

音の音圧レベルおよび周波数変化によるニホンウナギの行動特性の解明

九州工業大学大学院 学生会員

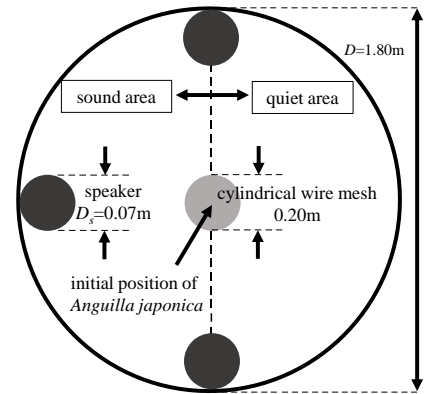
○飯隈公大

九州工業大学大学院 正会員

鬼東幸樹

1. はじめに

ダムや堰などに設置される取水口に魚が迷入し、魚が減耗することが問題となっている。そこで、迷入防止策として障害物や電流、透過光、気泡幕などを用いた研究が行われている。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。Jerkø¹⁾はヨーロッパウナギ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、ニホンウナギの遊泳特性に与える影響を検討した。



2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験に用いた直径 $D=1.80\text{m}$ 、高さ 0.30m の円形プールを示す。直径 $D_s=0.07\text{m}$ 、高さ 0.10m の円柱型の音響装置(MIATONE QBOX, MIATONE 製)を、円形プールを二分する対象線上のプール内壁縁およびその 2 点と等間隔に位置する内壁縁の 1 点に設置した。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 と定義する。カルキ抜きした水温 20°C の水道水を用いて水深を 0.10m とした。表-1 に実験条件を示す。水中音圧レベル L_{pw} を 91, 106 および $126\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ の 3 通り、周波数 f を 20, 60, 100, 150, 200, 250 および 300Hz の 7 通りに変化させ、計 21 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 の円筒金網に平均全長 $\bar{L}_t=200\pm 23\text{mm}$ のニホンウナギを 1 尾投入し、20 秒間馴致させた後、1 分間遊泳させる実験を各ケース 20 回行った。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。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、20 尾の実験結果の平均値を実験値とした。

図-1 実験装置の概要
表-1 実験条件

sound pressure level L_{pw} (dB re $1\mu\text{Pa}$)	sound frequency f (Hz)						
	20	60	100	150	200	250	300
91	91-f20	91-f60	91-f100	91-f150	91-f200	91-f250	91-f300
106	106-f20	106-f60	106-f100	106-f150	106-f200	106-f250	106-f300
126	126-f20	126-f60	126-f100	126-f150	126-f200	126-f250	126-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)に水中音圧レベル L_{pw} が最大の $126\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ における周波数 $f=20, 150$ および 300Hz のニホンウナギの遊泳軌跡の例を示す。図-2(a), (c)より、周波数 f が最小および最大のケースではニホンウナギは実験開始直後に円形プールの中心から sound area あるいは quiet area の壁面に向かって遊泳し、その後壁面に沿って遊泳している。一方、図-2(b)より、周波数 f が 150Hz のケースでは quiet area を遊泳する割合が増加し、sound area に近づくと quiet area に引き返す個体が確認される。同様の傾向が他水中音圧レベルでも確認された。以上より、ニホンウナギは水中音圧レベル $L_{pw}=91\sim 126\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ において、周波数 $f=20, 300\text{Hz}$ の音に比べ、周波数 $f=150\text{Hz}$ の音を忌避すると考えられる。

(2) ニホンウナギの sound area 滞在率

ニホンウナギの頭部が sound area 内に存在する時間 $T_{sa}(\text{s})$ を総遊泳時間 $T(\text{s})$ で除した値 \bar{T}_{sa}/T を sound area 滞在率と定義した。ニホンウナギが均等に遊泳していれば 0.5 の値となる。図-3 に周波数と sound area 滞在率との関係を水中音圧レベルごとに示す。図-3 より、周波数 $f=150$ および 200Hz のケースで sound area 滞在率は低い値を示し、水中音圧レベル L_{pw} が最大の $126\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ のケースにおいて顕著である。また、いずれの水中音圧レベルに

