線表示 95%信心區間。



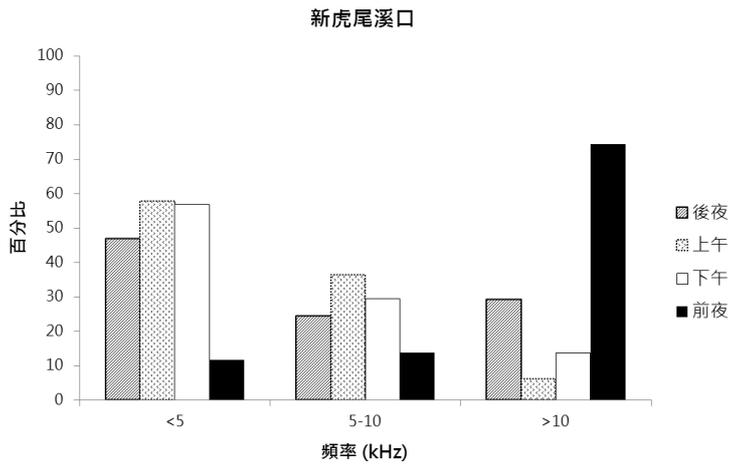
圖七、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之各潮汐時段平均哨叫聲監測秒數，誤差線表示 95%信心區間。



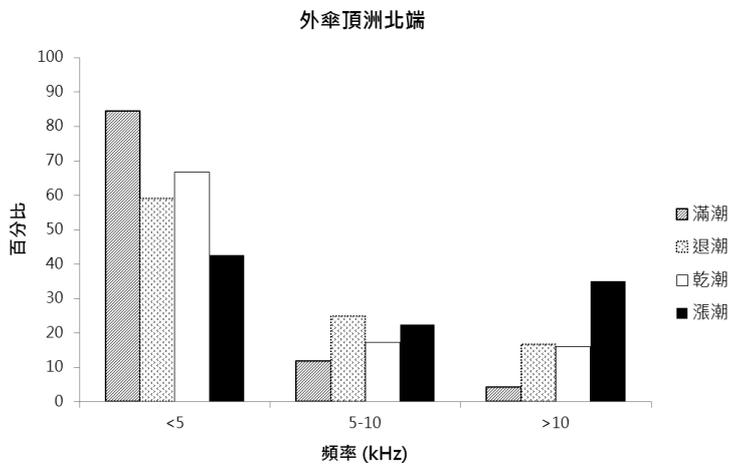
圖八、中華白海豚在新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)之採納頻率機率分布。



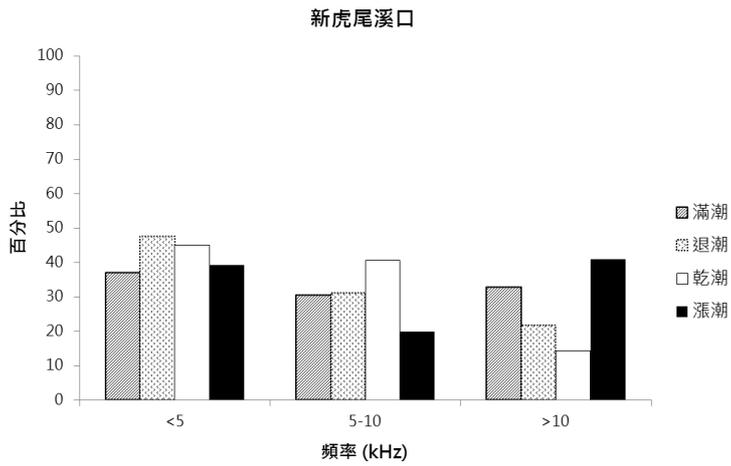
圖九、中華白海豚在外傘頂洲北端之各日夜時段的採納頻率機率分布。



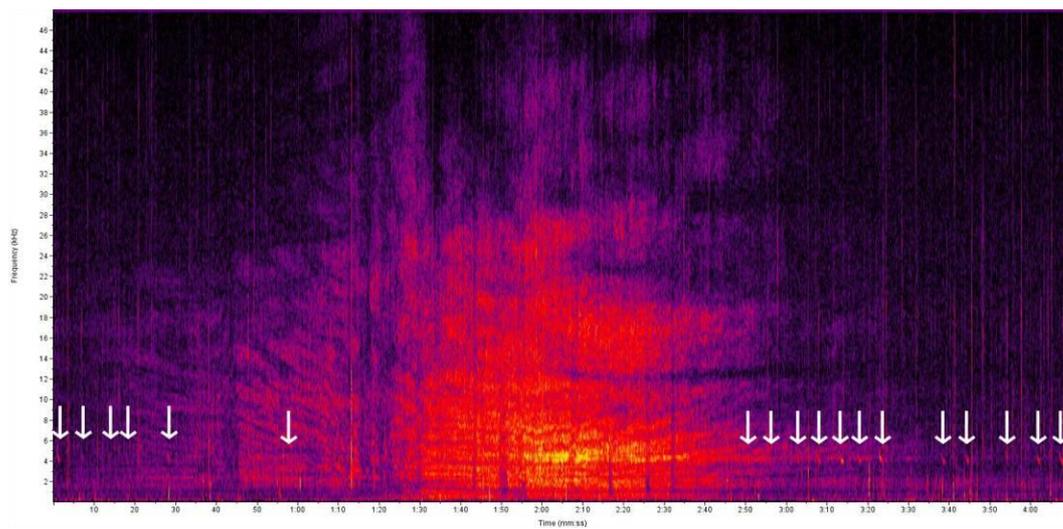
圖十、中華白海豚在新虎尾溪口之各日夜時段的採納頻率機率分布。



圖十一、中華白海豚在外傘頂洲北端之各潮汐時段的採納頻率機率分布。



圖十二、中華白海豚在新虎尾溪口之各潮汐時段的採納頻率機率分布。



圖十三、中華白海豚哨叫聲與小型漁船噪音之頻譜圖，白色箭頭處為白海豚哨叫聲出現時間。

第五章、中華白海豚棲地海洋環境噪音監

測與分析

魏瑞昌、郭連翰

國立中山大學 海下科技暨應用海洋物理研究所

摘要

過去臺灣西海岸淺水海域的環境噪音狀況，始終欠缺長期與系統化的調查，海洋環境噪音的變動主要是受自然環境與人為活動等多重因子影響，是了解海域環境的重要指標，環境噪音的了解，實為未來任何近岸工程環境影響評估重要的一環。本研究於新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)放置 SM2M 海洋錄音機各進行了 68 天、45 天的環境噪音監測，進行了噪音時間序列、聲壓位準分佈、時段變動與噪音事件時頻譜等分析。結果顯示 WS 的低頻噪音(125-500 Hz)較低，平均聲壓位準值約 70-76 dB re 1 μ Pa，YL 的平均聲壓位準約 86-88 dB，主要貢獻來源為船舶或工程噪音。日夜週期分析發現環境噪音在頻率 1 kHz 與 2 kHz 有較大且週期性的變動，主要是受到石首魚群大量鳴音的影響。時段變動分析發現 YL 地點的石首魚固定於前夜(6 點至 12 點)出沒，而於 WS 地點出沒的時間則較不固定。此外，YL 與 WS 兩測站的船舶噪音主要來自於小型漁船或動力小艇，有別於一般大型貨輪，小型漁船的影響頻率範圍較為高頻，以頻率 4 kHz 上下的能量為最強。中華白海豚哨叫聲的頻率範圍主要以 3-5 kHz 為主，顯示當地為數不少的小型漁船有可能遮蔽海豚哨叫聲。

