# 聽見了嗎? 聲音做為生態與環境監測指標的可行性

⊙林業推廣組/生態資訊研究小組・陸聲山　⊙森林保護組/生態資訊研究小組・林朝欽

## 前言

每當進入夏季，唧唧叫個不停的蟬聲是許多人的一般印象，也早已視之為理所當然而習以為常了。但當有一天，走在植物園旁的夏季卻不再聽到蟬鳴，你的第一個反應會是什麼呢？

夏天也可說是蟬最活躍的季節，而秋天則是螽蟴(紡織娘，圖1)頻繁活動的季節。甲骨文裏的「夏」「秋」兩字，便是源自蟬與螽蟴這兩大鳴蟲類而來的，讓我們不得不讚嘆先民的智慧，當時便有如此敏銳的觀察，竟然從季節聲音的不同與轉換而巧妙的塑造了「夏」「秋」這兩個字(圖2)。

許多自然書寫者常用的一句話「大自然的交響樂章」，用來形容人徜徉於大自然中聆聽各種聲音的愉悅心情；或用各式各樣的形容詞來描述自然界所產生的各種聲音，例如淙淙流水聲、呼嘯而過的風聲、令人心生恐懼的獸啼、清脆悅耳的鳥叫、蟲鳴等等不一而足，其實其中便隱藏了聲音多樣性的涵義。

圖1 螽蟴，即俗稱的紡織娘
(陸聲山 攝)

但上面這些敘述非常不精確，離所謂的實證科學有很大的落差，所以我們往往便忽略了這些聲音所能呈現的研究意義。因此，發展與測試生態與環境監測的聲學指標(acoustic indices)，以了解生態上的變化、人為活動的干擾或偶發性事件的記錄，直到最近其發展才漸趨成熟也逐漸為人所認可。本文將介紹從傳統的動物聲學(animal bioacoustics)研究，透過將傳統調查法、動物行為學的研究，與現代科技結合而擴展聲學生態學(acoustical ecology)的研究，而發展出生態與環境監測的聲學指標。

## 聽的比看的容易？

視覺與聽覺是我們基本的感官之一，也是我們獲取外界訊息最主要的管道，但當過度依賴「看得見」的資訊後，卻往往容易忽略了「聽得到」的聲音，也造成了我們因為「聽不見」，而忽視了聲音尚可提供許多有用的資訊。其實，許多動物利用聲音做為溝通的主要方式，也可依靠聲音與(振)動作來偵測獵物或獵食者的存在與否，或者伴隨進行

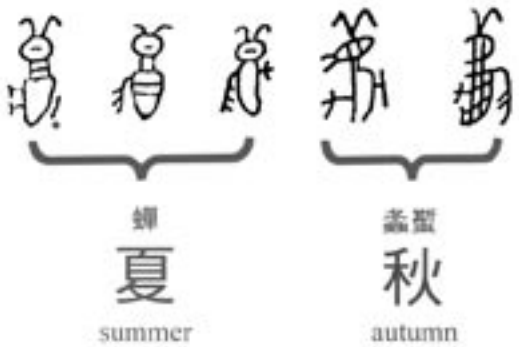


圖2 甲骨文裏的「夏」「秋」兩字演變自鳴蟲而來
(陸聲山 製)

不同活動時所產生的聲音，如求偶、覓食、打鬥、警戒等，也因此聽到聲音遠比實際見到這些動物來得容易多了。

所以在傳統的野生動物調查上，實際的目視調查可說是非常困難的，往往驚鴻一瞥便是研究人員最大的回報了。利用動物活動時產生的聲音來辨識物種、評估物種的分佈與豐量，例如對繁殖鳥類或兩棲類的調查，一直是一項重要的調查方法，尤其是一些新種的發現或稀有種的再度發現為人所津津樂道。這種長期利用聲音來辨識、發現物種的調查法，卻也讓人忽略了聲學在整體生態與環境上的監測所能提供的資訊，這不是單獨隔離出的鳥鳴、蛙叫聲所能提供與呈現的。

