

淺論地景生態學

黃志成¹ 馮豐隆²

一、前言

地景生態學 (Landscape Ecology 或譯景觀生態學) 是一門新興發展的科學, 簡單的說是由兩門原為獨立的學科即地理學與生態學結合產生的交叉學科。地景生態學是以地景為研究主體, 地景 (Landscape) 一詞最早係出現在“讚美詩” (the Book of Psalms) 中, 是用於描述基督教聖地耶路撒冷的美麗總體景象, 與英語中的景色 (Scenery) 和德語中的 (Landschaft) 是同意語, 分別描述了視覺上的整體美感以及整體環境中視覺上的空間總體。19 世紀初, 德國著名地理學家 von Humboldt 把地景一詞引入地理和植物科學中, 以表示地球上地理、外貌的形態特徵 (Naveh & Lieberman, 1993)。1931 年, 俄國地理學家 I.C. Bepr, 將地景定義為“物體現象的總體組合, 在此組合中; 地形、氣候、土壤、植物、動物和人類活動是一種統一而協調的整體, 典型地重複在地球一定的區域內”, 此一含義首次賦予地景的生物學含義, 使其包含了有機體及非有機體的現象 (景貴和, 1993; 寇曉軍, 1997)。至 1939 年德國地理學家 Troll 利用航空照片研究東非土地利用的問題時首次將地景和生態兩詞結合使用, 被視為地景生態學的起源, 經 Troll 幾次修改地景的定義 (Troll, 1950, 1968, 1971, 引自寇曉軍, 1997) 將其定義為“綜合了地理圈、生物圈和智慧圈的人和事物在人類生活空間中的可見實體”。以色列生態學家 Neveh 和 Lieberman(1993) 在其著作中將歐洲較重視的地景整體觀 (holistic) 加以強調, 而美國生態學家 Forman 和 Godron(1986) 則給予漸受重視的地景定義: 以類似形式重複出現之相互作用的生態系統所組成的異質性陸地區域, 此處所指的生態系統常發生在數公里至數百公里的範圍內, 而地貌過程、生物定居和干擾作用等三種機制運轉的結果, 形成了地景的發育 (landscape development)。

地景生態學是地理學生態學之間交叉學科, 研究地景的空間結構、內部功能及其在空間及時間中的變化情形, 特別是人類與地景相互作用和協調的問題。地景生態學的發展一般被認為起源於德國, 自 19 世紀初地理植物學家 von Humboldt 將地景觀念融入地理植物學中, 引發前蘇聯地理學中的地景地理學派 (陳昌篤等, 1993), 至 1939 年德國地理學者 Troll 提出地景生態學一詞後乃形成一獨立的學科, 時至第二次世界大戰後基於歐洲戰後重建之需, 許多國家展開了土地資源調查、開發利用和相關研究; 使中歐地區成為地景生態學研究的主要地區。其中德國、荷蘭和捷克斯洛伐克尤其活絡, 並在 1968 年於德國召開了“第一次地景生態學國際學術研討會” (陳昌篤等, 1993), 美國在 1970 年代末迅速發展地景生態學, 強調地景生態學研究的生物基礎, 並不斷提出地景生態學的基礎理論 (Forman & Gordon, 1986), 大陸地區亦自 1980 年代初產生不少地景生態學譯者, 並於 1989 年召開第一屆地景生態學術研討會 (肖篤寧編, 1993), IUFRO 亦在 1996 年 10 月於美國谷心市 (Corvallis) 與瑞崗州立大學舉辦第一屆“地景生態學應用於森林”之研討會, 凡此充分顯示地景生態學在短短數十年間的蓬勃發展。目前對於地景生態學的定義尚未有統一的認定, Troll 對地景生態學的解釋為: 綜合了地理圈、生物圈、智慧圈的人和事物在人類生活空間的可見實體, 意即針對地景中生物群落與環境間主要的、綜合性的關係及其因果關係加以研究, 這些相互關係可以從明確的分布組合 (地景鑲嵌、地景組成) 和各種大小不同等級的自然區劃表現出來 (引自景貴和, 1993)。

本文將從地景組成要素之性質、尺度性, 地景生態學中常用的結構和生態指標以及從地景變遷的角度談地景穩定性、格局和動態研究等相關問題加以說明。

二、地景要素及其尺度性

¹ 國立中興大學森林所博士
Doctor, Dept. of Forestry, NCHU.

² 國立中興大學森林系副教授
Associate professor, Dept. of Forestry, NCHU.

地景要素 (landscape elements) 是指地景中可明顯區分之具有均質性的土地分類單元，此一單元是一種生態系統，通常我們可自航空照片上辨釋出不同土地利用類型，均可視為一種地景要素，在空間上是“均質”而且“可區分”的，可能來自自然或人為引發的不同土地生態單元。

