



# 生物特徵模式於森林植物多樣性之研究

文、圖 陳朝圳 國立屏東科技大學森林系教授兼農學院院長

張瑋尹 國立屏東科技大學森林系碩士（通訊作者）

## 一、前言

「生態學」隨著現代科技的迅速發展，在現今的二十一世紀中，儼然已進入地景生態學（Landscape ecology）的時代，許多生物資源、生態環境與生物多樣性的發展，都已漸漸融入地景生態學的範疇。地景生態學研究方法與地理學、植物學的關係十分密切，在早期的研究中，許多地景格局數據資料係以空間非連續型的變量來表示，以探討地景資料在時間與空間上的變化。然而實際上同一嵌塊體內部並非均質，且在空間上通常呈現連續性之變化，例如動植物分佈、溫度梯度、溼度變化等環境因素，在空間上呈現連續之異質性（鄔建國，2003），而空間異質性在地景中的連續性變化情形，以及其是否具有趨勢性與規律性之表現，是多數生態研究學者所欲了解的生態議題（Zenner and Hibbs, 2000）。

有鑑於生物多樣性保育的重要性，1992年6月聯合國通過「生物多樣性公約」，至西元2004年已經有188個國家先後完成生物多樣性國家策略或行動計畫。在台灣行政院永續發展委員會於2000年通過「生物多樣性行

動方案」，並積極推動生物多樣性之保育及永續利用，隔年行政院通過「生物多樣性推動方案」，之後在2002年又通過「行政院國家永續發展委員會行動計畫」，其主要目標是負責規劃及推動國內生物多樣性永續發展之基礎工作。在長期生態研究中，如何尋求一個標準方法，有效的進行長期生態監測，判定環境變遷的幅度與其影響機制是為當務之急（陳朝圳、陳正華，2003）。森林的林分結構、生物歧異度、及營林方式多取決於良好的森林經營計畫，在森林的多目標經營中，林木生產、地下水資源的維護、生物多樣性以及森林遊樂等都被認為同等的重要（Skov and Svenning, 2003）。探討生物多樣性不僅是對於單一或多物種的保存，更要考慮到生物棲息地的問題，而生物豐富度（Biological richness）是其中最重要的關鍵因子，也是生態經營管理者最有興趣的議題（Behera *et al.*, 2005）。透過生物特徵模式之分析結果，對於森林生物與其賴以維生之生態棲息地間相互關係，為森林生物資源與生物多樣性之維持提供一個有效的模式與方法，供未來生物資源研究學者對於森林生物多樣性之維持

一個有效的監測準則與指標。

## 二、前人研究

森林生態系是生物與環境綜合作用下之產物，其中養分的蓄積是構成生態系的基礎，養分一再的被循環使用，其循環的過程所產生之變化，將影響到整個生態系統是否具有完整性，所以在長期的生態系統研究中，林分生態值的量化、估算其時空分佈以及探討其與環境因子之關係有其必要性。而森林生態系經營是為目前自然資源經營的主流，透過永久樣區的試驗性經營、監測與適應性經營的調整，以提高森林生產力、增加生物歧異度以及建立森林健康的自然資源管理系統（馮豐隆，2004）。

近年來隨著地景生態學與層級理論（Hierarchy theory）的興起，許多生態研究學者注意到了地景尺度的改變將會影響地景格局的變化與分析的結果（Turner *et al.*, 1989；Qi and Wu, 1996）。早期的生態學者在研究生態議題時，常以小個體取樣方式進行樣區調查，以推估研究區域地貌之概況，但是常常因為研究的尺度較為狹小，無法對於大面積的區域進行準確性的評估，然而要推估生物多樣性以及大範圍地景的變遷，則需要求助於跨尺度訊息的轉換或尺度的推釋（Scaling）（Chen and Bradshaw, 1999；鄔建國，2003）。族群在各地景層級的考量上，其生物學特性、動態與功能、生物間之相互關係以及如何運用地景結構以維護生物多樣性，具有重要的功用，不同的地景尺度

