



頭前河流域生態品質與棲地零碎化分析

龐元勳*

國立台北大學自然資源與環境管理研究所 副教授

摘 要

河川流域為獨立完整的生態系統，可為自然保育的合理尺度和系統管理單元，然首須合理界定和分析流域內生態品質狀態，但因流域生態結構與功能極為複雜，有必要建立簡化分析方法。利用衛星遙測影像分析 NDVI（常態化差異植生指數），可反映陸域環境基礎生產力，應能作為生態系統品質分析重要依據。本研究針對河川流域層級結構，利用 SPOT 衛星影像分析頭前溪各子流域 NDVI 分布，並以此界定流域潛在生態品質。再依據 NDVI 分布，運用地景外形指數、距離指數、和面積指數，分析流域自然地景結構，並將其分級與評分，最後綜合為地景效應總指數，以此評估各子流域生態棲地零碎化程度。

結果顯示，此一方法程序，可合理有效研判流域整體生態品質與其空間結構，適用於流域地景尺度相關分析，應能具體應用在開發個案或政策環評、國土或區域規劃、與永續發展政策的研擬。

關鍵字：流域生態品質、NDVI、棲地零碎化、地景生態、地理資訊系統

*通訊作者：龐元勳
E-mail: yhp@mail.ntpu.edu.tw





壹、緒論

台灣社經發展與自然資源和生態環境的規劃管理，多以行政轄區為單位，長期已習於依此空間觀點看待與處理相關議題，徒增管理的困難。以流域為單位的管理，例如整合性流域管理(integrated watershed management)，在國外已愈受重視(CWM-NRC, 1999; European Union, 2000; USEPA, 2011)，乃基於流域為自然的水文物理系統和「生物物理系統(biophysical system)」(USEPA, 1996; CWM-NRC, 1999)、甚至是「生態系統」(Lotspeich, 1980; Odum, 1972; Pantulu, 1985; Petts & Amoros, 1996)的基本事實，且對自然和人文互動的系統整合管理較為有利(龐元勳、陳右達，2007)。

而人類與大自然緊密互動，任何人類行為均牽動著流域狀態，且其間問題複雜，衝擊和效應之間又經常糾結、因果互動，流域生態系統的健康或完整也因此受到諸多不利影響。而現今諸多環境評估，常著重人的利益與品質考量，環境物化品質常凌駕生物棲息的實際品質要求，實不利於生態的永續。因此，永續發展相關管理策略和規劃的基礎，除了應以生態系統的觀點來界定自然品質，流域生態系統的品質評估在做法上，或應以「棲地或生態品質」取代傳統「環境品質」觀念，方屬適當。

代表生態品質的評估中，除了「棲地品質」指標經常被運用外(Leiner, 1996)，具有「生態完整性(ecological integrity)」意涵的指標，以整合生態系統功能與結構特性來表達生態系統的綜合品質，故更具有生態品質代表性(Westra, 1995)。據此觀念所發展的河川生態品質評估系統，已由 Karr 和同僚發展多時(Karr, 1981, 1987, 1993; Karr & Dudley, 1981; Karr et al., 1987)，並已應用在許多實際的管理中(Westra, 1995)；國內亦有龐元勳(陳章波等，1999)曾發展一套以生態完整性為考量的河川整體生態品質評估系統。

1990 年代起美國大力推動流域管理政策，持續發展合理河川流域品質評估觀念和方法。美國聯邦環保署(USEPA)所建立的流域綜合評估指標系統 IWI (Index for Watershed Indicators) (USEPA, 1997)具有代表性，它根據 15 項流域指標，期完整評估水環境品質狀況與遭受衝擊的程度，作為流域管理與決策的工具，俾有利於自然水體水質的改善。指標中包含狀況或品質指標、和敏感度指標(vulnerability indicators)兩類，供作全國水環境狀況共通比較基礎，並可用於度量流域健康與生產力；並逐步加入更多的指標，包括生物完整性(biological integrity)、棲地因子、地下水、海岸狀況、和空氣污染等，同時也考量子流域之間的互動關係，故具有更完整評估效果。然而評估時混合了衝擊因素和品質因素，且因評估指標太多，資料需求太大而操作困難度頗高。此外，Markowitz (1996)亦曾提出流域全品質觀念。近年，USEPA 更積極推動健康流域(healthy watershed)和流域整合性評估





(integrated assessment)觀念與做法(USEPA, 2011)，藉由六個面向整合評估流域健康程度，包括：地景狀況、生物群聚、棲地、水化學、水文、地形過程。

流域因系統複雜度高，生態完整性的評估困難度和成本均高。發展較簡易評估方法，可作為大尺度規劃或篩選工具。常態化差異植生指數(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)為一可代表基礎生產力(primary productivity)的生態系統功能指標(Sellers, 1985; Tucker & Sellers, 1986)，且可透過衛星遙測圖檔快速分析其分佈與變化，故具有操作方便性，頗適於地景尺度分析，並作為流域生態完整品質評估的基礎。國外相關研究很多，包括 USEPA 將其作為流域健康整合評估中地景分析之用(USEPA, 2011)；國內亦已有一些相關應用研究，例如 李瑞陽、林士強(2006)、吳守從(2006)，與林務局農林航空測量所(2002)，但多數屬於植被覆蓋、土地利用或一般地景結構分析，將 NDVI 作為流域生態品質判識基礎者較少。龐元勳(2001)與翁億齡（翁億齡、龐元勳，2007）曾利用 NDVI 建構了河川流域地景分析方法，結合棲地零碎化分析，評估與分級流域生態品質分佈結構，俾便於提出較為合理有效的基隆河流域規劃管理策略。本研究將依據該分析方法，進行頭前溪流流域的生態品質評估分析。

自然資源與生態環境的規劃管理，須針對目標區分析環境衝擊與生態品質狀態，依其分佈（空間）與變動趨勢（時間），採取適當有效的管理策略或預防措失，以減輕發展帶動的不永續趨勢。本研究以頭前溪流流域為範圍，運用地理資訊系統(GIS)空間資料處理和運算功能，實際進行生態品質相關分析，其結果可作為環境影響評估、政策環評、國土規劃、永續發展政策研擬的依據。