圖 1 係來自中興大學惠蓀實驗林場 1987 年航空照片，經判釋、數化後之土地利用型圖(a)及河流、林道圖(b)：

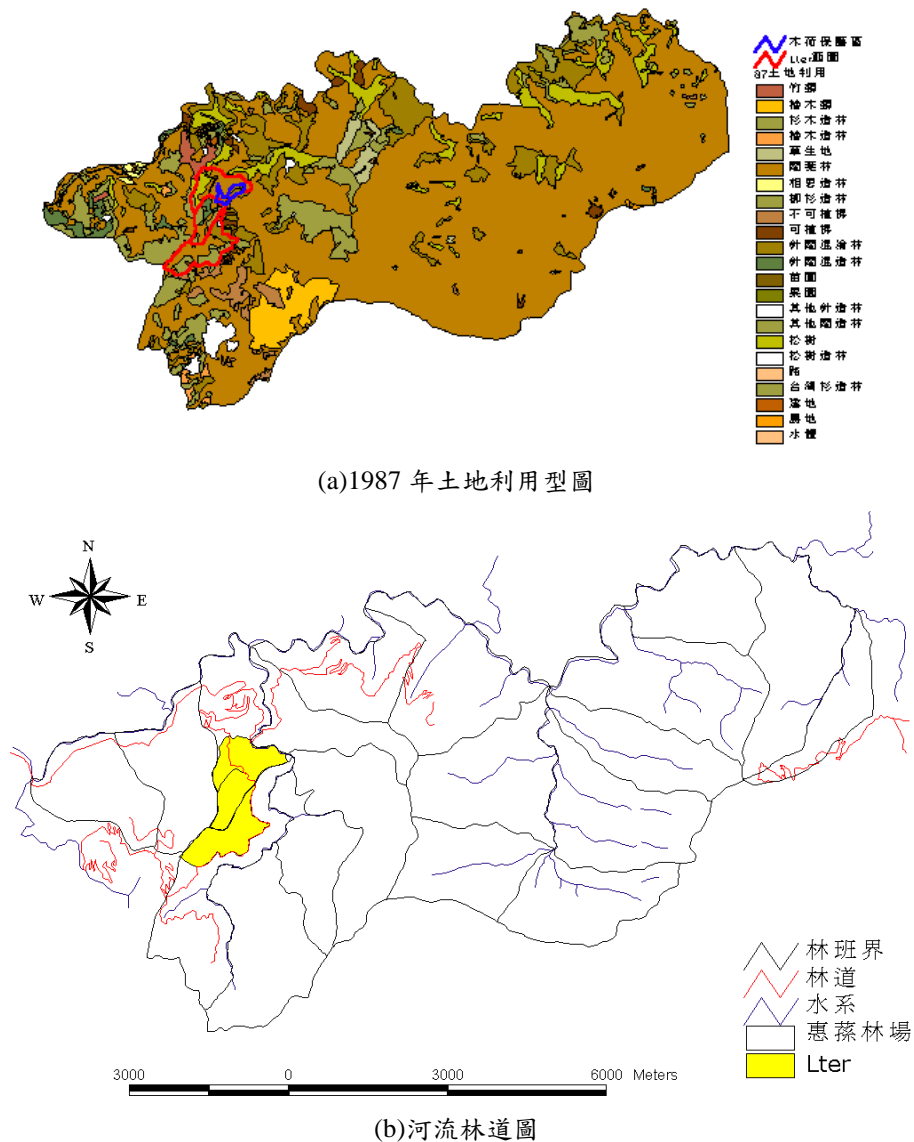


圖 1 惠蓀林場土地利用型地景主題圖及河流林道主題圖

在這一實例中，惠蓀林場可被視為一種林業地景，可識別出之地景單元，包括林地、道路、河流、建地及其他小面積的土地用類型，圖 1(a)中林地佔據了絕大部分的區域，儘管具有不同之林地地景單元，但其邊界是“可區分”的，因為各部份包含了不同的樹種，地景本身具有異質性，然其中最均質的部份則被稱為「地景骰 (tessera)」。

清楚地說，林業地景係由林地、林道、河流及建地等地景要素所組成，而林地卻可依其最小均質性之特徵再區分為杉木、台灣杉、檜木等地景骰。但是此處要強調的是地景的研究本身是具有尺度 (scale) 性的，以圖 1 來看，在最大尺度上我們可視圖 1 的地景具有林地、建地、林道及河流等四個部份，但在最小尺度上則可辨釋出更細的地景類型，如林地 a (杉木)、林地 b

(台灣杉)、林地 c (檜木)、林地 d (松樹)、林地 e....., 以及建地 a (房屋)、建地 b (停車場) 等, 在最小尺度上每種地景要素其實也是地景。所以尺度問題是一種地景觀察和研究上的空間解釋能力的水準, 圖 2 可用來說明不同生態現象的空間尺度和時間尺度關係 (Forman & Godron, 1986)。

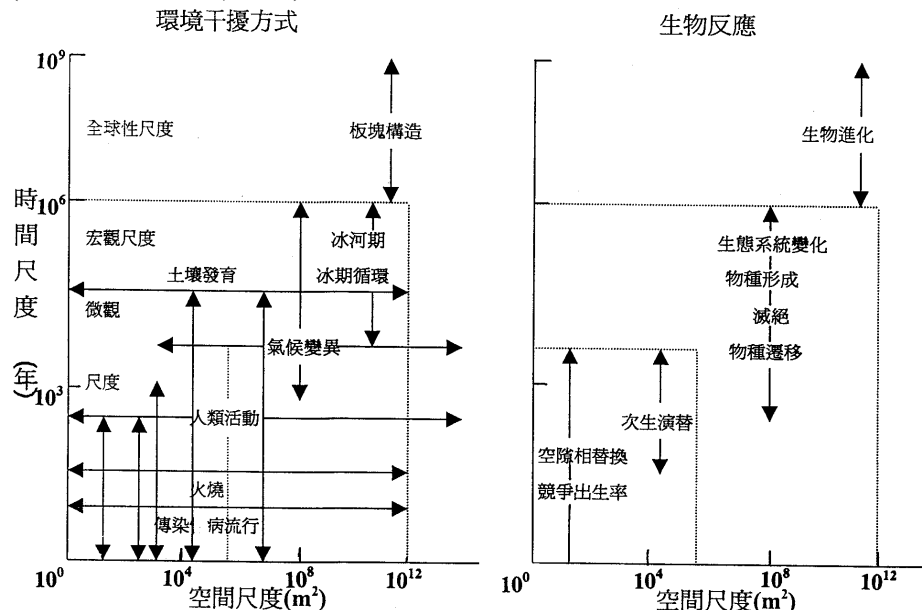


圖 2 不同生態現象之空間和時間尺度的關係 (Delcourt et al., 1983 引自 Forman & Gordon, 1986)

