

行政院農業委員會林務局林業發展計畫 104 年度單一計畫結案報告書

計畫名稱：馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究(3/4)

The breeding population dynamic of Greater Crested
Tern in Matzu

104 林發-7.1-保-25

執行機關：國立臺灣大學

計畫主持人：袁孝維教授

2015.12.29

摘要

黑嘴端鳳頭燕鷗(*Thalasseus Bernsteinii*)為 IUCN 紅皮書中被列為瀕危之保育物種，僅在臺灣的馬祖、大陸韭山及五峙山列島有穩定的繁殖族群，且皆與共域之鳳頭燕鷗(*T. bergii*)同步活動。為瞭解燕鷗在海峽間的移動情形並收集繁殖基礎資料，2013 年起本研究透過繫放、直接觀察與架設自動相機等方式監測其繁殖族群動態。至 2015 年止，已在馬祖繫放超過 300 隻鳳頭燕鷗與 2015 年之第一隻黑嘴端鳳頭燕鷗，歷年來在馬祖與浙江都有數筆帶有足旗的鳳頭燕鷗被目擊的記錄。2015 年開始，本研究與台北市野鳥學會、澎湖縣野鳥學會、浙江自然博物館與國際鳥盟合作同步進行燕鷗繁殖族群調查，對黑嘴端鳳頭燕鷗族群量的評估有更完整的瞭解。在調查方法精進與招引計畫下，我們在兩岸三處的繁殖季共記錄到黑嘴端鳳頭燕鷗成鳥 75 隻、幼鳥 24 隻，突破過去認定不到 50 隻的族群量。此外，藉由分析燕鷗的胸羽與蛋殼中的重金屬含量，本研究發現在馬祖繁殖的燕鷗體內有砷、汞、鉛累積的情形。未來除持續進行燕鷗繫放與族群監測外，也將進行衛星發報器施放與環境汙染物之監測等工作。

目錄

| | |
|----------------------------|----|
| 壹、前言 | 1 |
| 一、擬解決問題 | 1 |
| 二、研究目標 | 2 |
| 貳、研究方法 | 5 |
| 一、研究地點-馬祖列島燕鷗保護區 | 5 |
| 二、研究項目 | 6 |
| 參、工作成果 | 9 |
| 一、燕鷗繁殖狀況與繫放工作 | 9 |
| 二、燕鷗繁殖成功率與棲地環境之相關性分析 | 15 |
| 三、資訊交流平台網站 | 17 |
| 四、聲音與影像監視系統 | 18 |
| 五、量化燕鷗族群與環境資源變遷之趨勢 | 21 |
| 六、兩岸交流合作 | 28 |
| 肆、結論與建議 | 30 |
| 伍、參考文獻 | 33 |
| 附錄一 繫放紀錄 | 35 |
| 附錄二 重金屬分析結果 | 37 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1. 馬祖列島燕鷗保護區各島嶼位置 | 5 |
| 圖 2. 衛星影像資訊分析位置 | 8 |
| 圖 3. 2015 年 5 月研究人員在鐵尖上的植被整理與假鳥、相機設置工 作 | 10 |
| 圖 4. 利用線性迴歸估計中島小黃腹鼠族群數量 | 11 |
| 圖 5. 自動照相機記錄燕鷗的繁殖狀況 | 13 |
| 圖 6. 首隻被繫放黑嘴端鳳頭燕鷗幼鳥 | 14 |
| 圖 7. 在五峙山列島的樣區中收集到的鳳頭燕鷗巢位密度、坡度、植 被覆蓋度、假鳥數量與燕鷗產卵時序資料 | 16 |
| 圖 8. 網站首頁的新聞頁面 | 17 |
| 圖 9. SM3 在 5 月 26 日中午的錄音資料，channel 2 為右聲道 | 18 |
| 圖 10. 鳳頭燕鷗與白眉燕鷗的鳴聲圖譜，鳴聲較長且明顯區分為三個 頻率波段的為鳳頭燕鷗，鳴聲較短且頻率分段較不明顯的是白眉 燕鷗 | 19 |
| 圖 11. 紅燕鷗的鳴聲圖譜，其鳴叫聲較為特別(紅色區塊部分)，在鳴 聲結束前會有一個明顯的降頻特徵 | 19 |
| 圖 12. 鳳頭燕鷗聲音定量分析：紅色區塊即為鳳頭燕鷗鳴叫，紅色圓 點標示處即為共振峰位置 | 20 |
| 圖 13. 聲音記錄器 5/15-6/28 每日 8 點至 18 點間分析結果 | 20 |
| 圖 14. 2000-2015 年馬祖黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(GCT)的族 群變化 | 21 |
| 圖 15. 黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(GCT)的族群數量迴歸關係 | 21 |
| 圖 16. 2000-2015 年馬祖海面溫度(折線圖, °F)與鳳頭燕鷗數量(柱狀圖) 變化 | 22 |
| 圖 17. 上圖：繁殖季初的成鳥族群和 5 月海面溫度(°K)相關圖；下圖： 最大族群量(含幼鳥)為 8 月的海面溫度(°K)相關圖 | 23 |
| 圖 18. 2008-2015 年 5-8 月平均海水溫度(°K)與葉綠素濃度(mg/m ³)變 化 | 24 |

| | |
|---|----|
| 圖 19. 2008-2015 年鳳頭燕鷗數量與海水葉綠素濃度(mg/m^3)相關圖 | 25 |
| 圖 20. 模擬黑嘴端鳳頭燕鷗未來 150 年之族群成長趨勢 | 26 |
| 圖 21. 2015 年鳳頭燕鷗成、幼鳥胸羽中重金屬 Hg, As 與 Pb 的平均濃度(mg/kg) | 27 |
| 圖 22. 2015 年 7 月 15-18 日袁教授至五峙山與韭山列島的燕鷗誘引島嶼考察，左上圖由右至左依序為陳承彥研究員、陳水華副館長、袁孝維教授與博士生洪崇航，後方為鐵墩島上監測人員居住的帳篷 | 28 |
| 圖 23、2015 燕鷗保育研討會。左上-劉增應縣長致詞、右上-全體人員合照、左下-林務局管立豪回應提問、右下-各單位主持綜合討論回應民眾提問 | 29 |

壹、前言

一、 擬解決問題

根據 Chan 等(2008)提出的黑嘴端鳳頭燕鷗保育行動計畫，應優先執行的項目有：停止獵捕、尋找繁殖地、尋找度冬地、劃設保護區、禁止人員進入繁殖地、防止或去除繁殖地的其他入侵物種、族群監測、棲地監測、大眾教育、繁殖生物學研究、繁殖期的覓食行為研究、非官方的兩岸溝通管道。在 102 與 103 年間，海峽兩岸的黑嘴端鳳頭燕鷗研究團隊在多次互訪、交流中，也已達成共識認為兩岸間應尚有其它潛在繁殖地存在，且未來兩岸研究團隊應合作執行更多的燕鷗繫放與監測工作以釐清現存之繁殖失敗原因。綜合以上所述，本計畫擬定解決之問題如下所列：

1. 了解大鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗之族群數量、族群結構、棲地忠誠度、族群分化、生活史與繁殖生物學等資料。
2. 了解各島嶼的棲地環境與燕鷗之棲地偏好情形。
3. 了解大鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗於海峽兩岸間之移動與繁殖狀況。

二、 研究目標

(一) 全程目標：

1. 利用帶有編碼之足旗標誌鳳頭燕鷗，並持續觀察記錄每年於馬祖地區出現帶有足旗之個體資訊，以收集馬祖地區繁殖之鳳頭燕鷗其族群數量、族群結構、棲地忠誠度、生活史等資料。
2. 分析馬祖地區鳳頭燕鷗之血液樣本，定序其 DNA 序列以期後續與來自大陸、澎湖地區之樣本比對，了解其族群分化情形。
3. 分析馬祖列島燕鷗保護區內各島嶼的棲地環境以了解燕鷗之棲地偏好情形，調查項目將包含各島礁之地形、地貌、植被、土質與其潛在掠食者-小型哺乳類之族群數量估計。
4. 持續在繁殖季前於各島嶼進行植被環境調查，若發現環境不利於燕鷗繁殖利用(如植被高度過高、坡度過陡、植物種類不適宜燕鷗進駐等)，利用小型器具進行小規模之繁殖棲地營造。
5. 利用自動影像紀錄器或自動聲音紀錄器持續監測資訊燕鷗繁殖巢區以掌握保育現況。
6. 建構海峽兩岸鳳頭燕鷗族群動向資訊之聯繫網路，增強兩岸燕鷗研究的資訊流通與合作機會。
7. 透過前述各項研究資訊，分析馬祖列島燕鷗保護區之保育現況及其威脅壓力，並研擬未來短、中長程之燕鷗保育行動計畫。

(二) 本年度目標：

1. 標誌於馬祖地區繁殖之大鳳頭燕鷗，並利用目擊紀錄估算其回收率。
2. 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網 10 次。
3. 馬祖列島燕鷗繁殖棲地環境調查與營造。
4. 聲音與影像監視系統架設。
5. 燕鷗繁殖成功率與棲地環境之相關性分析。
6. 量化燕鷗族群與環境資源變遷之趨勢。
7. 燕鷗繁殖之 5-8 月間至大陸浙江參訪、出席兩岸交流會議 1 次。

貳、研究方法

一、 研究地點-馬祖列島燕鷗保護區

馬祖列島燕鷗保護區成立於 2000 年 1 月 26 日，保護區範圍涵蓋東引鄉之雙子礁，北竿鄉之三連嶼、中島、鐵尖、白廟、進嶼，南竿鄉之瀏泉礁，與莒光鄉之蛇山共 8 座島嶼(圖 1)。8 座島嶼均為孤立於各鄉外之無人島嶼，附近海域漁產豐富，平時除漁民前往捕魚、採集海產外，人跡罕至，造就為多種海鳥繁殖棲息的群聚地(歐陽忻憶 2005；劉用福 2008；張壽華 2008)。保護區之主要保護目標為以這些島嶼作繁殖地區的白眉燕鷗、紅燕鷗、蒼燕鷗、鳳頭燕鷗、黑尾鷗、岩鷺(*Egretta sacra*)、叉尾雨燕(*Apus pacificus*)七種鳥類。在管理方面，為避免人為干擾，連江縣政府已劃設各保護區島礁低潮線向海面延伸 100 m 為緩衝區，觀光與漁業行為均被管制在此範圍外活動。

