

音の音圧レベルおよび周波数がウナギの遊泳特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生会員

○原田大輔

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

ダムや堰などに設置される取・放水口に魚が迷入し、魚の稚魚が減耗することが問題となっている。これを物理的に防止する手法として、電気スクリーンや障害物、透過光、気泡幕などの利用が提案されている。その中の魚類の聴覚を利用する手法として、水中に発生させる音の音圧レベルおよび周波数変化が挙げられる。魚類は内耳および側線器、鰾によって音刺激を受容することで、餌の探索や捕食者の接近の感知等を行うと考えられている。Jerkø¹³⁾はヨーロッパウナギ (*Anguilla anguilla*) を対象に聴覚実験を行い、可聴上限周波数が 300Hz であることを報告した。本研究では静止流体中に音圧レベルおよび周波数の異なる音を発生させ、ニホンウナギ (*Anguilla japonica*) の遊泳特性に与える影響を検討した。

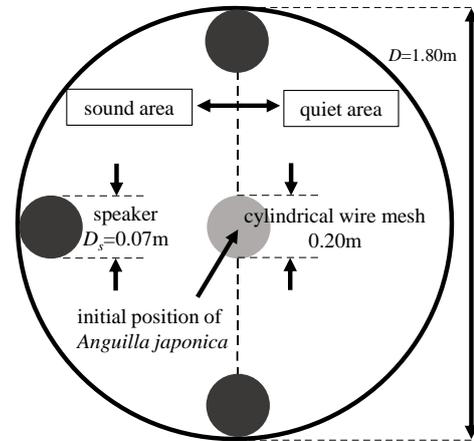


図-1 実験装置の概要

2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験に実験装置の概要を示す。内径 $D = 1.80\text{m}$ 、高さ $H_f = 0.30\text{m}$ の円形プールの直径の両端およびその間の円周の midpoint に、音響装置をそれぞれ 1 つ設置して実験を行った。音響装置を設置した側の半円を sound area、もう一方の半円を quiet area とした。実験には直径 $D_s = 0.07\text{m}$ 、高さ $H_s = 0.16\text{m}$ の円柱型の音響装置 (SH4 IPX7, Zeelec 製) を使用した。表-1 に実験条件を示す。音響装置から出力される音の音圧レベル P を 65, 80 および 100dB の 3 通り、周波数 f を 20, 100, 200 および 300Hz の 4 通りに変化させ、計 12 ケースの実験を行った。プール中央に設置した直径 0.20m、高さ 0.20m の円筒金網にニホンウナギを 1 尾投入し、10 分間馴致させた後、1 分間遊泳させる実験を各ケース 10 回行った。実験に用いたニホンウナギの平均全長は $\bar{L}_t = 200\text{mm}$ であった。プールの上部に画素数 1440×1080 、撮影速度 30fps のビデオカメラを設置し、ニホンウナギの遊泳挙動を撮影した。全ケースにおいてカルキを抜いた水温 20°C の水道水を使用した。撮影後、映像を 1s ごとに分割した画像をもとにニホンウナギの遊泳位置を解析し、10 尾の実験結果の平均値を実験値とした。

表-1 実験条件

sound pressure level P (dB)	sound frequency f (Hz)			
	20	100	200	300
65	P65-f20	P65-f100	P65-f200	P65-f300
80	P80-f20	P80-f100	P80-f200	P80-f300
100	P100-f20	P100-f100	P100-f200	P100-f300

3. 実験結果および考察

(1) ニホンウナギの遊泳軌跡

図-2(a)~(c)は P65-f20, P80-f100 および P100-f300 におけるニホンウナギの遊泳軌跡の例であり、図-2(a), (c)はそれぞれ、sound area における音圧レベル P および周波数 f がともに最小、最大のケースである。図-2(a), (c)より、音圧レベル P および周波数 f がともに最小、最大のケースでは sound area を壁面に沿って往復しながら遊泳する挙動が見られた。一方、図-2(b)より、P100-f80 ではニホンウナギが sound area を忌避する傾向が確認された。

(2) ニホンウナギの進入率

それぞれのケースにおいて、sound area と quiet area 間を移動した回数 N_m をカウントした。また、sound area から quiet area に移動した回数 N_{sq} 、quiet area から sound area に移動した回数 N_{qs} を N_m で除した値 N_{sq}/N_m 、 N_{qs}/N_m をそれぞれ quiet area 進入率、sound area 進入率とした。図-3(a), (b)に sound area と quiet area における音圧レベル P と進入率との関係をそれぞれ示す。図-3(a), (b)より、

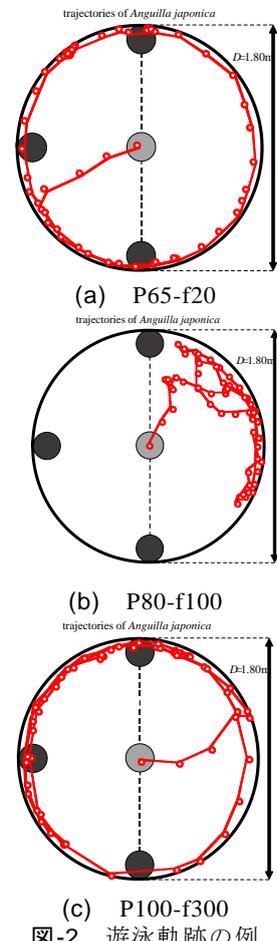
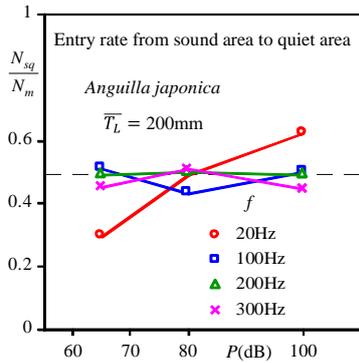
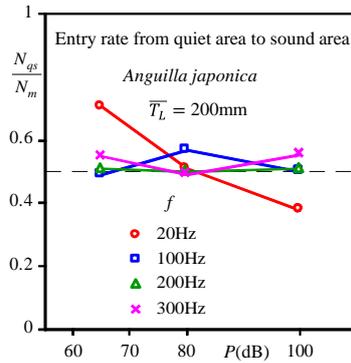


