



# 河川生態評估指標用於河川工程之探討

孫建平／國立成功大學水利及海洋工程學系 教授兼系主任

邱宏彬／國立成功大學水利及海洋工程學系 博士級研究員

過去河川工程的施作，往往是以人的生命財產安全作為主要考量，生態及環境的部分幾乎不重視，使得工程的完工雖可保護人的生命財產安全，卻破壞了原有的生態及環境。隨著民眾對生態環境保育的重視，河川工程的施作及管理不再只是單純考量人的安全部分，還必須考量對於週遭生態環境的影響，因此有多個相關的河川生態評估指標開始用於臺灣的河川工程或河川復育工作，但過去對於工程人員的教育及培訓少有涉及河川生態評估指標的知識、學理及發展過程。不同的河川生態指標對於生態及環境的評估不同，如何應用合適的生態指標於河川工程或河川復育工作亦相當重要，而本文將針對多數河川生態指標使用上需注意的細節進行探討說明。

## 前言

自古以來，人類的生存和文化起源與河川分不開，因河川是人類重要的水資源之來源，提供了農業灌溉、飲食和發電等功能，但由於工業發展及人類的過度開發，導致洪水、崩塌、土石流等災害日漸增加，威脅到人類的生命財產安全，因此用於保護人類生命財產安全的人工構造物也出現在河川內，有的是用來保護兩岸、有的是用來保水取水或攔截土砂、有的則是用來控制水流流速及方向，但無論是哪一種，目的都是以保護人類的生命財產安全為優先，生態和環境的考量較有限。上述的人工構造物可簡略分為縱向和橫向構造物，縱向構造物諸如護岸、堤防等；橫向構造物諸如固床工、潛壩及防砂壩等，而這些構造物都會造成溪流棲地狀態產生改變<sup>[1]</sup>。

河川除了是人類重要的水資源，對於動、植物來說也是重要的棲地環境，棲地環境受水深、流速、底質、水質、河寬、甚至生物等的影響，會產生急流、湍瀨、深潭等不同的形式，河川中水域環境之異質性愈高，生物的多樣性亦會有相對較高的機會<sup>[2,3]</sup>。由於當人類的生命財產安全感受到河川之威脅時，便建造人工構造物而造成河道溝渠化，使得水文環境改變，棲地環境亦變得單一，而後續為維持防洪功能所進行

的疏浚工程，更對於棲地的復原較為不利<sup>[4]</sup>，影響了水生生物的生存<sup>[5]</sup>。

隨著民眾對生態環境保育的重視，工程的施作及管理不再只是以人為最主要的考量，而是兼顧考量對週遭生態環境之影響，為了方便溝通及有效管理，因而發展出多個河川生態評估指標應用在河川工程檢核及評估之目的。藉由指標評估的結果，希望能反應工程對於生態及環境的影響，並適時的提出改善建議，達到兼顧人及生態環境之保護效果，但河川生態評估指標的相關知識、學理及發展過程，工程人員一般少有接觸，因此本文將針對幾個常用的評估指標，在使用上要注意的事項進行探討。

## 河川生態評估指標簡介

目前在臺灣有許多河川生態評估指標被廣泛的運用，可簡略分為綜合型、環境型和生物型評估指標。綜合型包含快速棲地生態評估方法 (Rapid Habitat Ecological Evaluation Protocol, RHEEP)、河溪環境快速評估系統 (Stream Environment Rapid Assessment System, SERAS)、溪流複合式評估指標 (Stream Integrity Assessment Model, SIAM)、快速生物評估法 (Rapid Bioassessment Protocol, RBP) 等；環境型包

含河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)、水質指數 (Water Quality Index, WQI)、定性棲地評價指標 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 等；生物型包含藻屬指數 (Genus Index, GI)、Hilsenhoff 生物指標 (Hilsenhoff's Biotic Index, BI)、科級生物指標 (Family-Level Biotic Index, FBI)、生物完整性指標 (Index of Biotic Integrity, IBI) 等<sup>[6]</sup>。