圖 2 指出在微觀的尺度上, 干擾 (分為自然干擾及人為干擾) 影響著物種的建立和演替; 在宏觀尺度上, 物種的遷移及生態系統之替代過程則受到區域性氣候變化的控制, 在全球性尺度上, 板塊構造、主要種群的進化及全球植被格局的發展則極為顯著, 圖 2 左圖左下方 5 條垂直箭頭表示: 野火、風害、皆伐、洪水和地震等干擾現象。

三、地景的基本結構要素

各種地景均存在地景差異性, 但是在結構上每一類地景均具有三種基本構件, 即嵌塊體 (patch)、廊道 (corridor) 及基質 (matrix), 以下即針對此三種地景基本結構作一說明:

(一) 嵌塊體

地景是一種鑲嵌體 (mosaic), 有如被不同碎片組成的畫一般, 每一嵌塊狀的單元都稱為嵌塊體, 嵌塊體在外觀上是明顯的不同於周圍環境的非線性地表區域 (圖 1 即是一例)。如果我們仔細觀察並蒐集相關的歷史資料, 可以發現地景組成單元係由下列數種來自不同起源的嵌塊體類型所組成:

1. 干擾嵌塊體 (disturbance patches): 包括來自自然 (土石流、颱風、暴雨、洪水、火災、野生動物、踐踏.....等自然變化) 及人為 (林木伐採、礦產開採、大面積造林、建築.....等) 人類活動, 甚至活動頻繁的實驗地) 的干擾所形成的嵌塊體, 圖 1 中顯示的干擾嵌塊體, 如人工林地、伐木跡地皆可屬於干擾嵌塊體的例子。

2. 殘存嵌塊體 (remnant patches): 殘存嵌塊體之成因與干擾嵌塊體適為相反, 乃是地景受干擾後殘留之嵌塊體, 最常見的是火燒後僅存之局部範圍之林地, 相同的劇烈干擾常會形成「島嶼」, 在生態學上「島嶼」與一般生態系的生態特性有著截然不同的演替路線。另一個例子是來自長期干擾所形成, 如都會區中僅存的公園或綠帶; 或外觀與殘存嵌塊體相似但來源不盡相同的再生嵌塊體 (regenerated patches), 如農地造林即為一例。圖 1 中顯示之殘存嵌塊體以第三林班松風山地區之松樹林型於火災之後殘餘之松樹林地最為明顯。

3.環境資源嵌塊體 (environmental resource patches)：嵌塊體之起源與干擾無關，地景要素的差異取決於環境資源在空間上的異質性，此種嵌塊體的分佈邊界常常存在著重疊區域，形成具有漸近變化的梯度，來自冰川活動的泥岩或裸露山脊的荒原均是一例。

4.引進嵌塊體 (introduced patches)：特別針對人類之種植，引進新物種和建立棲息地而造成之嵌塊體，與干擾嵌塊體具有相同的意義。種植嵌塊體 (planted patches) 來自人類引進栽植植物而形成，農作物、人工林、高爾夫球場等皆是，其特性是須藉人類不斷的經營管理方能占有一定的優勢，亦即藉人類的“撫育措施”減緩或防止演替的發生。另外棲息地 (home or habitation) 的引進，也普遍存在地景之中，包括房屋、廣場、停車場.....等建築物的興建 (如圖 1)，更是破壞了原有自然生態系統而建立的長期干擾。

5.短生嵌塊體 (ephemeral patches)：來自於群落間相互作用或環境因素正常而短暫的變化所引起，如林木演替過程中出現的灌木林，來自風倒木造成林緣孔隙，以及大面積飼養的畜產動物等皆是。

在某一地區遭受干擾後，研究其變化情形是生態學上最重視的問題之一，當某一類嵌塊體遭受外界干擾其間物種的變化可能從最初種群大小發生變化 (滅絕、生存或休眠)，其後殘留種群持續變化，數量可能增加而超過原種群，然後是物種的遷入和競爭，有時藉由物種數量變化、物種滅絕和物種遷徙的步驟後可能使嵌塊體與基質 (詳本文後述) 融為一體，有時則產生新的嵌塊體，這些反應的過程與機制與前述的嵌塊體來源與機制有關，以下從上述幾種嵌塊體的成因機制、物種動態和周轉過程列表比較之，如表 1 所示：

表 1：不同起源嵌塊體的比較

嵌塊體種類 項目	干 擾 嵌 塊 體	殘 存 嵌 塊 體	環 境 資 源 嵌 塊 體	引 入 嵌 塊 體 及 棲 息 地	短 生 嵌 塊 體
與干擾的關係	有關	有關	無關	有關	有關
干 擾 類 型	自然干擾 及 人為干擾	自然干擾 及 人為干擾	—	人為干擾	自然干擾 及 人為干擾
周 轉 率	高	高	低	高、低取決於人 類	高
最終可能路線	融於基質	融於基質	較難融於基質	取決於人類	融於基質
持 久 型	單一干擾低 長期干擾高	單一干擾低 長期干擾高	高	單一干擾低 長期干擾高	低
例 子	造林地 裸露地	火災殘存地	荒原、寒原	農地種植 建地	林地演替中 之灌木林

