

聽見生物多樣性—聲景研究的潛力與想像

◎中央研究院生物多樣性研究中心生態聲學與空間生態研究室·李佳紘
(cylee918@gate.sinica.edu.tw)、張博翔、陳冠仔、端木茂甯

生物多樣性的喪失是人類當前面臨的重大挑戰之一，其中森林生態系也在影響的範疇之中，影響層面可能包含不同物種、不同類群、生物活動的週期又或是生物與環境條件改變時的變動關係，我們該如何有效觀察森林中許許多多的物種的變化情形，以及面對因環境改變驅使的生物活動變化，我們是否有嶄新的研究方法，提供可以快速反應生物活動變化的資訊，並同時作為生物多樣性長期變動之評估資料，試圖在變化莫測的環境下找出減緩生物多樣性衝擊之因應對策。

當我們在森林裡閉上眼靜靜聆聽環境中的各種聲音時，總能體會到有別於視覺感覺所帶來的感受。聽覺是我們感官中所能感知最遠的一項，因為聲音的傳遞不像光線或視覺容易受到遮蓋，而是以向四面八方發射的球面波的方式，進入我們的耳朵讓我們聽見，且因為我們有一對耳朵可以根據些微的時間差，來判斷聲音來源的方向，因此我們即使在森林中看不見樹冠層上或樹叢中的鳥，透過他們的鳴唱我們依舊能判斷可能的位置或甚至知道種類，像這樣透過聽鳥聲來觀察鳥類的方式，對鳥類生態學家或賞鳥同好來說是經驗與知識積累而成的專業技能。如果我們將這樣的概念擴展到蛙類、昆蟲的調查，或甚至是用來覺察環境與天氣的變化，並試著將聆聽鳥音的人換成是一臺長期固定運作的錄音機，接著搭配能夠評估聲源組成變化的分析工具，就能夠同時針對不同類群的生物，進行族群豐度與多樣性的觀察，將生物調查的研究範疇

從族群層級發展至群落層級。

聲景與聲景生態學

若我們將環境中的所有聲音集合起來，不論聲音的內容與來源是什麼，即稱之為「聲景Soundscape」，它是結合聲音sound與地景landscape兩者組合成的名詞，最早聲景一詞起源於1960年代晚期，而後透過加拿大作曲家穆瑞·謝佛(R. Murray Schafer)推動的世界聲景計畫而發揚光大。聲景組成大至可分為三類：生物音(biophony)、環境音(geophony)與人為活動所產生的聲音(anthropophony)三種，它們可以反映環境中生物活動或人類行為的指標，因此在往後的聲景生態學(泛指利用聲音來探討生物、人類與環境間關係的學科)研究當中，大多會著重在這三種聲音的消長與交互作用上，並逐漸發展出評估三者變化的指標數值，幫助我們快速評估環境中的改變。

以聲景生態學來回答生物多樣性

在聲景生態學中，科學家將同一時間及地點發出聲音的所有生物稱之為「聲音群集」，並透過計算聲音指數的方式，快速量化一個聲音群集所能說明的生物意義，意義可以是頻率、響度或時間上的組成變化等。為因應不同的研究目的與針對不同的聲源種類，聲景生態學家逐漸發展出各式各樣的聲音指數，目前有許多探討聲音指數與生物多樣性的相關研究，舉例來說在日本沖繩島的

OKEON觀測計畫中，科學家發現聲音指數NDSI可以良好地反映鳥類晨間鳴唱和兩棲類夜晚的合唱，可用來反映不同都市化程度環境下的生物活動變化。

聽不見的聲景世界—黑暗中的夜行者

超音波的界定是以人耳是否可以聽見為標準，但在自然界的生物中並不因此主觀的條件限制其使用聲音的頻率，然而多數的陸域聲景研究仍關注在人耳聽域範圍之中，因此我們嚐試探索超音波聲景研究的可能性，並以萃取生物多樣性資訊為起始。在陸地上仰賴超音波的物種即是蝙蝠，蝙蝠是翼手目動物的泛稱，他們廣佈全世界且種類繁多約為1,400種，提供生態系重要的功能，對於環境變化相當敏銳，因此蝙蝠可作為評估環境的指標物種之一。不同種類的蝙蝠回聲定位特徵也不盡相同，可分為變頻(FM)、定頻(CF)或混合使用三類(圖1)，變頻指回聲定位頻率變化大且叫聲長度短；定頻則頻率變化較窄叫聲時間較長。研究顯示蝙蝠的回聲定位特徵會受到體型、氣候、棲地及獵物影響，就氣候對蝙蝠回聲定位特徵的影響而言，由於聲音傳遞距離會因溫度升高而衰退，因此會降低某特定類型的蝙蝠回聲定位的使用效率，由此我們推測氣候暖化也極有可能對蝙蝠回聲定位傳遞造成影響。此外，我們嘗試利用橫跨臺灣各地十個森林樣區的超音波資料，進行蝙蝠回聲地位聲音型質分析，推測臺灣蝙蝠群落的組成可能與該地溫度變異有關連，此研究仍在進行當中，但從初步結果我們推測棲地的日溫差與月溫差可能影響蝙蝠是否在該地活動以及物種間的競爭關係，兩者的

