

B-44 水中音に対する アユの選好性の実験的解析

○今中 大康^{1*}・関根 雅彦²・今井 剛³・樋口 隆哉⁴・浮田 正夫⁵

¹山口大学大学院理工学研究科環境共生専攻 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

²山口大学工学部社会建設工学科 教授 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

³山口大学工学部循環環境工学科 教授 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

⁴山口大学工学部社会建設工学科 助教 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

⁵山口大学工学部社会建設工学科 名誉教授 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

*E-mail:k005vn@yamaguchi-u.ac.jp

1. 研究背景及び目的

近年、多自然型川づくりが多く取り入れられており、魚のより良い遡上・降河が可能な河川改修が望まれている。そこで、日本の代表的な河川魚であるアユを用いて、河川魚の遡上に必要な条件を求めようと考えた。また、遡上してくる魚は落差を越流してくる水の着水音の反応して遡上路を発見しているのではないかという見方もある。

そこで、実験によりアユの水中音に対する選好性を室内実験により定量的に評価することを目的とし、水中音や純音を用いて、各周波数の選好性を評価した。

2. 実験方法

実験水路を図 1 に示す。水路は透明アクリル製で両端に水中スピーカーを設置し、アンプを通してパソコンから音声ファイルを再生する。水路壁面および底面から 5cm 以上隔てて白色のポリエステル製吸音材を敷き詰め、音の反射や周囲の微弱振動、魚の視覚的刺激を減少させた。試験区間内の照度はほぼ一様である。無音状態における試験区間内の水中音圧は 99 ± 1 dB で、一般的な魚の聴覚閾値程度であった。水路内の音圧は水中音圧計 SW1020 (沖電気) を用いて測定した。試験区間にアユ(体長約 8cm、16cm)を 3 尾投入し、10 分間の馴致時間の後、片側のスピーカーから放音した。

実験には純音 (100Hz, 200Hz, 400Hz, 800Hz) の 4 種類を用いた。実験時の水温は 21℃、水深は 20cm とした。アンプの音量を変化させることで、試験区間内の水中音圧を変化させ、各実験条件における音圧レベルに対する分布率を求めた。

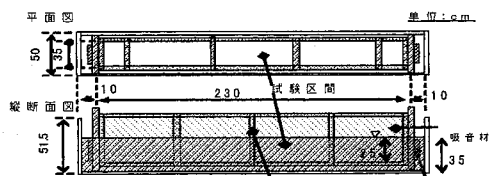


図 1 音実験水路

3. 解析方法

3 分間の魚の挙動を水路上部に設置した PC カメラにより 3 秒ごとに撮影し、魚の位置を確認した。スピーカーからの距離を 10cm ずつ区分し、区間毎に分布率 (Σ 区間内アユ尾数 / 3 尾 $\times$ 180 秒 / 3 秒) を計算した。稚アユの無音状態のときの水路内におけるアユの分布を図 2 に示す。

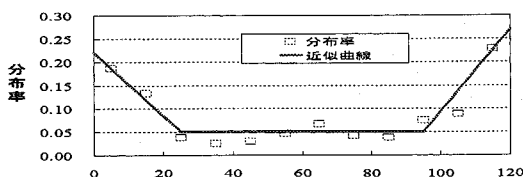


図 2 稚アユの分布図

分布が両端に偏っていることから、音を流した状態での実験結果に対して、補正を施すことが必要なため、2つの解析方法を適用した。両端補正法：図2の近似曲線が平坦になるように水路内の各位置における補正係数を求め、それを実験結果である分布率に乗じる方法。両端除外法：同図において無音時にも分布率の高い水路両端部の影響を除去するために、水路中央部の無音状態において分布率が平坦な部分の分布率を用いる。成アユは水路の特定の箇所に偏ることなく、全体に分布がばらつき、近似曲線はほぼ平坦になった。よって、実験結果に補正を加える必要はないと判断した。

4. 実験結果及び考察

成アユの選好曲線を図3、稚アユの選好曲線を図4に示す。成アユに関しては純音 100Hz では 105dB 付近、純音 200Hz では 145dB 付近、純音 400Hz、800Hz では 135dB 付近で高い選好値となっており、各周波数で違いがみられた。成アユは 100Hz ではほぼ無音域を選好し、音圧が高くなるにつれて選好値が低くなっているため、100Hz の周波数を忌避していると考えられる。逆に 200Hz では威嚇レベルである音圧を選考するといった特徴が見られた。稚アユに関しては、両端補正法と両端除外法を比較