註：周轉率指嵌塊體出現和消失的速率

事實上許多地景中的嵌塊體並不能絕對的加以區分，表 1 是提供一觀念性的訊息，因為干擾的周期及長短均對不同起源之嵌塊體造成影響，必須藉由嵌塊體之生態反應 (即物種群體變化、滅絕和遷入) 來加以研究，近年來台灣林業界進行的長期生態研究 (Long-Term Ecological Research, LTER) 就是探討干擾前後生態系的基線與變化為研究方向。此外，有關嵌塊體大小 (size)、形狀 (shape)、構型 (configuration) 均是影響生態系中生態特性 (如生物量、生產力和物種組成多樣性) 的重要變量，因為嵌塊體中的物種歧異度主要取決於環境的多樣性及干擾狀況，且是地景生態學的重要前題假設之一，即是基於嵌塊體這些地景要素的特性 (如大小、形狀及構型) 影響著這些生態變數。

(二)廊道

廊道在地景中主要用途是運輸，保護和提供資源 (包括環境資源及美學資源)，廊道在地景中的基本特徵是不同於兩側基質的狹長區域，常見廊道包括綠籬、防風林帶、植被帶 (水土保持綠帶)、行道樹、步道 (含野生動物活動之小徑)、林道、堤岸、管線 (輸配電線、瓦斯管、油管)、河流 (運河、灌溉溝渠)、高速公路及鐵路等。從這些廊道不難理解前述的三項主要功能，河流、道路具有運輸價值，綠帶及廊道構成的複雜網脈可以

提供野生動物棲息及蔽敵環境等保護價值，防風林帶或森林綠帶常是炭薪材及林產物等資源重要來源，另外綠籬等林帶也是森林遊憩及地景美學中重要的部份。

廊道的起源基本上與嵌塊體是類似的，包括：

1. 干擾廊道：如鐵、公路。
2. 殘存廊道：森林伐採或火災後殘留之林帶。
3. 環境資源廊道：如河流。
4. 種植廊道：防風林道及行道樹等再生廊道。

另一個重要的問題是廊道的結構及生態特性：

1. 廊道彎曲度：通常道路、鐵路、運河較為筆直，廊道上的動物移動情形與廊道彎曲度有關，歐几里得距離與彎曲度不一之廊道其邊緣效應 (Edge effect) 明顯不同。
2. 廊道寬度：此一廊道結構母數與物種穿越廊道 (覓食或遷移) 有關，與廊道交接「節點 (nodes)」及「斷點 (breaks)」也至為相關，因為節點有時是動物遷徙及移動過程中的生態緩衝區，節點的大小即是物種遷移的一個限制因素，所以節點的生態意義常被獨立於廊道外單獨討論，甚至夠大的面積往往被視為嵌塊體。
3. 廊道連接度：最簡單的廊道連接度是用其單位長度上的間斷區數量來定量，廊道斷開與否與動物可到達距離及可屏障空間等生態意義有關，因此用來描述廊道空間分佈的連續性。此因子與廊道長度有關，我們可以想像不同長短的林道與不同長度的河流在地景中影響的差異，如果廊道延伸一定的距離則其間的環境往往具有某種程度的差異，簡單的說是具有環境梯度 (gradient)，此時物種之豐富度及歧異度也沿廊道有不同變化，所以具有重要的生態意義。

有時也以外觀來區分廊道為線狀廊道、帶狀廊道及河流廊道。從惠蓀林場地景中 (馮豐隆等, 1993)，我們可以明確的辨釋出林道、河流 (北港溪河系、東峰溪河系) 等明顯的廊道類型。如圖 1(b)。

以下，我們要針對三種主要廊道類型如一比較 (如表 2 所示)

表 2：線狀、帶狀及河流廊道的比較

種類 性質	線狀廊道	帶狀廊道	河流廊道
特徵	邊緣種佔優勢的狹長條帶	具有較豐富的中心內部物種的較寬條帶	分佈於河流兩側的綠帶
起源	大多為人為干擾廊道	大多為人為干擾廊道	常為環境資源廊道
實例	鐵路、公路、河堤溝渠、電力線、樹籬	多線道公路、林木疏伐帶	河流兩側緩衝林帶
功能	控制邊緣種	控制邊緣種及豐富之內部種	控制水流、礦物質及養分流動和物種流

不管是線狀、帶狀或河流廊道皆隨著地景生態學的發展而有更新一層的意義和解釋，因為許多地景生態學家逐漸研究由許多地景線性特徵連接形成的網路，包括不同類型的交叉點、間斷帶、網路節點的微氣候 (風、溫度、溼度、土壤性質等)、網狀格局 (reticulate pattern) 及網眼大小 (mesh size)。

(三) 基質

如果地景是一個自中心線剖開的細胞，則漂浮於其間的細胞器 (粒線體、葉綠體、細胞核、類醣體) 就是嵌塊體，而細胞原生質就是基質了。我們也可回顧圖 1 的惠蓀林場地景，不同的嵌塊體 (如杉木、檜木、松樹林型) 碎片鑲嵌在基質 (闊葉樹林型) 之內，儘管圖 1 可明顯的區分出嵌塊體與基質，但在某些地景有著極端的破碎程度而無法明顯區分出基質與嵌塊體，所以對地景研究而言首先似應觀察地景要素之相對比例及構型，

可以根據 Forman 和 Godron (1986) 提供的三項基質特徵來判定：

1. 通常基質面積超過其他地景要素類型的總面積。
2. 確認出較高的連接程度（指個體在空間中被兩個或兩個以上開放個體分開的程度），通常可以使用數學上連接度概念來量化。
3. 動態控制（control over dynamics，指地景要素類型之變化和周轉），基質對地景動態的控制較其他地景類型之控制為大。

所以對於尚不確定的地景構型判別基質的準則是：先計算全部地景要素類型的相對面積和連接度，當某種地景要素類型之面積遠超出其他地景類型時，該種類型則極有可能為基質，若各類地景要素之面積皆甚為接近，則連接度最高者將被視為基質，然而若第一及第二項標準均無法確定時，則必須從測量程度最高的動態控制標準來著手，此時必須有足夠時段的野外調查及歷史資料來分析方能估計出那一類型地景要素之動態控制作用最大。

