

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560666

研究課題名(和文) 生物多様性を確保するための河川物理生息場評価手法の開発

研究課題名(英文) Development of a comprehensive river physical habitat evaluation procedure to protect bio-diversity

研究代表者

関根 雅彦 (SEKINE, Masahiko)

山口大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30163108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、多様な魚類が生息する河川環境が高評価となる河川物理生息場評価手法を開発し、1回の計算で総合的な生息環境の良否を評価できる河川物理生息場評価ソフトウェアを作成することである。まず、多魚種の生息場適性指標から総合的な物理変数の多様性を表す「生態環境多様性指標」を提案した。4河川13区間で魚分布調査および物理環境調査を実施した結果、本指標と魚種数との間に正の関係性が見られ、本指標が目指す環境指標であることが確認できた。次に、無償の河川流況解析ソフトiRICをプラットフォームとして生態環境多様性指標を計算するDHABSIMを開発し、この計算結果でも魚種数が説明できることを示した。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this research are to develop a comprehensive river physical habitat evaluation procedure which gives higher evaluation to a river which has higher bio-diversity, and to develop a software which implement the above procedure and allow us to evaluate a river by supplying only geometrical and discharge information of the target river. Firstly, we proposed the "eco-environmental diversity index" which gives diversity of physical environment adopting multi-species habitat suitability indices. Through field surveys of thirteen sections in four rivers, we proved that the index could explain the number of fish species, which is one of the typical diversity indices. This result means that the "eco-environmental diversity index" is one of our pursuing answer. Secondly, we develop DHABSIM solver on iRIC, which is a free river flow simulation software platform. DHABSIM could also explain the number of fish species in the rivers. Thus we fulfilled our research purposes.

研究分野：環境工学

キーワード：河川物理生息場モデル HSI 河川生態系 中小河川 生物多様性 環境多様性

1. 研究開始当初の背景

90年代、多自然型川づくりの展開にともない、欧州発のマニュアルによらず自然に倣った川づくりが模索される一方で、北米からはIFIM/PHABSIMに代表される河川物理生息場評価手法が導入された。PHABSIMは、流速、水深、底質などの物理指標と、生物の物理指標に対する適性を表すHSI(生息場適性基準)を用いて種々の流況に対する水生生物の生息場の価値を計算するコンピュータソフトウェアの固有名であり、近年環境アセスメントなどの場で注目を集めつつあるHEP(生息場評価手続き)の河川版といえるものである。PHABSIMに類する物理生息場評価ソフトウェアは他にも存在しており、これら全体を指してPHABモデルと呼ぶ。

一方筆者らは、PHABモデル以前より魚の選好性を用いて魚の好む環境を定量評価する手法の研究を行っていた¹⁾。PHABモデル導入以降は、PHABモデルの開発者らと情報交換しつつ、独自の定式化を行い、標準的なPHABモデルより格段に精度の高い選好強度式を提案²⁾する一方で、個々のPHABモデルに対する評価も行い、これらが実務上の使い勝手がよく考えられ、精度は高くないものの、うまく使用すれば簡単に河川の生物生息環境の向上につながる有用な結果が得られるものであることを確認した。実際、PHABモデルを用いて生物生息場の価値を評価しつつ建設した榎野川ホタル水路³⁾、常盤公園ホタル水路⁴⁾はいずれも成功している(写真1, 2)。ことに後者は、高校生自身がPHABモデルに必要なデータをフィールドから収集し、モデル構築・操作して予測評価を行い、その結果に従って水路改修を行ったものであり、PHABモデルの簡便性が証明されたと言える。これらの成功もあり、山口県においては、すくなくともホタルのための川づくりにPHABモデルが有効であることは行政にも認知され、計画立案当時進行中であった一ノ坂川改修などにも利用された。



写真1 榎野川ホタル再生と韓国への展開

ところが、PHABモデルは、生きものによい川づくりを定量的に可能にするツールとして導入当初は注目を集めたものの、研究や試行的な利用に留まり、現在に至っても広く一般に利用されているとは言えない。前述のような成功体験を持つ筆者は、なぜ広く普及しないのか疑問を感じ、学会⁴⁾などで情報収集したほか、自身でもシンポジウム⁵⁾を主催し、早い段階でPHABモデルに取り組んだ研

究者やホタル水路建設に関わった行政関係者を集めて議論を行った。その結果、(1) PHABモデルは簡単でも、日本の水生生物に対するHSIの作成に時間・費用・専門知識が必要である、(2) 多様な生物に対する総合評価の手続きが明確でない、という問題点が浮かび上がった。



