

落差工の魚類通過能評価のための環境選好性の定式化の検討

○ 山口大学大学院 学生員 森 知孝 山口大学工学部 正会員 関根雅彦
 山口大学大学院 学生員 野口浩幸 明石高専 正会員 渡部守義
 山口大学工学部 正会員 今井 剛 山口大学工学部 正会員 樋口隆哉
 山口大学工学部 正会員 浮田正夫 ランデス株式会社 山嶋佳代子

研究背景および目的 我々はすでに河道内の落差部以外における魚の分布を表現できる選好強度式を提案した¹⁾。本研究では、新たに河川落差部に着目し、日本の川魚の代表であるアユを用いて、河川落差部に特有の環境因子の内、流速、気泡、水の乱れについて室内実験により選好曲線を定めるとともに、落差部の選好強度式の定式化を試みた。

U時迷路型水路を用いた選好性実験

(1) **実験水路**：実験水路の概略を図1に示す。試験区の一部で2本の水路が接合されており、魚は左右の水路を自由に選択できる。

(2) **実験手順**：水温 $12 \pm 1^\circ\text{C}$ において体長約 11cm、さらに $21 \pm 1^\circ\text{C}$ において体長約 14cm の養殖のアユを用いて実験を行った。1 回の実験での試験魚数は 3 尾とし、水路内で 1 時間馴致した後、1 時間の実験を行った。実験回数は基本的には 1 条件につき 3 回とし、結果にばらつきが見られた場合にはより近い値 2 つを採用した。初めの 2 回が同様の結果であった場合は、2 回で終了とした。

流速実験：流速は実験水路上部に設置したタンクのコックの開閉により調整した。

気泡実験：実験区間底面にエアストーンを敷き詰め、気泡を発生させた。気泡量の測定は 60ml 注射器で引き抜いた空気量により行った。実験時の流速は 10cm/s とした。

水の乱れ実験：試験区の上流に障害物を設置（図2）し、水の乱れを発生させた。本研究では水の乱れ具合を[1]式の乱れエネルギー(K)で表現した。

$$K = \frac{1}{2} \cdot (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{z'^2}) \quad [1]$$

ここに、 $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$, $\overline{z'^2}$ はそれぞれ x, y, z 方向の流速の分散(乱れ強度)である。なお、実験時の流速は 30cm/s とした。実験水路内の乱れエネルギーが平面方向で一様ではなかったため、水路平面を流下方向 3 区画×横断方向 5 区画の 15 分割し、各エリアの魚の分布率を求めた。

(3) **分布率および選好値の計算方法**：実験水路上部に設置した PC カメラにより、魚の挙動を 1 分間ごとに撮影し、魚の左右水路の存在数を計数し、実験に用いた魚の総数で除し分布率を求めた。なお、一回の実験の分布率は、実験条件を変化させた水路の 60 分間の平均値とした。選好値(P)は、次の[2]式から求める。

$$\frac{D_{\text{右}}}{D_{\text{左}}} = \frac{P_{\text{右}}}{P_{\text{左}}} \quad [2]$$

ここに $D_{\text{左}}$ は近似曲線より定まった分布率であり、 $D_{\text{右}} = 1 - D_{\text{左}}$ が成り立つ。仮に右水路の実験条件を固定して左水路の条件を変化させたとすると、 $P_{\text{右}}$ を任意の一定値に固定して、 $D_{\text{左}}$ の値ごとに[2]式から $P_{\text{左}}$ を計算する。計算した $P_{\text{左}}$ のうち最大値を 1 となるよう正規化し、選好曲線を導いた。

