

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

- 山口大学 学生員 岡部勝一 山口大学 正会員 関根雅彦
 日立建設（株） 野口浩幸 山口大学 学生員 神埼麻純
 山口大学 正会員 浮田正夫 今井 剛 樋口隆哉

1. 研究背景・目的 近年、人々の自然環境への関心の高まり等から、自然との共生を目的とした河川構造物の建設が積極的に行われている。しかしそれらの有効性に関する理論的な検証は、適切な評価法が無いために殆どなされていない。本研究室でもこれまでに河川の区間ごとの生息場価値を評価する手法を提案してきたが、落差工や護岸等のように、局所的な流れを形成するものについては検討が不十分であった。包括的な河川の生息場評価法を完成させるには、より小さいスケールの生息場に影響を及ぼす環境因子について考慮する必要がある。本研究では室内の実験施設水路において日本の川魚の代表格であるアユを対象とした選好性実験を行うことで、堰や魚道の隔壁などの落差工における局所的な流況における環境因子の影響を定量解析することを目的とする。

2 アユの落差に対する選好性実験

2.1 実験方法 堰や魚道の隔壁など、落差工や自然の瀬などに見られる越流部の環境選好性の定量化を目的に、選好性実験を行う。実験水路の概要を図1に示す。この水路は水路中流部に堰構造を設置して越流部を作成できる構造となっている。また流入流量を変化させることで越流流速や越流水深などの諸元を変更でき、下流端の堰高の調整で越流の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、試魚がどちらを選択して遡上するかを観察することにより、環境選好性を定量化する。水路周りを暗幕で覆い、視覚刺激を少なくした。実験時間は5時間とし、水路上部に設置したビデオカメラで堰頂部付近を撮影し、堰を遡上した試験魚の数を計測した。

2.2 実験条件 実験には体長約 16.5cm、体高約 3cmの養殖アユを、1回の実験につき3匹用いた。また1条件につき3回の実験を行い、結果を平均した。実験条件および結果を表1に示す。条件1および2については、一方の水路では隔壁の天頂を幅 10cm、長さ 10cm角型にし、越流部に不完全ナップが形成される流れとした。もう一方では、付着ナップが形成されるように隔壁天頂部を横断面を半径 10cm、中心角 90 度の扇形にした。不完全ナップが形成されると魚は遊泳できず、跳躍して遡上しなければならないの

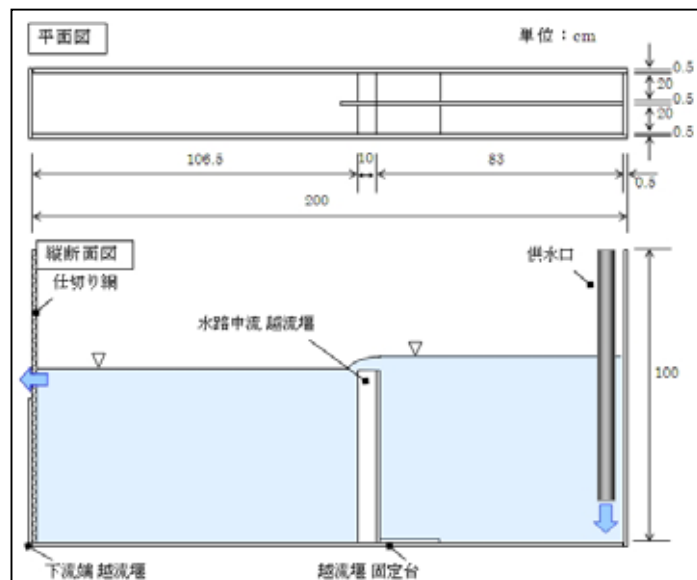


図1 落差実験概要図

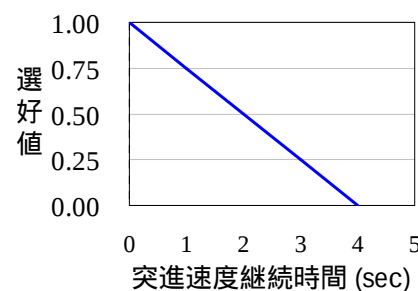
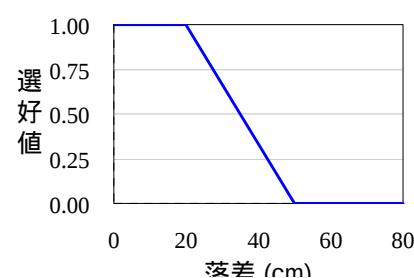
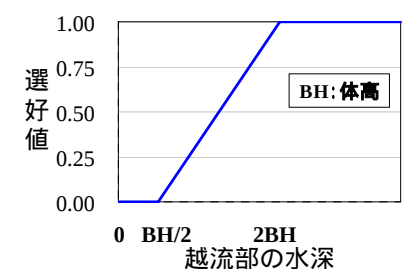


