

# 淺談廊道結構及其生態功能

文、圖 ■ 陳朝川 ■ 國立屏東科技大學森林系教授兼農學院院長

張璋尹 ■ 國立屏東科技大學森林系碩士（通訊作者）

## 一、地景生態學的概念

地景生態學（Landscape ecology）最早是1930年由德國生物地理學家Troll所提出，其結合生態學與地理學的概念，將空間視為由許多地景要素（Landscape element）所組成之異質鑲嵌體（Mosaic）。近年來許多研究指出，應用地景生態學與層級理論（Hierarchy theory）等多尺度之生態學資料以研究森林動態（Forest dynamics）功能，並探討植群間的動態變化，已有增加的趨勢（Chen and Bradshaw, 1999）。而地景要素可定義為一相對均質的土地生態要素或單元，其分類依據視其研究尺度、研究目的及資料來源等條件而有所不同，地景可由嵌塊體（Patch）、廊道（Corridor）以及基質（Matrix）等三種地景要素所構成。嵌塊體是指地景空間比例尺上所能見到的最小均質單元；而廊道是具有通道或屏障功能的線狀或帶狀嵌塊體；基質則是面積最大且連接性最好的嵌塊體，往往亦是地景結構的重要組成（Almo, 1998）。其中廊道在交通運輸、生態保護、自然資源和森林美學等方面的應用，幾乎都能夠以各種方式滲透到每一個地景之中。而在廊道中最顯著的功用就是運輸、鐵路交通、高速公路和運河等是具有直接的經

濟效益，亦是提供生物通行、繁衍後代以及維持其族群生命等生理機制，以下就幾個項目來探討廊道的基本概念。

## 二、廊道的定義

首先看到的是廊道的定義，廊道由於是土地嵌塊體中極為明顯的帶狀空間結構，而廊道的功能、結構與地景的連續性有密切的關聯性。許多文獻將廊道定義為一種狹長型的帶狀棲息地，廊道的形成和地形、氣候與植被的分佈間有著密切關聯性。而廊道亦為地景景觀元素之一，它亦可被定義為不同於周邊環境的線性景觀元素，指的是不同於廊道兩側基質的狹長地帶，廊道亦可以是隔離的帶狀地帶，但通常與相似植被綠帶的嵌塊體相連而成（張啟德，1994；Pirnat, 2000）。另外廊道是在自然地景中，可以供生物遷徙的連續地帶，包括溪流、綠帶、林帶等線性環境基質（郭瓊瑩，1999；Lyon and Gross, 2005；Sinclair *et al.*, 2005）；以都市景觀觀點中的廊道，係指各種形式的道路或通道，以植物綠化後所形成具有遮蔽性的通道空間（許榮輝、徐德生，1999；Lia *et al.*, 2005；Sinclair *et al.*, 2005）。

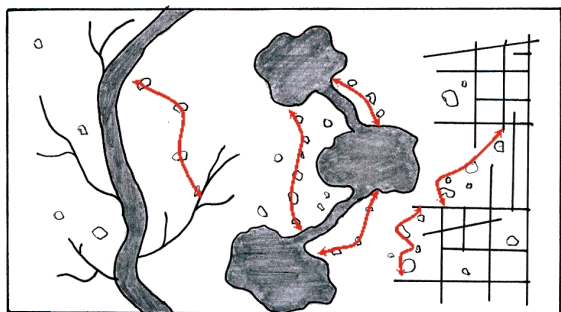


圖1 在圖中有三個不同類型的嵌塊體，分別為 (a) 溪流嵌塊體、(b) 塊狀嵌塊體及 (c) 道路嵌塊體，其間有多數小型橢圓嵌塊體，形狀類似踏腳石，故稱踏腳石系統 (夏禹九, 1996)。

### 三、廊道的分類

#### (一) 植被廊道 (Vegetation corridor)

植被廊道通常發生在線狀或帶狀空間結構之兩側，例如河谷廊道兩岸、交通廊道兩側或是綠色植群帶之兩翼，而在兩大型嵌塊體間形成的帶狀綠色緩衝帶 (Lia *et al.*, 2005)。其線型結構以不規則形狀較佳，如果植被生態系統較為完整的話，從先鋒期到成熟期的植物能夠在此穩定發展，將可提供生物更寬廣的生活腹地 (Sinclair *et al.*, 2005)。

