

環境選好性に基づく魚の河川遡上経路の評価手法の開発

○山口大学 正会員 野口浩幸 山口大学 正会員 関根雅彦 宇部市 正会員 岡部勝一
山口大学 学生員 神崎麻純 山口大学 正会員 浮田正夫 山口大学 正会員 今井 剛

1. 研究背景および目的

近年、魚が棲みやすい河川が求められているが、落差工などの遡上・降河の妨げとなる箇所があり、自由に行き来できていない部分も多い。筆者らはそれらの障害部分も含め、魚の巡航速度で遊泳できる範囲については環境選好性を用いた評価手法を提案してきた¹⁾。本研究ではそれらに基づく魚の挙動シミュレーションから、河川の巡航速度での遡上経路の良否の評価システムを開発する。また、昨年報告した²⁾、巡航速度では対応できない河川の落差部における環境選好性モデルを改良し、河川の障害部分の通過しやすさの評価法を提案する。

2. GIS（地理情報システム）を用いたアユの環境選好性に基づく遡上経路探索シミュレーション

(1)：筆者らが提案する選好強度式：筆者が属する研究室では、魚類生息場ポテンシャルを次の[1]式を用いて評価している。P_iは環境因子に対する選好性を0～1の値で表した選好強度（選好値）、W_iは因子間のウェイト、W_{max}は選好強度に違いが存在する因子に対するウェイトのうち最大をとるものである。

$$P^* = \prod_{i=1}^I (P_i)^{\frac{W_i}{W_{\max}}} \quad [1]$$

(2)シミュレーションの手順：対象区域の物理条件をGIS上で2次元メッシュ状のデータに変換する。その値を基に[1]式で環境選好性を表し、アユの挙動をVBA（Visual Basic for Application）で作成したプログラムによってシミュレーションする。プログラムでは、魚道内をアユが遡上時に通過すると予想される経路上の問題箇所を抽出するプログラムとするため、現在いる場所より選好値が低くても上流方向に進ませる必要がある。このため仮想魚の位置している場所のX方向流速とY方向流速から流向計算し、流向方向の±60°の範囲の1cm先の物理条件から選好強度を計算し最も選好強度が高い位置へ移動することとした。これによって選好値に基づいた想定遡上経路が描かれ、想定遡上経路上の総合選好値の変化を示すグラフを自動で作成表示するシステムとした。

(3)結果および考察：三隅川に設置されている環境保全型ブロック(図1)を対象に、流速、気泡、乱れエネルギー¹⁾から選好値のGISデータを作成し、上記シミュレーションを行った。図2に結果を示す。プログラムは正常に作動し、選好値の高い場所を通して上流側に移動している様子が示された。本シミュレーションにより得られる想定遡上経路上の選好値の図を見ることで、通過しやすい魚道かどうか一目で判断することが可能である。今後は選好の判断基準に他の魚との距離等の要素を加え、より実状に即したモデルを作ることが課題である。

3. アユの河川落差部に対する選好性実験

河川落差部において魚は突進速度による通過と跳躍による通過の二つの選択肢がある。遊泳と跳躍のウェイト、またナップ（剥離流）や助走距離の影響を確認するために選好性実験を行った。

(1)実験装置：実験に用いた水路を図3に示す。堰構造物によって水路中に落差部を作成でき、下流端の堰高の調整で落差や跳躍の助走距離などを自由に变化できる。左右の水路で異なる形状の堰や越流条件を設定し、

キーワード アユ、選好強度式、GIS、シミュレーション、魚道

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学 TEL0836-85-9300



図1 環境保全型ブロック

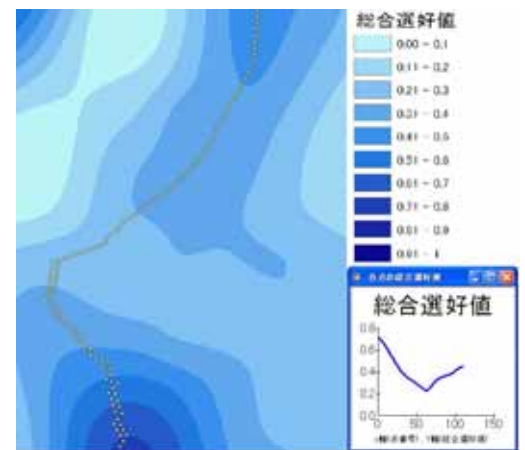


図2 シミュレーション結果

魚がどちらを選択して遡上するかを観察することで、選好性を定量化する。水路周囲を暗幕で覆い、視覚刺激を少なくした。水路上部に設置したビデオカメラで撮影し、遡上数を計測した。

(2)実験条件：体長約 10cm、体高約 2cm の養殖アユを、1 回の実験につき 3 匹用いた。実験時間は 4 時間、1 条件で 3 回行う。下流水深を 10,25,50cm、落差を 9,14,19cm の 3 通りに変化させた。一方の水路では越流部に不完全ナップ、他方では付着ナップを形成させた。

(3)実験結果および考察：各条件での落差部流況の主な諸元とそれに対する選好値（図 4 より）、および以下の[2]式で計算した選好値を表 1 に示す。下流水深の変化より、遡上の助走には体長程度の水深で十分であり、深すぎると遡上意欲が減ずるためか、遡上数は減少することが示された。

本実験において、アユは不完全ナップでも泳いで遡上することが確認された。しかし付着ナップに比べ数は少ないことからナップにも選好性があると考え、遊泳のみで遡上した落差 9cm の下流側水深 10,25cm の遡上合計数を参考に、 $P_{\text{ナップ}} = \text{付着} : P_{\text{ナップ}} = \text{不完全} = 1 : 0.25$ とした。