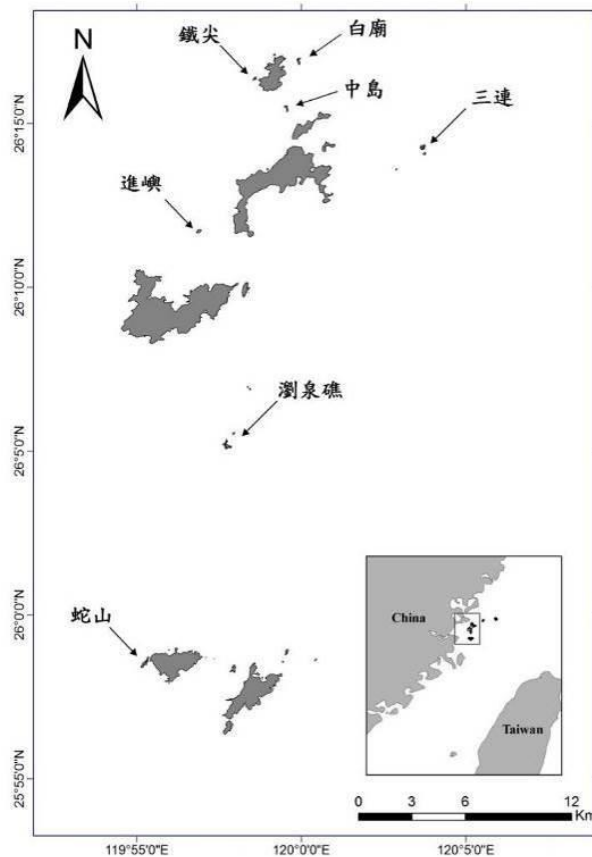


圖 1. 馬祖列島燕鷗保護區各島嶼位置

二、 研究項目

(一) 燕鷗繫放

為避免干擾，繫放工作將於繁殖後期確認未有仍孵巢之燕鷗成鳥後進行。捕捉方式將使用霧網(mist net)，於晨昏間登島架設網具後離開，在海面上靜待鳥隻因視線不明中網再趨船登島解網，每次繫放工作時間以不超過兩小時為限。待捕捉到燕鷗成鳥或幼鳥後，將測量基本量值如：嘴喙長、翼長、附蹠長、體重、體長與換羽情形。在個體標誌部分，研究人員將在燕鷗成鳥左腳繫上金屬環、右腳繫代表台灣之上白下藍編碼足旗，雛鳥則繫上金屬環與色環作為標記。若燕鷗族群因人為過度干擾而有棄巢或是鳥隻傷亡之疑慮時則應停止繫放工作。今年度除馬祖列島外，也將評估至澎湖、韭山或五峙山列島之黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖地進行繫放之可能性。

(二) 馬祖列島燕鷗繁殖棲地環境調查與營造

根據團隊過去之植被調查資料顯示，保護區內各座島嶼的植被環境隨季節、氣候與燕鷗繁殖擾動有相當大的變化。本計畫將延續過去的調查工作，在繁殖季前後進行各島嶼的環境調查與採樣包含：植被種類與覆蓋度、坡度、棲地類型、面積、土壤、棄蛋、鳥屍樣本等。若於繁殖季前發現環境不利於燕鷗繁殖利用(如植被高度過高、坡度過陡、植物種類不適宜燕鷗進駐等)，將利用小型器具進行小規模的棲地營造。

(三) 燕鷗繁殖成功率與棲地環境之相關性分析

整合過去收集之燕鷗繁殖資料與各項棲地因子進行統計分析，以釐清環境因子對燕鷗繁殖狀況之影響權重關係。

(四) 維護海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網

持續維護並更新於 2013 年架設之海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網，並視大陸資安政策調整網域位置以便大陸研究人員檢閱。網站主頁內容目前規劃包含黑嘴端鳳頭燕鷗簡史、馬祖列島燕鷗保護區、保育現況與威脅、未來展望、研究團隊介紹。除在主頁介紹相關研究背景外，本網站也可利用網誌共同作者方式定期、多方更新資訊，文章列表目前初步規劃分為活動資訊、觀察記錄與研究主題。未來將視情形增加文章列別，並定時上傳燕鷗族群監測訊息與相關保育活動消息。

(五) 聲音與影像監視系統架設

為加強燕鷗保護區內每座島嶼的燕鷗繁殖影像紀錄資訊，研究人員擬於繁殖季前登島架設 5-10 台具夜視與廣角功能之紅外線自動攝影機(KeepGuardSD-1039 或 Reconyx HC600)。紅外線自動相機是藉由高感度的被動式紅外線動作感應器來偵測感應範圍內動作中或溫度異於環境的物體，觸發後即自動攝錄高解析相片或影片。相較於傳統底片式相機，影像都是直接儲存於機身內部的 SD 記憶卡中，在儲存容量與運作時間上都較傳統相機高出數倍。屆時依照拍攝目的設定定時每 0.5 至 1 小時拍照或錄影。在繁殖季結束後，研究人員將登島回收自動相機，並依據自動相機拍攝範圍劃分樣區，量測每一樣區內的巢數、坡度、坡向、棲地類型、植被種類、植被覆蓋度與高度並與隨機點做比較。相關之數據將作為繁殖棲地偏好之依據。另外也將利用防水防塵的聲音紀錄器(Wildlife Acoustics, SM3)，長時間區段性、週期性的記錄背景聲音。放置在調查樣區一段時間後再收回至實驗室內，利用軟體或人工分析記錄到的物種，甚至可利用鳴叫聲來估計周圍的鳥類族群數量。視燕鷗保護區內各島嶼的面積大小與地形，一個島嶼放置 1 至 2 台聲音記錄器較為適合。

(六) 量化燕鷗族群與環境資源變遷之趨勢

為了解海峽兩岸之燕鷗族群波動原因，擬整合多項大尺度環境因子：氣候、海面溫度、魚類資源等數據與歷年燕鷗繁殖族群調查結果相較，以探究其變化趨勢與受限因子。燕鷗族群資料參考張壽華(2008)、社團法人台北市野鳥學會(2010-2015)、袁孝維等(2010-2012)、袁孝維(2013-2014)。大尺度資料主要來自美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)網站公開的衛星影像分析結果¹。分析目標範圍設定在緯度 25.65-25.65 度、經度 119.65-120.65 度如下圖所示：

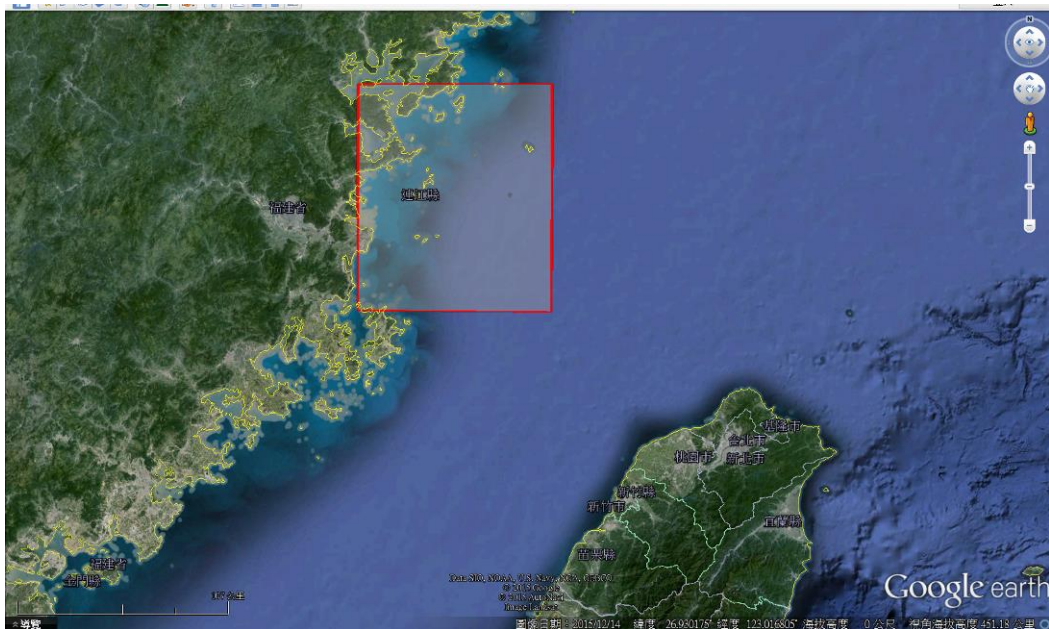


圖 2. 衛星影像資訊分析位置

(七) 至大陸浙江參訪、出席兩岸交流會議

為促進兩岸研究團隊的合作共識、資訊交流與了解黑嘴端鳳頭燕鷗於浙江地概況與繁殖情形，擬於今年度燕鷗繁殖季期間(5-8 月間)由本計畫主持人至大陸浙江地區參訪，並出席與浙江自然史博物館研究團隊舉辦之海峽兩岸燕鷗保育交流會議，行程共計 3 日。

¹ <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>

參、工作成果

一、 燕鷗繁殖狀況與繫放工作

(一) 燕鷗棲地營造與環境調查

1. 棲地整理

2015 年度的誘鳥計畫地點和前兩年相同，挑選了鐵尖放置假鳥、自動照相機與聲音紀錄器，並在繁殖季前會同台北鳥會與連江縣建設局人員上島以除草機具進行棲地整理。在鐵尖的燕鷗巢區自 2011 至 2015 年的植被調查顯示，主要植群變化分為兩區域，第一個為鐵尖北方高處平台的緩坡，坡度約 10-15 度，及南方高處平台，坡度 0-5 度，這兩個較平緩區域亦為燕鷗築巢的主要熱點。而本年度春季及秋季的變化和以往相似，春季為變葉藜(*Chenopodium acuminatum* Willd. subsp. *virgatum* (Thunb.) Kitam.)、酸模(*Rumex acetosa* L.)、羊蹄(*Rumex crispus* L. var. *japonicus* (Houtt.) Makino)、龍葵(*Solanum nigrum* L.)、番杏(*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze)等植物萌芽，年中燕鷗繁殖後強度的干擾導致植群被破壞。

整體看來，燕鷗巢區皆為一年生或部分多年生草本為優勢植物，其餘非巢區較陡峭的坡面上優勢植物種類為小灌木或多年生藤本植物為主，例如高優勢度的蘄艾、紅仔珠、武靴藤、厚葉石斑木等。比較鄰近區域尚未有燕鷗築巢記錄的小坵島植物相及植群型來說(小坵島以芒草高草原、小葉黃鱧藤、雀梅藤等植物為優勢植群)，若未有燕鷗的干擾，植群可能會演替成以小灌木為主的植群。



圖 3. 2015 年 5 月研究人員在鐵尖上的植被整理與假鳥、相機設置工作

2. 鼠類移除

2015 年度研究人員分別於燕鷗繁殖季前後，於鐵尖和中島進行小型哺乳類調查，以薛氏捕鼠器(Sherman's trap)進行捕抓。飼料選擇顆粒花生醬混合地瓜。無論繁殖季前後，鐵尖皆無捕抓到任何小型哺乳類。中島則在繁殖季前(4月28日)於4個陷阱中捕抓到3隻小黃腹鼠(*Rattus losea*);在繁殖季後(11月1日~11月5日)則放置30個陷阱，期間重複收放陷阱三次，三次分別捕獲11隻、4隻、0隻小黃腹鼠，顯見中島存有一定的鼠群量。

綜合今年於中島調查小型哺乳類的結果，參照中華鳥會(2010)採用的鼠類族群估計方法:以每天捕獲的鼠數為 Y 值，從第零天到記錄前一天累積捕獲的總鼠數為 X 值，進行線性迴歸分析，X 軸截距即為該地區的鼠類族群數量，估計中島小黃腹鼠族群數量約為 17 隻 ($y = -2.25x + 35.75$, $r^2 = 0.871$)。小黃腹鼠的族群於 2012 至 2014 年是逐年減少的，甚至在 2014 年也僅捕抓到 1 隻，但今年的調查結果顯示小黃腹鼠的族群有恢復的跡象，未來若要在中島執行誘鳥計畫需要審慎評估與移除鼠群。