#### (二) 踏腳石系統 (Stepping stone system)

踏腳石系統則是位於兩個以上的大型嵌塊體之間，由一連串的小型植被嵌塊體所組成，如圖1所示，許多生物可藉由此一通道遷徙至其他地區 (如紅色箭頭所在位置)。其連接程度的高低，是一個踏腳石系統是否穩定的重要因素，高連接性的踏腳石系統具有類似於廊道的作用，提供許多特殊的小型生物在空間中移動的功能 (夏禹九, 1996; Jordān, 2000)。踏腳石系統的間距為另一項

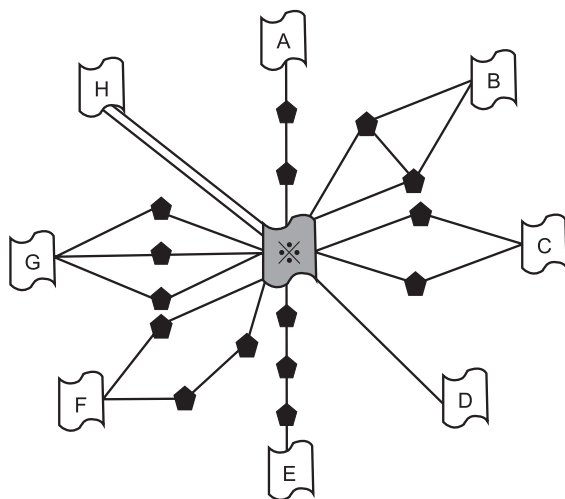


圖2 物種遷徙至適合生育地的網狀要素，中心“※”代表危急生育地、黑色區塊代表踏腳石系統、黑色線條代表廊道、A-H區塊代表不同生存生育地 (Jordān, 2000)。

重要指標，對於許多以視覺來遷徙的鳥類或哺乳動物而言，踏腳石系統間的距離必須落在它們的視線距離範圍內，才具備有連接性的功能。因此在保育上，踏腳石系統的最大有效間距，必須視不同的生物保育目標而定。

此外，Jordān (2000) 在研究報告中指出，就棲地與廊道間的關係作一比較，報告中以一類星狀體結構圖作為說明，代表物種遷徙至適合生育地的各種模擬方式，中心符號“※”代表危急生育地、黑色五角形區塊代表踏腳石系統、黑色線條代表廊道、A-H區塊代表不同類型之生存生育地，如圖2所示。

研究結果發現，遷徙至可長期生存的生育地，其由簡易至困難依序為E、A、D、F、C、B、H、G，以E區域為最容易、G區域則最不容易，其中E、A、D均屬於單一廊道，其中E區域具三個踏腳石系統，A區域具兩個踏腳石系統，D區域則無此系統，所以

具多個踏腳石系統較易於物種之遷徙；F、C、B區域均具兩條廊道，F區域中之一條廊道具兩個踏腳石系統，較C區域多一個，故F區域較C區域容易物種之遷徙，而B區域兩條廊道中的踏腳石系統，其間有另一廊道通過，其具有廊道間的”橋樑”阻斷功能，將分散物種遷徙方向；H區域雖具兩條廊道，但因無踏腳石系統的連結，故物種遷徙會受到阻礙；而G區域雖具三條廊道，但因過度分散通道，也會影響物種遷徙至合適生育地。其結果顯示良好的廊道系統須具備多數的踏腳石系統，方能提高其遷徙通道之功能，不過過多的廊道系統，亦會影響物種遷徙至它處的難易度。

### (三) 溪流廊道 (River corridor)

溪流廊道在地景生態學上所扮演的角色與機能獨特，不僅為聯絡陸域及水域間的生態交會區 (Ecotone)，亦為物種棲息與遷徙的通道，對於生物的繁衍以及生態系統的維持相當重要 (林維君, 2001)。溪流廊道為一種線型或帶狀的空間結構，常為地形所決定。狹義而言，係指河道水體及其周邊的帶狀植被；廣義而言，係指溪流兩側的空間範圍，涵蓋河道兩側的行水區、河岸帶狀植被或濱水帶、兩岸坡地及帶狀的山陵等。而溪流廊道空間可作為一種線型的棲息地，從其縱剖面可進一步區劃為河道濱水帶、河灘、堤壩以及兩岸之部分高地 (Schlosser and Karr, 1981)。就地景的生態演變過程而言，溪流廊道可隨著時間與空間的變化，可涵蓋水文流動、物質流動、生物活動及人類活動等四個方向來加以討論 (Forman, 1995)。