壹、前言

水下環境充斥著許多聲音，這些聲源可能來自於地殼運動、風浪噪音、降雨噪音以及各種生物行為活動的聲音，一個完整的生態系由物理環境與當地相依存的生物建構而成，每個水下的生態系因為內容組成的不同，造成其環境噪音的特性與變動性也有所不同。而除了自然形成的環境噪音之外，人為噪音在近年也越來越受到重視，人為噪音又尤其以船舶噪音為主要來源，隨著國際貨輪與船舶數目的成長，船舶噪音也因此逐年的提升。此外，淺海地區的人為開發，常伴隨填

海、疏濬或是水下打樁等工程產生高強度的低頻噪音，這些人為噪音除了增加當地海域環境的吵雜程度之外，也可能影響了生物的行為模式。因此水下被動式聲學監測(Passive Acoustics Monitoring, PAM)方法除了可以了解此海域環境與生態的各種特性之外，也能了解當地人為活動情形以及人為噪音對當地環境的影響，甚至提供未來近岸工程進行環境影響評估的參考指標。

環境噪音之重要參數中的聲壓位準，最主要是由海洋環境噪音所影響，環境噪音有太多未知變化，在不同海洋環境中，環境噪音的影響又有所不同，包括區域性影響及時間上的變化。海洋中以淺海中的環境噪音最為複雜，聲波傳遞時，會受到水中上下邊界產生折射及反射等影響。海洋環境中依頻率範圍有不同分類，於 G. M. Wenz (1962) 研究中，環境噪音位準依頻率範圍有其分類，一般海域的環境噪音在不同頻率的產生機制，一為自然現象，例如風或雨所造成海面之噪音，包括碎波、海流及氣泡的產生等，影響頻率較高所以無法傳到遠處，相關頻率範圍約在 100~10k Hz，二是人為因素，產生的噪音多為船舶噪音以及沿岸工程所發出的低頻噪音，經由海洋波導，可傳遞數千公里遠之距離，主要頻率範圍約在 100~500 Hz 之間，第三則是生物所發出聲音，像是大家所熟悉的鯨豚類、槍蝦等，頻率範圍約為 10~30k Hz。

本計畫目標在彰化縣與雲林縣建立水下聲學監測平台，由環境噪音的分析，掌握各測站的海洋環境噪音趨勢與變動、分析環境噪音在時間與空間上的差異性，以及探討顯著噪音事件的特徵與影響，最後提供背景聲場以研究中華白海豚的行為生態與環境噪音變動之關係。

貳、材料與方法

(三) 監測位置與監測系統

錄音資料同水下聲學定點監測之資料。

(四) 資料分析與研究方法

本研究分析內容先以快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)是將時域的序列信號轉換到頻域中，方便探討在各頻率下的信號能量變化，根據 G. M. Wenz (1962) 的研究，因環境噪音位準依頻率範圍有其分類，於本文研究中，選定分析頻率：125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、4 kHz、8 kHz 與 16 kHz，採用

的分析頻寬為 1/3 Octave Band Total。

以噪音時間序列分析可觀察單一頻率環境噪音在時間上的變化(圖四~圖十三)，配合量化環境噪音的大小與變動性，也就是平均值及標準差的計算，就可得知環境噪音在各頻率上的整體趨勢，為了能明顯觀察環境噪音的變動趨勢，將資料做每小時平均，以每一小時一筆資料做觀察，更可看出各頻率的聲壓位準變動。雖然從環境噪音之時間序列可觀察到，環境噪音有週期性的變化趨勢，但環境噪音同樣具有不可預期的隨機變化特性，因此藉由箱型圖來說明不同頻率的聲壓位準分佈情形，如圖十四、圖十五所示，而平均值與標準差的統計量，可以說明環境噪音的大小與變動性，但不足以說明環境噪音的分佈情形，所以多引進了兩個統計量，尖率(Kurtosis)與偏率(Skewness)配合箱型圖，去說明環境噪音的分佈情形，由於從時頻譜觀察到石首魚的發聲頻率範圍涵蓋到 1~2 kHz，如圖二十所示，所以針對頻率 1 kHz 與 2 kHz 的環境噪音在不同時段聲壓位準之分佈情形，可將一天的時間分成 4 個時段，分別為上午(6~12 hr)、下午(12~18 hr)、前夜(18~0 hr)以及後夜(0~6 hr)，配合箱型圖(圖十六~圖十九)觀察此 4 個時段聲壓位準之變動與石首魚出沒的時段，最後針對船舶噪音時頻譜，比較船舶噪音出現時與其無船舶出現之背景值，並且觀察船舶噪音影響的頻率範圍。

參、結果

本研究內容以新虎尾溪口(YL)與外傘頂洲北端(WS)兩測站資料進行環境噪音統計分析，兩測站在每月的分析日期以及天數如下，YL 的實驗時間有 3 組，第一組：2012/06/09~2012/06/21(13 天)、第二組：2012/07/18~2012/08/11(24 天)、第三組：2012/08/21~2012/09/20(31 天)；WS 測站的實驗時間有 2 組，第一組：2012/07/16~2012/07/29(14 天)、第二組：2012/09/02~2012/10/02(31 天)。

(五) 噪音時間序列

將 YL 測站 3 組實驗期間的資料，與 WS 測站 2 組實驗期間的資料做比較，從噪音時間序列圖可以觀察到 YL 與 WS 兩實驗地點的噪音變動趨勢，兩測站相似的趨勢在於頻率 1 kHz 與 2 kHz 的峰值較高，且具有一定的週期性變化；相異的趨勢則在於，YL 地點受低頻噪音(125 ~500 Hz)影響較大，平均聲壓位準值約 86~88 dB，主要貢獻來源為船舶或工程噪音，WS 測站從時間序列圖則可看出，低頻噪音明顯小於 YL 測站，平均聲壓位準值約為 70 ~76 dB。從兩實驗測站的比較上可得知，雲林沿海地區，環境噪音的變動在頻率 1 kHz 與 2 kHz 有較大且週期性的變動，而在低頻噪音則依地點環境不同有不一樣的貢獻量。

(六) 噪音位準分佈

將 YL 與 WS 實驗期間的資料，YL 測站的 3 組實驗，與 WS 測站的 2 組實驗，各別合併做統計分析，去比較 YL 與 WS 兩實驗測站的環境噪音分佈情形，從表一、表二來看，相似的部分在於標準差較高值發生於頻率 1 kHz 與 2 kHz，尖率都是正值，偏率也呈現正值，表示了雲林縣沿海地區環境噪音在頻率 1 kHz 與 2 kHz 的變動最大，噪音分佈集中並且偏小，頻率 1 kHz 與 2 kHz 會有較大的變動在於許多噪音源的發生頻率都落於這兩個頻率，例如少數船舶噪音、風浪與降雨，尤其在雲林沿海地區於前夜有大量石首魚鳴音，所以造成 1 kHz 與 2 kHz 的標準差較大。相異的部分則在於低頻噪音平均位準值差了將近 15 dB，顯示在 WS 測站受到低頻噪音的影響小於 YL 測站。