動物聲學也一直是動物行為學裏探討的一項重要課題，其研究自1970代以來，隨著資訊科技的發展而有了許多的進展。但大都侷限於生物自身的發聲構造、發聲行為做為物種間溝通的探討、或探討人為或環境產生的噪音對動物的影響。例如研究鯨豚為適應水中生活而展出的獨特發聲方式，了解鯨豚間可能的溝通方式，或可避免鯨豚大量擱淺的悲劇一再發生。而蟋蟀獨特的聲音行為也一直為人注意(圖3)，台灣2005年國際科學展覽會，建中同學吳哲榕便以「蟋蟀的聲音分析與聲音行為探討」獲得動物學科的大會獎第一名。同年再赴美亞利桑那州鳳凰城參加「英特爾國際科學展」總決賽，又獲得美國聲學學會(Acoustical Society of America)優選獎。

此外，聲音應用於有害生物的防治上證明也是可行的，例如把椋鳥發出遇險的聲音

圖3 台北動物園昆蟲館展示兩種鳴蟲的發音構造
(陸聲山 攝)

信號錄下來，再播放給其他棲息於樹上的同伴聽，可達到驅離椋鳥的目的。或利用聲音來誘捕生活於地下的害蟲螻蛄，螻蛄經過長期地底的適應生活，已發展出以聲學通訊為主的溝通方式，因此了解了螻蛄的鳴聲信號而發展出的聲音誘捕器，能有效且誘集到大量的螻蛄，而達到了控制與管理害蟲族群。

## 大自然交響樂中的規律

從早期利用錄音機到現在利用錄音筆在野外調查，大大的提升了研究人員蒐集聲音的能力。但所蒐集回來的聲音訊息，如果我們以一張長約15分鐘的大自然光碟為例，往往需要野外長達500小時的錄音才能完成，其比例高達1：2000，簡直是不成比例。而對特

殊事件的記錄，如果運氣好的話，往往也需要超過一整天的全時守候，才能記錄的到。

面對所蒐錄到的大量聲音檔，返回實驗室後若仍需以相同人力甚至更耗費人力來擷取所需的資料，對研究人員而言反而造成更大的負擔，使得發展自動聲音辨識一直成為研究人員最企盼的。但這也使得所錄到的大量聲音檔往往讓研究人員望之卻步而束之高閣，其實這些所有錄到的聲音訊息，並不是全然無用，透過新的資訊科技與聲音分析技術，讓傳統上以為無用的聲音訊息，產生了新的詮釋意義，也就是本文希望介紹傳達給各位讀者的新觀念。

聆聽一場交響樂，看著指揮家與各演奏者間同心協力展現默契的演出才能呈現出一完美的曲目，各個演奏者各司其位、各司其職，配合著指揮適時演奏、發聲，一步步都必須搭配好，否則便會出差錯。而「大自然的交響樂章」也是如此，因為每個生物出現的季節都是有規律的，每種生物也遵循著晨昏規律的日週期而發出各式的聲音，只是這種規律性甚至一致性長期被我們忽略。當自然錄音師兼生態學家伯尼克勞斯(Bernie Krause)，在野外蒐錄特定物種聲音或記錄特殊事件時，漫長且枯燥的守候，偶然間當他轉移注意力到週遭環境的聲音時，才注意到這些會鳴叫的鳥、獸、蛙、蟲所發出的聲音，似乎是很巧妙的融入週遭自然的聲音裡。原本以為所蒐錄的各種聲音其出現是毫無章法可循，在經過數年之後累積的紀錄與分析後，才赫然發現到某些聲音只出現在某些特定地點，每個特殊地點出現的聲音呈現一致性，令人感到不可思議。