### (四) 交通廊道 (Transportation corridor)

另外一種逐漸成為地景中常見的空間模式為交通廊道。從地景生態觀點而言，交通廊道由於其線型空間的特性，往往與植被或河谷廊道有極大的不相容性，亦可能是為外來動植物入侵及蔓延之各地的主要管道 (Hansen and Clevenger, 2005)。交通廊道往往是一種阻隔空間，妨礙廊道兩側生物活動的結構物，亦鮮少成為人類以外的生物移動的主要廊道 (Mata *et al.*, 2005)。許多公路兩側通常植有一定寬度的原生植被保護帶，以增加交通廊道兩側生物多樣性的保護網路 (Mata *et al.*, 2005)，有些地區如墾丁地區的原生陸蟹，因生育期間母蟹須從陸域遷至海域產卵，過程中常有道路及建築物之阻隔，為避免遭行車輾斃，必要時可採取地下隧道或高架方式，即為俗稱之生態廊道，以利其後代之繁衍。

## 四、廊道的型態

廊道的分類基礎在於廊道結構的重要變項：寬度 (Width)、間斷區 (Breaks)、交節點 (Nodes)、連續性 (Connectivity) 及品質 (Quality) 等 (Forman and Godron, 1986)。而根據以上各結構變項，另外可以將廊道以外觀來分成三種類型，此三種廊道也可能相互重疊，例如邊緣物種可在這三種廊道間相互遷徙，而溪流廊道也可使溪流嵌塊體內部物種遷徙的帶狀廊道功用，各廊道依其型態分列如下：

