

音響や光等の外的刺激に対する外来魚の忌避行動の検証

要 旨

国内において音響を用いた外来魚の行動制御技術の開発はこれまで行われておらず、外来魚の音響に対する反応行動もほとんど知られていない。音響刺激は光刺激や匂い刺激よりも水中で減衰しにくく遠くまで到達する利点がある。サケ *Oncorhynchus keta* では 150 Hz および 300 Hz の周波数を水中マイクから放音した時に、140 dB 以上の音圧となる範囲で放音前に比べて忌避行動が認められている (Matsuda, 2021)。よって、サケ科魚類であるブラウントラウトにおいても、忌避効果のある周波数は、150 Hz から 300 Hz であると推測される。

水流のある水槽を上流側・下流側に分け、どちらかに板で蓋をした場合、試験開始から 30 分後に下流側にブラウントラウトが存在する確率は、上流側に蓋をした場合には 2.0%であったのに対して下流側に蓋をした場合には 48.0%であった。このことから、ブラウントラウトが暗い環境を好む可能性が示唆された。

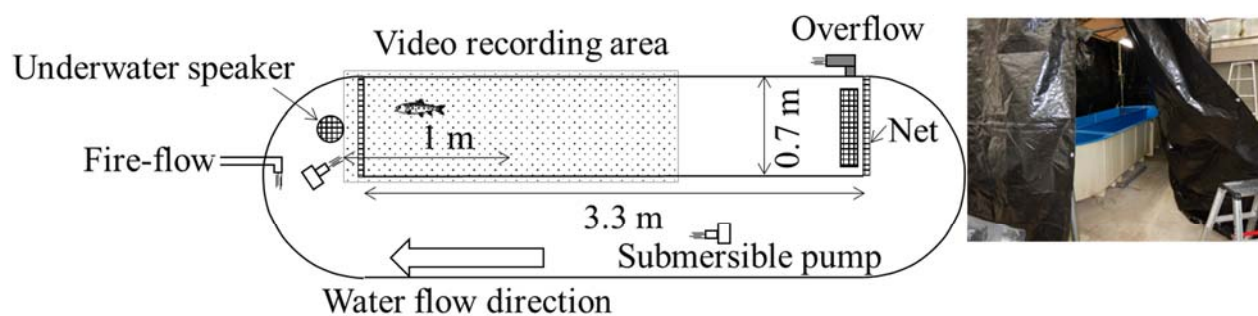
1. はじめに

海外においては、河川での外来魚（コイ等）の広がりを阻止するため、音響刺激を避ける外来魚を対象にロックやダムで音響障壁の導入が試みられている。しかし、国内において音響を用いた外来魚の行動制御技術の開発はこれまで行われておらず、外来魚の音響に対する反応行動もほとんど知られていない。音響刺激は光刺激や匂い刺激よりも水中で減衰しにくく遠くまで到達する利点があり、暗環境下や高濁度の水域でも妨げられず指向性が高い特性を持っている。河川等への音響障壁の導入以外にも、忌避刺激となる音響を用いて局所的に産卵床から外来魚親魚を追い払ったり、テトラ等河川内構造物に潜む外来魚を追い出し、刺網で捕らえるなど、現場での音響刺激の汎用が考えられる。本研究では国内河川での広がりが懸念されているブラウントラウトを対象に、水槽実験を行い忌避効果のある音圧と効果的な周波数帯を明らかにすることを目標とした。

2. 音響に対する忌避行動の検証

(1) 方法

供試魚には日光庁舎で継代しているブラウントラウト *Salmo trutta* (2+) を用いる。供試魚を 1 回の試行ごとに 1 尾用い、10 試行行う (計 10 尾)。刺激音として、周波数 30、150、300、600、900 Hz の正弦波をファンクションジェネレータを用いて作成し、5 秒 ON、5 秒 OFF の間隔とし、それぞれの周波数が水中スピーカーから 1m 離れた地点で 140 dB の音圧となるように調整する。実験は水産研究・教育機構の日光庁舎において、自然日長で 07:00 – 14:00 に実施する。屋内に設置したレースウェイ水槽の 3.3 m の直線区間を試験区として、供試魚が通過しないように両側をネットで区切り、片側のネットの外側に水中スピーカーを設置する。供試魚の走流性を刺激するため、水槽内で水流を発生させる。実験中は約 10 °C の湧水を 0.3 L/秒でかけ流しとする。供試魚の視覚刺激による反応行動を防ぐため、水槽の周囲は高さ 3 m まで黒色のビニールシートで囲む。