貳、研究方法

頭前溪流流域近年因下游密集的交通建設和都市計劃帶動，發展迅速，加以上游區域各式開發，流域整體生態環境承受頗大壓力，值得深入探討其生態品質狀況。本研究過程中曾進行兩次現地踏勘，並配合資料數據的分析，深入了解流域自然與人文特色、現況與發展趨勢，以掌握其特性與問題。

為研究頭前溪生態品質狀況，首先進行 NDVI 分佈分析，以掌握流域的生態品質基本空間結構。NDVI 主要乃利用植物葉綠素對可見光的吸收原理，藉由近紅外光與紅外光波段的反射率差異加以計算，常被用來測定地表植被鬱閉度或基礎生產力，或作為衡量生態品質的指標。相關研究指出，NDVI 可反映生態系統基礎生產力的高低(Sellers, 1985; Tucker & Sellers, 1986)，而基礎生產愈大，愈能提供生態系發展的需求，代表生態棲地品質的潛能(potential capacity)較佳。NDVI 一般主要應用在中大尺度的空間分析，且可利用資源衛星圖檔以 GIS 直接分析，具有分析上便捷的優點，又可依據最新衛星圖檔隨時更新和追蹤流域動態，頗適於流域





地景尺度的生態品質評估規劃和管理。其計算公式為：

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

其中，IR 為近紅外光輻射值；R 為紅外光輻射值。NDVI 數值介於-1 到+1 之間，值愈大代表地表綠色生物量愈大，亦即表示植物生長愈旺盛，光合作用總量愈高。研究顯示，台灣地區自然森林 NDVI 大多在 0.45 或 0.50 以上，人造林次之，灌木叢與草原的值較小，非植生的雲層、水域、道路或建築等 NDVI 值則極小（林務局農林航空測量所，2002；龐元勳，2001；翁億齡、龐元勳，2007）。

又根據地景生態觀念，一片自然棲地若分裂成較小結構，例如經由森林砍伐、都市化、人為廊道建造、沙漠化、甚至農業等的空間改變，可能造成棲地零碎化 (habitat fragmentation) 的發展，透過島嶼化效應 (island effects)、擁擠效應 (crowding effects)、與邊緣效應 (edge effects) 等過程，將逐步導致生物數量減少，乃至族群滅絕，而嚴重影響生態品質 (Forman, 1995; Meffe et al., 1997)。因此，大面積的森林或自然環境若出現零碎化，並可產生擴散與遞延的不利效果，將導致整體生態品質逐漸下降。

因此，欲了解流域更真實的生態品質，尚須進一步分析棲地零碎化效應的強弱，評估生態棲地的完整性。本研究根據 NDVI 分佈結果，篩選出合理的自然地景嵌塊體，再以此分析棲地零碎化效應強度。

可用於分析棲地零碎化的指標很多，一般分為三種類型 (Perez, 2010; Rutledge, 2003)，亦即嵌塊體組成指標 (composition indicator)、形狀指標 (shape indicator)、以及代表嵌塊體間連結度與孤立性的格局指標 (patch configuration indicators) (Kindlmann & Francoise, 2008)。本研究主要考量分析的簡易性，選擇一項組成指標，二項形狀指標進行分析，由於格局指標分析操作困難度頗高，故未予納入。

(一) 外形效應指數 (Shape Index, SI)

此指標屬於形狀指標類型，乃以嵌塊體外形偏離圓形的程度為分析依據，「圓形」為最佳，其 SI 值為 1，SI 值越大，代表嵌塊體的外形愈偏離圓形，邊緣效應愈強，嵌塊體邊緣受到週邊環境的干擾機會也愈大。所依據的公式 (Laurance & Yensen, 1991) 為：

$$SI = \frac{P}{200\sqrt{\pi \times TA}} \quad P: \text{嵌塊體周長 (公尺)}、TA: \text{嵌塊體總面積 (公頃)}$$

(二) 距離 (核心至邊緣) 效應指數 (Distance Index, DI)

此亦為形狀指標類型，計算方式是以嵌塊體面積除以其周長 (Meffe et al., 1997)，面積愈大的嵌塊體，其面積與周長的比值相對較高；且同面積之下，圓形





的比值也最大。嵌塊體內任一點到邊緣的平均距離較大，核心受衝擊的程度也愈低，保育效果較佳。

$$DI = \frac{Area}{Perimeter}$$

(三) 面積效應指數(Area Index, AI)

面積效應指數為自然嵌塊體的面積總和佔所分析之地景區域總面積的比例，亦即未受干擾或破壞的自然環境所佔的面積比例，屬於組成指標類型。數值愈高，保育效果愈佳。

$$AI = \frac{Undisturbed Area}{Total Area}$$

為了綜合三項指數所造成的地景總效應，本研究最後再將三項地景指數分析結果進行標準化，並予以配分後加總，得到地景總效應評分值。

叁、頭前河流域特性與變遷

頭前河流域(圖1)位處台灣本島西北部，跨新竹縣市，總面積566平方公里。河川主流長度約63.03公里，河床平均坡降約1/190，為台灣北部主要河川之一，在竹東鎮匯流自兩大支流上坪溪與油羅溪。上坪溪發源於標高2600公尺雪山山脈的鹿場大山，流經五峰和橫山鄉，雪霸國家公園位於其最上游邊境；油羅溪發源自標高1900公尺的李棟山，流經尖石和橫山鄉。匯流為頭前溪主流後向西北流經竹東鎮、芎林鄉、竹北市、新竹市東區與北區，於南寮附近再與鳳山溪匯流約500公尺後注入臺灣海峽。