### (一) 線狀廊道 (Line corridor)

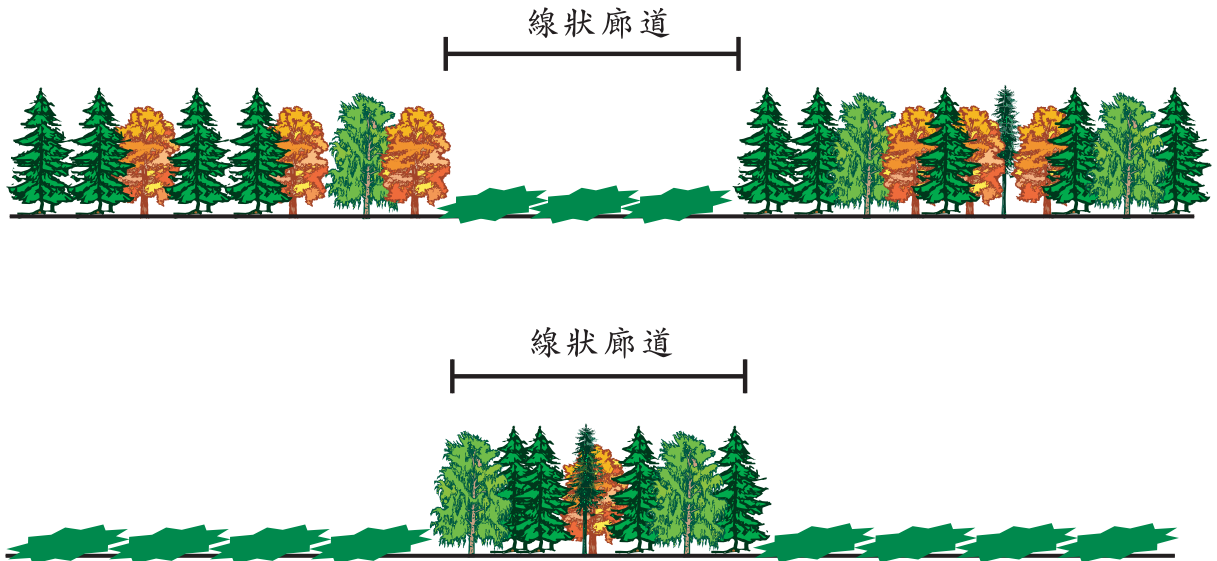


圖3 線狀廊道，位於兩森林邊緣區間之開闊區域或為兩開闊區域所挾帶之長條林帶。

係指全部由邊緣物種佔優勢的狹長條帶，位於兩森林邊緣間的開闊區，因其間空間較小，類似長條線型構造，如圖3所示，其中沒有完全局限於線狀廊道中的物種，且相鄰基質條件對於線狀廊道的物種影響較大。常見的如，道路、鐵路、河堤、水溝、運用野生動物管理之草本植物帶與灌木林帶，這些大多為人為干擾所形成之廊道，而保持這些廊道需要投入大量的人力，較為狹窄的溪流或河岸廊道也可能具有線狀廊道的結構；另外風、人類活動、物種以及土壤對線狀廊道環境和物種間有著某種程度之影響 (Hansen and Clevenger, 2005)。

## (二) 帶狀廊道 (Strip corridor)

含較豐富的內部物種且較線狀廊道寬之帶狀區域，具明顯的邊緣效應，足以包含一個小型區域環境，如圖4所示。就地景生態方面來說，帶狀廊道出現的頻率一般比線狀廊道少，通常被併為嵌塊體所討論，常見的帶狀廊道如高速公路及寬林帶等 (Hansen and

Clevenger, 2005)。除了廊道中央有內部環境外，它們與線狀廊道具有相同的特徵，多為人為干擾所形成之廊道。

帶狀廊道因距離範圍較寬，其邊緣種和內部種的多樣性是隨著廊道寬度而有不同的變化，廊道越寬其內部種將會增多 (Collinge, 1996)。許多研究報告顯示，帶狀廊道之邊緣種生物多樣性隨著廊道寬度增加到一定程度時，便會停止增加，而內部種隨著廊道寬度的增加而遞增，其變化情形如圖5所示。一個森林林帶適中的帶狀廊道，就有可能包括該地區的大多數邊緣種，但仍不能維持許多內部種及適宜的小環境。如果廊道較寬，就會有一個適宜的環境，並能維持許多的內部物種多樣性 (張啟德, 1994; Collinge, 1996)。