Raceway tank
(major axis: 5 m; minor axis: 1.6 m; depth: 0.7 m; water depth: 0.3 m)

実験図

実験前日の 14:00 – 16:00 に水槽の試験区に 1 尾の供試魚を入れ翌朝の 7:00 まで馴致する。刺激音 1 あり (30 分間) → 刺激音なし (60 分間) → 刺激音 2 あり (30 分間) → 刺激音なし (60 分間) → 刺激音 3 あり (30 分間) → 刺激音なし (60 分間) → 刺激音 4 あり (30 分間) → 刺激音なし (60 分間) → 刺激音 5 あり (30 分間) の処理を行う。刺激音 1 は 30、150、300、600、900 Hz の周波数になる組み合わせとして、刺激音 2 – 5 はランダムに設定 (5 試行)、残りの 5 試行は実験の再現性を確認するため前の 5 試行と同じ組み合わせで行う。実験中は水中スピーカーを設置した側のネットから 2 m の範囲が撮影できるように、水槽の上部にカメラを設置し、実験中の動画を録画する。放音する 30 分間 (放音中) とその直前の 30 分間 (放音前) で、各 1 分間隔の静止画 (各 30 枚) において、音源から 1 m 以内 (音圧 140 dB 以内) の尾数を放音中と放音前でそれぞれ積算して評価する。忌避効果の認められた周波数について 30 分間の放音中に慣れが生じるのか、各試行の放音中の前半 10 分間と後半 10 分間の 1 分間隔の静止画で音源から 1 m 以内の尾数をそれぞれ積算して評価する。

(2) 結果及び考察

水中マイクロホン等で構成される音響測定システムを用いて、水中音響の測定予備実験を行った。

サケ *Oncorhynchus keta* では 150 Hz および 300 Hz の周波数を水中マイクから放音した時に、140 dB 以上の音圧となる範囲で放音前に比べて忌避行動が認められている (Matsuda, 2021)。また、両周波数で放音した 30 分間において、サケが放音に慣れることはなかったと報告されている (Matsuda, 2021)。さらにサケ科魚類の可聴域外である 600 Hz と 900 Hz の周波数を放音した時では、忌避行動が認められなかったと報告されている (Matsuda, 2021)。よって、同じサケ科魚類であるブラントラウトにおいても、忌避効果のある周波数は、150 Hz から 300 Hz であると推測される。

3. 光に対する忌避行動の検証

(1) 調査方法

試験は水産研究教育機構日光庁舎で実施した。供試魚は、同庁舎で継代しているブラントラウトを使用した。水槽は幅 500 mm、長さ 2,100 mm、水深 290 mm のものを、

実水深 110 mm として使用した (図 1)。注水量は毎分 27L とし、エアレーションは使用しなかった。試験開始時の水温は 9.2 °C であった。中央の仕切りを境に上流側、もしくは下流側を塩化ビニル製の板で覆った。覆っていない側に供試魚を 10 尾入れ、中央の仕切りを取り外し、30 分後に再度仕切りを入れて、上流側および下流側の魚を計数した。仕切りを取り外す前に、覆っていない側の水面直上の照度を、照度計 (東京光電 ANA-F11) を使用して計測した。この試行を、上流側を覆って 5 回、下流側を覆って 5 回の合計 10 回、実施した。全試行が終了した後に、全供試魚 (100 尾) のうち 10 尾をフェノキシエタノール (0.5 mL/L) を用いて麻酔し、尾叉長及び体重を測定した。供試魚の尾叉長 (平均±標準偏差 (最大 - 最小)) は 12.9 ± 1.80 (15.4 - 9.5) mm、体重は 26.4 ± 10.6 (43.7 - 9.6) g であった。百分率については、逆正弦変換した数値を統計処理に用いた。区間に $p < 0.05$ の場合に、統計的に有意な差があるものと見なした。