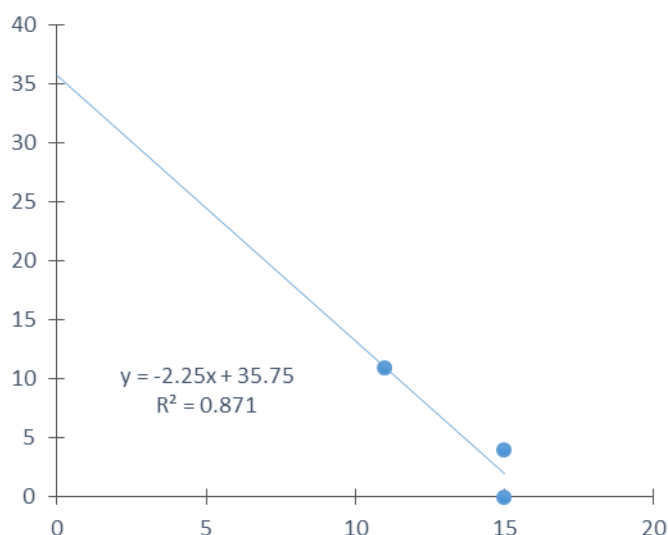


圖 4. 利用線性迴歸估計中島小黃腹鼠族群數量

(二) 燕鷗繁殖狀況

今年鳳頭燕鷗於 5 月 15 日陸續抵達馬祖海域，從繞島、登島調查與自動照相機的資料可知：鳳頭燕鷗 5 月 25 日開始下蛋，繁殖時間略晚於大陸浙江省韭山列島、舟山群島的族群一週(5 月 17 日紀錄到下蛋)。5 月 29 日研究人員的登島觀測時，在巢區發現了 10 隻黑嘴端鳳頭燕鷗，並有一半的鐵尖島被鳳頭燕鷗族群佔滿，約有 5-600 巢位，當時最大族群量約有 3000 隻。隨後研究團隊在 6 月 24 日的例行繞島調查中觀察到幼鳥出現。7 月 3 日再次登島觀測時，研究人員以親鳥和幼鳥的互動行為確認了至少有 4 隻黑嘴端鳳頭燕鷗的幼鳥，是繼 2011 年後再次紀錄到黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖成功；7 月 3 日島上多數幼鳥已離開巢區往島嶼邊坡移動，估計島上有 800 隻幼鳥，仍有約 100 隻親鳥在孵巢。7 月 9-11 日昌鴻颱風路經馬祖，所幸並無造成燕鷗傷亡，僅有 3 隻鳳頭燕鷗個體死亡，其中 2 隻死亡原因為被島上藤蔓植物纏繞住腳而無法脫逃，另 1 隻則是被釣魚線纏繞於身體與假鳥上，因而受困餓死於島上，雖為偶例，但也可知海洋垃圾對於海鳥生存也是潛在的壓力。總結今年度馬祖地區黑嘴端鳳頭燕鷗成鳥最大觀察數量為 13 隻，幼鳥為 4 隻；鳳頭燕鷗成鳥為 3100 隻，幼鳥為 1000 隻，是繁殖成果相當豐碩的一年。

今年研究團隊與台北市野鳥學會、澎湖縣野鳥學會以及浙江自然博物館共同合作進行黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖族群調查，分別在臺灣馬祖、澎湖地區與大陸浙江省韭山列島、舟山群島定時執行調查，對黑嘴端鳳頭燕鷗的族群量的評估有更進一步的瞭解。今年兩岸四地共紀錄到 99 隻的黑嘴端鳳頭燕鷗，在族群數量上突破過去以往所認定的不到 50 隻的族群量，是黑嘴端鳳頭燕鷗保育的一大進展。研究團隊也整理自發現黑嘴端鳳頭燕鷗迄今的 15 年間的保育歷史，撰文「從零到百-神話之鳥黑嘴端鳳頭燕鷗保育史」投稿至特有生物季刊，目前已獲接受，預計 2016 年出刊。



圖 5、自動照相機記錄燕鷗的繁殖狀況

(三) 燕鷗繫放工作與回收紀錄

今年度的繫放工作因前期的登島觀察，故能掌握住適當的時機，於燕鷗幼鳥 2-3 週大小的時間點，登島執行繫放作業。根據先前經驗與現地勘查結果，選定於鐵尖北邊的邊坡架設 2 張霧網。此處因地形有天然凹口，可將幼鳥限制於凹口區域，使親鳥餵食或找尋幼鳥時，有機會可以上網。今年度共計繫放了 50 隻鳳頭燕鷗成鳥，並回收 2008 年繫放個體 1 隻，是自 2008 年開始燕鷗繫放以來第 1 筆的回收紀錄。此外，也首次嘗試了將燕鷗幼鳥上色環標記(上白環下藍環)，共繫放了 127 隻幼鳥，其中包含一隻黑嘴端鳳頭燕鷗的幼鳥(圖 6)。而因燕鷗幼鳥型態多樣，為審慎起見進一步請台大動科系丁詩同教授進行血液鑑定，鑑定結果確認是黑嘴端鳳頭燕鷗，為目前世界首筆繫放的物種紀錄，此訊息也發佈在「東亞-澳大利亞遷徙線夥伴關係 (East Asian-Australasian Flyway Partnership, EAAFP)」電子報，與國際鳥友共享最新資訊。

2015 年燕鷗繫放個體目擊記錄共有 8 筆，其中 2 隻為 2008 年繫放的個體(無使用編號); 1 隻為 2011 年於鐵尖繫紅環個體; 2 隻為 2013 年於鐵尖繫放個體，白旗編號 A0 和 C5; 3 隻是 2014 年於白廟繫放的個體，藍旗編號 A08、A11 和 A25。特別的是 A25 個體為 2014 年當年出生的幼鳥，隔年即回到出生地。

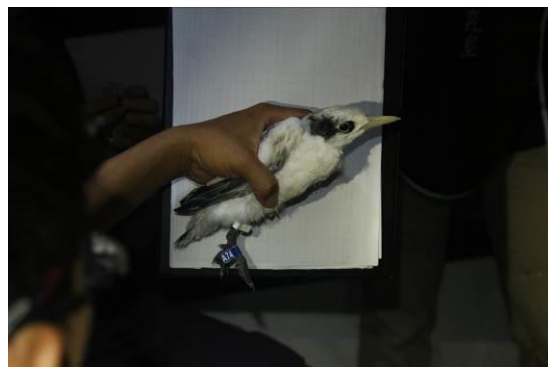


圖 6. 首隻被繫放黑嘴端鳳頭燕鷗幼鳥

二、 燕鷗繁殖成功率與棲地環境之相關性分析

今年初鐵尖南端平台為羊蹄-黃花酢漿草植群型，優勢物種為羊蹄(相對覆蓋度約 45%)、黃花酢漿草(相對覆蓋度約 35%)、變葉藜(相對覆蓋度約 25%)等，秋季後則變成南方山芫荽為主的植群型，優勢物種為南方山芫荽(相對覆蓋度約 50%)、龍葵(相對覆蓋度約 25%)、木防己(相對覆蓋度約 10%)。而鐵尖北端平台在去年(2014)為油菊-桔梗蘭高草原，優勢物種為油菊(相對覆蓋度約 30%)、桔梗蘭(相對覆蓋度約 30%)，但今年度除油菊外，其餘物種變化較大，油菊、火炭母草以及黃花酢漿草為相對優勢，可能因為這兩年在燕鷗繁殖季前有人為干擾(除草)刻意營造棲地導致這類草本植物入侵，而秋季則以龍葵、漢式山葡萄為優勢物種。

比較鐵尖南端與鐵尖北端的植物物種組成，鐵尖南以羊蹄、變葉藜等直立型的植株為主，鐵尖北則以油菊優勢，且今年春季火炭母草、黃花酢漿草等地伏型植株優勢度較高。以除草機具整理植被後，使得鐵尖南的地表裸露較多，鐵尖北則仍有地伏型植被覆蓋。另外鐵尖北方坡度稍大(約 10-15 度)，鐵尖南方的坡度則較為平坦(約 0-5 度)，此部份和燕鷗築巢數量的差異及關連性，仍需要更進一步的觀察及確認。

今年燕鷗繁殖巢區和往年利用狀況不同，往年燕鷗利用鐵尖繁殖的主要位置為平坦的鐵尖南段，而今年燕鷗則和往年相反，以鐵尖北為主要繁殖巢區，推測可能和南、北兩地在人為除草後地表裸露程度有關，因為燕鷗無法辨識自己的蛋，下蛋時仍須有植被或石塊來固定蛋的位置，以免混淆。由於今年度在鐵尖嶼收集的資料受限於自動相機的拍攝角度無法呈現整個繁殖區的繁殖概況，為避免偏差，以下相關性之分析以團隊在五峙山列島收集到的資料作討論。

棲地環境以巢位密度作為衡量指標時，以本研究團隊今年於浙江的五峙山列島收集到的資料進行巢位密度與環境坡度、植被覆蓋、假鳥密度、產卵時序的分析。結果顯示燕鷗的巢位密度與環境坡度有顯著之相關性，且以 10 度為明顯的分水嶺(圖 7)。在植被覆蓋度的部分

雖然未見顯著關係，但由資料分布仍可觀察到燕鷗築巢位置主要在中度植被覆蓋的區域(60%)，過高或過於裸露的區域較少有燕鷗築巢。產卵時序可能顯示燕鷗偏好在視野良好的中心位置先下蛋，且逐漸朝外擴散，明年度資料應可收集樣區內的相對高度來印證。

