

太魯閣國家公園蝙蝠族群動態 智慧監控規劃(2/2)

太魯閣國家公園管理處委託辦理報告

中華民國 106 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

太魯閣國家公園蝙蝠族群動態 智慧監控規劃(2/2)

受委託者：台灣蝙蝠學會

研究主持人：郭浩志

協同主持人：端木茂甯

研究人員：黃俊嘉、蔡緯毅、張博翔、陳冠仔

研究期程：中華民國 106 年 3 月至 106 年 12 月

研究經費：新臺幣 91 萬 5000 元

太魯閣國家公園管理處委託辦理報告

中華民國 106 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目錄

圖目次	III
表目次	IV
摘要	V
Abstract.....	VIII
第一章 前言	1
第一節 蝙蝠緒論.....	1
第二節 太魯閣國家公園蝙蝠資源.....	2
第三節 計畫目標.....	3
第二章 材料與方法	4
第一節 野外調查.....	4
第二節 超音波監測錄音檔之分析.....	8
第三章 研究結果	11
第一節 太魯閣國家公園翼手目物種調查.....	11
第二節 太魯閣國家公園翼手目物種海拔分布.....	11
第三節 網具捕捉.....	12
第四節 棲所調查.....	12
第五節 形值測量、標放與採樣.....	14
第六節 參考音頻收集.....	15
第七節 聲音監測.....	16
第四章 討論	31
第一節 物種組成.....	31
第二節 調查方法比較.....	32
第五章 結論與建議	34
第一節 結論.....	34
第二節 建議事項.....	34
附錄一、本研究使用的 19 個聲音特徵中英名、單位、類型及定義	36
附錄二、2017 年太魯閣國家公園蝙蝠聲音指數初步評估結果	37

附錄三、2017 年太魯閣國家公園捕獲蝙蝠種類、翼環編號和形值	42
附錄四、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)之蝙蝠照片	46
附錄五、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)調查工作之照片	48
附錄六、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)期中審查會議紀錄.....	50
附錄七、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)期中審查意見回覆.....	58
附錄八、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)期末審查會議紀錄.....	62
附錄九、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)期末審查意見回覆.....	68
參考文獻	70

圖目次

圖一、本年度太魯閣國家公園蝙蝠網具調查樣點分布	5
圖二、本年度太魯閣國家公園蝙蝠棲所調查樣點分布	6
圖三、本年度太魯閣國家公園蝙蝠錄音調查樣點分布	8
圖四、本研究 18 個蝙蝠物種之海拔分布示意圖	12
圖五、太魯閣地區 3 種 CF 型物種的回聲定位叫聲頻譜圖.....	15
圖六、太魯閣地區 10 種非 CF 型物種的回聲定位叫聲頻譜圖.....	15
圖七、三個海拔帶樣點於四個季節中每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(高海拔第一季僅兩晚資料，其餘為七晚資料).....	18
圖八、三個海拔帶樣點於四個季節中每小時錄音檔時間熵值指數平均值的夜變化(高海拔第一季僅兩晚資料，其餘為七晚資料).....	19
圖九、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(每個月七晚資料).....	20
圖十、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(每個月七晚資料).....	21
圖十一、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 每小時錄音檔時間熵值(<i>th</i>)的夜變化(每個月七晚資料).....	22
圖十二、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 每小時錄音檔時間熵值(<i>th</i>)的夜變化(每個月七晚資料).....	22
圖十三、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 蝙蝠數量、叫聲數量與聲音指數的關係.....	23
圖十四、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 蝙蝠數量、叫聲數量與聲音指數的關係.....	23

表目次

表一、本年度太魯閣國家公園捕捉樣點、海拔棲地與調查努力量	10
表二、本研究記錄之蝙蝠物種中文名、學名及特有性	23
表三、本研究四種調查方式記錄之蝙蝠物種	24
表四、本研究 18 個蝙蝠物種各季之海拔帶紀錄	25
表五、各季節各蝙蝠物種網具努力量、捕獲數量及捕捉率	25
表六、本計劃棲所調查樣點之海拔帶、蝙蝠物種及棲所屬性	26
表七、各季節各棲所記錄到臺灣葉鼻蝠之數量	27
表八、各季節各棲所記錄之臺灣小蹄鼻蝠數量	27
表九、各季節各棲所記錄的東亞摺翅蝠之數量	27
表十、本研究與鄭錫奇等(2015)蝙蝠形值資料之比較.....	28
表十一、太魯閣地區 13 種蝙蝠回聲定位叫聲參考音頻之測量值.....	29

摘要

關鍵詞：翼手目、棲所、回聲定位叫聲、聲音監測、聲音指數

一、研究緣起

蝙蝠具有高度的物種和生態多樣性，並提供了包括植物授粉、種子傳播與控制昆蟲族群數量等具高度經濟價值的生態系統服務，再加上蝙蝠對人類活動干擾的快速反應，及對氣候等物理環境的敏感性，使其成為反映陸域生態系環境狀況的生物指數。因此，掌握蝙蝠族群分布與其動態，不管是針對基礎生態研究、蝙蝠保育、生態系統服務評估、或是指數生物監測運用，都有不可或缺的必要性。太魯閣國家公園幅員甚廣，無論是地形地貌、氣候條件與生態系類型皆複雜多變，並孕育了豐富多樣的生物相。過去對園區內翼手目的種類與分布的資訊仍相當缺乏，直到 105 年度中華自然資源保育協會系統性的方式調查，共記錄到 5 科 16 屬 25 種蝙蝠，顯示園區擁有相當高度的蝙蝠物種多樣性。然而，僅一年的資料難以全面反映園區內蝙蝠群聚與族群的動態，且適合長期蝙蝠監測的工具仍有待開發。本計畫的目標包括(1)提供太魯閣國家公園翼手目之物種名錄及時空間分布資訊、(2)提供各物種外部形值測量結果、(3)回聲定位叫聲資料收錄及初步分析、以及(4)測試聲音監測並評估聲音指數反映蝙蝠活動頻度時空間變異的能力，以作為日後發展長期蝙蝠智慧監測工具。

二、研究方法及過程

本研究以中部橫貫公路東段為主軸，由太魯閣閘口往西攀升至合歡山區（低至高海拔）區分成低(1100 公尺以下)、中(1100-2200 公尺)、高(2200 公尺以上)三個海拔帶，於各海拔帶以網具捕捉、蝙蝠偵測器錄音與棲所調查，進行蝙蝠物種共四季的調查。除物種分布資料外，亦針對捕捉個體收集外部形值和回聲定位參

考音頻等資料。此外，針對選取的海拔帶及棲所樣點，進行長時間錄音，除嘗試以電腦自動化分析錄音檔中的蝙蝠叫聲數量，亦計算不同聲音指數於蝙蝠叫聲頻度時空間變異的代表性。

三、重要發現

本年度於太魯閣國家公園共記錄到 5 科 15 屬 18 種翼手目動物，其中 8 種為臺灣特有種，1 種為臺灣特有亞種。與 105 年度資料比較，雖無新增物種紀錄，但相較上一年度的物種海拔分布資料，低海拔地區新增了毛翼管鼻蝠和東亞游離尾蝠，中海拔地區新增了臺灣葉鼻蝠的紀錄。其他例如東方寬耳蝠及臺灣長耳蝠等較稀少物種，也分別多次記錄到，顯示太魯閣國家公園在維持臺灣蝙蝠物種多樣性的重要性。棲所調查部分，與 105 年度相同，仍以寧安橋洞群為園區內已知臺灣葉鼻蝠和臺灣小蹄鼻蝠最重要的生殖育幼的場所，未來可作為長期族群監測樣點。此外本年度多筆蝙蝠棲所的紀錄，包括山家蝠和臺灣管鼻蝠等棲所地點不容易被觀察到的物種，都是經由通報而獲得的資料，顯示未來整合公民調查和園區蝙蝠多樣性監測的可能性。本年度共錄製了 13 種蝙蝠回聲定位叫聲的參考音頻，分析發現 19 個選用的聲音特徵可區分我們樣本中不同物種的叫聲，顯示以回聲定位叫聲在辨識太魯閣地區蝙蝠物種的潛力。聲音監測測試結果，根據洞穴監測資料，無論是蝙蝠回聲定位叫聲數量估算和聲音指數(時間熵值差值)大致能反應洞穴棲所內蝙蝠族群量月間的主要變化趨勢。聲音監測不僅能有效地增加物種調查效率，也能長期觀測族群活動量在時空間的變化。此外，與網具捕捉和棲所調查相比，非侵入式的聲音監測技術對蝙蝠的干擾相對較少，且長期監測所需的人力和資源也相對較少。未來仍可選取合適物種發展的相關監測方法，以利未來長期監測太魯閣國家公園園區內豐富的蝙蝠多樣性。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議：設置樣點進行翼手目長期監測

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議二

立即可行建議：評估翼手目生態功能服務的重要性。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議三

立即可行建議：洞穴棲所防護及保育觀念宣導。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：南投縣政府林區管理處、花蓮縣政府林區管理處、花蓮縣政府養

護工程處、臺灣電力公司、台灣蝙蝠學會

建議四

中長期建議：建置翼手目回聲定位叫聲資料庫

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議五

中長期建議：志工培訓與回報系統之建置

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

Abstract

Key words : Chiroptera, roost, echolocation call, acoustic monitoring, acoustic index

Bats are characterized by high species and ecological diversity. They also provide several important ecosystem services, including pollination, seed dispersal, and insect pest suppression. Since bats usually can react to anthropogenic disturbances quickly and are sensitive to environmental changes, they have been suggested as effective bio-indicators to environmental conditions. Therefore, to secure bat diversity and the associated services to human wellbeing, it is necessary to monitor the distribution and population dynamics of bat species. With diverse terrain, climatic conditions and landscapes, the Taroko National Park supports rich mountainous fauna and flora. However, our knowledge of species diversity and the spatio-temporal variations of chiropteran fauna is still limited. To date, 25 species belong to 16 genera of 5 families have been reported by the SWAN in 2016, indicating a rich bat fauna in the park. Therefore, it is essential to develop adequate survey tools to further investigate the dynamics of bat populations and communities. In the present project, we aim to (1) continuously surveying bats for a more comprehensive understanding of chiropteran species diversity and the spatio-temporal patterns of the species distribution, (2) acquiring species trait data, (3) collecting and understanding the echolocation call diversity, and (4) evaluating the potential of acoustic technique and acoustic indices in estimating spatio-temporal variation of bat activities.

We surveyed bats along the eastern section of the Central High Way at low (<1100 m asl), medium (1100~2200 m asl), and high (> 2200 m asl) elevation ranges for four seasons. Multiple techniques were used, including mist netting, harp trapping, bat detectors, roost surveys, and interviewing local people, to maximize our understanding of bat diversity. Three external traits and releasing calls were collected from captured individuals. We also set up stationary bat detectors at 3 forest sites along the elevation gradient and 2 roost sites to monitor bat activities for at least one week in each survey season. Bat calls, call features, and 6 acoustic indices were extracted and measured from the sound recordings automatically using R language-coded tools. In this year, we recorded 18 bat species, including 8 species and 1 subspecies endemic to Taiwan. We also got the first occurrence record of *Harpiocephalus harpia*, *Tadarida insignis* in the low elevation region, the first record of *Hipposideros armiger* in the middle elevation

region, and records of two rare species, namely *Plecotus taivanus* and *Barbasetella darjelinensis* in the park. Among all roosts surveyed, the NingAng Bridge tunnels were the most important reproduction sites for *H. armiger* and *Rhinolophus monoceros* in the park. Noteworthy, most our records of roosts of *Pipistrellus montanus* and *Murina puta* were reported by national park staff and local people, suggesting the potential of citizen science in gathering wildlife species occurrence information. We found the 19 selected call features are effectively in distinguishing calls from 13 species in our collection. For acoustic monitoring, we found both call abundance and acoustic indices varying among sites and seasons for all sampling sites. Based on the roost site data, call abundance and values of the temporal entropy index had significant correlations with the monthly counts of bat individuals inside the roosts. Our results show that acoustic techniques are potentially effective in monitoring the diversity and abundance of bats in Taroko National Park.

第一章 前言

第一節 緒論

蝙蝠是哺乳綱(Mammalia)中翼手目(Chiroptera)動物的俗稱，全世界已記錄超過1,300種(Fenton and Simmons 2015)，約佔現生哺乳動物物種數的四分之一。蝙蝠廣泛分布世界各地，除了南北極及少數幾個大洋洲的小島之外，皆有蝙蝠的存在。由於蝙蝠使用多樣的棲地及多樣的食物資源(包含果實、花蜜、葉子、無脊椎動物、小型陸域脊椎動物、魚類及血液)，蝙蝠群聚組成與族群的豐富度，直接或間接反映了生態系中許多其他生物的多樣性與時空變化。再加上蝙蝠對人類活動干擾(例如棲地破碎化、都市化、農業活動強度)的快速反應(Wickramasinghe et al. 2003, Klingbeil and Willig 2009, Russo and Ancillotto 2015)，及對氣候等物理環境的敏感性(Welbergen et al. 2008)，使其成為反映環境狀況的良好指數。此外，作為哺乳動物中唯一真正具有飛行能力的類群，蝙蝠在生態上扮演了非常重要的角色，能提供植物授粉、種子傳播與控制昆蟲族群數量等具高度經濟價值的生態系統服務(Boyles et al. 2011, Kunz et al. 2011, Maas et al. 2016)。由於上述這些特性，蝙蝠被視為是最佳的生物指數之一(Jones et al. 2009)。掌握蝙蝠族群分布與其動態，不管是針對基礎生態研究、蝙蝠保育、生態系統服務評估、或是指數生物監測運用，都有不可或缺的必要性。

臺灣蝙蝠的種類已知達6科36種(鄭錫奇等 2015)，其中有相當高的比例為特有種，且總物種數早已超越嚙齒目成為臺灣陸域哺乳類第一大類群。傳統蝙蝠的調查大多使用棲所(如洞穴)的調查或利用網具的捕捉，但是這樣的調查方式需要大量的人力、時間與經費，難以取得大尺度下蝙蝠群聚與分布的完整資訊、難以監控其短時間內的動態變化，也難以累積調查資料來反映長期的變化趨勢。然而，除了狐蝠科(Pteropodidae)的大部分物種外，其餘約一千種的蝙蝠皆可使用回聲定位，利用接收自周邊障礙物反射自體發出的聲波回音，獲取包括與障礙物間的距離、物體大小，甚至材質屬性等資訊，來探測獵物的所在位置以及該環境的物理結構。大多數蝙蝠在飛行時不斷發出超音波回聲定位叫聲的這個特性，使得超音波偵測成為監測蝙蝠活動與族群動態的極佳工具。例如一個開始於英國的蝙蝠監測計畫，The Indicator Bats Program(簡稱 iBats)(Jones

et al. 2013)，結合公民科學的發展，由志願者沿著規劃的穿越線開車測錄，再將所錄到的超音波錄音檔上傳伺服器，由建置於伺服器上的半自動物種辨識系統分析蝙蝠的種類(Newson et al. 2015)。然而相對於僅擁有18種(其中17種有繁殖紀錄)蝙蝠的英國，位處亞熱帶的臺灣，其豐富多樣的蝙蝠物種將會在物種辨識上造成不小的挑戰，要發展可靠的物種自動辨識系統，也還有賴更多參考音頻的持續收集。

由於錄音設備、儲存裝置與分析工具的進步與普及，近年來聲音的測錄與分析已成為生物多樣性及環境監測的一項重要工具(Pijanowski et al. 2011)。多個聲音指數(acoustic index)陸續被發表來量化環境中聲音的特徵、分析解釋聲音特徵在空間與時間上的分布與變異，並作為反映環境品質與生物多樣性狀態的指數(Sueur et al. 2014)。許多應用於蛙類與鳥類的例子，顯示這些聲音指數能有效反映物種分布與多樣性，並具有作為生物多樣性長期監測工具的潛力(Boelman et al. 2007, Pieretti et al. 2011)。然而，在地景尺度下聲音的監測目前還未應用於超音波的頻段，對於聲音指數是否適用於蝙蝠的監測也還欠缺相關研究。

第二節 太魯閣國家公園蝙蝠資源

太魯閣國家公園幅員甚廣，北沿南湖大山，西緣合歡山群，南至奇萊連峰，東為清水斷崖，又有立霧溪主流流經其間。區內地形起伏，海拔變化自 60 公尺的閤口到 3740 公尺的南湖大山，差異甚大。植被林相從低中海拔的闊葉林、混生林到高海拔針葉林、高山草原與苔原，同時包含墾植過後的次生林。在如此多樣與複雜的地理氣候條件與多種類型的生態系類型下，孕育了園區內豐富的生物相(林曜松等 2005)。然而，目前對太魯閣國家公園內翼手目的種類與分布的相關資訊仍相當缺乏。許多過去的調查僅有零星的紀錄(例如：柯美如 2006)，缺少全面的普查。直到 2016 年委託中華自然資源保育協會的研究，才開始針對園區內翼手目動物相在海拔分布及季節間變化上，以較為系統性的方式收集相關資訊。在這個調查中共記錄到 5 科 16 屬 25 種蝙蝠，資料顯示園區擁有極為豐富的蝙蝠相，物種組成在海拔間存在變異，且部分物種似乎有在季節間沿海拔垂直遷移