於生物多樣性之保護亦極為重要（Norton and Ulanowicz, 1992；Wu, 1999）。另外地景分析可提供不同的定量指標來量測空間異質性以及所在地基質特徵，而在多尺度衛星影像的使用可用來解釋生物於空間上之分佈情形，具有非常高的準確度（Behera *et al.*, 2005）。

另外值得一提的是，在傳統的生態研究方法中，大面積的研究範圍不論在時間與空間上都需耗費相當多的人力與物力，現今研究方式的日新月異，針對生態系的經營，縮短調查時間以及有效的利用研究資源有其必要性。地景生態學的層級理論在生物多樣性的維持上極為重要，層級理論可以使研究學者更加考慮自然系統中的不同動態組成份子，包含植物與動物的種類，其目的是在維持生態景觀上所保護的生物多樣性（Norton and Ulanowicz, 1992；Loehle *et al.*, 2005），地景生態的研究提供合理的研究架構，討論生物多樣性的保育及土地使用的規劃等資源保育利用問題，有助於瞭解環境變遷對生態系所產生的衝擊（Hobbs, 1997）。Behera *et al.*（2005）研究東喜馬拉雅山Subansiri區之生物多樣性指出，維持棲地生物的多樣性應包括提高物種歧異度、較高度的生態系統專一性（Ecosystem uniqueness, EU）、較高經濟利用價值、多元的地形地貌以及較低的干擾程度，並透過定性及定量的假設分析，對於維持生物多樣性可提供更合理的解釋。



### 三、研究材料與方法

#### (一) 研究材料

為探討樣區內林分結構與生物多樣性之研究，首先需蒐集研究樣區內之環境與生物相關資料，以利進行樣區生物多樣性之生態研究，樣區資本資料內容包括：

##### 1. 衛星影像

衛星影像可以快速及準確的針對大面積的地景，以提供多期的地景資訊。我國與德國多尼爾衛星系統公司以及國內外知名學術機構共同研發完成之福爾摩沙二號（RocSat-2）衛星，每天對台灣及附近海域攝取解析度 2 m 的黑白影像及解析度 8 m 的彩色影像。在台灣方面的研究，可針對台灣陸地及附近海域照相，提供政府及民間進行國土規劃、農林漁資源探勘、災害評估、環境保育等應用，透過分析運算，將可獲得植物的生長勢、覆蓋度、生物量等生物相關基本資料。

##### 2. 圖層資料

以林務局1995年第三次臺灣森林自然資源調查，經由Arc/Info地理資訊系統所數化繪製之國有林林班圖以及立木圖等圖層，而數位高程是以數值化方式來表現地表三度空間之起伏變化，其取得為農林航空測量所製作之40 m×40 m數位高程（Digital elevation model, DEM）資料進行環境資料推估；另利用林業試驗所所調查之高山土壤資料建立研究區之各項土壤理化性質及植生狀態等數化圖層資料。

#### (二) 生態樣區之生物特徵模式分析

為取得研究區域生物多樣性與林分結構

之準確性及完整性，擬於研究區域內選定若干樣區進行研究目的之生態調查，期以能夠對於研究樣區之各林分生態值與生物多樣性做全方位之探討，並且針對前人之研究調查資料給予資料修正與補強，以強化研究調查資料之完整性，其分析理論及模式分析流程，如圖1所示（Behera *et al.*, 2005）。

##### 1. 空間因子

空間因子包含破碎度、聚集度、孔隙度、散佈度、鄰近度等六項指標模式，透過地景分析工具予以加權計算，各指標公式如表1所示。

##### (1) 破碎度（F）

計算整個森林嵌塊體中非森林地嵌塊體數目，藉由殘存破碎嵌塊體以維持生物之多樣性，與增加脆弱嵌塊體之外部的干擾有關。

##### (2) 聚集度（P）

代表所有植群型中嵌塊體密度，經由測量研究區域內所有植群型或群集等之嵌塊體密度，結果表示較多的干擾因子可致使樣區內嵌塊體數目較多、其地景的組成結構也較複雜，聚集度有助於調節及控制物質、能量、生物體以及生物訊息在環境中的流動。