すると、ピーク音圧が両端除外法は両端補正法に比べ 10～15dB ほど低くなるもしくは変わらないことがわかった。両端補正法の選好曲線に対しては無音状態における分布率に大きな偏りがあり、稚アユは実験装置の特定の場所そのものに選好性を持っていることがわかる。この装置の全域の魚の分布を用いるには、実験装置の位置に対する選好強度とそのウェイトを考慮しなければならない。しかし本研究ではそのウェイトを求めることができず、両端補正法では音と装置の位置のウェイトを共に 1 として音の選好曲線を求めたために、無音状態において分布率が平坦な部分の分布率のみを用いた両端除外ではピーク音圧が低くなったのではないかと考えられる。よって、稚アユにおいては両端除外法の方が信頼性は高いと考えられるので、両端除外法の選好曲線を用いて実験結果の比較・検討を行った。ただし、環境保全型ブロック内着水音、ホワイトノイズにおいては、両端除外法では分布率が平坦な部分の分布率のみを用いた図2 無音状態の分布率選好曲線を作成することができなかったため、両端補正法の選好曲線を用いて比較・検討を行うこととする。稚アユの各純音の選好曲線を見ると、どの音に対しても 130～140dB 付近で選好値のピーク音圧となっている。稚アユは周波数や音の種類が変化しても選好する音圧は変わらないことがわかった。

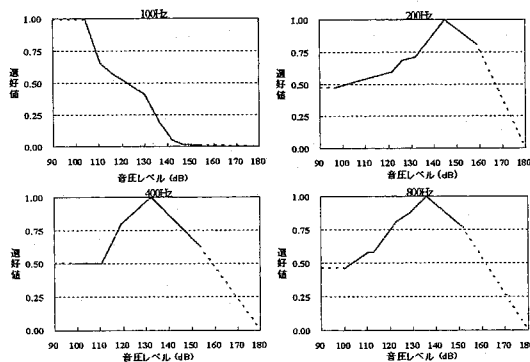


図3 成アユの選好曲線

5. 純音と遮蔽の環境因子間のウェイトの算出

実験には選好性実験に使用した水路の一部を使用した。試験区間は 60 cm とし、実験区間の半分に最も高い選好値になる寒冷紗をかぶせ、集魚効果のウェイト算出では寒冷紗がかかっていない方の水中スピーカーから、最も選好値の高い音圧がスピーカー付近で生じるように音を出した。忌避効果のウェイト算出では寒冷紗がかかっている方の水中スピーカーから、最も選好値の低い音圧がスピーカー付近で生じるように音を出した使用した音は純音 (100Hz, 200Hz, 400Hz, 800Hz) である。試験区間に成アユ (体長約 16cm) を 3 匹投入し 3 分間の魚の挙動を水

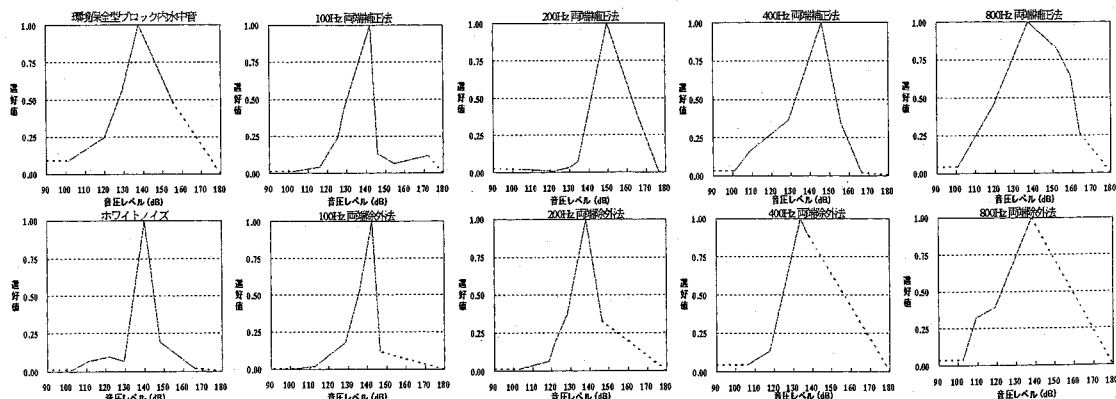


図4 稚アユの選好曲線

路上部に設置したPCカメラにより3秒間ごとに撮影し、魚の存在位置を確認した。スピーカーからの距離の一次元方向に10cmずつ区分化し、それぞれの区間で音・遮蔽率の選好値、アユの分布率を求め、その結果から左3区間の平均 ($P_{音左} P_{遮蔽率左} D_{左}$)、右3区間の平均 ($P_{音右} P_{遮蔽率右} D_{右}$) を求めた。単一実験で求めた環境因子に対する選好度の大きさを示すウエイトを[1]式を用いて計算する。

$$R = \frac{D_{右}}{D_{左}} = \frac{(P_{音右}) \frac{W_{音}}{W_{max}} (P_{遮蔽率右}) \frac{W_{遮蔽率}}{W_{max}}}{(P_{音左}) \frac{W_{音}}{W_{max}} (P_{遮蔽率左}) \frac{W_{遮蔽率}}{W_{max}}} \quad [1]$$

