

資 料

コクチバス, ブラウントラウト, チャネルキャットフィッシュの 音響刺激に対する反応行動

松田圭史* 1,2

Behavioral responses to sound in smallmouth bass, brown trout, and channel catfish.

Keishi MATSUDA

A aquarium experiment was conducted to examine the responses of smallmouth bass, brown trout and channel catfish to pure tones at frequencies (sound pressure: dB re 1 μ Pa) of 30 Hz (> 120.1), 150 Hz (> 148.4), 300 Hz (> 141.2), 600 Hz (> 133.7), and 900Hz (> 97.1). Smallmouth bass did not exhibit any avoidance behavior to 150 Hz, which is considered highly sensitive, or to any other pure tone. Brown trout exhibited a moderate reactive response to pure tones of 150 Hz and 300 Hz, which were in the audible range; however, it did not exhibit any avoidance behavior toward any other pure tone. Channel catfish did not exhibit any avoidance behavior such as 600 Hz or 900 Hz, which are considered highly sensitive.

キーワード：外来魚, 忌避, 誘引, 純音

2024年3月26日受付 2025年4月18日受理

コクチバス *Micropterus dolomieu* はアメリカ北部原産のサンフィッシュ科の淡水魚であり, ブラウントラウト *Salmo trutta* はヨーロッパから西アジア原産のサケ科の淡水魚, チャネルキャットフィッシュ *Ictalurus punctatus* はカナダ南部や米国, メキシコを原産とするイクタルス科の淡水魚であり, これらは1970年から1990年にかけて国内に定着した。(国立環境研究所 2023)。いずれの魚種も捕食や競争を通じて, 様々な在来生物に直接的または間接的な影響を及ぼすことが懸念されている(国立環境研究所 2023)。近年の文献やアンケートによる内水面漁業協同組合への調査から, 外来魚であるコクチバス, ブラウントラウト, チャネルキャットフィッシュの分布の拡大が明らかとなっており(水産庁 2024), これらの河川や水路を通じたさらなる分布の拡大が懸念される。

外来魚の移動を防止するために, 流木等の様々な流下物があるなかで, 河川や水路に物理的な障壁を設けて, その機能の維持・管理を行うことは困難である。そのため, 海外においては, 河川や水路を通じたコイ科の外来魚の分布拡大を音響刺激を用いて阻止することが考案され, コイ *Cyprinus carpio* やハクレン *Hypophthalmichthys molitrix*, コクレン *H. nobilis*, ソウギョ *Ctenopharyngodon idella* の音響刺激に対する反応行動が調査され, 忌避効果が実証されている(Vetter *et al.* 2015, Vetter *et al.* 2017, Nissen *et al.* 2019, Murchy *et al.* 2022)。しかし, 国内において音響刺激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, コクチバス, ブラウントラウト, チャネルキャットフィッシュの音響刺激に対する反応行動に関する知見も限られている。

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所 日光庁舎
〒321-1661 栃木県日光市中宮祠 2482-3

Nikko Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2482-3 Chugushi, Nikko, Tochigi 321-1661, Japan