(七) 時段變動分析

由於 YL(3 組實驗期間)與 WS(2 組實驗期間)兩實驗地點石首魚出沒的模式不一樣，所以在時段變動上呈現了稍微不同的趨勢，YL 地點的石首魚固定於前夜 6 點至 12 點出沒，而於 WS 地點出沒的時間則較不固定。以整體雲林沿海環境噪音在日夜變動來看，前夜的環境噪音在 1 kHz 與 2 kHz 的貢獻量是較大的，量化之結果如表三與表四所示，兩測站前夜環境噪音的平均位準值都大於其他 3 個時段約 9~14 dB。

(八) 石首魚鳴音時頻譜

圖二十為前夜石首魚鳴音的時頻譜，從圖中可看出石首魚群鳴音頻率範圍涵蓋到了 1 至 2 kHz，所以只要有石首魚群出沒於前夜期間，就會在時段變動的分析上看到前夜平均聲壓位準值大於其他 3 個時段的情形。

(九) 船舶噪音時頻譜

YL 與 WS 兩測站的船舶噪音主要來自於小型漁船或動力小艇，有別於一般大型貨輪，小型漁船的影響頻率範圍較為高頻，從兩實驗測站的資料聆聽可以明顯聽到船舶由遠而近之後離去的聲音，再配合船舶噪音時頻譜，如圖二十一所示，可發現明顯發現由小型漁船發出的船舶噪音，彼此互相干涉而產生浴缸效應的現象，當船舶很接近水下麥克風時，聲波的入射波與反射波彼此干涉影響最大，所影響的頻率範圍甚至到 10 kHz 以上，這是明顯的小型漁船噪音特徵頻譜。量化的結果從表五可觀察到，小型船舶噪音以 4 kHz 的聲壓位準值較大，位準值為 93.2 dB。

肆、結論

由噪音時間序列的分析可得知，雲林沿海的環境噪音的變動有一定的週期性，特別在於頻率 1 kHz 與 2 kHz 有高峰值的產生，並且有較高的標準差，兩實驗地點標準差約為 8~9 dB，顯示在此兩個頻率，環境噪音有較大的變動性，環境噪音的平均位準值，YL 與 WS 兩測站相比，明顯的差異在於 YL 測站低頻噪音大於 WS 測站，YL 測站低頻噪音約為 87~88 dB，而 WS 測站低頻噪音約則為 70~76 dB，兩測站差了將近 15 dB，顯示在 WS 測站受到低頻噪音的影響小於 YL 地點。

環境噪音的分佈情形，從尖率與偏率搭配箱型圖的分析可發現，尖率值，都為正值，表示聲壓位準在各頻率上的分佈較為集中，尖率也呈現正值，也就是聲壓位準值分佈偏小，由於各頻率尖率的系數值偏高，當係數值遠離零越遠時，表示偏離常態的情況越明顯，所以雲林沿海的環境噪音分佈不為常態分佈。

從時段變動分析上可發現，在頻率 1 kHz 與 2 kHz，前夜環境噪音平均位準值大於其他 3 個時段，再搭配前夜石首魚群鳴音的時頻譜可看出，石首魚群鳴音頻率範圍涵蓋到了 1 至 2 kHz，量化結果也顯示出前夜環境噪音的平均位準值大於其他 3 個時段約 9~14 dB，也因此前夜石首魚鳴音為雲林沿海環境噪音重要的貢獻量之一。

於小型漁船噪音時頻譜可得知，小型漁船的噪音由於聲音干涉現象，造成其聲壓位準在中高頻率也有其貢獻量，尤其以頻率 4 kHz 上下的能量為最強，從表五的量化值可得知於頻率 250 Hz，1 kHz、2 kHz 與 4 kHz，小漁船出現時的聲壓位準比起無船舶出現時的環境噪音大了將近 15~25 dB。中華白海豚哨叫聲的頻率範圍主要以 3-5 kHz 為主，也因此由船舶噪音分析得知，當地為數不少的小型漁船有可能遮蔽海豚哨叫聲。

伍、參考文獻

G. M. Wenz (1962) Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Source, *The Journal of the Acoustical Society of America*, **34**, 12, 1962.

R. J. Urick (1984) Ambient Noise in the Sea, Peninsula.

Knudsen, V. O., Alford, R. S., and Emling, J. W. (1948) Underwater Ambient Nois, *J.*

Mar. Res. 7, 410.

- 涂章、魏瑞昌。(2004)。被動聲學定位法應用於石首魚之沿海棲地調查，國立中山大學海下技術研究所碩士論文。
- 劉志昇、魏瑞昌。(2003)。南海低頻環境噪音之分析，國立中山大學海下技術研究所碩士論文。
- 蔡忠廷、魏瑞昌。(2007)。台灣西南海域淺海環境噪音分析，國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所。
- 陳琪芳、魏瑞昌、周蓮香、湛翔智、吳誌豪、劉建明、林子皓。(2010)。利用聲學方式監測海洋環境與中華白海豚生態。於“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。(2010)。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”。
- 邵廣昭、陳孟仙。(2010)。中華白海豚與漁業資源。於“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 (2010) 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”。

表一、YL 各頻率聲壓位準之統計分析

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz | 16 kHz |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Mean (dB) | 87.7 | 89.0 | 88.7 | 88.1 | 88.2 | 82.0 | 78.4 | 75.0 |
| Std (dB) | 5.8 | 5.5 | 5.5 | 9.6 | 8.6 | 6.3 | 3.7 | 2.3 |
| 尖率 | 3.7 | 2.8 | 4.8 | 4.9 | 4.9 | 5.6 | 5.7 | 7.5 |
| 偏率 | 0.2 | -0.3 | 0.7 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.0 | 0.9 |

表二、WS 各頻率聲壓位準之統計分析

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz | 16 kHz |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Mean (dB) | 70.4 | 71.7 | 76.0 | 78.4 | 85.4 | 81.2 | 79.5 | 77.9 |
| Std (dB) | 6.4 | 6.1 | 7.3 | 9.1 | 8.1 | 5.1 | 3.2 | 2.0 |
| 尖率 | 4.0 | 3.0 | 3.8 | 5.0 | 4.8 | 8.8 | 6.0 | 5.0 |
| 偏率 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.4 | 1.4 | 1.9 | 1.3 | 1.0 |

表三、YL 不同時段平均聲壓位準表

| 時間 \ 頻率 | 上午(6~12 hr) | 下午(12~18 hr) | 前夜(18~0 hr) | 後夜 (0~6 hr) |
|---------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 1 kHz | 84.3 | 87.4 | 96.7 | 85.1 |
| 2 kHz | 84.1 | 87.7 | 95.2 | 85.8 |

