

生態系(生物多樣性)經營

夏禹九

國立東華大學自然資源管理研究所

一、前言

自然資源的利用是人類文明賴以發展的主要基礎。回顧歷史，自然資源一直被人類作為取之不盡的財貨，不幸的是隨著一個地區地文明的時間愈長，自然資源也都不可避免的過度開發。雖然近年來環境保護意識的覺醒，永續發展、全球變遷與生物多樣性等議題的浮現，可能會讓我們修改過去經濟發展的模式以減緩人類對自己生存環境破壞的速度。不過檢視自然資源過度開發的原因(Loudwig et al., 1993)：(1)在目前的社經制度之下，開發自然資源可以獲取財富；而隨著財富累積而獲得的政治與社會權力會導致更進一步的資源開發。(2)與自然資源有關的生物與非生物系統是非常複雜的。所謂的最適的利用，常常是經由試誤法(try and error)而不是科學上的認知而得來的經驗。(3)資源過度開發所造成的影響常被大尺度的自然變異所掩蓋。問題初始很難覺察；俟警覺時常已很嚴重而且多半已不可回復。(4)雖然科技進展驚人，不過開發行為所造成的衝擊，通常在大尺度系統上並沒有足夠的重複與控制試驗以達到科學的認知。所以每一次發生新的問題時，我們所面臨的都是一個全新的系統，需要重新認識與學習。同此我們對過去所發生的一些問題，都還不能確定其原因。更何況還有一些例子在科學上我們已經確認與達到共識；可是資源仍然是遭到破壞。例如，我們已經知道在乾旱地帶的灌溉會導致土壤鹽化，這個三千年前兩河流域文明衰亡的教訓，迄今仍在很多地方持續再犯。體認到科技上的發展是不能解決資源過度開發的問題。台灣近年來陡坡地的超限利用，雖然大家都知道必定會帶來災難性的惡果可是仍然續蔓延，是另一明顯的例子。有鑑於傳統的自然資源經營策略的錯誤，近年來有些保育生物學家與生態學者提出了“生態系經營”(ecosystem management)的概念，並且認為其是一個的典範的轉移(paradigm shift)(Grumbine, 1994; Franklin, 1997; Meffe and Carroll, 1997)。

“生態系經營”由字義上來解釋很容易被簡單解讀為以生態系的觀點來經營管理。但是以往我們經營自然資源的政策難到不也是都是依據當時對生態學的瞭解而擬定的嗎？過去的育林學、野生動物經營學、集水區經營學等經營計畫的知識基礎不也是應用生態學的一支嗎？此外，生態系這個觀念自從 Tansley 於 1935 提出來，在 Odum(1953)以後的所有生態學教科書中也都一定會論及，是大家早已耳熟能詳的。可是生態系在概念上是一空間開放的系統；一個池塘、一片草地、甚至整個地球都可以做為一個生態系來看待。這些變動的生態系區界是很難納入習於以行政區界做為規畫範圍傳統經營計畫

中。這樣一個已經快成為老生常談的名詞，為什麼 Meffe 與 Carroll 於 1994 年出版了 *Principles of Conservation Biology* 之後，僅僅三年即修定出了第二版？在其二版序言中更直言：“In fact, ecosystem management serves as the unofficial theme of this book”。相同的在 Brooks 的 “Hydrology and the Management of Watershed” 1997 年的第二版的序言中(第一版出版於 1991 年)亦提到：“..., watersheds are being seen as a useful units for planning and management of multiple resources and for ecosystem management of forest lands, range lands, agricultural lands and urban areas.” (Brooks, et al., 1997)。“生態系經營”一詞一定應該有比簡單字面解釋還有更廣且深的含意才對。

“生態系經營”最早被採行為官方機構的經營政策是始於美國西北區的聯邦林務單位。所以過去幾年在台灣一些林學方面的學者專家對森林生態系經營有很多的引介與討論(例如：洪富文, 1993, 1994; 1995; 洪富文等, 1997; 夏禹九, 1996; 姚容甯等, 1997; 馮豐隆, 1997)。在美國近幾年對生態系經營的討論更可以說是如火如荼，相關的文獻非常的多。事實上反而造成作者在撰寫本文時很大的困難(知識與能力的不足)。所以本文的目的僅在引起國內保育界人士的興趣，希望能對我們台灣日益劣化的生存環境(或/及生物多樣化)提供一個較樂觀的願景。也因此本文並不擬對生態系經營做詳細的重複引介。討論的重點是生態系經營中所包含的一些生態學上和空間有關的概念、對自然資源經營上的一個理念——適應性經營(adaptive management)(Walters, 1986)及其所需要的組織與制度(institutions)。