E-mail: matsuda_keishi99@fra.go.jp

*2 現所属 国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター

一般的に、内耳への音響刺激の伝達において、鰾を経る骨鰾類の音感覚は鋭い（添田ら 1998）。そのため、骨鰾類であるチャンネルキャットフィッシュは、骨鰾類ではないコクチバスとブラウントラウトに比較して、音感覚は鋭いと考えられる。コクチバスについては音響刺激に対する行動研究は見当たらない。コクチバスが属するスズキ目においては、クロソイ *Sebastes schlegelii* で可聴域が 100-1,000Hz、最高感度は 100-200Hz であり、マダイ *Pagrus major* で可聴域が 50-1,000Hz、最高感度は 200Hz とされている（添田ら 1998）。サケ科については可聴域は 380Hz 以下、最高感度は 100-200Hz であることが知られている（Hawkins and Johnstone 1978, 添田ら 1998）。ブラウントラウトは 140Hz の純音や 0-2kHz までのスイープ音（低い周波数から高い周波数まで連続的に変化する音）に対して忌避行動を示さないとされている（Jesus *et al.* 2019）。しかし、140Hz 以外の純音に対する反応行動は知られていない。チャンネルキャットフィッシュについては可聴域は 100-4,000Hz と幅広い（Wysocki *et al.* 2009）。また、ナマズ科では最高感度は 500-1,000Hz に存在する（添田ら 1998）。一方で、チャンネルキャットフィッシュは幅広い周波数を含む船外機の音を聞かせても、確認できる反応は認められなかったとされている（Murchy *et al.* 2022）。しかし、感度の高い純音に対する反応行動は知られていない。したがって、忌避効果の高い周波数を明らかにすることで、効果的な音響刺激による追い払い技術を考案できる可能性がある。過去の研究から、コイ科魚類は 30Hz の純音や 0-10,000Hz の範囲の複合音に忌避行動を示したこと（Scholik and Yan 2001, Scholik and Yan 2002, Vetter *et al.* 2015, Jesus *et al.* 2019, Matsuda 2021）や、サケ科魚類で 150Hz と 300Hz の純音に緩やかな忌避行動を示したこと（Matsuda 2021）から、音響刺激による行動制御において魚種の違いは重要と考えられる。

音響は光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（電子情報通信学会 2014）、高濁度の水域でも伝搬を妨げられない。そのため、これらの外来魚の忌避刺激となる音響の周波数が存在した場合、河川等での

移動の抑制以外にも、局所的に産卵床から外来魚親魚を追いついたり、異形コンクリートブロック等河川内構造物に潜む外来魚を追いつ出し、投網や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。本研究ではコクチバス、ブラウントラウト、チャンネルキャットフィッシュを対象に水槽実験を行い、忌避効果のある周波数を明らかにすることを目標とした。

材料と方法

供試魚には栃木県を流れる那珂川の支流である逆川で釣りにより捕獲したコクチバス（ $n=7$, 標準体長 $\pm$ 標準偏差 $=184 \pm 50.9$ mm）、水産研究・教育機構水産技術研究所の日光庁舎で継代飼育しているブラウントラウト（ $n=10$, 186 ± 6.5 mm）、霞ヶ浦で捕獲された稚魚を養魚者が育成したチャンネルキャットフィッシュ（ $n=10$, 410 ± 23.1 mm）を用いた。供試魚の飼養と実験は水産研究・教育機構水産技術研究所の日光庁舎において実施した。すべての供試魚は約 10°C の湧水を掛け流しにした FRP 水槽（長さ 1.8m；幅 0.9m；深さ 0.7m）でそれぞれ以下の期間馴致を行い（馴致日数：コクチバス 22 日；ブラウントラウト 2 日；チャンネルキャットフィッシュ 5 日）、餌として与えたサケ科魚類稚魚や乾燥オキアミ（テトラクリル-E, スペクトラムブランドジャパン株式会社）、配合飼料（にじまず育成用ペレット 2P, 科学飼料研究所）のいずれかを摂餌することを確認したうえで実験に用いた。実験終了後に麻酔薬の過剰投与を行い（濃度 0.5% のフェノキシエタノールを使用）、体重と体長を測定した。

実験は一定の時間間隔で水槽内の静止画を撮影し、供試魚が音源から一定の範囲内にいたときの静止画の枚数を音響刺激の有無で比較する Matsuda（2021）の方法に準じて行った。屋内に設置したレースウェイ水槽（長径 5.0m；短径 1.5m；高さ 0.7m；水深 0.3m）の 3.3m 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の床（水深 0.3m）に水中スピーカー（UA-50FM, ウエタックス株式会社）を設置した（図 1）。実験中は約 10°C の湧水を 0.3L/秒