單位：dB

表四、WS 不同時段平均聲壓位準表

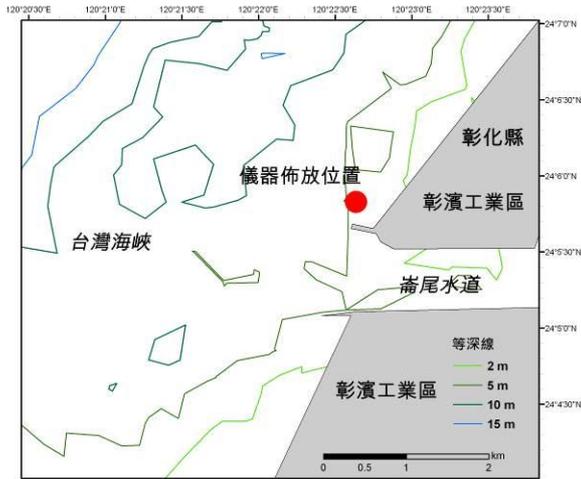
| 時間 頻率 | 下午(6~12 hr) | 下午(12~18 hr) | 前夜(18~0 hr) | 後夜(0~6 hr) |
|----------|-------------|--------------|-------------|------------|
| 1 kHz | 74.4 | 79.2 | 88.5 | 77.3 |
| 2 kHz | 83.4 | 85.4 | 94.7 | 86.7 |

單位：dB

表五、小型漁船噪音與背景值之比較

| | 250 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|-------------|--------|-------|-------|-------|
| 無船舶噪音出現之背景值 | 65.2 | 70.4 | 77.2 | 73.6 |
| 小型漁船噪音出現時 | 89.2 | 85.0 | 90.2 | 92.3 |