的情形(謝伯娟等 2016)。然而，僅一年的資料難以全面反映園區內蝙蝠群聚與族群的動態，且適合長期蝙蝠監測的工具仍有待開發。

第三節 計畫目標

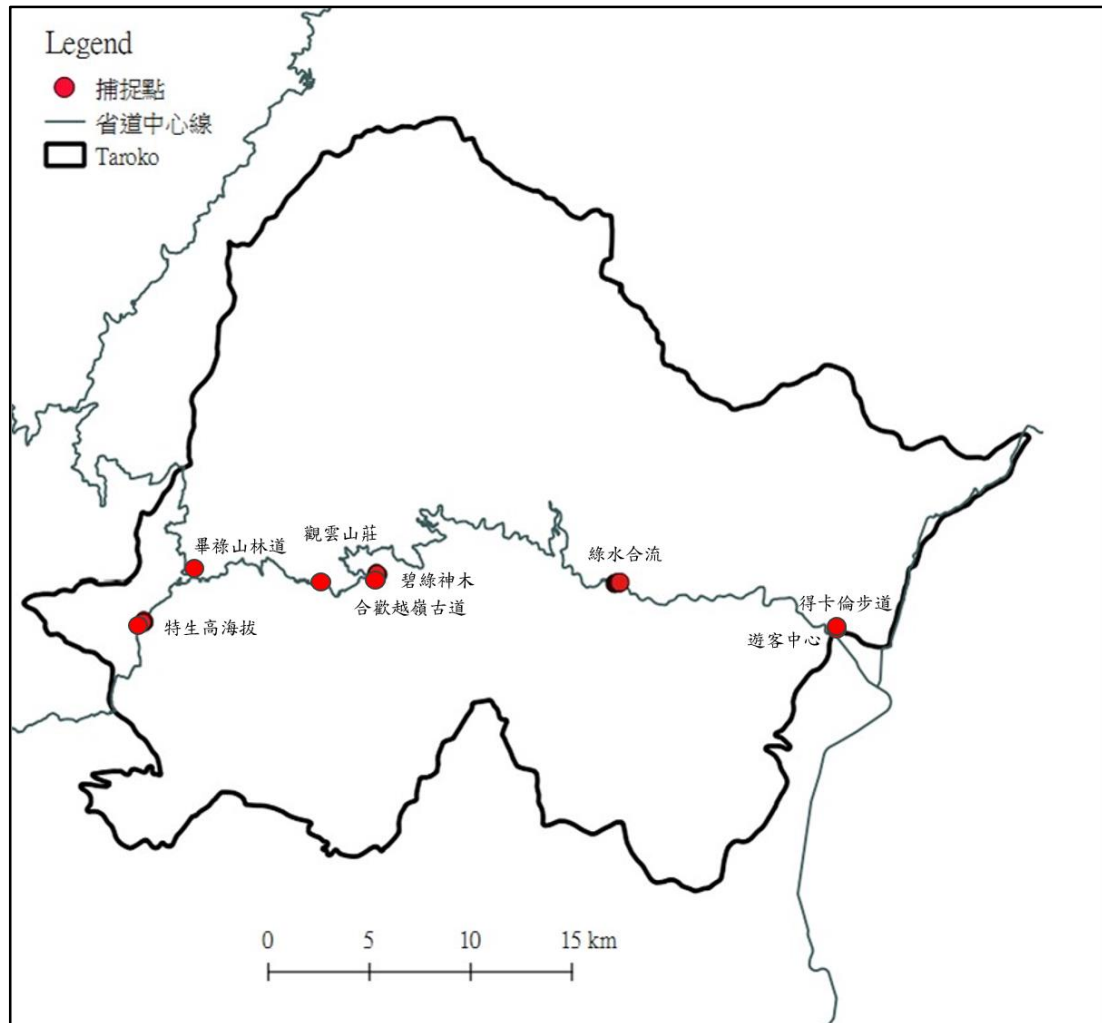
本計畫之目的為(1)延續前一年的調查，採用網具捕捉並搭配蝙蝠偵測器自動監測，持續收集太魯閣國家公園境內中部橫貫公路東段之翼手目動物種類、分布及洞穴棲所族群的狀況，協助太魯閣國家公園建立園區內翼手目動物之生物多樣性基本資料；(2)測試並評估聲音指數反映蝙蝠活動頻度與多樣性時空變異的能力，以作為日後發展長期蝙蝠智慧監測工具的基礎。本研究將提供太魯閣國家公園有關蝙蝠多樣性更完整的資訊，並協助未來長期智慧監測系統的發展，利用科技提高生物多樣性資料收集及整合的效率，提供更有效率之監控方式。這些資訊與系統能協助教育宣導、公民科學的發展及提供生物多樣性保育工作規劃的參考。

第二章 材料與方法

第一節 野外調查

一、蝙蝠的捕捉

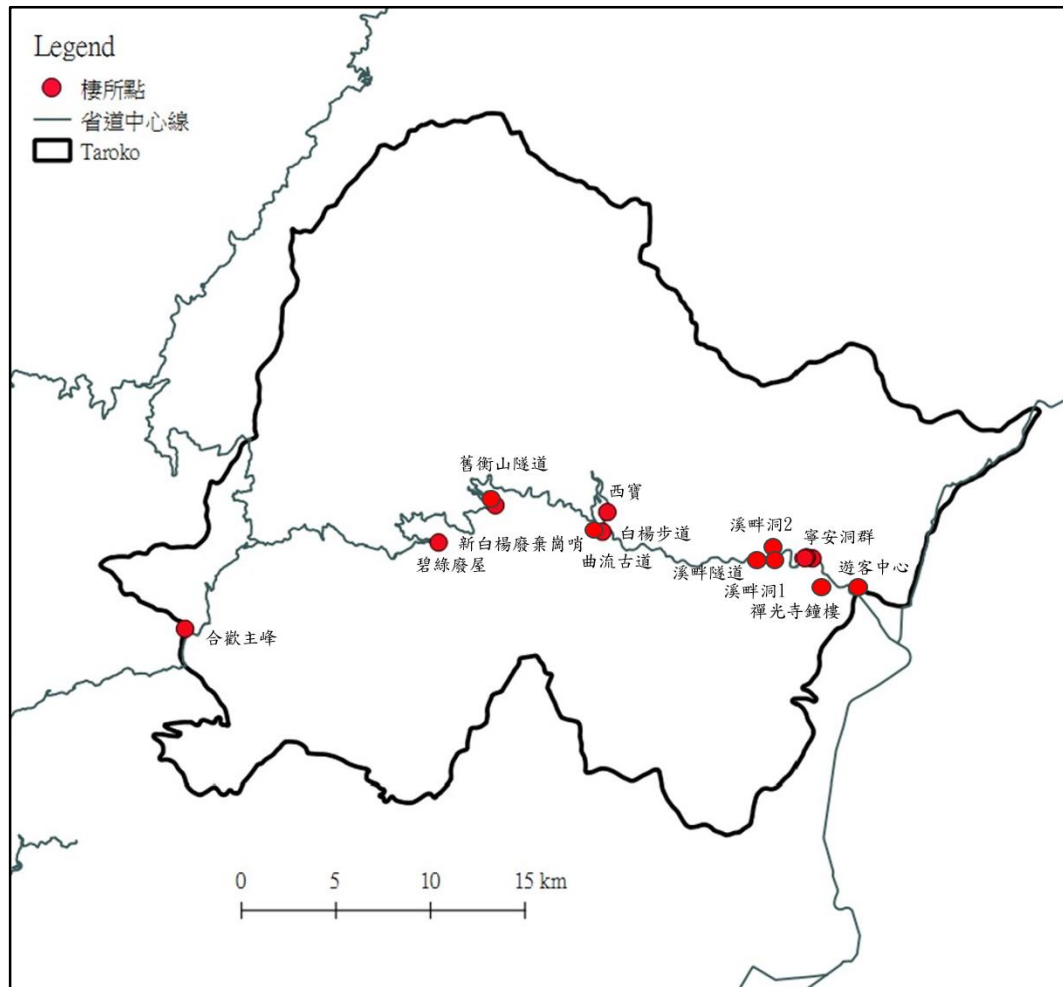
延續前一年的調查方式，蝙蝠的捕捉以中部橫貫公路東段為主軸，由太魯閣閣口往西攀升至合歡山區(低至高海拔)區分成低(海拔1100公尺以下)、中(海拔1100-2200公尺)、高(海拔2200公尺以上) 3個海拔帶，於各海拔帶分別挑選適宜採集之森林或林道。選擇的樣點在高海拔帶包括第一、二及三季於特有生物研究保育中心高海拔試驗站(N24°09'40.75", E121°17'10.17", 海拔2961m)，第三及第四季於畢祿山林道(N24°18'59.10", E121°31'08.30", 2592m)及於第三季增設觀雲山莊(N24°11'16.65", E121°20'23.86", 2406m)；中海拔帶包括碧綠神木 (N24°10'54.98", E121°24'01.33", 2165m) 以及碧綠合歡越嶺古道(N24°10'42.19", E121°24'17.95", 2168m)；低海拔帶則包括綠水合流(N24°10'42.23", E121°30'57.06", 462m)及於第三季增設的得卡倫步道(N24°09'35.62", E121°37'17.07", 126m)和太魯閣遊客中心(N24°09'26.96", E121°37'19.74", 90m)(表一、圖一)。於各海拔樣點以架設霧網或豎琴網的方式，每季進行至少1夜的捕捉調查。每個捕捉夜在日落前於選擇之樣點，配合地形和植被鬱閉度，架設6具四弦豎琴網 (4.2 m²) 及一組I字型或V字型之霧網組 (Avinet, 9 m, 3.5 mm²網目) 捕捉蝙蝠。霧網樣點每5-10分鐘巡視一次，架設至當晚22:00收網。豎琴網樣點，由於蝙蝠不會被纏困在豎琴網上，無須研究人員立即解網，於晚上19:00到22:00之間，每一小時至少巡視一次，22:00後，豎琴網繼續留置於該地進行整夜之捕捉，於隔天07:00前再巡視並檢視。捕獲之個體進行形值測量、排遺與組織採樣及標放，並錄製回聲定位叫聲的參考音頻，操作方式按照下列第3、4點方式處理。



圖一、本年度太魯閣國家公園蝙蝠網具調查樣點分布

二、洞穴棲所族群監測

根據謝伯娟等(2016)的調查結果，針對目前園區內已知的洞穴棲所，包括合歡主峰軍事坑道、新白楊廢屋、西寶洞穴群、白楊洞穴群及寧安橋洞穴群進行調查。除上述原有之棲所調查點，今年亦增加八個新的棲所樣點，分別是碧綠廢屋、第三季新增的曲流古道、禪光寺鐘樓和太魯閣遊客中心、第四季新增的舊衡山隧道、溪畔隧道和溪畔發電廠洞群（圖二）。



圖二、本年度太魯閣國家公園蝙蝠棲所調查樣點分布

除寧安橋洞群部分樣點配合偵測器錄音，每月調查一次，其餘棲所每季進行至少 1 次調查。每次調查於白日時，以目視之方式初步檢視棲所內的蝙蝠數量、物種、活動與生殖狀況，為降低燈光對蝙蝠的直接干擾，所有燈具皆覆蓋紅色玻璃紙。蝙蝠數量估算方式，每次調查以兩人為一組，分別估算各蝙蝠物種的豐富度，再以兩位調查者估算值的中間值為豐度估算值。此外亦搭配蝙蝠偵測器進行調查，以增加數量稀少物種被記錄到的機會。捕獲之個體進行形值測量、排遺與組織採樣及標放，並錄製回聲定位叫聲的參考音頻，操作方式按照下列第 3、4 點方式處理。

三、蝙蝠形值測量、標放與採樣

捕獲之蝙蝠個體分別放置於棉布袋中，按基本作業程序記錄捕捉時間、地點(利用GPS記錄座標)，進行種類、性別、年齡和生殖狀況之判定，量測體

重、前臂長等各項形態測值，並針對成體在其前臂標上有編號的鋁製翼環(雄性個體標示於左前臂，雌性個體標示於右前臂之方式)，以利後續監測其群集動態。若捕獲已有上標翼環之個體，亦記錄其翼環型式與編號。捕獲之狀況良好的非保育類物種成體(不包含懷孕和哺乳期之母蝠)，除進行上述形值測量外，並於兩翼各取一小片翼膜組織，一片以99.9%酒精保存，未來可提供作為DNA分析之用，另一片以RNAlater™保存液保存，未來可提供作為RNA分析之用。若捕獲的個體於布袋中有排遺留存，則以酒精保存排遺，未來可提供作為食性分析之用。如捕獲保育類物種(臺灣無尾葉鼻蝠，尚未在太魯閣園區記錄過)，個體在量測後將立即原地釋放不進行採樣。

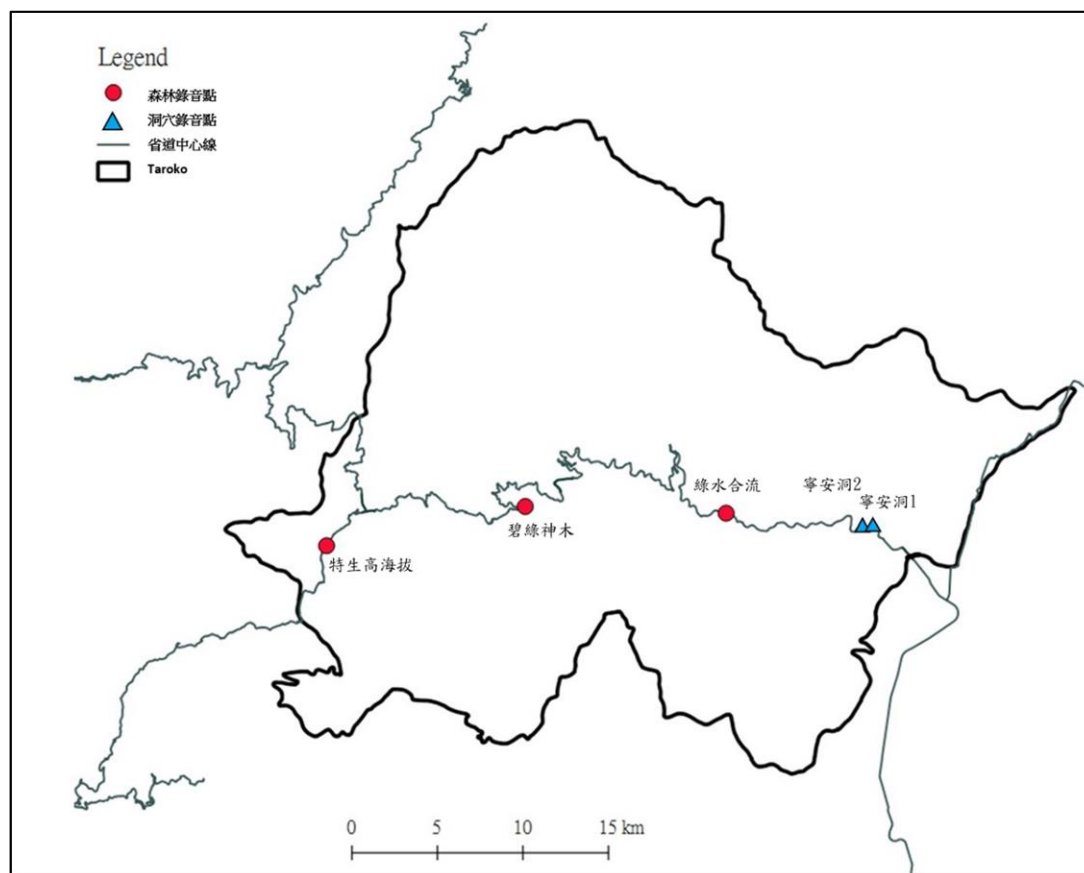
四、蝙蝠回聲定位叫聲參考音頻的收集

捕捉的個體在完成形值測量後，以Pettersson M500麥克風 (Pettersson Elektronik) 錄製飛行時回聲定位的叫聲(取樣頻率500千赫茲)。叫聲的錄製在與捕捉地點相似的棲地內進行，以避免因為棲地使用不同而影響回聲定位叫聲的結構。錄製的參考音頻未來將可提供作為蝙蝠聲音自動辨識系統的開發之用。

五、超音波偵測器的架設與錄音

配合捕捉調查，於每個海拔帶各選定一個樣點架設超音波偵測器進行錄音，三個海拔錄音樣點分別為綠水合流、碧綠神木和高海拔試驗站(圖三)。以Song Meter SM4BAT-FS蝙蝠偵測器(Wildlife Acoustics)搭配SMM-U1外接麥克風(Wildlife Acoustics)，於每季每樣點進行至少一個星期的連續錄音，以每兩分鐘錄一分鐘的頻度，從當日17:00錄至次日07:00。此外配合洞穴棲所監測，選擇寧安橋洞1及寧安橋洞3兩個適合的調查點(圖三)，於其出口處每季進行至少一個星期的連續錄音。由於在上半年調查中，多次在寧安橋洞3內發現新增落石，在考量調查人員的安全，第二季結束時將洞3的棲所監測樣點移至寧安橋洞2。第一季時以Pettersson D500X 蝙蝠偵測器(Pettersson Elektronik)進行錄音，但為了能夠進行長期連續錄音來計算每晚每小時的聲音指數的變化，在考量電池更換和儲存空間限制，第二季開始將偵測器型號更換為電力消耗較低且記憶卡容量

更大的Song Meter SM4BAT-FS 蝙蝠偵測器。



圖三、本年度太魯閣國家公園蝙蝠錄音調查樣點分布

第二節 超音波監測錄音檔之分析

本研究使用 R 統計軟體(version 3.3.2)與其套件量化監測之錄音檔所錄到蝙蝠回聲定位叫聲的頻率和發生頻度，並分析聲音指數在不同海拔帶、不同棲所、不同季節間的差異。由於多個物種的參考音頻闕如或樣本數不足，因此無法對海拔樣點所錄製的蝙蝠叫聲進行全物種辨識之分析，因此海拔帶樣點的錄音檔，僅進行蝙蝠叫聲豐度和聲音指數的估算。聲音的量化分析包含了聲音特徵測量、蝙蝠叫聲數量估算和聲音指數計算，並於以下分別描述：

一、聲音特徵量測

以warbleR套件為基礎，搭配自行撰寫的R語言程式辨識錄音檔中的蝙蝠回聲定位叫聲及測量叫聲特徵值。首先，參考本研究所錄製的參考音頻以及謝伯

娟等(2016)與鄭錫奇等(2015)描述之臺灣地區蝙蝠物種回聲定位叫聲的特徵值(包括叫聲時間長度、頻率寬度等)，設定篩選條件，以修改過的autodetec功能自錄音檔內挑選可能為蝙蝠回聲定位叫聲的聲音訊號。由於部分物種的參考音頻和若干特徵值在上述文獻闕如或不足，本研究亦參考鄰近國家的同物種或相近物種的參考音頻描述(Huang 2013)。所有被挑選出的聲音訊號，先以autodetec所繪製的頻譜圖(spectrogram)以目視方式初步檢視，再以自行撰寫的過濾器排除超音波噪音(例如蟲、蛙叫聲、煞車聲)、蝙蝠的社會叫聲(social call)與錄音品質不佳的聲音訊息(例如信噪比過低 signal-to-noise ratio)。過濾後的所有聲音訊號以修改過的specan功能測量19個聲音特徵值(附錄一)。所有量測的數值及錄音檔的詮釋資料(例如錄音地點、時間)皆存為逗号分隔值(Comma-separated Values, csv)檔，再進行後續分析。

