

錄音技術應用於野生動物調查之應用與評估

文／圖 ■ 姜博仁 ■ 野聲環境生態顧問有限公司

蔡哲民 ■ 崑山科技大學專任助理教授

蔡世超 ■ 野聲環境生態顧問有限公司

吳禎祺 ■ 野聲環境生態顧問有限公司

鄭蕙如 ■

瞭解野生動物的分布與族群是野生動物經營管理與保育必要的基礎資訊，因此在第 4 次全國森林資源調查將國有林事業區內野生動物調查列為資源調查項目之一。然而，野生動物調查需要各動物類群的專業調查人員，而即使有專業動物調查人員，受限於動物隱密及敏感的習性，不易直接目擊，且人員無法於現場長時間或日夜持續監測，影響所得資料品質、一致性及準確程度，因此對於森林資源調查隊要同時兼顧植物與動物之調查，實非易事，其中要調查人員能夠同時具備偏遠山區體力要求、植物專業以及各類動物類群調查專業，幾乎是不可能的任務，除非另外聘僱動物專業調查人員，且不同動物類群皆需不同專業人員，針對不同動物類群採取不同調查方式，才有可能達到完整調查動物資源的目的，但如此在調查的成本上將因此提高不少。

野生動物調查與植物調查的最大差異之一在於野生動物並非靜止不動，出現地點與時間不易預測，加上野生動物躲避天敵的習性，因此多數野生動物習性隱密，不易發現，而許多野生動物於夜間活動，更造成調查上的困難。因此野生動物之調查，並非所有種類都可

藉由目擊觀察到，常需仰賴痕跡、排遺、聲音、捕捉等各式技術協助調查。若能發展新的調查技術與工具，不受日夜時間、天氣、地形、物種類別的限制，甚至野地調查人員無須瞭解動物分類鑑定及其習性，只需操作調查器材（即無須專業人才以節省成本），便可達到一致且標準化的調查，除有助於調查野生動物分布的效率之外，尚能讓森林資源調查隊在調查植物樣區的同時，即使不具備現場野地調查鑑定野生動物之能力，亦能透過此種調查門檻較低的調查技術與工具，達到調查野生動物資源的目的，並能大大節省人力、時間和其他實質經費。

錄音調查技術藉由在野外架設自動錄音系統，收錄調查點出現之野生動物發出的聲音，藉由分析錄音資料來辨識種類，達到調查野生動物資源目的。然而，受限於早期錄音使用類比式卡帶，可錄音時間受到限制，加上卡帶錄音資料要輸入電腦來協助辨識，也必須以 1:1 的播放來數化，在龐大的錄音資料處理與管理上便變得耗時而不切實際。隨著數位產品的普及化，數位產品越來越便宜，體積也越來越小，大大增進了無人自動

錄音設備用在調查與監測野生動物族群的應用，也開始有研究人員探討數位錄音應用在鳥類與蛙類調查的研究上（Parker 1991, Parris et al. 1999, Haselmayer and Quinn 2000, Hobson et al. 2002, Penman et al. 2005, Acevedo and Villanueva-Rivera 2006, Brandes 2008, Marcarini et al. 2008），其中還包括夜間遷移性鳥類調查（Evans and Rosenberg 2000）、風力發電機的鳥撞監測（Evans 2000）、瀕危與稀有物種之調查（Fitzpatrick et al. 2005）。錄音調查技術應用於部分哺乳動物之調查則主要為蝙蝠超音波與海洋哺乳類之相關監測與研究。錄音調查技術的另一優勢是可以用於稀少、瀕危或是不易觀察之物種的調查，因為可以摒除調查者可能帶來的干擾，且可排除野外調查人力限制（如工作時、晨昏與夜晚不易觀察）的問題，如象牙啄木鳥（*ivory-billed woodpecker, Campephilus principalis*）的調查即是利用錄音系統調查稀有物種的其中一個例子（Fitzpatrick et al. 2005, Hill et al. 2006, Swiston and Mennill 2009）。

錄音技術應用在較常發出聲音之野生動物偵測上有不錯的表現，且無人自動錄音方式還有節省野外專業人力、資料收集方式標準化及可應用於長期監測的優點，自動錄音已逐漸廣泛應用在野生動物的調查研究。因以聲音為主要偵測對象，適合較常發出聲音之野生動物，如鳥類、青蛙以及部分哺乳動物等。在臺灣，陸域野生脊椎動物有比較明顯鳴叫行為且可正確辨識到的物種包括松鼠科、偶蹄目、臺灣獼猴等哺乳動物（姜博仁 2005）以及多數