(4) 実験結果及び考察

流速実験：流速実験より求めた選好曲線を図3に示す。体長、水温が変化すると、全体的に選好性は変化するが、選好流速帯はあまり変化せず 25~40cm/s であった。

気泡実験：気泡実験結果を図4に示す。体長、水温が変化しても選好曲線に大きな違いは見られなかった。

乱れ実験：水の乱れ実験結果を図5に示す。気泡と同様に水温が変化しても選好曲線に違いは見られなかった。

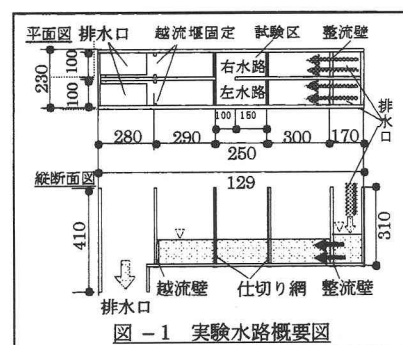


図-1 実験水路概要図



図-2 水の乱れ実験

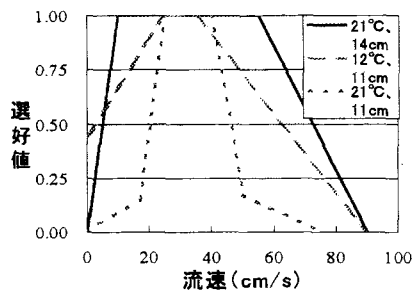


図-3 アユの流速に対する選好曲線

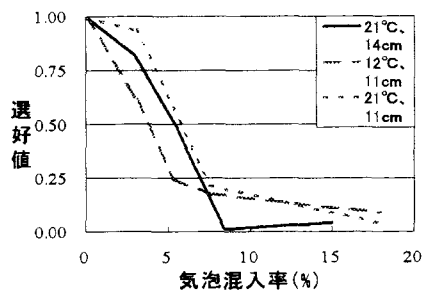


図-4 アユの気泡に対する選好曲線

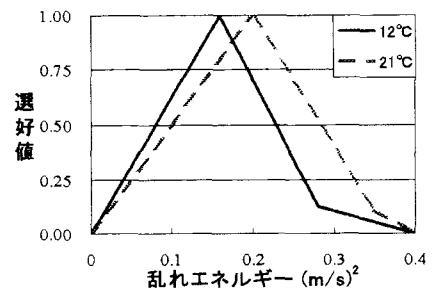


図-5 アユの水の乱れに対する選好曲線

河川落差部における選好性の定式化

(1)目的：河川落差部には、巡航速度で通過できるプール部と、突進速度あるいは跳躍によらなければ通過できない越流部が存在する。プール部については我々の既存の選好強度式に対して本実験で得た流速や気泡、乱れの選好曲線を導入することで表現可能である²⁾。ここでは越流部の選好曲線を考える。

(2)越流部選好曲線の作成：越流部における環境因子である隔壁の落差、突進して越流部を越える時に要する時間（以下、突進速度継続時間）、越流部の水深について、アユの選好曲線を専門家の知見や文献^{3,4)}に基づき選好曲線を作成した（図6,7,8）。気泡については室内実験より求めたものを用いた。

(3)越流部総合選好値の提案：以下の[3]式を用い突進速度継続時間を求めた。

$$T_p = L_p \div (V_d - V_w) \quad [3]$$

L_p は越流部を越えるために必要な距離。 V_d は突進速度、 V_w は越流流速である。突進速度は文献より得られた値、160cm/s を用いた。総合選好値は[4]式で表現できると考えた。

$$P_{\text{越流部}} = \left\{ \left(P_{\text{突進時間}} \right)^{\frac{W_{\text{突進時間}}}{W_{\text{max}}}} \left(P_{\text{気泡}} \right)^{\frac{W_{\text{気泡}}}{W_{\text{max}}}} \left(P_{\text{水深}} \right)^{\frac{W_{\text{水深}}}{W_{\text{max}}}} \right\} \times W_{\text{越流部流速}} + P_{\text{隔壁落差}} \times W_{\text{越流部落差}} \quad [4]$$

P は各因子の選好値、 W は因子間のウェイトである。[4]式の右辺第1項は越流部の流況に対する選好値で泳いで遡上する場合に考える、第2項は落差に対する選好値で跳躍により遡上する場合である。因子のウェイトは現時点では定められていない。以下の計算では、 $W_{\text{突進時間}} = W_{\text{気泡}} = W_{\text{水深}} = W_{\text{max}} = 1$ 、 $W_{\text{越流部流速}} = W_{\text{越流部落差}} = 0.5$ と仮定した。

(4)遡上調査結果との比較：越流部の総合選好値の妥当性の検討のため、2002年6月の玉江川に設ける環境保全型ブロックと、その上流部の自然の瀬、および同年8月の三隅川における環境保全型ブロックと、その脇に設置されているせせらぎ魚道で行ったアユの遡上調査の結果を用いた。結果を図9に示す。図9で示すように総合選好値と遡上調査結果に相関がみられた。

おわりに 河川落差部における選好強度式を求め、越流部総合選好値を求めた。より正確な選好値を求めるには因子のウェイトを求めていくことが必要であると考えられる。

参考文献 (1) 楊ら、「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. (2) 小松ら、「河川落差部のアユの遡上経路の環境選好性に基づく数値予測に関する基礎的検討」 土木学会年次学術講演会, 2004. (投稿中). (3) 小山,「アユの生態」中央公論社, p128, 1978. (4) 平野,「魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業」多自然研究, 82, 9-15, 2002.

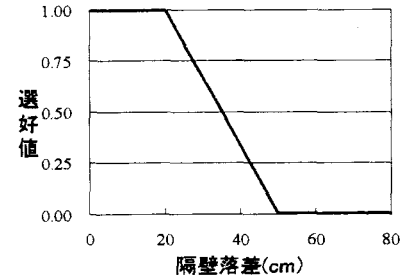


図-6 アユの隔壁落差に対する選好曲線

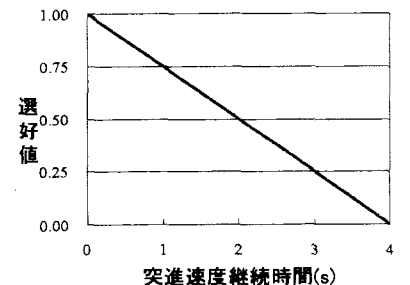


図-7 アユの突進速度継続時間に対する選好曲線

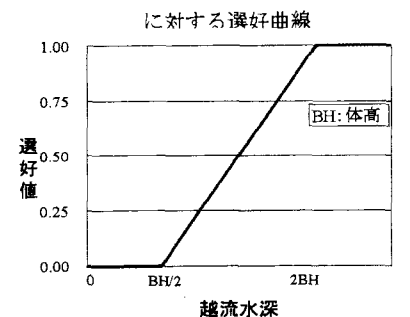


図-8 アユの越流水深に対する選好曲線

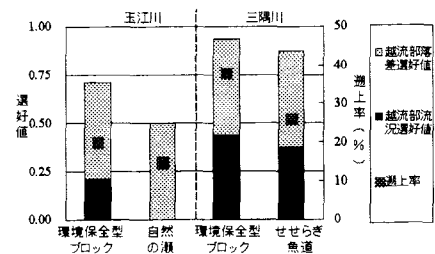


図-9 遡上調査結果との比較