二、蝙蝠叫聲豐度估算

而為辨識蝙蝠叫聲數量時空間變化，在收集各樣點的聲音訊號csv檔後，本研究透過K最近鄰分類演算法(K-Nearest Neighbor Classification Algorithm; KNN)區別被定義的蝙蝠回聲定位叫聲，以進一步加強蝙蝠叫聲辨識的正確性。KNN屬於監督式學習(supervised learning)，為一被廣泛使用、有效率且易於掌握的演算法。本研究先以9月份和10月份特生中心高海拔試驗站(分別為904筆與3038筆)與9月份碧綠(2707筆)所錄製的聲音訊號資料，經人工判視後，將其聲音訊號資料進一步分為蝙蝠超音波聲音訊號與非蝙蝠超音波聲音訊號。接著以此6649筆聲音訊號為訓練集，使用R軟體，透過class套件將其餘樣點的聲音資料進行分群，並挑選分群結果為蝙蝠叫聲的聲音訊號資料進行描述性統計分析。

三、聲音指數

本研究於計劃初期，曾針對文獻中常見的聲音複雜度指數(Acoustic complex index, ACI)、生物聲音指數(Bioacoustic index, BI)、聲音多樣性指數 (Acoustic diversity index, ADI)、聲音均勻度指數(Acoustic evenness index AEI)、頻率熵值(spectral entropy, *sh*)與時間熵值(temporal entropy, *th*)等6個生物聲音指數進行評估，初步分析結果顯示時間熵值(Sueur et al. 2008)為所有指數中最能有效地反應蝙蝠叫聲豐度和頻率變異的指數(詳見附錄二)。為了與上述蝙蝠叫聲數量估算

結果比較(方法6.2)，本研究選擇以計算時間熵值來量化蝙蝠叫聲數量時空間的變異。

時間熵值主要是描述聲音能量在時間軸分布的離散程度，當錄音檔內沒有聲音訊息時或聲音訊息的能量在時間軸呈現均勻分布時， th 值會趨近於1；反之，當環境中聲音訊息的能量在時間軸上越集中(不均勻)， th 值會越趨近於0。我們以seeWave套件計算時間熵值指數，所有的聲音檔案在計算聲音指數前，會先以seewave套件的ffilter功能過濾掉頻率20 kHz以下非超音波的聲音，因此所計算出的聲音指數值可做為超音波聲音多樣性的量測，越低的數值代表越高的超音波聲音多樣性，也即代表越多的蝙蝠活動或越多樣的蝙蝠叫聲。此外，初步資料顯示，蝙蝠叫聲在海拔帶監測樣點的許多樣本中(例如三月份錄音和高海拔帶樣點)相當稀少，為能有效地呈現超音波聲音多樣性在不同海拔帶樣點、不同季節及不同棲所樣點間的變異，我們選擇以時間熵值的25%百分位(25% percentile)數值作為樣本的測量值，並進行後續比較。

表一、本年度太魯閣國家公園捕捉樣點、海拔棲地與調查努力量

	遊客 中心	得卡倫 步道	綠水 合流	碧綠 神木	合歡越 嶺古道	觀雲 山莊	畢祿山 林道	高海拔 試驗站
海拔帶	低	低	低	中	中	高	高	高
海拔(m)	90	126	462	2165	2168	2406	2592	2961
棲地	闊葉 林緣	闊葉林	闊葉林	針闊 混林	針闊 混林	針闊混 林緣	針闊 混林	針葉林
調查季節	3	3	1 - 4	1 - 3	3、4	3	3、4	1 - 3
豎琴網次	3	5	24	16	4	1	12	14
霧網網次	1	1	4	2	2	1	2	2

第三章 研究結果

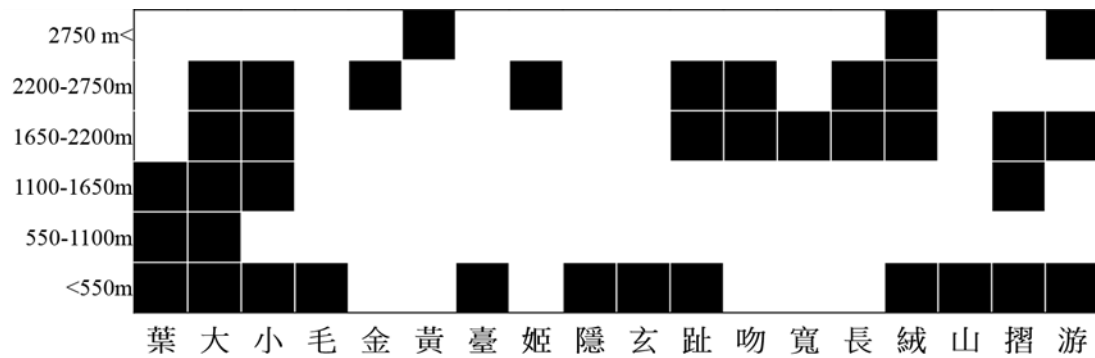
第一節 太魯閣國家公園翼手目物種調查

本年度調查共累積豎琴網 79 個捕捉夜(於第三季增設低海拔 8 個捕捉夜及高海拔 3 個捕捉夜)及霧網 15 個捕捉夜(每季三海拔帶各一組。此外於第三季增設低海拔 2 個捕捉夜及高海拔 1 個捕捉夜)的調查(表一)及 84 個夜晚的錄音。高海拔樣帶第二季調查期間，因為霧網樣點與特有生物研究中心的鳥類調查樣點重疊，為避免互相干擾，因此該季並無架設霧網。整合捕捉、棲所調查及超音波錄音分析結果，今年共記錄到葉鼻蝠科(Hipposideridae)、蹄鼻蝠科(Rhinolophidae)、蝙蝠科(Vespertilionidae)、摺翅蝠科(Miniopteridae)及游離尾蝠科(Molossidae)等 5 科 18 種蝙蝠，包含 9 個特有種和 1 個特有亞種(表二)。

各種調查方式之結果分別為，棲所調查 4 科 6 種、網具捕捉 3 科 12 種、錄音監測 5 科 6 種及民眾回報 2 科 6 種。以網具捕捉 12 個物種為最多；其他三個方法皆記錄到 6 個物種(表三)。

第二節 太魯閣國家公園翼手目物種海拔分布

整體而言，在氣溫較低的第一季和第二季，於低海拔帶地區記錄到的物種數明顯較中、高海拔帶較多，然而自第三季起，三個海拔帶記錄到的物種數相似，但是物種組成有所差異(表四)。綜合四季之調查結果顯示，臺灣管鼻蝠及玄彩蝠僅分布於低海拔地區。臺灣葉鼻蝠、東亞摺翅蝠及長趾鼠耳蝠分布於低中海拔地區；東方寬耳蝠僅於中海拔地區有捕捉記錄；臺灣長耳蝠及寬吻鼠耳蝠則分布於中高海拔地區。姬管鼻蝠、黃胸管鼻蝠及金芒管鼻蝠僅分布於高海拔地區；臺灣大蹄鼻蝠、臺灣小蹄鼻蝠、絨山蝠和東亞游離尾蝠則是三個海拔帶皆有分布(圖四)。



圖四、本研究 18 個蝙蝠物種之海拔分布示意圖。黑色方塊代表物種出現紀錄。葉：臺灣葉鼻蝠、大：臺灣大蹄鼻蝠、小：臺灣小蹄鼻蝠、毛：毛翼管鼻蝠、金：金芒管鼻蝠、臺：臺灣管鼻蝠、姬：姬管鼻蝠、彩：玄彩蝠、吻：寬吻鼠耳蝠、趾：長趾鼠耳蝠、寬：東方寬耳蝠、長：臺灣長耳蝠、山：山家蝠、絨：絨山蝠、摺：東亞摺翅蝠、游：東亞游離尾蝠。

第三節 網具捕捉

本年度四季之調查，共捕獲3科11屬12種，83隻次蝙蝠，其中霧網捕捉10隻次、豎琴網捕捉73隻次(表五)。分別為臺灣大蹄鼻蝠(n=3)、臺灣小蹄鼻蝠(n=32)、毛翼管鼻蝠(n=1)、臺灣管鼻蝠(n=5)、姬管鼻蝠(n=3)、金芒管鼻蝠(n=1)、玄彩蝠(n=2)、長趾鼠耳蝠(n=9)、寬吻鼠耳蝠(n=15)、東方寬耳蝠(n=4)、臺灣長耳蝠(n=5)、東亞摺翅蝠(n=3)。其中84具豎琴網的捕捉率為 0.87 隻/網具；15組霧網的捕捉率為 0.67隻/網具。第三季捕獲47隻，捕獲量最高，第一季未捕獲任何蝙蝠，捕獲量最低(表五)。

第四節 棲所調查

於 2017 年度四季進行了 22 個蝙蝠可能棲息地點的調查(表六)，其中 5 個樣點於第三季依期中報告建議增設，包括禪光寺鐘樓、溪畔發電廠、太魯閣國家公園遊客中心及白楊步道旁之曲流古道。第四季由花蓮林區管理處朱何宗先生提供資訊，另增設中海拔舊衡山隧道樣點。實地於溪畔發電廠調查時，洞 1 無發現任何蝙蝠活動之跡象，洞 2 積水過深無法進入觀察，因此未於該棲地觀察到蝙蝠棲息；位於白楊步道旁的曲流古道僅勘查七個隧道中(解說課鄒月娥私人通訊)的第一個，其餘六個隧道由於後續路徑不明、雜草叢生及地形險惡，

經過約兩小時之路線探看後，在考量人員安全性後，未進行後續的勘察。

所有調查點中有 11 個棲所在白天記錄到蝙蝠棲息，佔所有調查點的 50%；其餘 11 個棲所樣點中，第 3 季的夜間調查於遊客中心內捕獲一隻臺灣管鼻蝠。白楊步道洞 3 及禪光寺鐘樓雖未目擊蝙蝠，但有不少新鮮排遺，推測這三個樣點為蝙蝠的夜棲所，約佔所有調查點的 14%。其餘 8 個樣點並無發現任何蝙蝠或排遺等痕跡(表六)。

此外經由管理處同仁及園區民眾通報，亦記錄了多筆蝙蝠棲所的資料。包括 2 月 3 日於天祥稚暉橋下溪床記錄一死亡之長趾鼠耳蝠(*Myotis secundus*，天祥管理站李敏俊 私人通訊)；3 月 13 日於綠水登山教室記錄了家蝠屬物種(*Pipistrellus* sp.，李敏俊 私人通訊)；6 月 5 日於遊客中心記錄山家蝠幼蝠(*Pipistrellus montanus*，鄒月娥 私人通訊)；7 月 1 日於流芳橋明隧道記錄一隻隱姬管鼻蝠(*Murina recondita*)、7 月 3 日於燕子口隧道記錄三隻家蝠屬物種(*Pipistrellus* sp.)、7 月 6 日於西拉岸隧道記錄一隻臺灣管鼻蝠、7 月 13 日於燕子口隧道記錄兩隻臺灣管鼻蝠、7 月 18 日於溪畔隧道記錄一隻臺灣管鼻蝠及兩隻家蝠屬物種、7 月 20 日於溪畔隧道記錄一隻臺灣管鼻蝠、8 月 1 日於燕子口福磯斷崖記錄一隻臺灣管鼻蝠及 10 月 20 日於燕子口隧道記錄一隻臺灣管鼻蝠 (楊雅雯 私人通訊)。

由於各物種利用棲所情形有差異，以下就單一物種個別論述：

(1) 臺灣葉鼻蝠

本研究四季於太魯閣地區共調查到 6 個臺灣葉鼻蝠的日棲所，分別是西寶洞 1、西寶洞 2、白楊洞 1、寧安洞 2、寧安洞 3 及舊衡山隧道(表八)。調查期間，其中寧安洞 2 及寧安洞 3 有較大的群集數量，在第二季時分別記錄到超過 100 隻的臺灣葉鼻蝠。寧安洞 2 的群集量於第三及第四季之皆有遞減的趨勢(表七)。

(2) 臺灣小蹄鼻蝠

本研究四季於太魯閣地區共調查到 3 個臺灣小蹄鼻蝠的日棲所，分別是寧安洞 1、寧安洞 2 及寧安洞 3(表八)。其中寧安洞 1 有較大的群集數量，在第二季時有約 1020 隻臺灣小蹄鼻蝠，且為其繁殖棲所。於第三及第四季之數量有明

顯遞減甚至整個族群消失的現象(表八)。

(3) 臺灣大蹄鼻蝠

本研究四季於太魯閣地區共調查到 4 個臺灣大蹄鼻蝠的日棲所，分別是第一季於西寶洞 1 及白楊洞 1 及第三季於碧綠廢屋和新白楊廢屋分別記錄到一隻個體。第二及第四季皆無目擊臺灣大蹄鼻蝠使用該棲所之紀錄。

(4) 東亞摺翅蝠

本計畫四季於太魯閣地區共調查到 4 個東亞摺翅蝠的日棲所，分別是舊衡山隧道、白楊洞 1、寧安洞 1、寧安洞 2 及寧安洞 3。第一季在寧安洞 3 記錄到 44 隻，為單次數量最多的調查(表九)。

(5) 黃胸管鼻蝠

本計畫於太魯閣地區僅有林務局提供之 2017 年 3 月 21 日於合歡主峰軍事坑道，記錄到 10 隻冬眠的黃胸管鼻蝠，其餘月份並無發現蝙蝠之紀錄。

(6) 臺灣管鼻蝠

第三季分別於太魯閣遊客中心內及溪畔隧道各記錄到一隻臺灣管鼻蝠。

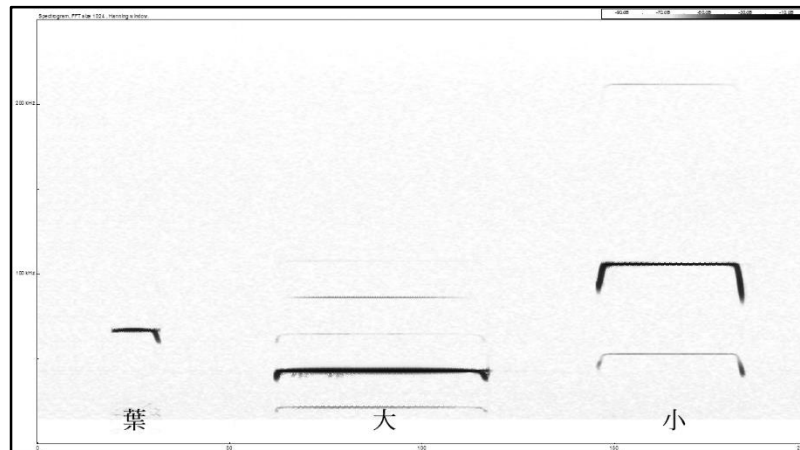
第五節 形值測量、標放與採樣

本研究共進行 12 種 81 隻次蝙蝠形值測量，包括前臂長、體重和腳脛長等，12 個物種分別為臺灣大蹄鼻蝠(n=3)、臺灣小蹄鼻蝠(n=32)、毛翼管鼻蝠(n=1)、金芒管鼻蝠(n=1)、臺灣管鼻蝠(n=4)、姬管鼻蝠(n=3)、玄彩蝠(n=2)、長趾鼠耳蝠(n=8)、寬吻鼠耳蝠(n=15)、東方寬耳蝠(n=4)、臺灣長耳蝠(n=5)及東亞摺翅蝠(n=3)。與臺灣蝙蝠圖鑑(鄭錫奇等，2015)所描述各物種的資料比對，發現本研究包括臺灣大蹄鼻蝠、毛翼管鼻蝠、金芒管鼻蝠和寬吻鼠耳蝠的腳脛長測量值略大於鄭錫奇等(2015)描述各物種的最大值，其他物種的測量值皆落於鄭錫奇等(2015)描述的形值範圍內(表十)。

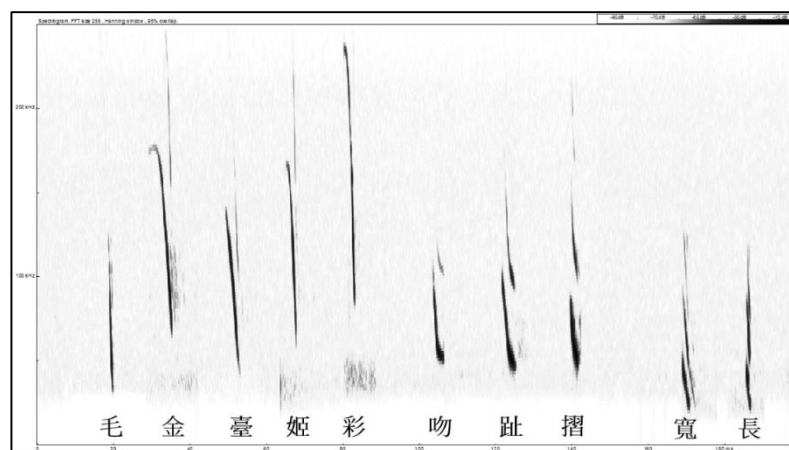
本計畫四季共標放了 9 種 45 隻蝙蝠，分別是臺灣小蹄鼻蝠(n=18)、臺灣大蹄鼻蝠(n=3)、長趾鼠耳蝠(n=5)、寬吻鼠耳蝠(n=10)、臺灣長耳蝠(n=2)、東方寬耳蝠(n=2)、金芒管鼻蝠(n=1)、玄彩蝠(n=1)及東亞摺翅蝠(n=3)(附錄三)。另有兩隻為已於去年調查上過翼環之個體，分別為在第三季於綠水合流樣點捕獲之長趾鼠耳蝠，翼環編號為 CHCS01153；第四季於畢祿山林道樣點捕獲之臺灣小蹄鼻蝠，翼環編號為 CHCS01274。

