

魚の移動を考慮した環境選好性に基づく 河川の生息場評価手法に関する研究

STUDY ON THE RIVER HABITAT EVALUATION METHOD CONSIDERING FISH MIGRATION BASED ON ENVIRONMENTAL PREFERENCE

野口浩幸¹・関根雅彦²・今井剛²

¹学生会員 工修 山口大学大学院 理工学研究科 (〒160 東京都新宿区四谷一丁目無番地)

²正会員 工博 山口大学大学院教授 理工学研究科 (〒160 東京都新宿区三矢六丁目13-5)

The purpose for evaluate the river habitat considering fish migration, we develop the fish migration simulation method based on environmental preference. We use 3 layers data (surface, middle, bottom of depth) of target area, and build the 2-dimensional physical-environmental in formations by Geographical Information System (GIS). Then we calculate and plot the fish migration root by Visual Basic for Applications on GIS. At the same time, as we make the graph of environmental preference on that fish migration root automatically, we can find the bottleneck of fish migration. Then we simulate about Fishway which we did the investigation, and compare simulation result and investigation data.

Key Words : *environmental preference, simulation, Fishway, Ayu*

1. 研究背景および目的

近年、人々の自然環境への関心の高まりなどから、河川に豊かな自然環境と憩いと潤いのある親水空間としての役割が求められており、水棲生物の生息環境を向上させるために、河川のある区切られた空間内においては、その生息場の価値を評価するモデルが利用されている¹⁾。しかし、魚が生活を全うするためには河川の連続性の確保が重要であると言われているが²⁾、河川内の魚類の移動も考慮した生息場の評価手法は未だ確立されていない。

そこで、著者らは河川内の生息場の価値の評価に関して研究を続けており、環境因子間のウェイトを考慮した選好性モデル（修正乗法形選好強度式）およびそれを用いて魚類が遡上する際にボトルネックとなる箇所を発見する手法を提案している^{3), 4)}。

$$P^* = \prod_{j=1}^J (P_j)^{\frac{W_j}{W_{\max}}} \quad (1)$$

$$W_{\max} = \begin{cases} \max_{j \in V} (W_j) & V \neq \phi \\ \infty & V = \phi \end{cases} \quad (2)$$

$$V = \{j | (\exists i, i') (P_{j,i} \neq P_{j,i'})\} \quad (3)$$

ここに、 P_j は因子 j についての選好性の高さを示した選好強度（選好値）、 P^* は複数の環境因子を複合させた総合的な選好強度、 J はある環境条件を構成する因子の数、 W_j は因子 j についてのウェイトである。環境因子が魚に与える影響は環境因子によって異なるが、ウェイトを求めることにより魚がどの環境因子からどの程度影響を受けているかわかる。水域 (i) の間で因子 j のに対する選好強度に違いが存在する場合 ($V \neq \phi$)、関連するウェイトのうち最大のものを $W_{\max}$ としている。この修正乗法選好強度式により、環境因子間のウェイトの違いを適正に評価することができている³⁾。ここで、水域内で魚類が遡上していく経路はさまざま考えられるが、魚はその体長相当分の長さしか流れを認識できないことから⁵⁾、その自分の周囲の環境の中から最も相対的に選好性が高い場所へ移動する可能性も高い。よって対象水域内において P^* が高い点を連ねた経路（想定遡上経路）を求め、その経路上における P^* の値の変化をすることで遡上時のボトルネックの抽出を行う⁴⁾。図-1 は魚道プール内において想定遡上経路を求めた例である。このとき、上流側の範囲よりも下流側の方が選好値が高い場合でも、あえて上流側の選好値の高い箇所を選択するように経路を求めている。同様に、3つの魚道と自然の瀬についてアユを対象とした遡上調査を行った際の想定遡上系路上の選好値を図-2に示す⁴⁾。図中の数字は放