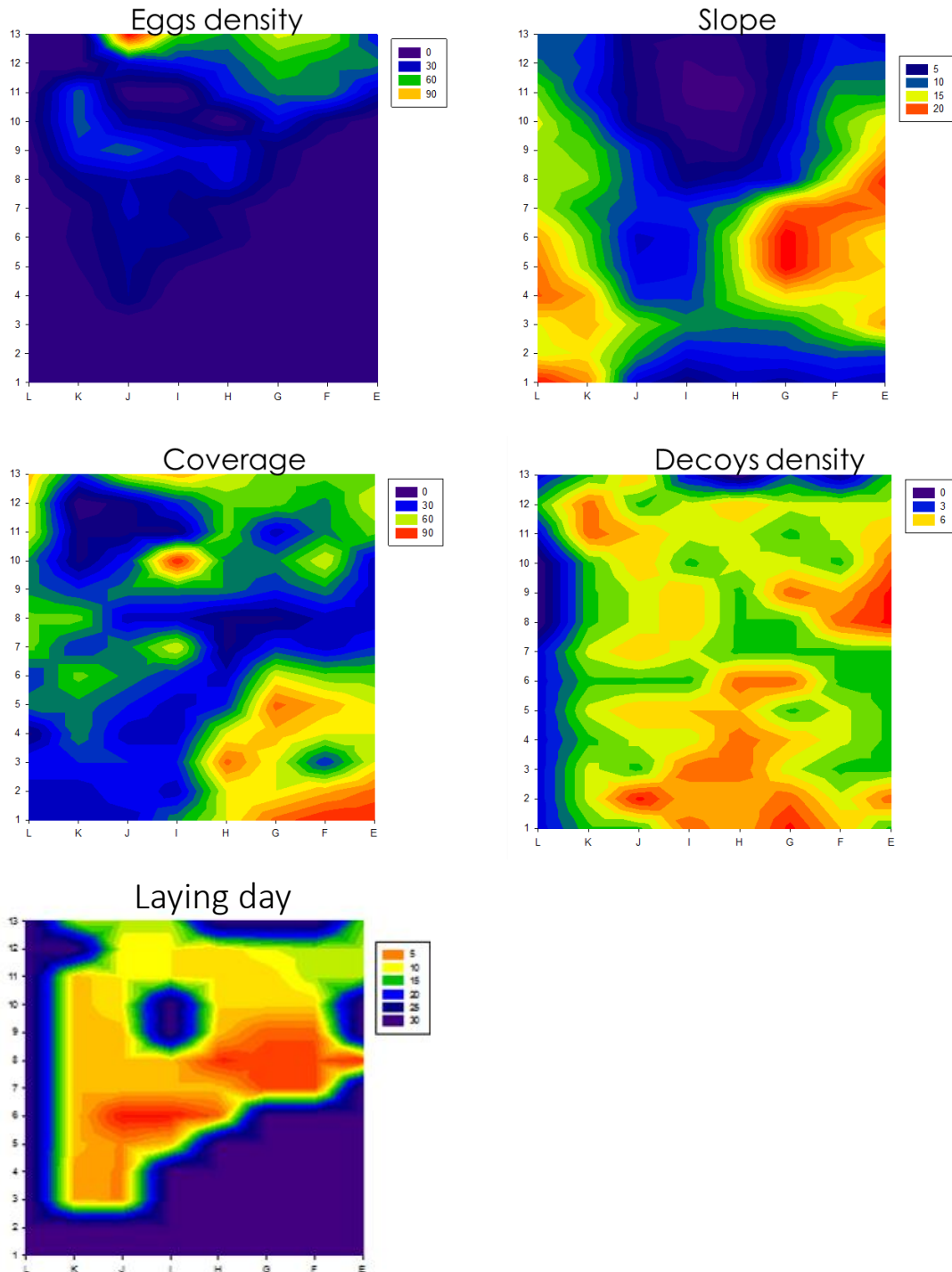


圖 7. 在五峙山列島的樣區中收集到的鳳頭燕鷗巢位密度、坡度、植被覆蓋度、假鳥數量與燕鷗產卵時序資料

三、 資訊交流平台網站

為引進國際合作的力量在黑嘴端鳳頭燕鷗之保育行動，本研究也建立網路聯繫平台以利國際研究人員更新即時研究資訊。今年度整理繁殖季間馬祖日報發布之相關新聞與林務局新聞稿，發布於海峽兩岸黑嘴端鳳頭燕鷗保育資訊網² (圖8)，相關資訊如下：

1. 黑嘴端鳳頭燕鷗現蹤鐵尖島 目擊至少2隻(2015/05/28)
2. 8隻黑嘴端鳳頭燕鷗進駐鐵尖島 數量創近年最高(2015/05/30)
3. 鐵尖島燕鷗近3000隻 神話之鳥至少10隻(2015/06/12)
4. 調查團隊再次捕捉神話之鳥成功孵化鏡頭(2015/07/07)
5. 800隻小燕鷗破蛋而出 鳥況達近5年最高峰(2015/07/19)
6. 鐵尖鳳頭燕鷗繁殖狀況大成功(2015/08/01)
7. 守護「神話之鳥」有成-黑嘴端鳳頭燕鷗數量創新高(2015/08/13)
8. 2015燕鷗保育研討會 11/2馬祖圖書館登場(2015/11/02)
9. 北竿中島燕鷗保護區老鼠成群 相關單位展開捕鼠計畫(2015/11/07)
10. 舉世無雙！臺灣繫放黑嘴端鳳頭燕鷗創全球首例(2015/12/17)

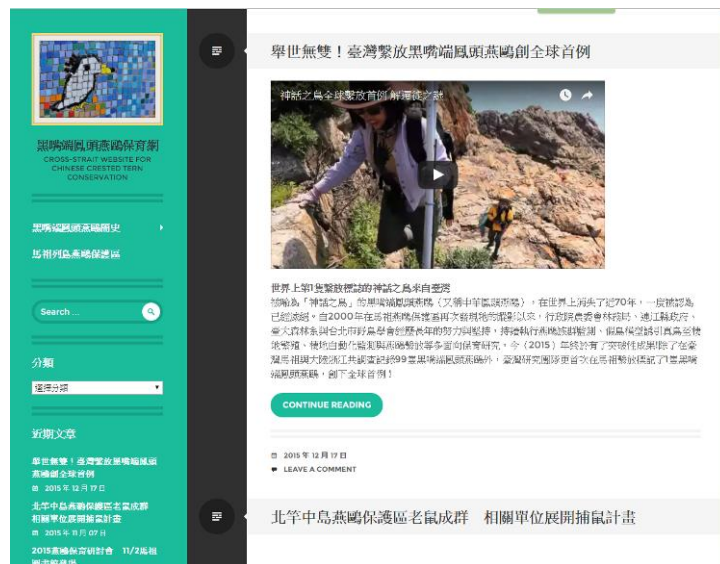


圖 8. 網站首頁的新聞頁面

² <http://140.112.82.98/wordpress/>

四、聲音與影像監視系統

今年鐵尖上設置6台自動照相機，機型分別為3台 Reconyx HC600、2台 Keep Guard和1台 Brinno TLC200；1台 Wildlife Acoustics, SM3 聲音記錄器。自動照相機部分，其中1台 Keep Guard成功記錄到黑嘴端鳳頭燕鷗的繁殖成功，2台 Reconyx HC600雖為拍攝到黑嘴端鳳頭燕鷗的繁殖記錄，但也仍記錄完整個燕鷗繁殖季。其餘3台自動照相機則因受到當海洋氣候影響(溫差大、濕度高及鹽分高)與電池續航力不足等因素而毀損或電力不足。

由相機與聲音資料交叉比對可發現，今年度於鐵尖的假鳥誘引效果極佳；並且在鐵尖上主要的繁殖巢區為鐵尖北端，除自動照相機的記錄外，由聲音記錄器的左、右聲道比較(圖9)，可發現在繁殖季初期紀錄器的右聲道聲音接收到的振幅與頻率明顯高於指向鐵尖南端的左聲道。

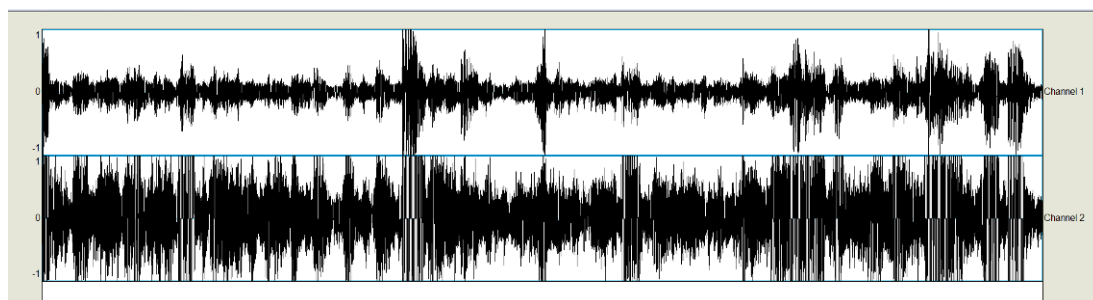


圖 9. SM3 在 5 月 26 日中午的錄音資料，channel 2 為右聲道

在聲音資料分析中，由於鐵尖島上同時有三種燕鷗存在:紅燕鷗、白眉燕鷗與鳳頭燕鷗，故必須先區分三種燕鷗鳴叫聲的聲波圖譜(圖10、圖11)，並找出個別之特徵。本研究利用Praat軟體觀察三種燕鷗的鳴聲圖譜，選擇以鳳頭燕鷗飛行時的鳴叫聲圖譜作為模式聲音，選取其在2000, 3000與5000Hz的三個特徵波段作為定量分析之標準。

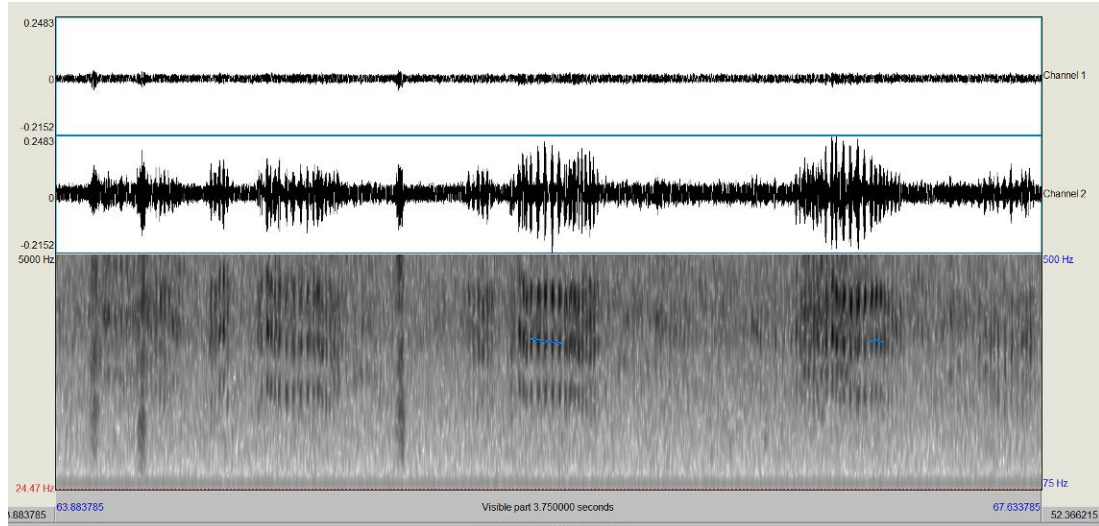


圖 10. 鳳頭燕鷗與白眉燕鷗的鳴聲圖譜，鳴聲較長且明顯區分為三個頻率波段的為鳳頭燕鷗，鳴聲較短且頻率分段較不明顯的是白眉燕鷗

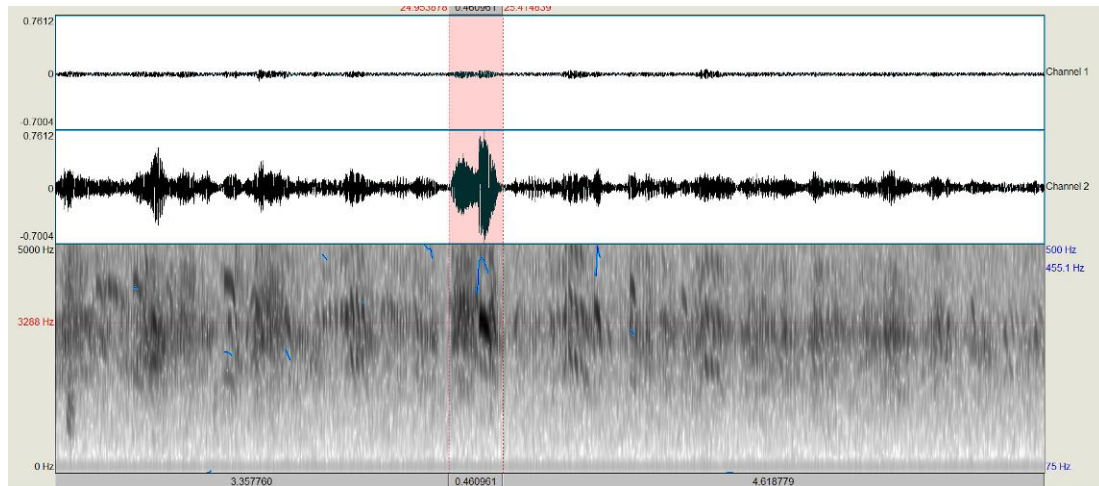


圖 11. 紅燕鷗的鳴聲圖譜，其鳴叫聲較為特別(紅色區塊部分)，在鳴聲結束前會有一個明顯的降頻特徵

聲音定量分析的方式利用Praat軟體分析5月15日至6月28日早上8點到下午六點間每小時記錄的兩分鐘聲音，總計共5,203分鐘，8.5gb的資料。以0.025秒的偵測頻率分析聲音資料中的共振峰(formant)分布位置，透過前述的鳳頭燕鷗鳴叫頻率特徵，以2000, 3000與5000Hz作為分水嶺尋找三條共振峰同時位於此區間的次數(圖12)。