鳥類與蛙類，因此應用無人自動錄音技術在這些類群的野生動物調查與族群監測有其潛力。但在臺灣，過往僅有蛙類研究有使用自動錄音技術，但也僅止於評估其效率（Hsu et al. 2005）。利用聲音長期監測蛙類與鳥類則是在高雄扇平地區開始了初步的嘗試（陸聲山和林朝欽 2006, Chen et al. 2011）。Chen et al.（2011）評估對日間鳥類調查使用自動錄音監測的時機選擇，認為利用黎明後 1 個小時的鳴唱資料，再從中挑選 10-20 分鐘涵蓋黎明合唱的時段轉錄分析，可以記錄到當地最多的鳥種數。Hsu et al.（2005）亦利用自動錄音設備評估其在兩棲類調查的成效，並與穿越線調查法、捕捉法作比較，結果發現自動錄音設備在無尾目的調查應用上，與穿越線調查法不分軒輊（20 種:22 種），並優於傳統捕捉法（10 種）。

林務局於第四次全國森林資源調查計畫針對野生動物調查部分，嘗試使用錄音技術協助野生動物資源調查。民國 97 年度開發完成自動錄音設備，以 Sony ICD-SX88（容量 2GB）錄音筆為錄音本體，加以外殼保護、防風與擴充電力設計後，輕便易於攜帶，並能持續錄音近 90 小時（LPEC ST 格式），頻率響應範圍可達 80-16,500Hz，因鳴叫頻率只侷限在 16,500-20,000Hz 之野生動物種類很少，應可收錄大多陸域脊椎動物的鳴叫頻率範圍，達到調查發出聲音的哺乳類、鳥類與蛙類之目的。在野地的調查過程之中，森林資源調查隊同仁於路途中適當地點，架設錄音設備長時間錄製動物聲音（圖 1），並於返程前將錄音設

備取回，攜回之後，將錄音檔委由專家進行辨識，便可以知道有何動物出現。這樣的調查方式，不需於現場辨識野生動物種類，僅需架設錄音設備，因此技術門檻相當低，調查人員只需經過基本的教育訓練之後，便可操作使用。然而，自動錄音的調查效果需要加以評估，以了解其調查的效率與限制，且大量的錄音資料，無法以人工全時監聽，有必要探討兼顧效率與專業團隊監聽辨識工時的平衡，以在有限的人力資源下，達到最大的錄音調查效率。因此，配合第四次全國森林資源調查進行野生動物錄音調查，並針對錄音調查技術應用進行一系列的研究（姜博仁等 2009,2010,2011, 2013）。



▲圖1、林務局森林資源調查隊使用之長時間錄音調查設備與架設方式

首先進行 Sony ICD-SX88 錄音設備的收錄效果進行野外收錄和回播測試，並配合等方模型與森林衰減效應，來評估 Sony ICD-SX88 自動錄音設備的收錄範圍，發現對大多數野生動物而言的收錄範圍為 100 公尺；但是對於底層與灌叢活動的野生動物（如灰頭花翼、山紅

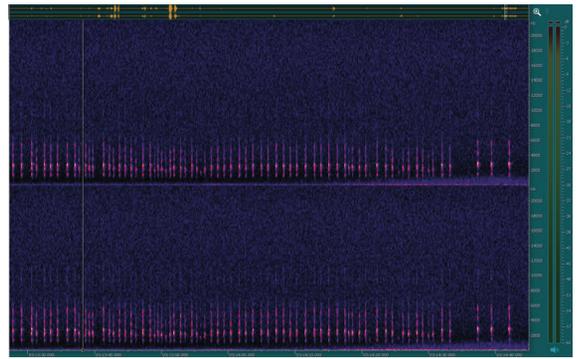
頭）以及聲音比較小的物種（如火冠戴菊鳥），則會受到衰減效應影響，使收錄範圍更受限，不易到達 100 公尺；而空曠環境（如草原、天空）比較沒有森林衰減影響（如猛禽、星鴉等），或是比較大聲的動物（如山羌），則 300 公尺可以說是一般情況下的收錄範圍限制，音量較大的野生動物且聲音傳遞過程無遮蔽衰減的情況下，傳遞距離有時甚至可以超過 300 公尺。