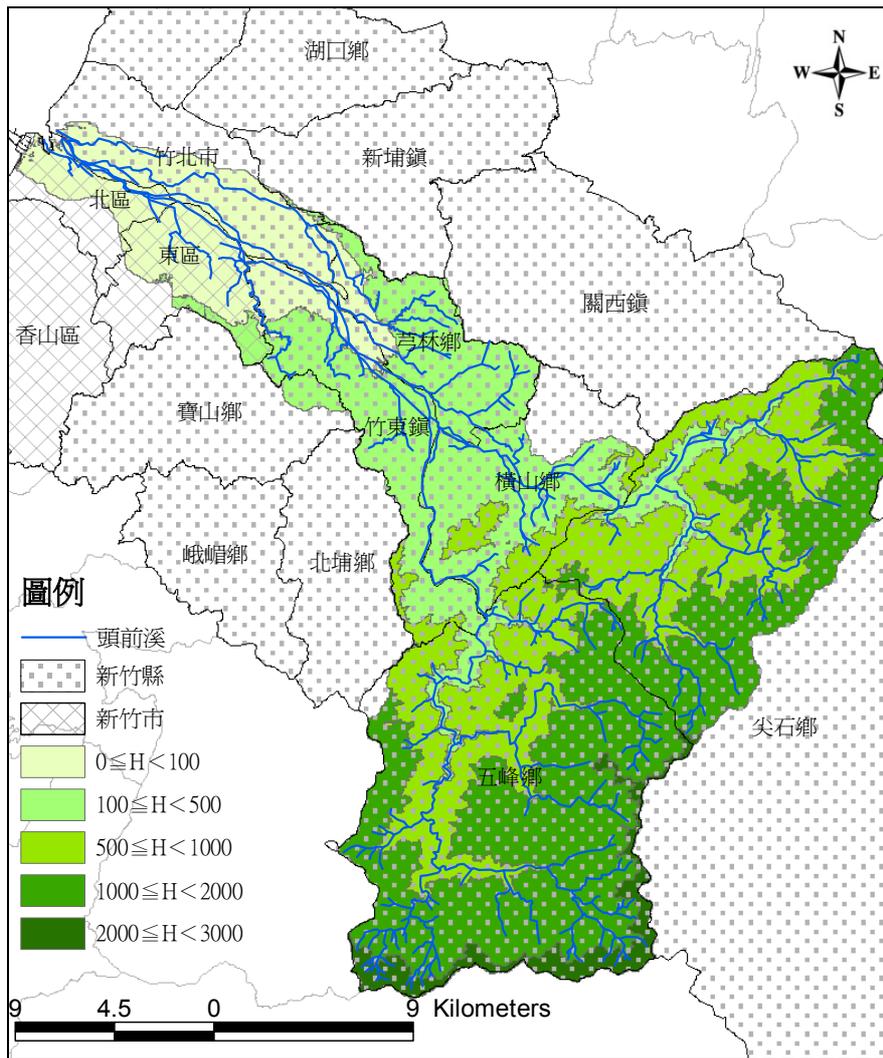


圖 1 頭前河流域地形、水文、與行政轄區分佈

一、自然環境特色

流域內地形、坡度、地質與土壤結構大致隨河川走向呈梯度變化，復因降雨和氣候季節性明顯變化，致自然環境背景多樣複雜，可成為多樣化生物棲息條件。地形以山地和丘陵為主，坡度小於 30% 區域約僅佔三成面積，適於一般開發使用區域主要分佈於下游狹窄土地。中上游山地多陡峭，平地零星狹窄，開發多沿河谷兩側進行，致河濱地常被佔用。氣候高溫多濕，冬季短暫，適於植被生長；因地形特殊結構，盛行季風長驅直入，造成下游地區獨特氣候條件，可能影響農作與地區發展，亦或為土壤風蝕和植被生長的不利因子。地質與土壤條件變化明顯，下游河岸兩側面積狹窄的鬆軟沖積土為較佳生產土地，中游附近丘陵與山地則因地質土壤條件而易發生沖蝕與崩塌。季節性降雨變化極大，夏秋季的颱風為主要年雨量來源，河川乾濕季流量差異明顯，冬季枯水期河床近於裸露，構成水資源



供給限制，亦可成爲河川生態的敏感因子。而流域呈特殊的喇叭狀，易於暴雨期間匯集上游大量逕流造成下游河川氾濫。

二、社經人文發展

流域內人口多集中於狹窄沖積平原，又以新竹市爲最。而近年竹北與竹東一帶因都市計劃而有明顯都市化趨勢，人口持續快速成長，亦帶動土地使用變遷；配合農業轉型，亦有農地逐步釋出情形。南北向高速公路、東西向快速道路、配合高鐵構成交通系統主幹，且在中下游密集發展，成爲發展有利條件，但交通網往河川兩主要支流上游山區延伸後的生態與環境效應，值得重視，所帶動的休閒遊憩可能是最主要衝擊來源。產業發展具備特殊優勢，下游高科技園區爲重要產值來源，都市化與經濟轉型亦帶動服務業的快速成長。交通網的成熟可強化此一發展優勢，但腹地狹窄與水資源供給可成爲發展主要限制。

三、自然資源與生態環境

頭前溪水質大致良好，但暴雨造成水土沖刷常帶來短期懸浮固體暴增。社經與交通發展所帶動的土地使用變化，以及中上游山區觀光遊憩及休閒農業的成長，對於河川水質與生態的影響值得注意，也對有限的水資源構成嚴重威脅。水資源自然供給條件不佳，兩座離槽水庫，即寶山與寶二水庫水源有限，且寶山水庫週邊土地使用潛藏水質風險；其共同來源的上坪溪水質雖佳，但上游集水區頗多不當開發利用，尤以河床與行水區爲最，尤須注意觀光遊憩的水質水量衝擊。目前劃設的水源保護區，其管理效果可能因區內土地開發利用而不彰。此外，亦應重視河川內取水與攔河閘的水文與生態衝擊。

流域 75%土地爲林地，其中約半數屬於最上游保安林爲主的國有林地，而近流域邊界的水源保安林面積有限；剩餘的廣大林地分布於中游與下游的山地與丘陵，其中近半在中游的原住民保留區。而森林面積雖廣，其實際品質與發展趨勢，應特別加以分析，以保障森林對流域發展的多重功能。由於自然環境的多樣化，加上廣大的森林面積，流域內野生動植物相尚稱多樣。

肆、NDVI 分析

本研究利用 ArcGIS 8.2 版的 Spatial Analyst 和 ArcHydro Tools 套件，針對研究地區的 DTM 圖檔進行流路分析、河段分析、子流域劃分以及判識河川級序與河川節點等。另以 ERDAS IMAGINE 針對 SPOT-4 衛星圖檔進行 NDVI 分析。分析時分別使用內政部營建署 1995 版 40m x 40m DTM 圖檔，以及中央大學太空遙測中



心提供之 2004 版 12.5m x 12.5m SPOT-4 衛星圖檔。分析進行的流程如圖 2 所示。

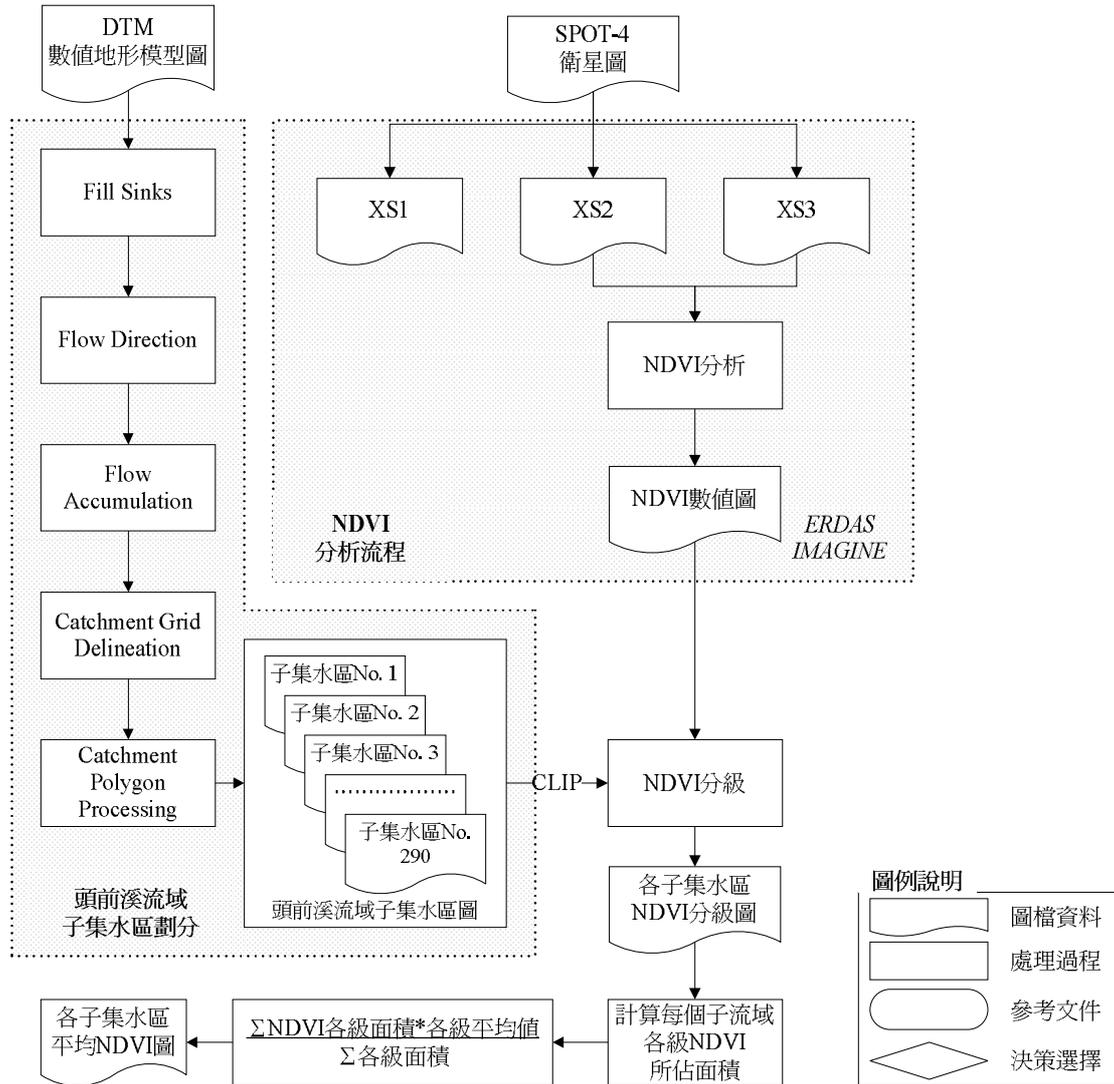


圖 2 子集水區劃分與 NDVI 分析流程

由於所使用的 SPOT-4 衛星圖檔中，部分地區有雲層遮蔽，致 NDVI 數值降低。因此，本研究將受到雲層影響的子流域，以其周圍未受干擾地區之 NDVI 平均值為準，進行干擾區校正。全部 NDVI 分佈的分析結果如圖 3。