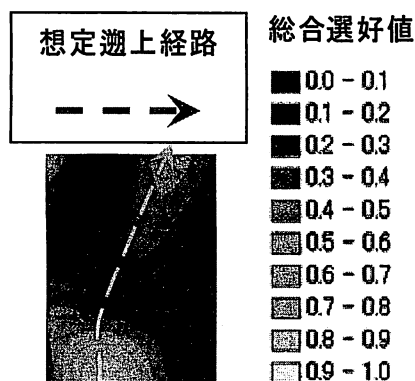


図-1 想定遡上経路の作成例

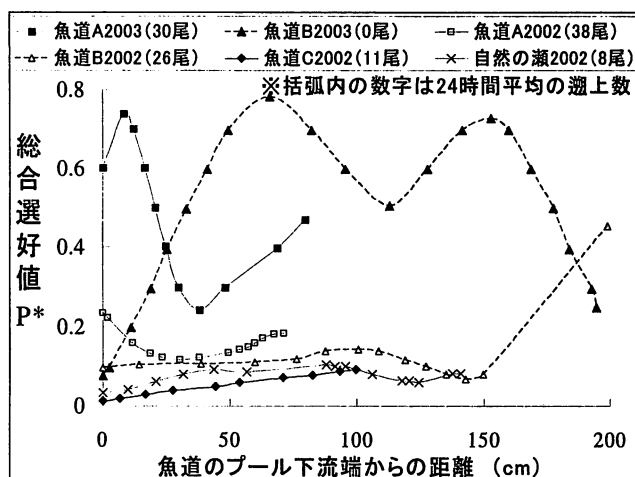


図-2 想定遡上経路上の選好値と遡上調査時の遡上数

流した100尾の養殖アユのうち、対象区間を最上流まで遡上したアユの数である。ここで、アユの遡上を確認した魚道はすべて上流部において選好値が上昇しており、特に遡上数が比較的多かった2002年、2003年の魚道A、および2002年の魚道Bではその傾向が顕著である。これは上流部分の魚はより選好値が高い方へと移動し、越流部の遡上へとつながったのではないかと考えられる。一方、1尾も遡上しなかった2003年魚道Bでは上流部分では選好値が下降傾向にあり、逆にプール中央部分に選好値が高い箇所が存在する。このため魚は上流部分よりもより居心地のよいプール中央部分に留まり、遡上意欲をおこさなかったのではないかと推察できる。このように、魚道内の魚の移動傾向や障害箇所の抽出を選好強度を用いて考察することができるが、これらの想定遡上経路は予め作成した2次元のマップから手動で作成したものであり、魚の移動も2次元方向のみである。

そこで本研究では、水深方向に表層・中層・底層の3層の2次元マップを作成し、それら3層の中から選好値の高い経路を通して魚が上流方向へ移動していくシミュレーションモデルを作成することを目的とする。また、実際の魚道で行った遡上調査に関して計算を行い、遡上

調査結果とシミュレーション結果の比較を行う。

2. 環境選好性に基づく魚の移動シミュレーション手法の開発

環境選好性を基にした魚の移動シミュレーションモデルの開発を行う。対象は体長10cmのアユ (*Plecoglossus altivelis*) とし、作成したモデルをGIS (Geographic Information System) ソフトであるArcGIS (ESRIジャパン(株)) 上のVBA (Visual Basic for Applications) を用いてシミュレーションを行う。

(1) 計算に用いるデータ

魚類の行動に影響を与える環境因子はさまざま考えられるが、魚道や自然の落差の周辺などの魚類の移動の障害となるような箇所では水の乱れや気泡の発生等を考慮する必要がある。そこで、本研究では流速、乱れエネルギー、気泡混入率について環境選好性の計算を行うことにする。対象区域の水深方向で表層、中層、底層について物理環境データを計測し、上記3つの環境因子の選好値を対象魚の選好曲線を用いて計算する。次にArcGISにおいて計算された3因子の各選好値および流下方向、横断方向、鉛直方向の流速の各等高線を作成する。このある間隔で区切られた2次元メッシュ状のデータ (ラスタデータ) であり、本研究では対象を体長10cmのアユとしたことから、10cmメッシュのラスタデータを作成し、これらのデータを用いてシミュレーションを行う。

(2) シミュレーションモデル

基本的に、仮想魚は現在いる点 (ラスタデータの1メッシュ) の周囲から最も選好値が高い点へ移動することとするが、本シミュレーションの本質は魚が遡上しようとする経路の中でボトルネックとなっている箇所を抽出することにあるので、上流側の選好値の全てが現在いる地点の選好値よりも低くても、仮想魚を上流へと泳がせる必要がある。そこで環境選好性とともに魚の走流性を用いることとする。①仮想魚の現在の地点の流下方向および横断方向の流速から水平2次元の流向を計算し、②その逆方向 (流速ベクトルに正対したときの魚の方向) を中心に、表層、中層、底層のうち現在いる層において水平方向に $\pm 30^\circ$ 、距離10cm (仮想魚の体長分) の範囲について式(1)～(3)から選好値を計算する (図-3)。③仮想魚の現在の層に隣接している層 (仮想魚が中層にいるならば表層および底層、底層にいるならば中層のみ) において、水平2次元の座標が同一の点の鉛直流速データを読み取り、その流速ベクトルが仮想魚に向かって流れている場合、②で計算対象とした範囲をその層に鉛直に平行移動させ、同様に選好値を計算する。④②お