本文將不對以上各個指標的使用方式一一做說明，主要是要針對這些指標在應用時，工程人員需要先了解基本之考量，並知道其使用時的限制。

## 使用國外所發展指標應有的修正

一個評估指標的發展常常需要耗費大量的時間及財力，才能對所應用的區域做有效的反應。目前在使用的一些指標是由國外所發展的指標，再依照臺灣的地理及生態環境特性，做或多或少的修正，成為許多工程報告拿來做生態分析的工具，但是實際上由於投入的時間有限，還是有許多該修正的內容需要花更多的時間來驗證，例如 FBI 及 IBI 便是如此。科級生物指標 0~10 分的分數是不是可以直接拿到臺灣來應用？臺灣特有的物種應該有一定的重要性，但若又沒有出現在目前的給分表中要如何修正？其他如快速生物評估法 (RBP) 及生物完整性指標 (IBI) 都有類似的問題，不過目前很多許多工程報告都直接拿來做生態調查成果分析。

## 分數界定標準之考量

河川生態評估指標可常被用來當做評定「河川健康 (River Health)」的一個工具，不過為了管理上的考量，會將分數給予不同的等級，要如何界定分數的上界是一大困難，在評估工具的發展過程中，是要有一個所謂的參考樣站 (reference site)，即被認為優良的樣站，這樣的樣站在臺灣中上游可能有機會存在，在臺灣河川中下游由於人為的影響，其實已經不太容易有一個可以被認定優良的樣站，藉以定出中下游應有的分數上界標準。在實務操作過程中，如水利工程快速棲地生態評估表能拿到超過八成分數的樣站是少之又少，一個大家認為極為優良的參考樣站，在這樣的評估表中似乎也無法拿到接近滿分的情形，再加上表中所謂的指標生物定為臺灣石鮒和田蚌，是否有其他的生物可以做替代？為何是選這兩種生物？且各個河段都適用，也限制了這個評分表的給分。

## 指標數字的迷思

指標評估最後的結果，往往是以數字或者是等級類型的方式來呈現，對於管理者來說，這樣的呈現方式是很好的比較與管理的工具，在呈現上很容易理解好讀，溝通上也比較方便，是否達到符合標準 (及格) 的數字或等級類型，便成為最後關注的焦點，但也正由於如此，大家最後看到的就只是一個數字，或者是等級的結果，指標中各個分項目，或者是原始調查成果的細節，都無法在這個數字或者是等級類型中呈現，相同數字或者是等級類型，可能由截然不同的環境調查成果所組成，背後的生態環境更是不同。更嚴重的是，有時為了達到符合標準 (及格) 的數字，可能會專門就單一小事來特別加強來提高評估分數數字的成果，以期能達到標準的區域，之後就卻又不會再花更多的心力去改善。

## 主觀給分之考量

有些評估方式希望以簡單快速完成的方式做一初評，讓工程人員對其生態環境有一初步概括的了解，其實這也是有一定的必要性。其中就以快速棲地生態評估方法 (RHEEP) 及修正後的相關方式在工程報告中為常用。許多單位在做生態檢核時，所使用的水利工程快速棲地生態評估表 (河川、區域排水)，部份項目就是評估人員以肉眼直接觀察後評分，而在分析這些評分時應注意以下的事項：(1) 到底是應該訓練所有的評估人員，在評同一區域時都要有相同的給分結果？或者是如工程人員與生態人員依其不同的角度，去給不同的給分結果？在實務操作過程中，常常不同人評估所得到的分數就有可能不同，過去就有工程生態檢核例子在水利工程快速棲地生態評估表中所描述的水域型態，和現場勘查紀錄表所描述的水域型態就有不小的差異，不同人評估所認定的環境狀況就有可能不同。(2) 以水的顏色來代表水域生產者，來檢視水體中藻類及浮游生物 (生產者) 的含量及種類是否適合，各顏色是否能有一定的生態代表意義？另外對於顏色的判定是否精準？也有不同的認定。(3) 一般大家在給分數時，很差的環境條件容易給低分，通常要給到滿分都會有所考量，所以中等分數很多，也有部分很低的分數，但是高分卻常常為少數。