また落差が大きくなり、遊泳が困難になるにつれて跳躍による遡上が多く確認されたことより、アユはまず遊泳により遡上を試みて、遊泳での通過が困難になると跳躍を試みるという仮説が示唆された。

4. 落差部における選好強度式の提案

実験結果を基に、河川落差部における選好強度式は[2]式の形で表現できると考えた。

$$P_G = (1 - \delta_{(P_B)}) \cdot P_B \cdot W_B + \delta_{(P_B)} \cdot P_J \cdot W_J \quad [2]$$

$$\delta_{(x)} = \begin{cases} 1 & (x = 0) \\ 0 & (x \neq 0) \end{cases}$$

ここに、 P_G は落差部の選好強度(P_{Gap})、 P_B は遊泳して遡上する場合の選好強度($P_{\text{Burst Swim}}$)、 P_J は跳躍して遡上する場合の選好強度(P_{Jump})である。 P_B は突進速度継続時間、落差部(越流)水深、ナップの選好強度を掛け合わせたものであり、 P_J は落差の選好曲線より求まる。本来 P_B を求める際にも各因子間のウェイトを乗じる必要があるが、本研究では遊泳因子間のウェイトを算出できていないので、各選好強度のみを掛け合わせる形としている。 $\delta_{(P_B)}$ （デルタ関数）によって「遊泳が可能なら跳躍せず、困難になったら跳躍を開始する」ことを表現している。また P_B と P_J にはそれぞれウェイトが乗じられてあり、実験結果に符合するように、 $W_B : W_J = 1 : 0.25$ とした。[2]式で求めた落差部の選好値と、下流側水深 10 および 25cm における各落差の遡上率を図 5 に示す。同図より[2]式の妥当性が示されたと言える。今後はより高い再現性のため、遊泳因子間のウェイトの算出が課題である。

5. まとめ

環境選好性を基に GIS 上でアユの想定遡上経路をシミュレーションし、評価結果を可視化できるシステムを作成した。落差部分の定式化と併せて、合意形成ツールとして高い有用性を備えることができると考えられる。

参考文献 1) 森他「落差工の魚類通過性能評価のための環境選好性の定式化の検討」第 56 回土木学会中国支部研究発表会概要集 P.663-664 2004

2) 岡部他「室内実験によるアユの河川落差部における選好強度式の定式化」土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.60 Disk 1 P.2-225 2005

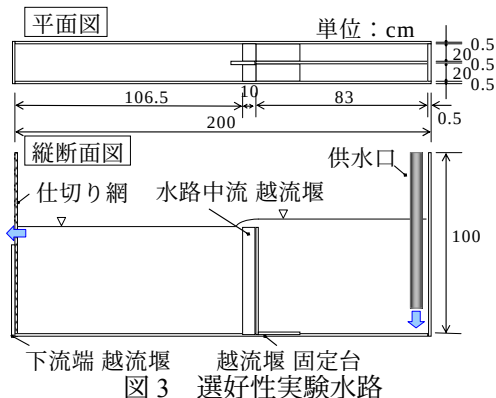


表 1 実験条件および実験結果

実験条件	落差 9cm		落差 14cm		落差 19cm	
	付着ナップ	不完全ナップ	付着ナップ	不完全ナップ	付着ナップ	不完全ナップ
落差部水深 (cm)	2.40	2.40	1.70	1.70	1.50	1.50
水深選好値 ($P_{\text{水深}}$)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
落下流速 (m/s)	1.13	1.13	1.58	1.58	1.80	1.80
突進速度継続時間選好値 ($P_{\text{突進速度}}$)	0.95	0.94	0.78	0.74	0.00	0.00
ナップ選好値 ($P_{\text{ナップ}}$)	1.00	0.25	1.00	0.25	1.00	0.25
落差選好値 ($P_{\text{落差}}$)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
下流水深50cm遡上成功数 (跳躍による通過数)	7	1	0	0	0	0
下流水深25cm遡上成功数 (跳躍による通過数)	7	1	6	2 (1)	3 (1)	1
下流水深10cm遡上成功数 (跳躍による通過数)	5	2	7	1	1	3 (2)
$P_B = P_{\text{水深}} \times P_{\text{突進速度}} \times P_{\text{ナップ}}$	0.95	0.24	0.78	0.19	0.00	0.00
$P_I = P_{\text{落差}}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

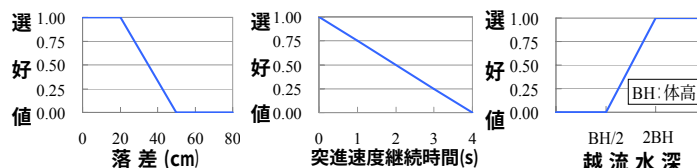


図 4 落差部環境因子の第 1 種選好曲線¹⁾

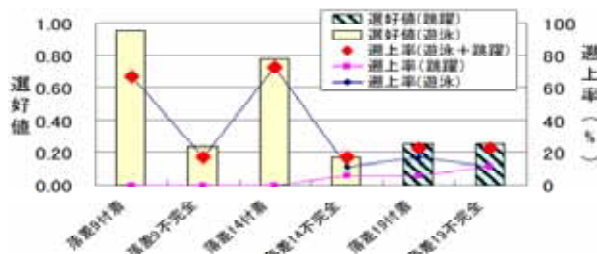


図 5 遡上率と落差部選好値