從圖5可以看出，寬林帶可能包含多樣的森林內部種，該群落可表現森林內部群落生物多樣性的特徵，圖中橫軸可能要延伸較長的距離，內部種曲線才能達到穩定發展狀

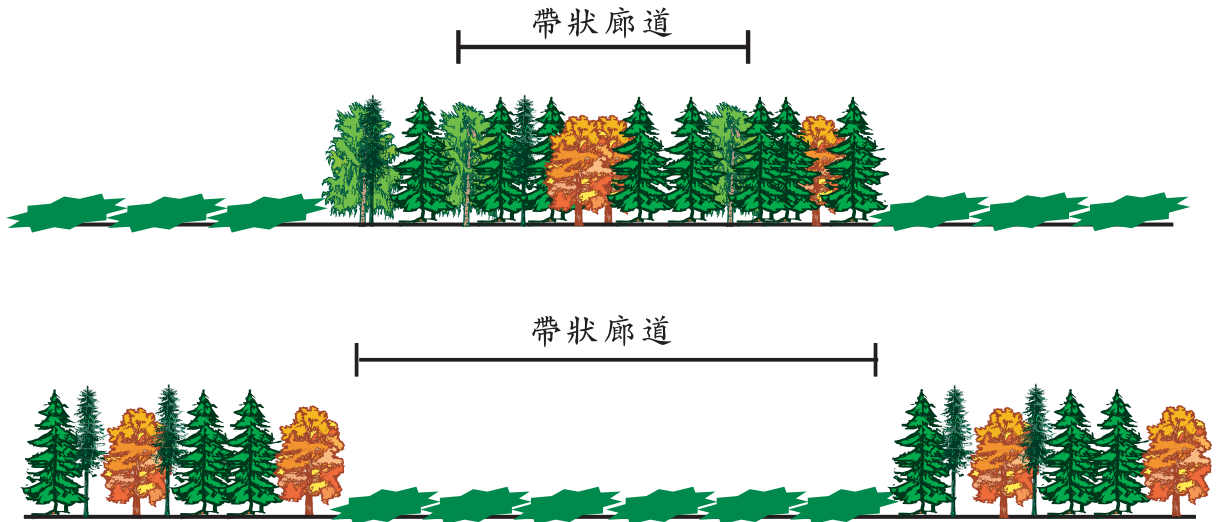


圖4 帶狀廊道，位於兩開闊區域間所挾帶之較寬林帶或為兩森林邊緣區間所夾之較開闊區域。

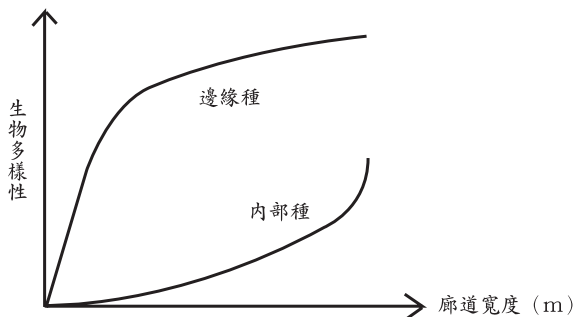


圖5 內部種及邊緣種隨廊道寬度之增加，其生物多樣性之變化情形 (Forman and Godron, 1986)。

態 (Forman and Godron, 1986)，所以維持較大範圍且完整的廊道系統，對於內部生ardi 生物多樣性之維持，有著密切的關係。Helliwell (1975) 研究英國西部Shropshire 區域灌木叢林林地草本植物多樣性時指出，當樹籬寬度小於7m時，對於內部種草本植物種類沒有明顯影響；當樹籬寬度大於12m時，樹籬內部草本植物的多樣性是窄樹籬的兩倍以上。另外Forman and Baudry (1984) 對於寬度3~20 m的30個林帶研究指出，林帶寬度對於草本植物邊緣種數量沒有明顯的影響；反之，森林內部草本植物種的基質隨廊道寬度的增大而有顯著的增加。

### (三) 溪流廊道 (River corridor)

溪流廊道已被視為提供生物遷徙至較優良棲息地的通道，提供生物繁衍的重要保育角色，而河岸濱水帶亦有控制水流和加速流域間礦物質養分流動的作用 (林維君，2001；Lowrance *et al.*, 1984；Meffe and Carroll, 1997)。溪流廊道係指沿溪流兩岸分佈且不同於兩側基質之植被綠帶，常為自然生成之天然廊道，溪流廊道的功能包括水流、礦物質養分流和物種流 (Lyon and Gross, 2005)。Lazdinis and Angelstam (2005) 研究受蘇聯共合國影響下之歐洲中西部森林河道經營模式指出，有效的經營河道決策應該注意：

1. 如何保護、復育及重建現有的溪流廊道之生態功能；
2. 政府須擬定法令政策以保護溪流兩岸之林廊，因為維護小支流及其兩岸林帶之完整，有助於整個溪流生態系生物多樣性之維持；
3. 對於溪流廊道的維護，不僅要保護溪流周遭