第六節 參考音頻收集

本年度共錄製了 4 科 13 種蝙蝠回聲定位叫聲的參考音頻，根據 Jones and Teeling (2006) 可將這 13 種蝙蝠的回聲定位叫聲區分為定頻(constant frequency, CF)、寬帶調頻(broad-band frequency modulated, BFM)、窄尾調頻 (narrow-tailed frequency modulated, NFM)及多弦短調頻(multi-harmonic short frequency modulated, MFM)等四個類型叫聲。13 種蝙蝠中，臺灣葉鼻蝠、臺灣大蹄鼻蝠和臺灣小蹄鼻蝠使用 CF 型叫聲；玄彩蝠和 4 種管鼻蝠物種使用 BFM 型叫聲；寬吻鼠耳蝠、長趾鼠耳蝠和東亞摺翅蝠使用 NFM 型叫聲；臺灣寬耳蝠和臺灣長耳蝠使用 MFM 型叫聲(圖五~圖六)。



圖五、太魯閣地區 3 種 CF 型物種的回聲定位叫聲頻譜圖。葉：臺灣葉鼻蝠、大：臺灣大蹄鼻蝠、小：臺灣小蹄鼻蝠。



圖六、太魯閣地區 10 種非 CF 型物種的回聲定位叫聲頻譜圖。毛：毛翼管鼻蝠、金：金芒管鼻蝠、臺：臺灣管鼻蝠、姬：姬管鼻蝠、彩：玄彩蝠、吻：寬吻鼠耳蝠、趾：長趾鼠耳蝠、摺：東亞摺翅蝠、寬：東方寬耳蝠、長：臺灣長耳蝠。

叫聲時間特徵部分，CF 型叫聲的三個物種有較長的回聲定位叫聲，又以兩種蹄鼻蝠叫聲時間最長，平均叫聲長度皆大於 23 毫秒，其次為臺灣葉鼻蝠的叫聲(平均 9.5 毫秒)。NFM 型叫聲的東亞摺翅蝠和兩種鼠耳蝠居次，平均叫聲時間為 2.0~3.5 毫秒，而 BFM 型叫聲五個物種(玄彩蝠、管鼻蝠類)及 MFM 型叫聲的東方寬耳蝠和臺灣長耳蝠叫聲時間最短，平均叫聲時間均短於 2 毫秒(表十一)。叫聲頻率特徵部分，整體而言，以玄彩蝠的叫聲頻率最高，其餘依續為臺灣小蹄鼻蝠、管鼻蝠類物種、臺灣葉鼻蝠、寬吻鼠耳蝠、長趾鼠耳蝠、臺灣長耳蝠、東亞摺翅蝠、臺灣大蹄鼻蝠，而以東方寬耳蝠的叫聲頻率最低；此外，BFM 型叫聲的物種在大多數的頻率特徵值的變異明顯較高，顯示其個體間，甚至同一個體回聲定位叫聲頻率調整範圍較其他物種大(表十一)。頻率指數部分，CF 型叫聲的三個物種有較高的頻率偏態值、頻率峰值和較小的頻率熵值，顯示其回聲定位叫聲的能量分布在較窄的頻率帶；反之，其他 10 種蝙蝠的叫聲有較低的頻率偏態值、頻率峰值和較高的頻率熵值，顯示其回聲定位叫聲的能量分散在較寬的頻率帶(表十一)。

綜合初步資料顯示，我們可以先以叫聲時間、頻率指數和叫聲頻率等特徵將現有的參考音頻樣本分成不同叫聲類群，再以叫聲頻率特徵將各類群內的不同物種區分。例如 CF 型叫聲和 MFM 型叫聲的物種都可以用大多數的叫聲頻率特徵進行區分；BFM 型 5 個物種的叫聲可以用開始頻率、中間頻率和結束頻率區分開；NFM 型物種的叫聲可用頻率標準差、結束頻率、能量四分位距和峰值頻率區分(表十一)。

第七節 聲音監測

一、海拔帶樣點監測

針對三個海拔帶樣點(低海拔帶-綠水合流、中海拔帶-碧綠神木和高海拔帶-高海拔試驗站)分別分析了三月、五月、七月與十月的錄音資料。

(一)、蝙蝠叫聲豐度的時空間變異

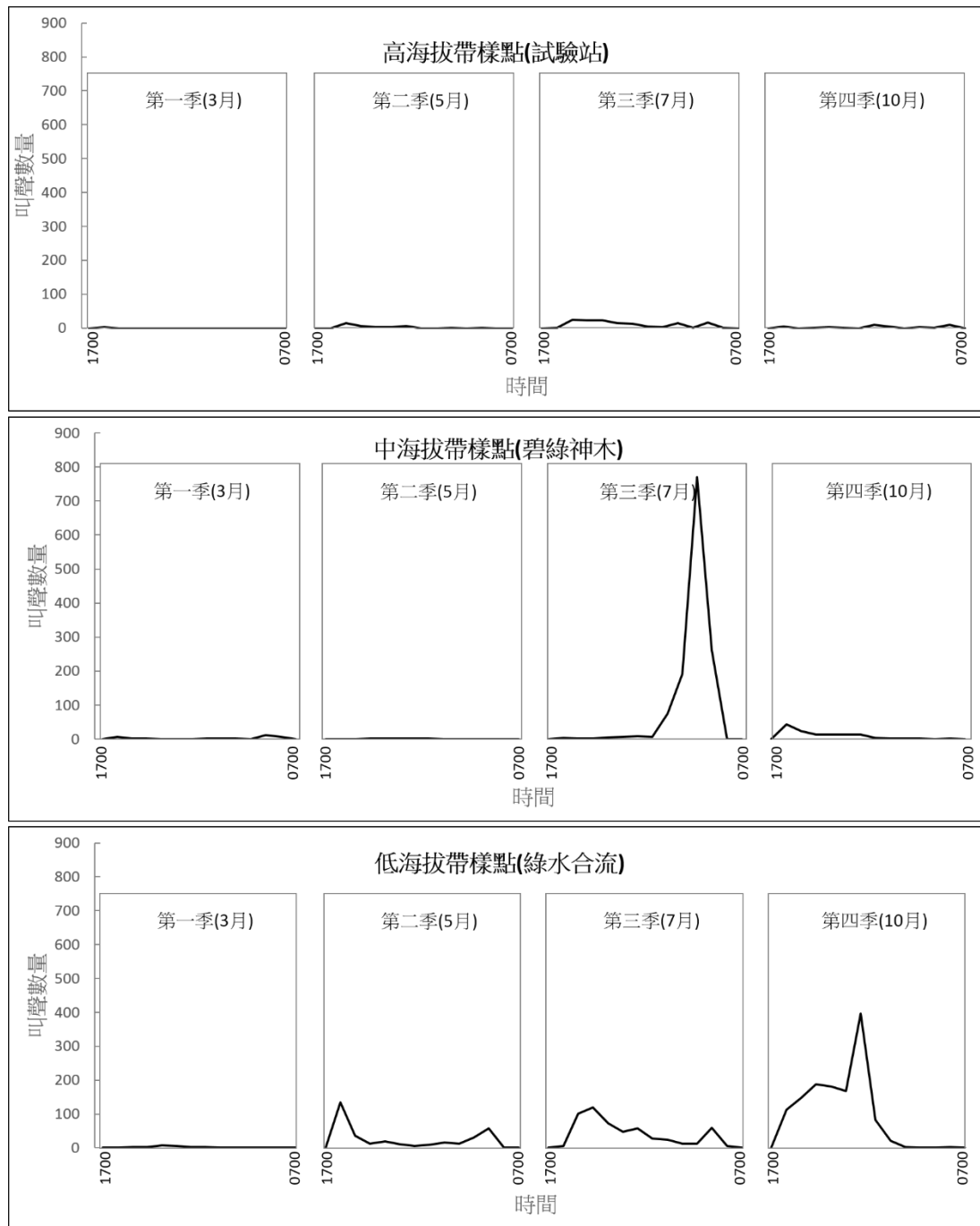
以四季綜合的資料作比較，可發現海拔越低的樣點，平均可記錄到的蝙蝠叫聲豐度越高(圖七)。比較各季三個海拔帶的叫聲豐度，三個海拔帶樣點於第一季記錄到的蝙蝠叫聲都很少，沒有明顯差異；於第二季，僅低海拔帶樣點記錄到的蝙蝠叫聲數量明顯增加，中、高海拔帶樣點記錄到的蝙蝠叫聲仍偏低；

第三季時，中海拔帶樣點叫聲豐度明顯高，其次為低海拔樣點和高海拔帶樣點；第四季，低海拔帶樣點的叫聲數量明顯高，其次為中海拔帶樣點和高海拔帶樣點(圖七)。三個海拔帶樣點的季節變化趨勢不同，低海拔樣點蝙蝠叫聲豐度逐季增加，在第四季達到最高點；在中海拔樣點，以第三季蝙蝠叫聲豐度最高，第四季明顯較少，第一和第四季的叫聲豐度都很低；高海拔樣點，蝙蝠四個季節都僅記錄到少量的蝙蝠叫聲(圖七)。

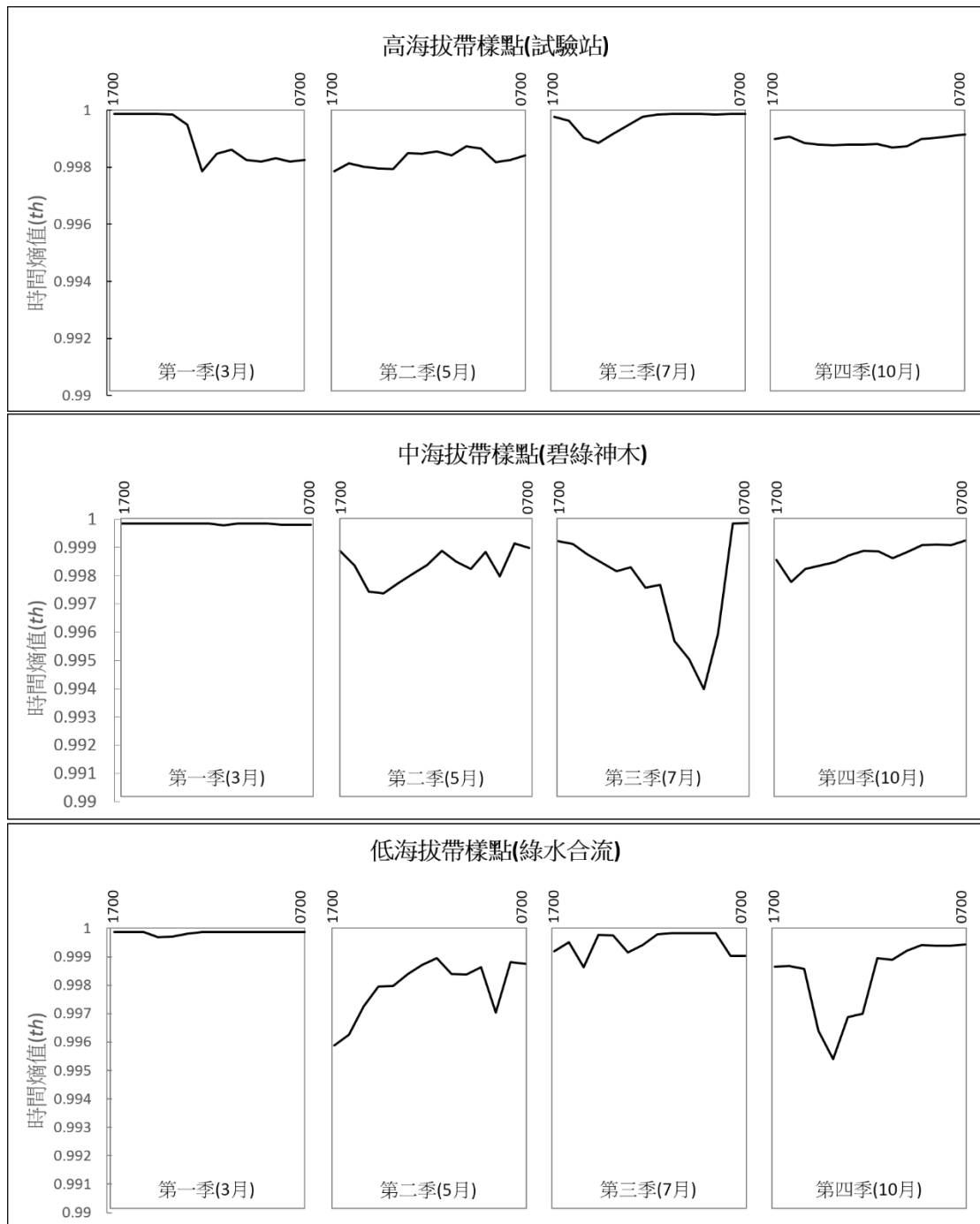
(二)、聲音指數

分析結果顯示三個海拔帶樣點錄音的時間熵值(th)都有明顯的季間變異。中海拔帶樣點(碧綠神木)和低海拔帶樣點(綠水合流)第一季錄音的時間熵值多接近 1，明顯比後三季的數值高；高海拔帶樣點(高海拔試驗站)四個季節每晚錄音的時間熵值都有降低的趨勢，其中第一和第二季的時間熵值略比第三和第四季低(圖八)。比較三個海拔帶樣點各季錄音的時間熵值，第一季時，高海拔帶樣點錄音的時間熵值明顯比中、低海拔帶樣點低；第三季時，中海拔帶樣點錄音的時間熵值明顯比低、高海拔帶樣點低；第二、第四季，低海拔帶樣點明顯比中、高海拔帶樣點的時間熵值低。其餘季節，各樣點的數值相似(圖八)。

夜間模式，第一季時，僅高海拔帶樣點的下半夜錄音的時間熵值呈現單峰分布，中、低海拔帶樣點錄音的時間熵值無明顯變化；第二季時，三個海拔帶錄音的時間熵值都呈現雙峰的分布模式，三個海拔帶樣點的第一峰的時間熵值都比第二峰的數值低。其中第一個峰值出現於傍晚 5-8 點之間的 1~2 個小時，而第二個峰值皆出現於清晨 4-6 點之間的 1~2 個小時，海拔越高的樣點峰值出現的時間點有越晚的趨勢。第三季和第四季，三個海拔帶錄音的時間熵值皆呈現單峰的分布模式，而低海拔帶樣點第三季晚上呈現多峰的分布模式(圖八)。



圖七、三個海拔帶樣點於四個季節中每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(高海拔第一季僅兩晚資料，其餘為七晚資料)



圖八、三個海拔帶樣點於四個季節中每小時錄音檔時間熵值指數平均值的夜變化(高海拔第一季僅兩晚資料，其餘為七晚資料)

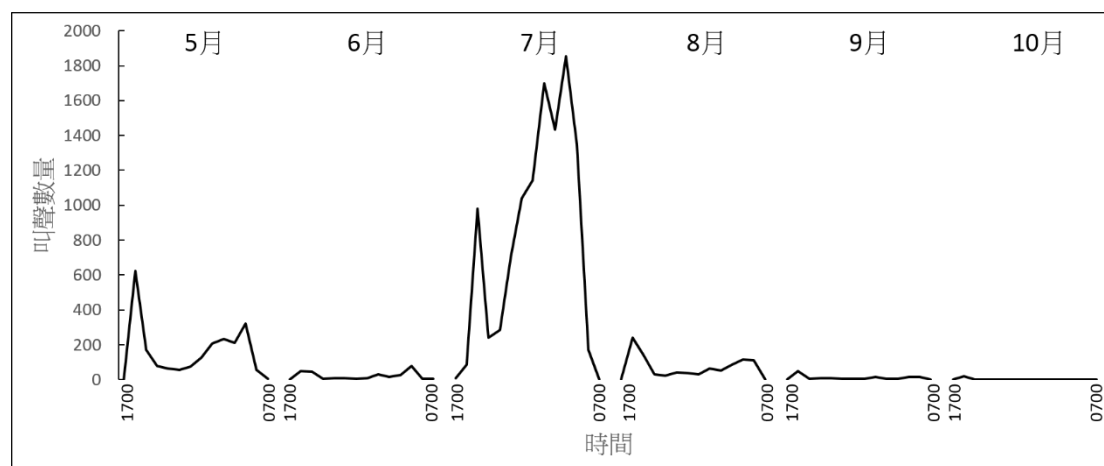
二、洞穴棲所監測

洞穴棲所監測，總共分析 5 月至 10 月共六個月份的錄音資料。資料分布時間包含了本計畫的第二季至第四季。由於第一季(3 月)使用的錄音設備不同(詳見方法五)，因此不納入分析比較。

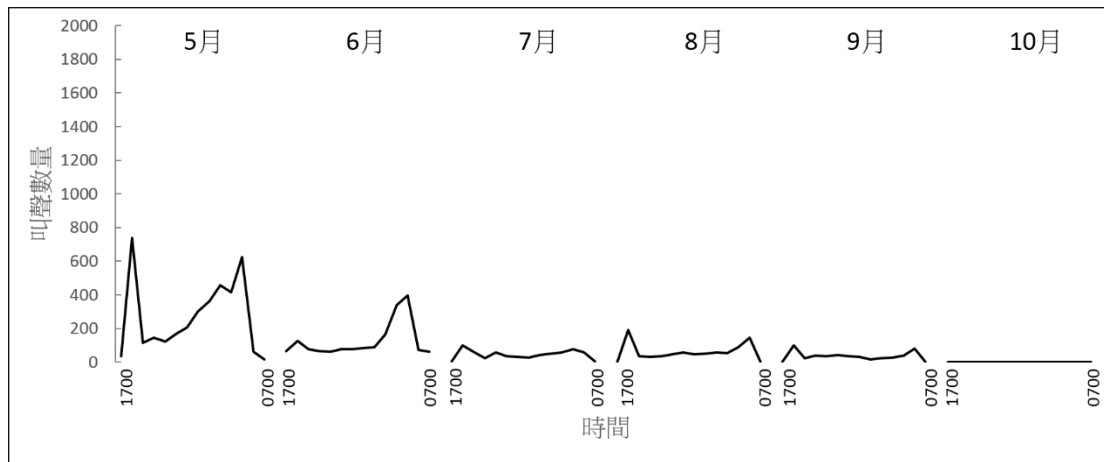
(一)、蝙蝠叫聲豐度的時空間變異

錄音資料顯示寧安橋洞 1 和洞 2 蝙蝠叫聲數量都有明顯的月間變異。在寧安橋洞 1 的六個月份錄音中，以 5、7、8 月等三個月偵測到的叫聲數量較多，6、9、10 月等三個月份偵測到的叫聲數量都偏低。其中以 7 月份的蝙蝠叫聲數量明顯地較其他五個月份高，5 月份的叫聲數量雖不如 7 月份高，但也明顯比其他四個月份高(圖九)。在寧安橋洞 2 的六個月份錄音中，以 5、6、8 月等三個月偵測到的叫聲數量較多，7、9、10 月等三個月份偵測到的叫聲數量都偏低。其中又以 5 月和 6 月的蝙蝠叫聲數量明顯地較其他四個月份高，但原則上寧安橋洞 2 偵測到的叫聲數量有逐月下降的趨勢(圖十)。比較兩個棲所樣點的錄音資料，除了在 7 月時，寧安橋洞 1 記錄到明顯較洞 2 多的蝙蝠叫聲，其餘五個月份記錄到的蝙蝠叫聲數量差距不明顯(圖九、十)。