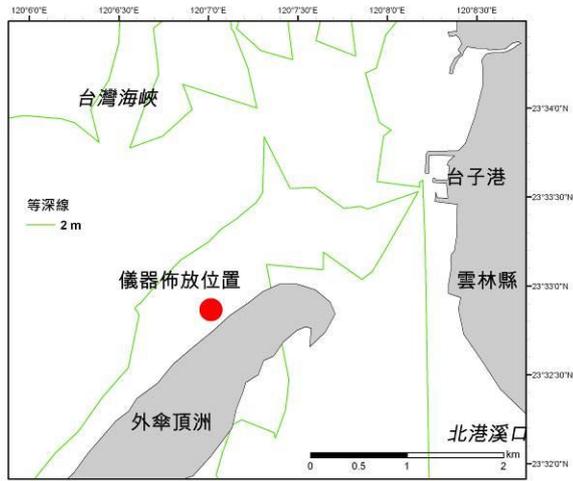
單位：dB



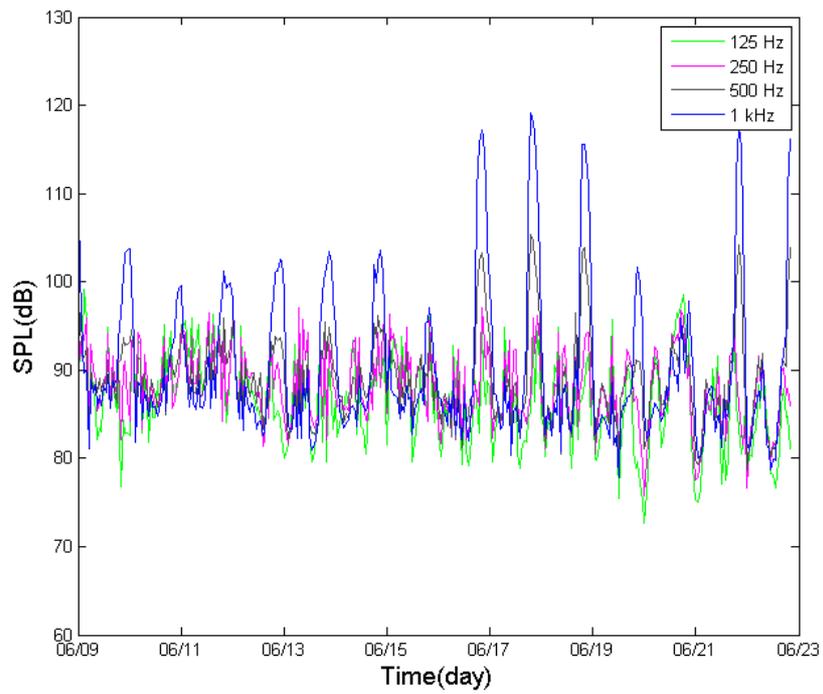
圖一、彰化縣崙尾水道口(CH)儀器佈放位置



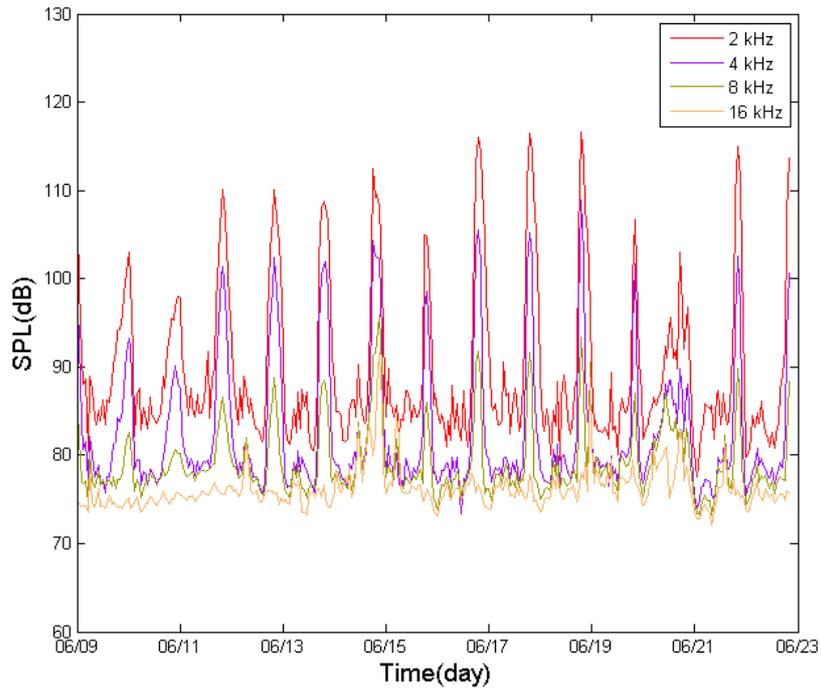
圖二、雲林縣新虎尾溪口(YL)儀器佈放位置



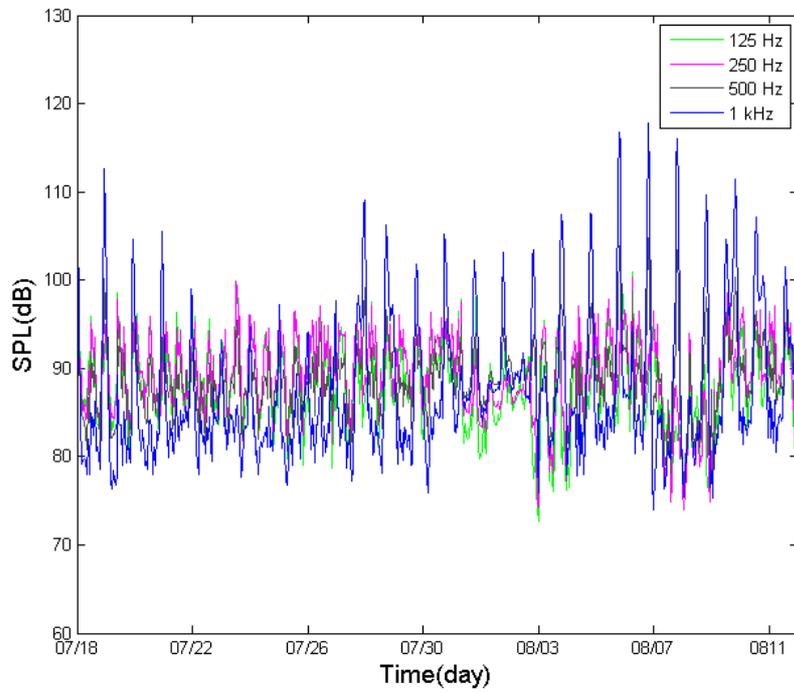
圖三、雲林縣外傘頂洲北端(WS)儀器佈放位置



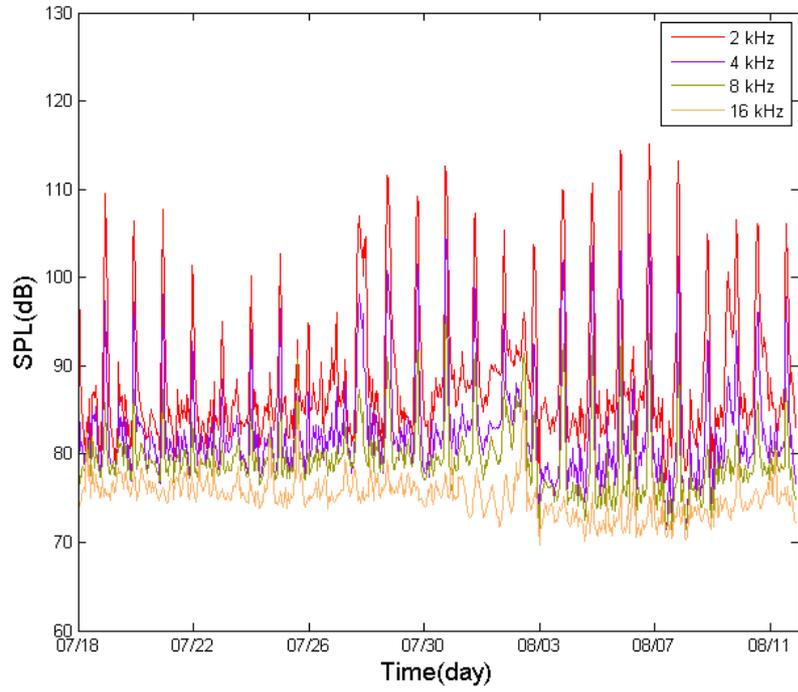
圖四、YL(06/09~06/21)每小時平均之環境噪音時間序列



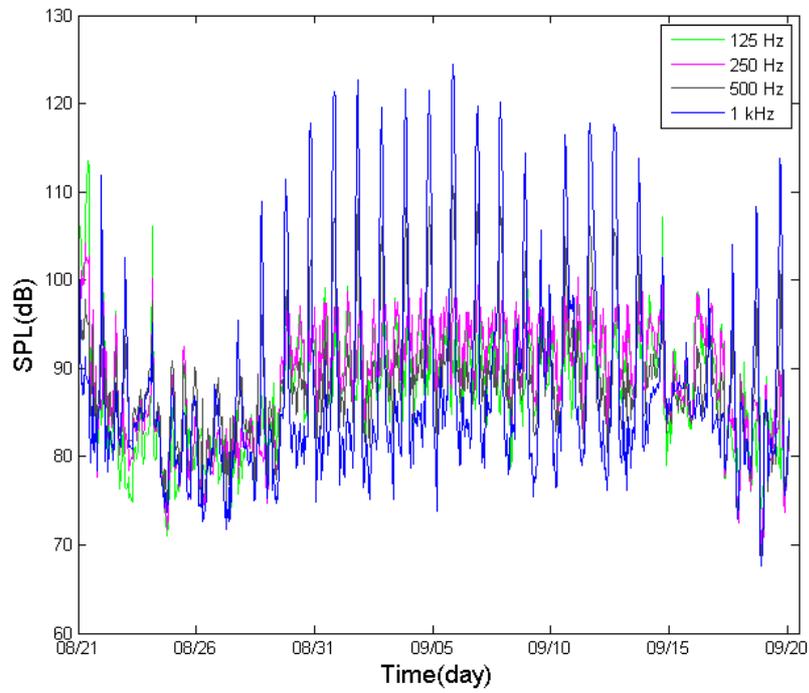
圖五、YL(06/09~06/21)每小時平均之環境噪音時間序列