写真2 高校生とホタル水路

2. 研究の目的

本研究の目的は、先述の2つの問題を解決して多様な生物が生息する河川環境が高評価となる河川物理生息場評価手法を開発することである。またこの評価手法を組み込み、1回の計算で多様な生物に対する総合的な生息環境の良否を評価できる河川物理生息場評価ソフトウェアを作成する。これによって、PHABモデル利用の困難な部分を解消し、日本の河川環境改善の一助としたい。

3. 研究の方法

(1)新しい河川物理生息場評価手法の開発

筆者の米国地質調査局研究者との交流を通じて、米国でもHSIの単純化による汎用性向上の方向にあることがわかってきた。筆者らは2011年度、バイナリ化したカワムツのHSIを適切にカテゴリ分けし(図1)行動圏内の生息可能領域のカテゴリの多様性に基づく指標値が、従来のPHABモデルで計算された指標値より格段によくカワムツの実河川における分布を表現することを明らかにした⁶⁾(図2)。カテゴリ分けの生態学的な意味は、環境条件を休息、摂餌などの行動モード²⁾に対応させることに相当し、カテゴリの多様性が高いということは、休息や摂餌などの別々の行動モードに適する環境が行動圏内に存在するというに相当する。本研究では、それぞれ異なるHSIを持つ魚種でも、バイナリ化HSIは多くの重複部分を持つことに着目し、適切なカテゴリ分類を用いることで多少の誤差はあっても少数のHSIで多くの魚種の分布を説明できるという仮説を現地調査に基づき証明する。これにより、カテゴリ分割された汎用HSIを定義し、個々の魚種に対してHSIを求めるといったコストと時間の

かかる手続きを不要にする。

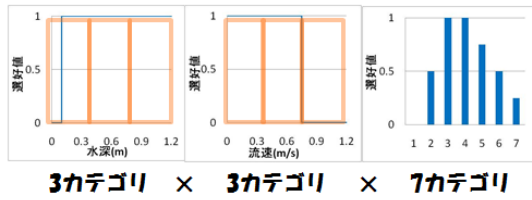


図1 カテゴリ化 HSI の一例

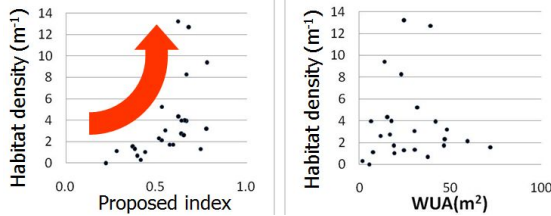


図2 新指標(左), 従来指標(右)と生息密度

(2) 河川物理生息場評価ソフトウェア開発

PHAB モデルのうち物理環境条件の 2 次元分布を計算できる River2D を使い、River2D に前述のカテゴリ分割 HSI を組み込むことで、複雑な手続きなしに 1 回の計算で多様な生物に対する総合的な生息環境の良否を評価できる河川物理生息場評価ソフトウェアを作成する。ソフトウェアの実行プラットフォームとして、無料で利用可能であり、River2D を含む多くの流況解析ソルバーが実行可能な iRIC⁷⁾を採用することで、流況計算とは切り離して、生息場評価に集中したソフトウェア開発を行う。

4. 研究成果

(1) 新しい河川物理生息場評価手法の開発

環境多様性が良好な生物生息につながるの考えは古くから存在する。本研究では、異なる成長段階を含む複数魚種の HSI を用いて、行動モードや行動圏などの生態情報を加味した環境多様性の指標として「生態環境多様性指標」を提案する。生息場適性指数 HSI は、河川の物理環境因子に対して魚の選好性を表した指標であり、魚種や成長段階ごとに対象区間の生息場を評価できる。例として、オイカワ成魚の流速 HSI を図3に示す。

本報告では、図3の中で SI=1 となる流速範囲を最適生息域とし、0<SI<1 となる流速範囲を生息可能域と呼ぶことにする。HSI は実験や調査、あるいは専門家の意見により定められるが、基本的に限られた時刻や環境下での有限の観察に基づいて定められるため、複数の行動モードを包括できていない場合が多いと考えられる。例えば、日中の魚類調査から定められた HSI が摂餌モードの情報をより多く含んでいると考えられる場合には、HSI の最適生息域は摂餌モードの最適生息域であって、それ以外の生息可能域の内 0<流速<0.2m/s の範囲は休息モードの最適生息域となり得ると考えられる。