二、生態系經營的源起及其定義

文獻上，生態系經營正式的被美國政府自然資源管理機構做為政策的依據始於 1993 年(FEMAT Report, 1993)。森林生態系經營評估小組(FEMAT) 是由 Clinton 總統直接下令所組成的，包含了近一百名聯邦政府與自然資源管理有關的機構中的官員、研究人員與大學教授，可以說是一次規模空前的行動。在美國，生態系經營一方面因為有總統的支持，聯邦政府與自然資源管理有關的各個機構當然都正式的宣示一體遵從。另一方面在學院之中，生態系經營的概念亦是熱門的討論與研究課題。美國生態學會也特別組了一個委員會提出了一份報告(Christensen et al., 1996)。生態系經營的定義，隨著各個機構的任務與目的、各個學者的觀點有著不可勝數的闡釋。在 Meffe 與 Carroll 的書中即列出了十三個不同機構與學者的解釋。這些定義各有其優點。不過也因其定義相當模糊有批評者認為其尚未發展成熟，還不應該實際執行(Fritsimmons, 1996)。有鑑於此，Meffe 與 Carroll 對生態系經營做了一個暫行的定義(working definition)：“生態系經營是以長期永續性的目標，維持或重建自然及經人為改變的生態系的組織、結構與功能之策略。其基礎是建構於一個大眾合作(collaboratively)而且整合了生態、社經與制度上的考慮所發展出來的願景(desired future)。其範圍主要是由自然生態過程所界定的。有兩個原則：防止土地與水資源生產力的劣化以及防止生物多樣性的加速損失”。這個定義翻譯起來相當冗長拗口，Grumbine(1994)在檢視了許多文獻後，列出了生態系經營的十個主題：

- (1) 多重尺度的層級系統
- (2) 生態系區界的認知
- (3) 生態系的整體性
- (4) 系統性的研究與資料收集
- (5) 監測
- (6) 適應性經營
- (7) 機構間的合作
- (8) 機構組織上的變革
- (9) 人是生態系的一份子
- (10) 以人取向的價值是經營的主要目標

Grumbine (1997)更認為，經由對這十個目標的瞭解與其在實務經驗上所得到的反思，或許比想對生態系下一個完整的定義還要重要。

三、生態系與地景生態學上的考慮

生態系經營所包含的生態學上的理念，幾乎涵蓋了 80 年代以來大部分生態學的一些觀念，例如種群動態、演替與更新機制、干擾、養分循環等等。基於生態系經營所強調的大尺度(包括了空間與時間)的視野，此處只提及四個觀點：層級系統(hierarchical system)、空間 — 時間的原則(space — time principle)、棲地的零碎化、格局(context)與內含(content)。

(一) 生態與地景上層級系統的觀念

層級理論是用來描述一個由兩層以上尺度的分離的功能元素(discrete functional elements)所組成的系統運作的方式(Urban et al., 1987)。在這個層級系統中每一個元素都自成一個單元，各自具有其功能與限制(constraints)並呈顯其自有的穩定與變異特性。地景或生態系是一個配套的層級系統(nested hierarchy)，每一層級均包含(involve)了其下的層級。同一層級內的元素間和其上、下層級間的元素都有物質或能量流相聯結。因此，要瞭解任何一個元素的穩定性最少要明瞭三個聯結關係：(1) 包含此一元素的上一層級的元素，(2) 同一層級中相鄰的元素，(3) 下一層級中被包含的元素。生態系中每一特定的現象均可能有其特定的層級系統。所以要瞭解不同的現象或以之作為經營的標的，必需要針對不同的層級系統進行研究。例如火災對生態系的干擾現象其相關的層級系統為：林床殘存物質 — 各別的火災跡地區塊(patch) — 大尺度火災所造成的鑲嵌(mosaic)地景。而針對營養鹽循環與樹種的組成其著眼的層級系統則為：林窗(gap) — 林分(stand) — 集水區 — 地景(Fig. 1)。前面曾提及，