##### (3) 孔隙度（PO）

表示特定植群型中嵌塊體密度，研究樣區內特定之嵌塊體的數目或密度，而嵌塊體的大小不列入考慮，結果顯示較高的孔隙度可表示地景元素與棲息地的異質性間有較高的相關性，在較高孔隙度的地景結構可顯示，非均質性的棲息地具有較高的破碎度。

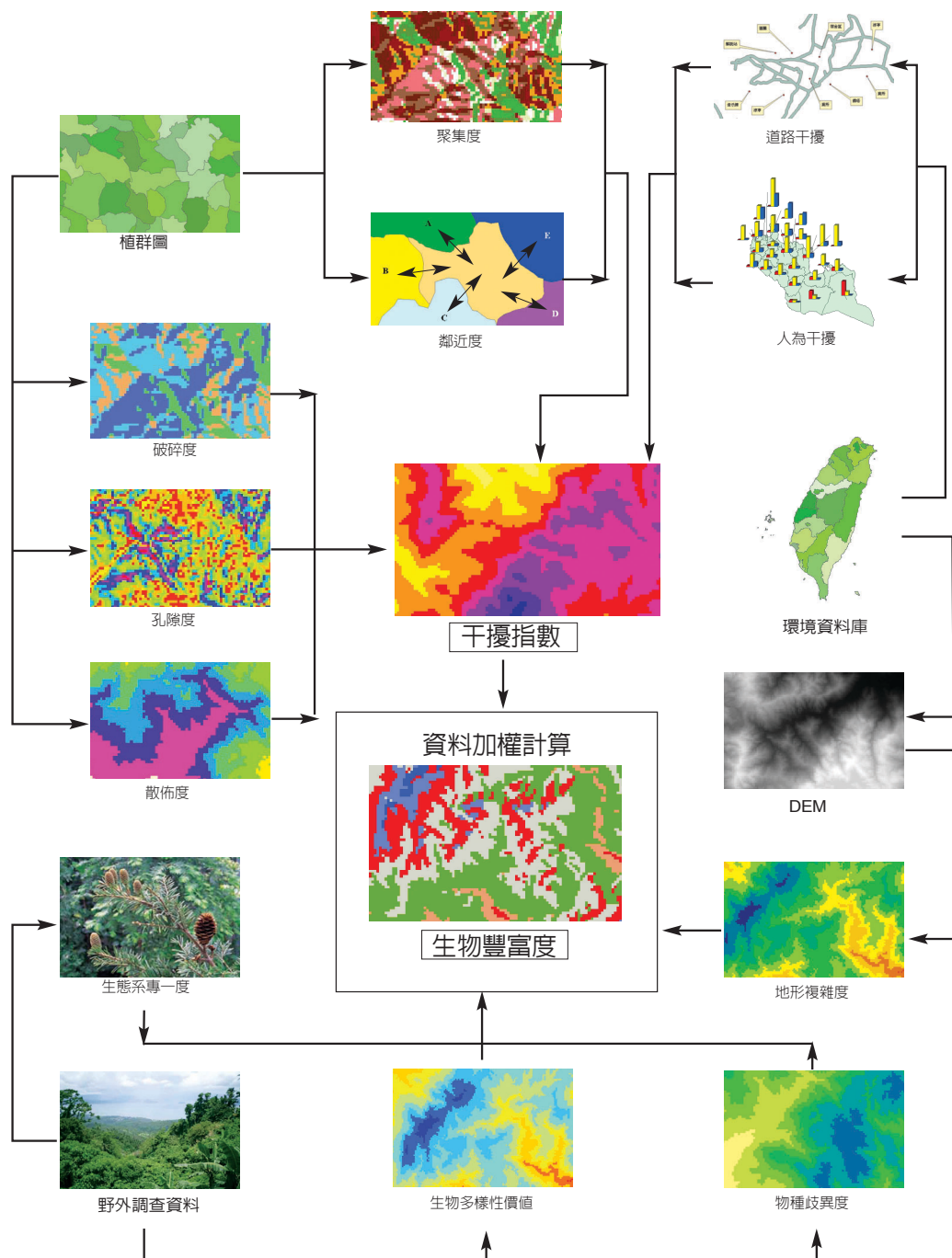


圖1 生物特徵模式分析流程示意圖 (修改自 Behera *et al.*, 2005)。

表1 生物特徵模式之空間因子各項指標公式 (Behera *et al.*, 2005)