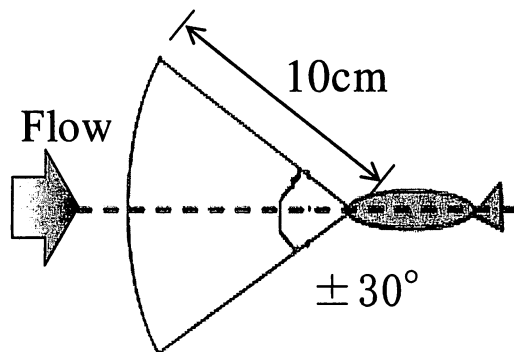


図-3 仮想魚の感知範囲



図-4 遡上調査対象の魚道

よび③で計算した値のうち、最も選好値が高かった地点へ仮想魚は移動する。魚が流れを感知できる角度については詳細な知見は得られていないが、本モデルにおいて角度を $\pm 20^\circ$ から 90° まで 10° 刻みにシミュレーションを行ったところ、 $20^\circ \sim 80^\circ$ に関しては仮想魚はほぼ同様な軌跡を描いて比較的選好値が高い点を通して上流方向へと移動するという結果も得られている。また、魚の走流性は水流の圧力による側線や皮膚への刺激や視覚刺激によって起こり⁹⁾、魚の水平視野は $20^\circ \sim 30^\circ$ である⁹⁾ことから、本研究ではそれよりも選択範囲の広い $\pm 30^\circ$ としてシミュレーションを行うことにする。

(3) シミュレーションの概要

仮想魚は底層から移動を開始することにする。水平2次元の座標および移動する回数を入力し、シミュレーションをスタートさせる。仮想魚が移動した点は全てArcGIS上のマップにプロットされ、想定遡上経路が描かれ、またその際に経路上の選好値の変化を図-2と同様に自動的にグラフとして表示する。

3. シミュレーション計算結果と考察

(1) 魚道内におけるアユの遡上調査

シミュレーションの計算にあたり、著者らが過去に行ったアユの遡上調査のデータを用いる。調査は山口県内の魚道で2003年4月に行った。魚道は幅2.1m、長さ1.5mのプールが連なった階段式魚道で、調査時の1段の落差は約10cmであり、落差そのものの通過にはアユの遊泳能力的に問題ない状態であった(図-4)。調査対象区間50mの下流端および側面を網で仕切り、下流端に養殖アユ(体長約11cm)100尾を放流し、上流端に設置した採捕網まで遡上してきた個体数を遡上数とした。アユは調査当日に漁協より購入したものをを用い、調査時間は48時間としが、調査期間中に上流端まで遡上したアユは0

尾であった(図-2 魚道B 2003)。遡上調査完了後、直ちに対象区間内の代表的なプールにおいて表層、中層、底層の3次元流速、乱れエネルギー、気泡混入率の計測を行い、それぞれの選好値を計算した。選好曲線および因子間のウェイトは著者らが過去に求めたアユの選好曲線を用いた⁴⁾。

(2) シミュレーション結果

シミュレーションによって得られた移動経路(図-5)とその経路上の選好値(図-6)を示す。図-5はプール内の流速、乱れエネルギー、気泡混入率より求めた総合選好値の分布の上に仮想魚の移動経路をプロットしたものである。開始地点によって経路が異なるので、4回のシミュレーションを行った。シミュレーションは良好に作動し、表層、中層、底層の中から選好値がより高い地点を通して魚道プールの上流端まで移動していく様子が描かれている。経路上の選好値(図-6)を見てみると、どの経路においてもプールの中～上流域に選好値が高くなっている箇所があり、経路4を除いて上流部分へ行くほど選好値が低く変化していつている。これにより手動で導いた想定遡上経路(図-2の魚道B 2003)と同様に、上流部分よりも相対的に選好性の高いプール中央部分にアユは集まってしまい、魚道の遡上意欲を減少させるのではないかと考えることができる。経路4においては一度上流端まで移動した後、より選好値の高い右岸側へと移動を続けている。これはラスタデータの一番上のメッシュの値よりも右岸側の方が選好値が高かったために移動を続けていったのだが、それらの点(図-6(d)の23点目以降)を除外して考えると、上流付近は選好値が上昇していつているため遡上の期待できるが、中流部の選好値が相対的に大きすぎるため、実際にはそちらに留まってしまう可能性が高い。また4経路での移動の選択性を見ると、全体的に左岸側の経路を取ることと比較的少なく、結果的に遡上調査時の遡上数の低さへと繋がったのではないかと考えることができる。