傳統上經營計劃及法規上所考慮的財產權或管轄權所界定的區界是很難轉換成生態系考慮的區界(Fritzsimmmons, 1996)。生態系的觀念是在空間尺度上開放的；尺度的選擇端視研究者所著重的物種或過程而定。經由層級系統的分析，生態系經營所強調的經營範疇是自然生態系的區界才能有比較清晰的界定。

(二) 空間-時間的原則(space-time principle)

層級理論應用於描述生態系統的一個方法是將有興趣的物種個體、棲地等，其空間與時間的特性尺度與影響此一配置(pattern)的生態因子(生物過程、干擾過程、環境限制等)的尺度並列出來 — 此一分析方法稱有配置分析(Jensen et al., 1996)。Fig. 2 即為一例簡單的 Log-Log 尺度的 X-Y 座標圖示。藉著此一圖示，溪流魚類的分布配置和其影響因子間的關係與經營者所著重的現象和所應著重的因子可以很清楚的呈顯出來。由 Fig. 2 所顯示的時間與空間關係，我們可以得到一個相當粗略的通則：愈短期(發生頻率高)的變動其影響的空間範圍愈小；而大部分長期(發生頻率低)的變遷其影響範圍則愈廣。這個空間 — 時間的原則(space-time principle; Forman, 1995)其預測精確度當然不高，不過其隱含的意義在於：大尺度的自然現象較小尺度的現象為穩定與持久。由空間 — 時間的原則來看層級系統，則上一層級的元素應該會提供較高的穩定性而其包含的再下一層的元素互相作用並顯示為其上一層的元素特性，同時亦是其變異性的主要來源(Urban et al., 1987)。許多自然的森林生態系中因為干擾所呈顯現的一個動態的、非平衡的移動鑲嵌(shifting mosaic)的配置與空間 — 時間原則的考慮(Fig.3)是生態系經營強調在經營的範疇上應該以較大區域的集水區或地景的穩定與永續的重要考慮。此亦是傳統以林分為著眼的林業經營是很難達到永續經營目標的一個原因。

(三) 棲地的零碎化

棲地的零碎化是人為活動對自然地景所造成的不可避免的趨勢。其在生態上所造成的內域棲地的損耗與殘存區塊的隔離作用，是生物多樣性保育上必需面對的一個困境。相關的論述相當多。因為生態系經營所強調的是必需包含人的在內的地景，此處只簡單引述在這種零碎的地景中，種群動態上相當重要的巨種群或變異種群(metapopulation)的理論。Hanski(1998)列舉了幾點巨族群在物種保育上的考慮：

- (1) 既使在一均質的棲地環境中，物種也可能呈顯複雜的空間分佈：物種不一定會出現在適宜的棲地內。目前沒有被佔有的棲地碎塊(fragments)，可能卻是巨種群長期存活的關鍵區塊
- (2) 碎塊的總數通常是巨種群長期存活的指標。儘可能保存愈多愈好的棲地碎塊是保育的一個簡單原則。最少要維持 15-20 個彼此間距在物種遷移範圍內的碎塊，以避免種群逢機絕滅的可能
- (3) 保留的區塊在棲地特性上必需保有相當的異質性的，以避免在發生較大

(區域)尺度上的逢機的環境改變時，同時被摧毀。

- (4) 巨種群的動態在時間上有延遲的效應(time delay)。因此我們其實並不能確定目前瀕危的物種有那些事實上已是走向絕滅(living dead)的巨種群。

當然我們並不是所有瀕危的物種均是巨族群，事實上在面對日益零碎化的地景時，巨種群動態的重要性或許是在保育人類日常生活環境(如人為活動強度大的農業地景)的生物多樣性上所必需考慮的(Hanski, 1998)。生態系經營強調大尺度地景上的配置與人的重要性，因此巨族群的概念是必需納入的一個考慮。

(四) 格局(context)與內含(content)