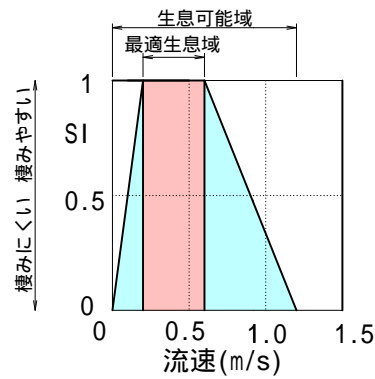


図3 オイカワ成魚の流速 HSI⁸⁾

以上の考えに立ち、中小河川で一般に見られる多くの魚種や成長段階別について、既存の選好曲線を収集^{1,8-14)}し、多くの魚種に共通して休息モードと摂餌モードが別カテゴリに区分できるような環境条件の範囲を定めた。収集した選好曲線とカテゴリ分割を図4に示す。

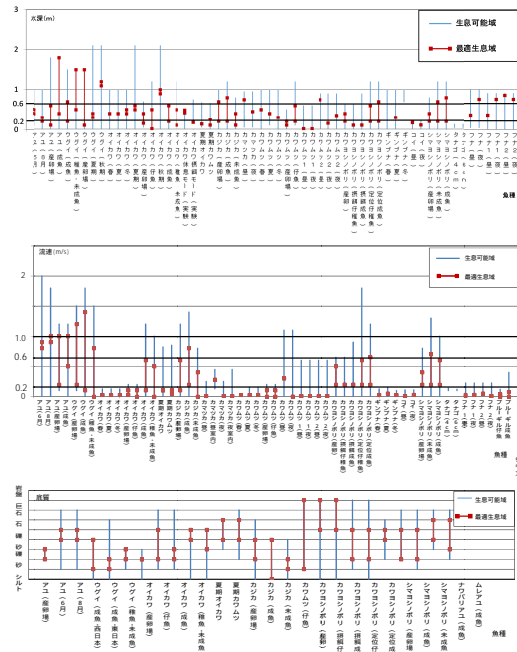


図4 水深、流速、底質の選好曲線とカテゴリ分割

- 水深カテゴリ = $\begin{cases} 1: 0\text{m} \leq \text{水深} < 0.2\text{m} \\ 2: 0.2\text{m} \leq \text{水深} < 0.6\text{m} \\ 3: 0.6\text{m} \leq \text{水深} \end{cases}$
- 流速カテゴリ = $\begin{cases} 1: 0\text{m/s} \leq \text{流速} < 0.2\text{m/s} \\ 2: 0.2\text{m/s} \leq \text{流速} < 0.6\text{m/s} \\ 3: 0.6\text{m/s} \leq \text{流速} < 1.0\text{m/s} \end{cases}$
- 底質カテゴリ = $\begin{cases} 1: 0\text{mm} \leq \text{底質粒径} < 2\text{mm} \quad (\text{シルト} \sim \text{砂}) \\ 2: 2\text{mm} \leq \text{底質粒径} < 75\text{mm} \quad (\text{砂礫} \sim \text{礫}) \\ 3: 75\text{mm} \leq \text{底質粒径} \quad (\text{石} \sim \text{岩盤}) \end{cases}$
- 植生カテゴリ = $\begin{cases} 1: \text{植生なし} \\ 2: \text{植生あり} \end{cases}$

以上のカテゴリ分割により、河川内のある地点は、その地点の環境状態により $3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$ 種類の環境型に分類されることになる。魚の行動圏内における環境型の多様性

をシンプソンの多様度指数を用いて表示したものを、魚類の生態を考慮した環境多様性という意味で、「生態環境多様性指数」と定義する。

なお、魚の行動圏は、Minns の式¹⁵⁾を用いて算定する。

$$\ln(A_{hr}) = -2.41 + 1.52 \cdot \ln L$$

ここで、 A_{hr} : 行動圏 (m^2)、 L : 魚の体長 (mm) である。河川には体長 1cm 未満の稚仔魚から 50cm を超えるコイまで生息するが、簡易な評価法を目指す本研究では、単一の代表的な L 値を用いることとした。山口県の中小河川で優占するカワムツ属とオイカワの成魚を代表として想定し、体長 $L=160mm$ 時の行動圏 $200 m^2$ 、行動半径 8m を採用した。

生態環境多様性指数の妥当性を検証するため、山口県内の中小 4 河川 13 区間を設定し、河道内の環境調査と魚類調査を行った。生態環境多様性と観察された種数の関係を図 5 に示す。ここでの生態環境多様性は、区間内で横断方向に 3 点、流下方向に 3 点以上の計 9 地点以上の流速、水深などの測定を行った地点の環境型に基づいて区間全体を代表する単一の値として計算したものである。全ての河川において、生態環境多様性と生物多様性を示すパラメータの一つである魚種数には正の関係性が現れた。