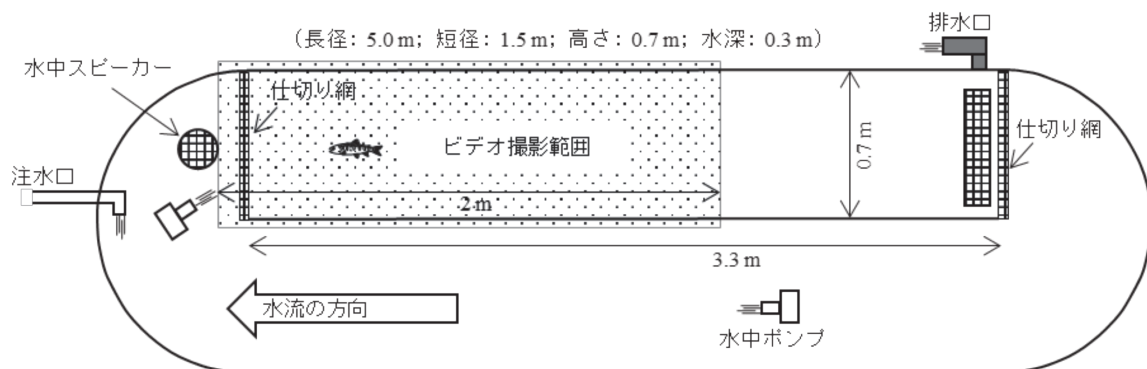


図 1. 実験装置の概略図

でかけ流しとして、0.3mの水深を維持した。供試魚の視覚刺激による反応行動を防ぐため、水槽の周囲と上部を黒色のビニールシートで囲んだ。供試魚の走流行動を誘発して水中スピーカー側に誘引するため、水槽内で緩やかな水流（水中スピーカー前で流速 11.0cm/s）を発生させた。また、実験中は上流側（水中スピーカー側）の蛍光灯は消灯、下流側の蛍光灯は点灯させ、試験区内に照度の勾配（水中スピーカーから 0.2m位置:11.0lx, 1m位置:27.8lx, 2m位置:92.8lx, 3m位置:278.3lx）を付け、供試魚を薄暗い水中スピーカー側に誘引するようにした。照度の測定は照度計（LX-1108, 株式会社マザーツール）を用いて行った。

限られた音圧で供試魚に忌避効果を与えるには、可聴域であり感度の高い周波数が効果的と考えられる。よって音響刺激として、周波数 30, 150, 300, 600, 900Hz の正弦波をマルチファンクションジェネレータ（WF1973, 株式会社エヌエフ回路設計ブロック）を用いて作成した。間欠的な音響刺激は過去の研究において忌避刺激として用いられている（Knudsen *et al.* 1994, Jesus *et al.* 2019, Matsuda 2021）ことから、切り替え装置（5秒ON, 5秒OFF切り替えBOX, ウエタックス株式会社）で5秒ON, 5秒OFFの間隔で繰り返しとした。また、水中スピーカーから2m離れた地点でそれぞれの周波数での放音音圧が約 140dB re 1 μ Pa となるようにデジタルパワーアンプ（WP-DA112, パナソニック株式会社）の出力を調整した。音圧の測定は水中スピーカーから 0.2, 1, 2, 3m離れたレースウェイ水槽の中心で、センサーを底から 50mm 離れた状態で水中マイクロホン（TYPE 7800, 株式会社アコー）を固定して行った。音圧の測定は 23-1980Hz の範囲で行った。受信した音響刺激はAD変換器（SpectraDAQ-200, 株式会社アコー）を介してパソコンに取り込み、FFT分析ソフト（SpectraPLUS-SC, 株式会社アコー）を用いてピークとなる周波数の音圧を解析した。140dB re 1 μ Pa の音圧は、過去の研究で効果のあった周波数（30Hz, 150Hz, 300Hz, 0-10,000Hz の範囲の複合音）のコイ科またはサケ科魚類への忌避刺激のレベルである（Scholik and Yan 2001, 2002, Vetter *et al.* 2015, Jesus *et al.* 2019, Matsuda 2021）。