算出したウエイトの結果を表1、2に記す。各周波数の純音の集魚効果に対するウエイトを比較すると、200Hzの周波数を持つ純音が一番高いウエイトとなり、次いで400Hz、800Hz、100Hzの順となった。よって、アユに対しても200~300Hzの音に集魚効果があることが考えられる。また、忌避効果に対するウエイトを100Hzによって求めたところ、高い値を示し、集魚効果に対するウエイトに比べて、かなり高くなっていることがわかった。このことから、音の影響を実河川において使用する場合は、集魚効果をよりも忌避効果を期待して用いた方が良く考えられる。

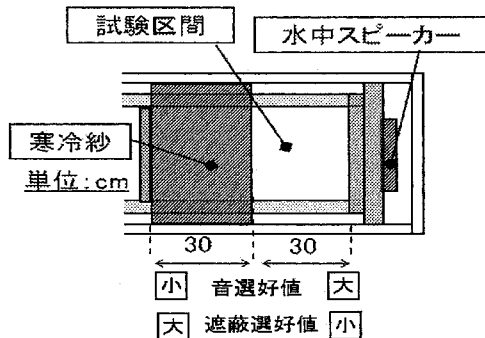


図5 環境因子間ウエイト算出実験水路

表1 集魚効果に対するウエイト算出結果

純音100Hz	純音200Hz	純音400Hz	純音800Hz
0.06	0.42	0.18	0.11

表2 忌避効果に対するウエイト算出結果

純音100Hz	堰の音
0.68	1.00

6. 河川における音の伝達特性の解析

榎野川の福良井堰の堰直下、堰直下から下流方向に1m、4.1m、9mの4点の地点の表層と底層の水中音を、周波数

解析を行った。この調査地点は水深が浅く、流速の早い場所である。図-6、7、8、9をみると、どの周波数も、表層底層ともに、堰からの距離1m程度でほとんど無音に近い音圧になっており、選好値をみるとあまり変化が見られないため、水深が浅く、流速の早い河川において音を発生させた場合、効果が期待できる距離は約1m程度の短い距離と考えられる。よって、本研究の実験結果を実河川で用いる際に、集魚効果によって魚を呼び寄せることよりも、忌避効果による迷乳防止のほうが実用的であると考えられる。

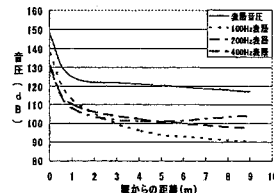


図6 表層の周波数解析結果

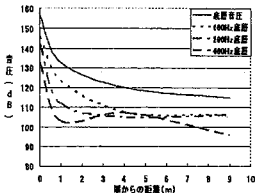


図7 表層の周波数解析結果

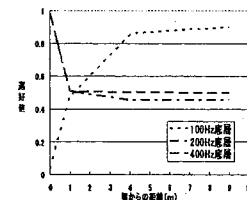


図8 表層の周波数解析結果

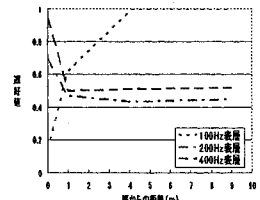


図9 底層の周波数解析結果

7. 結論

選好曲線をみると成アユは100Hzではほとんど無音域を選好し、音圧が高くなるにつれて選好値が低くなっているため、100Hzの周波数を忌避していると考えられ、200Hzでは威嚇レベルである音圧を選考するといった特徴が見られた。

ウエイトにおいては200Hzの周波数を持つ純音が一番高いウエイトとなった。また、忌避効果に対するウエイトを100Hzによって求めたところ、高い値を示し、集魚効果に対するウエイトに比べて、かなり高くなっていることがわかった。

水深が浅く、流速の早い河川において音を発生させた場合、効果が期待できる距離は約1m程度の短い距離と考えられた。

以上より、水中音はアユを魚道入口に誘引するような選好行動を期待した利用法よりも、迷入防止などの忌避行動を期待した利用法の方が有効であると考えられる。

8. 今後の課題

今は、稚アユの各音に対するウエイトの算出と、成アユとの比較検討、魚が遡上する河川、魚道の調査による本研究結果の検証、複合性音実験を行い、周波数成分が同時に含まれることによる複合的な影響の検討を行う。