図2 選好曲線

キーワード：アユ 選好強度式 魚道 跳躍

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 TEL0836-85-9311

で、両者のウエイトを定量化できる。左右の水路で流速は異なるが、試験魚の突進速度の範囲内であり、また落差の面でも十分堰の遡上は可能な条件である。条件 1 における付着ナップの水路の水深は試験魚の体高の半分程度であり、遊泳はできるがその能力を十分に発揮できない浅さである。条件 1 と 2 の違いは、落差および堰上の水深である。また条件 3 では、堰の越流部分の幅を条件 2 の半分にすることで、堰上の水深を増し、試験魚が遊泳するのに十分な能力を発揮できるようにした。各条件の水温は 21 ± 1 とした。表 1 に示した選好値とは、アユの流速（突進速度に相当）、突進速度で泳がなければならない距離、落差部の水深に対する選好性を 0 から 1 の範囲の値で数値化したもので、当研究室で、生物生息環境評価モデルである HEP や PHABSIM の第一種生息場適性基準の考え方を採用して作成した選好曲線¹⁾から算出した値である（図 2 参照）。

2.3 実験結果および考察 実験の結果、条件 1 において付着ナップは前述の通り遊泳による通過はやや困難な状態であると考えられる。しかし、その条件においても跳躍をすれば通過できる落差ではあるので、アユは遊泳できる状態では跳躍を選択しないことが示唆された。条件 2 において越流部の水深を増加させると遊泳が可能になり付着ナップを通過するアユが見られた。

表 1 実験条件と選好値および実験結果

実験条件			条件 1		条件 2		条件 3	
ナップ (気泡 選好値)			付着ナップ (1.0)	不完全ナップ (0.0)	付着ナップ (1.0)	不完全ナップ (0.0)	付着ナップ (1.0)	不完全ナップ (0.0)
堰 流況	越流部	流速 (m/s)	0.716	0.567	0.704	0.488	0.929	0.505
		(突進速度継続時間 選好値)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)
		水深 (cm)	4.0	4.0	4.1	4.3	4.4	4.5
		(隔壁落差 選好値)	(0.56)	(0.56)	(0.60)	(0.62)	(0.65)	(0.67)
	落下部	流速 (m/s)	1.14	1.02	1.37	1.50	4.52	1.52
		(突進速度継続時間 選好値)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)
		水深 (cm) (最小水深 - 最大水深) *	2.0 - 2.5 *	-	2.5 - 3.0 *	-	3.5 - 4.0 *	-
		(隔壁落差 選好値)	(0.11)	-	(0.22)	-	(0.44)	-
落差 (cm)		9.0	9.0	6.1	6.3	6.4	6.5	
(隔壁落差 選好値)		(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	
堰の遡上に成功したアユ / 総試験魚数		1回目	0/3	2/3	2/3	0/3	1/3	0/3
		2回目	0/3	1/3	1/4	1/4	2/3	0/3
		3回目	0/3	1/3	0/3	2/3	2/3	0/3
		合計	0/9	4/9	2/9	3/9	5/9	0/9

この条件では落差も低くなっているため、跳躍して通過する個体数も増加している。条件 3 では遊泳の選好性がさらに増加し、アユは不完全ナップの水路は選択せず、付着ナップのみの通過となっている。このことから、跳躍よりも遊泳のほうがウエイトは高いことが示唆されている。

2.4 越流部における選好強度式の提案

実験結果を基に、河川越流部における選好強度式は(1)式の形で表現できると考えた。

$$P_G = (1 - \delta_{(P_B)}) \cdot P_B \cdot W_B + \delta_{(P_B)} \cdot P_J \cdot W_J \cdots (1)$$

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

表 2 越流部の選好強度と遡上個体数

実験条件	条件 1		条件 2		条件 3	
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	付着ナップ	不完全ナップ
P_B	0.11	0.00	0.22	0.00	0.44	0.00
P_J	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P_G	0.11	0.31	0.22	0.31	0.44	0.31
遡上個体数	0	4	5	7	5	0

ここに、 P_G は越流部の選好強度 (P_{Gap})、 P_B は遊泳して遡上する場合の選好強度 ($P_{Burst Swim}$)、 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、越流部の水深、気泡（不完全ナップの場合は 0、付着ナップの場合は 1）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、各環境因子間のウエイトを乗じる必要があるが、本研究では遊泳因子間のウエ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。 $\delta_{(P_B)}$ はディラックのデルタ関数で、 P_B がゼロで無い、すなわち「遊泳する要素が少しでもあれば跳躍は行わない」ことを表現している。また P_B と P_J にはそれぞれウエイトがかけられており、実験結果に符合するようにウエイトを算出する。本研究では、 $W_B : W_J = 1 : 0.3$ となった。この値を用いた越流部の選好強度と実験結果の遡上個体数を表 2 に示す。実験結果との再現性は悪いが、現時点では P_B や P_J は実験で得たものではないため、厳密に実験結果に合わせることは困難であった。しかし、少なくともナップの状態に応じた遡上個体数の多少の関係は表現できている。今後は越流部環境因子の各選好曲線も室内実験で求め、式形の再検討も含めて再現性の高い選好強度式にすることが課題である。

参考文献 1) 森他：「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」第 56 回土木学会中国支部研究発表会概要集, p.643-644, 2004