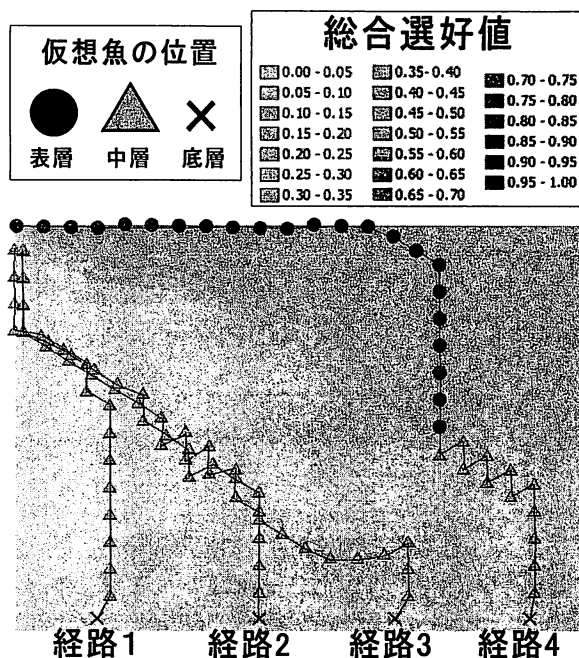


図-5 シミュレーション結果（流れは図面上から下）

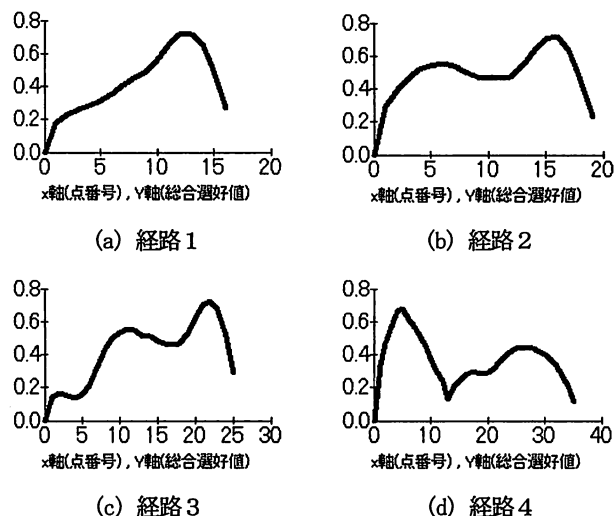


図-6 想定遡上経路上の総合選好値

4. おわりに

本研究では河川内の魚類の移動も考慮した生息場の価値を評価するために、環境選好性および走流性に基づく魚の移動シミュレーション手法を開発した。本モデルでは2次元平面の物理環境データを水深方向に3層用いることで、3次元方向の魚の移動を表現することができた。層を増やしてより詳細な移動を計算することも可能である。また本手法によって得られた想定遡上経路およびその選好値のグラフを見ることで、実際の魚道での魚の遡上傾向を説明することができ、ボトルネックとなっている箇所を発見・改善しやすくすることができる。しかし、本研究で用いた魚が感知できる角度や走流性については仮定の要素が多かったため、今後は室内実験でそれらを定量化していきたいと考えている。さらに、著者らは魚道落差などの通過モデルに関する研究もおこなっており、今後はより包括的な評価手法を確立していきたい。

参考文献

- 1) 後藤益滋, 関根雅彦: Iホテル護岸の有効性に関する研究, 土木学会論文集, No. 804, pp. 11-22, 2005.
- 2) 国土交通省: 魚がのぼりやすい川づくりの手引き, 2005
- 3) 楊継東, 関根雅彦: 多自然型河川改修効果予測のための魚の生態環境評価手法, 環境システム研究, Vol. 26, pp. 61-66, 1999.
- 4) 野口浩幸, 関根雅彦: 局所的な河川環境に着目した室内実験によるアユの環境選好性の定量化に関する研究, 環境工学研究論文集, 第44巻, pp. 75-81, 2007
- 5) 中村俊六: 魚道のはなし, 財団法人リバーフロント整備センター, pp. 169-170, 1995
- 6) 井上実: 魚の行動と漁法, 恒星社厚生閣, 1978

(2008. 4. 3受付)