基質在地景中的生態意義非常重要，我們可以從前述三項基本標準來加以討論，因為地景由地景要素組成，在地景生態學上每一地景是一個生態系統，其間動態的進行能量流動及物質循環，基質因為具有最大面積，故蘊含著最大的能流、物流及生物種流，又因為每種類型的地景要素為基質高度的凹形邊界所包圍，此間基質與被包圍之嵌塊體之邊界明顯的不同，而此邊界可起一種屏障作用（如風屏障、防火屏障等物理、化學和生物屏障），若基質完全環繞包被一孤立的地景要素時，類似“島嶼”生態系的特徵將因此而產生，有時基質的連接壓迫成一細長條帶時，甚至可形成類似廊道的功能，因此由於這些明顯的生態效應使基質之地景功能與嵌塊體與廊道有極大的差異。

四、地景結構母數及地景生態指標

地景生態學是一門尚未發展完備的學科，許多的理論仍處於經驗及因果關係的假設階段，但科學研究似不應只建立於完備而成熟的研究條件下才進行，所以將地景生態學中一部份的地景結構母數與生態指數羅列如下，以引發林業同仁們的興趣，共同投入地景生態的研究行列：

(一)嵌塊體

1. 嵌塊體面積 (A)
2. 嵌塊體周長 (P)、間距 (d_{ij})
3. 嵌塊體 (相對) 頻度 (f)
4. 嵌塊體 (相對) 密度 (λ)
5. 嵌塊體內-緣比 (interior-to-edge ratio) 或形狀指數

$$SI_i = \frac{P}{2 \times (A \times \pi)^{1/2}}$$

式中的 SI_i 表嵌塊體 i 的形狀指數， P 是嵌塊體周長， A 是嵌塊體面積。

6. 嵌塊體歧異度

$$D_i = -\sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 P_i$$

式中的 D_i 為 Shannon-Weaver 歧異度指數， P_i 表第 i 類地景單元之面積比， n 表地景單元之數目；(Pielou, 1975)。

7. 嵌塊體優勢度 (D_o ，地景單元相對頻度及相對密度之算術平均數)。

8. 嵌塊體均勻度

$$E = D_i / D_{max}$$

式中的 D_{max} 表最大歧異度指數，即 $D_{max} = \log_2 S$ ， S 表嵌塊體之種數。

9. 嵌塊體隔離度 (單嵌塊體)

$$r_i = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

式中的 r_i 是嵌塊體 i 的隔離度指數， n 是鄰近嵌塊體數目， d_{ij} 是嵌塊體 i 與任意個相鄰

嵌塊體 j 之間的距離。

10. 嵌塊體易接近性

$$a_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

式中的 a_i 是嵌塊體 i 的易接近指數， d_{ij} 是嵌塊體 i 和 n 個相鄰嵌塊體中任一個嵌塊體 j 之間沿廊道的距離

11. 嵌塊體交互作用

$$I = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{d_j^2}$$

式中的 I 是嵌塊體 i 與相鄰 n 個嵌塊體間的交互作用度， A_j 是任一相鄰嵌塊體 j 的面積， d_j 是嵌塊體 i 與任一 j 嵌塊體邊緣間的距離。

12. 嵌塊體隔離度 (多嵌塊體)

$$D = \sum (S_x^2 + S_y^2)$$

式中的 D 表地景中所有嵌塊體之隔離度指數， S_x^2 及 S_y^2 為嵌塊體 x ; y 座標之方差。

13. 嵌塊體分散度 (多嵌塊體)

$$R_c = 2d_c \left(\frac{\lambda}{\pi} \right)$$

式中的 R_c 表分散度指數， d_c 是從一嵌塊體中心到最近嵌塊體間之平均距離， λ 是嵌塊體平均密度， $R_c=1$ 表隨機分佈， $R_c<1$ 表聚集分佈， $1<R_c<2.1492$ 表規則分佈。

(二) 廊道

1. 廊道長度寬度 (1)，寬度 (w)
2. 廊道節點數 (v)，斷點數 (N_b)
3. 廊道彎曲度 (Cv)
4. 廊道構型 (密度及格局)：主要為河流廊道之密度及水系格局

(三) 基質

1. 基質面積 (A_m)
2. 孔隙度：以景觀要素個數或某種特定類型嵌塊體的密度來表示。
3. 邊形形狀：判別邊形為凹邊界或凸邊界。
4. 異質性：常用線截法調查，以信息理論分析。

(四) 網格

1. 網狀格局：以運輸理論、數學網路分析等方法
2. 網眼大小：常用單位土地面積內網路的長度來表示
3. 網路連接度

$$r = \frac{L}{L_{max}} = \frac{L}{3(v-2)}$$

式中的 r 表網路連接度指標， L 表連接線數， L_{max} 表最大可能連接線數， v 為節點數， r 介於 0, 1 之間。

4. 環線和環通度 (Loops & Circuitry)

$$\alpha = \frac{L - V + 1}{2V - 5}$$

式中的 α 表環通度指標，為實際環通路數與最大可能環通路數之比例； α 介於 0, 1 之間； L 為連接線數目， V 為節點數。

5. 兩節點之交互作用：以重力模式 (Gravity model)

$$I_{ij} = K \frac{P_i \times P_j}{d^2}$$

式中的 I 表節點 i 和 j 之交互作用指標， P_i 為節點 i 之種群大小或物體量， P_j 為節點 j 之種群大小或物體量， d 表兩點間之距離， K 表特定研究對象之常數。