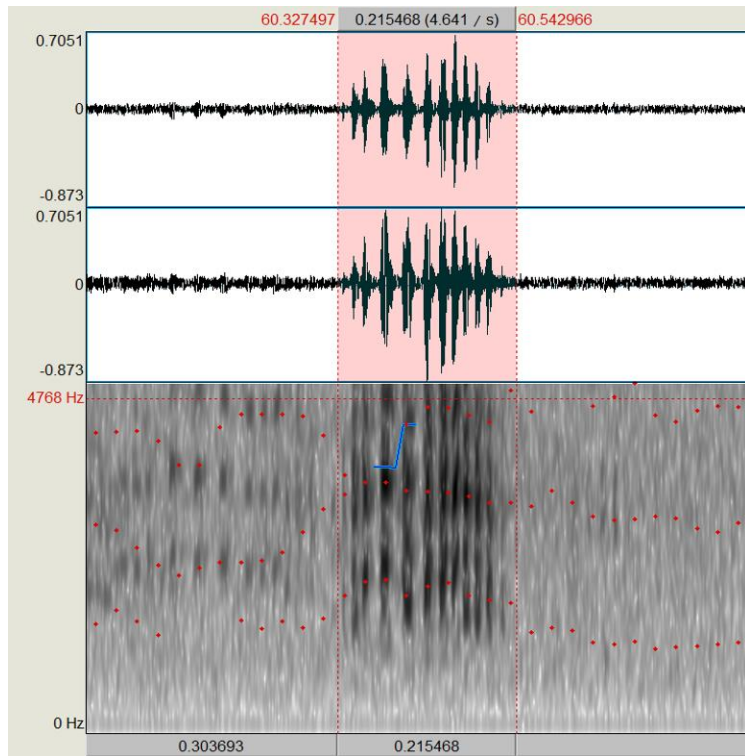


圖 12. 鳳頭燕鷗聲音定量分析：紅色區塊即為鳳頭燕鷗鳴叫，紅色圓點標示處即為共振峰位置

整理5月15日至6月28日聲音記錄器的分析結果(圖13)：鳳頭燕鷗群應是在5月19至20日間抵達鐵尖，且在5月底達到高峰，在開始進入孵卵期後鳴叫聲逐漸平緩，直到6月19日後部分幼鳥誕生，繁殖區又恢復吵雜的狀態。

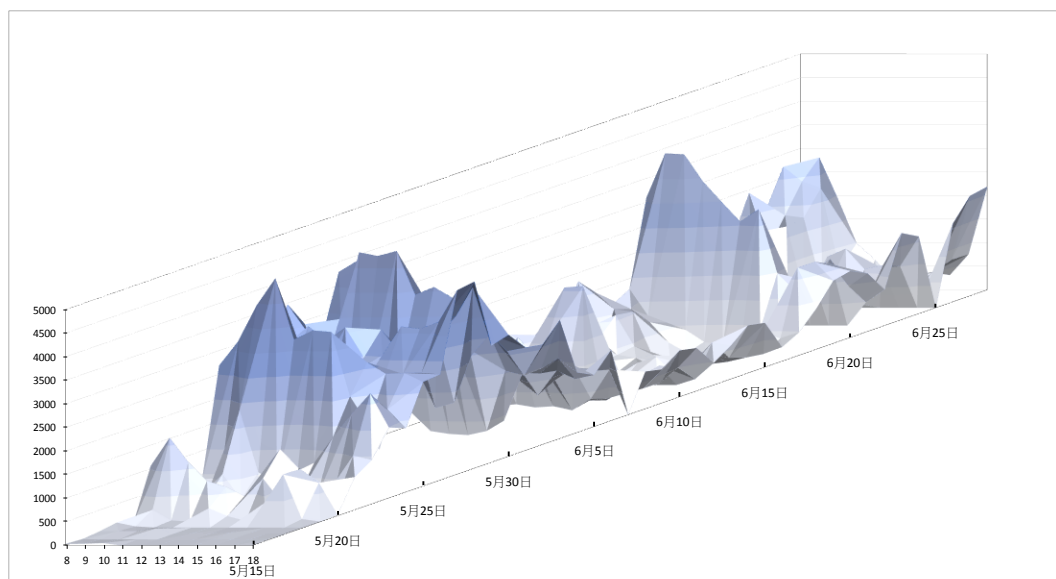


圖 13. 聲音記錄器 5/15-6/28 每日 8 點至 18 點間分析結果

五、 量化燕鷗族群與環境資源變遷之趨勢

(一) 黑嘴端鳳頭燕鷗與鳳頭燕鷗之交互關係

彙整2000至2015年在馬祖記錄到的黑嘴端鳳頭燕鷗與鳳頭燕鷗資料，發現兩者的族群數量似有相關，透過迴歸分析也找到顯著之正相關性($p < 0.001$)，可能代表族群數量少的黑嘴端鳳頭燕鷗可能有跟隨著鳳頭燕鷗選擇繁殖地的傾向。

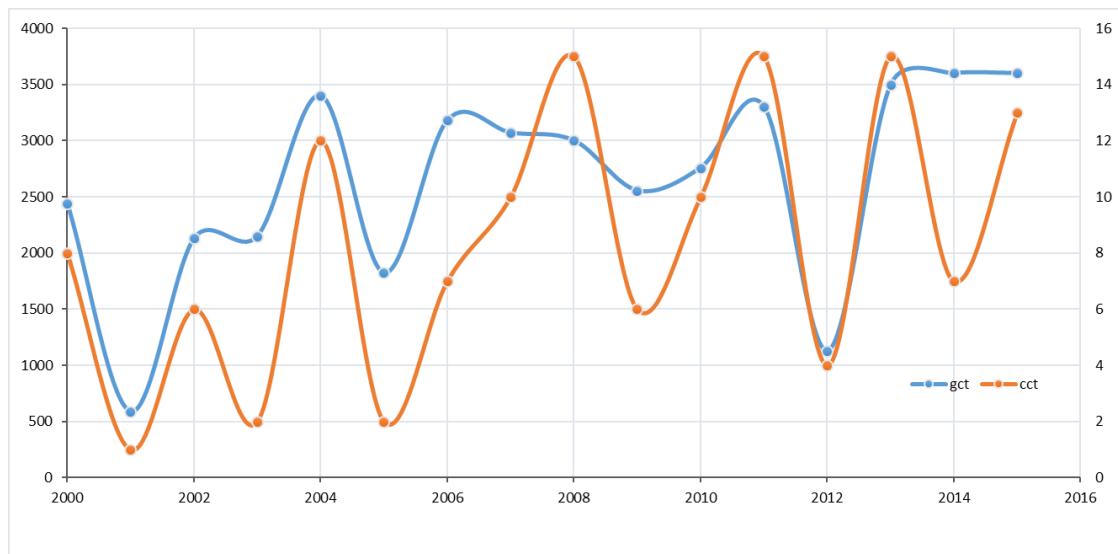


圖 14. 2000-2015 年馬祖黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(GCT)的族群變化

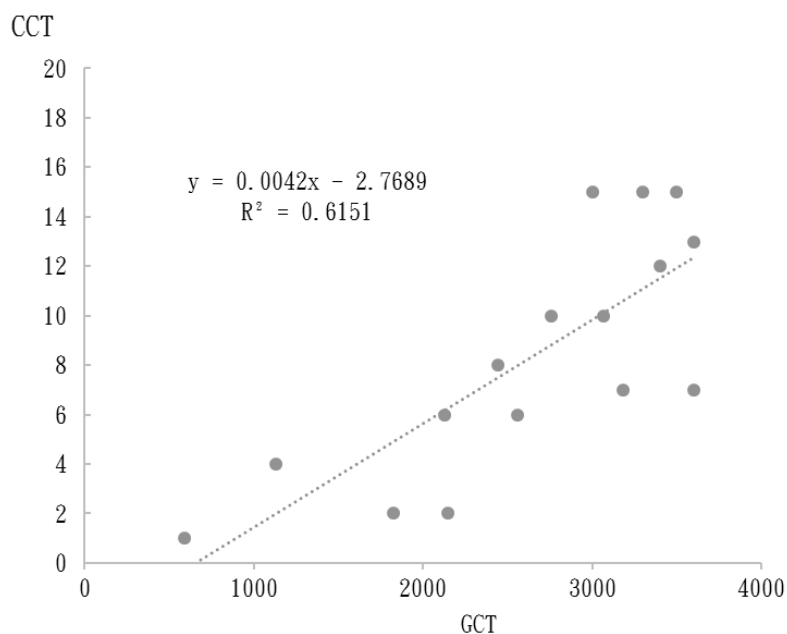


圖 15. 黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(GCT)的族群數量迴歸關係

(二) 海水表面溫度

海水表面溫度資料來自美國太空總署於2000年發射搭載MODIS(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)的Aqua衛星資料。衛星約每八天經過台灣上空一次，利用近紅外光波段的反射率計算海面溫度資料，2000年迄今之資料皆可與網站上自行下載與使用³。本研究挑選燕鷗繁殖季間(5-8月)的馬祖周圍海面資料作為分析，在初步分析中溫度資料呈現每4-5年為週期的波動現象。此現象應和中央氣象局網站上公布的2004、2009年的聖嬰年現象有關。且此變化趨勢似乎有與鳳頭燕鷗的繁殖族群量有微弱的相關性，在下圖可見在低溫年(2001、2005、2012)中觀察到的鳳頭燕鷗數量都是較少的。

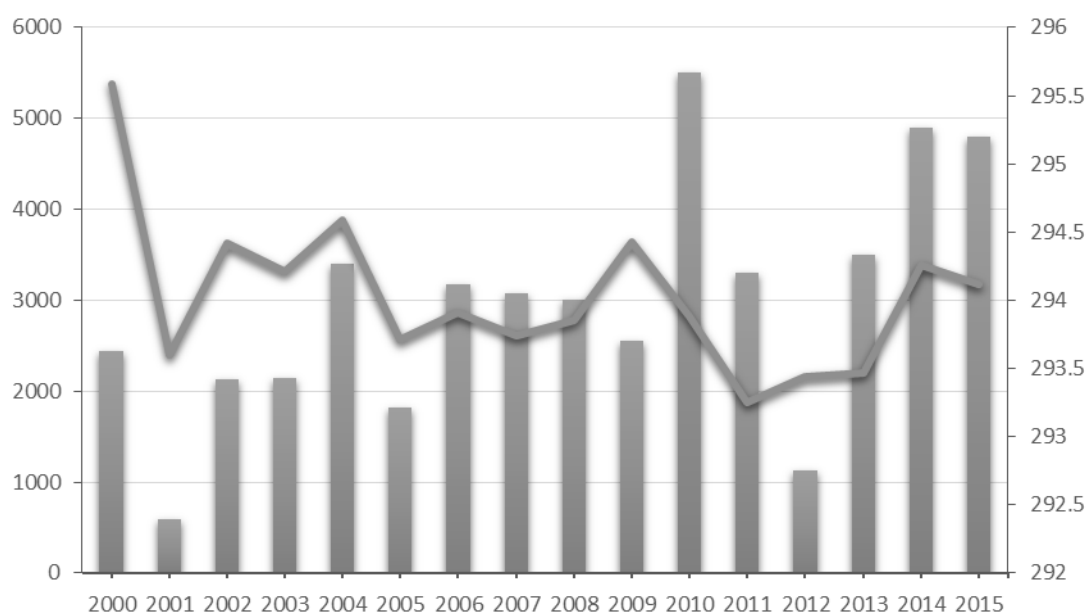


圖 16. 2000-2015 年馬祖海面溫度(折線圖, °F)與鳳頭燕鷗數量(柱狀圖)變化

為了解海面溫度與燕鷗族群量的關係，我們將2008年後的燕鷗調查數量劃分為6月前的繁殖成鳥族群與包含幼鳥的全季最大族群量。兩筆數據分別與5~8月的海面溫度進行線性迴歸分析，結果顯示6月前的繁殖族群數量與5月份的海面溫度呈顯著正相關($p=0.047$)，全季最大族群量則和8月的海面溫度呈顯著正相關($p=0.018$)。

