

干擾與生態學中的尺度概念

◎東華大學自然資源研究所·夏禹九 ◎林業試驗所福山研究中心·王巧萍

前言

生態系的動態變化長期以來都是生態學家所關注的議題。然而直到七零年代後，生態學家才把過去所相信的生態系極盛相 (climax) 這種“靜態終點 (static endpoints) 的關注，轉移到動態平衡的概念上，也因此開始討論干擾是否應該被視為生態系內在的一個特性。在實際應用上，對干擾認知上的改變影響到：面對例如颱風、地震、土石流等對我們的環境造成影響或破壞的時候，如何去評估是否應該進行復育？復育的標的狀態是什麼？還是應該要把一些天災視為生態過程的一部分，任其自然的變遷？近年來，氣候上頻仍的極端現象出現，社會大眾逐漸體認到人類的活動導致全球環境變遷是不可避免的。在這個變動似乎是常態的氛圍下，林學界所提出的『生態系經營』的理念中，自然的干擾被視為必需被接納的生態過程，甚至於嘗試師法自然干擾的格局來經營森林。然而當我們在討論干擾的影響的時候，受限於彼此專業領域的認知，常常卻因為對干擾、穩定性、生態平衡缺乏交集而無共識。



生態系極盛像這種靜態終點的觀念，近來已被動態平衡所取代，因此崩塌地上演替初期出現的赤楊林，若將尺度擴大則可視為該生態系的內在特徵之一(王巧萍 攝)

干擾的定義與困難

在生態學上什麼叫做干擾？Grime(1977)在植群生態學上探討那些物種可以在什麼樣的棲地生長時的定義是：『任何可以摧毀植物生物量，而限制植物生長發育的過程』就是干擾。而Sousa(1984)在談社群的競爭時，定義干擾為『任何會造成單一甚至整群生物被孤立、殺死、取代或傷害，而直接或間接製造了機會讓另一些新的物種可以生存的事件』。Pickett與White(1985)則定義干擾為：『任何在時間上或空間上相對不連貫的事件 (relative discrete event)，且會導致棲地的物理環境以及資源有效性產生變化，進而改變族群、群聚及生態系的結構』。不過“相對不連貫的事件”仍很難定義。當臺灣長期生態研究網(TERN)提出要以干擾為一個主要研究主題的時候，最先想到的是颱風。而南仁山試驗地的研究人員另提出東北季風是南仁山生態系的一個重要干擾，也有研究人員認為東北季風也是福山試驗地的一個干擾因子，關刀溪試驗地研究人員則當然提出九二一大地震。颱風及地震毫無爭議的被視為生態系的干擾，但是東北季風則引起一些爭議。由Pickett與White的定義來看，東北季風的確限制或摧毀了這些森林生態系的生物量，但東北季風不見得符合“不連貫的事件”的這個條件。可是Pickett與White的定義還包含了“相對的”這個條件，那東北季風的每一個鋒面是不是可以看為一個干擾的事件呢？此外在描述各個不同的干擾特性時，干擾被視

為是生態系外在的一個因子，還是生態系內在的特性呢？九二一大地震似乎被認為是生態系外在的一個因子，但是颱風呢？不同領域的生態研究人員都有各自的觀點，所以干擾在定義上常有爭議。因為問題的定義還沒有確定，跨領域與跨試驗區對干擾要進行比較研究，是很難聚焦的。

干擾在生態學上隱含的概念亦存在不少的爭議。例如：一些學者認為在沒有干擾的地方會有較高的生物多樣性，能演變為穩定的極盛相生態系。當生物多樣性成為顯學之後，這種看法成為生物多樣性的高或低，為生態系是否穩定一個指標。但亦有些學者則由競爭排斥的概念，認為在干擾非常少的地方，比較優勢的少數物種會發展達到極盛相，生物多樣性反而降低。另有一種看法則認為太小的干擾無法減緩優勢種對於其他物種的排除作用，而太大的干擾則會摧毀整個生態系，所以在這兩種地方的生態系物種豐富度都不會太高；反而是在有中度干擾的地方，才會出現較高的生物多樣性—中度干擾假說(Intermediate disturbance hypothesis)。以上這些說法都不能完全解釋生態學家所實際觀察到的所有現象，干擾一直是一個有爭議的課題。



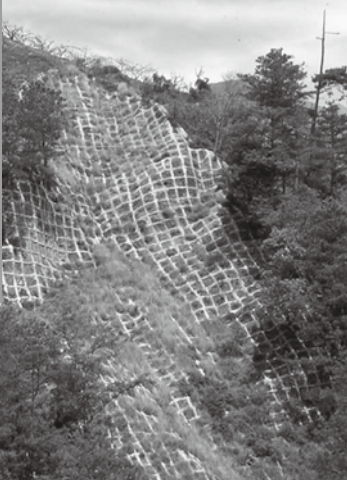
把原始森林開發為茶園、蔬果園及遊樂區是台灣森林最常面對的人為擾動(王巧萍 攝)