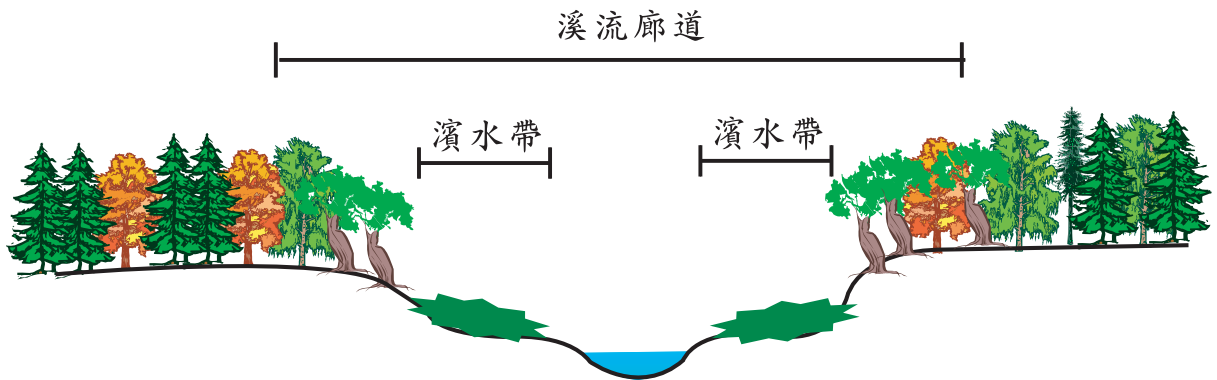


圖6 溪流廊道，應包括濱水帶、溪流兩岸及部份開闊區域。

的林帶，更要對於整個溪流濱水帶建構以及維持兩岸林帶森林覆蓋度之完整連續性。

另外在實際經營面上，對於溪流廊道功能的維護應包括：控制從高地到溪流的水流及營養流，以及促進高地森林內部動植物沿河岸的遷徙，以維護溪流廊道之生物多樣性。為實現這些目標，國外研究指出溪流廊道應包括洪水氾濫平原、兩岸及部分兩岸高地，如圖6所示。

綜合以上三種不同類型的廊道，其形狀結構相似，但其起源、結構與其生態功能不盡相同，如表1所示。

## 五、廊道結構及其生態功能

由先前所談及的廊道定義得知，廊道在景觀中的主要特性，是指所有景觀均同時受到廊道的分隔或連繫所影響，此一特性說明廊道在景觀中所扮演的角色是很重要的 (Forman and Godron, 1986)。廊道寬度會影響廊道內部物種的生存機率，並決定廊道承受來自外在人為或生物干擾的影響程度或是產生邊緣效應 (Edge effect) 的程度；踏腳石系統則非隨機性的沿廊道分佈於兩嵌快體間，是為連接不同嵌塊體間的重要通道；

廊道連續性是指廊道如何連接或空間上如何連續的量度，由於廊道內部是否有間斷區，乃為確定廊道和屏障功能效率的最重要因素 (Forman and Godron, 1986)，因此，連續性乃是廊道生態結構的主要量度。此外，廊道的寬度、間斷區、交結點、連續性、品質及彎曲度 (Curvature) 等為廊道生態結構之重要變項 (Forman and Godron, 1986)。以下接著就廊道結構與生態功能做一整合並加以說明。

### (一) 廊道結構

#### 1. 彎曲度

一般道路、鐵路、運河的曲度較為筆直，而溪流廊道則為不定，所以廊道上的生物遷徙會受到廊道曲度的影響而有所選擇。

#### 2. 廊道寬度

廊道的寬度除了影響生活在內部的物種之生存機率外，亦同時具有保護廊道內水資源及野生動植物的能力。許多研究指出，廊道寬度的量度包含範圍、狹窄處、棲地條件的改變，當廊道寬度大於12 m時，始具生態意義 (Helliwell, 1975)。

#### 3. 連續性

指的是廊道如何連接或空間上如何連續

表1 線狀廊道、帶狀廊道、溪流廊道之比較（馮豐隆、黃志成，1998）。

廊道類型	線狀廊道	帶狀廊道	溪流廊道
特徵	邊緣物種佔優勢之狹長條帶	具豐富內部種且較線狀廊道寬之條帶	沿溪流兩岸分佈之植被綠帶
起源	大多為人為干擾生成之廊道	大多為人為干擾生成之廊道	常為自然生成之天然廊道
功能	控制邊緣物種	控制邊緣物種及較豐富之內部種	控制水流、養分流動及物種流
實例	鐵路、公路、電力線、綠林帶	多線道公路或林木疏伐帶	溪流及兩側緩衝林帶

的量度，廊道的連續性是用其單位長度上的間斷區數量來定量，廊道間斷與否和生物可到達距離以及屏障空間距離等生態意義有關，可用以描述廊道空間分佈的連續性（Forman and Godron, 1986）。而評估連續性及廊道寬度對於溪流廊道的復育，可以提供有效的觀測資料，以減少溪流廊道所受到之外部干擾（USDA, 1998）。

#### 4. 梯度

連續性與廊道寬度有關，由不同長短之林帶與不同長度的溪流在地景中影響的差異中可知，若廊道延伸一定距離，則其間的環境往往具有某種程度的差異，此差異即稱為環境梯度。物種組成及相對豐富度會沿廊道寬度而產生變化，因此廊道連續性與廊道寬度具有重要之生態意義（Forman and Baudry, 1984）。