³ <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

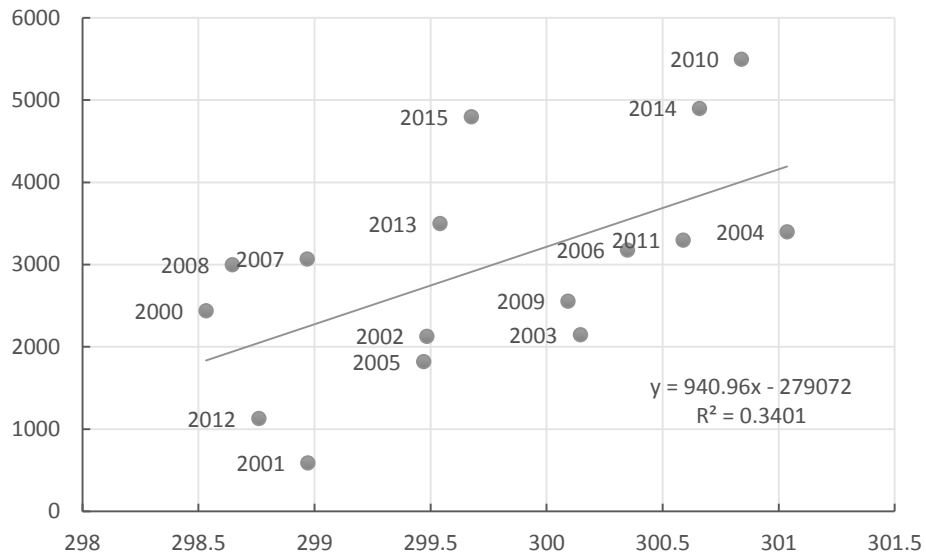
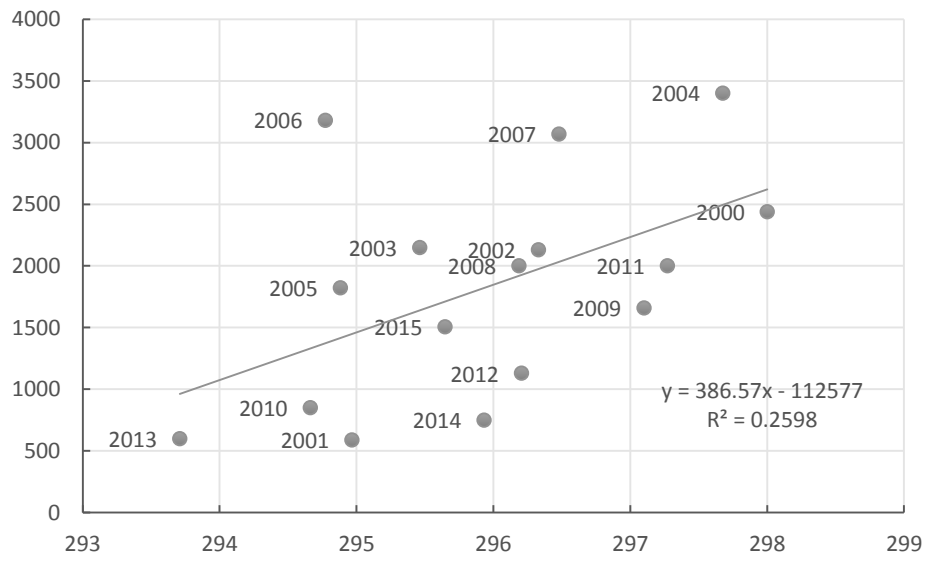


圖 17. 上圖：繁殖季初的成鳥族群和 5 月海面溫度(°K)相關圖；下圖：最大族群量(含幼鳥)為 8 月的海面溫度(°K)相關圖

(三) 海水水色(葉綠素濃度)

海水水色的分析資料來自 NASA 的 MODIS 衛星資料，判視方式主要透過衛星影像的光譜判斷海洋水色代表的葉綠素濃度，可用來評估該地區海域的基礎生產力，資料來源同樣為 NASA 網站下載 2008-2015 年 5 月至 6 月間馬祖周圍 100 公里左右範圍海域的資料進行分析。由於葉綠素濃度資料與海水水溫間存在不顯著之相關性，故在模式預測中將濃度資料與海水水溫合併運算，由模式挑選權重較重的影響因子。結果顯示每年鳳頭燕鷗族群最大量的影響因子主要是 7 月份的海水葉綠素濃度 ($p=0.01$)、其次是 8 月份的海水溫度 ($p=0.011$)。在海水葉綠素濃度較高的年份(2010、2014、2015)鳳頭燕鷗的繁殖族群數量都較高，此結果可能是當年海域營養含量較高而吸引較多的魚群聚集造成的間接現象。

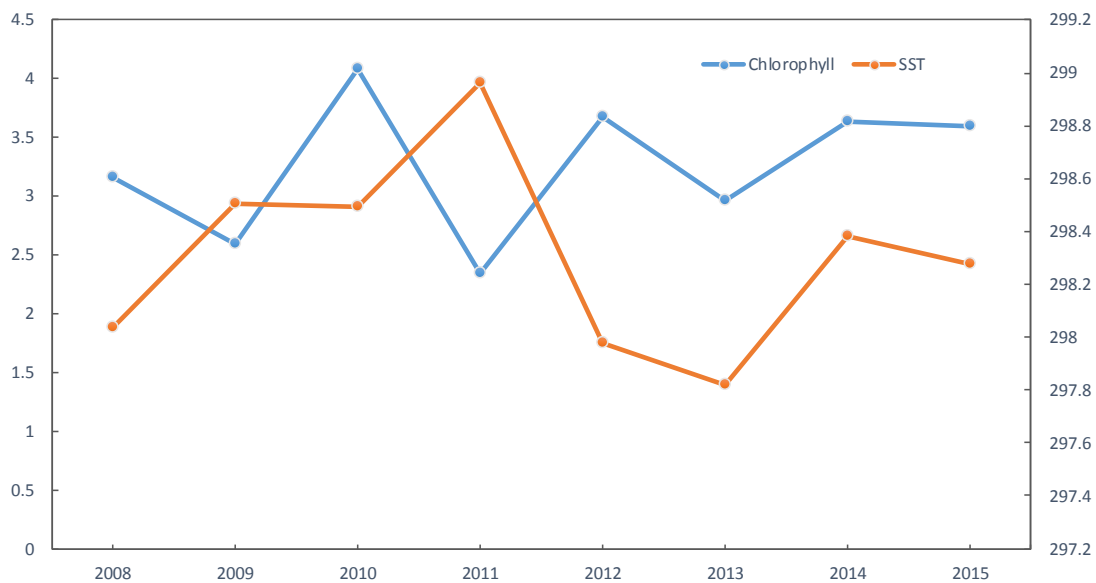


圖 18. 2008-2015 年 5-8 月平均海水溫度(°K)與葉綠素濃度(mg/m³)變化

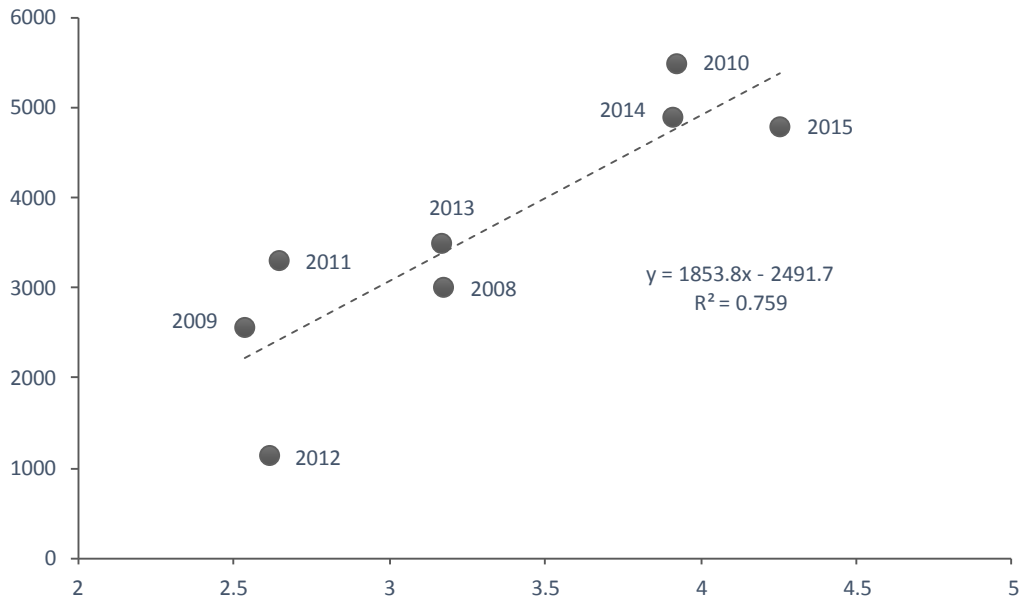


圖 19. 2008-2015 年鳳頭燕鷗數量與海水葉綠素濃度(mg/m³)相關圖

(四) 颱風因子

依據2015年黑嘴端鳳頭燕鷗族群的觀測資料為起始資料，參考Crawford (2003)研究中對於鳳頭燕鷗族群參數資料(幼鳥存活率、亞成鳥第一、二年存活率、成鳥存活率等)，搭配颱風因子變數，以R軟體模擬未來黑嘴端鳳頭燕鷗的族群動態。

根據中央氣象局颱風資料庫資料統計1958-2015年所有發佈警報的颱風襲擊繁殖島嶼的機率為13%，並參考Chen et al. (2015)所計算出的數值:1. 颱風每年增加率為0.044(中央氣象局預估為每十年增加0.1-0.3)；2.歷年來颱風造成燕鷗族群繁殖失敗比例為28%，進行模擬。結果顯示：以今年的觀察黑嘴端鳳頭燕鷗的繁殖成功率30%作為年平均繁殖成功率，其族群可能於150年內滅絕。若要維持族群的穩定發展，最小年平均繁殖成功率至少要達50%。