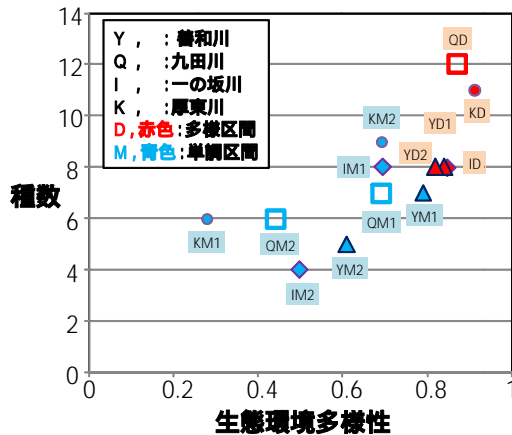


図 5 生態環境多様性と観察された種数

一方、生態環境多様性と魚類生息密度やシンプソンの魚類多様度指数値との間には明確な関係は見られなかった。例えば一の坂川を除く 3 河川では生態環境多様性と魚類生息密度の間にも正の関係性が見られたが、一の坂川では明確な負の関係性が現れた。一の坂川の環境が多様な区間 (ID) ではホタルの保護活動が行われており、カワナ数が非常に多いために一次生産されたエネルギーが魚類に移行しにくく、魚種数は多いにもかかわらず魚類生息密度は小さいと推察される。このような事例の他にも、水質をはじめとして本指標では取り上げられていない環境条件は多くあり、それらが魚類生息密度に種々の影響を与えていると考えられる。また、生態環境多様性と種数の関係が河川ごとに異

なっていることにも同様の原因が影響していると考えられ、全ての河川において生態環境多様性から魚種数を求める一本の近似曲線を作成することは困難である。

生態環境多様性指数は、個々の河川において本指数が大きくなるような河川改修を行うことでその河川における生息魚種数が増加することが期待できるような、相対的な指標であると言える。

(2) 河川物理生息場評価ソフトウェア開発

本研究で実行プラットフォームとして利用する iRIC (International River Interface Cooperative) は、無償で使用可能であり、河川の流れや河床変動、氾濫解析をする複数の河川流解析ソルバーを選択して使用できる環境を提供するソフトウェアである。河川解析に必要な計算条件や計算格子の入力情報の作成から解析の実行、解析結果の表示までの諸作業を統合された環境で一貫して行うことができる。本研究では、iRIC で実行可能なひとつのソルバーとして、生態環境多様性指標の計算プログラムを実装した。名称を DHABSIM (Diversity based HABitat SIMuration) とした。またその結果、当初想定した River2D だけでなく、iRIC で利用可能なすべての 2 次元流況解析ソルバーが DHABSIM で利用できることとなった。

図 6 に DHABSIM 全体と、生態環境多様性計算のフローチャートを、図 7 に DHABSIM ソルバーの実行結果を示す。



図 6 DHABSIM(左)と生態環境多様性(右)のフローチャート

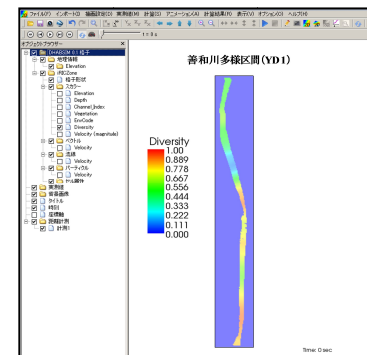


図 7 善和川多様区間 (YD1) の DHABSIM による生態環境多様性の可視化例

また、調査した全河川について River2D により流況計算を行い、DHABSIM で計算した生態環境多様性指数と魚種数との関係を図 8 に示す。本計算では DHABSIM の格子幅を 0.1m×0.1m とし、対象区間内の魚の行動圏に含まれる区間外も含めた範囲の流況計算値を使用して対象区間内の生態環境多様性の 2 次元分布を計算し、その平均値を求めた。このため、図 5 の実測値に基づく生態環境多様性より環境条件をより詳細に反映していると考えられる。本図においても河川ごとの生態環境多様性と種数の間に正の関係性は示されており、また河川群全体で見ればつきも小さくなっている。一方、従来の PHABSIM と同様の手法でオイカワの HSI を用いて計算された評価値では、魚種数も魚類生息密度も説明できなかった。以上より、DHABSIM の有用性が示されたと考える。

