

# 淺談東南亞蝙蝠聲音多樣性和聲音監測發展

◎文、圖/Southeast Asian Bat Conservation and Research Unit 委員、馬來西亞國立大學 訪談學者、黃金蝙蝠生態館 科學顧問·黃俊嘉 (ecojoe.huang@gmail.com)

蝙蝠分類上屬於哺乳綱翼手目動物，目前全世界已記錄1,406種現生物種，為齧齒類動物外物種數最多的哺乳動物類群。蝙蝠為唯一具飛行能力的哺乳動物，其回聲定位(echolocation)的能力也讓生物學家相當著迷。除狐蝠科(Pteropodidae)內約180個物種不會使用回聲定位，其餘1,200多種的蝙蝠皆會使用回聲定位來偵測環境，約佔目前已知使用回聲定位物種中的九成。由於蝙蝠的回聲定位叫聲機制、特性與其飛行方式、棲地利用及資源獲取等習性習習相關，因此以蝙蝠為基礎的生物聲學(bioacoustics)研究被廣泛地應用於功能生物學、動物行為學、演化生物學及生態學等多個生物多樣性學門。由於多數蝙蝠的回聲定位叫聲頻率高於人耳察覺的頻率範圍，屬於超音波音頻範圍；且因其體型小、夜間活動習性與快速移動能力，並不容易在野外直接觀察和捕捉，因此聲音技術也經常被應用在蝙蝠物種的分布調查及長期監測上。蝙蝠學發展較早的歐洲、北美、澳洲和紐西蘭，於蝙蝠聲學的發展相當成熟，而聲音調查技術在蝙蝠物種調查的相關技術發展及應用也相當普及；反之熱帶地區的蝙蝠研究發展較晚，早期研究多集中在物種分類與分布描述，鮮少著墨於聲學研究。加上倉儲軟硬體的昂貴價格及分析技術的限制，也限制了熱帶地區蝙蝠聲學的發展。

東南亞，是許多嚮往華萊士(Alfred Russel Wallace, 1823~1913)在印度馬來群島故事和生物地理學研究的朋友，必定對這個區域有

所憧憬。坐落於太平洋和印度洋間，東南亞北接歐亞大陸，西偶印度大陸，南承澳洲大陸(島)，為澳洲、印非及歐亞生物地理區의 交會處。該區域地形變化大，包含大陸地形的中南半島，與地形破碎的巽它(Sunda)、菲律賓(Philippines)、弗羅倫斯(Flores)、蘇拉維西(Sulawesi)及巴布亞(Papua)等島群，並以喜馬拉雅山系與望加錫海峽(Makassar Strait)等多個天然地理屏障與各區域隔離。由於地理位置特殊、地形複雜，加上氣候多變，此區域孕育了相當高的蝙蝠多樣性，目前已記錄了近400種的蝙蝠物種，約佔此地區哺乳動物物種的四成。近30年來，東南亞地區的學者與諸多歐美澳學者合作下，除穩定地累積物種多樣性和生態資料外，部分國家也開始發展各自的聲學研究。筆者自2008年開始投入東南亞蝙蝠生態研究及保育工作，並於東南亞蝙蝠保育與研究部(Southeast Asian Bat Conservation and Research Unit, 簡稱SEABCRU, <http://www.seabcru.org/>)服務九年，目前為團隊中聲音監測技術發展的負責人。本文簡介東南亞地區蝙蝠聲音多樣性及蝙蝠聲學研究現況，並討論目前以聲音技術收集蝙蝠物種資訊的挑戰與可能解決方案。

## 回聲定位叫聲多樣性

東南亞11科約400種蝙蝠中，至少有275種的蝙蝠能發出回聲定位叫聲，約佔本區物種的七成。除狐蝠科的*Rousettus*屬蝙蝠(圖1)使用舌頭彈動(tongue click)發聲，其餘成



圖1 臺灣也曾記錄過的棕果蝠是狐蝠科中少數會使用回聲定位叫聲的物種。



圖2 臺灣特有的臺灣小蹄鼻蝠為典型的定頻回聲定位叫聲蝙蝠物種。

員，包括蹄鼻蝠科(Rhinolophidae)、葉鼻蝠科(Hipposideridae)、偽吸血蝙蝠科(Megadermatidae)、豬鼻蝠科(Craseonycteridae)、裂面蝠科(Nycteridae)、鼠尾蝠科(Rhinopomotidae)、摺翅蝠科(Miniopteridae)、蝙蝠科(Vespertilionidae)、鞘尾蝠科(Emballonuridae)和游離尾蝠科(Molossidae)等十科蝙蝠皆使用聲帶振動後，再由口部或鼻部發出聲波。傳統上，蝙蝠的回聲定位叫聲可以其單位時間之頻率改變率，區分為定頻(constant frequency)和變頻(frequency modulated)兩個類型。定頻叫聲以一個時間長、能量較強及頻率變動極少的單元為其主體，並搭配1~2個較短的變頻叫聲。目前僅蹄鼻蝠科、葉鼻蝠科和拉丁美洲的髭蝠科(Mormoopidae)內的*Pterotonus*屬等約180個物種發現會使用定頻叫聲，臺灣大家所熟知的臺灣小蹄鼻蝠(圖2)就是典型的定頻叫聲物種。反之變頻叫聲僅由頻率變動明顯的聲音單元組成，並不包含定頻單元。使用這兩類叫聲的蝙蝠，除叫聲差異大，聲音的蝙蝠類群辨識難度相對較低，於回聲定位機制及

相關行為生態有許多差異；因此定頻-變頻分類系統在溫帶地區及亞熱帶地區的臺灣被廣泛應用在蝙蝠物種辨識。東南亞蝙蝠物種數與叫聲多樣性遠高於蝙蝠聲學起源較早的歐、美、澳洲，過去經驗指出定頻-變頻分類系統無法有效地區分本區域蝙蝠叫聲。歐洲學者Emma Teeling和Gareth Jones檢視蝙蝠回聲定位叫聲演化，於2006年提出了新的叫聲分類系統，根據發生機制、頻率變化率、叫聲長度、叫聲和弦數和主和弦位置等多個特徵，將全世界蝙蝠的叫聲作區分七個叫聲類型。根據新的分類系統，可將東南亞蝙蝠物種區分為雙彈舌音、定頻、寬變頻、多弦短變頻、轉變頻及多弦長變頻等六個類型。近期於泰國、寮國、印尼和柬埔寨的研究案例顯示，新的分類系統可更有效地鑑別蝙蝠叫聲的科與亞科的分類階級，也可減少更低分類階層鑑別的困難度，也提供本區域蝙蝠聲音物種辨識的一個新方向。



圖3 2018年由中央研究院亞洲聲景團隊主辦和歐盟贊助，於越南Cat Tien National Park舉辦的超音波聲景工作坊。

## 聲音監測發展的現況與挑戰

參考音頻資料庫(reference call library)的建置可說是蝙蝠物種聲音調查與監測最基礎但也是相當有挑戰的一個環節，因無論是以人眼在聲紋圖(sonogram)上以肉眼辨識、或經由軟體量測及統計模式進行判別分析，都必需與具物種標記的參考音頻進行比對，才能獲取錄音檔內生物資訊。目前東南亞地區回聲定位蝙蝠中，約有六成物種的叫聲尚未被描述過，其中以蝙蝠亞科和鼠耳蝠亞科物種的叫聲較為缺乏。這類蝙蝠多在開闊型棲地和水體上飛行覓食，由於體型小、外部特徵不明顯，且棲所位置鮮為人知，因此在野外的捕捉和辨識相當有難度。加上本區域諸多物種分類地位仍不明確，調查人員經常犧牲動物作為存證標本，以利後續分類研究。雖文獻中仍有相當的蝙蝠亞科和鼠耳蝠亞科物種的聲音已被描述，但因應標本收藏需求，許多樣本都是在小型飛行帳內錄製，這樣的設置不僅會限制開放性蝙蝠的飛行，迫使蝙蝠發出不典型的叫聲；且飛行帳帳壁在錄製