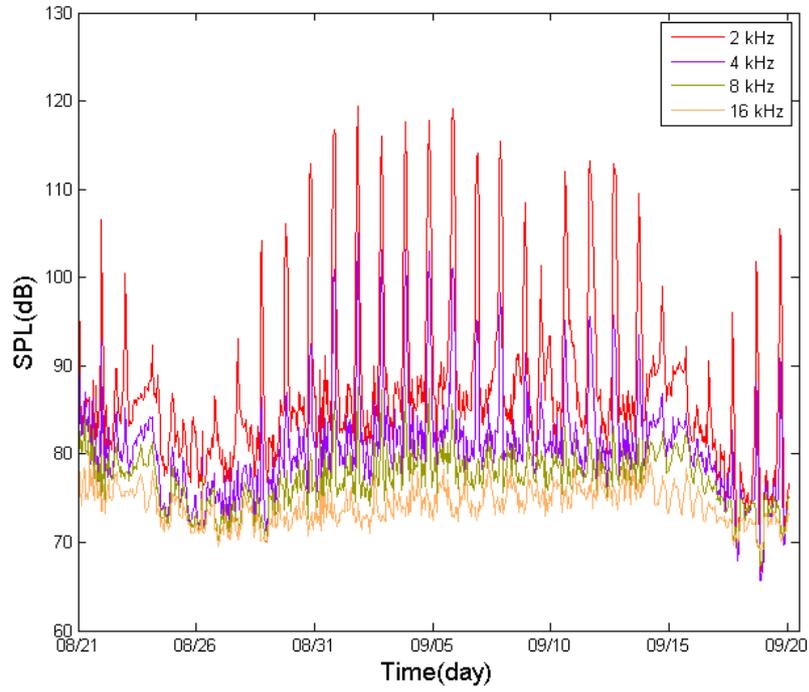
圖六、YL(07/18~08/11)每小時平均之環境噪音時間序列



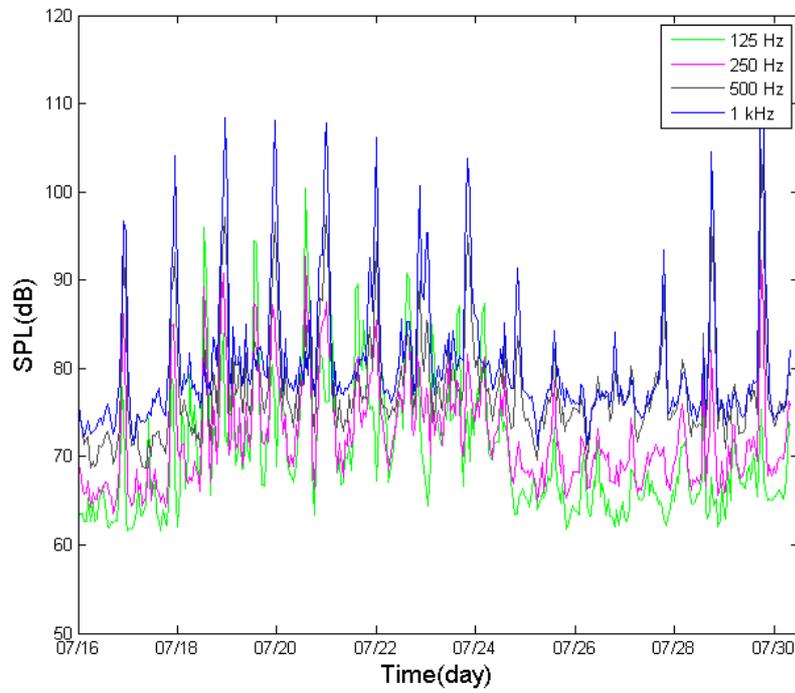
圖七、YL(07/18~08/11)每小時平均之環境噪音時間序列



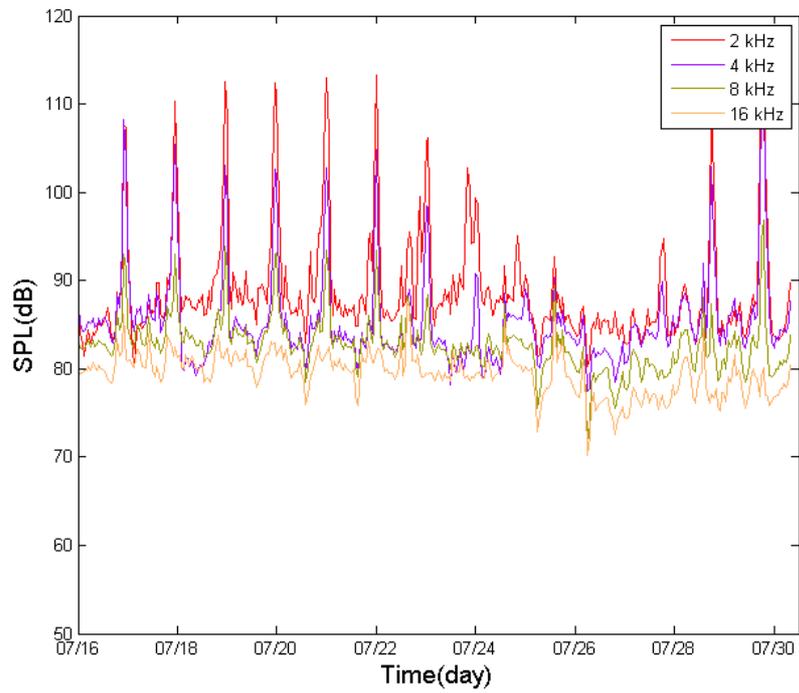
圖八、YL(08/21~09/20)每小時平均之環境噪音時間序列



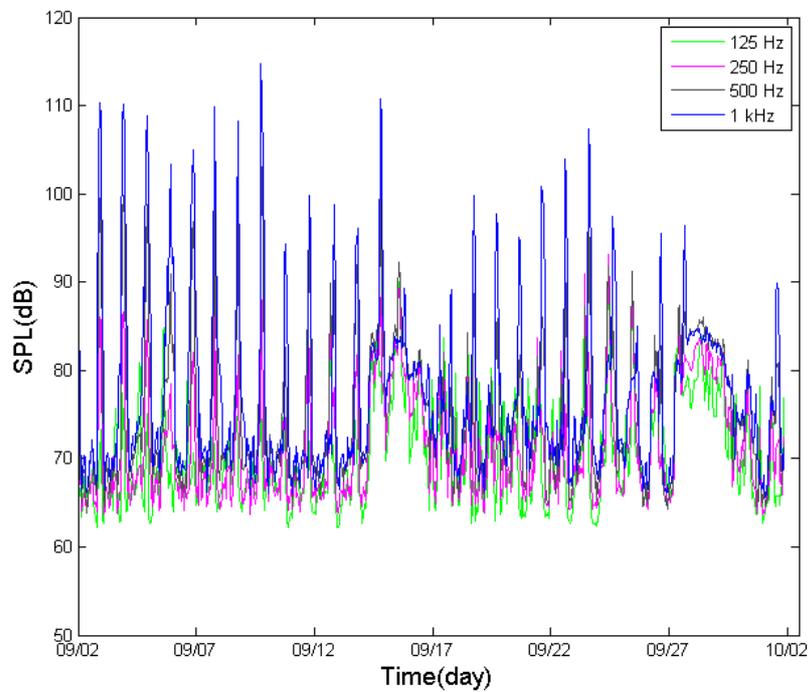
圖九、YL(08/21~09/20)每小時平均之環境噪音時間序列



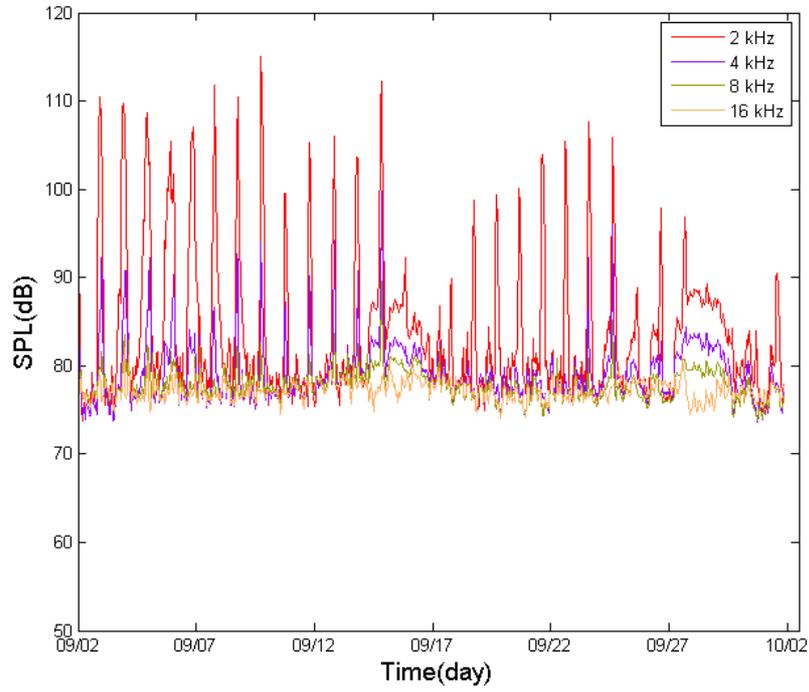
圖十、WS(07/16~07/29)每小時平均之環境噪音時間序列