(五)總體結構

1. 格局類型：分為下列 5 種：

- (1) 規則或均勻分格局
- (2) 群聚式格局
- (3) 線狀格局
- (4) 平行格局
- (5) 特定組合或空間聯結

2. 鑲嵌度：用所有干擾嵌塊體密度來量度。

3. 地景構型

- (1) 線性法 (The Line Approach)：獲取每一地景要素類型之起始位置，終止位置，分佈規律性及空間聯結性。
- (2) 網格法 (The Grid Approach)：分析地景要素和優勢種於二維空間中的水平分佈。
4. 地景對比度：以相鄰地景之彼此差異性，過渡地帶之寬窄來描述整體地景反差情形。
5. 地景粒徑：地景要素的大小粗細，以地景要素之平均直徑或面積測定之，並估算其大小的變化。
6. 地景異質性：總樣線數與某地景要素出現頻率樣線數差價程分
7. 地景流動模式：風、水、物質、聲音、土流、生物移動模式、擴散作用、布朗運動。

(六)地景變遷

前段列舉了許多描述地景結構及地景功能的指標與因子，但在許多情況下，引起景觀管理者及地景研究人員興趣是地景變遷的問題，特別是現今空間資料獲取更為快速與廣泛的時代，地景變遷已然成為地景監測上一項最重要的指標，因此本文對於地景變遷分三方來詳加說明：

1. 地景穩定性 (landscape stability)

穩定性一詞的定義是相當廣泛的，如果要描述一地景的穩定性，我們可以統計某些地景生態指標（例如地景嵌塊體歧異度或優勢度指數）在時間變化的情形，或依據調查資料繪製變化曲線 (variation curves)，同時觀察變化曲線圖的 3 項特徵；即曲線整體變化趨勢，曲線振幅及曲線波動的規則性，這些特性我們節錄了 Forman 和 Gordon (1986) 的變化曲線圖來幫助理解，如圖 3 所示：

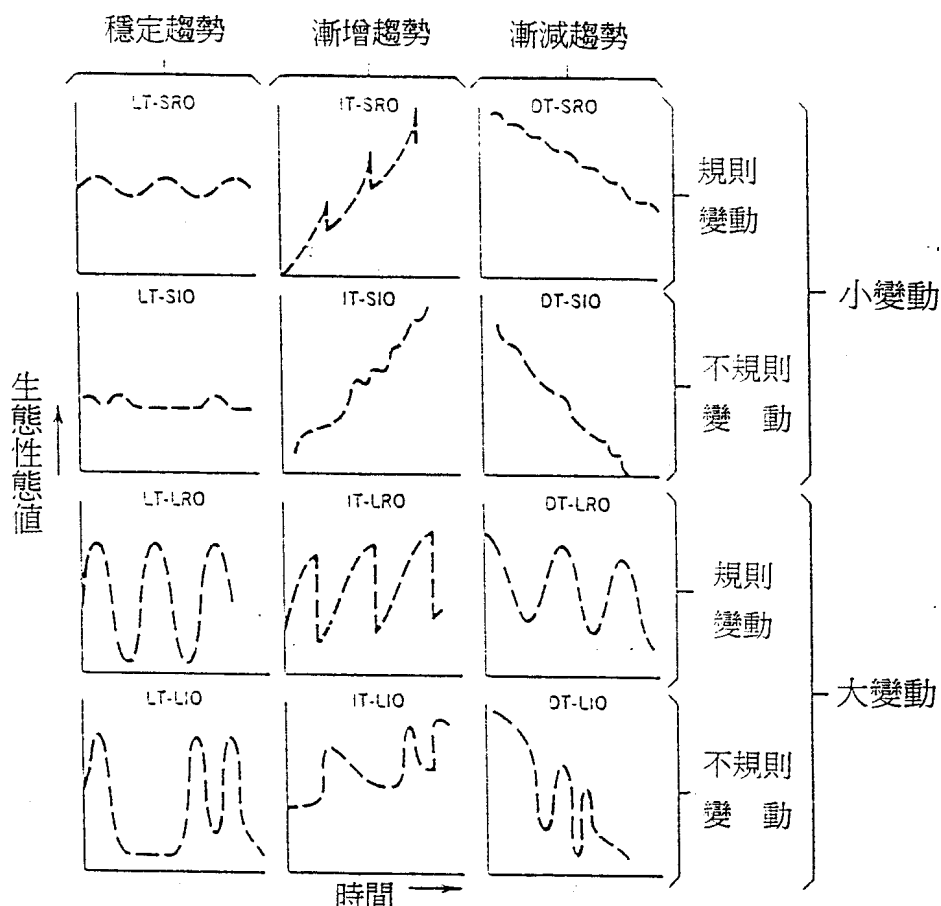


圖 3：生態系統的 12 種變化曲線圖 (Forman & Gordon ; 1986)

圖中：LT 表 Level tendency, IT 表 Increasing tendency, DT 表 Decreasing tendency, SRO 表 Small regular oscillation, SIO 表 Small irregular oscillation, LRO 表 Large regular oscillation, LIO 表 Large irregular oscillation。

不同的生態系統會有不同的變化曲線特徵，一般透過變化曲線可以概略性地描述地景的生態穩定性，當地景結構或生態母數在整體變化中呈現水平狀態；而且其上下振動幅度和其週期性具有規律性（合於統計學檢定標準）時，即可認定此地景特性是穩定的，例如圖 3 的 LT-SRO 和 LT-LRO 曲線，此處須注意的是生態穩定性顯然與生態特性的水平趨勢和波動規則性有關，振幅的高低並不受限制，而且其認定標準也應有統計意義（如時間序列分析）。基於此，我們似乎可以將地景穩定性地用結構或生態特徵在時間歷程中呈現水平趨勢而其波動幅度與週期性具有統計規律性來加以認定。除此之外，生態系統之穩定性的概念也包含了生態耐受性、持續性及恢復性，耐受性是指生態特徵對干擾的忍受程度，忍受程度愈高，穩定性愈高；持續性是指地景生態特徵在一定時期內得以保持不變，恢復性是指地景受干擾而發生變化後恢復原來狀態的潛力，有時也可透過數學模式將這些特性整合。

