

生態監測面面觀

◎台灣大學生態學與演化生物學研究所·李培芬

前言

由於人類大量地破壞生態環境，導致各種環境問題叢生，永續發展成為二十世紀末期以來人類奉行的法則，許許多多的研究莫不朝這個方向進行；對於自然資源經營管理與政策的決定者而言，如何得到正確的環境資訊，以制定適當的管理策略，更是一大挑戰。在諸多的方法中，環境監測是一種最常被使用的方法。

自然環境的監測工作在國外行之有年，其目的在藉由固定時間、相同的地點與方法，長期追蹤一個地區的環境生態與自然資源狀況，以了解區域之環境品質變化，管理者可以據此結果，提出適當之管理措施，擬定中長期的經營策略。

國際間所採用的方式與監測中使用的生物種類甚多，例如，以水質為主的河川監測系統，或以無脊椎動物、藻類或細菌為主的指標生物，更有以野生動物為基礎的長程性監測系統，例如英國的政府機構曾以其國內的鳥類種數與族群量，作為環境品質的基準指標之一，利用其完善的鳥類資料庫，統計歷年來鳥類種數的變化情形，以評估過去多年來環境的變遷情形，並藉此擬定未來的環境政策。北美洲(主要是美國)從1960年代所進行的繁殖期鳥類調查(Breeding Bird Survey, BBS)，也提供了非常寶貴的生態資訊。相對的，國內在這方面的投資較少，雖然環保署也建立了許多的監測系統，但大多以水質與空氣品質為主要對象，雖然運用生物作為環

境指標的例子也有，如雪霸國家公園的櫻花鉤吻鮭數量估算、墾丁國家公園的灰面鵟鷹估算、台南七股的黑面琵鷺族群量計數、台中火力發電廠的生態監測，但是很少有長程的執行與資料庫的建立，由於經費上的考量，政府機關常是蜻蜓點水式的執行一小段時間(小於5年)，許多以物種為基礎的生態監測工作，更是由民間社團自動自發性的執行。

本文的目的在於介紹國際間數個生態監測範例，並介紹台灣的相關執行情形，希望能提醒國人與相關機關，多多投資於生態監測的工作，以作為擬定我國生態環境經營管理策略的基礎。

國際間的範例

國際間以動物為基礎的生態監測工作非常多，以下以英國和美國的發展為範例介紹。

一、野鳥族群調查

英國的永續發展指標中，有一項採用農莊鳥類(farmland bird)與樹林鳥類(woodland bird)的總族群量年變化，作為監測的指標。在英國約有76%的區域為農莊型態，樹林則有10%。採用鳥類和族群量的考量主要是基於鳥類分布廣泛，在生態位階上又在食物鏈的後端，也是反應野生動物與環境狀態的良好指標之一。這個指標採用1970年至現在出現於英國境內較為常見的農莊與樹林繁殖鳥類，利用Royal Society of the Protection of Birds (RSPB)、British Trust for Ornithology (BTO)和Department of the Environment, Transport

and the Regions (DETR)的資料庫，針對139種英國較為常見的繁殖鳥類(去除稀有之鳥種)，將各鳥種之族群量統計而成。

二、繁殖期鳥類調查

美國的繁殖期鳥類調查(BBS)從1960年代迄今，已有非常長的時間，也累積了相當寶貴的資料。這個工作源自美國，後推廣到加拿大與墨西哥，每年僅有一天的調查，在鳥類的繁殖期間進行，調查區域採用生態分區為依據，調查者為業餘的賞鳥者。調查時採用相同的設計(protocol)，完成後，資料則交到位於聯邦政府的資料中心，任何人都可以取得相關的資料進行研究工作。由於BBS的成功，這些資料在1990年代也納入美國環保署(EPA)的EMAP (Environmental Monitoring and Assessment Program)計畫內，EMAP就是EPA執行美國生態資源監測與評估的重要工作。

三、Vital Sign Monitoring

美國的國家公園近年來致力於Vital Sign Monitoring的工作，這個計畫針對國家公園內的資源，進行必要的調查與分析。每一個Vital Sign Monitoring的工作，均有詳盡的採樣標準，各國家公園間並建立了網絡架構，資料間可以共享與分析，與EMAP類似，形成另一個全美的生態監測系統。Vital Sign Monitoring的監測項目依各國家公園的特色而異，大致上包括非生物性的空氣、氣候、土壤、水質、人類干擾和生態項目等。