生態系並不是一個封閉的系統，相鄰的其他地景元素對其有很大的影響。在地景生態學上，所謂的格局包含了鄰接地景元素之性質、周圍相互聯接與作用的鑲嵌地景元素(區塊、廊道、網絡與基質(matrix))、區塊在地景中之區位(location)。對一個區塊體的功能與變化而言，圍繞區塊的嵌塊體較區塊本身內部的特性影響還大(Forman, 1995)。此一考慮對保育區設計上所謂的一大或數小(SLOSS)的爭論亦有相當的影響。所以在經營計畫中，不能僅僅只著眼於經營或要保護的區塊；圍繞的地景與廊道等亦必需納入考量。忽視此一概念很明顯的一個惡果即是：在台灣最近很興盛的一些大賣場，雖然其內部的購物路徑都非常流暢，但是大賣場週邊的交通卻是一個惡夢。傳統上，我們的資源管理機構其經營計畫均只局限於其行政的界限，格局(context)較內含(content)更重要的考慮要求區界鄰接的不同管轄機構必需合作，更要求在經營計畫上必需要也要互相契合。事實上，這種視野寬廣的經營計畫不僅有助於各個管轄機構經營目的的實現，有時更可以解除原有計畫上的一些限制與困難。例如對林務局的經濟林經營而言，國家公園所保護的自然區塊，即可視為林業永續經營上不可或缺的自然大區塊。同時國家公園鄰接的經濟林經營計畫中，若能保留一些聯接這些自然大區塊所需要的廊道與跳石，則亦有助於國家公園保護自然區塊內物種的目的。

四、適應性經營與其所需要的制度與組織

生態系經營強調經營的對象必需是包含人在內的大生態系(large ecosystem)，這個大生態系是由社會力所組成的(Lee, 1993)。Forman (1995)亦強調文化內聚力(cultural cohesion)是一個文明是否能夠永續的主要因素之一。體認到人可能永遠也無從確知如何達到包含人自己在內的生態系的完整性(ecosystem integrity)；適應性經營有一個簡單的理念：任何資源的政策均應視為一個科學試驗(policy is an experiment; Lee, 1993)。以從事科學試驗的方式來從事經營計畫則必需有檢討過去的政策(文獻回顧)(林曜松，個人對話)、控制處理(control)、重複等基本架構(Lee, 1993；夏禹九，1996)。但是生態系是複雜而且持續在變化的，我們可能不一定能夠在施業的尺度上有重複與控制；因此模式

的應用也非常重要的工具。依賴模式，我們可以模擬經營的結果並且可以確認知識不足的地方，以減低經營可能的錯誤風險與進一步的研究。Brunner 與 Clark(1997)則建議應採行介於控制試驗與施業的尺度之間，進行有彈性以解決疑問為目的的原型(prototype)策略。這種原型策略其尺度規模通常較小，所以一旦失敗其後果影響也較小。因為自然生態系的反應複雜，經營者應該預期會有意外的結果發生。不確定情況下的決策(decisionmaking under uncertainty)已有很完整的理論。不過目前的情況，並不需要太多的理論。大部分的原則都是常識(Loudwig et al., 1993)；例如：多樣的可能的假設、考慮多樣的解決方案、採行避險的措施(hedge)、監測結果並及時修改策略、採取可回復性的經營措施。

監測(monitoring)是不可缺少的。藉著及時的監測，經營者才能即時的發現錯誤與意外，立即修正經營計畫。不過生態系經營所強調的永續維持生態系的健康(ecosystem health)或完整性(integrity)其定義是很模糊的，並且是正方興未俟在發展中的觀念(Rapport et al., 1998)。針對一些認為監測工作是耗費過鉅、時間過長、收集太多不相關的資料等的質疑，Noss 與 Cooperrider(1994, Chap.9)清楚的解釋了監測正如同工業生產上的品管作業，是適應性經營中重要的一環。經營者與監測者的角色亦不可混淆，以確定經營的責任性(accountability)。在書中亦列舉了幾種層次的監測：執行層面的(implementation)監測、有效性(effectiveness)監測、驗證(validation)監測等。經營者必需有很清楚的具體經營目標，才有可能有適當的監測計畫。目前一些行政機關在經營計畫中，所列舉的目標常常是含混不清的。例如：在集水區治理計畫中為了溪流整治，列明將構築若干防砂壩，在計畫結束時的成果亦是完成了多少件工程等等。在經營計畫中沒有提到河川的穩定與泥砂沖蝕的減低的具體的目標，則當然也就不可能有很有效的監測了。經營計畫中所必需的控制與監測，事實上亦是目前推動在國家公園內推動長期生態研究站(long term ecological study sites)的主要目的之一。藉著這些控制區與長期監測不僅可以適時的調整國家公園內的一些具有具體經營目標的經營計畫，這些研究站所監測的長期資料更可以做為檢驗台灣地區未來經濟發展計畫對自然資源所造成的影響所需要的控制試區。