其實我們很難認定生態系統是否處於穩定狀態，在沒有絕對穩定的地景生態系統時生態系統穩定性認定為是一種亞穩定性 (metastability)，亦即前述的生態特徵皆處於一種沿著「期望穩定性」的中心線進行上下振盪，根據亞穩定模型 (metastability models) 可以將亞穩定型簡單區分為下列 3 種：

- (1) 最高亞穩定型：具有最高穩定性，在受干擾時有可能變成低穩定地景或維持原地景，圖 1 中的建地及道路廊道屬之。
- (2) 高亞穩定型：地景要素具有較高生物量和長生命週期的物種為其特徵，對干擾的抗性大

而恢復期很長，圖 1 的檜木嵌塊體等屬之。

(3)低亞穩定型：地景要素具較低生物量，生命週期較短，且對外界干擾幾乎沒有抵抗力，在物種更新正常的前提假設下可以從干擾中較迅速的恢復地景原貌，圖 1 草生地屬之。

由於地景是由許多處於不同型態（亞）穩定性的地景要素所構成，穩定性又與地景監測上地景變遷及地景預測有密切關係，所以地景穩定性是地景生態學研究上極為重要的一環。

2.地景格局變遷

如果我們善加利用一些製圖技巧與工具（馮豐隆、黃志成 1996）可以定量的生產不同時期的地景鑲嵌圖（在地圖學或資源調查上稱之為土地利用型圖），此時可以觀察到甲時期的某一類地景要素於乙時期時是如何取代或被取代成另一類型的地景要素，若將每一類型之地景要素在不同時期間生態特徵變化列成行列表即可成為轉移矩陣（transition matrix）了，表 3 是 1977 和 1987 年二期惠蓀林場地景要素的轉移矩陣。

表 3 惠蓀林場 1977 及 1987 年土地利用轉移量統計表

1987 年

單位：公頃

	B	C	CF	CYP	G	H	HA	HT	JF	LP	LU	M	MP	N	O	OCP	OHP	P	PP	ROAD	TCP	U	V	W	SUM	
1977 年	B	3.84	0.00	0.16	0.00	0.16	1.12	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.48	0.32	0.00	0.00	1.28	0.64	0.00	0.48	0.00	0.16	0.00	0.00	8.96	
	C	0.00	134.08	0.00	0.00	0.00	31.04	0.00	0.00	18.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	183.68	
	CF	16.32	0.00	302.72	0.00	0.64	104.96	0.00	0.32	1.12	8.32	60.16	20.80	0.00	0.00	0.32	0.00	38.08	1.92	2.88	8.64	1.60	0.00	0.00	570.72	
	CYP	5.60	0.00	12.48	6.88	0.00	7.68	0.00	1.44	0.00	0.00	10.56	0.96	0.00	0.00	6.88	0.00	3.36	0.00	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	57.92	
	G	0.00	10.72	3.52	0.00	8.64	13.60	0.00	0.32	3.36	0.00	4.16	2.24	0.00	0.00	0.00	13.76	4.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.64	
	H	12.80	37.76	81.44	2.24	62.40	4089.92	0.00	0.16	15.36	15.52	35.20	271.04	24.64	0.00	1.28	4.80	20.16	94.88	2.72	3.04	33.92	0.00	2.40	0.16	4811.84
	HA	0.00	0.00	4.96	0.00	0.00	12.48	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	1.28	0.96	1.12	0.00	0.00	28.48	
	HT	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	2.40	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	
	JF	0.64	0.00	4.80	0.00	0.00	7.04	0.00	0.00	20.32	0.00	2.56	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.52	0.00	0.00	0.00	41.44	
	LP	0.00	5.92	49.44	0.00	0.00	184.80	0.00	0.48	22.08	6.08	6.72	15.68	0.00	0.00	21.44	0.80	0.00	0.00	0.16	4.32	0.16	0.00	0.00	318.08	
	LU	0.00	0.00	8.64	0.00	0.32	48.64	0.00	0.00	0.00	27.20	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	5.76	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.52	
	M	0.00	7.36	10.72	0.00	0.00	246.08	0.00	0.00	47.68	5.12	223.68	0.00	0.00	0.00	2.56	0.00	37.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	580.32	
	MP	0.00	0.00	8.48	1.12	0.00	7.36	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	
	N	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.92	
	O	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	1.60	0.00	0.48	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	3.68	
	OCP	0.96	0.00	14.40	9.92	0.00	41.76	0.00	0.00	11.52	0.00	6.24	5.12	0.00	0.48	28.80	0.00	2.08	0.00	0.00	35.68	0.00	0.00	0.00	156.96	
	OHP	4.16	2.56	10.40	0.00	1.28	82.56	0.00	0.00	1.76	0.00	4.32	16.32	0.00	0.00	1.28	13.76	4.32	0.00	1.92	5.60	2.72	0.00	0.64	153.60	
	P	1.44	0.00	13.60	2.08	0.00	188.64	0.00	0.00	0.00	6.24	51.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	463.52	
	PP	0.00	0.00	3.84	0.00	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.00	0.00	0.00	8.48	
	ROAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	TCP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	U	0.00	0.00	0.80	0.00	0.48	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.16	0.64	0.00	0.00	3.52	
	V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

表 3 也可以相對百分比方式來表示，在轉移概率不隨時間變化的前提假設時；轉移矩陣計算可依一種機率模式——馬可夫鏈 (Li, 1995) 的數學過程來描述，此時每一景觀要素的面積周轉的軌跡可以被推估並藉以觀察其地景穩定性。