尺度的概念

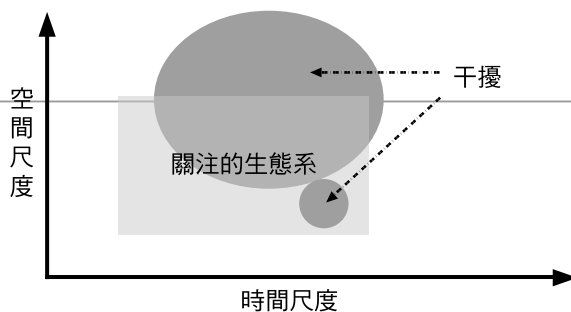
干擾是一個生態過程。生態學是一門科學，生態學家所關注或要描述的現象與過程因此是不能獨立於“量測”或“度量”之外的。不論我們用的是精密的儀器量測(measurement)或是肉眼的觀察(observation)，都是一種“量測”，因此一定有“尺度”，也就是說牽涉到在時間與空間上有量測的幅度(最大的空間與最長的時間範圍)與解析度(最小與最短的量測單位)。科學家所闡釋的均是所量測的結果與其隱含的意義，某種程度上，與俗語常說的“坐井觀天”¹差不多。當我們經由觀察及量測來描述一個現象、事件或事物時，尺度是指某一個現象在空間上所涉及的範圍和時間上發生的頻率(重現期距)。生態學家描述特定的生態過程均有特定的空間與時間尺度；換句話說，在我們討論及比較特定的生態過程時，均應述及其“特徵尺度(characteristic scales)”。前述一些有關干擾的困惑或許都可以由“尺度(scale)”的概念來重新檢視。

尺度決定干擾的定義

干擾是一個生態過程，要討論干擾就要先能量測，需要先定義尺度。例如討論颱風，則需要先瞭解颱風的特徵尺度的空間範圍是 10^2 公里，而時間尺度則視不同強度的颱風而有 10^{-1} 到 10^1 年(重現期距為一年幾次到幾十年一次)。而干擾是生態系內在的還是外在的一個特性，也只有經由尺度我們才能決定。首先要提醒的是：生態系是依操作需要而定義的(operational defined)，其特性亦



人類面對干擾造成森林生態系破壞時，是否要復舊處理大多並不是取決於生態系中成員的需求，而是人類自身利益的考量(王巧萍 攝)



必需是可以量測的，所以也是有尺度的。將干擾及我們聚焦的生態系以簡單的時間與空間尺度場域來表示(圖1)，如果干擾的時空尺度是小於我們所研究的生態系，那麼這個干擾就可以說是這個生態系內在的一個特性；但相對的當干擾的特徵尺度很大時，使得整個生態系統都被破壞了的時候，那麼這個干擾就被視為這個生態系外在的因子。經由尺度，前述Pickett與White 對干擾所下的定義中“相對不連貫的事件”，隱含的概念才能夠理解。在研究干擾時要考慮的六個特性，包括干擾的種類(自然的如颱風、地震、火燒、土石流；及人為的如伐木、土地利用變化)、強度、持續時間、頻度、空間範圍、及對所關注的特定生態系的結構與功能影響的嚴重性，每一個特性都是可以量測的。

干擾與生態系穩定性

干擾是對生態系現狀或常態的改變。常態又與生態學的一些基本概念，例如穩定性或平衡有關。穩定與平衡隱含著生態系存在一個持恆存在的常態，若要描述這個常態，則亦需是可以量測的，所以也必需先定義其特徵尺度。一個生態系的常態如何定義問題與干擾是否是生態系的內在或外在因子的問題是相同的，關鍵仍在我們選取的尺度。森林生態學上所描述老齡林因孔隙動態(gap dynamics)所呈現移動式的鑲嵌型穩定性(shifting mosaic stability)，亦只是由林分尺度擴展至地景尺度的結果。遭受干擾的森林

圖1 生態系與干擾的尺度場域。同一或不同類型的干擾均有其特徵尺度，生態系亦依我們所關注的生態特性或過程(植被組成、物種的覓食、播遷，營養鹽收支等)，而可以定義其空間與時間尺度。

中，個別小區中的林木可能會消失，但是較大區域的森林仍會呈顯相對的恆常。所以我們量測的尺度不同，所看到的現象與結論是不一樣的。在全球變遷的氛圍下，生態學家的體認是：生態系統是一個適應性的複雜系統(adaptive complex system)，具有自我組織(self-organized)特性的層級系統(hierarchical system)。由尺度的概念來看，這個層級系統中各個層級(level)的子系統，是由不同特徵尺度來界定的。我們有興趣研究的一個生態過程可以依其特徵尺度而定義於複雜的生態系統之中。層級系統的一個特性是上一層級的特性控制(constrain)下一層級的特性(聚焦層級)，而再下一層級的特性則是聚焦層級的所展現特性的成因或機制。聚焦層級展現特性並不是下一層級的特性的總加，而是新生的特性，特別稱為湧現特性(emergent property)。大部分生態系呈現的各種特性如演替、多重穩定、複合尺度、不連續的結構等均可以得到解釋。相同的模式也被引用到經濟、制度、政治層面。這樣的系統在本質上是一個開放的系統，變是常態，系統外部的波動(干擾)很容易造成系統內部的漸變甚至解構或崩解(圖2)。系統在漸變中維持相對穩定結構(彈性)的關鍵是適應力，而解構後重新建構穩定的系統其關鍵則是維持多樣性與