為評估錄音調查技術適用物種，於 15 處地點分別採用 Sony ICD-SX88、ICD-SX900、PCM-M10 以及 Olympus LS-10 錄音筆進行至少 24 小時錄音，收錄地點海拔從 149 至 3,214 公尺，植被類型包括低海拔次生闊葉林、中低海拔原始闊葉林、針葉林、箭竹草原、稜線等。採取人工全時監聽全部 24 小時音檔並記錄所有出現物種，結果總共記錄到 119 種野生動物（每種野生動物各有 1-5 種不同聲音類型），其中哺乳類 11 種包括瀕臨絕種保育類臺灣黑熊（*Ursus thibetanus formosanus*）、鳥類 94 種包括瀕臨絕種保育類林鵰（*Ictinaetus malayensis*）與熊鷹（*Nisaetus nipalensis*）以及蛙類 14 種，平均每個樣點有 31 種（範圍 19-49 種，標準差 7.93）。顯示錄音調查技術可以有效記錄錄音調查樣點周遭一定半徑內相當多的物種，其中鳥類 94 種已涵蓋了臺灣森林中多數的繁殖種類（留鳥），顯示錄音調查技術可以作為很好的中大型哺乳類、鳥類與蛙類的有效調查工具。

然而全時監聽過於耗費人力與時間，且仰賴專業的野生動物聲音辨識人員，實際應

用上無法進行全時監聽辨識，有必要探討兼顧效率與工時的平衡，以在有限的人力資源下，達到最大的錄音調查效率。長時間錄音檔以人工 1:1 即時監聽不切實際，監聽其中一部分聲音在實際上才可行，而以達到記錄最大物種數為目標。因此，以 15 段已經完成人工 24 小時全時監聽結果為基礎比較資料，測試不同取樣時段及時間之監聽方式對於偵測物種數的影響。包括日出日落野生動物鳴叫高峰取樣不同時間長度監聽，日出後每整點取樣不同時間長度監聽以及結合兩種方式取樣監聽。結果發現在同樣的監聽總分鐘數下，結合兩種取樣監聽的方式可以記錄到較多的物種，雖然總監聽分鐘數越多，可以記錄的物種數越多，但是單位監聽時間可以增加物種數將會越趨緩慢，不符合監聽人力之投資效益。綜整不同監聽取樣方式，使用全時監聽作為人工取樣辨識的基礎資料，人工取樣監聽日出後與日落後各 15 分鐘加上日出後一小時開始每小時取樣 2 分鐘，計 24 小時錄音檔會監聽其中 74 或 76 分鐘，就可以記錄到春夏季錄音檔 73.5% 的物種，秋冬季則為 55.2%，也就是說監聽約 5-6% 的音檔，已可記錄到原始全部音檔的 55-74% 的物種數。

若將音檔透過聲音編輯軟體開啟檢視，可以觀察錄音檔的頻譜圖並察覺出哪一時間點有錄到動物聲音（音量與背景聲音達一定比例以上而不會被背景聲音遮蓋住），直接選取該時間點播放聲音辨識，或在訓練熟悉之後可以直接觀察頻譜圖來鑑定物種（頻譜特徵明顯且易辨認的前提下），在快速掃描下，可能可以比



▲圖 2、頻譜圖掃視法，一個頁面以 1-2 分鐘為宜，圖中為重複的白面鼯鼠叫聲，因此重複物種可快速換下一頁，以節省辨識時間。

人工 1:1 全時監聽的方式還要節省時間，因此使用頻譜圖觀察法的聲音辨識方式（圖 2），並與人工取樣監聽結合，應可以在較少的工時下，記錄到更多的物種數。然而，並非所有時段都適合以頻譜圖的聲紋判讀來辨析物種的組成，白天的時段通常由於鳴叫的物種數過多（尤其是鳥類），導致頻譜圖上聲紋紊亂重疊，難以用目視的方法做辨認，相對於日間，夜間時段物種鳴聲組成上較為單調而易辨，應可採用頻譜圖掃視法，省略已經記錄過的物種，專注在聲紋型態上不一樣而可能是不同物種的聲音進行辨認，如此一來，整個夜間時段音檔理論上可以達到跟人工全時監聽夜間音檔一樣的成果。

比較人工取樣監聽白天時段中日出後 15 分鐘及日出時間為基準之每 1 小時取樣監聽 2 分鐘，再加上頻譜圖法目視掃描夜間全部時段，工作時間約在 100 分鐘之內（相對全日監聽方式大約 7% 的努力量），與僅述人工取樣監聽日夜時段加上記錄時間實際上總工作時間差異並不大，結合頻譜圖法可以記錄