台灣的例子

嚴格來說，臺灣過去也有一些以動物為

例子的監測，雖然這些監測活動，不像前述英國與美國的涵蓋完整，在資訊的獲取上，也有異曲同工之處。最有名的監測案例莫過於櫻花鉤吻鮭、黑面琵鷺與灰面鵟鷹了。雪霸國家公園每半年會進行櫻花鉤吻鮭的計數工作，研究者以潛水的方式，估計七家灣溪與附近溪流內的魚體數量，作為保育的參考。同樣的，台南七股的黑面琵鷺與墾丁國家公園灰面鵟鷹的數量，也有一些研究人員進行數量的估計，由於動物為遷移性，這些資料也與東亞其他地區同步計數，成為監測這兩種鳥類的重要資訊。

另一個重要的監測例子為挖子尾自然保留區的鳥類計數(圖1)，1992年時，中華民國野鳥學會與台北市野鳥學會在民間公司的支助下，開始了為期5年、每月進行一次的淡水河鳥類調查計畫，挖子尾自然保留區是其中一個監測站。此區域是由淡江大學的同學負責，遵循一致的調查方法，每個月第2星期，



圖1 由挖子尾自然保留區的鳥類變遷受到八里污水處理廠與淡海新市鎮開發的影響，顯示空間尺度考量上的重要性

從漲潮到退潮，每一個小時，在挖子尾的固定路線上，執行鳥類的計數。此工作雖然後續的經費支持消失了，但也持續了9年之久。由於該地附近有兩項重大工程開發案(八里污水處理廠與淡海新市鎮)，使得這些資料彌足珍貴，因為它們反應了工程開發對於環境的重大衝擊，而這種影響在現行的環評中，無法偵測出來。

基本上，從鳥類的資料來看，本區域的鳥類種類數與總數量呈現下降的趨勢(圖2)，但是因為資料的變異程度高，這個趨勢卻不能在兩三年內被確定，9年的資料則清楚的顯示這種趨勢。使用時間序列分析，也明顯的展現下降的情形。而這種下降，尤其見於冬候鳥與過境鳥的類群上。其原因是陸地上的擾動，造成水域生態系生產力的喪失，經

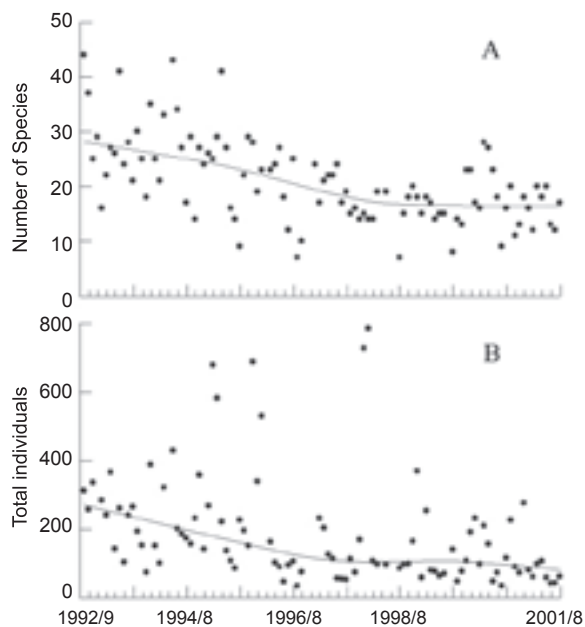


圖2 挖子尾自然保留區的鳥類監測成果，顯示從1992年9月到2001年8月，每月鳥類種數(A)與總數量(B)之下降趨勢

過食物鏈的作用，影響到鳥類群聚。1992年時，八里污水處理廠處於規劃狀態，尚未施工，1993年工程開始，造成挖子尾鳥類的減少，隨後淡海新市鎮的開發，雖然離挖子尾有一段距離，但是藉由潮水的作用，也衝擊到挖子尾的鳥類，造成明顯的減少。這個案例反應了環評的問題與後續監測計畫追蹤的缺陷，也充分顯示生態評估中，必須考量時間完整性與空間涵蓋度的問題。

監測的方式與考量

對於土地管理者而言，監測是獲取土地狀態與變化趨勢的主要憑藉。這種週期性的資料，可以提供一個評估資訊，藉由專家的解讀和判釋，可以快速、扼要又量化的獲取土地資源狀態和可能的生態過程。這種監測更可以偵測一些巧妙、細微的變化，發現可能的問題和潛在的威脅。

監測因子的考量上，可以選用空氣品質和氣候、地質和土壤、水質生態完整性、人類使用、生態過程等重點。在監測的項目上，由於經費、實際需要的限制，執行監測者勢必無法選擇非常多的內容。因此，選擇指標因子是必須的妥協。就實際面而言，選用快速、自動化的無生物因子，如空氣品質、紫外線、水質、pH、...等，是比較簡單的選擇；但是，這些因子可能會因為儀器故障、儀器改變等原因而失效，或因為儀器改變造成標準不一，而且，也可能無法反映生態系內的真實改變。所以，選擇生物性的因子作為監測重點，有時要比非生物因子來得更重要。在生物性因子中，一般會以容易取得、分類清楚的物種為主，如水域中的