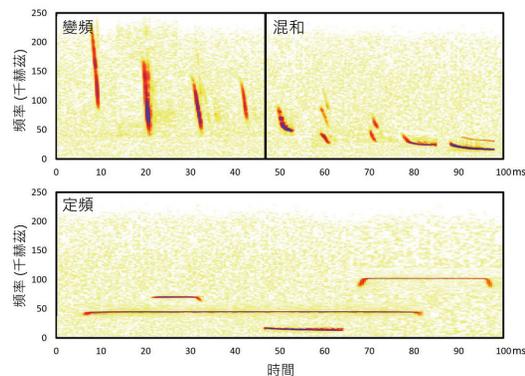


圖1 不同類型的蝙蝠回聲定位。以臺灣部分蝙蝠回聲定位為例，上圖為變頻和混合使用的回聲定位類型。下圖則是定頻的回聲定位類型。圖中橫軸為時間(以千分之一秒為單位)、縱軸為頻率(以千赫茲為單位)、顏色越深表示能量越強(越大聲)。(圖片來源 生態聲學與空間生態研究室)

變化將與該地點的生物多樣性和物種豐度息息相關，提醒我們環境的改變的確會對於生物產生影響，而蝙蝠就是一個最好的例子。

聲景研究的潛力

近年來隨著科技的進步與發展，讓聲景研究中需仰賴的錄音設備與儲存空間取得變得容易，也迅速地擴展了聲景生態學的發展與應用。研究主題擴及生物物種調查、生物行為、生物活動的時間或空間變化，更可作為環境擾動前後有效監測工具，彌補傳統生物調查方式上面臨時間與空間取樣上耗時耗力的不足，以2015年一場森林大火所造成的濃煙為例，科學家使用聲景指數來比較森林大火造成的煙霧汙染對附近森林生物多樣性的影響，藉由比較汙染產生前後聲景指數的差異，發現汙染期間評估生物活動與生物多樣性的聲景指標皆降至最低，且經過四個月後指數才逐漸回復至汙染發生前的狀態，若

缺少聲景監測提供的長時間資料，可能需耗費相當多的人力物力來追蹤長達四個月的後續影響，也因聲景研究具備了時間與空間調查上的優勢和多元的應用潛力，使之成為相當具發展性的新興研究領域。

當聲景遇上AI人工智慧

超音波聲景提供了蝙蝠類群的生物資訊，但也帶來許多資料分析上的挑戰，首先是巨大的資料容量，超音波錄音資料量較一般錄音高出九倍之多，不論是在資料儲存或讀取上都較耗時，且在大多數的森林聲景中蝙蝠出現時間不固定甚至屬於稀少事件，若要從許多錄音中篩選出有蝙蝠活動的資料如同大海撈針，因此我們嘗試與中研院資創中心曹昱副研究員團隊、林子皓博士後研究員合作，運用機器學習(週期性編碼非負矩陣分解法)技術分離蝙蝠聲音(圖2)，快速取得具有蝙蝠活動的錄音資訊，接著再經過多變量分析與分群步驟，將蝙蝠活動多寡與組成特徵進行分類，即可以得知蝙蝠活動豐度與組成的變化。

聲景研究中的“取”與“捨”

雖說錄音軟硬體的提升為大尺度時空研究帶來更多可能性，也推動聲音分析方法的演變與革新，但在有關蒐集聲景的實驗設計中，各界的聲景生態學者們一直缺少錄音取樣方法上的共識及策略，若過於密集地蒐集錄音資料，將增加長期監測所需的儲存空間負擔，若取樣頻率過低則又面臨無法有效說明該地聲音群集變動趨勢的情形，因此由端木茂甯研究員所帶領的生態聲學與空間生態研究室，希望透過系統性的實驗設計與分析

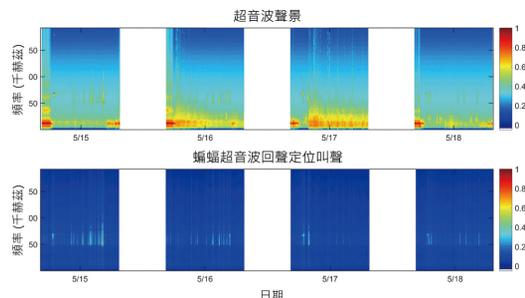


圖2 蝙蝠聲音分離前後對照圖。上圖為包含所有環境聲音內容的超音波頻譜圖，下方為經過機器學習方法分離出的蝙蝠回聲定位叫聲，此方法將許多非研究標的環境聲音和其他生物叫聲剔除，提供較為純粹的蝙蝠叫聲訊號以利後續分析。圖中橫軸表示時間、縱軸為頻率(以千赫茲為單位)、顏色越紅表示能量越強(越大聲)。(圖片來源 生態聲學與空間生態研究室)