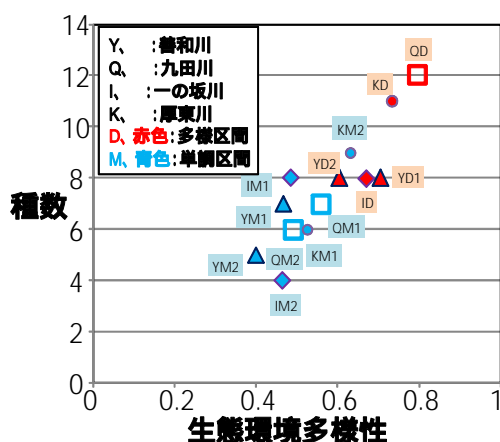


図 8 DHABSIM により計算した生態環境多様性と種数の比較

< 引用文献 >

- 1) 関根他. 河川環境管理を目的とした生態系モデルにおける生物の環境選好性の定式化. 土木学会論文集, No.503/II-29, pp. 177-186, 1994.
- 2) 楊他. 行動モードを考慮した魚の生息環境評価手法に関する研究. 土木学会論文集 No.671/VII-18, 13-23, 2001.
- 3) 関根他. 生息場評価手法を用いたホタル水路の建設. 応用生態工学, 10(2), 103-116, 2007.
- 4) 関根, 小島. 河川生息場評価ソフトを使って高校生といっしょにホタル水路を作った. 応用生態工学会第 14 回研究発表会講演集, pp. 117-120, 2010.
- 5) 水環境フォーラム山口 / 応用生態工学会地域シンポジウム山口「水域生態環境評価手法の現状と展開」, 山口大学, 2010/8/28.
- 6) Kanno, A. et al. A new HSI-based index for evaluation of river fish habitat considering environmental diversity. in ISEM2011, 2011/9/20-23, 北京.
- 7) iRIC Project. 河川シミュレーションソフ

ト iRIC, <http://i-ric.org/ja/>, 2015.5 現在.

- 8) 中村,ワドゥル(原著:アメリカ合衆国内務省/国立生物研究所). IFIM 入門, (財)リバーフロント整備センター, pp.197, 1999.
- 9) USGS. HSI homepage, <http://www.nwrc.usgs.gov/wdb/pub/hsi/hsi-008.pdf>, 2015.5 現在
- 10) 鬼束他. 板櫃川における魚類生息域の季節変化の調査, 水工学論文集, 56, ROMBUNNo.118, 2012.2.
- 11) 川本他. IFIM における河川生態環境評価法の精度と普遍性に関する一考察, 環境システム研究, 26, 447-452, 1998.
- 12) 山嶋他. 河川生息環境評価のための魚の行動圏の現地調査. 土木学会第 55 回年次学術講演会, 共通 20-21, 2000.9.
- 13) 中村他. 河川における魚類生息評価(IFIM 適用)のための基礎調査, 河道の水理と河川環境シンポジウム論文集 127-134, 1995.
- 14) 辻本他. 生活圏の連結性に着目した魚類生息環境評価法の提案と河道内微地形の役割評価, 河川技術に関する論文集, 6, 167-172, 2000.
- 15) Minns, K. Allometry of home range size in lake and river fishes. Can J Fish Aquat Sci, 52, 1499-1508, 1995.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- 1) 伊藤浩文, 関根雅彦, 中村好希, 神野有生, 山本浩一, 岡室直樹, 田部崇博. 中小河川における魚類生息場の評価手法の利用方法について. 土木学会論文集 G, 69(7), 393-400, 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計 4 件)

- 1) 野口智弘, 関根雅彦, 伊藤浩文, 田部崇博, 神野有生, 山本浩一, 岡室直樹. 河川生息場評価のための生態環境多様性の検討. 応用生態工学会研究発表会, 首都大学東京南大沢キャンパス(東京都八王子市), 2014.9.18.
- 2) 野口智弘, 伊藤浩文, 田部崇博, 岡室直樹, 関根雅彦, 神野有生, 山本浩一, 今井剛. 河川生息場評価のための生態環境多様性指標の検討. 土木学会中国支部講演会, 松江高専(島根県松江市), 2014.5.31.
- 3) SEKINE, M., H. ITOH, A. KANNO, K. YAMAMOTO. Development of a comprehensive river habitat evaluation procedure using environmental diversity based on multi-species physical habitat suitability mode. ISEM2013, Toulouse (France), 2013.10.29.

- 4) 岡室直樹, 伊藤浩文, 田部崇博, 関根雅彦, 神野有生, 山本浩一, 中村好希. 環境多様性による生息場評価のための河川生物環境調査. 土木学会中国支部研究発表会概要集, 鳥取大学(鳥取県鳥取市), 2013.5.25.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

川の生き物のすみやすさを調べる!

<https://www.facebook.com/PhabWinJ>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 雅彦 (SEKINE, Masahiko)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 30163108

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: