



# 河川水域與濱溪棲地品質分析— 以水璉溪為例

胡通哲／國立臺灣大學水工試驗所 副研究員

陳淑媛／水土保持局花蓮分局 前分局長

陳彥旭／水土保持局花蓮分局 課長

陳兆鈿／水土保持局花蓮分局 副工程司

本研究以花蓮縣水璉溪的溪流治理工程施工前後為例，進行水域與濱溪棲地品質量化分析探討，水域以二維水理模式（HECRAS-2D）計算流速、水深，據以進行水域型態分類、魚類棲地適合度計算，其中水域型態完工後深潭面積占比增加為2倍，棲地適合度以大吻鰕虎為目標魚種，完工後權重可用棲地面積增加為1.8倍。濱溪棲地以綠覆率（VARI）、地景碎形理論進行分析，綠覆率因為完工未久，綠地面積占比稍有下降，但地景碎形分析的結果，完工後核心區面積占比增加為施工前的1.3倍。

## 前言

河川溪流的环境友善措施，若以量化方式分析水域陸域棲地品質，較能客觀區分工程前後品質的差異，本文以花蓮縣水璉溪北坑一號橋上游改善二期工程的工區範圍，以河段的空間尺度觀點，進行水陸域棲地品質量化分析，以了解溪流環境是否可用科學化分析來評估。本文共有4項主題：(1) 水域型態分類、(2) 魚類棲地適合度（Habitat Suitability Index, HSI）、(3) 綠覆率（可見光大氣阻抗植被指數 Visible Atmospherically Resistant Index, VARI）、(4) 地景碎形（Landscape Fragmentation）。

本文以二維水理模式分析（HECRAS-2D）為基礎，計算模擬範圍流速水深值，再利用水域型態分類的標準（水利署河川情勢調查作業要點）修改，將水域區分為深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭等5種類型。再利用流速水深計算值，配合目標物種適合度曲線<sup>[1,2]</sup>，計算魚類棲地適合度、權重可用棲地面積（Weighted Usable Area, WUA），該項計算方式，過去曾應用在花蓮縣大興溪<sup>[1]</sup>、鰲溪<sup>[2]</sup>。另外，利用 UAV 空拍施工前

後，產製正射圖，以可見光計算濱溪區域指定範圍的綠覆率，採適用於 UAV 空拍正射圖的可見光大氣阻抗植被指數（VARI），加入陰影消去計算，將設定範圍區分為裸露地與綠地，計算綠地的面積占比。再以美國康乃狄克大學（University of Connecticut）土地利用教育研究中心的地景碎形工具程式 LFT v2.0<sup>[3]</sup>，配合地理資訊系統軟體 ArcGIS 10，進行4項地景元素（核心區、破碎區、區塊、邊緣）量化與視覺化計算，用以推估核心區位置、棲地補償參考。

## 研究方法

本研究蒐集花蓮縣水璉溪集水區的基本資料，作為生態友善措施初步判斷，衡量在安全與生態兩端，工程施作的必要性。並描述4項棲地品質量化分析方法，其中水域型態分類、魚類棲地適合度，係以二維水理模式（HECRAS-2D）為基礎，利用流速與水深格點計算值，依據設定的分類標準加以推估水域型態，亦利用流速與水深值，計算目標魚種的棲地適合度。

## 水域型態分類

利用二維水理模式，計算出模擬範圍格點的流速水深，配合棲地的水域型態（深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭等 5 種）的流速水深條件進行流量的水域型態分類釋，水深流速條件參考林務局<sup>[4]</sup>對於水域型態的條件分類，加以修改。本文設定「深流」的流速  $\geq 0.3$  m/sec、水深  $\geq 0.3$  m；「淺流」的流速  $\geq 0.3$  m/sec、水深  $< 0.3$  m；「深潭」的流速  $< 0.3$  m/sec、水深  $\geq 0.3$  m；「緩流」的流速  $< 0.3$  m/sec、水深  $< 0.3$  m（註：岸邊緩流原來條件為水深  $< 0.1$  m）；汪靜明<sup>[5]</sup>以及「河川情勢調查作業要點」（104 年版），水域型態「淺瀨」水深流速條件與淺流相同，但在溪流中，水流會撞擊石頭產生水花的水域，通常流速較快，依該溪流水域調查經驗，以電磁式流速計量測淺流與淺瀨區域的流速，發現淺瀨的流速多數高於淺流，因此設定水域型態（淺瀨）的流速  $\geq 0.9$  m/sec，計算後再加以對照實際的水域型態分布，以確認是否可行，此為需要隨不同區域調整的參數。

## 魚類棲地適合度

利用二維水理模式，模擬格點流速水深，配合指標魚種之水深適合度 ( $S_d$ )、流速適合度 ( $S_v$ )、底質適合度 ( $S_s$ )，特有生物研究保育中心<sup>[6]</sup>接受水利規劃試驗所委辦計畫，曾提出多種臺灣原生魚種的適合度曲線，本文參考其大吻鰕虎適合度水深流速適合度曲線。計算棲地適合度 (HSI)，若缺合適的底質適合度，數值暫設為 1.0。陳淑媛等人<sup>[2]</sup>棲地適合度計算方式，係利用 ArcGIS 空間模組進行空間內插分析，繪製魚類的棲地適合度空間分布圖，係因 CCHE-2D 模式輸出的元素位置不規則，因此需進行空間內插，而 HECRAS-2D 輸出計算值，係以數值地形解析度為主，例如精度  $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  數值地形，計算值輸出成規律排列，因此不需再進行空間內插分析，避免因內插分析產生誤差。權重可用棲地面積 (WUA)，係以各格點棲地適合度與面積相乘後累加，所得的權重，用以判斷魚類棲息的棲地品質。

棲地適合度為水深適合度 ( $S_d$ )、流速適合度 ( $S_v$ )、底質適合度 ( $S_s$ ) 三者相乘後開立方根<sup>[7]</sup>，如下式：

$$HSI = \sqrt[3]{S_d S_v S_s} \quad (1)$$

## 綠覆率 VARI

本文以可見光大氣阻抗植被指數 (VARI) 分析綠覆率，可見光大氣阻抗植被指數包含紅光波段、綠光波段

與藍光波段三項因子，過去 Gitelson 等人<sup>[8]</sup>曾比較地表植物之歸一化植被指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 與 VARI，發現其反應較 NDVI 敏感。另外因為使用空拍正射圖 RGB 值計算，所以相較於 NDVI 比較不會受大氣散射影響，適合計算單位面積內植物覆蓋面積。基於此概念，以濱溪區域設定的範圍正射圖計算 VARI，並進行陰影消除處理，推估設定範圍綠覆率變化面積，並將模擬區域分為綠地 (VARI 值大於 0) 與非綠地 (VARI 值小於 0) 兩部分，藉以量化綠覆率變化。

將紅光波段、綠光波段與藍光波段值，計算相對應的可見光大氣阻抗植被指數 (式 (2)) (註：VARI 可見光計算方式參考 <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm>)。

$$VARI = \frac{(G - R)}{(G + R - B)} \quad (2)$$

式中：G 為綠光波段值；R 為紅光波段值；B 為藍光波段值。

## 地景碎形

Vogt 等人<sup>[3]</sup>開發地景碎形 (Landscape Fragmentation) 工具 (LFT v2.0)，利用 ArcGIS 功能的工具箱 (Toolbox)，能夠直接利用 ArcGIS 直觀視覺化的方式執行地景碎片化分析，雖然此方法最初用於森林的分析，但 LFT v2.0 也適用於任何感興趣的土地利用類型分析。本計畫利用地景碎片應用在棲地評估工作，藉以了解工程對於週邊森林植被的量化分析。

LFT v2.0 將感興趣的土地覆蓋類型分為 4 個類別：區塊 (patch)、邊緣 (edge)、破碎帶 (perforated)、核心區 (core)。核心區，根據核心區的面積進一步可分為小核心、中核心和大核心，在與河川工程 (河段) 的地景生態屬小尺度，可能只有小核心 (面積小於 100 公頃) 產出判釋圖，若以流域空間尺度大範圍分析，會產出大核心 (面積大於 200 公頃) 區域。

## 結果與討論

### 集水區基本資料蒐集

本研究水璉溪工區位於花蓮縣壽豐鄉水璉村，採  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  精度數值地形資料計算，推算工區的集水區範圍與水系、河川級序 (stream order)、降雨量分析 (徐昇多邊形法)、地文分析等，作為生態友善措施初判與工程必要性的參考。

以 ArcGIS 計算繪製水璉溪工區上游集水區範圍與水系，標示集水區與水璉村所在的相對位置（圖 1），集水區面積 1,022 公頃。計算河川級序，工區所在的河川級序 3。依據經驗，河川級序 3 的溪流，需再參考集水區面積，該區域集水區大於 1,000 公頃，溪流洪水過去有攻擊溪流上方道路的路基的致災潛勢，工程有施作應有其必要性。

以 ArcGIS 計算繪製集水區高程分布，集水區內之最高點為 614 公尺，其中以高度 151 ~ 250 公尺所佔的面積為最多（占 23%）以 ArcGIS 進行集水區坡度計算，坡度分布以三級坡（ $15\% < S \leq 30\%$ ）分布最多，面積約占全區面積 52%，屬山區的集水區。坡向以東南向所占面積最多，占全區面積 21%，其次為坡向東，占全區面積 19%，水璉溪東臨太平洋，計算與東向（東、東北、東南）有關的面積占比，達半數（50%），亦即從東邊侵台的颱風，有半數的土地位於迎風面的降雨區。

以 ArcGIS 徐昇多邊形法計算鄰近雨量站與集水區關係，受到月眉山、水璉氣象站的影響，徐昇多邊形法計算面積權重分別為 62%、38%。月眉山氣象站平均雨量為 2,201 mm，水璉氣象站年平均雨量為 2,178 mm，加權計算年均雨量 2,192 mm。

## 棲地品質分析

棲地品質分析分為水域與陸域（濱溪）兩種。水域，以水理分析為基礎，計算網格的流速、水深，進

而計算水域型態、魚類棲地適合度等。陸域，計算綠覆率與地景碎形。

本文水理模式採用 HECRAS-2D 模式，美國陸軍工兵團水文中心於 2021 發布 HEC-RAS 2D 6.1 版，功能漸趨完善，除二維水理分析外亦可進行沖淤分析，且為免費軟體，容易推廣使用。

## 水理分析

### (1) 施工前

以水璉溪北坑一號橋上游改善二期工程上游的模擬河段施工前 UAV 空拍數值地形（空拍日期 109 年 2 月 24 日），輸出 0.3 公尺 × 0.3 公尺精度地形，匯入 HECRAS-2D 的 RasMapper 模組，建立地形（如圖 2），後再進入 HEC-RAS 2D 的 Geometric data/2D Flow area 模組，選取水域模擬範圍（圖層面積為 13,580 平方公尺），模擬範圍套疊正射圖，如圖 3。選擇計算間距（ $\Delta X$ ）、間距（ $\Delta Y$ ）為 0.6 公尺，共有 38511 網格（cells），後設定上下游邊界條件，上游邊界輸入穿越線測定的流量 0.23 cms（110 年 6 月 27 日量測），下游邊界以正常水深（normal depth）條件計算，河床坡度 1%。

設定的模擬範圍，匯入 ArcGIS，利用影像辨識（Image Classification）模組，經過影像辨識監督訓練，採最大似法（maximum likelihood classification），將模擬範圍區分為河道、河灘地、植被區三個區域，再使用 HEC-RAS 2D 的土地覆蓋（Landcover）模組設定曼寧 n 值，參考 HEC-RAS 2D 參考手冊的曼寧 n 值表，由於模擬範圍多為礫石河床，河灘地曼寧 n 值為 0.035，河道曼寧 n 值較小為 0.03，植被區粗糙度較大設為 0.05。



圖 1 工區上游集水區（水璉溪）位置

設定模擬時間間距 ( $\Delta t$ ) 1 秒，總模擬時間 (T) 為 5 小時，因為模擬範圍為淺水型態，計算的水理方程式採 Shallow water equations。流量 0.23 cms 模擬輸出的水深分布如圖 4，流速分布如圖 5。

(2) 完工後

以完工後 UAV 空拍數值地形 (空拍日期 110 年 5 月 29 日)，輸出上述相同的精度地形，匯入 HECRAS-2D 的 RasMapper 模組，建立地形 (如圖 6)，後再進入

HEC-RAS 2D 的 Geometric data/2D Flow area 模組，選取相同的水域模擬範圍，模擬範圍如圖 7。選擇計算間距 ( $\Delta X$ )、間距 ( $\Delta Y$ ) 為 0.6 公尺，網格數與前相同，設定上下游邊界條件，輸入相同的流量 0.23 cms，下游以正常水深條件計算，河床坡度 0.5%。

設定相同模擬時間間距 ( $\Delta t$ )、總模擬時間 (T)、模擬水理方程式，流量 0.23 cms 模擬輸出的水深分布如圖 8，流速分布如圖 9。

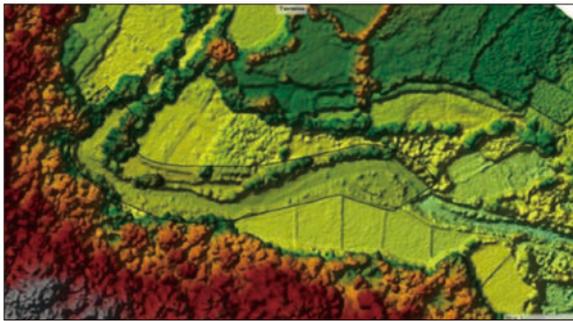


圖 2 河床地形 (施工前)

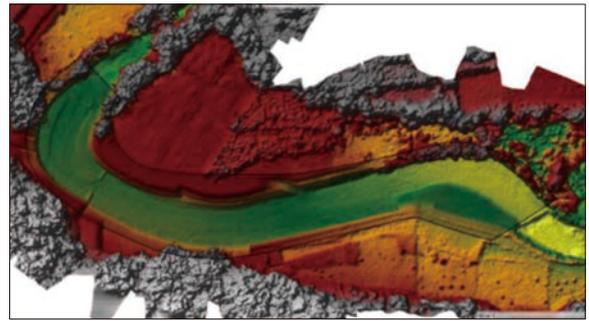


圖 6 河床地形 (完工後)



圖 3 正射圖與模擬範圍 (施工前)



圖 7 正射圖與模擬範圍 (完工後)



圖 4 水深分布圖 (施工前)



圖 8 水深分布圖 (完工後)



圖 5 流速分布圖 (施工前)



圖 9 流速分布圖 (完工後)

## 水域型態分類

以流量 0.23 cms 模擬的水深流速值，量化水域型態棲地的分類。判釋不同水域型態（深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭），在試算表 Excel 中完成，連同格點坐標（X、Y）輸入地理資訊系統 ArcGIS，施工前、後水域型態判釋，其分布如圖 10 和圖 11，比較施工前後水域型態面積占比變化，淺瀨減少（需追蹤），而深潭、緩流增加。

## 魚類棲地適合度

水璉溪北坑一號橋河段洄游性魚類優勢種為大吻鰕虎，以魚類的水深流速對應的適合度<sup>[6]</sup>，水深適合度橫軸最大值依該溪流狀況修正。計算各格點的棲地適合度（水深、流速、底質適合度相乘開立方根）後，繪製施工前、後棲地適合度分布圖，如圖 12 和圖 13，大吻鰕虎 WUA 從 1,744 m<sup>2</sup> 增加為 3,185 m<sup>2</sup>。

## 綠覆率與地景碎形指數

以 UAV 正射圖，採 ArcGIS 計算可見光大氣阻抗植被指數 Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)。設定計算範圍，包含河道與濱溪區域，設定範圍的面圖層面積

為 55,039 平方公尺。其中可見光大氣阻抗植被指數 VARI 小於 0，屬於裸露地部分，可見光大氣阻抗植被指數大於 0，視為綠地部分，VARI 計算施工前、後綠地空間分布如圖 14 和圖 15，其中綠地面積占比為 88%、68%。

利用綠覆率分布資料（區分綠地、非綠地），計算地景碎形：區塊（patch）、邊緣（edge）、破碎區（perforated）、核心區（core）的面積，核心區面積越大，表示棲地核心區域應該被保護，邊緣面積大，表示動物來往於不同棲地的邊緣多，棲地越佳，可用以比較不同棲地範圍或同一棲地不同時間的狀況，可視覺化判釋地景元素的核心區或破碎區，若堤岸工程因施工損害棲地（例如喬木砍除），欲加以補償，棲地補償位置的決定，可找尋核心區內的破碎區，進行植生補償，另外核心區位置，與生態敏感關注區域的高度敏感區，通常有高度重疊，可採現場判釋與圖面視覺化計算結果相互比對。

地景碎形的計算，提供圖面上視覺化的輔助，需要輸入參數為邊緣寬度（edge width），本研究視為野生動物從森林核心區出入可能的活動範圍，依現場生物調查而定，本研究現場調查到的野生動物哺乳類為山羌，假設為 3 公尺（註：數值尚需較大規模調查）。



圖 10 水域型態（施工前）



圖 12 大吻鰕虎棲地適合度分布（施工前）

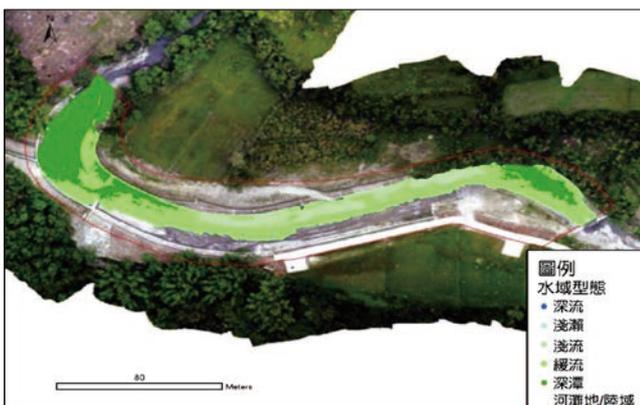


圖 11 水域型態（完工後）



圖 13 大吻鰕虎棲地適合度分布（完工後）



圖 14 綠覆率 VARI 判釋圖 (施工前)



圖 16 地景元素指數核心區 (施工前)



圖 15 綠覆率 VARI 判釋圖 (完工後)



圖 17 地景元素核心區 (完工後)

施工前的地景碎形判釋，將地景元素的核心區單獨呈現，如圖 16，其與天然森林等高度敏感區有高度重疊處（註：需人工判讀輔助）。完工後的地景碎形判釋，將核心區單獨列出，如圖 17，完工後核心區面積占比增加為施工前的 1.3 倍（47.6% → 60.9%）。施工過程難免有所破壞，但完工後的核心區、邊緣等地景元素，有所增加，雖然綠覆率（VARI）分析結果微下降，但核心區增加，推測與工區周邊的農作生長有關，有待後續追蹤調查。

## 結論

1. 本文在水域棲地品質分析，以二維水理模式 HECRAS-2D 為基礎，推算施工前後水域型態分類與棲地適合度變化，其中深潭面積占比從 19% 增為 38%。
2. 水域棲地，計算權重可用棲地面積（WU），目標魚種大吻鰕虎施工前為 1,743 平方公尺，完工後增為 3,185 平方公尺，增加為 1.8 倍。
3. 濱溪棲地，採可見光綠覆率（VARI）計算，主要配合 UAV 產製正射圖紅藍綠可見光，完工後綠地面積占比 68%，稍有降低，需要時間讓植被恢復，建議再追蹤調查。
4. 陸域棲地，本研究採地景碎形理論計算區塊、邊

緣、破碎區、核心區等 4 項地景元素的面積占比，可視覺化標示核心區的位置，完工後核心區增加。但有部分地區（河道左岸）核心區內有破碎情形，在進行棲地補償位置指認時，優先考慮補償；計算的核心區，觀察與天然森林等高度敏感區高度重疊，可作為生態關注區域圖繪製的參考。

## 參考文獻

1. 陳淑媛、郭瑞民、宋有、胡通哲、周有任 (2019)。河溪環境友善量化評估—以大興溪魚類棲地適合度為例。中華水土保持學報, 50(3), 116-123。
2. 陳淑媛、陳兆鈿、胡通哲、蘇上瑄 (2020)。二維水理模式與 ArcGIS 空間內插法評估生態基流量—以鰲溪為例。中華水土保持學報, 51(2), 43-54。
3. Vogt, P., Riitters, K.H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T.G., and Wickham, J.D. (2007). Mapping spatial patterns with morphological imageprocessing. *Landscape Ecol.*, 22, 171-177.
4. 林務局 (2018)。國有林治理工程生態友善機制手冊。第附二 -7 頁。
5. 汪靜明 (2000)。大甲溪水資源環境教育。經濟部水利署。
6. 特有生物研究保育中心 (2019)。河川原生魚種及棲地適合度曲線調查與資料庫建置成果報告。水利規劃試驗所委辦。
7. Gillenwater, D., Granata, T., and Zika, U. (2006). GIS-based modeling of spawning habitat suitability for walleye in the Sandusky River, Ohio, and implications for dam removal and river restoration. *Ecological Engineering*, 28, 311-323.
8. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction, *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87. 