到春夏季錄音檔 80.7% 的物種，秋冬季則為 70.8%，不分季節平均 75.4% 的物種數，而保育類物種的記錄百分比則從不使用頻譜法的 34% 顯著提高到使用頻譜法的 72.5%，尤其以完全記錄不到的瀕臨絕種動物透過頻譜圖法可以增加到 16.7%，珍貴稀有保育類野生動物從 17.2% 提高到 75.9% 最為明顯，遺漏的物種主要為白天的鳥類與部分哺乳動物。使用夜間全時頻譜圖觀察辨識（日落後開始），蛙類基本上可以記錄到全部種類，哺乳類春夏季可以從 59.5% 提高到 82.1%，秋冬季可以從 48.7% 提高到 80.3%，鳥類則在春夏主要繁殖季可以從 74.2% 提高到 79.3%，秋冬季可以從 56.0% 提高到 67.4%，整體而言不分季節，哺乳類可提高到 81.2%，鳥類提高到 72.9%。與沒有使用夜間全時頻譜圖觀察辨識相較，鳥類提高的較少，主要為鳥類多日行性，夜間活動的種類較少，而哺乳動物很多種類日夜皆活動。

雖然約 7% 的監聽辨識工時已可記錄到不分季節平均 75.4% 的物種數，但是日間時段沒有監聽辨識部分，可能會有一些稀有的保育類物種或者特別需要關注的物種。利用電腦協助搜尋辨識的效率，針對 Song Scope (Wildlife Acoustics Inc., U.S.A.)、Xbat (Cornell Lab of Ornithology, U.S.A.)、SoundID (SoundID, Australia) 3 種軟體以及自行撰寫程式辨識進行測試評估。初步發現在聲音樣板收集不齊全的情形下，以及受到本身演算法與操作性的限制，正確率普遍不高，並不適合大量自動化的辨識多物種的聲音。其中在 SoundID 測試 24 種的電腦搜尋辨識，有 9 種物種有找到，

也就是說電腦搜尋辨識有可能找到取樣監聽辨識遺漏的物種，但電腦搜尋辨識有一定的錯誤率，使用人工驗證前 50 筆電腦判斷是該動物聲音的記錄，都可以驗證到正確的，也就是說可以記錄到該物種的出現，考量電腦回報的疑似記錄相當多筆，人工驗證 50 筆可以在不花太多時間驗證下，而仍有機會記錄到遺漏的物種。電腦搜尋辨識，以目前技術仍有限制，但科技持續進步，在聲音樣板收錄逐漸齊備之後，電腦演算技術進步，配合特殊的監測目的（如趨勢比較），電腦搜尋辨識或可取代部分人力，使得聲音監測技術在未來有更大的發展潛力。

錄音調查技術藉由聲音紀錄，將物種辨識從現場的直接辨識，轉移到可於室內監聽錄音資料來進行，因此降低了野外現場調查的技術門檻，野外現場工作人員僅需操作架設錄音調查系統並回收錄音資料即可，因此可由林務局之森林資源調查人員及林班地或保護留區等現場巡山人員使用，即使其不具備現場動物辨識與調查專業，也可透過使用錄音調查系統來達到調查野生動物資源之目的，並且透過錄音調查技術可日夜工作及沒有人為現場干擾的特性，可調查到相當多類群之動物，減少現場工作的負擔（如偏遠山區夜間調查的潛在危險性）。

錄音調查技術更具有標準化之優點，藉由控制每個錄音調查樣點在同樣的時間，錄製一樣的長度，減少傳統現場調查方法不同樣點因交通時間而導致在不同時間調查所產生的可能偏差。另外，透過錄音調查音檔監聽

辨識人員的選擇一致性與標準化，可進一步減少現場調查中經常為不同調查人員造成的偏差（Williams et al. 2002）。透過標準化的調查技術所獲得的多樣性及族群指標，較低的偏差則更適合應用於生物多樣性及族群變化之監測比較，例如保護留區之長期監測。

經由實際評估也發現錄音調查技術的確可以在臺灣森林記錄到部分中大型哺乳動物、多數的繁殖鳥類以及蛙類。隨著數位科技與電腦演算的技術進步，未來錄音設備具備多功能（如排程錄音）、省電、大容量、超音波錄音（蝙蝠監測）、體積重量更輕便等，加上電腦搜尋辨識持續進步，以及各式聲音聲景指數的研究，應用錄音技術在野生動物與聲景的監測與研究，將會是蓬勃發展的一個新的領域。🌲

參考文獻（請逕洽作者）