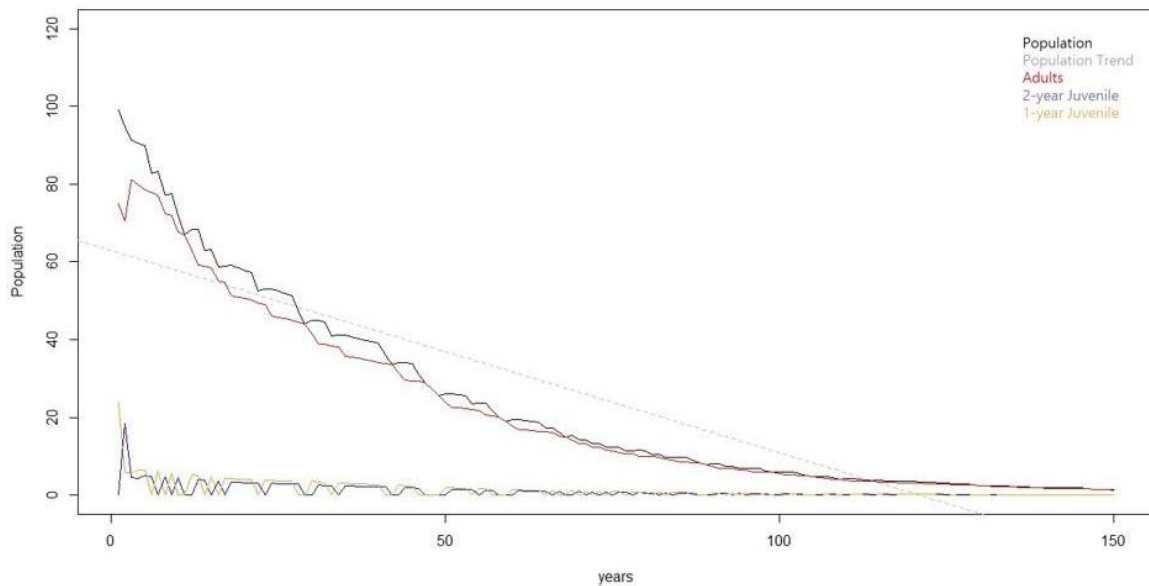


圖 20. 模擬黑嘴端鳳頭燕鷗未來 150 年之族群成長趨勢

(五) 重金屬汙染

2015年延續去年的燕鷗蛋殼、成鳥和幼鳥胸羽之重金屬濃度檢測，進一步瞭解環境毒物累積情形。分析結果顯示：2015年蛋殼中的重金屬濃度相較於成、幼鳥胸羽中的重金屬濃度有明顯；在成、幼鳥的胸羽重金屬濃度中則以砷、汞、鉛三種金屬有差異，其中砷的濃度在幼鳥的胸羽中高於成鳥胸羽。由於幼鳥體內的重金屬來源主要來自於親代的遺傳與餵食，加上砷在生物體內的殘留時間通常較短，由此可推測砷的來源可能是馬祖地區的汙染物。

相較2014年的檢測結果，2015年成鳥胸羽的重金屬鉻、鎘和鉛濃度減少，而砷濃度增加；2015年蛋殼中重金屬銅、鉛濃度減少、砷、鎘濃度增加。目前僅兩年的檢測結果，尚未發現明顯且強烈影響燕鷗族群的汙染現象，需長期掌握重金屬於燕鷗生物體中累積的情形，以釐清重金屬濃度對於燕鷗族群的危害。Evers *et al.*(2008)的研究曾指出在普通潛鳥(*Gavia immer*)的中，當血液濃度中的汞濃度達3mg/g時，繁殖的後代數量會有降低的情形。Eagles-Smith *et al.*(2009)也以3 mg/kg與1 mg/kg的血液中總汞濃度作為判斷多種燕鷗受汞汙染的風險程度分界點，以本研究2015的分析結果，顯示鳳頭燕鷗已處於中度汙染的風險中(1-3 mg/kg)。

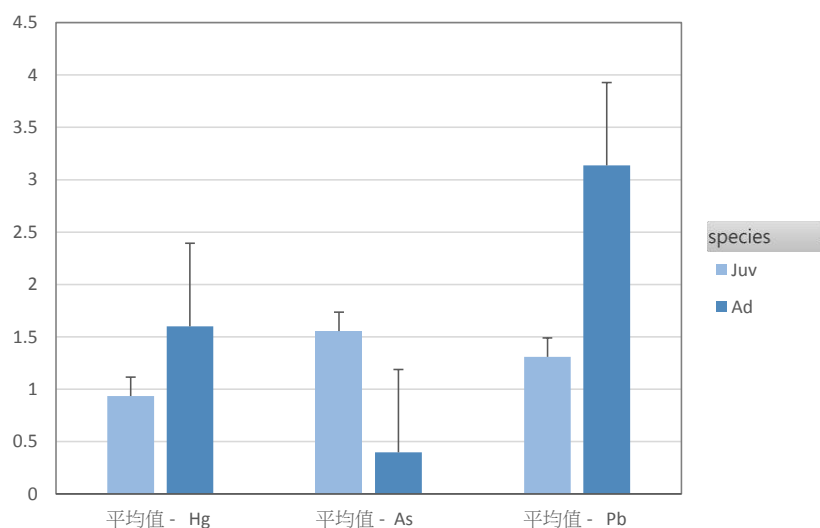


圖 21. 2015 年鳳頭燕鷗成、幼鳥胸羽中重金屬 Hg, As 與 Pb 的平均濃度(mg/kg)

六、兩岸交流合作

(一) 參訪大陸誘鳥島嶼—鐵墩島、鴨鵲山

今年本研究團隊的博士生洪崇航在國科會的補助下，於5月便前往舟山的五峙山列島進行駐島觀察。2015年7月15-18日本計畫主持人袁孝維教授也親赴大陸訪問浙江自然博物館陳水華副館長和國際鳥盟研究員陳承彥，並至五峙山列島鳥類保護區與韭山列島海洋保護區實地考察大陸的兩個燕鷗誘引島嶼(鴨鵲山與鐵墩島)。透過實地瞭解其棲地環境、誘鳥設備與島上觀測小屋設置，並與兩岸合作團隊針對今年兩岸三地誘鳥設置成果進行討論，認為擴增誘鳥的島嶼可分散黑嘴端鳳頭燕鷗的族群風險，對其族群復育有助益。未來應更深入探討其與鳳頭燕鷗族群間的互動關係，以釐清其族群稀少的潛在原因。



圖 22. 2015 年 7 月 15-18 日袁教授至五峙山與韭山列島的燕鷗誘引島嶼考察，左上圖由右至左依序為陳承彥研究員、陳水華副館長、袁孝維教授與博士生洪崇航，後方為鐵墩島上監測人員居住的帳篷

(二) 燕鷗保育研討會

台北鳥會今年於 11 月 2-3 日舉辦「2015 燕鷗保育研討會」，共有行政院農委會林務局、林務局新竹林管處、基隆市動物保護防疫處、台北市動物保護處、桃園市政府農業局、台灣大學袁孝維教授研究室團隊、馬祖野鳥學會、澎湖縣野鳥學會、福建省觀鳥會、長樂閩江河口濕地保護區、長樂市野生動物保護協會等 11 個單位參與。本計畫主持人袁孝維教授受邀擔任研討會主持人，本研究團隊博士生洪崇航與張樂寧皆參與報告，由今年於大陸移地研究的洪崇航報告「2015 年五峙山列島鳥類保護區監測報告」，張樂寧則針對馬祖今年的燕鷗繁殖狀況與繫放作業進行報告。於綜合討論時，也和林務局、連江縣建設局、臺北鳥會等相關機關和與會人員對談討論，分享研究團隊多年來研究與兩岸交流的成果。



圖 23、2015 燕鷗保育研討會。左上-劉增應縣長致詞、右上-全體人員合照、左下-林務局管立豪回應提問、右下-各單位主持綜合討論回應民眾提問

肆、結論與建議

今年度的棲地營造工作在縣政府工班的協助下，於鐵尖嶼北方拓展了一片 10 公尺平方的繁殖巢區，也成功地吸引燕鷗進駐使用。雖無法在分析鐵尖嶼的棲地環境資料，但在五峙山的資料顯示坡度與植被覆蓋是影響燕鷗繁殖利用的主要因素，未來的棲地營造工作可再評估各島嶼是否有其他合適的地方，除了可增加燕鷗繁殖的棲地進而減少繁殖競爭壓力，分散燕鷗族群生存、繁衍的風險；另一方面也可透過棲地操作試驗更明確瞭解燕鷗對於繁殖棲地的偏好與需求。

今年也首次在燕鷗繁殖季間研究人員登島觀測，相較於以往的繞島調查，可獲得即時的資訊，使今年度的繫放工作掌握了良好的時間點，在黑嘴端鳳頭燕鷗的族群量調查上也能有更準確地觀察。在此次嘗試登島觀測後，雖然登島會造成小規模的干擾，但待研究人員於灌叢旁靜止不動進行觀察時，燕鷗群皆能於 3-5 分鐘後又再次回到繁殖巢區孵巢。在自動照相機與聲音紀錄器中紀錄中也可映證燕鷗能容受在繁殖季中小規模、不頻繁的干擾。未來在嚴謹遵守登島頻率與登島時間的前提下，登島觀察應可被接受且能提供更多元且準確的資訊以作為保育與研究工作推展的參考。

燕鷗的繫放工作是揭開兩岸間燕鷗移動動態的關鍵，特別是 2015 年浙江的鐵墩島也繫放了 31 隻鳳頭燕鷗幼鳥，未來兩岸的合作協尋這些帶有標誌的燕鷗將會是研究人員的首要目標。除此之外，2015 年 10 月印尼的 Indonesian Ornithologists' Union 也推行了印尼鳥類繫放計畫(Indonesia Bird Banding Scheme)，在印尼當地繫放了一批鳳頭燕鷗，可惜並未回收臺灣繫放的個體。而現今定位技術發達，適合鳥類使用的追蹤發報器的體積與重量也日益減輕，未來在經費足夠的狀況下應可購買適合燕鷗使用的 10g 以下發報器，以揭開牠們在繁殖季甚至全年度的移動情形。

根據環境變遷資料的分析，我們發現燕鷗在繁殖季的數量與海水表面溫度與水色有顯著之相關性，由於水溫的變化常影響表層魚類的活動與繁殖行為，可能代表築魚群而居的燕鷗會依照食物資源狀況而在調整繁殖的時間或地點選擇。利用海水葉綠素的分析結果發現繁殖中期的海水藻類含量可能間接的影響燕鷗繁殖族群數量，可惜在馬祖地區一直無法獲得有效的漁業資源數據，未來將嘗試與海研所或大陸的海洋研究單位合作，以釐清此現象之原因。值得注意的是，在反聖嬰年的低溫現象可能影響當年的燕鷗繁殖狀況，未來應特別注意中央氣象局與美國國家海洋和大氣總署(NOAA)的監測資料。

重金屬的分析顯示燕鷗體內的汞含量已達中度風險值，且幼鳥在成長期間也自環境中吸收了大量的砷。具體上對燕鷗健康或繁殖表現的影響情形還不清楚，未來除持續收集相關資料外，也將再與環境毒理專業學者討論後續的監測與評估方法。

2015年在兩岸三處繁殖地的觀察中共記錄到99隻黑嘴端鳳頭燕鷗，突破了歷年的最大族群量。以7月襲擊舟山地區的昌鴻颱風為例，分散三處的復育基地也成功降低了燕鷗遭遇天敵與颱風襲擾造成的大規模覆滅危機。然而，燕鷗播遷、假鳥誘引與繁殖棲地環境間的關係迄今尚未釐清。就現存的三處黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖地而言，我們仍不明白其承載量、棄巢原因、捕食壓力、族群在島嶼間與年間的動態等資料。且以目前的誘引—保育策略而論，長期誘引燕鷗群聚於固定地點繁殖也有可能吸引更多的天敵聚集或加速疾病的傳染。未來兩岸的研究團隊應以分散或輪替的方式營造其他適合保育經營的島嶼，而這些工作都需要立基於長年的基礎研究資料上。未來本研究團隊除接續過去的棲地營造與監測工作外，也將加強兩岸與國際間的資訊交流與聯繫，唯有建立此一完整的監測與保育網絡，我們方能確保黑嘴端鳳頭燕鷗的族群能早日脫離險境。