空間因子指標	指標公式	指標公式參數
破碎度 (Fragmentation)	$F = (n-1) / (c-1)$	n為非森林地嵌塊體數目；c為研究區域內嵌塊體之總數，所得值越高表示該林地之破碎度越高，反之亦然。
聚集度 (Patchiness)	$P = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \times 100 \%$	$D_i$ 為在臨近網格間第i個網格邊界之變異值；N為相鄰網格之間的邊界數。
孔隙度 (Porosity)	$PO = \sum_{i=1}^n C_{Pi}$	$C_{Pi}$ 為第i個覆蓋度級內，該覆蓋級所佔區域內之完整嵌塊體數。
散佈度 (Interspersion)	$I = \frac{\sum_{i=1}^N SF_i}{n}$	其中 $SF_i = \frac{edge}{2\sqrt{\pi \cdot area_i}}$ 而edge為x及y方向之冠層邊界的長度； area為以第i個冠層構成第j個多邊形的面積。
鄰近度 (Juxtaposition)	$J = \frac{\sum_{i=1}^n D_i(JUX_i)}{JUX_{max}}$	$D_i$ 為野外調查資料中，每一個冠層的期望權重值； $JUX_i$ 為各樹冠層之邊緣長度； $JUX_{max}$ 為棲息地中，每單位棲地中之總平均權重。

#### (4) 散佈度 (I)

即為植群型於空間上的散佈度，是一個計算鄰近中心像元或植群型的空間混合測量法，例如：藉由冠層外觀分辨每一個冠層種類的形狀，可藉由這個指標來描述地景的差異以及物種的散佈能力。

#### (5) 鄰近度 (J)

是一個以鄰近植群為目標的測量法，藉由植群圖可探討毗鄰的兩個植群冠層類型之相對權重分配的重要性，結果顯示較高權重支配下的植群型有較多的物種，反之亦然，

可作為判斷不同物種間相鄰程度的一種指標。

#### 2. 人為因子

道路開發和人類的活動被認為是生物騷動主要的原因之一，生物多樣性經常隨著人類活動範圍距離而減少，人類活動干擾的範圍與物種歧異度的減少有著某種程度的關係，長久下來地理的隔閡與不同的歷史變遷隨之而來的是生物多樣性的瓦解。本模式先將物種歧異度分成不同影響程度，並用生物干擾度 (Biotic disturbance, B) 指標定量樣

區內不同距離內之各物種，以了解不同干擾程度下之物種豐富度。

### 3. 環境因子

生態系專一度以固有種 (Endemic) 為研究對象，為判定該樣區地位的主要標準之一，因其較依賴環境以維持他們的生存，並藉由地形限制其生活範圍，且較易受到外來干擾的傷害。樣區內之固有種可藉由研究文獻與國際紅皮書等資料得之，不同植群型內出現之固有種數，依據其樣區出現率給予權重，以提供評估生物豐富度的一個分析指標。

### 4. 物種因子

一般考量生態系統之物種歧異度時，會將物種的空間分佈與個體間變異加以考慮，而所謂的物種歧異度即為有機體生存上之空間變異，為組成生態系統的一部份，包含了種間歧異度以及物種與生態系統間的關係 (Nangendo *et al.*, 2002)，本研究利用物種歧異度 (Species diversity, *SD*) 分析環境中之物種多樣性，分析公式如下所示：

$$SD = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中，( $P_i = n_i / N$ ) 即在某環境中發現第 *i* 種物種的機率； $n_i$  為第 *i* 種物種的個體數；*N* 為該環境社會中所有物種個體數之總和。