適應性經營除了具有科學上的基礎外，亦是一種社會與政治的過程(Lee, 1993; Peck, 1998)。在零碎化的地景中，管轄權與財產權的交錯，所以各個債權人(stakeholder)的互動是不可避免的。債權人當然包含了地方上的草根組織、當地居民與私人企業者等。由債權人的觀點來看，經營計畫當然必需求取與維持不同利益的平衡。規畫者、經營者、監測者、研究人員與債權人均需參與經營計畫的擬定並共同承擔失敗的責任。這種參與是有別於目前台灣環境影響評估制度下所謂的民眾參與；而與社區總體營造的精神相類似。在這個新的參與制度之下，參與者必需互相信任，願意有承擔採納新觀念的風險及接納可能失敗的不確定性。這種制度是否能夠成形，必需所有的參與者均體認到：我們別無選擇，必需協商以建立共識，否則大家均將一無所獲。同時在這個制度下，衝突是不可避免的。事實上，我們需要衝突以帶來制度與組織的改變以持續社會的發展與進步。但是無限制的衝突則會摧毀我們社會共同利益的基礎(Lee, 1993)。Lee 用以下的隱喻來

表示適應性經營與有限度的衝突二者間的關係：適應性經營是聯結科學與人的利益航向永續未來的羅盤儀；有限度的衝突如同陀螺儀則是經由務實(pragmatic)的政治程序以紀律不可免的錯誤所帶來的紛亂。Lee 並列出六項認為適應性經營能夠成功的制度條件：

- 1) 面臨不確定性卻有必需採取行動的訓令(mandate)。
- 2) 決策者意識到任何採取的行動都是試驗。
- 3) 決策者以長期的眼光來對待適應性經營的過程。
- 4) 長期且穩定的經費與制度。
- 5) 有鼓勵經由試驗以學習的組織文化。
- 6) 經營的地區已無法保持原始的(pristine)狀態。¹

簡單的說，適應性經營是在不確定的條件下永續經營自然資源的一個過程，其中包含了民主的原則、科學的分析、教育、組織機構的學習。科學的方法是一個關鍵，經由科學研究、教育、模式的預測、與經營尺度的試驗設計與分析來經營管理。

此外，適應性經營需要有一個別與傳統自然資源經營管理由上至下的官僚組織。Meidinger(1997)認為一個能成功進行生態系經營的組織應具備以下的能力：

- 1) 能協同進行彙集與分析各層級（由基因、物種、生態系、地景到國家甚至全球）的資訊。
- 2) 能協同管理分屬不同所有權或管轄權的土地。
- 3) 能體察及預期在生態及社會過程中可能會有預想不到的問題發生。
- 4) 能持續進行社會層面的對話以對社經議題建立社區共同的認知、評估替代方案的可能性、選擇執行的途徑。
- 5) 隨著知識與社會價值的改變而能調適。

總括來說，在森林與自然資源已經由以工業生產為導向轉變為提供財貨與服務的時候，這種轉變事實上是一個更廣的由工業時代轉變為資訊時代的所必需轉型。資源管理機構需要由傳統的上層集權(top-heavy)、思想保守 (insular)的官僚層級機構轉變為分權化(decentralized)及與外界整合(external integration)的機構。落實生態系經營的理念，我們需要分權化以活化基層的創造力與危機時的反應能力。我們也需要與外界的社區組織整合以達到真正的參與。

¹ Noss 與Cooperider (1994) 特別提到現(僅)存的一些老齡林(old growth forest)均應保留，不能做為適應性經營的對象。此或可做為近來棲蘭山檜木枯立木處理的參考。

五、結語

生態系經營到底是迷霧和海市蜃樓(Fritzsimmmons, 1996) , 還是資源經營上典範的轉移 (Franklin, 1997)與發展中的的哲學(evolving philosophy)(Jensen, et al., 1996) ? 由保育生物學的觀點我們並不能因為生態系經營定義的缺點與其發展尚未成熟就不嘗試去推動它 ; 因為生態系經營所強調的大尺度、系統的視野、著眼於生態系的組成、過程與複雜性、生態、經濟與文化尺度的考慮以及生態系的長期永續性的經營目標均是傳統資源經營管理上所無法顧及或已經產生了的問題。過去數年來, 國內或國外對於生態系經營所產生的許多的困惑, 有一部分是囿於傳統自然資源經營小尺度視野的限制 ; 有些則是我們傳統的執行機構由上至下的官僚體系與生態系經營理念必然衝突的結果。以美國林務署為例, 部分機構本身內部組織與人員的問題就使得生態系經營這樣 “ 美好的觀念變成醜陋的權力鬥爭 ” (R.C. Sidle, 個人對話)。而生態系經營被美國官方自然資源管理機構正式採行為機構的主流理念後, 也有流於 “ 政治正確的口號 ” (P.F. Fflliott, 個人對話)。台灣的社經、政治与自然環境與美國當然有著很大的差別, 台灣到底有沒有進行生態系經營的條件, 其答案恐怕也如此次研討會的主題: “ 生物多樣性的保育 ” 一樣, 隨風而行等待我們去追尋 – “ The answer is blowing in the wind ” 。