図-2 遊泳軌跡の例



(a) quiet area



(b) sound area

図-3 進入率

周波数 $f=20\text{Hz}$ の場合のみ、音圧レベル P の上昇に伴って sound area から quiet area への移動が増加する傾向が確認された。周波数 $f=20\text{Hz}$ の場合以外では、進入率は音圧レベル P の値によらず 0.5 に近い値をとった。

(3) ニホンウナギの sound area 滞在率

ニホンウナギの頭部が sound area 内に存在するデータ数 N_s をカウントし、1s ごとに分割した遊泳位置の総データ数 N_{all} で N_s を除した値をニホンウナギの sound area 滞在率 N_s/N_{all} と定義した。図-4 に各音圧レベルにおける sound area 滞在率 N_s/N_{all} を周波数ごとに示す。図-4 より、同一音圧レベルにおいて周波数 $f=20, 300\text{Hz}$ のケースで sound area に滞在しやすくなる傾向が確認された。このことより、ニホンウナギは周波数 $f=20, 300\text{Hz}$ の音に比べ、周波数 $f=100, 200\text{Hz}$ の音を好まないと考えられる。

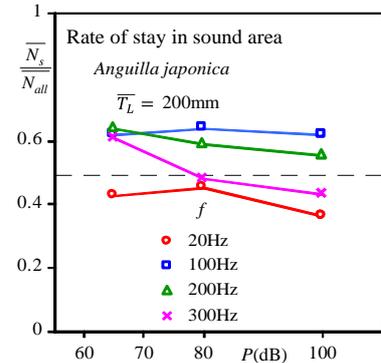


図-4 sound area 滞在率

(4) ニホンウナギの全長倍遊泳速度

sound area および quiet area におけるニホンウナギの平均遊泳速度 \bar{V}_s (cm) を平均全長 $\bar{T}_L=200\text{mm}$ で除した値を全長倍遊泳速度 \bar{V}_s/\bar{T}_L (1/s) とした。図-5(a), (b) に音圧レベル P と全長倍遊泳速度 \bar{V}_s/\bar{T}_L との関係を示す。図-5(a), (b) より、同一周波数における全長倍遊泳速度 \bar{V}_s/\bar{T}_L は sound area と quiet area で、音圧レベル P の変化に対して同じような変化をすることが確認された。

4. おわりに

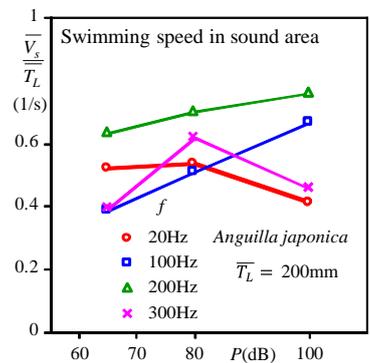
本研究では静止流体中に発生させる音の音圧レベルを 65, 80, および 100dB の 3 通り、周波数を 20, 100, 200 および 300Hz の 4 通りに変化させた計 12 ケースの実験を行い、平均全長 $\bar{T}_L=200\text{mm}$ のニホンウナギの遊泳特性に及ぼす影響について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 周波数が 20, 300Hz の場合、周波数が 100, 200Hz の場合よりも音響装置を設置した範囲における滞在率が増加した。このことより、ニホンウナギは周波数が 20, 300Hz の音よりも 100, 200Hz の音を忌避すると考えられる。
- (2) 周波数が 20Hz の場合、音圧レベルが 65dB のケースから 80, 100dB のケースになるに伴い、音響装置を設置していない範囲へのニホンウナギの進入率が増加した。しかし、周波数が 100Hz 以上のケースでは、音圧レベルの変化に伴う進入率の変化はほぼ確認されなかった。

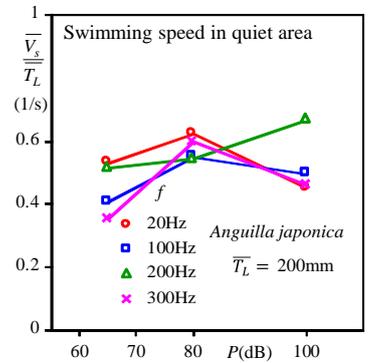
謝辞：本研究を遂行するにあたり実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に感謝の意を表す。

参考文献

1) Jerkø, H., Turunen-Rise, I., Enger, P.S. and Sand, O.: Hearing in the eel (*Anguilla anguilla*), *Journal of Comparative Physiology A*, Vol.165, pp.455-459, 1989.



(a) sound area



(b) quiet area

図-5 全長倍遊泳速度