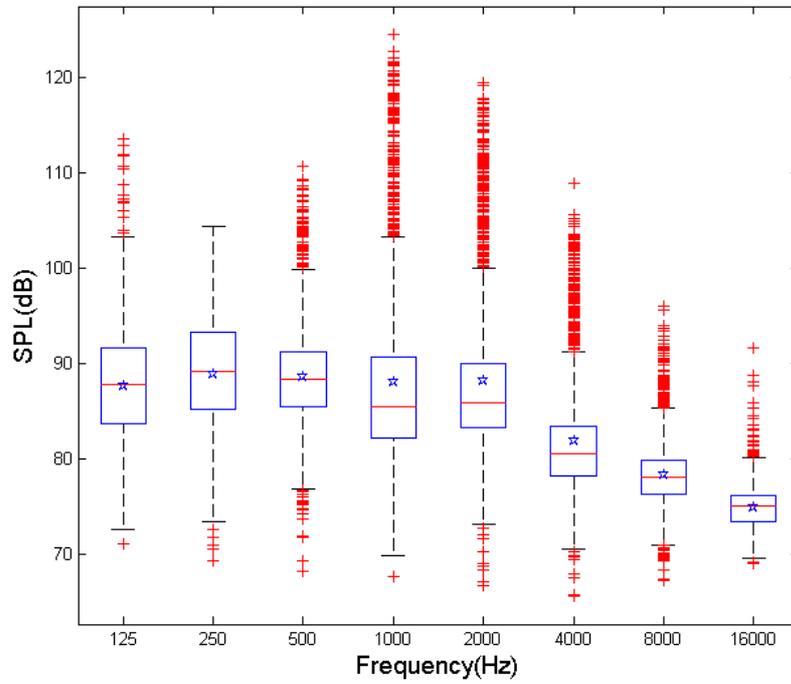
圖十一、WS(07/16~07/29)每小時平均之環境噪音時間序列



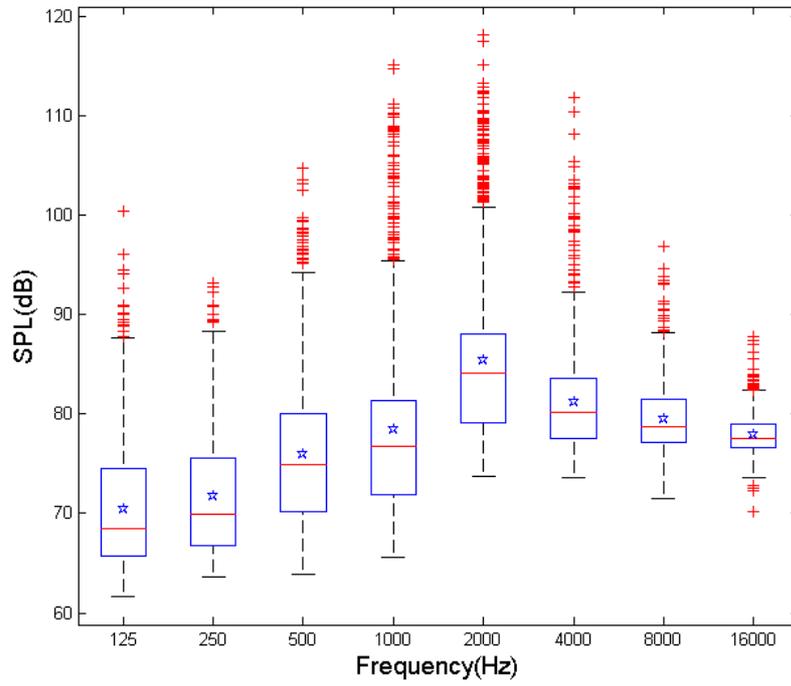
圖十二、WS(09/02~10/02)每小時平均之環境噪音時間序列



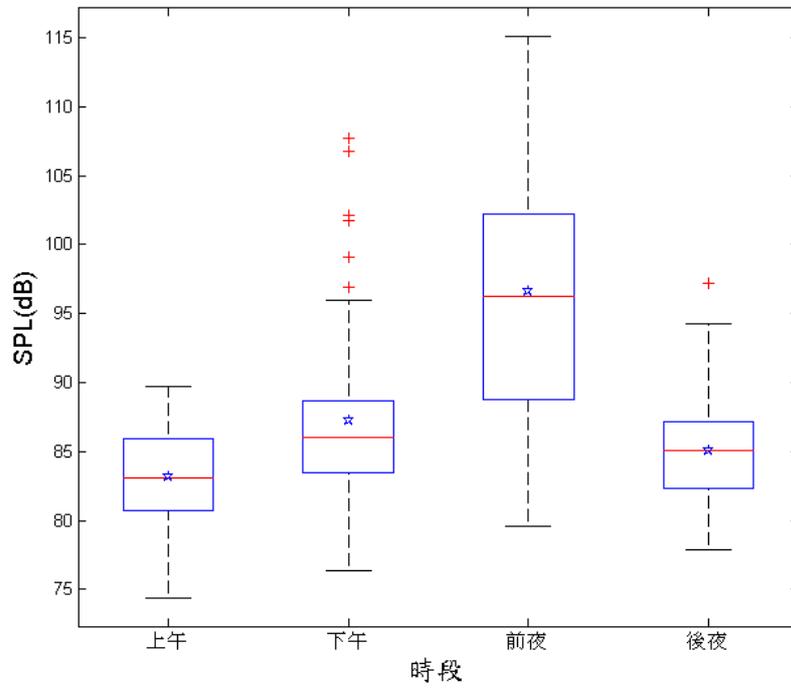
圖十三、WS(09/02~10/02)每小時平均之環境噪音時間序列



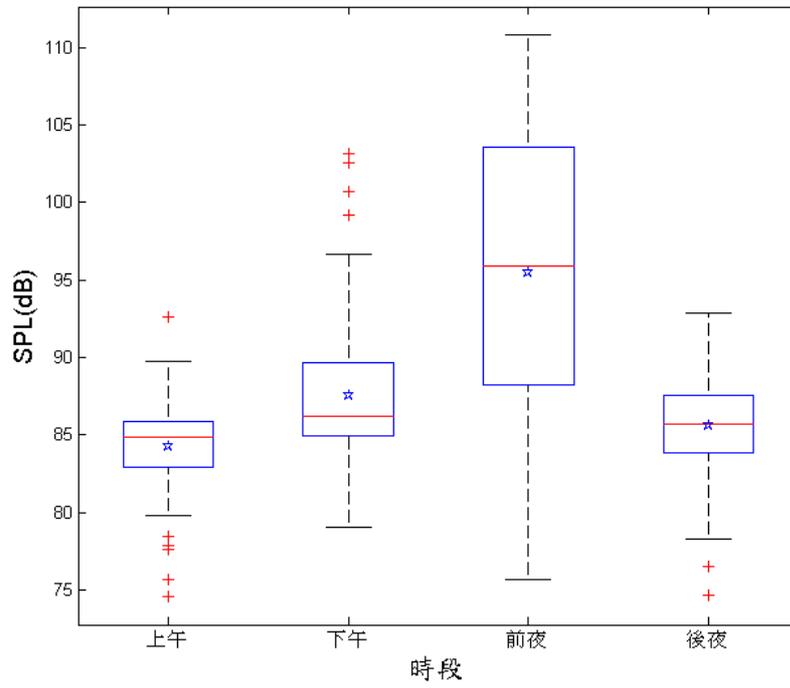
圖十四、YL 聲壓位準分佈之箱型圖



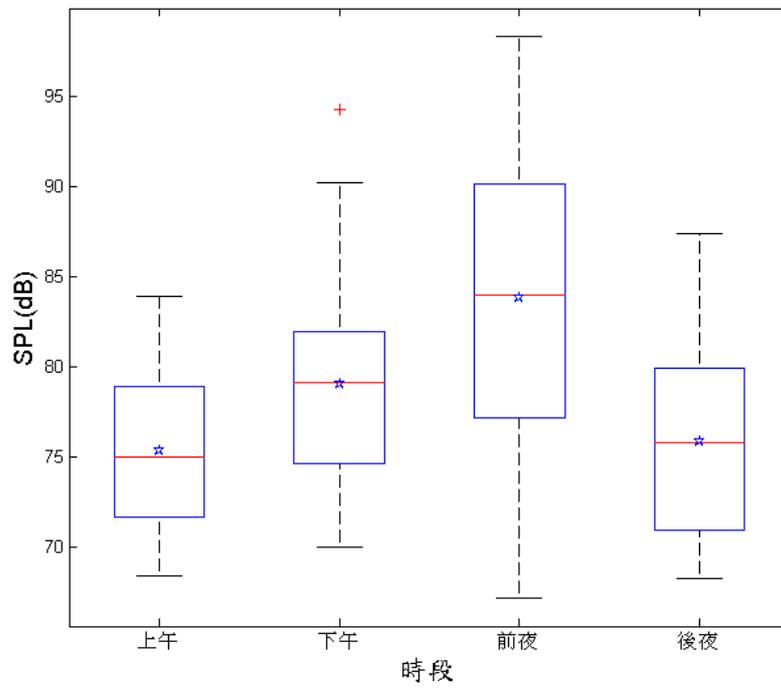
圖十五、WS 聲壓位準分佈之箱型圖