六、參考文獻

- 洪富文, 1993 新林業: 森林生態系的經營, 台灣森林資源的永續經營研討會論文集, 林試所林業叢刊45號, 129-143。
- 洪富文, 1994美國森林經營對時代變遷應變, 台灣林業, 20(7): 20-26。
- 洪富文, 1995 美國太平洋西北區的森林生態系經營。林業試驗所百週年慶學術研討會論文集, 181-192。
- 洪富文、馬復京、張乃航、許原瑞、游漢明, 1997 台灣森林生態系經營的展望, 兩岸林業科技發展暨實務交流研討會論文集, 林試所林業叢刊80號, 79-84。
- 姚容薰、洪怡愷、梁治文, 1997 以生態系為基礎之自然資源經營 — 向永續發展跨出一步, 台灣大學農學院試驗林管理處。
- 夏禹九, 1996 水資源匱乏下森林經營的調適, 台灣林業, 22(7):21-30。
- 馮豐隆, 1997 生態系經營理念與實務作法之研究。兩岸林業科技發展暨實務交流研討會論文集, 林試所林業叢刊80號, pp.85-105。
- Brooks, N.K., P.F. Ffolliott, H.M. Gregersen and L.F. DeBano. 1997. Hydrology and the Management of Watershed (2nd). Univ. of Iowa Univ. Press.
- Brunner, R.D. and T.W. Clark. 1997. A practice-based approach to ecosystem management. Conservation Biology, 11:48-58.
- Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D' Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner, and R.G.

- Woodmansee. 1996. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications*, 6: 665-691.
- FEMAT. 1993. Forest Ecosystem Management: An Ecological, Economic, and Social Assessment. Report of the Forest Ecosystem Management Assessment Team. USDA Forest Service, USDC National Marine Fisheries Service, USDI Bureau of Land Management, USDI Fish and Wildlife Service, USDI National Park Service, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Fitzzismmons, A.K. 1996. Sound policy or smoke and mirrors: Does ecosystem management make sense? *Water Resources Bulletin*, 32: 217-227.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics: the Ecology of Landscapes and regions*. Cambridge Press.
- Franklin, J.F. 1997. Ecosystem Management: An Overview. In: *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wild Resources* (M.S. Boyce and A. Haney eds.), pp. 21-53. Yale University Press.
- Grumbine, R.E. 1994. What is ecosystem management? *Conservation Biology*, 8:27-38.
- Grumbine, R.E. 1997. Reflections on "What is ecosystem management?" *Conservation Biology*, 11:41-47.
- Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, 396: 41-49.
- Lee, K.N. 1993. *Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment*. Island Press.
- Ludwig, D.,R. Hilborn and C. Walters. 1993. Uncertainty, resources exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science*, 260:17-36.
- Meffe, G.K. and C.R. Carrol. 1997. *Principles of Conservation Biology*, (2nd), Sinauer.
- Meidnger, E.E. 1997. Organizational and legal challenges for ecosystem management. In: *Creating a Forestry for the 21st Century*. (K. A. Kohm and J.F. Franklin eds.), pp. 361-379. Island Press.
- Noss, R.F. and A.Y. Cooperrider. 1994. *Saving Nature's Legacy: Protecting and Restoring Biodiversity*. Island Press.
- Peck, S. 1998. *Planning for Biodiversity*. Island Press.
- Jensen, M.E., P. Bourgeron, R. Evertt and I. Goodman. 1996. Ecosystem Management: A landscape ecology perspective. *Water Resources Bulletin*, 32: 203-216.
- Rapport, D. 1998. Need for a new paradigm. In: *Ecosystem Health* (D. Rapport, R. Costanza, P.R. Epstein, C. Gaudet and R. Levins, eds.), Blackwell.
- Urban, D.L., R.V. O'Neill and H.H. Shugart, Jr. 1987. Landscape ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *Bioscience*, 37: 119-127.
- Walters, C.J. 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*. McGraw-Hill.