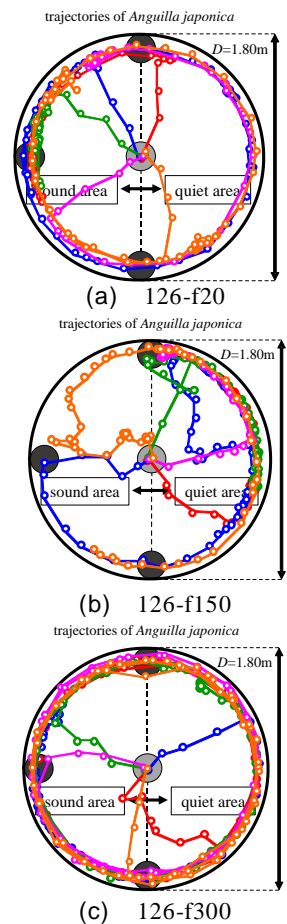


図-2 遊泳軌跡の例

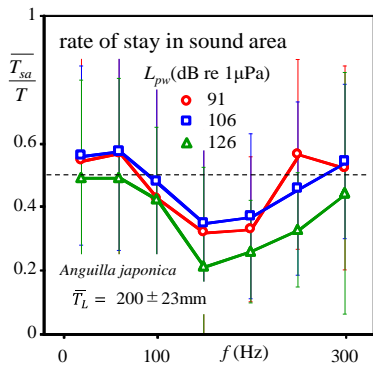


図-3 sound area 滞在率

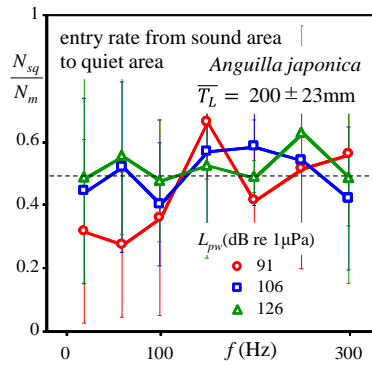
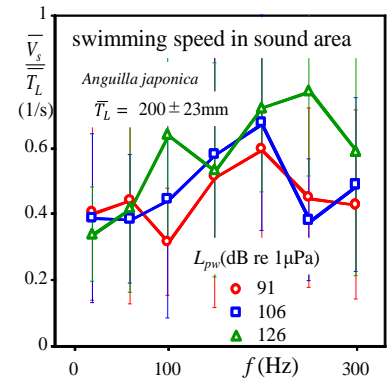
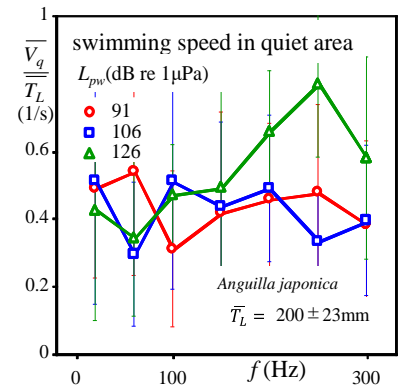


図-4 quiet area 進入率



(a) sound area



(b) quiet area

図-5 全長倍遊泳速度

おいても周波数が最大および最小である 20 および 300Hz 付近では sound area 滞在率が 0.5 程度の値を示していることから、150~200Hz の音をニホンウナギが忌避すると考えられる。

(3) ニホンウナギの quiet area 進入率

各ケースにおいて、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} を N_m で除した値 N_{sq}/N_m を quiet area 進入率とした。ニホンウナギの両エリアの往来回数が等しければ 0.5 の値となる。図-4 に周波数と quiet area 進入率との関係を水中音圧レベルごとに示す。図-4 より、水中音圧レベル $L_{pw}=91\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$ 、周波数 $f=20, 60\text{Hz}$ のケースのみ sound area から quiet area への移動が少ないものの、それ以外のケースでは、quiet area 進入率は水中音圧レベルおよび周波数の値によらず 0.5 付近の値を示す。以上より、sound area への滞在割合が低くなる 150~200Hz の音では(図-3)、quiet area に進入したニホンウナギが quiet area に滞在する時間が長くなると考えられる。

(4) ニホンウナギの全長倍遊泳速度

quiet area および sound area におけるニホンウナギの平均遊泳速度 \bar{V}_q (mm/s) および \bar{V}_s (mm/s) をニホンウナギの平均全長 $\bar{T}_L=200\text{mm}$ で除した値 \bar{V}_q/\bar{T}_L (1/s)、 \bar{V}_s/\bar{T}_L (1/s) をそれぞれ quiet area 全長倍遊泳速度、sound area 全長倍遊泳速度とした。図-5(a)、(b) に周波数と各全長倍遊泳速度との関係を水中音圧レベルごとに示す。図-5(a) より、周波数の増加に伴い sound area 全長倍遊泳速度は増加傾向にあり 200Hz 付近で最大値を示す。図-5(b) より、水中音圧レベルが最大の 126dB re 1 μPa において周波数の増加に伴い quiet area 全長倍遊泳速度は増加傾向にあるが、水中音圧レベルが 91 および 106dB re 1 μPa においては 0.3~0.5 程度で一定である。図-5(a) および(b) より両エリアの遊泳速度を比較すると、sound area を忌避する傾向の見られた周波数 150 および 200Hz のケース(図-3)で、sound area の方が quiet area よりいずれの水中音圧レベルにおいても全長倍遊泳速度は高い値を示す。これは、ニホンウナギが周波数 150~200Hz の音を嫌うため遊泳速度が大きくなると考えられる。

4. おわりに

本研究では、直径 1.80m の円形プール内の静止流体中に発生させる音の水中音圧レベルを 91、106 および 126dB re 1 μPa の 3 通り、周波数を 20、60、100、150、200、250 および 300Hz の 7 通りに変化させた 21 ケースの実験を行い、平均全長 200 \pm 23mm 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、以下の知見が得られた。

- (1) 水中音圧レベル 91~126dB re 1 μPa の範囲で周波数を 20~300Hz の範囲で変化させると、ニホンウナギはいずれの水中音圧レベルにおいても周波数 150~200Hz の音を忌避する傾向が観察される。
- (2) 水中音圧レベル 91~126dB re 1 μPa の音を発生させると、周波数の増加に伴い全長倍遊泳速度は増加傾向にあり 200Hz 付近で最大値を示す。また、ニホンウナギは周波数 150~200Hz の音を嫌うため遊泳速度が大きくなると考えられる。

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.