然而，地景是由不同演替階段的嵌塊體構成，其轉移概率應有某種程度的差異，亦即地景是一種長期與短期演替共存的“轉移鑲嵌體” (shifting mosaic)，圖 1 中的針、闊葉天然林與伐木跡地、裸露地、草生地之穩定性並不一致，甚至以不同林地區劃產生的地景生態系之間 (例如林場經營管理中心所在及森林遊樂區為主體的第三林班與其他林班) 也會有顯著不同的地景變化情形 (馮豐隆等, 1993)，所以如何選擇一種適切的模式量化地景鑲嵌體的變化趨勢是地景生態研究上的一大挑戰。

3. 地景動態 (landscaps dynamics) 研究

要尋找適切的模式來瞭解地景生態系統的變化趨勢，是地景動態研究的主要目的，但要解決此一問題首先面臨的是生態系統正常演替路線的確立，何種的地景變化下才是一種合理的現象，而此一標準的基線端視生態特徵是否存在穩定及平衡的狀況下，所以一地景在時間歷程中應達到何種顯著的變化才能被認定為具有“顯著變化”呢？Forman 和 Gordon (1986) 認定的條件有三：

- (1) 當某一類型的景觀要素取代原有的基質類型而成為新的基質時；
- (2) 地景中有相當比例的地景要素所占面積發生了變化；
- (3) 地景內產生一種新的地景要素，並達到一定覆蓋範圍。

我們有了地景變化的認定標準後，就必須開始尋找影響這些變因的因子，簡單的說是影響地景的干擾因素，Forman 和 Gordon (1986) 稱之為作用力，包括來自人類伐木建築及大面積農業開墾及地質變化，土石流動風化及野生動物踐踏等自然力，不同強度的干擾使生態系統有不同的生態反應，以地景異質性而言一種概念性的認知是當地景不受干擾時，地景的空間結構逐漸趨於均質化，中度的干擾會迅速增加異質性，而嚴重的干擾則可能增加或減少異質性；此一觀念表示干擾處於生態系統的耐受範圍內時地景特性的變化僅限於圍繞中心線小幅波動，尚被視為平衡狀態，當干擾的作用力達某一程度時，系統已超出其耐受範圍，即處於不穩定狀態，但仍有機會以不同速度回復至原平衡狀態，但當嚴重干擾發生景觀將無法再恢復，並隨之由新地景所取代而建立新平衡狀態。影響地景動態變化的因子無法列示齊全，在地景動態研究上必須透過不同地景本身的特性，選擇生態特徵指標並設法予以量化，但對於複雜的地景生態系統仍須有長期的監測資料庫方能瞭解地景的動態變化，進而控制及管理景觀。

五、結語

地景生態學可算是一門新興的科學，以地景為研究對象，而森林是陸地上最大的生態系，佔台灣 58% 面積，複雜的林業地景中地景生態學之研究將更形重要，本文以惠蓀林場林業地景為例，強調了地景的“航測尺度”和“空間概念”，在此使用“航測尺度”一詞是指地景的整體結構解析度是由航測資料所決定，而空間概念則是沿循自地景生態學本身強調的空間性質，這也是近年來台灣地區蓬勃發展的地理資訊系統技術發展的中心觀念，所以如何藉由航 (遙) 測資料的蒐集，獲取林業空間地景資料，再運用地景生態學的理論及地理資訊系統的空間分析特性對台灣地景詳加研究，應是未來一相當重要之研究方向。此外，地景變遷的研究誠如本文所述為地景管理上一項重要的監測指標，地景管理最為重要的是建立一套完善的監測系統，包括地景現況分析 (地景結構指標、地景生態指標的描述)，地景變遷系統的建立 (指標母數變遷的量化及檢定) 以及地景預測和模擬等三方面主題方能有效的進行地景管理。在此祈盼藉由本文粗淺的論述，引發國內林業界對地景生態學有興趣之先進與同好，一同為台灣地區變化多端的地景生態投注更多心力。

六、引用文獻

- 肖篤寧, (1993), 景觀生態學：理論、方法及應用。地景企業股份有限公司, 431 頁。
- 寇曉軍, (1997), 大興安嶺林火時空分布與森林景觀格局及其動態關係的研究, 東北林業大學博士學位論文, 97 頁。
- 景貴和, (1993), 景觀生態學的若干理論問題, 景觀生態學：理論、方法及應用 (肖篤

- 寧編)，地景企業股份有限公司，22~30 頁。
- 陳昌篤，(1993)，景觀生態學的發展任務，景觀生態學：理論、方法及應用（肖篤寧編），地景企業股份有限公司，47~60 頁。
- 馮豐隆、羅紹麟、陳英彥、許榮章、黃志成，(1993)，中興大學實驗林地理資訊系統之建立先驅計畫，中興大學森林系研究報告，115 頁。
- 馮豐隆、黃志成，(1996)，整合 GPS 與 GIS 技術於林業製圖，中興大學實驗林研究彙刊 18(1):137~150 頁。
- 馮豐隆、黃志成，(1997)，惠蓀林景土地利用之地景排列和變遷。中華林學季刊 30(4):387~400 頁。
- Forman, R. T. T. and N. Godron, (1986), Landscape ecology, John Wiley & Sons, pp.530.
- Li, B. L. (1995), Stability analysis of a nonhomogeneous Markovian landscape model. Ecological Modelling 82:p.247-256.
- Naveh, Z. and A. S. Lieberman, (1993), Landscape ecology. Spring-Verlag, New York, pp.375.
- Pielou, E. C., (1975), Ecological diversity, John Wiley & Sons, New York. p.5-17.