伍、參考文獻

- Chan, S., S. H. Chen., and H. W. Yuan (2008) International Action Plan for the conservation of Chinese Crested Tern (*Sterna bernsteini*). 15th Meeting of the CMS Scientific Council.
- Chen, S., Z. Fan, D. D. Roby, Y. Lu, C. Chen, Q. Huang, L. Cheng, J. Zhu, 2015. Human harvest, climate change and their synergistic effects drove the Chinese Crested Tern to the brink of extinction. *Global Ecology and Conservation* 4 (2015) 137–145.
- Crawford, R. J. M., 2009, A recent increase of swift terns off South Africa - The possible influence of an altered abundance and distribution of prey. *Progress in Oceanography*. 83: 398-403.
- Eagles-Smith, C. A., Ackerman, J. T., De La Cruz, S. E., & Takekawa, J. Y. (2009). Mercury bioaccumulation and risk to three waterbird foraging guilds is influenced by foraging ecology and breeding stage. *Environmental Pollution*,157(7), 1993-2002.
- Evers, D.C., Taylor, K.M., Major, A., Taylor, R.J., Poppenga, R.H., Scheuhammer, A.M., 2003. Common loon eggs as indicators of methylmercury availability in North America. *Ecotoxicology* 12, 69–81.
- 社團法人中華民國野鳥學會。2010。馬祖列島燕鷗保護區內野鼠調查計畫。連江縣政府委託計畫期末報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2010。馬祖鳥類資源調查。連江縣政府委託計畫期末報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2011。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫結案報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2012。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫結案報告。

- 社團法人台北市野鳥學會。2013。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫結案報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2014。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫結案報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2015。馬祖列島燕鷗保護區鳳頭燕鷗誘鳥計畫結案報告。
- 袁孝維、邱祈榮、江昭皚。2010。自動化監測技術應用於鳥類行為及棲地監管計畫成果報告。
- 袁孝維、邱祈榮、江昭皚。2011。自動化監測技術應用於鳥類行為及棲地監管計畫成果報告。
- 袁孝維、邱祈榮、江昭皚。2012。自動化監測技術應用於鳥類行為及棲地監管計畫成果報告。
- 袁孝維。2013。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究計畫成果報告。
- 袁孝維。2014。馬祖地區鳳頭燕鷗繁殖族群動態之研究計畫成果報告。
- 張壽華。2008。馬祖地區鳥類資源暨其生態旅遊之研究。臺灣海洋大學環境生物與漁業科學研究所碩士論文。

附錄一 繫放紀錄

| 日期 | 地點 | 環號 | 鳥種 | 年齡 | 重量(g) | 足旗 | 備註 |
|-----------|-----|--------|------|----|-------|----------|-----|
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12901 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 310 | 藍旗編碼 A31 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12902 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | -- | 藍旗編碼 A32 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12904 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 305 | 藍旗編碼 A33 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12905 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 314 | 藍旗編碼 A34 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12906 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 310 | 藍旗編碼 A35 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12907 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A36 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12908 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 300 | 藍旗編碼 A37 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12909 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A38 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12910 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A39 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12911 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A40 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12912 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 280 | 藍旗編碼 A41 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12913 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A42 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12914 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 305 | 藍旗編碼 A43 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12915 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 320 | 藍旗編碼 A44 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12916 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A45 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12917 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 300 | 藍旗編碼 A46 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12918 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 330 | 藍旗編碼 A47 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12919 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A48 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12920 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 300 | 藍旗編碼 A49 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12921 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A50 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12922 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 285 | 藍旗編碼 A51 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12923 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A52 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12924 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 310 | 藍旗編碼 A53 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12925 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A54 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12926 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A55 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12927 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A56 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12928 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 280 | 藍旗編碼 A57 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12929 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 300 | 藍旗編碼 A58 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12930 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A59 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12931 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A60 | 採胸羽 |

| 日期 | 地點 | 環號 | 鳥種 | 年齡 | 重量(g) | 足旗 | 備註 |
|-----------|-----|--------|---------|-----|-------|----------|------------|
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12932 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 315 | 藍旗編碼 A61 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12933 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A62 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12934 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A63 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12935 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 325 | 藍旗編碼 A64 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12936 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 300 | 藍旗編碼 A65 | 採胸羽 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12937 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 310 | 白旗編碼 E8 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12938 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 320 | 藍旗編碼 A66 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12939 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 270 | 藍旗編碼 A67 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12940 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 290 | 藍旗編碼 A68 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12941 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 330 | 藍旗編碼 A69 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12942 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 310 | 藍旗編碼 A70 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E00135 | 鳳頭燕鷗 | 10+ | 320 | 藍旗編碼 A71 | 2008 年繫放個體 |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E12943 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 260 | 藍旗編碼 A72 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E13243 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 280 | 藍旗編碼 A73 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E13245 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 305 | 藍旗編碼 A75 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E13246 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 295 | 藍旗編碼 A76 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E12776 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 320 | 藍旗編碼 A77 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E12777 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 335 | 藍旗編碼 A78 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E12778 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 325 | 藍旗編碼 A79 | |
| 2015/7/19 | 鐵尖島 | E12779 | 鳳頭燕鷗 | 2+ | 320 | 藍旗編碼 A80 | |
| 2015/7/18 | 鐵尖島 | E13241 | 黑嘴端鳳頭燕鷗 | 1 | 227 | 藍旗編碼 A74 | 採胸羽 |

* 幼鳥因成長過程中死亡率仍高，故今年僅採用上白下藍色環標誌，未使用有編碼之足旗，故未編列於此。

附錄二 重金屬分析結果

單位(ppm)

| 鳳頭燕鷗成鳥胸羽中重金屬濃度檢測結果 | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------------|--------------|----------|-----------|----------|----------|
| 個體 | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Cd | Hg | Pb |
| A50 | 5.946602 | 4.125886 | 20.20926 | 197.4235 | 1.154158 | 0.352367 | 3.651705 | 0 |
| A51 | 4.809475 | 2.038533 | 7.844592 | 236.2375 | 0.360869 | 0.242104 | 2.533027 | 0.842198 |
| A52 | 2.619842 | 3.065694 | 5.970109 | 120.2618 | 0.301179 | 0.106277 | 2.03593 | 0 |
| A53 | 4.269044 | 4.580523 | 39.304 | 115.9632 | 0.370238 | 0.151074 | 1.249007 | 0.660437 |
| A54 | 4.863123 | 2.525371 | 477.1441 | 132.2758 | 0.485229 | 0.207703 | 1.269561 | 0 |
| A55 | 6.375324 | 4.81636 | 677.866 | 115.2001 | 0.238785 | 0.364383 | 1.265579 | 0 |
| A56 | 7.675577 | 4.836005 | 717.0955 | 71.66227 | 0.157266 | 0.247291 | 1.010075 | 0.269513 |
| A57 | 8.066339 | 4.59923 | 1308.382 | 127.901 | 0.402411 | 0.360976 | 0.926244 | 2.501798 |
| A58 | 7.637135 | 3.545241 | 1729.033 | 189.7445 | 0.080978 | 0.278006 | 0.830421 | 4.51727 |
| A59 | 27.78664 | 10.98539 | 13513.02 | 362.8058 | 1.091542 | 0.613932 | 1.451722 | 25.67134 |
| A60 | 6.434407 | 4.558033 | 131.4094 | 160.1155 | 0.189812 | 0.142506 | 1.267086 | 2.971696 |
| A61 | 4.878413 | 2.641937 | 75.66148 | 195.0119 | 0.23716 | 0.242247 | 1.035579 | 5.356107 |
| A62 | 5.462572 | 5.335519 | 82.60928 | 154.0096 | 0.554465 | 0.247455 | 2.784774 | 4.056139 |
| A63 | 4.287168 | 2.887127 | 73.34501 | 161.2652 | 0.252472 | 0.224305 | 1.537729 | 3.328576 |
| A64 | 8.470694 | 3.051056 | 141.5729 | 118.5981 | 0.121205 | 0.232435 | 1.58011 | 0 |
| A65 | 8.92069 | 1.590839 | 91.78546 | 142.0886 | 0.341118 | 0.225718 | 1.184012 | 0 |
| | | | | | | | | |
| 平均 | 7.41±5.53 | 4.07±2.09 | 1193.27±3218.97 | 162.54±64.98 | 0.4±0.3 | 0.26±0.11 | 1.6±0.75 | 3.14±6.1 |

單位(ppm)

| 鳳頭燕鷗幼鳥胸羽中重金屬濃度檢測結果 | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|----------|--------------|---------------|-----------|-----------|----------|----------|
| 個體 | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Cd | Hg | Pb |
| 1 | 7.5364717 | 4.085539 | 136.699 | 119.8847 | 1.419329 | 0.212509 | 0.780792 | 0 |
| 2 | 8.7152003 | 5.304252 | 161.5642 | 135.2414 | 1.416077 | 0.320874 | 0.772961 | 0 |
| 3 | 4.771751 | 3.12807 | 95.69056 | 116.8655 | 1.371379 | 0.303182 | 0.70993 | 0 |
| 4 | 21.24481 | 8.848685 | 350.8645 | 272.7532 | 0.827519 | 0.632995 | 1.314934 | 0 |
| 5 | 4.9348407 | 3.009956 | 90.37216 | 338.1853 | 1.787603 | 0.312148 | 0.475407 | 0 |
| 6 | 6.406086 | 4.255933 | 120.0502 | 170.0012 | 1.349932 | 0.300856 | 0.481969 | 0 |
| 7 | 16.612093 | 10.37206 | 162.0065 | 1796.791 | 1.594088 | 0.552742 | 4.360192 | 26.16056 |
| 8 | 5.5282838 | 4.772499 | 104.8414 | 359.2465 | 0.614642 | 0.199574 | 1.213041 | 0 |
| 9 | 13.414282 | 9.971245 | 295.9769 | 99.27381 | 2.155365 | 0.575459 | 2.352866 | 0 |
| 10 | 4.6854176 | 4.511787 | 122.5885 | 117.771 | 4.511716 | 0.386125 | 0.803329 | 0 |
| 11 | 17.309916 | 4.376758 | 105.9962 | 109.6489 | 0.645152 | 0.150745 | 0.747447 | 0 |
| 12 | 3.0197733 | 2.388953 | 66.54826 | 96.75169 | 3.463958 | 0.256613 | 0.66432 | 0 |
| 13 | 3.3065244 | 6.063135 | 66.90768 | 122.3718 | 1.346739 | 0.233356 | 0.471029 | 0 |
| 14 | 4.7059718 | 4.486136 | 83.77047 | 249.7324 | 0.23111 | 0.123656 | 0.549816 | 0 |
| 15 | 6.1108 | 4.291245 | 32.87718 | 95.75179 | 2.138578 | 13.62389 | 0.523923 | 0 |
| 16 | 3.2333217 | 2.242121 | 16.08966 | 120.0254 | 1.99953 | 0.25262 | 0.44239 | 0 |
| 17 | 9.9276806 | 4.021873 | 275.1616 | 876.5678 | 3.473178 | 0.314468 | 0.718361 | 0 |
| 18 | 7.4985535 | 5.167939 | 47.21332 | 154.031 | 0 | 0.177201 | 0.430356 | 0 |
| 19 | 5.1307362 | 5.346962 | 23.536 | 130.9633 | 0.149954 | 0.055403 | 0.475936 | 0 |
| 20 | 7.0118833 | 5.383261 | 31.4729 | 139.0105 | 0.589497 | 0.207361 | 0.402736 | 0 |
| | | | | | | | | |
| 平均 | 8.06±5.01 | 5.1±2.18 | 119.51±89.95 | 281.04±388.35 | 1.55±1.15 | 0.96±2.91 | 0.93±0.9 | 1.31±5.7 |