### 5. 地理因子

利用數位高程模型計算坡度、坡向、海拔高等地理環境資訊，為三維空間視覺化分析提供基礎資料。地形複雜度在以微生育地

維持生物歧異度上扮演一個重要的角色，相對於較簡單的地形，其較易以定性及量的方式討論生物多樣性，本研究利用地形複雜度 (Terrain complexity, *TC*) 將數位高程模型模擬成之環境因子，從簡單到複雜等不同複雜程度給予權重，共分成若干個不同等級，並藉以評估地理環境的複雜性。

### 6. 生物因子

長久以來植物為人民生活必需品，人類與植物的關係息息相關，例如食品、飼料、纖維、藥品、紙張、橡膠、香料、必要的油和樹脂、染料、殺蟲劑等植物種類的重要的經濟用途，這些均可認為是生物多樣性價值 (Biodiversity value, *BV*)。可以藉由計算每一個組成要素 (例如，基因、物種、棲息地) 現在及未來的價值，其結果會直接或間接影響到人類未來對於生物資源的利用，所以有效的提升生物多樣性價值是有其必要性，其理論公式如下：

$$BV = \left[ (u_1 + u_2 + u_3 \dots + u_n) \times \frac{100}{n \times M} \right] \dots\dots(2)$$

*U* 為各物種的生物多樣性價值；*n* 為該物種可供利用種類數；*M* 為該物種之最大使用率。

透過各項特徵因子之各項分析指標，加以加權計算並以圖層套疊分析結果可得以得到干擾指數 (Disturbance index, *DI*)，並推導出生物豐富度 (*BR*)，其中  $W_{ti}$  ( $t = 0.1 - 1.0$ )，該值大小是依據數值大小給予權重，各公式加權結果整理如表 2 所示。



表2 生物特徵模式各項特徵因子之加權計算公式

	特徵因子	分析指標
A	空間因子	破碎度 (F)、聚集度 (P) 散佈度 (I)、 孔隙度 (PO)、鄰近度 (J)
B	人為因子	生物干擾度 (B)
	加權計算	$DI = [W_f(F) + W_p(P) + W_i(I) + W_{po}(PO) + W_j(J) + W_b(B)]$
C	環境因子	生態系統專一性 (EU)
D	物種因子	物種歧異度 (SD)
E	地理因子	地形複雜度 (TC)
F	生物因子	生物多樣性價值 (BV)
	加權計算	$BR = [W_e(EU) + W_s(SD) + W_t(TC) + W_b(BV) + W_d(DI)]$

#### 四、結果

當生物歧異度被列為物種尺度時，生物多樣性的維持需要維持較高度的經營尺度，尤其是地景尺度的層級。一般而言，地景多樣性與一般物種多樣性之測量方法差別不大，皆來自於收集研究物種之生態學或生物學資料（例如，棲息地的要求、群聚現象的能力以及植群型等），並為了評估不同尺度環境而發展出各自需求模式。傳統生物多樣性評估方法是透過調查已知樣區（帶）所產生之植群型列表，並利用慣用之分析法以評估生物多樣性；而生物豐富度的評估方法是藉著鏈結生物多樣性之各屬性，藉以評估生物多樣性。

生物特徵模式可以較準確及廣泛的評估大面積生態棲息地之生物豐富度，並且可快速的轉移此技術於其他需要快速求得生物豐富度之生態樣區。透過生物豐富度的分析，可降低研究成本、運用簡易的軟體計算以及有限的生態樣區調查、並僅需簡易的研究方

法及生態知識就可達成樣區之生態調查。利用圖層套疊分析結果之干擾指數圖層以及生物豐富度圖層，有助於營林者以更適合的方式進行生態系經營，可建立一個完整之生物資料庫，以供擬定及計劃生物多樣性維持之長期試驗規劃。🌱

#### 參考文獻（請逕洽作者）