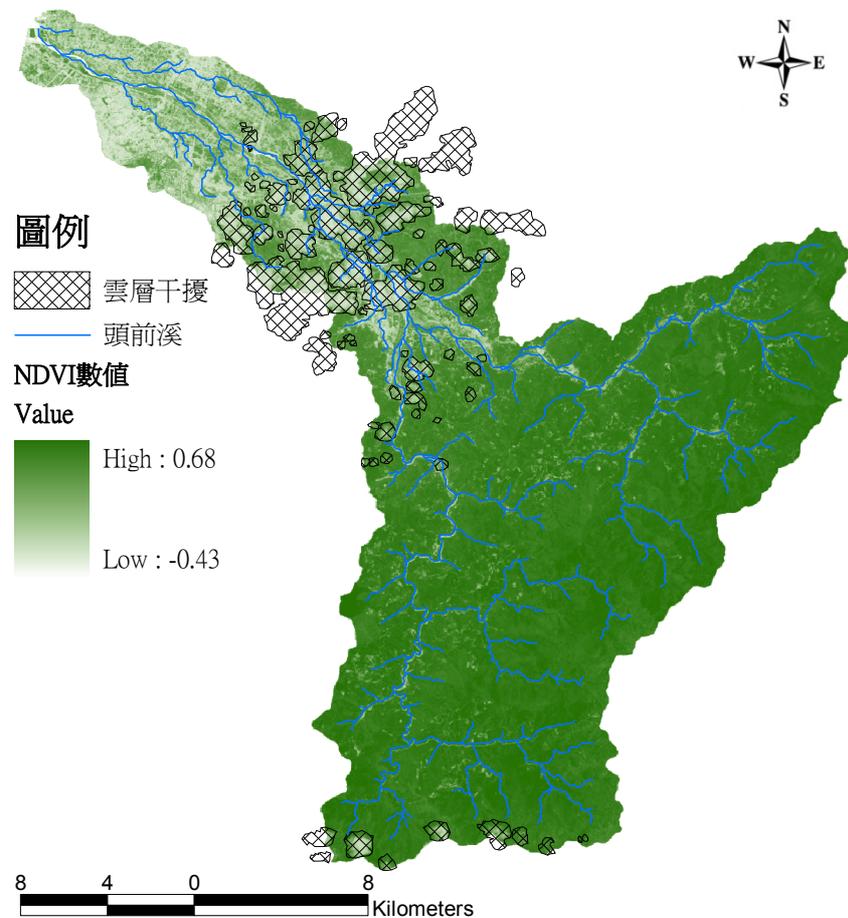


圖 3 頭前河流域 NDVI 數值分佈（校正後）

頭前河流域林地面積達 75%，且多分布於中上游山區，NDVI 分析亦顯示生態品質分布呈現往下游遞減趨勢，故生態品質應與森林分布與林相有明顯關聯。結果還顯示，流域內 NDVI 數值介於-0.43~0.68 之間。數值達 0.45 以上的區域，通常屬於較完整的自然林，多位於中上游山坡地或國有林地。

另分析顯示頭前河流域主河段為 5 級河川，而兩大支流上坪溪與油羅溪主河段分別為 4 級河川。平衡考量分析複雜度與精確度後，本研究在生態品質與零碎化分析，決定採 3 級河川子流域，並針對 16 個主要支流子流域為分析單元。而各子流域區的平均 NDVI 值計算，主要利用 ArcGIS 的 Spatial Analyst 重分類功能，將 NDVI 數值從 0 到 1 之間劃分為 100 等分，小於 0 者以 0 計算。切割子流域後，再以子流域圖進行切圖，將各子流域所有網格之 NDVI 值取面積加權平均值。分析過程如圖 2，其結果呈現為圖 4。

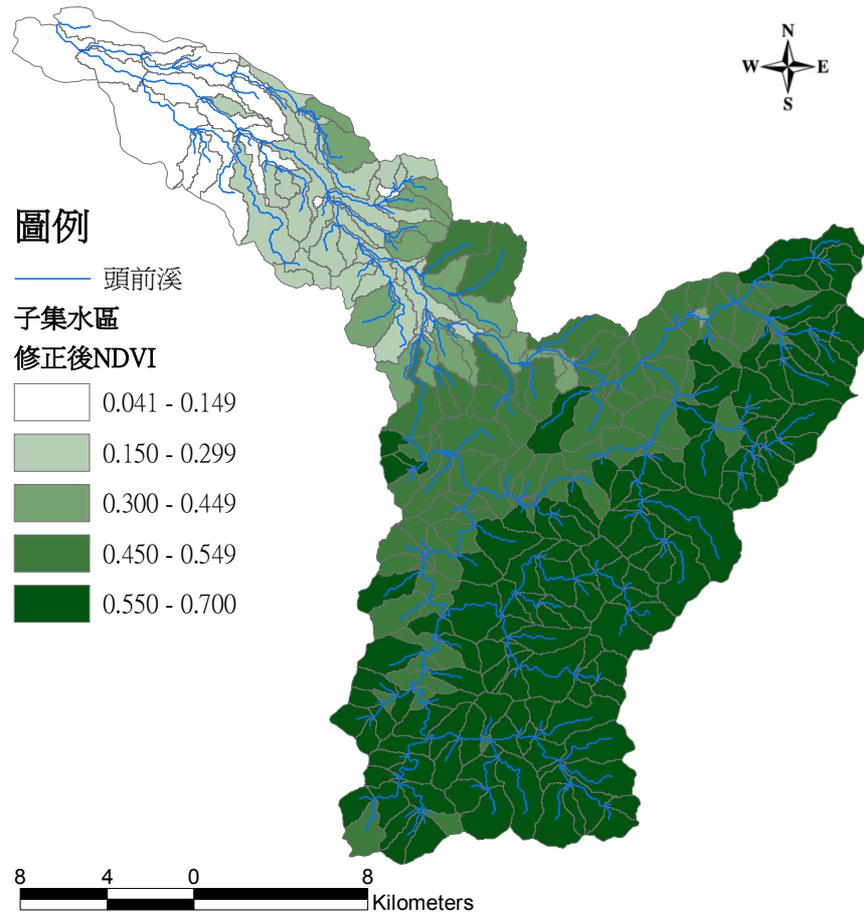


圖 4 頭前河流域各子流域平均 NDVI 值分佈

結果顯示，流域雖然林地比例很高，但 NDVI 大於 0.55 的高品質森林（包括自然林），主要分布於最上游，僅佔流域面積約三成（圖 3）；而就子流域平均值言，實際維持最佳品質狀態的僅有 3 個，且主要為近流域稜線邊緣地帶（圖 4）。