## 簡化的河川物理環境參數

工程上常用平均水深及平均流速來描述河段及做工程設計，以期達到那個河段安全上的需求，而這與在河

相學及生態學通常強調的是深槽線，也就是河道最深水深處的連線 (thalweg) 不同，一個是簡化方便設計，另一個則是了解變化並重視最深處。自然河川在河段各處縱向及橫向都有不同的水深及流速數值，生物也在這種複雜的環境中生存，並有其個別的棲息地偏好特性，棲息地適合度指數 (Habitat Suitability Index, HSI) 就被拿來作為描述這個偏好的方式，後來也被作為很多工程設計上考量生物特性的參考。先不論其棲息地適合度指數的求取方式可能有五、六種以上，目前的偏好程度數字也是有要注意的部分。近年來由特有生物研究保育中心及水利規劃試驗所研究而得的魚類棲地適合度指數，在計畫執行收集資料的過程中，是以 3 公尺乘上 1.5 公尺的範圍當作其採樣的區域，再在這 4.5 平方公尺的區域中測量 4 個角落及中心點的流速及水深，5 個點平均之後的水深及流速數值當作該區域調查到所有生物棲地使用的水深及流速。要知道這一區域範圍內，地形可能可以有極大的差距，但為求得方便的表示方式，便以平均值來代表，而某些魚類可能只集中在這 4.5 平方公尺的一個角落，可能是最淺最急的地方，但是平均後這個訊息就無法得知了，而且計畫採樣的方式是由人進入河道中調查，所以水深原則上不會超過 1.2 公尺，所以也就不容易有超過 1.2 公尺以上的數據，尤其是將區域中 5 個點平均之後，更會缺乏在較小 (接近 0 處) 及較大數據 (超過 1)，此外，區間間隔內採樣格數太少或單一採樣格有過大的魚類採樣隻數結果，都會影響到整個指數值的變化。而當 HSI 應用到工程的設計上時，最常是以工程河段區域畫網格後，透過流場 (水理) 模擬軟體求得每小格網格的水深及流速，但是在實地測量時，不可能整個水下平面都測量到，所以是以內插法的方式，推估其各個網格格地形變化，再計算而得水深及流速，當然結果可能和實際狀況有更多的差異，而且河床是變動的，在另外一個流量事件發生後，所有網格格子的水深，也可能會跟著改變，求得的水深及流速也就更不是真實的狀況，而於應用棲地適合度指數求得的權重可利用面積 (Weighted Usable Area, WUA) 所作的規劃和相關分析，就要先了解這些環境參數在過程中都有許多的簡化。

## 河川上中下游應有不同的應用標準

為了管理和使用上的方便，指標往往在一定區域範圍有相同的考量設定，但生態環境會往往因為區域而有所不

同，臺灣雖然面積不大，但是從上游的高山河川到下游的平原河川，其環境都不甚相同，再加上北中南各區域的水文條件有差異，在指標的應用上，若都只是考量單一區域完全相同，則會產生一些問題，只是在行政管理及工程實務單位，希望就是一個單一的系統能一體適用，比較有均一性而好操作管理。例如在魚類調查後最常使用的生物完整性指標 (IBI) 就是個典型的例子，大家最常引用的朱達仁等人<sup>[6]</sup>之選用矩陣及其評分標準 (如表 1)，當初是在新北市后番仔坑溪研究所發展的成果<sup>[7]</sup>，若要以表 1 所給定的分數範圍運用到臺灣中上游所有河川 (甚至還有用在中下游河川的)，是沒辦法完全適用的，其中最明顯的就是第一項及第八項應該會隨著河川級序的大小 (上中下游) 而有不同的給分標準範圍，上游的魚類種數及個體總數量應該會與下游有不同的數字 (應該也要規範努力量)，而且下游還可能有海水魚的加入而更為複雜，第二到第五項也應有類似上中下游的考量。此外，由 Karr<sup>[8]</sup> 原來發展的十二項改為現在臺灣使用的九項是不是合適的考量？又是另一個議題了。類似的問題如前段所述的魚類棲地適合度指數，是否可以目前做出的指數曲線在臺灣北中南區都適用？還是應依區域再做修正？不過這又增加了許多經費的考量及複雜度。