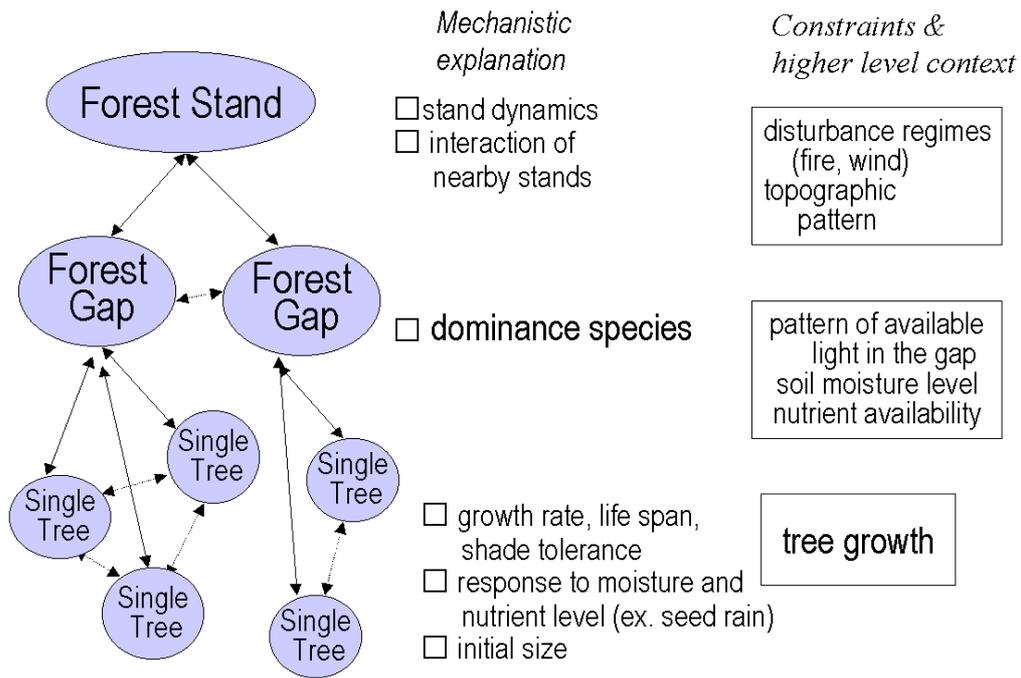


Fig. 1. 與樹種組成有關的層級系統。

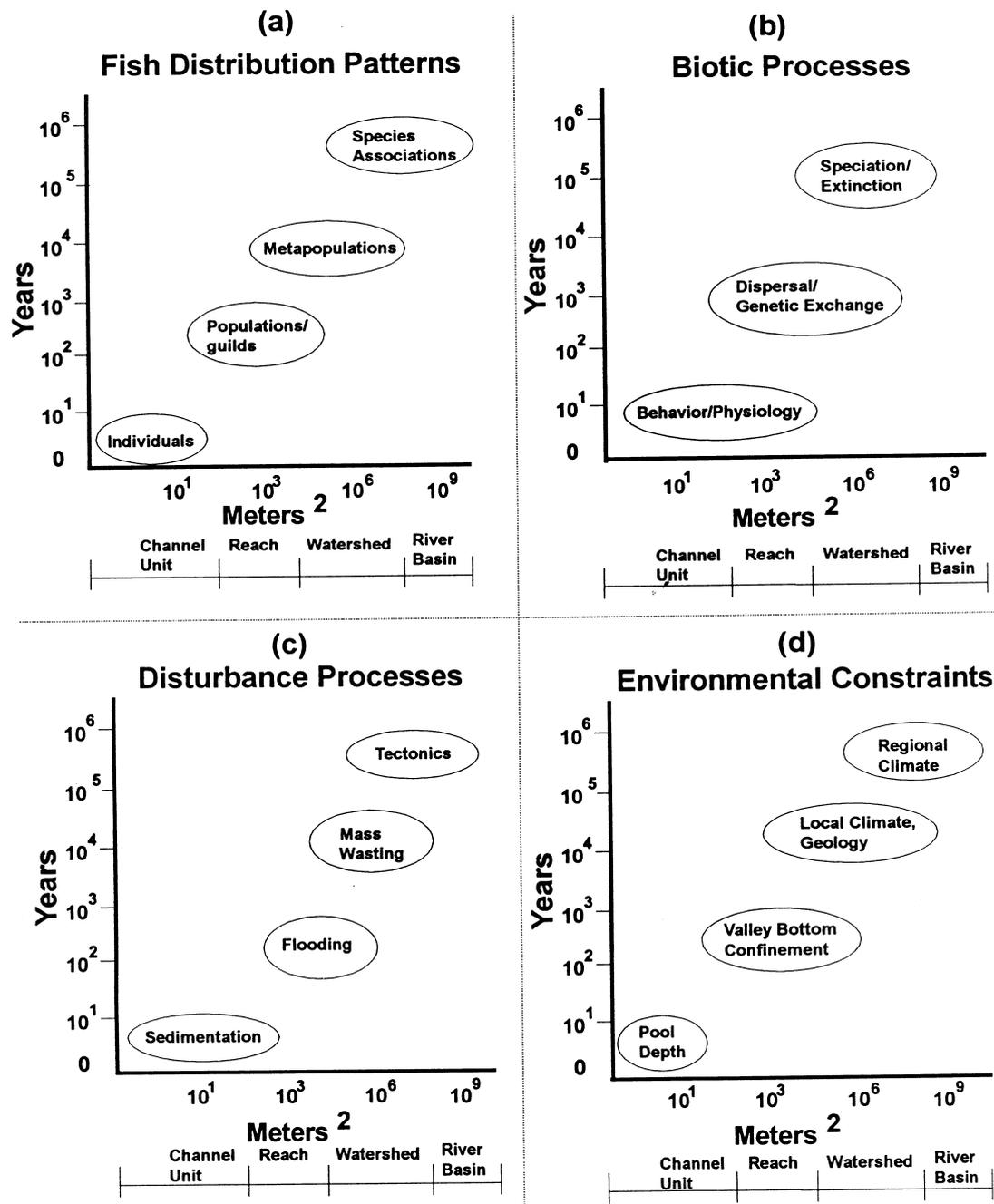


Fig 2. 