這些會發出聲音的各種生物，即鳥、獸、蛙、蟲等也如同演奏者般的各司其位、各司其職，什麼時候該上場發出聲音就像寫好劇本般的依序呈現。這也就是伯尼克勞斯後來提出的假說The Niche Hypothesis: A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats，指出聲音可做為生態與環境的監測指標。儘管每個地點聲音的呈現會顯示一致性，但一個大範圍的棲息地雖具有區域性的相似，卻仍免不了有地域性的差異。因此，各地點所蒐錄聲音產生的聲紋圖或頻譜圖就如同指紋一般，看似相似的聲紋卻有其獨特性，利用聲紋圖或頻譜圖的獨特性，便可將所蒐錄到聲音來進行分析與測試。

## 聲學資料蒐集與分析

Soundscape為聲音加上景觀(風景)的合成字，翻成中文可稱之為「聲音景觀」或「聲音風景」簡稱為「音景」，是由加拿大作曲家Murray Schafer於1970年代初期所發展，並以「世界音景計畫」為核心展開一系列的調查研究。音景(soundscape)是從聽覺辨識自然界聲音而來的名詞，相對應於從視覺上我們較為熟悉的地景(landscape)而言，這種聲音在時間上的特性與空間上的變異，可以在永久樣點利用麥克風錄音，透過網路連接到野外工作站，再進行資料的自動獲取與傳輸。首先在戶外架設麥克風(圖4)，透過規格化外接音效卡將蒐集到的聲音傳到野外工作站，可避免因使用到不同廠牌的音效卡而造成聲音訊號的差異。透過錄音軟體Total Recorder可設定自動排程，取樣頻率將可視研究人員

圖4 架設在扇平工作站辦公室二樓的麥克風，定時收錄大自然的聲音(陳建文 攝)

的需求，而進行遠端操控自行設定所需的頻率。蒐集到的聲音檔案，將透過網路，進行遠端檔案傳輸協定(FTP)而自動傳回異地的資料伺服器。

這些蒐集到的聲音訊號、頻譜圖分析結果等資料，利用關聯式資料庫建置與儲存成數位聲音資料庫，透過網頁介面的形式可供研究人員獲取豐富的聲音資訊，並可進行比對所監測的生物、人為或自然環境所產生的多樣聲音。這些聲音訊號將分成不同強度來進行分析，計算出平均聲音強度(mean acoustic intensity)，而生物指數亦可將根據所選取的頻率聲音強度比例來計算。

分析一個區域的音景可做為該生態系的基線資料，聲音做為指標因子(indicator)的分析乃是以生態系的完整性及動態變化將與生態系音景的複雜度有關為前提，根據聲音訊號所攜帶的資訊做為反應該系統活動的參考，因此這類分析產生的結果將包括：估計能發出聲音物種的多樣性；人為與自然活動的相對比例；人為與生物活動的日週期與長期變化趨勢；對土地利用形態改變的反應。

音景亦可提供做為聲學壓力因子(stressor)的辨識，聲音做為壓力因子的分析乃是以物種彼此間透過聲音作為主要溝通管道，針對人為活動或其他人造相關器械所產生的訊號強度，對生物活動所造成的干擾，這類分析產生的結果將包括：人類活動對生物的溝通、繁殖與存活造成的影響；物種對人為干擾敏感而造成自然族群的下降。

## 結語

為了解地球上生態系所發生的變化，生態學家藉由測量許多變數來幫助了解這些變化，卻忽略了聲音便是一項容易測量的變數，簡單的利用麥克風即可獲取所需的聲音。考量聲音做為一項變數，能幫助我們了解人為對生態系改變所造成的影響與顯示生物隨時間的變動趨勢。在某一時空下所蒐錄下的聲音，一致性其實是非常穩定的，運用新的聲學指標來進行生態系評估，利用現存與新的統計分析技術來分析環境聲音，發展數位化聲音資料庫與分析步驟，將大幅提升運用聲音做為生態與環境監測指標的可行性，以減少或降低人為對生態系產生干擾與危害的衝擊。