夜活動模式，除 10 月份資料，兩個棲所其餘月份錄音的叫聲豐度呈現雙峰的分布模式。第一個峰值多出現於傍晚 6-7 點，而第二個峰值皆出現於清晨 4-6 點的時間。除 6 月外，5、7、8 月份的第一峰的叫聲數量都比第二峰的數值高；反之，6 月份每晚錄音的叫聲數量第二峰的數值明顯比第一峰多(圖九、十)。



圖九、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(每個月七晚資料)

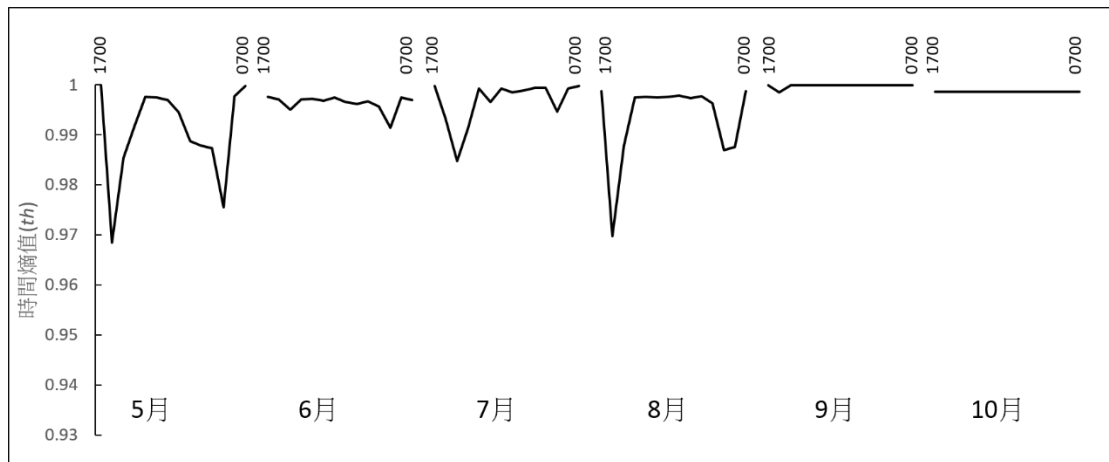


圖十、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 每小時偵測到之蝙蝠叫聲平均數量的夜變化(每個月七晚資料)

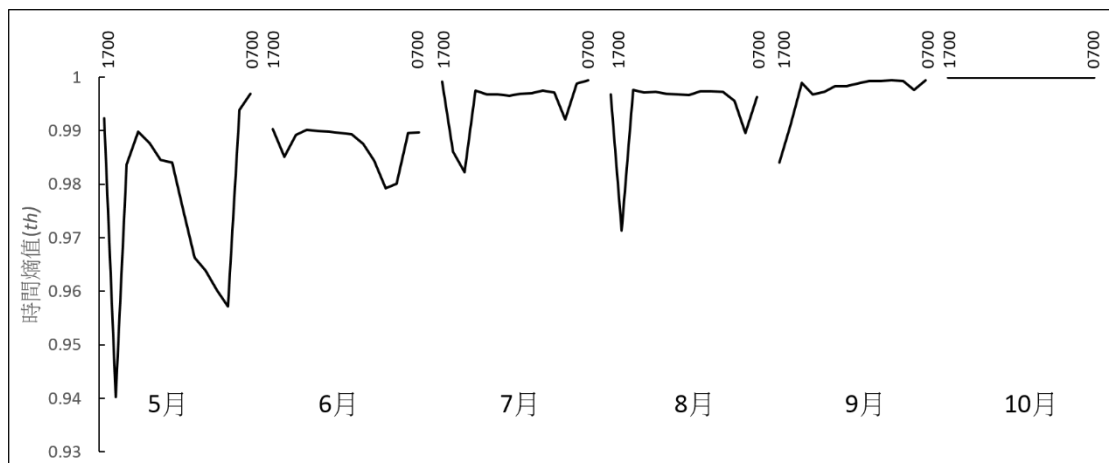
(二)、聲音指數

分析結果顯示寧安橋洞 1 和寧安橋洞 2 錄音的時間熵值(th)都有明顯的月間變異。兩個棲所 5 到 8 月份錄音的時間熵值明顯比 9 月和 10 月份的時間熵值低且整晚的變異較高，其中又以 5 月和 8 月份的時間熵值較低，其次為 7 月和 6 月份的錄音。比較兩個棲所各月份的時間熵值，除 5 月份時，寧安橋洞 2 的時間熵值明顯比寧安橋洞 1 低，其餘月份，兩個棲所時間熵值的數值皆相似(圖十一、十二)。

夜間模式，除寧安橋洞 1 的 9、10 月和寧安橋洞 2 的 10 月之外，兩個棲所其餘月份錄音的時間熵值都呈現雙峰的分布模式。第一個峰值多出現於傍晚 6-7 點，而第二個峰值皆出現於清晨 5-6 點的時間。除 6 月外，5、7、8 月份的第一峰的時間熵值數值都比第二峰的數值低；反之，6 月份每晚錄音的時間熵值第二峰的數值比第一峰低(圖十一、十二)。



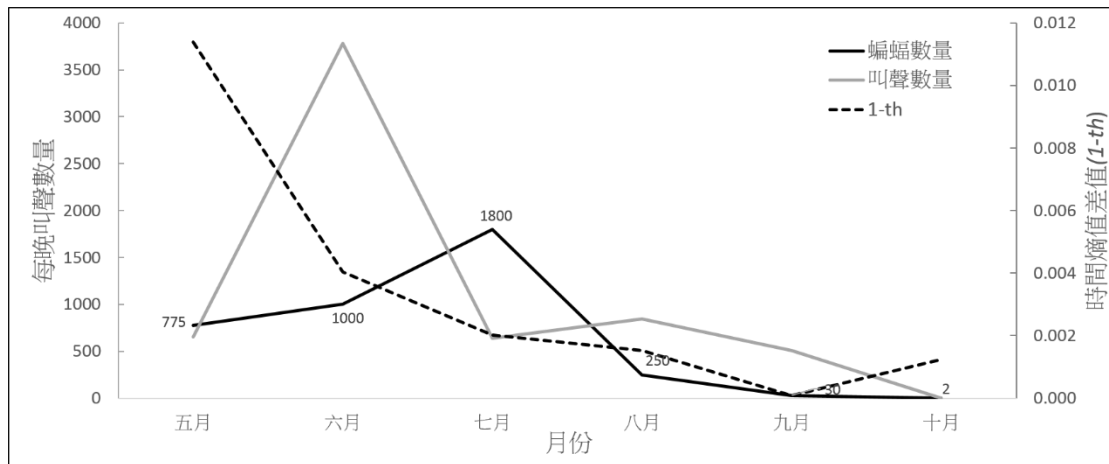
圖十一、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 每小時錄音檔時間熵值(th)的夜變化
(每個月七晚資料)



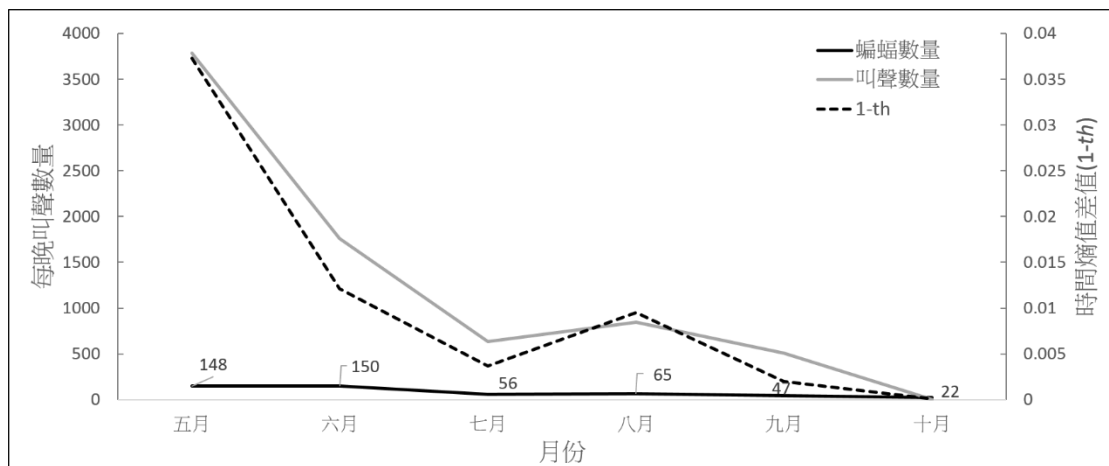
圖十二、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 每小時錄音檔時間熵值(th)的夜變化
(每個月七晚資料)

(三)、蝙蝠數量、叫聲數量與聲音指數的關係

寧安橋洞 1，蝙蝠數量和叫聲數量及時間熵值殘值(1-th)都呈現正相關(圖十三)，但是相關性都不顯著(蝙蝠數量 vs. 叫聲數量, $r = 0.60$, $p = 0.1108$ ；蝙蝠數量 vs. 時間熵值殘值(1-th), $r = 0.71$, $p = 0.208$, Spearman's rank correlation)。寧安橋洞 2，蝙蝠數量和叫聲數量及時間熵值殘值(1-th)都呈現顯著正相關(圖十四)(蝙蝠數量 vs. 叫聲數量, $r = 0.94$, $p = 0.0048$ ；蝙蝠數量 vs. 時間熵值殘值(1-th), $r = 0.94$, $p = 0.0048$, Spearman's rank correlation)。



圖十三、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 1 蝙蝠數量、叫聲數量與聲音指數的關係。數字標示各月份估算的洞內蝙蝠豐度。



圖十四、2017 年 5 月至 10 月寧安橋洞 2 蝙蝠數量、叫聲數量與聲音指數的關係。數字標示各月份估算的洞內蝙蝠豐度。

表二、本研究記錄之蝙蝠物種中文名、學名及特有性

中文名	學 名	特有性
葉鼻蝠科	Hipposideridae	
臺灣葉鼻蝠	<i>Hipposideros armiger teransensis</i>	○
蹄鼻蝠科	Rhinolophidae	
臺灣大蹄鼻蝠	<i>Rhinolophus formosae</i>	◎
臺灣小蹄鼻蝠	<i>Rhinolophus monoceros</i>	◎
蝙蝠科	Vespertilionidae	
管鼻蝠亞科	Murinae	
毛翼管鼻蝠	<i>Harpiocephalus harpia</i>	
金芒管鼻蝠	<i>Harpiola isodon</i>	
黃胸管鼻蝠	<i>Murina bicolor</i>	◎
臺灣管鼻蝠	<i>Murina puta</i>	◎

表二、續

中文名	學 名	特有性
姬管鼻蝠	<i>Murina gracilis</i>	◎
隱姬管鼻蝠	<i>Murina recondita</i>	◎
彩蝠亞科	Kerivoulinae	
玄彩蝠	<i>Kerivoula furva</i>	
鼠耳蝠亞科	Myotinae	
長趾鼠耳蝠	<i>Myotis secundus</i>	◎
寬吻鼠耳蝠	<i>Submyotodon latirostris</i>	◎
蝙蝠亞科	Vespertilioninae	
東方寬耳蝠	<i>Barbastella darjelingensis</i>	
臺灣長耳蝠	<i>Plecotus taivanus</i>	◎
絨山蝠	<i>Nyctalus plancyi</i>	
山家蝠	<i>Pipistrellus montanus</i>	?
摺翅蝠科	Miniopteridae	
東亞摺翅蝠	<i>Miniopterus fuliginosus</i>	
皺鼻蝠科	Molossidae	
東亞游離尾蝠	<i>Tadarida insignis</i>	

◎:臺灣特有種；○：臺灣特有亞種；?: 不確定

表三、本研究四種調查方式記錄之蝙蝠物種

中 名	棲所調查	網具捕捉	錄音監測	民眾通報
臺灣葉鼻蝠	√		√	
臺灣大蹄鼻蝠	√	√	√	
臺灣小蹄鼻蝠	√	√	√	
毛翼管鼻蝠		√		
金芒管鼻蝠		√		
黃胸管鼻蝠	√			
臺灣管鼻蝠		√		√
姬管鼻蝠		√		
隱姬管鼻蝠				√
玄彩蝠		√		
長趾鼠耳蝠		√		√
寬吻鼠耳蝠		√		
東方寬耳蝠		√		
臺灣長耳蝠		√		
絨山蝠			√	
山家蝠				√
家蝠屬物種	√			√

表三、續

中 名	棲所調查	網具捕捉	錄音監測	民眾通報
東亞摺翅蝠	√	√	√	√
東亞游離尾蝠			√	
總物種數	6	12	6	6

表四、本研究 18 個蝙蝠物種各季之海拔帶記錄

中 名	第 1 季	第 2 季	第 3 季	第 4 季
臺灣葉鼻蝠	低	低	低	低中
臺灣大蹄鼻蝠	低	低	低中	低中高
臺灣小蹄鼻蝠	低	低	低中高	低中高
毛翼管鼻蝠		低		
金芒管鼻蝠				高
黃胸管鼻蝠	高			
臺灣管鼻蝠			低	低
姬管鼻蝠			高	
隱姬管鼻蝠			低	
玄彩蝠		低	低	
長趾鼠耳蝠	低		低中	中
寬吻鼠耳蝠			中高	中
東方寬耳蝠			中	
臺灣長耳蝠			中高	中
絨山蝠		低高	中高	中高
山家蝠		低		
東亞摺翅蝠	低	低	低	低中
東亞游離尾蝠	低中高	低中高	低中高	低中高
總物種數	7	9	14	11
高海拔物種數	2	2	6	5
中海拔物種數	1	1	8	9
低海拔物種數	6	8	9	6

表五、各季節各蝙蝠物種網具努力量、捕獲數量及捕捉率

中 名	第 1 季 (18 豎；3 霧)	第 2 季 (18 豎；2 霧)	第 3 季 (28 豎；7 霧)	第 4 季 (15 豎；3 霧)
臺灣大蹄鼻蝠				3
臺灣小蹄鼻蝠		1	15	16
毛翼管鼻蝠		1		
金芒管鼻蝠				1

表五、續

中 名	第 1 季 (18 豎；3 霧)	第 2 季 (18 豎；2 霧)	第 3 季 (28 豎；7 霧)	第 4 季 (15 豎；3 霧)
臺灣管鼻蝠			5	
姬管鼻蝠			3	
玄彩蝠		1	1	
長趾鼠耳蝠			7	2
寬吻鼠耳蝠			8	7
東方寬耳蝠			4	
臺灣長耳蝠			4	1
東亞摺翅蝠				3
總數量	0	3	47	33
豎琴網捕獲率 (隻次/網組)	0.0	0.33	1.36	1.93
霧網捕獲率 (隻次/網組)	0.0	0.0	0.86	1.33

表六、本計劃棲所調查樣點之海拔帶、蝙蝠物種及棲所屬性

棲所名稱	海拔帶	類型	棲息屬性	生殖屬性	物種
合歡主峰	高	建築	日棲所	非生殖	黃
碧綠廢屋	中	建築	日棲所	非生殖	大、排(舊)
新白楊廢屋	中	建築	日棲所	非生殖	大、排(舊)
舊衡山隧道	中	洞	日棲所	?	葉、摺
西寶洞 1	低	洞	日棲所	非生殖	葉、大
西寶洞 2	低	洞	日棲所	生殖	葉
白楊洞 1	低	洞	日棲所	生殖	葉、大、摺
白楊洞 2	低	洞	-	-	-
白楊洞 3	低	洞	夜棲所?	非生殖	排(新)
白楊洞 4	低	洞	-	-	-
白楊洞 5	低	洞	-	-	-
白楊洞 6	低	洞	-	-	-
曲流古道洞 1	低	洞	-	-	-
禪光寺鐘樓	低	建築	夜棲所?	非生殖	排(新)
寧安洞 1	低	洞	日棲所	生殖	葉、小、摺、家
寧安洞 2	低	洞	日棲所	生殖	葉、小、摺
寧安洞 3	低	洞	日棲所	非生殖	葉、小、摺
溪畔隧道	低	洞	夜棲所	非生殖	臺

葉：臺灣葉鼻蝠；黃：黃胸管鼻蝠；大：臺灣大蹄鼻蝠；小：臺灣小蹄鼻蝠；摺：東亞摺翅蝠；臺：臺灣管鼻蝠；山：山家蝠、家：家蝠屬；排：僅記錄排遺；?：無法判斷

表六、續

棲所名稱	海拔帶	類型	棲息屬性	生殖屬性	物種
溪畔洞 1	低	洞	-	-	-
溪畔洞 2	低	洞	?	?	?
遊客中心	低	建築	夜棲所	非生殖	臺、山

葉：臺灣葉鼻蝠；黃：黃胸管鼻蝠；大：臺灣大蹄鼻蝠；小：臺灣小蹄鼻蝠；摺：東亞摺翅蝠；臺：臺灣管鼻蝠；山：山家蝠、家：家蝠屬；排：僅記錄排遺；？：無法判斷

表七、各季節各棲所記錄到臺灣葉鼻蝠之數量

地點	第一季(3 月)	第二季(5 月)	第三季(8 月)	第四季(10 月)
西寶洞 1	1	10	0	0
西寶洞 2	0	6	22	20
白楊洞 1	0	38	42	?
寧安洞 2	0	148	63	20
寧安洞 3	16	180	?	?
舊衡山隧道	?	?	?	65

?: 表無資料

表八、各季節各棲所記錄之臺灣小蹄鼻蝠數量

地點	第一季(3 月)	第二季(5 月)	第三季(8 月)	第四季(10 月)
寧安洞 1	0	1020	250	2
寧安洞 2	?	0	1	0
寧安洞 3	45	42 ^註	?	?