方法找出在不同棲地類型，同時具有成本效益的通用性錄音模式，蒐集原始森林、人工林與溼地三種棲地一年的聲景錄音資料，針對錄音長度、錄音頻度與錄音覆蓋率差異進行分析，嘗試找出適合長期聲景監測的錄音取樣方法，以供未來較大時空尺度下生物多樣性評估之重要參考資訊。

以聲景串聯亞洲生物多樣性

亞洲聲景平臺(<http://soundscape.twgrid.org> 圖3)是由行政院農業委員會林業試驗所與中央研究院網格計算專題中心共同建構，作為臺灣與東南亞各國進行跨國際生物多樣性監測合作之重要網絡，目的為提供長期的開放聲景錄音資料，註冊帳號後即可瀏覽、聆聽與下載錄音檔案，迄今已收藏49個地點的聲景長期錄音，累積超過48萬筆的聲音檔案，且錄音點位與錄音資料持續增加中。此平臺不僅是為了提供開放資料的展示與分享，長期目標是透過建立聲景錄音，將亞洲各地的生

Welcome to Asian Soundscape

The Open Archive for Joint Monitoring of Asian Soundscape

This archive has 486,216 soundfiles from 49 sites in 39 collections.

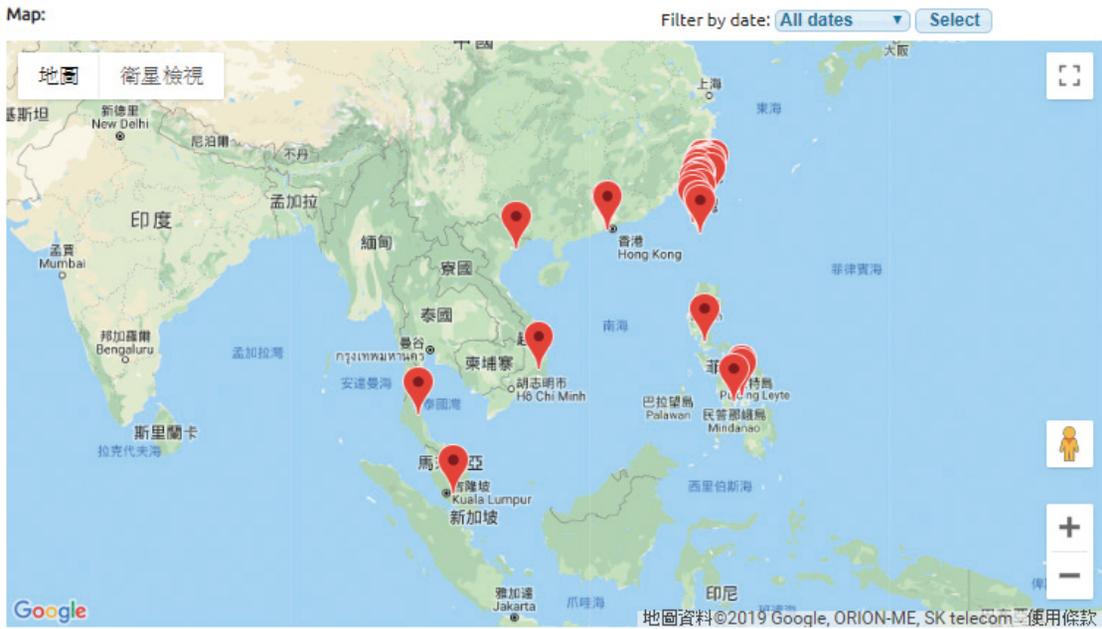


圖3 亞洲聲景平臺網頁。圖上標記為已有聲景監測資料之錄音點位，包含臺灣、香港、越南、馬來西亞及菲律賓等。(圖片擷取自 <http://soundscape.twgrid.org>)

物多樣性監測工作串聯起來，未來將陸續提供聲景資料分析工具，以協助各國合作夥伴及研究人員提取錄音資料中的生物資訊，在共同面臨極端天氣的威脅下，亞洲地區可以有一套系統性的監測網絡，維護並預警陸域與海洋生態系中生物多樣性。

現今全人類面臨地球氣候變遷與生物多樣性銳減的重大挑戰，我們透過聲景關注其改變並設想因應對策，更希望藉此喚起大眾對環境與生物多樣性的關注與重視。♻️