中游區域雖然局部具有大面積高品質環境，但較低品質的零星區域出現（圖 3），使得子流域 NDVI 面積加權平均值（圖 4）下降至 0.45 至 0.55 之間，突顯了該區域開發衝擊造成生態品質潛在危機。而中上游部分地區仍可發現零星區塊 NDVI 值較周邊為低，主要是沿著上坪溪、油羅溪鄰河岸的縣道 120、122 附近的開發，以及聚落、農地、觀光遊憩區所造成。中游以下，亦須注意流域邊緣的數個子流域 NDVI 平均值偏低的發展趨勢。

自主要支流上坪溪、油羅溪匯流口以下的下游區域，受到都市化發展和各式人為開發所致土地利用改變的影響，NDVI 值有明顯下降趨勢，數值多在 0.3 以下，樹林和綠地面積與地表植被鬱閉度偏低，包括河廊（河道與河濱）區域在內（圖 3），生態品質普遍不佳。

伍、棲地零碎化分析

根據國內相關研究（林務局農林航空測量所，2002；龐元勳，2001；翁億齡、龐元勳，2007），當 NDVI 的值大於 0.45 以上，多屬於生態品質較佳的自然或近自然森林，因此本研究採 NDVI 值 0.45 作為生態地景嵌塊體的低限值，以此選出大塊完整之良好生態棲地。分析過程首先將大於 0.45 以上的網格篩選出，依區位關聯彙整為可能的嵌塊體，再疊合交通路網圖和河川網絡圖，切割出各獨立嵌塊體，最後套疊子流域圖得到各子流域嵌塊體的分佈，呈現在圖 5 中並以有顏色的背景區塊表示。

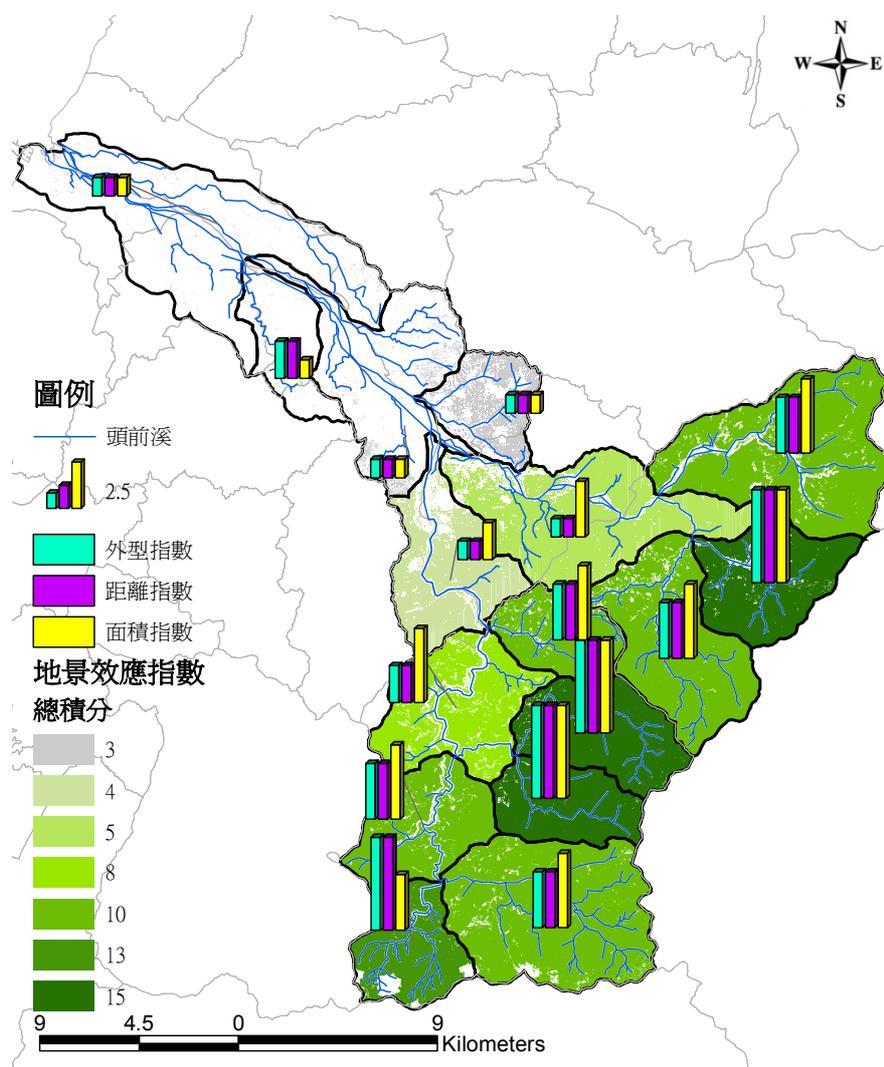


圖 5 頭前河流域三級河川子流域嵌塊體分佈，與地景效應指數分析結果

生態地景零碎化程度的分析方式，乃以 ArcGIS 針對各子流域量測計算個別嵌塊體的面積與周長，分別加總後，再依前述公式計算各子流域之 SI 與 DI 值。AI 值之計算，則以各嵌塊體為未受干擾區域，計算其在各子流域內所佔面積比例而



得。各項地景指數再經由標準化使介於 0~100 之間。由於 SI 介於 $1 \sim \infty$ ，故取 $SI' = (1/SI) \times 100$ 。DI 值則假設嵌塊體為圓形，算出在各子流域面積下的最大半徑 r' ，再將 DI 標準化為 $DI' = (DI/r') \times 100$ 。面積效應指數標準化，只須將 AI 值乘以 100。如此可得到以子流域為單元的外形、距離與面積效應指數分佈。

為了綜合三項指數以評估總地景效應，又根據每一項指數的值域範圍，依據表 1 的準則以配分方式進行分級，最後將各項指數的配分相加，得到頭前河流域每一子流域的地景總效應評分值，用以代表零碎化效應的相對強度。各子流域單元的外形、距離與面積效應的評分結果，以長條圖顯示於圖 5 中，總評分結果亦同時呈現在圖 5 中，並以背景顏色深淺表示。