魚類、水生昆蟲和陸域的鳥類和兩生類，當然，在特殊需求下，也會有更多的考量和選項。

選用生物因子要考量這些指標因子能否代表生態完整性和生態過程，美國國家公園的Vital Sign Monitoring的項目，就包含了植物群落、外來種的族群量和擴充、檢疫和防疫因子、目標物種或生物群聚和瀕危或受威脅物種等。各界採用的永久樣區、水棲昆蟲、兩生類、鳥類等，就是明顯的例子，在單一物種上，也有雪霸國家公園的櫻花鉤吻鮭、湖山水庫範圍內的八色鳥、金門國家公園的鷓鴣等。近年來禽流感的問題日益嚴重，國內外也有許多的單位在特定的地點(如溼地、大湖、池塘)，收集一些生態的資料，以監測病菌(病毒)的存在和可能的擴散情形。

選擇因子時也須考慮其代表性，以前述挖子尾自然保留區的監測為例，依據八里污水處理廠的環評報告來看，所選擇的監測因子主要是水域的因子，並無生物性因子和底棲生物，不過，比較有趣的是，真正發生且可以明顯看到的改變卻是鳥類組成和豐度的變化。

在執行監測時，也需考量空間尺度。由於不同的機構管理特定的區域，生態的變化又超越政治的邊界，因此，在設計監測項目和分析監測資料時，應該注意空間的完整性和可能受到影響的範圍。以挖子尾自然保留區的監測為例，淡海新市鎮的衝擊評估並沒有在當初環評的考量範圍內，但是潮汐的作用，卻為挖子尾自然保留區帶來非常大的衝擊。

從空間完整度的觀點來看，也可以考慮彼此間的合作，建立資料收集的網路架構，整合所有可能的資料。在各個相關或利益團體之

間，建立伙伴關係是非常必需的(圖3)，此舉不僅可以眾志成城，藉由資料的收集與交流，亦可降低監測成本和減少不必要的誤會。在國際間，常以階層式的網路，建立節點，串連在一起，完成監測資料的統整和分析。

在監測點的選擇上，也應有代表性，一般而言，選擇時，大多以生態分區為首要的考量，不同的生態區應有代表性，甚至應考量各個生態區的面積差異，予以適當的樣品數。同時，也應考慮抽樣的方式，一般而言，以簡單逢機抽樣最為簡單，近年來隨著各種空間資訊的普及，以及地理資訊技術的發達，系統化抽樣、分層逢機抽

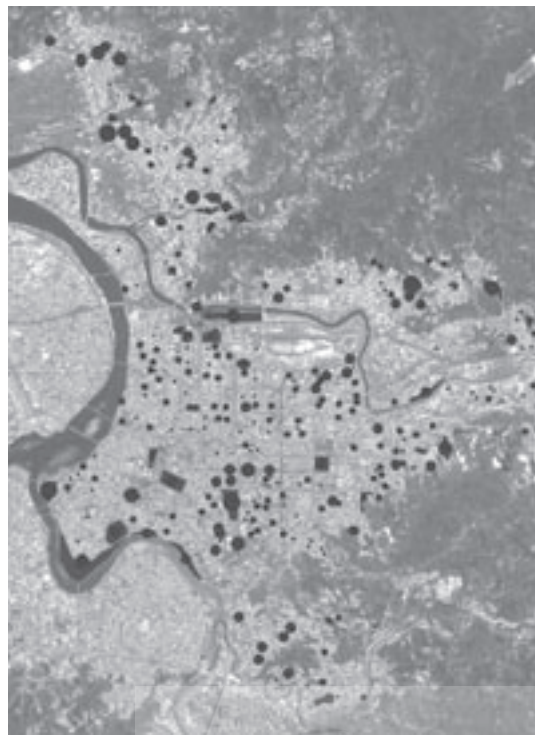


圖3 台北市公園綠地鳥類監測的空間分布，本圖顯示台北都會公園鳥類豐富度(Species Richness)的分布情形，點越大，豐富度越高。這些調查涵蓋300多個區位，在3到6月間執行，由台北市野鳥學會的朋友們協助完成



圖4 利用GIS規劃台灣鳥類監測樣站的區位，這些樣站的選定是利用DTM(數值地形模型)、生態分區、植被圖、氣候資料、道路分布等圖層套疊所完成

樣等多種抽樣技術，也廣泛的被使用(如圖4與5)。監測點的選定上，也應避免假性的重複(pseudoreplication)和空間的自相關(spatial autocorrelation)，以吻合統計上的要求。