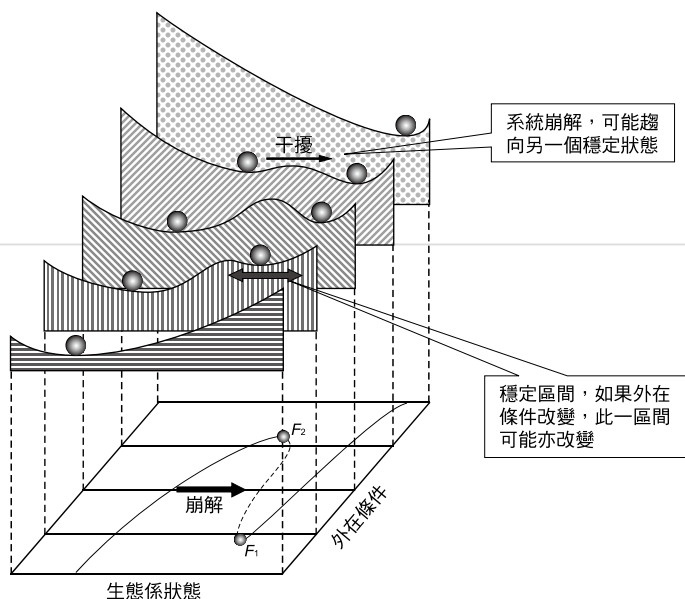


圖2 生態系多重穩定與崩解示意圖。因為外在條件的改變，生態系的穩定或平衡狀態亦可能改變。在F1與F2兩個外在條件之間，生態系存在著兩個可能的狀態，干擾的強度小，生態系可能還能維持在原有生態系的穩定區間，可以回復到干擾發生前的狀態。若是干擾的強度大，原有系統將崩解，進入另一個生態系的穩定區間，不一定能復育回原先的狀態。生態學上彈性有兩種不同的定義，圖中以生態系的穩定區間來表示生態系的彈性，稱做生態彈性(ecological resilience)；著重在恢復的效率、並且和恆定及可預測性有關的，稱為工程彈性(engineering resilience)。(改編自Scheffer, M., et al. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413, 591-596)

生態係狀態
創新力。這種思維模式所提示的是：人可能永遠不會完全的解讀複雜適應系統，對系統未來的反應的預測很不確定，所以經營管理上要預期有意外的後果發生，保持措施的彈性、監測以即時改變經營措施。近年來林學研究中常被討論的「適應性經營」(adaptive management)或「生態系經營」(ecosystem management)中心的架構是建構在這種思維之上的。

結語 穩定性或平衡的理念帶動了過去三十年台灣環境保育運動的思維模式，一般民眾的環境意識增加不少；但是保育運動在台灣並沒有促使公部門真正投入足夠的人力與物力在生態科學的研究中。缺乏足夠的生態科學研究以致本土生態學的基礎資料嚴重缺乏。更不幸的是生態學被窄化為動物、植物等物種的基礎研究(沒有應用的價值)，生態學常識常被當作生態學的知識，做為擬定政策的依據²。但是反過來看，當我們在評估復育措施是否值得與其成效時，缺乏基線資料，常常成為生態研究人員最頭痛的問題但也是最容易卸責的藉口。或許我們該先想想，未清楚定義一個所謂平衡穩定的生態系的常態(只是一個模糊的概念)，如何做為復育的標的？生態學做為一門科學，是無法獨立於量測(尺度)

之外而論述的。不同領域的生態學研究，一直也各有專業上的典範，進行調查與試驗(所以是有明確尺度的)，只是在與生態學領域以外的專業在對話時，尺度常沒有明確定義，導致一些缺乏生態知識背景的人(工程專業)將生態學當作不實用的科學或人生哲學。尺度的概念是非常清晰的量化，保育、復育、生態工法的措施的標的如果能明確定義其尺度，最少可以建立一個跨領域的共同語彙，跨出溝通的第一步。生態學者也應該要求工程專業明確的陳述工程措施的尺度，評估其可能會影響的尺度，從而可以擬訂需要監測的具體項目，以謀即時改弦更張。☸

¹科學家量測時所採取的尺度受限於專業上的思維模式(典範, paradigm)及或多或少個人與社會的價值觀、現實條件(計畫經費、期限)等的限制，嚴格說起來是沒有真正的客觀的量測結果的。

²政策的改變需要政治運動，環境運動亦是政治運動的一環。本文無意貶抑台灣的環境運動，作者之一也常被歸類環境運動者。於只是闡釋生態學上尺度的概念可以提供一個更符合目前生態學上對穩定、平衡概念的認知。

• 參考文獻請逕洽作者。