表 1 三種地景效應指數分級與配分準則

等級	外形效應指數 SI'	距離效應指數 DI'	面積效應指數 AI'	配分
第一級	$SI' \geq 10$	$DI' \geq 5$	$AI \geq 90$	5
第二級	$8 \leq SI' < 10$	$4 \leq DI' < 5$	$80 \leq AI < 90$	4
第三級	$6 \leq SI' < 8$	$3 \leq DI' < 4$	$70 \leq AI < 80$	3
第四級	$4 \leq SI' < 6$	$2 \leq DI' < 3$	$60 \leq AI < 70$	2
第五級	$2 \leq SI' < 4$	$1 \leq DI' < 2$	$AI < 60$	1

結果顯示（圖 5），上游往下游地區，NDVI 大於 0.45 以上的高品質區塊數量與面積逐漸遞減，大多數下游區域完全欠缺此類區塊；同時，以此類嵌塊體為分析基礎，顯示的零碎化程度由上游至下游逐漸增高。

如果對照森林與 NDVI 的分布，又發現上游地區子流域雖然平均 NDVI 值很高，但許多已經出現零碎化現象，可能造成生態品質下降，地景效應總積分由最高的 15 分下降至 10 至 13 分，僅有接近流域稜線邊緣的少數子流域，仍同時維持高生態品質與完整結構。此一現象值得重視，應深入研究其成因，並優先採取適當的規劃或管理對策，包括針對零碎化區塊進行出入管制與自然復育等。

中游地帶依據高生態品質嵌塊體所分析的地景效應，評分值也多降至 5 至 10 分之間，零碎化造成的地景效應十分明顯，說明完整棲地的破碎化已經啟動，恐將引發更大規模生態品質的快速下降，應為管理積極介入的重點區域，其方向包括提升現有林地品質，以及建立林地間的地景網絡關聯。但因狀況複雜，值得就其實況與管理策略進行更深入研究。





而下游區域不但高品質區塊缺乏，所據以分析的地景效應評分多低於 3 分，說明自然生態環境品質已嚴重下降，少數的森林品質欠佳或面積大幅萎縮，無法提供大而完整的連續生態棲地。規劃管理上，可考慮以人煙較稀少的河廊進行人工復育開始，包括濕地重建等，並可考慮結合農地與都會綠地系統的地景功能，以長期策略逐步強化地景生態結構。

陸、結論與討論

由於 NDVI 可以代表地表植被基礎生產力的高低，疊合流域 NDVI 分析結果與流域網絡結構，再結合生態地景棲地零碎化分析，可作為流域生態品質基礎空間結構的簡易分析方法，協助研判不同流域區位生態品質和結構完整程度，以及可能的發展態勢，分析結果對於流域或國土空間永續性規劃管理頗具參考價值。

造成頭前河流域生態品質分佈以及生態棲地零碎化的成因與過程複雜，其中包括有歷史因素與生態演替過程。頭前河流域主要衝擊壓力來自下游都會化環境，但往中上游的擴展趨勢不容忽視。雖然中上游依據 NDVI 研判的生態品質尚佳，但零碎化現象已經出現，應該特別重視其成因與發展。

在地窄人稠、山多平原少的台灣，開發往往沿著河岸或交通路網而發展，因此諸多衝擊因素中，交通網形成的人為廊道，恐為首要棲地零碎化因素。而 Meffe (1997)曾指出，棲地零碎化主要肇因自棲地種類減少，或棲地分散成較小棲地，且多是由「間隙形成」(gap formation)啟動碎裂化過程。換言之，即便零星的小規模開發，亦可能逐漸擴散其效應，最終導致大規模自然棲地消失。因此，頭前流域內山地農業和近年快速發展的休閒遊憩開發，可能亦是值得重視的影響因素，尤其中上游經由公路帶來的觀光休憩活動，恐怕是生態品質衝擊重大潛因。

整體觀之，頭前河流域下游的過度發展已逐步向中上游呈梯度擴張，零碎化趨勢顯示了蠶食的過程。而各子流域生態品質變遷，除受到其內衝擊因子的影響，亦可能與其上游子流域的品質變化有關。上下游子流域間，原即具有系統關聯，優良品質的子流域，除有利於自體發展與穩定，亦有利於所連結的下游子流域；反之，則不利於下游子流域發展。零碎化導致的地景生態效應逐步擴大其影響，將可波及下游子流域。因此上游的發展和規畫管理，格外重要。

以 NDVI 輔以零碎化地景結構分析來研判生態品質，具有科學上的合理性，亦具分析便捷、資訊取得容易、可掌握動態變化等優點。此系列方法頗適用於較大流域尺度的評估或規劃管理，因此可協助空間與地景規劃、保育區規劃、或資源配置規劃；亦有助於環境影響評估，尤其是須進行全面考量的中大尺度政策環評，以及各類發展政策，包括社經、土地、水資源、保育等的政策分析與決策。





本研究所建構的分析程序與方法，較不適用於較小尺度的分析，在需要較多地景細節的規劃管理計畫時，可以再考慮加入分析上較為困難的格局指標。另雖 SI 與 DI 指標在代表嵌塊體形狀意涵上有局部重疊，但兼具兩者可產生地景分析的額外效果，不足以減損其個別代表意義，或影響整體分析結果。研究中並未考慮各項地景指標的權重差異，但基於生態特性與過程的高度複雜度，本文並不建議建構指標權重。為能擴大本方法的實務應用功能，未來亦可結合現地調查踏勘，進行此分析評估方法的實證研究。而嘗試使用更多不同的地景指標，諸如 contagion index、fractals，並在分析便捷與提高指標的代表性上均衡考量，亦是值得研究的方向。