註：寧安洞 3 第二季為 4 月份調查資料；?：無資料

表九、各季節各棲所記錄的東亞摺翅蝠之數量

地點	第一季(3 月)	第二季(5 月)	第三季(8 月)	第四季(10 月)
白楊洞 1	6	0	9	0
寧安洞 2	0	0	0	2
寧安洞 3	44	11 ^註	?	?
舊衡山隧道	?	?	?	28

註：寧安洞 3 為 4 月分資料；?：無資料

表十、本研究與鄭錫奇等(2015)蝙蝠形值資料之比較

物種(隻數)	前臂長(mm)		體重(g)		腳脛長(mm)	
	本研究	鄭等 2015	本研究	鄭等 2015	本研究	鄭等 2015
臺灣大蹄鼻蝠(3)	55.6-61.0	54-64	19.5-21.5	14.3-25	11.1-19.0	15-18
臺灣小蹄鼻蝠(32)	35.7-41.2	36-41	3.8-7.5	4.5-8.5	31.0-32.5	29-35
毛翼管鼻蝠(1)	45.8	46-51	14.0	17-18	16.5-19.2	16-19
金芒管鼻蝠(1)	35.0	31-36	5.0	4.3-8	11.3-15.6	12-15
臺灣管鼻蝠(4)	34.9-37.8	33-39	5.3-6.8	5-9	16.4-17.8	16-20
姬管鼻蝠(3)	27.9-31.3	27-32	4.3-4.5	3.2-5.5	19.8-21.5	17-22
玄彩蝠(2)	33.1-33.4	31-37	5.0-5.8	3.4-6.8	18.1-18.3	16-19
長趾鼠耳蝠(8)	35.2-37.7	33-38	3.5-5.5	3-5.3	20.0	22
寬吻鼠耳蝠(15)	32.9-36.3	33-36	3.0-4.5	2.4-5.3	13.1-15.1	13-15
東方寬耳蝠(4)	40.8-42.8	39-44	7.5-9.5	5.5-9.8	-	12-17
臺灣長耳蝠(5)	36.2-39.4	36-43	5.5-6.5	5.5-8.6	17.1-17.1	15-19
東亞摺翅蝠(3)	44.0-48.1	44-49	11.3-11.8	9.2-14.8	19.7-20.9	19-21

-：無資料

表十一、太魯閣地區 13 種蝙蝠回聲定位叫聲參考音頻之測量值(平均值±標準差)

物種 叫聲數 (隻數)	臺灣 葉鼻蝠 2662 (>1)	臺灣小 蹄鼻蝠 1169 (>1)	臺灣大 蹄鼻蝠 1331 (3)	毛翼 管鼻蝠 49 (1)	金芒 管鼻蝠 57 (1)	臺灣 管鼻蝠 42 (1)	姬 管鼻蝠 110 (2)	玄 彩蝠 186 (2)	寬吻 鼠耳蝠 502 (9)	長趾 鼠耳蝠 343 (4)	東亞 摺翅蝠 2256 (>1)	臺灣 長耳蝠 222 (2)	東方 寬耳蝠 95(3)
叫聲類型	CF	CF	CF	BFM	BFM	BFM	BFM	BFM	NFM	NFM	NFM	MFM	MFM
叫聲時間 (ms)	9.5±3.2	23.9±12. 8	29.4±1 7.7	1.4±0.3 0	1.5±0.4	1.6±0.6	1.8±1.0	1.1±0.2	2.0±1.7	2.6±2.1	3.5±1.2	1.1±0.2	1.6±0.6
平均頻率 (kHz)	70.7±2.4	97.8±3.7 9	56.0±6. 6	69.2±7. 7	99.9±4. 6	92.9±9.6	90.7±14. 7	122.3±9. 8	74.5±11 .2	66.0±7. 3	59.1±5.3	60.7±6. 2	54.9±12. 5
頻率標準差 (kHz)	10.9±3.0	18.5±2.8	34.9±7. 6	22.5±3. 4	16.1±2. 7	19.8±2.2	21.5±7.6	21.8±6.3	26.9±8. 6	26.3±9. 6	12.5±3.1	22.2±3. 6	34.0±16. 1
中位數頻率 (kHz)	68.5±1.6	106.8±4. 1	44.0±1. 3	63.9±1 0.1	98.1±5. 0	92.3±11. 4	87.2±16. 5	121.6±1 2.3	65.9±11 .4	56.0±6. 4	55.5±5.2	59.0±1 0.9	40.2±6.2
眾數頻率 (kHz)	68.4±1.9	107.5±1. 4	43.8±1. 4	58.7±1 3.3	97.4±6. 7	92.3±14. 7	86.1±18. 4	122.2±1 7.4	61.3±11 .9	52.1±5. 2	52.6±5.1	48.0±1 4.0	95.0±4.0
重心頻率 (kHz)	70.7±2.4	97.8±3.8	56.0±6. 6	69.2±7. 7	99.9±4. 6	92.9±9.6	90.7±14. 7	122.3±9. 8	74.5±11 .2	66.0±7. 3	59.1±5.3	60.7±6. 2	54.9±12. 5
主頻平均頻 率 (kHz)	68.0±2.0	107.0±2. 5	43.7±1. 3	78.8±1 1.6	100.3± 5.1	91.8±11. 1	87.5±16. 8	127.6±1 6.5	64.6±1 2.1	56.7±7. 0	58.6±6.6	50.9±9. 6	36.4±2.8
開始頻率 (kHz)	70.3±5.3	105.4±7. 2	44.6±1. 8	95.6±1 5.9	116.3± 9.3	113.2±1 5.5	107.0±1 8.8	149.5±2 2.4	79.8±1 8.3	71.8±1 5.9	79.6±15. 3	43.4±5. 6	39.4±4.1
結束頻率 (kHz)	65.4±5.6	107.7±5. 1	44.2±2. 3	47.5±4. 6	85.4±5. 0	69.1±13. 5	70.5±18. 4	101.8±1 2.6	59.3±1 6.0	50.2±5. 0	48.8±5.6	59.6±9. 9	34.7±6.7
中點頻率 (kHz)	70.3±2.4	109.3±1. 9	45.4±1. 6	64.4±1 0.7	100.6± 5.5	91.9±11. 9	87.2±17. 2	125.2±1 5.9	62.5±1 0.9	55.1±5. 8	55.5±4.9	51.5±1 6.2	34.7±4.7
時間第 1 四 分位頻率 (kHz)	70.5±2.9	109.2±3. 0	45.3±1. 7	90.9±1 4.5	112.5± 7.2	108.6±1 3.7	101.0±1 8.5	147.2±2 0.5	74.0±1 5.7	65.0±1 1.8	65.7±9.9	42.7±4. 2	38.0±4.1
時間第 3 四 分位頻率 (kHz)	70.4±4.4	109.2±2. 00	45.3±1. 6	50.3±4. 1	89.2±3. 4	73.3±9.8	74.1±14. 8	104.3±1 2.2	58.9±1 4.1	51.0±4. 4	51.4±3.5	60.0±9. 6	35.3±7.0

表十一、續

物種	臺灣 葉鼻蝠	臺灣小 蹄鼻蝠	臺灣大 蹄鼻蝠	毛翼 管鼻蝠	金芒 管鼻蝠	臺灣 管鼻蝠	姬 管鼻蝠	玄 彩蝠	寬吻 鼠耳蝠	長趾 鼠耳蝠	東亞 摺翅蝠	臺灣 長耳蝠	東方 寬耳蝠
能量第 1 四分位頻率 (kHz)	67.6±2.1	96.4±10.1	43.7±1.3	54.3±6.2	92.0±3.8	80.8±10.0	79.9±5.2	110.4±12.0	59.3±9.2	51.9±4.6	52.1±4.0	45.7±9.4	34.4±3.2
能量第 3 四分位頻率 (kHz)	69.7±4.8	107.4±2.3	46.3±11.5	78.5±11.9	104.7±5.8	101.7±11.4	94.9±17.	134.2±13.7	79.3±17.5	68.4±16.0	61.0±7.7	70.7±5.0	62.6±21.5
能量四分位距 (kHz)	2.0±5.4	11.0±10.0	2.6±11.6	24.2±8.8	12.7±3.2	20.9±6.0	15.0±6.5	23.7±14.8	20.0±14.9	16.6±16.4	8.9±5.6	24.9±8.7	28.2±21.7
頻率偏態	14.4±3.3	22.4±6.5	46.6±19.2	2.1±0.5	2.8±0.6	2.2±0.6	2.8±1.0	1.8±0.8	4.0±1.6	5.2±2.3	2.7±1.1	3.6±1.1	5.2±1.1
頻率峰值	242.6±86.9	585.3±305.4	2702.1±1644.6	6.9±2.4	9.9±4.0	7.1±3.4	11.0±7.0	5.7±4.7	22.2±17.5	37.3±47.3	10.6±8.2	18.2±19.2	32.8±14.3
頻率熵值	0.6±0.1	0.6±0.1	0.4±0.1	0.8±0.0	0.7±0.1	0.8±0.0	0.7±0.1	0.8±0.1	0.7±0.1	0.7±0.1	0.8±0.1	0.7±0.0	0.7±0.1
頻率平整度	0.2±0.1	0.3±0.1	0.5±0.3	0.3±0.1	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1	0.1±0.0	0.2±0.2

CF：定頻、BFM：寬帶調頻、NFM：窄尾調頻、MFM：多弦短調頻

第四章 討論

第一節 物種組成

本研究為延續去年度針對翼手目所進行的研究計畫。目前已知太魯閣國家公園共記錄過 5 科 16 屬 25 個蝙蝠物種 (本研究, 謝伯娟等 2016)。謝伯娟等 (2016) 於太魯閣地區進行一年調查, 共記錄到 5 科 24 種蝙蝠, 包含 15 個新紀錄種。與謝伯娟等 (2016) 的調查相比, 本年度調查共記錄 5 科 15 屬 18 個蝙蝠物種。雖無新增物種紀錄, 但相較上一年度的物種海拔分布資料, 低海拔地區新增了毛翼管鼻蝠 (*Harpiocephalus harpia*) 和東亞游離尾蝠 (*Tadarida insignis*), 中海拔地區新增了臺灣葉鼻蝠 (*Hipposideros armiger terasensis*) 的棲所紀錄和東亞摺翅蝠 (*Miniopterus fuliginosus*) 的捕捉紀錄。其中毛翼管鼻蝠不僅是太魯閣地區的第二筆紀錄, 也將其在地區中的海拔分布從中海拔帶的碧綠神木 (海拔約 2200 公尺, 謝伯娟等 2016) 向下延伸到低海拔帶的綠水合流 (海拔 462 公尺)。其他物種較少見的東方寬耳蝠 (*Barbastella darjelinensis*) 及臺灣長耳蝠 (*Plecotus taivanus*), 分別捕獲了 4 隻及 5 隻, 較去年度分別為 1 隻及 2 隻多。由於毛翼管鼻蝠、東方寬耳蝠及臺灣長耳蝠在臺灣的數量較為稀少 (鄭錫奇等 2015), 顯示太魯閣國家公園在維持臺灣蝙蝠物種多樣性的重要性。

與謝伯娟等 (2016) 去年的資料相比, 本年度缺少了包括東亞家蝠 (*Pipistrellus abramus*)、臺灣家蝠 (*Pipistrellus taiwanensis*)、赤黑鼠耳蝠 (*Myotis rufo-niger*)、紅棕鼠耳蝠 (*Myotis soror*) 和長尾鼠耳蝠 (*Myotis frater*)、堀川氏棕蝠 (*Eptesicus serotinus horikawai*) 等六個物種的紀錄。上述物種, 除臺灣家蝠曾以捕捉方式被記錄過, 目前僅有以聲音監測之方式記錄過, 並無任何捕捉和棲所的紀錄 (謝伯娟等 2016)。雖然本研究的錄音資料經常發現疑似上述蝙蝠物種的回聲定位叫聲, 但是受限於部分物種的參考音頻資料缺如, 因此無法進行後續物種的鑑定。此外本年度調查的多數調查點與去年相同, 捕捉和錄音樣點集中於森林型棲地, 棲所樣點皆為洞穴型和廢屋型棲所, 缺乏其他類型的棲地和棲所調查資料。過去台灣的研究調查顯示, 部分臺灣蝙蝠物種在非森林棲地的偵測率會比森林高 (李玲玲與黃俊嘉 2007, 張家維 2009)。例如, 李玲玲與黃俊嘉 (2007) 在陽明山國家公園的調查, 發現華南水鼠耳蝠 (*Myotis laniger*, 原為白腹鼠耳蝠 *Myotis* sp.1, 學名更正詳見 Ruedi et al. 2015) 僅在溪谷型棲地捕獲和偵測到聲

音。無論是本研究或是謝伯娟等(2016)的調查均無包含溪谷和水體等非森林的棲地，或許因此而低估了太魯閣園區翼手目物種的多樣性。

第二節 調查方法比較

本研究於園區內調查到有相關棲所利用的物種有臺灣葉鼻蝠、臺灣大蹄鼻蝠(*Rhinolophus formosae*)、臺灣小蹄鼻蝠(*Rhinolophus monoceros*)、東亞摺翅蝠、黃胸管鼻蝠(*Murina bicolor*)、臺灣管鼻蝠(*Murina puta*)、隱姬管鼻蝠(*Murina recondita*)和山家蝠(*Pipistrellus montanus*)等 8 種。和去年調查紀錄相同(謝伯娟等 2016)，黃胸管鼻蝠於 3 月時利用合歡山主峰的廢棄軍事坑道為其冬眠場所，並於 4-10 月之間無使用該棲所的紀錄；包括臺灣葉鼻蝠、臺灣大蹄鼻蝠、臺灣小蹄鼻蝠及東亞摺翅蝠等洞穴型物種，在 3-9 月時記錄到使用廢棄隧道和廢棄人工建物為日間棲所，並有臺灣葉鼻蝠和臺灣小蹄鼻蝠於夏季時使用部分棲所(寧安橋洞 1、洞 2)作為生殖育幼場所。臺灣葉鼻蝠於繁殖季時，在西寶洞 2、白楊洞 1 及寧安洞 2 皆有記錄到母蝠抱小蝠的現象，尤以西寶洞 2 棲所內之母蝠育幼比例為 100%。臺灣小蹄鼻蝠則是在寧安洞 1 於繁殖季時有大量聚集並育幼的現象，於第二季時記錄到母蝠及小蝠總數超過 1000 隻。臺灣葉鼻蝠及臺灣小蹄鼻蝠皆有於第二季時大量聚集於寧安橋洞群繁殖的現象，顯示該棲所為此兩種蝙蝠族群於太魯閣園區的重要繁殖地點。

本年度亦首次記錄到山家蝠使用人工建築物(遊客中心)為棲所及多筆家蝠類蝙蝠(*Pipistrellus* spp., 臺灣家蝠或山家蝠)使用公路隧道和老舊房舍(地質遊客中心二樓扶手)為日棲所。過去有關臺灣山區家蝠物種(臺灣家蝠或山家蝠)的棲所利用並不清楚，除本調查之外，謝伯娟等(2016)亦通報家蝠類蝙蝠於太魯閣地區使用多個公路隧道。另外也曾被觀察到使用樹洞(黃俊嘉 私人觀察)。過去資料多記錄臺灣管鼻蝠能使用植物和木製人工巢箱等資源作為棲所(鄭錫奇等 2015)。與謝伯娟等(2016)調查資料相似，本年度亦多次記錄臺灣管鼻蝠利用多個公路隧道和人工建築物為日、夜棲所，顯示臺灣管鼻蝠棲所生物學的多樣性比過去認知更高。與謝伯娟等(2016)的調查相同，本年度多筆蝙蝠棲所的紀錄(尤其是臺灣管鼻蝠和家蝠類)都是經由管理處同仁和民眾通報而獲得的資料，顯示未來整合公民調查和監測園區內蝙蝠多樣性的可能性。

本年度共錄製了 13 種蝙蝠回聲定位叫聲的參考音頻，初步分析發現 19 個選用的聲音特徵可區分我們樣本中不同物種的叫聲，顯示這些測量變數在辨識太魯閣地區蝙蝠物種回聲定位叫聲變異的潛力。由於目前我們僅收集園區內 25 個已知蝙蝠物種中 13 個種的叫聲，因此未來在增加物種後，勢必會增加辨識叫聲類型相似物種的困難度。此外目前已知太魯閣園區內多個蝙蝠物種，例如東亞家蝠、長尾鼠耳蝠、東亞褶翅蝠(*Miniopterus fuliginosus*) 的回聲定位叫聲在臺灣其他地區內具有高度種內變異(黃俊嘉 未發表資料)，本研究的小樣本理論上應無法涵括這些物種叫聲的全部變異。因此聲音監測未來在監測太魯閣地區豐富蝙蝠物種多樣性的應用性，仍需後續持續收集各物種的參考音頻來確認。

聲音監測測試結果，根據洞穴監測資料，無論是蝙蝠回聲定位叫聲數量估算和時間熵值大致能反應洞穴棲所內蝙蝠族群量月間的主要變化趨勢。雖然寧安橋洞 1 蝙蝠叫聲數量和聲音指數和洞內蝙蝠數量估算的關係並不顯著，此差異主要是來自於蝙蝠數量較多的 5 月、6 月和 7 月份這段期間，洞內蝙蝠數量和叫聲數量及聲音指數變化的不一致性。研究人員在 5 月和 6 月份調查皆觀察到母蝠育幼之行為，因此此差異有可能是洞內的臺灣小蹄鼻蝠群落正於繁殖高峰期，母蝠必須頻繁地出洞補食補充養分和回洞哺乳(陳湘繁 1995)，因此有較多機會通過設置於洞口的蝙蝠偵測器。此外，設置於不同海拔帶樣點的蝙蝠偵測器，亦觀察到蝙蝠叫聲數量和聲音指數在三個海拔的樣點呈現明顯不同的季間變化和夜間變化。雖然無充足的捕捉資料進行統計分析，但目前資料顯示的趨勢和本年度與謝伯娟等(2016)的捕捉調查資料相似。在第一季(3 月份)，蝙蝠捕捉率和錄音資料都顯示太魯閣地區的蝙蝠在三個海拔帶的活動量都很低；第二季和第三季為中、低海拔帶蝙蝠活動較活躍的時段，而第四季開始蝙蝠活動在海拔較高的地區明顯下降。綜合本年度結果可發現，聲音監測不僅能有效地增加物種調查效率，也能長期觀測族群活動量在時空間的變化。此外，與網具捕捉和棲所調查相比，非侵入式的聲音監測技術對蝙蝠的干擾相對較少，且長期監測所需的人力和資源也相對較少。雖然目前聲音監測技術在監測包括管鼻蝠類，玄彩蝠等聲音微弱的物種效率不高(黃俊嘉 私人觀察)，但仍可針對其他物種發展的相關監測方法，以利未來長期監測太魯閣國家公園園區內豐富的蝙蝠多樣性及相關的生態功能。