過程中，也可能產生大量的回音，造成錄音品質不佳，降低了參考音頻的利用性。

其他有參考音頻描述的東南亞蝙蝠物種中，包含了棲息在森林底層蝙蝠和洞穴物種。其中森林底層蝙蝠則以蝙蝠科內的管鼻蝠亞科(Murininae)和絨蝠亞科(Kerivoulinae，國內譯為彩蝠亞科)為主，另外也包含了裂面蝠科和部分蹄鼻蝠和葉鼻蝠科的物種。由於多數森林底層蝙蝠的回聲定位叫聲頻率偏高，聲波能量微弱，在野外不易錄製聲音，加上種間叫聲重疊大，並不適合做為聲音監測對象。洞穴蝙蝠中以蹄鼻蝠科和葉鼻蝠科為大宗，另外包含了鞘尾蝠科、偽吸血蝙蝠科、游離尾蝠科、摺翅蝠科和少數蝙蝠亞科和鼠耳蝠物種；多數洞穴蝙蝠回聲定位叫聲強，種間叫聲差異大，個體叫聲變異較小，因此被認為適合作為監測對象。雖然東南亞這些物種的參考音頻收集雖然相對完整，但近期研究顯示多個常見物種的回聲定位叫聲有明顯的地理變異、叫聲行為的彈性調整及性別年齡造成的個體變異；加上多個類群分類地位的頻繁更動和隱藏種的描述，使現有的參考音頻於鑑測上的應用仍有許多考量。諸如此類的種內聲音變異和分類地位調整，其實可藉由檢視參考音頻對象物種相關的存證標本和分子序列、採集點資訊、錄音設定及動物行為等資料來進行進一步的篩選和分析。然惟受限於過去研究設備和聲學知識的不足，及缺乏適當後設資料管理(metadata management)，許多早期收集的參考音頻並不具有足夠的後設資料，也更進一步地限制了東南亞地區聲音技術於蝙蝠多樣性研究的應用。事實上，截至本文為止，整個東南亞區

域也僅有3個以聲音調查蝙蝠多樣性的英文發表，許多研究案例，在野外在收集大量的聲音資料後，因缺乏對比的聲音資料庫和自動分析技術，後續無法完成，實屬可惜。

## 未來方向

近年來，包括泰國、馬來西亞、新加坡、越南和柬埔寨皆陸續開始發展各自的蝙蝠參考音頻資料庫。由於許多物種捕捉和鑑定困難、多數資料庫的建置規模和速度仍不足以支援區域性全蝙蝠物種的聲音監測所需。為解決上述所提問題，筆者於近幾年在包括美國National Science Foundation、馬來西亞國立大學(Universiti Kebangsaan Malaysia)、中央研究院亞洲聲景計畫(<http://soundscape.twgrid.org/>)及熱帶生物學與保育協會(Association of Tropical Biology and Conservation)的支持下，陸續在多個東南亞國家辦理蝙蝠聲學工作坊，訓練年輕學者和管理單位(圖3)。而筆者所服務的SEABCRU，今年在全球生物多樣性資訊平臺(Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org/>)的支持下，與匈牙利自然史博物館(Hungarian Natural History Museum)合作，開始建立東南亞第一個蝙蝠參考音頻的開放性資料庫(<https://www.gbif.org/resource/search?contentType=project>)。該計畫預計將與東南亞八個國家、臺灣及歐美共19個機構合作，進行跨國、跨機構的資料庫整合，預計將能加速本區蝙蝠聲學研究未來的發展。除整合性聲音資料庫的建置外，本區學者也可嘗試發展單一物種聲音辨識器，針對指標物種(indicator species)和關鍵物種(keystone

species)進行研究。此外，中央研究院的亞洲聲景團隊目前也與越南和馬來西亞的學者合作，以聲景生態學(Soundscape ecology)常用的聲音指標量測超音波音頻的時空間變化，評估異常氣候對雨林蝙蝠的影響(圖4)，在不需要辨識物種的前提下，提供了另一個聲音長期監測蝙蝠多樣性的方法。

雖然目前尚有許多困難與挑戰，但聲音技術於東南亞地區的蝙蝠多樣性研究領域，仍具有相當的潛能，也有其發展的必要性。相信在國際組織和學者的合作下，經由跨國際化的合作和資源整合，東南亞地區的蝙蝠聲學將會在短期內蓬勃發展，而蝙蝠聲學的發展不但能幫助本區域研究者能更有效地於野外觀察和紀錄蝙蝠，亦可提供基礎資料，讓全球學者更進一步發展生態學、行為學、演化生物學及仿生生物學的研究。⊗



圖4 中央研究院亞洲聲景計畫於越南Cat Tien National Park所設置的數位錄音器。