參考文獻

- 1 李瑞陽、林士強(2006)。利用空間技術與景觀生態指數分析墾丁國家公園土地覆蓋變遷影響之研究。《地理學報》，46，31-48。
- 2 吳守從(2006)。應用 SPOT 衛星影像結合植生指標與地景指數評估墾丁國家公園各景點生態環境壓力。《觀光研究學報》，12(3)，207-224。
- 3 林務局農林航空測量所(2002)。91 年綠資源 NDVI 調查計畫成果報告書。取自 <http://www.afasi.gov.tw/lp.asp?CtNode=2514&CtUnit=1224&BaseDSD=7&mp=390>
- 4 翁億齡、龐元勳(2007)。運用生態地景規劃落實生態系統管理理念—以基隆河流域為例。陳章波（主持人），《環境/生態規劃與系統分析》。2007 年環境資源經濟、管理暨系統分析學術研討會，國立臺北大學。
- 5 陳章波、林志高、謝蕙蓮、吳俊宗、楊平世、邵廣昭、龐元勳(1999)。淡水河系生物相調查及生物指標手冊建立，行政院環境保護署委託之專題研究成果報告（編號：EPA-88-G108-03-301）。臺北：行政院環境保護署。
- 6 龐元勳(2001)。依據生態系統管理原則的流域規劃—以基隆河流域為例。行政院國家科學委員會專題研究成果報告（編號：NSC 89-2415-H-005A-014）。
- 7 龐元勳、陳右達(2007)。結合整合性流域管理和生態系統管理觀念之永續性國土規劃：以頭前溪流域為例。《都市與計畫》，34(3)，189-212。
- 8 Committee on Watershed Management-National Research Council(1999). *New strategies for America's watersheds*. New York: National Academies Press.
- 9 European Union (2000). Directive 2000/60/EC on establishing a framework for Community action in the field of water policy. Netherlands: European Centre for Nature Conservation.
- 10 Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics*. Great Britain: Cambridge University.
- 11 Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish community. *Fisheries*, 6(6), 21-27.
- 12 Karr, J. R. (1987). Biological monitoring and environmental assessment: a conceptual framework. *Environmental Management*, 11(2), 249-256.
- 13 Karr, J. R. (1993). Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 1521-1531.
- 14 Karr, J. R., & Dudley, D. R. (1981). Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5, 55-68.
- 15 Karr, J. R., Yant, P. R. & Fausch, K. D. (1987). Spatial and temporal variability of the index of biotic integrity in three midwestern streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116, 1-11.





- 16 Kindlmann, P. & Francoise, B. (2008). Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology*, 23, 879–890.
- 17 Laurance, W. F. & Yensen, E. (1991). Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. *Biosciencal Conservation*, 55, 77-92.
- 18 Leiner, S. (1996). The habitat quality index applied to new mexico streams. *Hydrobiologia*, 319, 237-49.
- 19 Lotspeich, F. B. (1980). Watershed as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. *Water Resource Bulletin*, 16(4), 581-586.
- 20 Markowitz, F. V. (1996). Total quality watersheds. *Water Environment and Technology*, 8(8), 55-60.
- 21 Meffe, G. K., Carroll, C. R. & contributors (1997). *Principles of conservation biology*. Sunderland, Massachusetts, U.S.A.: Sinauer Associates Inc. Publishers.
- 22 Odum, E. P. (1972). Man in the ecosystem. *Bulletin of Connecticut Agricultural Station*, 652, 57-75.
- 23 Pantulu, V. R. (1985). Ecosystem modelling of a river basin, In: J. Lundqvist, U. Lohm & M. Falkenmark (Eds.), *Strategies for river basin management*: 31-40. Dordrecht: D. Reidel.
- 24 Perez, E. O. (2010). Indicator assessment for habitat fragmentation, COST 356 Final Conference. Paris.
- 25 Petts, G. E. & Amoros, C. (1996). *The fluvial hydrosystem*. London: Chapman and Hall.
- 26 Rutledge, D. (2003). *Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?* DOC Science Internal Series 98, New Zealand Department of Conservation.
- 27 Sellers, P. J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6(8), 1335-72.
- 28 Tucker C. J. & Sellers, P. J. (1986). Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1395-416.
- 29 USEPA (1996). *Why watershed?* EPA800-F-96-001. Washington D.C.: USEPA, Office of Water,.
- 30 USEPA (1997). *Index of watershed indicators*. EPA-841-R-97-010. Cincinnati, Ohio.
- 31 USEPA (2011). *Healthy watersheds initiative: national framework and action plan*. EPA 841-R-11-005.
- 32 Westra, L. (1995). Ecosystem integrity and sustainability: the foundational value of the wild. In: L. Westra & J. Lemons (Eds.), *Perspectives on Ecological Integrity*: 19-44. Boston: Kluwer Academic Publisher.





Analysis of the ecological quality and habitat fragmentation on the Toucian river basin

Yuan-Hsun Pang*

Associate Professor, Institute of Natural Resource Management, National Taipei University

ABSTRACT

Being independent and wholistic ecosystems, river basins can be taken as the realistic scale and the systematic management unit for the natural conservation. However, it is necessary firstly to define and analyze the ecosystem quality in the basin. A simplified analysis method is required because the structure and function of watersheds is very complex. Using satellite remote-sensing image to analyze NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), which can reflect the primary productivity in the land environment, could be taken as an important approach for the ecosystem quality analysis. According to river hierarchical structure, this study was dedicated to the analysis of NDVI distribution by the SPOT satellite image, and thereby to defining the ecological quality on the Toucian river basin. Based on the NDVI distribution, the study further analyzed the natural landscape structure of the watershed by the landscape shape, distance, and area index, furtherly integrating them into total index of landscape effects in order to assess the fragmentation level of the ecological habitat for each sub-watershed.

The results showed that the method and procedure could reasonably and effectively describe the ecosystem quality and spatial structure of watersheds. It is appropriate for the related landscape-scale analysis of watersheds, and substantially for the environmental assessment in the policy or development cases, the national land or regional planning, and the policy-making with sustainable development.

Keywords: watershed ecological quality, NDVI, habitat fragmentation, landscape ecology, geographical information system

*E-mail: yhp@mail.ntpu.edu.tw