第五章 結論與建議

第一節 結論

結論一、本年度於太魯閣國家公園共記錄到5科15屬18種翼手目動物，其中8種為臺灣特有種，1種為臺灣特有亞種。本年度雖無記錄新物種，但有多個物種的海拔分布範圍增加，顯示目前的調查努力量能有效地偵測物種，但不足了解各物種的海拔分布。

結論二、寧安橋洞群為園區內臺灣葉鼻蝠和臺灣小蹄鼻蝠夏季生殖育幼的場所，未來可作為長期族群監測樣點。

結論三、本研究成功地區分13種蝙蝠的回聲定位叫聲，加上海拔帶和洞穴棲所樣點的監測，皆顯示聲音技術於未來應用於監測園區內蝙蝠的族群和物種多樣性，甚至評估所提供生態系統服務時空間變動的潛力。

第二節 建議事項

建議一、立即可行建議：設置樣點進行翼手目長期監測。

為了解太魯閣國家公園園區內蝙蝠族群及物種多樣性的長期動態，及其變化與環境因子及干擾的關係，建議可以 105、106 年資料為基礎，選定蝙蝠重要棲所和物種多樣性熱點作為樣點，未來長期持續監測蝙蝠族群及物種多樣性的時空間變異。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議二、立即可行建議：評估翼手目生態功能服務的重要性。

本年度結果顯示包括臺灣葉鼻蝠和臺灣小蹄鼻蝠為園區內數量較大較穩定的物種。過去研究顯示這兩個物種多以鞘翅目、鱗翅目(蛾類)和半翅目的成蟲為主食，未來可針對此兩種蝙蝠的食性和覓食生態進行研究，了解其補食對於園內珍貴植種和重要植被危害昆蟲的防治效應。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議三、立即可行建議：洞穴棲所防護及保育觀念宣導。

本年度計畫資料顯示多數已知蝙蝠生殖棲所皆位於園區內廢棄之隧道，部分地點曾發現有遊客進出並長時間拍攝蝙蝠或棲地被破壞之狀況。建議未來管理處和相關管理單位需進行隧道整建或管理時，可與蝙蝠保育相關單位商討相關措施和配套方案，降低對隧道內蝙蝠群集的干擾。此外亦可介由解說教育宣導蝙蝠生態保育之相關事宜。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：南投縣政府林區管理處、花蓮縣政府林區管理處、花蓮縣政府養護工程處、臺灣電力公司、台灣蝙蝠學會

建議四、中長期建議：建置翼手目回聲定位叫聲資料庫。

本年度計畫顯示聲音技術具有長期監測蝙蝠族群和多樣性的潛能，唯目前尚缺乏太魯閣國家公園多個蝙蝠物種的參考音頻，建議未來可有系統性地收集各物種的參考音頻來發展蝙蝠回聲定位叫聲資料庫，收集之音頻除可作為未來蝙蝠聲音監測物種辨識之基礎，亦可作提供給解說教育人員相關素材，與民眾及遊客分享園區內蝙蝠聲音之多樣性。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

建議五、中長期建議：志工培訓與回報系統之建置。

本年度與 105 年度計畫多筆棲所和部分稀有物種資料皆由管理處同仁和民眾所提供，建議未來管理處可建立網路或智慧手機回報系統，長期收集相關資訊。此外，亦建議管理處規劃志工培訓課程，針對保育志工和巡山志工，進行例如常見物種鑑定、蝙蝠偵測器設定和維護調查的基礎訓練，未來可更廣泛地收集蝙蝠物種分布及長期動態的資料。

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：台灣蝙蝠學會

附錄一、本研究使用的 19 個聲音特徵中英名、單位、類型及定義

特徵中(英)名稱	單位	特徵類型	特徵定義
叫聲時間 (call duration)	毫秒	時間	聲音訊號的長度
平均頻率 (mean frequency)	仟赫茲	頻率	以振幅 (amplitude) 加權之頻率算數平均值
頻率標準差 (standard deviation)	仟赫茲	頻率	以振幅加權之頻率標準差
中位數頻率 (median frequency)	仟赫茲	頻率	以振幅加權之頻率中位數
眾數頻率 (mode frequency)	仟赫茲	頻率	以振幅加權之頻率眾數
重心頻率 (centroid frequency)	仟赫茲	頻率	以振幅加權之頻率重心
主頻平均頻率 (mean dominant frequency)	仟赫茲	頻率	主頻頻率的平均值
開始頻率 (start frequency)	仟赫茲	頻率	聲音時間起點的最強頻率
結束頻率 (end frequency)	仟赫茲	頻率	聲音時間終點的最強頻率
中點頻率 (central frequency)	仟赫茲	頻率	聲音時間中點的最強頻率
時間第 1 四分位頻率 (peak frequency at 25% of duration)	仟赫茲	頻率	聲音時間 1/4 點的最強頻率
時間第 3 四分位頻率 (peak frequency at 75% of duration)	仟赫茲	頻率	聲音時間 3/4 點的最強頻率
能量第 1 四分位頻率 (first quartile frequency)	仟赫茲	頻率	頻率軸能量分布之第 1 四分位結尾處的頻率
能量第 3 四分位頻率 (third quartile frequency)	仟赫茲	頻率	頻率軸能量分布之第 3 四分位結尾處的頻率
能量四分位距 (interquartile frequency range)	仟赫茲	頻率	第 1 四分位頻率和第 3 四分位頻率的差距
頻率偏態 (skewness)	-	頻率	能量在頻率軸分布的不對稱性
頻率峰值 (kurtosis)	-	頻率指數	能量在頻率軸分布的峰值
頻率熵值 (spectral entropy)	-	頻率指數	能量在頻率軸分布
頻率平整度 (spectral flatness)	-	頻率指數	能量在頻率軸分布的平整度

附錄二、2017 年太魯閣國家公園蝙蝠聲音指數初步評估結果

方法：以 seeWave 和 soundecology 兩個套件計算以下 6 個聲音指數：聲音複雜度指數 (Acoustic complex index, ACI)、生物聲音指數 (Bioacoustic index, BI)、聲音多樣性指數 (Acoustic diversity index, ADI)、聲音均勻度指數 (Acoustic evenness index AEI)、頻率熵值 (spectral entropy, sh) 與時間熵值 (temporal entropy, th) (附錄表二甲) 來量化聲音在頻率軸、時間軸(發生頻度)和能量軸 (響度) 的變異。所有的聲音檔案在計算聲音指數前，先以 seewave 套件的 ffilter 功能過濾掉頻率 20 kHz 以下的聲音，計算出的聲音指數值可做為超音波聲景的量測，並後續評估各指數在描述蝙蝠超音波聲景之有效性。

附錄表二甲、本研究使用的聲音指數名稱、主要意義及參考文獻

聲音指數名稱	指數主要意義	參考文獻
聲音複雜度指數 (Acoustic complex index, ACI)	計算聲音中響度和頻率變化的總和，描述聲音響度與頻率動態的改變	Pieretti et al., 2011
生物聲音指數 (Bioacoustic index, BI)	計算各頻率帶聲音的能量之總和，來描述聲音響度及頻寬的共同改變	Boelman et al., 2007
聲音多樣性指數 (Acoustic diversity index, ADI)	計算各頻率帶聲音在時間軸佔有率的 Shannon's 多樣性指數，來描述聲音頻率在時間軸分布的多樣性	Villanueva-Rivera et al., 2011
聲音均勻度指數 (Acoustic evenness index, AEI)	計算各頻率帶聲音在時間軸佔有率的 Gini 指數，來描述聲音頻率在時間軸分布的均勻度	Villanueva-Rivera et al., 2011
頻率熵值 (spectral entropy, sh)	聲音能量在頻率軸分布的離散程度	Sueur et al., 2008
時間熵值 (temporal entropy, th)	聲音能量在時間軸分布的離散程度	Sueur et al., 2008

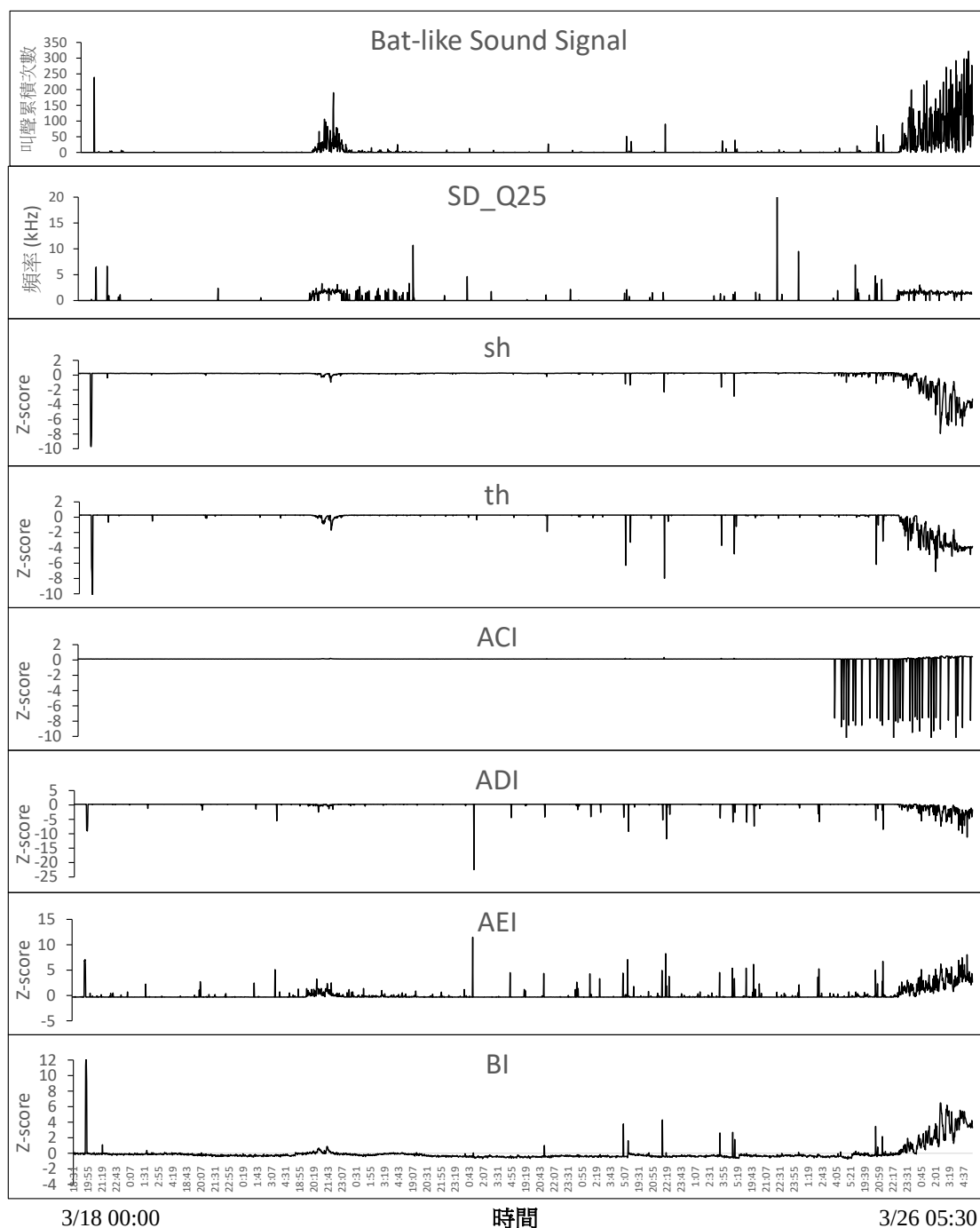
結果：於上半年，以 SM4 Bat-FS 蝙蝠偵測器分別於三個海拔帶樣點(低-綠水合流、中-碧綠神木、高-特有生物高海拔試驗站)每季至少錄製 7 個晚上的超音波錄音。目前已分析低海拔樣點的兩季錄音檔，中、高海拔樣點的錄音，截至報告日期，仍在進行電腦分析運算。以下就低海拔樣點的分析結果進行描述。

第一季(3 月 18 日至 3 月 26 日)共錄製 2674 個錄音檔，於錄音檔中辨識出 23,240 個可能為蝙蝠回聲定位叫聲超音波訊息。以主成分分析(principle component analysis)分析 19 個聲音特徵值在解釋所有樣本的變異，結果顯示前三個主成分軸共解釋了約 82.8% 的變異(第一主成分軸 44.9%、第二主成分軸 27.2%、第三主成分軸 10.7%)。在 19 個聲音特徵中，能量第 1 四分位頻率 (first quantile frequency) 為第一主成分軸貢獻度最大的變數。因此針對各錄音檔

案，計算能量第 1 四分位頻率的標準差來代表聲音多樣性之估算值。分析每晚每兩分鐘的錄音，發現在 3 月 18 日、3 月 20 日和 3 月 26 日的晚上有較多的超音波訊息和較高的頻率變異(圖二甲)。原則上，除聲音複雜度指數(acoustic complexity index, ACI)外的 5 個聲音指數的測量值在這三個晚上也有較明顯的變異(圖二甲)。線性相關分析顯示時間熵值 (temporal entropy, th) 和超音波訊息豐度及能量第 1 四分位頻率標準差的相關性最高。反之，聲音複雜度指數為所有指數中相關性最低的(附錄表二乙)。

附錄表二乙、低海拔帶樣點第一季錄音檔的 6 個聲音指數與超音波聲音豐度、能量第 1 四分位頻率(Q25)的標準差的相關性。粗體字表示與各聲音測量值相關性最高的指數。底線字表示與各聲音測量值相關性最低的指數

	聲音複雜度指數(ACI)	聲音多樣性指數(ADI)	聲音均勻度指數(AEI)	生物聲音指數(BI)	頻率熵值(sh)	時間熵值(th)
聲音豐度	<u>0.00</u>	-0.46	0.62	0.68	-0.67	-0.74
Q25 標準差	<u>-0.05</u>	-0.27	0.42	0.38	-0.33	-0.43



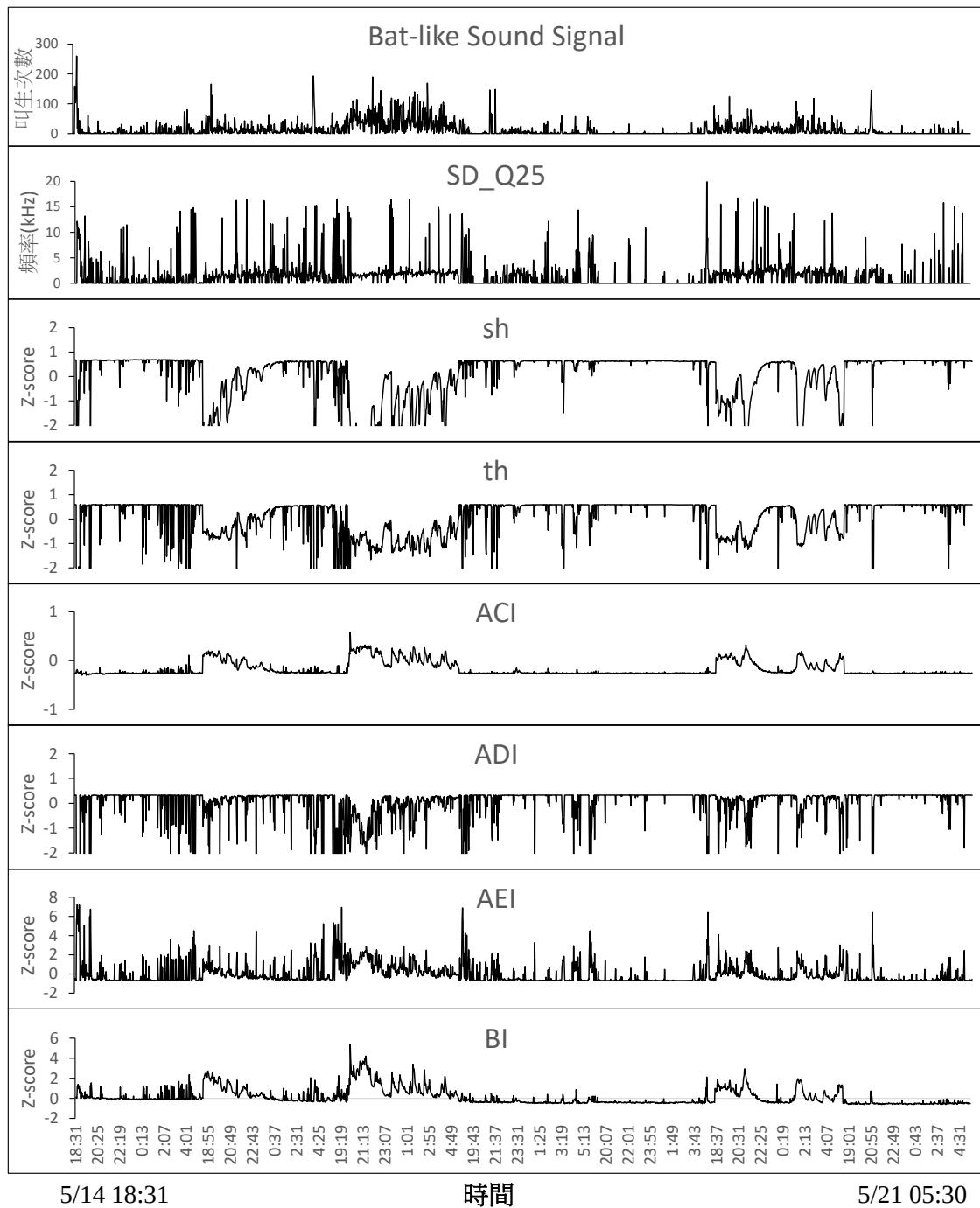
圖二甲、3月18日至3月26日夜間於低海拔樣點記錄之疑似蝙蝠回聲定位叫聲次數、能量第1四分位頻率(Q25)的標準差和6個聲音指數值(*sh*: 頻率熵值、*th*: 頻率熵值、*ACI*: 聲音複雜度指數、*ADI*: 聲音多樣性指數、*AEI*: 聲音均勻指數、*BI*: 生物聲音指數)。各聲音指數之定義及描述見表二甲。