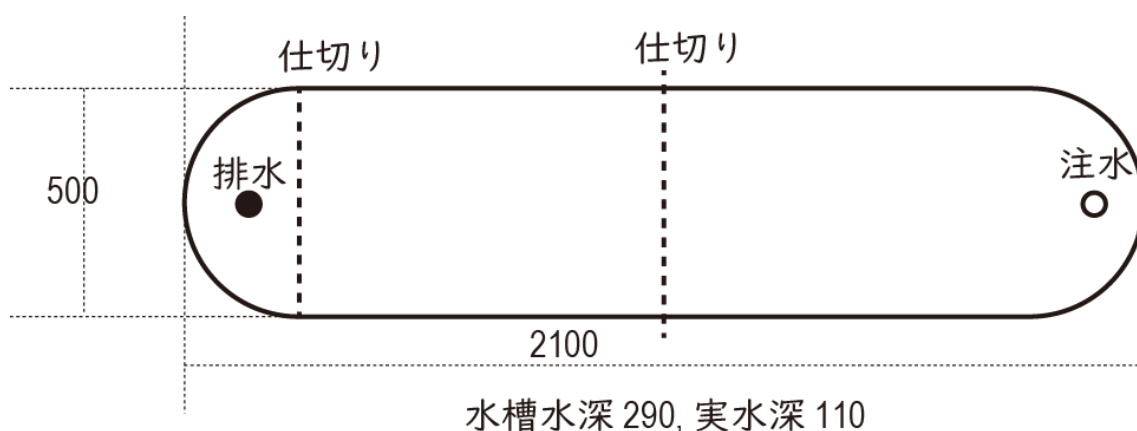


図 1 実験に使用した水槽。単位は mm。

(2) 結果及び考察

試行開始時の照度は、上流側で 30 - 400 lx、下流側で 70 - 300 lx であった。

試行	試行終了時尾数				試行開始時照度 (lx)	
	上流側		下流側		上流側	下流側
1	D	10	L	0		70-170
2	L	8	D	2	30-70	
3	D	10	L	0		120-220
4	L	5	D	5	30-70	
5	D	9	L	1		70-300
6	L	3	D	7	30-90	
7	D	10	L	0		70-230
8	L	4	D	6	80-30	
9	D	10	L	0		90-210
10	L	6	D	4	140-400	

表 1 各試行の結果。D (灰色で塗ったセル) は、板で覆われていること、L は覆われていないことを示す。

試行終了時に下流側にいた魚の割合は、上流側を覆った場合は $2.0 \pm 4.5\%$ 、下流側を

覆った場合は $48.0 \pm 19.2\%$ であり、両者の間に統計的に有意な差が認められた (t -検定、 $p = 0.0002$)。

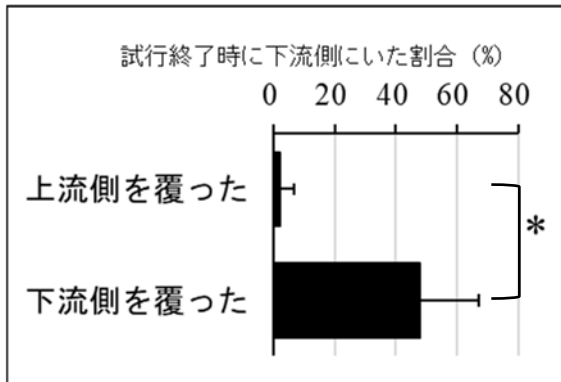


図2 試行終了時に下流側にいた割合。*は統計的に有意な差 ($p < 0.05$) があったことを示す。

以上より、ブラウントラウトが暗い環境を好む可能性が認められた。ブラウントラウトが暗い環境を好むとすると、ブラウントラウトを暗い環境に集めて駆除できる可能性も考えられる。ただしこの試験では、蓋の有無という形で物理的な条件が同一となっておらず、光に対する反応のみを検出する試験条件とはなっていない。従ってブラウントラウトの行動に覆い板までの物理的な距離などが影響している可能性も否定できない。また、ブラウントラウトの光刺激に対する応答性が成長に応じて変化することも注意する必要がある (Woodhead 1957)。

Matsuda K (2021) A comparison of avoidance to acoustic stimuli in fish with different auditory capabilities: juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) and common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Fish Biology*. 98, 1459–1464

Woodhead P.M.J. 1957. Reactions of salmonid larvae to light. *J. Exp. Biol.*, 34, 402-411.

松田 圭史 (国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所)