表 1 IBI 選用矩陣及其評分標準<sup>[6]</sup>

Metrics	Scoring criteria		
	5	3	1
1. Total number of fish species	≥ 10	4 ~ 9	0 ~ 3
2. Number of water column species	≥ 2	1	0
3. Number of benthic species	≥ 2	1	0
4. Number of fast-moving species	≥ 3	1 ~ 2	0
5. Number of intolerant species	≥ 3	1 ~ 2	0
6. % of individuals as omnivores	< 60%	60% ~ 80%	80%
7. % of individuals as insectivorous	> 45%	20% ~ 45%	< 20%
8. Number of individuals in sample	≥ 101	51 ~ 100	0 ~ 50
9. Shannon diversity, H'	> 1.52	1.17 ~ 1.52	< 1.17

## 水域棲地型態分類之考量

不同的生物會在不同的棲地環境下生存，而為了描述這些水域棲地的多樣性，往往會以工程人員最熟悉的水深及流速的可測量方式來描述，在一般手冊規範中最常出現的水域型態分類就是根據汪靜明<sup>[9]</sup>所提出之方式進行分類，主要分為 5 類 (淺流、淺瀨、深流、深潭、岸邊緩流)，如表 2 所示。棲地類型的量化對於工程人員

的判斷確實有一定的幫助及方便性，但綜觀國內外的研究，對於棲地類型分類的描述卻不盡相同，如 Vadas and Orth<sup>[10]</sup> 是在北美維吉尼亞州的幾條溪流裡將棲地分為 7 類；Azzellino and Vismara<sup>[11]</sup> 則是針對阿爾卑斯山脈的 16 條支流將棲地分為 4 類。生態人員往往是以觀察到的水域棲地型態，以文字描述性的方式來做分類，與汪靜明<sup>[9]</sup> 所強調水深流速的 30 公分和 30 公分 / 秒作為分類的標準有所不同。汪靜明<sup>[9]</sup> 的分類標準，當初是以大甲溪中游的水域環境所訂出的這個數值，但是由於河川上中下游及各個不同大小類型的河川，都有潭瀨的分布且大小有所差異，無法簡單的以此 30 公分的標準來做分類，後來雖然有研究改良以福祿數 (Froude number, Fr) 的方式做分類，但都要記得潭瀨的類型會因為河川的級序大小 (上中下游) 而會有不同的水深流速範圍，不適合以現在所有工程在討論水域棲地型態時，都是以表 2 之標準來運作。未來在面對棲地型態營造時，應思考真正能營造出多樣且符合該河段河川營力的棲息地。

表 2 水域棲地型態分類<sup>[9]</sup>

棲地類型	流速	水深	河床底質	備註
淺流	> 30 cm/s	< 30 cm	砂土、礫石、卵石	流況平緩，較少有浪花出現
淺瀨	> 30 cm/s	< 30 cm	漂石、圓石	水面多出現流水撞擊大石頭所激起之浪花
深流	> 30 cm/s	> 30 cm	漂石、圓石、卵石	常為淺瀨、淺流、與深潭中間之過渡水域
深潭	< 30 cm/s	> 30 cm	岩盤、漂石、圓石	河床下切較深處
岸邊緩流	< 30 cm/s	< 10 cm	砂土、礫石	河道兩旁緩流