第二季(5月14日至5月21日)錄製2,317個錄音檔，並辨識出29,863個可能為蝙蝠回聲定位叫聲的超音波訊息。以主成分分析分析19個聲音特徵值在解釋所有樣本的變異，顯示前三個主成分軸共解釋了約89.8%的變異(第一主成分軸63.9%、第二主成分軸18.9%、第三主成分軸7.0%)。在19個聲音特徵中

對第一主成分軸貢獻度較大的都是和頻率高低相關的特徵值(包括能量第 1 四分位頻率)。由於各特徵值的貢獻度相似(-0.24~-0.29) 且彼此相關性高 ($R = 0.82 \sim 0.88$)，因此仍以能量第 1 四分位頻率的標準差來代表聲音多樣性之估算值。分析每晚每兩分鐘的錄音，發現在 5 月 15 日、5 月 16 日和 5 月 19 日的晚上有較多的超音波訊息，除聲音多樣性指數(acoustic diversity index, ADI) 外的 5 個聲音指數的測量值在這三個晚上也有較明顯的變異(圖二乙)。此外，除 5 月 17 日晚上的頻率變異較低，其它 6 個晚上都有較明顯的超音波頻率變異，與聲音多樣性和聲音均勻度(acoustic evenness index, AEI)等兩個指數的每晚變化較為相似。線性相關分析顯示時間熵值與聲音均勻度指數分別和超音波訊息豐度及能量第 1 四分位頻率標準差的相關度最高(表二丙)。

表二丙、低海拔帶樣點第二季錄音檔的 6 個聲音指數與超音波聲音豐度、能量第 1 四分位頻率 (Q25)的標準差的相關性。粗體字表示與各聲音測量值相關性最高的指數。底線表示與各聲音測量值相關性最低的指數。

	聲音複雜度指數(ACI)	聲音多樣性指數(ADI)	聲音均勻度指數(AEI)	生物聲音指數(BI)	頻率熵值(sh)	時間熵值(th)
聲音豐度	0.49	<u>-0.35</u>	0.48	0.54	-0.56	-0.66
Q25 標準差	<u>0.16</u>	-0.39	0.45	0.24	-0.18	-0.40



圖二乙、5月14日至5月21日夜間於低海拔樣點記錄之疑似蝙蝠叫聲次數、
能量第1四分位頻率標準差和6個聲音指數值

附錄三、2017 年太魯閣國家公園捕獲蝙蝠種類、翼環編號和形值

地點	日期	種類	性別	年齡	翼環編號	生殖	前臂長 (mm)	體重 (g)	腳脛長 (mm)
綠水	20170521	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		懷孕	37.84	7.5	15.19
綠水	20170521	玄彩蝠	雄	成體	BRCX0249	微腫	33.14	5	17.12
綠水	20170521	毛翼管鼻蝠	雄	成體		微腫	45.75	14	19.95
天祥	20170301	長趾鼠耳蝠	雌	成體		無腫	35.5	3.5	16.47
閣口	20170720	臺灣管鼻蝠	雄	幼體			35.02	5.25	18.17
綠水	20170721	長趾鼠耳蝠	雌	成體	CHCS0115 3		37.69	5.5	19.21
綠水	20170721	長趾鼠耳蝠	雌	成體	BRCX0248		36.45	5	18.25
綠水	20170721	臺灣管鼻蝠	雄	成體			34.92	6.75	18.33
綠水	20170721	臺灣管鼻蝠	雌	幼體			37.75	8	18.15
溪畔	20170721	臺灣管鼻蝠	雌	幼體			36.44	6.5	18.12
閣口	20170722	臺灣小蹄鼻蝠	雄	幼體	BRCX0200		38.91	4.25	17.58
閣口	20170722	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0230		38.05	4.75	16.43
閣口	20170722	長趾鼠耳蝠	雌	成體			36.19	4.75	17.93
閣口	20170722	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		懷孕	37.75		16.48
閣口	20170722	玄彩蝠	雌	成體		懷孕	33.35	5.75	17.09
碧綠	20170807	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0202		39.47	5	16.58
碧綠	20170807	長趾鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0246		35.97	4.25	16.43
碧綠	20170807	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0208		38.29	5	16.38
碧綠	20170807	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0205		32.89	3.75	13.26
碧綠	20170807	長趾鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0204		35.15	4.5	17.96
碧綠	20170807	臺灣長耳蝠	雄	成體			39.42	5.75	17.82
碧綠	20170807	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0206		33.63	3.5	15.56
碧綠	20170807	臺灣長耳蝠	雄	成體			37.90	6.50	16.65
碧綠	20170807	東方寬耳蝠	雌	成體	BRCL0897		42.83	9.50	21.46

附錄三、續

地點	日期	種類	性別	年齡	翼環編號	生殖	前臂長 (mm)	體重 (g)	腳脛長 (mm)
碧綠	20170807	臺灣長耳蝠	雄	成體	BRCX0207		37.96	6.00	16.50
碧綠	20170807	東方寬耳蝠	雌	成體	BRCL0897		42.83	9.50	21.46
碧綠	20170807	寬吻鼠耳蝠	雌	成體	BRCX0247		33.42	4.50	13.54
碧綠	20170807	寬吻鼠耳蝠	雌	幼體			34.68	3.00	13.18
碧綠	20170807	寬吻鼠耳蝠	雌	成體			36.32	4.00	14.90
碧綠	20170807	東方寬耳蝠	雌	成體	BRCL0898		41.22	9.25	20.92
碧綠	20170807	東方寬耳蝠	雄	成體			41.32	8.50	20.20
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體		腫大	37.94	5.00	11.44
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		無腫	39.52	6.00	11.42
畢祿	20170905	寬吻鼠耳蝠	雌	成體			34.44	4.50	13.45
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體		腫大	37.85	5.00	16.45
畢祿	20170905	寬吻鼠耳蝠	雄	成體		微腫	34.36	4.00	14.62
畢祿	20170905	寬吻鼠耳蝠	雄	成體		腫大	34.21	3.90	11.25
畢祿	20170905	姬管鼻蝠	雄	成體		微腫	27.90	4.25	15.12
畢祿	20170905	臺灣長耳蝠	雄	成體		腫大	36.20	6.25	16.38
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體		腫大	35.04	5.25	15.00
畢祿	20170905	姬管鼻蝠	雄	成體		微腫	29.74	4.25	13.30
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體		腫大	38.13	5.00	11.54
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體			37.61	4.50	11.25
畢祿	20170905	金芒管鼻蝠	雄	成體			31.25	4.50	13.10
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體			35.65	4.50	12.61
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		微腫	41.10	6.00	18.96
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		微腫	40.87	6.00	17.92
畢祿	20170905	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體		微腫	39.35	5.50	12.52

附錄三、續

地點	日期	種類	性別	年齡	翼環編號	生殖	前臂長 (mm)	體重 (g)	腳脛長 (mm)
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體		逃逸	37.35	4.50	11.42
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體			36.16	4.70	12.53
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0229		37.46	5.50	12.53
畢祿	20171001	金芒管鼻蝠	雄	成體	BRCX0245		34.99	5.00	9.53
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	CHCS0127 4	無腫	39.33	4.50	11.12
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0217	無腫	39.22	4.50	11.33
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0218		41.15	5.00	18.40
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0213	無腫	38.77	4.00	16.32
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0210	無腫	38.02	4.50	17.68
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0211	無腫	38.95	5.00	16.32
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0212	無腫	39.42	5.00	18.85
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0215	無腫	38.92	5.00	15.02
畢祿	20171001	臺灣大蹄鼻蝠	雄	成體	BRCL0851	腫大	58.60	21.50	31.03
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0214	無腫	37.79	4.50	18.97
畢祿	20171001	臺灣大蹄鼻蝠	雄	成體	BRCL0850	腫大	61.02	20.50	31.03
畢祿	20171001	臺灣小蹄鼻蝠	雄	成體	BRCX0216	無腫	39.34	3.70	13.38
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雌	成體	BRCX0220	無腫	34.41	3.70	13.38
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0221	無腫	33.15	4.00	14.58
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雌	成體	BRCX0219	無腫	34.71	4.00	14.58
碧綠	20171002	東亞摺翅蝠	雄	成體	BRCX0222	無腫	47.56	11.75	19.71
碧綠	20171002	東亞摺翅蝠	雌	成體	BRCX0223	無腫	43.98	11.25	19.71
碧綠	20171002	東亞摺翅蝠	雄	成體	BRCX0226	無腫	48.05	11.50	20.94
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0225	無腫	33.17	3.75	13.22
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0244	腫大	33.25	3.50	13.24

附錄三、續

地點	日期	種類	性別	年齡	翼環編號	生殖	前臂長 (mm)	體重 (g)	腳脛長 (mm)
碧綠	20171002	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0231	無腫	38.04	5.25	16.58
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0227	腫大	34.61	4.00	13.41
碧綠	20171002	寬吻鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0243	腫大	33.25	3.50	13.32
碧綠	20171002	長趾鼠耳蝠	雄	成體		無腫	36.32	5.50	17.72
碧綠	20171002	臺灣大蹄鼻蝠	雌	成體	BRCL0852		55.62	19.50	32.50
碧綠	20171002	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0228	無腫	38.97	5.00	12.60
碧綠	20171002	長趾鼠耳蝠	雄	成體	BRCX0224		37.28	5.50	17.75
碧綠	20171002	臺灣長耳蝠	雄	成體	BRCX0242	無腫	37.63	5.50	17.52
碧綠	20171002	臺灣小蹄鼻蝠	雌	成體	BRCX0232		40.65	5.00	17.70

附錄四、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)之蝙蝠照片



圖 1、2017 年 5 月 21 日（第 2 季）於綠水合流捕獲之毛翼管鼻蝠個體。



圖 2、2017 年 5 月 21 日（第 2 季）於綠水合流捕獲之玄彩蝠個體。



圖 3、2017 年 5 月 21 日（第 2 季）於寧安橋東端第 1 隧道臺灣小蹄鼻蝠生殖育幼。



圖 4、2017 年 6 月（第 2 季）於遊客中心發現之山家蝠幼蝠。



圖 5、2017 年 6 月 13 日（第 2 季）於寧安橋洞一發現之小蹄鼻蝠幼蝠屍體。



圖 6、2017 年 7 月 20 日(第 3 季)於禪光寺鐘樓發現之臺灣葉鼻蝠排遺。



圖 7、2017 年 7 月 13 日（第 3 季）於低海拔燕子口隧道記錄到臺灣管鼻蝠。（楊雅雯提供）



圖 8、2017 年 7 月 1 日（第 3 季）於低海拔流芳橋明隧道記錄到隱姬管鼻蝠。（楊雅雯提供）



圖 9、2017 年 8 月 7 日（第 3 季）於中海拔碧綠神木利用霧網捕獲之東方寬耳蝠。



圖 10、2017 年 8 月 7 日（第 3 季）於中海拔碧綠神木捕獲之臺灣小蹄鼻蝠。



圖 11、2017 年 8 月 7 日（第 3 季）於中海拔碧綠神木捕獲之臺灣長耳蝠。



圖 12、2017 年 12 月 06 日（第 4 季）於舊衡山隧道發現之臺灣大蹄鼻蝠個體。

附錄五、2017 太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃(2/2)調查工作之照片



圖 1、霧網架設，於綠水合流。



圖 2、豎琴網架設，於遊客中心內。



圖 3、豎琴網架設，於高海拔試驗站。



圖 4、偵測器架設，於寧安洞 2。

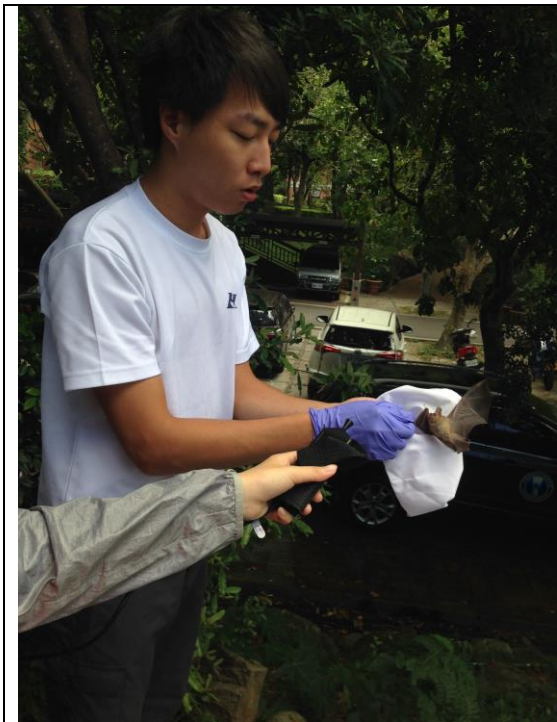


圖 5、參考音頻錄製，於遊客中心。



圖 6、曲流古道探勘。



圖 7、合歡軍事坑道。



圖 8、舊衡山隧道入口。

參考文獻

- 李玲玲與黃俊嘉。2007。陽明山國家公園蝙蝠多樣性之現況研究。國家公園學報，17(1)：1-15。
- 林曜松，蘇霸靄，盧堅富，與莊鈴川。2005。太魯閣國家公園中低海拔地區動物資源動態調查研究及資料庫建立。
- 柯美如。2006。太魯閣國家公園焦點物種選擇之研究—以脊椎動物為例。國立花蓮教育大學。
- 張家維。2009。臺灣中南部山區蝙蝠的分布特性：棲地類型與環境因子的探討。國立嘉義大學 碩士論文。
- 陳湘繁。1995。陽明山地區共域性臺灣葉鼻蝠及臺灣小蹄鼻蝠之活動模式與食性。國立臺灣大學碩士論文。
- 謝伯娟，陳宏彰，周政翰，譚羽君，劉于綾與張沔。2016。太魯閣國家公園蝙蝠族群動態智慧監控規劃 (1/2)。
- 鄭錫奇，周政翰，與方引平。2015。臺灣蝙蝠圖鑑 2 版。行政院農委會特有生物研究保育中心。
- Boelman, N. T., G. P. Asner, P. J. Hart, and R. E. Martin. 2007. Multi-Trophic Invasion Resistance, in Hawaii: Bioacoustics, Field Surveys, And Airborne Remote Sensing. *Ecological Applications* 17:2137-2144.
- Boyles, J. G., P. M. Cryan, G. F. McCracken, and T. H. Kunz. 2011. Economic Importance of bats in agriculture. *Science* 332:41.
- Fenton, M. B., and N. B. Simmons. 2015. *Bats: a world of science and mystery*. University of Chicago Press.
- Jones, G., D. S. Jacobs, T. H. Kunz, M. R. Willig, and P. A. Racey. 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, 8:93-115.
- Jones, G., and E. C. Teeling. 2006. The evolution of echolocation in bats. *Trends in Ecology & Evolution* 21(3):149-156.
- Jones, K. E., J. A. Russ, A.-T. Bashta, Z. Bilhari, C. Catto, I. Csősz, A. Gorbachev, P. Györfi, A. Hughes, I. Ivashkiv, N. Koryagina, A. Kurali, S. Langton, A. Collen, G. Margiean, I. Pandourski, S. Parsons, I. Prokofev, A. Szodoray-Paradi, F. Szodoray-Paradi, E. Tilova, C. L. Walters, A. Weatherill, and O.

- Zavarzin. 2013. Indicator Bats Program: a system for the global acoustic monitoring of bats. Pages 211–243 in N. Pettorelli, J. E. M. Baillie, and S. M. Durant, editors. Biodiversity Monitoring and Conservation. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Klingbeil, B. T., and M. R. Willig. 2009. Guild-specific responses of bats to landscape composition and configuration in fragmented Amazonian rainforest. *Journal of Applied Ecology*, 46:203-213.
- Kuo, H. C., P. Soisook, Y. Y. Ho, G. Csorba, C. N. Wang, and S. J. Rossiter. 2017. A taxonomic revision of the *Kerivoula hardwickii* complex (Chiroptera: Vespertilionidae) with the description of a new species. *Acta Chiropterologica*, 19(1), 19-39.
- Kunz, T. H., E. Braun de Torrez, D. Bauer, T. Lobova, and T. H. Fleming. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223:1-38.
- Maas, B., D. S. Karp, S. Bumrungsri, K. Darras, D. Gonthier, J. C. C. Huang, C. A. Lindell, J. J. Maine, L. Mestre, N. L. Michel, E. B. Morrison, I. Perfecto, S. M. Philpott, Ç. H. Şekercioğlu, R. M. Silva, P. J. Taylor, T. Tschardtke, S. A. Van Bael, C. J. Whelan, and K. Williams-Guillén. 2016. Bird and bat predation services in tropical forests and agroforestry landscapes. *Biological Reviews*, 91:1081-1101.
- Newson, S. E., H. E. Evans, and S. Gillings. 2015. A novel citizen science approach for large-scale standardised monitoring of bat activity and distribution, evaluated in eastern England. *Biological Conservation*, 191:38-49.
- Pieretti, N., A. Farina, and D. Morri. 2011. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11:868-873.
- Ruedi, M., G. Csorba, L.-K. Lin, and C.-H. Chou. 2015. Molecular phylogeny and morphological revision of *Myotis* bats (Chiroptera: Vespertilionidae) from Taiwan and adjacent China. *Zootaxa*, 3920(2):301-342.
- Russo, D., and L. Ancillotto. 2015. Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 80:205-212.
- Sueur, J., A. Farina, A. Gasc, N. Pieretti, and S. Pavoine. 2014. Acoustic indices for

- biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100:772-781.
- Villanueva-Rivera, B. C., L. J., S. L. Dumyahn, A. Farina, B. L. Krause, B. M. Napoletano, S. H. Gage, and N. Pieretti. 2011. Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *Bioscience*, 61:203-216.
- Ibergen, J. A., S. M. Klose, N. Markus, and P. Eby. 2008. Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying foxes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 275:419-425.
- Wickramasinghe, L. P., S. Harris, G. Jones, and N. Vaughan. 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology*, 40:984-993.