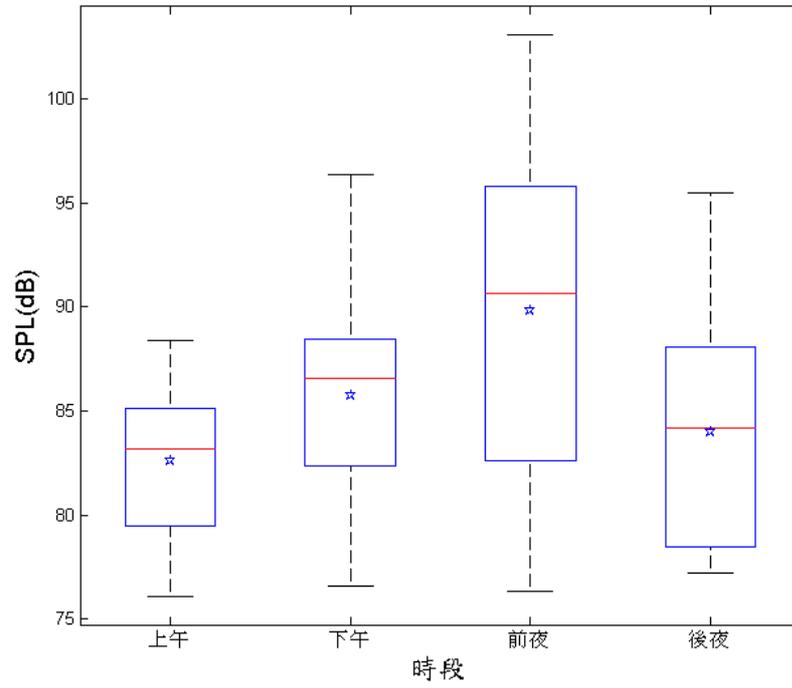
圖十六、YL 於頻率 1 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖



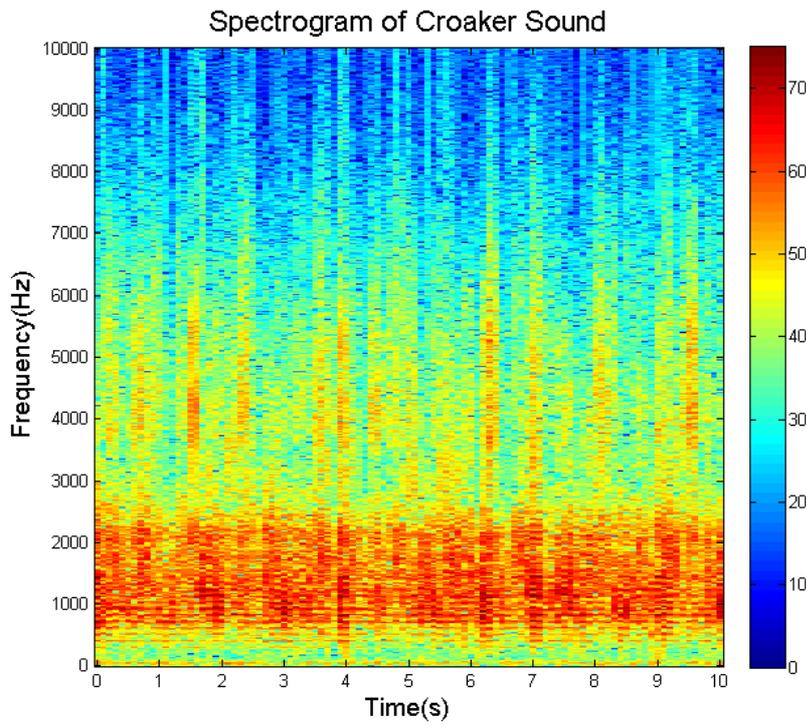
圖十七、YL 於頻率 2 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖



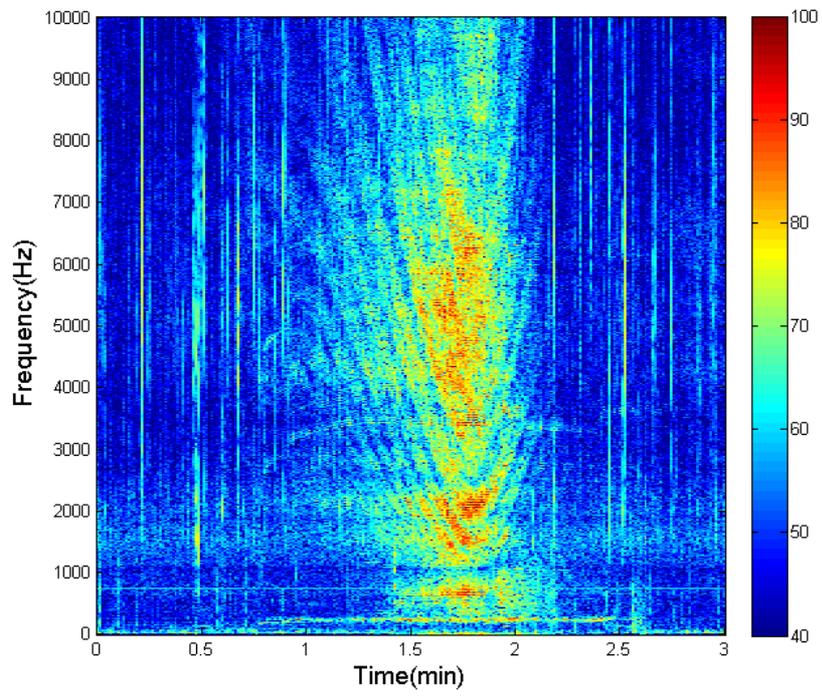
圖十八、WS 於頻率 1 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖



圖十九、WS 於頻率 2 kHz 不同時段之聲壓位準分佈圖



圖二十、石首魚群鳴音時頻譜



圖二十一、小型漁船噪音時頻譜