監測的時間和頻度也是一個重點。在時間的考量上，應先了解所欲監測項目的本質，在頻度上注意能掌握週、月、季、半年或年變化，而予以適當的調查。同時，也應有事前、事後的比較，方可有充分的監測內容，所得到的結果也才會有意義。舉例而言，若生態的變化是以每週的改變在進行，但是我們若以每個月為資料收集的頻度，則勢必會形成所收集的資訊無法反應真正的改變。我國的環保署審理的環評計畫中，開發單位常會被要求進行兩年的生態監測計畫，但是其頻度常因為某些因素，被簡化為一年四季，甚至是一年兩次，我們可以想像一下，若將挖子尾自然保留區的監測改為每半

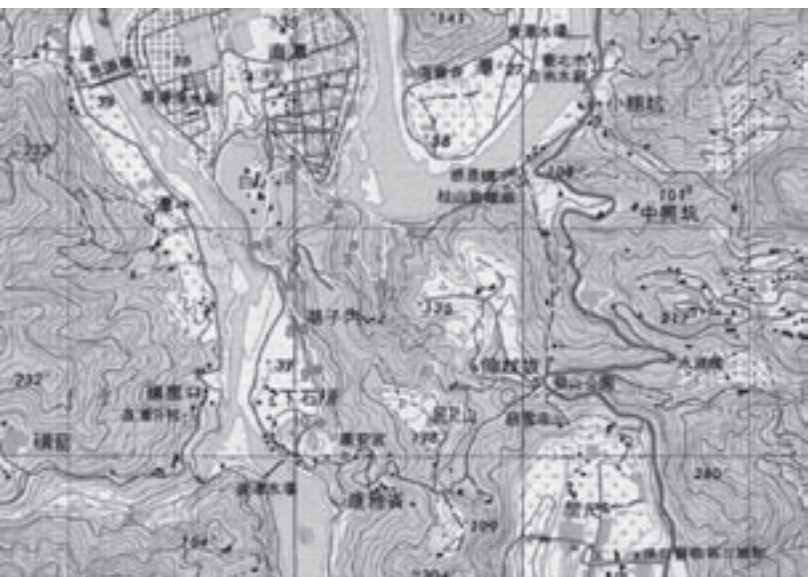


圖5 利用GIS規劃台灣鳥類監測樣站(路線)的採樣點，左圖為地形圖，右圖為SPOT衛星影像

年一次，一共執行3年，6個點的資訊是否可以讓我們看得到整體鳥類的改變情形呢？

資料庫的建立和資料的累積也是重要的考量，過去由於生態資料的取得，因為涉及專業知識，研究者取得這些資料後，往往將這些資料視為個人資產，無法將資料共享，近年來這種情況已有改善，國際間各種資料庫的建置與分享早已司空見慣，有關這點，在台灣仍有許多可以努力的空間。

各監測單位採用相似的取樣方法與資料記錄，也是非常重要的考量，唯有如此，各個監測團體間的資料才可以彼此支援，不同時間的資料才可以比較，達到監測的真正目的。因此，在進行監測之前，最好應該有範疇界定、方法確定的討論。

結語

台灣在過去由於資訊的缺乏、經費的考量、管理者的自我設限、對於監測的誤解等原因，監測工作並沒成為土地管理機構的日常業務，造成生物多樣性和生態品質的惡化。一個好的監測計畫設計，不僅可以在有限的經費下，取得重要的生態資訊，更可以藉此研擬適切的管理策略和措施，為生物多樣性和生態資源的永續發展，提供正確、必要的保證。

監測資訊的取得需要經費上的花費，這是必要之惡，但也是絕對值得的投資，一個設計良好的監測計畫，所得到的成果，將是物超所值，提供經營必要的資訊，對於土地管理者而言，正是決策所必需。

雖然監測的因子或項目大多以非人類的因子為主，其整體的目的仍是為了人類的福祉。藉由監測計畫的執行，釐清生態資源的現況和變遷趨勢，並據此進行預測工作，可以為這些資源提供最好看護，提供人類最好的大自然，為後代子孫留下一片美好的樂土。本文所使用的研究資料分別由行政院國科會(永續會)、農委會、內政部(各國家公園)、環保署與台北市政府計畫所支持，計畫執行期間，承蒙各方友人與義工協助野外調查工作，特此致謝。♻️

本文所談的國際範例可以在以下的網站找到更多的資訊：
US EPA 的EMAP <http://www.epa.gov/emap/>
US NPS 的Vital Sign Monitoring <http://science.nature.nps.gov/im/monitor/>
US BBS <http://www.pwrc.usgs.gov/BBS/>
UK 永續發展指標 http://www.bto.org/research/indicators/uk_indicators.htm