実験前日の 14:00 頃に水槽の試験区に 1 尾の供試魚を入れ実験当日の 7:00 まで馴致した後、音響刺激 1 あり（30 分間）→音響刺激なし（60 分間）→音響刺激 2 あり（30 分間）→音響刺激なし（60 分間）→音響刺激 3 あり（30 分間）→音響刺激なし（60 分間）→音響刺激 4 あり（30 分間）→音響刺激なし（60 分間）→音響刺激 5 あり（30 分間）の処理を行った。コイ科魚類の聴覚閾値は、142dB の騒音に 2 時間さらされた直後に上昇する（Scholik and Yan 2002）。そのため、Matsuda（2021）に従い、最初の音響刺激を鳴らした後、以降の音響刺激の間に 1 時間の間隔をあけて、前の音響刺激が供試魚に与えた影響を緩和するようにした。

最大で 10 試行を行い、一つの試行において周波数が重複しないように設定し、音響刺激 1 は 30, 150, 300, 600, 900Hz の周波数として、音響刺激 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った。ただし、再現性の確認について、コクチバスでは 2 試行のみ行った。このような組み合わせの意図は、音響刺激 1 以降に供試魚が驚いて、実験の終了まで水中スピーカーから 2m 外に留まり、統計解析が出来なかった場合でも、音響刺激 1 についてはすべての周波数で 2 回の試行の結果が得られるからである（ただし、コクチバスを除く）。供試魚を 1 回の試行ごとに 1 尾用い、コクチバスで 7 試行、ブラウントラウトとチャネルキャットフィッシュで 10 試行を行った。行動観察によると、供試魚は音響刺激がない場合、水中スピーカーから 2m 以内に滞在することが多かった。そのため実験中は水中スピーカーから 2m の範囲が撮影できるように、水槽の上部にカメラ（WAT-910HX/RC, ワテック株式会社）を設置し、供試魚の行動を動画で記録した。放音前の 30 分間（放音前）と放音中の 30 分間（放音中）で、各 1 分間隔の静止画（各 30 枚）において、音源から 2m 以内に供試魚がいた静止画の枚数を放音前と放音中でそれぞれ積算した（積算枚数とする）。各試行において放音前と放音中のそれぞれ積算枚数の相対値（放音中/放音前）を各周波数でとって（以後、積算比率とする）、マン・ホイットニーの U 検定で忌避効果を評価した。放音前の積算枚数が 0 である場合は解析に含めなかった。

結 果

水中スピーカーから 2m 離れた地点で、周波数 30, 150, 300, 600, 900Hz の音圧は、それぞれ 120.1, 148.4, 141.2, 133.7, 97.1dB re 1 μ Pa であった（図 2）。デジタルパワーアンプの出力を最大にしても、30, 600, 900Hz の音圧は水中スピーカーから 2m 離れた地点で 140dB re 1 μ Pa には達しなかった（図 2）。基本波となる周波数 30, 150, 300, 600, 900Hz の第 2 高調波である 60, 300, 600, 1,200, 1,800Hz の音圧は、水中スピーカーから 2m 離れた地点でそれぞれ 99.8, 121.8, 113.9, 101.5, 62.2dB re 1 μ Pa であったため、基本波の音圧を超えていないことが確認できた。なお、基本波の音圧は計測した 23-1,980Hz の範囲で最も高かった。音響は周波数によってそれぞれ水槽の材質や構造等の影響を受けて音圧の伝達程度が変化するため（Matsuda 2021）、本研究でも各周波数において、音圧は距離に比例して減衰していないものの、150, 300, 600, 900Hz は水中スピーカーから 0.2m 位置よりも離れた場所で音圧が低下していた。30Hz は水中スピーカーから 1m 位置よりも離れた場所で音圧が低下していた。

コクチバス、ブラウントラウト、チャネルキャット

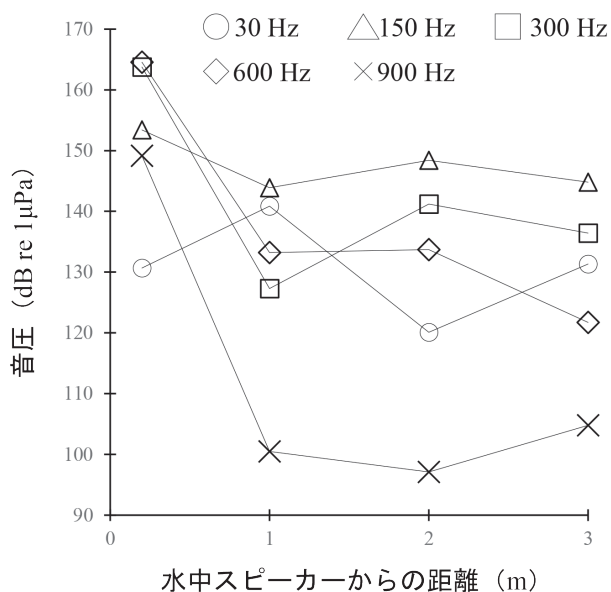


図 2. レースウェイ水槽での各音刺激の減衰特性

フィッシュについて各試行における放音前と放音中の水中スピーカーから 2m 以内の積算枚数、およびすべての試行にわたる各周波数ごとの積算枚数を表 1-3 に示す。コクチバスの積算比率について、30Hz ($U=17.5$, $P=0.173$), 150Hz ($U=17.5$, $P=0.173$), 300Hz ($U=17.5$, $P=0.298$), 600Hz ($U=21.0$, $P=0.594$), 900Hz ($U=14.0$, $P=0.075$) の放音前と放音中で有意差は認められなかった。ブラウントラウトの積算比率について、150Hz ($U=25.0$, $P=0.029$) と 300Hz ($U=18.0$, $P=0.038$) の放

音中は放音前より有意に高くなったが、30Hz ($U=31.5$, $P=0.410$), 600Hz ($U=50.0$, $P=1.000$), 900Hz ($U=35.0$, $P=0.198$) の放音前と放音中で有意差は認められなかった。チャネルキャットフィッシュの積算比率について、30Hz ($U=31.5$, $P=0.371$), 150Hz ($U=40.0$, $P=0.376$), 300Hz ($U=27.0$, $P=0.077$), 600Hz ($U=36.0$, $P=0.655$), 900Hz ($U=28.0$, $P=0.590$) の放音前と放音中で有意差は認められなかった。

考 察

一般的に魚類では 30Hz は側線で受容され、150, 300, 600, 900Hz は内耳で受容される (添田ら 1998)。ブラウントラウトは可聴域である 150Hz と 300Hz の純音 (Hawkins and Johnstone 1978, 添田ら 1998) を放音時に、音源に寄ってくるのがわかったが、150Hz と 300Hz の音響刺激の音圧は水中スピーカーから 2m 位置よりも 1m 位置で低いため、忌避行動であった可能性がある。サケ *Oncorhynchus keta* の稚魚は 150Hz および 300Hz の純音 (140dB re 1 μPa 以上) に対して、緩やかな忌避行動を示すことが知られている (Matsuda 2021)。しかし、ブラウントラウトは 140Hz の純音や幅広い周波数を含むスイープ音に対して忌避行動を示さないとされている (Jesus *et al.* 2019) ため、水中スピーカーからの距離に比例した音圧の減衰が認められる実験環境で再度の試験が必要と考える。コクチバスは感度が高いと考えられる 150Hz や (添田ら 1998), 本研究で用いたその他の純音に対して忌避行動を示さなかった。コ

表 1. 各試行における放音前と放音中の水中スピーカーから 2m 以内のコクチバスの積算枚数の合計 (上), およびすべての試行にわたる各周波数での積算枚数の合計 (下)

試行順	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
周波数	900Hz	→	30Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	150Hz	
1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
6	25	30	30	30	30	30	30	30	14	30
周波数	300Hz	→	900Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	150Hz	
2	15	16	17	30	22	29	24	30	30	30
7	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
周波数	150Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	300Hz	→	900Hz	
3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
周波数	600Hz	→	150Hz	→	900Hz	→	300Hz	→	30Hz	
4	28	30	30	30	30	30	29	30	30	30
周波数	30Hz	→	150Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	900Hz	
5	3	28	26	28	23	29	28	25	26	28
周波数	30Hz		150Hz		300Hz		600Hz		900Hz	
	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
合計	175	207	190	208	187	195	200	205	188	208

表 2. 各試行における放音前と放音中の水中スピーカーから 2m 以内のブラウントラウトの積算枚数の合計（上），およびすべての試行にわたる各周波数での積算枚数の合計（下）

試行順		放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
	周波数	900Hz	→	30Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	150Hz	
1		29	29	28	18	6	17	11	24	28	30
6		28	30	30	29	18	22	11	30	30	30
	周波数	300Hz	→	900Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	150Hz	
2		24	30	25	17	29	29	20	20	30	30
7		19	28	29	30	27	28	20	30	27	30
	周波数	150Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	300Hz	→	900Hz	
3		25	29	20	30	24	18	26	30	12	18
8		28	28	13	30	30	30	29	30	30	30
	周波数	600Hz	→	150Hz	→	900Hz	→	300Hz	→	30Hz	
4		30	29	27	30	30	30	21	0	17	30
9		14	25	7	9	5	8	0	4	0	0
	周波数	30Hz	→	150Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	900Hz	
5		26	24	27	20	15	26	22	20	24	28
10		10	14	9	10	26	14	20	13	22	18
	周波数	30Hz		150Hz		300Hz		600Hz		900Hz	
		放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
	合計	200	232	238	246	184	201	202	239	234	238

表 3. 各試行における放音前と放音中の水中スピーカーから 2m 以内のチャネルキャットフィッシュの積算枚数の合計（上），およびすべての試行にわたる各周波数での積算枚数の合計（下）

試行順		放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
	周波数	900Hz	→	30Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	150Hz	
1		30	30	30	30	29	29	30	30	30	30
6		0	18	27	29	27	30	23	30	30	30
	周波数	300Hz	→	900Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	150Hz	
2		29	30	30	30	29	30	30	30	30	30
7		7	15	17	3	23	20	18	13	17	8
	周波数	150Hz	→	30Hz	→	600Hz	→	300Hz	→	900Hz	
3		4	30	24	12	21	26	29	29	18	28
8		12	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	周波数	600Hz	→	150Hz	→	900Hz	→	300Hz	→	30Hz	
4		27	26	15	29	16	24	11	11	5	9
9		21	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	周波数	30Hz	→	150Hz	→	300Hz	→	600Hz	→	900Hz	
5		30	30	30	29	30	30	30	30	30	30
10		26	30	29	30	30	30	30	30	30	30
	周波数	30Hz		150Hz		300Hz		600Hz		900Hz	
		放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中	放音前	放音中
	合計	224	220	227	276	222	234	230	245	201	223

クチバスと同じ条鰭綱の Hybrid striped bass (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*) では、幅広い周波数を含む船外機の音を聞かせても、観察可能な反応を示す程度であったとされている (Murphy *et al.* 2022)。チャネルキャットフィッシュは感度が高いと考えられる 600Hz と 900Hz や (添田ら 1998)，その他の純音に対して忌避行動を示さなかった。チャネルキャットフィッシュは、

幅広い周波数を含む船外機の音を聞かせても、確認できる反応は認められなかったとされている (Murphy *et al.* 2022)。爆発物であるダイナマイトや火薬を用いると、魚類の損傷レベルである音圧 (212dB re 1μPa 以上) を発生させることが可能 (添田ら 1998) であるが、周囲の魚類等にも悪影響を与えてしまう。また、水中での杭打ちでは 10m 離れた距離で 193dB re 1μPa の音圧を

発生させることが可能（添田ら 1998）であるが、継続的に発生させることは難しい。水中スピーカーは継続的に音響刺激を発生させることができるが、1m離れた距離で 170dB re 1 μ Pa の音圧を発生させる程度が限界である（添田ら 1998）。なお、本研究では水中スピーカーから 0.2m の距離で最大 165dB re 1 μ Pa が限界であった。そのため、これらの結果からコクチバスとチャネルキャットフィッシュを追い払う技術として音響刺激の有効性が低いことが示された。

謝 辞

供試魚の調達や飼育管理にご協力頂いた水産研究・教育機構水産技術研究所の関根信太郎氏、武藤光司氏、中村英史氏、森野はる香氏に御礼申し上げます。本研究は水産庁事業「効果的な外来魚等抑制管理技術開発事業」によって実施された。

文 献

- 電子情報通信学会（2014）6章 水中音響. 6-1 海洋における音波の伝搬. 6-1-1 海水中での音の伝搬と解析. 電子情報通信学会「知識ベース」. https://www.ieice-hbkb.org/files/01/01gun_10hen_06.pdf, 2023年12月15日.
- Hawkins AD, Johnstone ADF (1978) The hearing of the Atlantic Salmon, *Salmo salar*. *J. Fish Biol.*, **13**, 655–673.
- Jesus J, Amorim MCP, Fonseca PJ, Teixeira A, Natário S, Carrola J, Varandas S, Torres Pereira L, Cortes RMV (2019) Acoustic barriers as an acoustic deterrent for native potamodromous migratory fish species. *J. Fish Biol.*, **95**, 247–255.
- Knudsen FR, Enger PS, Sand O (1994) Avoidance responses to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon smolt, *Salmo salar*. *J. Fish Biol.*, **45**, 227–233.
- 国立環境研究所（2023）侵入生物データベース. <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/>, 2023年12月15日.
- 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*). *J. Fish Biol.*, **98**, 1459–1464.
- Murphy KA, Vetter BJ, Brey, MK, Mensinger AF (2022) Behavioral responses of native and invasive fishes of the Upper Mississippi River to 100 hp boat motor acoustic stimulus. *Manag. Biol. Invasions*, **13**, 750–768.
- Nissen AC, Vetter BJ, Rogers LS, Mensinger AF (2019) Impacts of broadband sound on silver (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead (*H. nobilis*) carp hearing thresholds determined using auditory evoked potential audiometry. *Fish Physiol. Biochem.*, **45**, 1683–1695.
- Scholik AR, Yan HY (2001) Effects of underwater noise on auditory sensitivity of a cyprinid fish. *Hear. Res.*, **152**, 17–24.
- Scholik AR, Yan HY (2002) Effects of boat engine noise on the auditory sensitivity of the fathead minnow, *Pimephales promelas*. *Environ. Biol. Fishes*, **63**, 203–209.
- 添田秀男・畠山良己・川村軍蔵（1998）魚類の聴覚生理, 恒星社厚生閣, 東京, 402p.
- 水産庁（2024）効果的な外来魚等抑制管理技術開発事業報告書, 116p.
- Vetter BJ, Cupp AR, Fredricks KT, Gaikowski MP, Mensinger AF (2015) Acoustical deterrence of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Biol. Invasions*, **17**, 3383–3392.
- Vetter BJ, Murphy KA, Cupp AR, Amberg JJ, Gaikowski MP, Mensinger AF (2017) Acoustic deterrence of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) to a broadband sound stimulus. *J. Great Lakes Res.*, **43**, 163–171.
- Wysocki LE, Montey K, Popper AN (2009) The influence of ambient temperature and thermal acclimation on hearing in a eurythermal and a stenothermal otophysan fish. *J. Exp. Biol.*, **212**, 3091–3099.