形成溪流魚類物種個體、棲地分佈配置(a)的生物過程(b)、干擾過(c)與環境限制(d)因子(引自 Jensen et al., 1996)

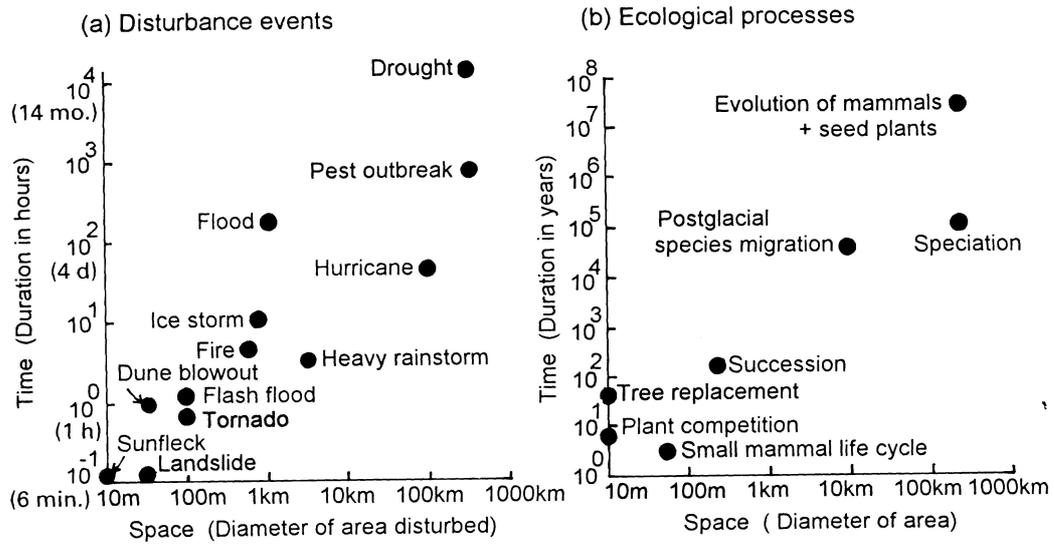


Fig. 3. 空間--時間圖示(引自 Forman, 1995)