## 多樣性指標

一般在生物調查完成之後，為了要表示比較水棲昆蟲、底棲大型無脊椎動物、魚類、兩棲類、爬蟲類等水生生物的多樣性，通常都會以幾個生物多樣性指標 (如 Shannon-Wiener's Index, Evenness Index) 來描述，但使用這些多樣性指標除了如前述只比較數字大小而無法呈現物種組成的重要訊息外，另外一個問題就是沒有把本土種與外來種，或者是本土入侵種等不同生態意義的物種加以區隔計算，若只就計算出的數字進行比較，無法反映本土種或臺灣特生物種的重要性。

## 綜合型指標 vs. 單一指標

綜合型指標所標榜的就是可以同時考量不管是物理性棲息地，或者是生物的棲地需求，甚至考量多種

不同生物的需求，看起來是考量的非常全面，但是，可能會有不同指標所呈現的結果不盡相同，甚至互相牴觸 (是優點也是缺點)，抑或許以單一指標就已達到綜合型指標的結果，在節省人力跟物力的考量下也是較為經濟的做法。

## 總結

河川生態評估指標的種類相當多，每一種指標的評估都有其評估的項目和方法，並有其背後的发展過程及考量，因此在看指標的分析結果時，就要去思考本文所討論到的內容，是不是會影響到工程生態評估時的結果？這些討論都可以分別成為不同的研究課題，或者是由水利規劃試驗所及特有生物研究保育中心合作，把這些評估工具做成一個可供工程人員參考的規範，未來做相關評估時，才能夠有所依據，也能達到應有的公信力。

## 參考文獻

1. 陳樹群、安軒霏、方琦萱 (2012)。河防構造物對河溪物理棲地之量化影響。水土保持學報，第 44 卷，第 2 期，第 101-120 頁。
2. Castella, E., Richardot-Coulet, M., Roux, C., and Richoux, P. (1991). Aquatic macroinvertebrate assemblages of two contrasting floodplains: the Rhône and Ain rivers, France. *Regulated Rivers: Research & Management*, 6(4), 289-300.
3. Obrdlik, P. and Garcia-Lozano, L.C. (1992). Spatio-temporal distribution of macrozoobenthos abundance in the Upper Rhine alluvial floodplain. *Archiv für Hydrobiologie*, 124(2), 205-224.
4. 劉建榮、許少華、潘俊弘 (2011)。卵礫石河床型態演變對物理性棲地影響之實例研究。中華水土保持學報，第 42 卷，第 1 期，第 48-56 頁。
5. Gualdoni, C.M., Boccolini, M.F., Oberto, A.M., Principe, R.E., Raffaini, G.B., and del Carmen Corigliano, M. (2009). Potential habitats versus functional habitats in a lowland braided river (Córdoba, Argentina). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, EDP Sciences, 45(2), 69-78.
6. 朱達仁、施君翰、汪淑慧、張睿昇 (2006)。溪流環境評估常使用的量化生態指標簡介。台灣林業期刊，第 32 卷，第 2 期，第 30-39 頁。
7. 朱達仁 (2005)。臺北縣后番仔坑溪應用生態工法整治之生態評估。台灣水利，第 53 卷，第 3 期，第 90-101 頁。
8. Karr, J.R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21-27.
9. 汪靜明 (2000)。大甲溪水資源環境教育。經濟部水資源局，第 30-34 頁。
10. Vadas, R.L. and Orth, D.J. (1998). Use of physical variables to discriminate visually determined mesohabitat types in North American streams. *Rivers*, 6(3), 143-159.
11. Azzellino, A. and Vismara, R. (2001). Pool quality index: New method to define minimum flow requirements of high-gradient, low-order streams. *Journal of Environmental Engineering*, 127(11), 1003-1013.