#### 5. 廊道品質

廊道的品質決定於寬度與連續性，同時也包括廊道內植群結構的考量，理想的廊道品質在理論上會有良好的植群覆蓋度、較多的生物多樣性及較少的入侵者危害。

#### （二）廊道之生態功能

由生態功能而言，健康且完整的廊道應具備以下六項功能：棲地（Habitat）、通道（Conduit）、阻隔（Barrier）、過濾

（Filter）、來源（Source）及引入（Sink）（Forman and Godron, 1986），分別敘述如下：

#### 1. 棲地

提供植物、動物及人類良好居住的環境，可提供生物賴以生存的空間。

#### 2. 通道

無阻礙之通道，可提供水、動植物及人類遷徙的通道，另一方面，其可促進某些物種穿越廊道，尤其是會對某些物種遷徙產生屏障功能之廊道，如圖7（c）所示。

#### 3. 阻隔

如果廊道的尺度如果過大或過小的話，可能會不適合某些動植物的生存，也會使動植物不易穿越，而造成阻隔的作用，如圖7（a）及7（b）中虛線所示。有些帶狀廊道可阻止物種沿著廊道或藉由穿越廊道的方式產生遷徙活動（Forman and Godron, 1986）。

#### 4. 過濾

與阻隔作用相似，廊道的過濾作用發生在植物、動物或人類身上，當其試著穿越過廊道時，其活動會受到某種程度的限制如圖7（a）、（b）、（d）中虛線所示，廊道長度是決定哪些物種受到影響的主要決定因素，有時廊道的寬度和有無中斷現象會相互影響，可過濾某些物種沿廊道遷徙的可能性。

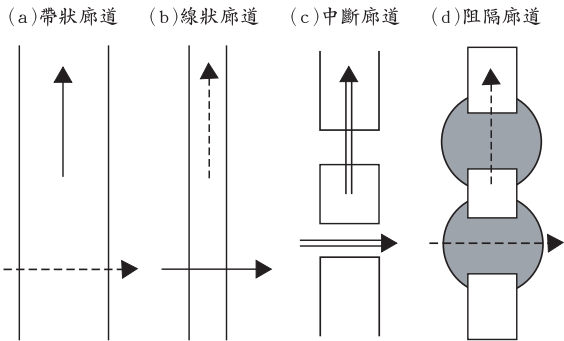


圖7 地景中廊道寬度與中斷程度對於物種遷徙之影響 (林維君, 2001)。

註：虛線代表有阻礙物種遷徙、實線代表具有促進物種遷徙作用，而雙線代表無阻礙物種之遷徙。

## 5. 來源

廊道可扮演鄰近區域"物"的來源以及水源的角色，廊道中的稀少的原生植物可以遷入人為干擾所產生之棲地內，以提供原生物種類重建棲地所需的重要來源。

## 6. 引入

當動物沿著廊道的引導進入較狹窄的區域時，可以減少其遭到捕食的機會，可作為一保護屏障，以提高其生存機會。

其中較常被探討到的為溪流廊道，以人為觀點將溪流廊道水域生態系統發展的特色，可分別歸納成溪流廊道中河岸與水域生態系統的價值與功能，即可從溪流廊道與河川水域生態系統的存在價值瞭解其重要性。

除此之外，若能維持健康的溪流廊道，則將對整體溪流的环境品質會有正面的提昇與幫助，對人類社會而言是有益處的。

從經濟上價值而言，溪流廊道的存在有助於河川水質的保護與改善，改善及淨化河川水質以提供人類社會飲用水或農業灌溉用水。溪廊內的植被與鵝卵石則能提供建築材料（石材與木材），亦具有補注土壤含水層、地下水的儲存與釋放功效 (Allan, 1995)。另一方面，對於廢水的處理可運用溪流廊道內的植物與土壤微生物進行生物自我的調節機制，分解有毒物質以淨化乾淨水質 (Lyon and Gross, 2005)。

從生態上的功能及價值而言，溪流廊道為物種遷移的重要通道，同時也提供陸生生物與兩棲生物生命維持的棲地，包括即將瀕臨絕種或生命受到威脅的物種棲地與高灘地物種的避難所，亦對於廊道內外養分的循環具有再利用及儲存的功能 (Forman, 1995；Lyon and Gross, 2005)。溪流廊道是一個可儲存大量有機物的龐大處所，對於物種的棲息、覓食、藏匿及避難等，具有重大之生態意義與功能 (Allan, 1995)。

## 參考文獻 (請逕洽作者)

