

点滅周波数および照度の変化がニホンウナギの忌避特性に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○夏山健斗

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

ダムや堰等に設置された取水口に放流されたサケ (*Oncorhynchus keta*) やマス (*Oncorhynchus masou*) 等の稚魚が迷入し、相当量が消耗されることが古くから問題視されている。そこで、迷入防止策として透過光、気泡幕、電流、障害物などを用いた魚類の行動制御が試みられてきた。連続光を用いた忌避行動への影響に関する研究は行われているが、断続光の点滅周波数や照度による忌避行動への影響を検討した研究はほとんど行われていない。ましてや、底生魚であるニホンウナギ (*Anguilla japonica*) の迷入防止を目的とした光の研究は少ない。ニホンウナギは近年個体数が激減しており、その原因の1つとして水力発電所のタービンの取水口などへの迷入が挙げられている<sup>1)</sup>。そのため、本研究では断続光の点滅周波数および照度を系統的に変化させ、ニホンウナギの忌避特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験装置および実験条件

図-1(a), (b) に実験装置の平面図と側面図の概要を示す。実験には長さ  $L=1.4\text{m}$ 、幅  $B=0.8\text{m}$  の開水路を用いた。水路の長さ方向に  $x$  軸、幅方向に  $z$  軸をとる。水深を  $h=0.10\text{m}$ 、全長倍流速を  $U_m/T_L=0.5(1/\text{s})$  とした。ニホンウナギが開水路の全域を移動できるように、開水路の中央を分割する仕切り板を水面付近から上方に水面と直角になるよう設けた。また、実験装置外からの光を遮断するため、高さ  $H=1.5\text{m}$  の木製の板を開水路の側壁に沿って設置した。照明器具は照度と点滅周波数が調整可能な白色 LED 投光器を用い、図-1(b) に示すように開水路の片側の中央に設置し、照射したエリアを bright area、照射していないエリアを dark area と命名した。

表-1 に実験条件を示す。照度を 60, 100, 500, 1000, 1500lx の 5 通り、点滅周波数を 0.3, 1.0, 3.0, 6.0, 10, 15Hz の 6 通りの計 30 ケースの実験を行った。実験には、平均全長  $T_L = 300\text{mm}$  のニホンウナギを用いた。図-1(a) に示すように、開水路中央に直径 0.1m、高さ 0.05m の円形金網を設置し、1 尾のニホンウナギを挿入した。挿入後 1 分間馴致し、金網を取り除くと同時に画素数  $1440 \times 1080$ 、撮影速度 30fps のビデオカメラで bright area および dark area を 1 分間撮影した。実験を各ケース 30 回、合計 900 回行い、撮影後、動画を 1.0s 刻みに分割しニホンウナギの遊泳位置を解析した。また、各ケースの解析結果は 30 回分の平均値とした。

3. 実験結果および考察

(1) 遊泳位置

図-2(a), (b) に最大照度(1500lx)および最小照度(60lx)におけるニホンウナギの頭の遊泳位置をそれぞれの最大点滅周波数(15Hz)および最小点滅周波数(0.3Hz)ごとに示す。照度 1500 および 60lx において周波数の増加に伴い dark area における遊泳位置の頻度が増加した。照度別に着目すると、0.3Hz における最大照度 1500lx と最小照度 60lx を比較すると、最大照度 1500lx の方が dark area における遊泳位置の頻度が増加した。

(2) dark area 分布率

dark area を遊泳するニホンウナギの頭部の 1s ごとの位置データ数を  $n_d$  とし、実験時間である 60s 間の頭部の位置データ数を  $N(=60)$  とする。  $n_d$  を  $N$  で除した dark area 分布率  $n_d/N$  を求め、図-3 に点滅周波数と dark area 分布率  $n_d/N$  との関係照度別に示す。全ての照度において、点滅周波数の増加に伴い dark area 分布率  $n_d/N$  が増加した。照度変化に着目すると、例外は見られるものの照度の増加に伴い dark area 分布率  $n_d/N$  に増加傾向が見られた。また、上記の傾向は図-2 と対応している。以上より、照度および点滅周波数の増加に伴いニホンウナギは光を忌避し、dark area を遊泳することが判明した。

(3) 後退率

60s 間に dark area と bright area の境界から dark area 方向に全長の半分の範囲にニホンウナギの頭部が到達した回数を

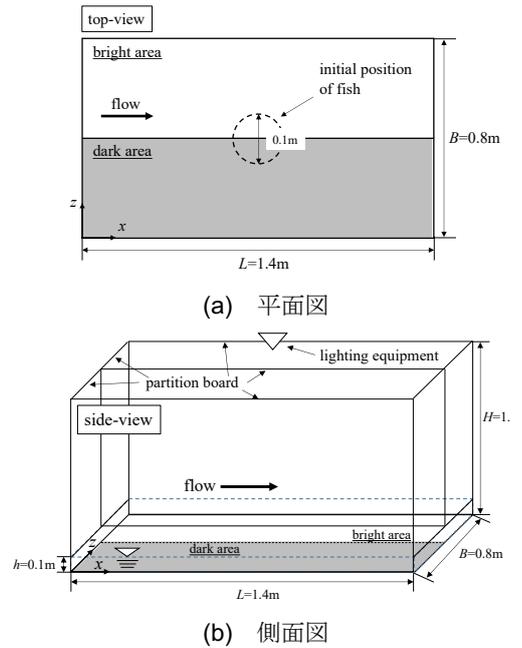


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Frequency (Hz)	Illuminance (lx)				
	60	100	500	1000	1500
0.3	F0.3-60	F0.3-100	F0.3-500	F0.3-1000	F0.3-1500
1.0	F1.0-60	F1.0-100	F1.0-500	F1.0-1000	F1.0-1500
3.0	F3.0-60	F3.0-100	F3.0-500	F3.0-1000	F3.0-1500
6.0	F6.0-60	F6.0-100	F6.0-500	F6.0-1000	F6.0-1500
10	F10-60	F10-100	F10-500	F10-1000	F10-1500
15	F15-60	F15-100	F15-500	F15-1000	F15-1500

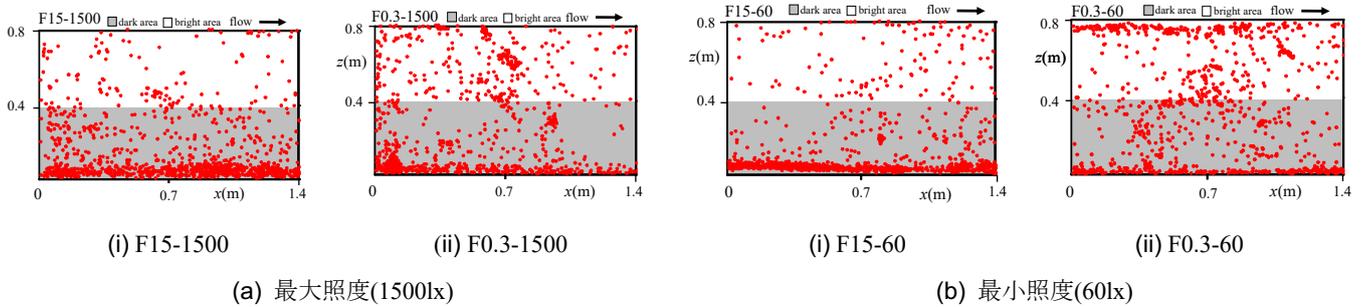


図-2 遊泳位置

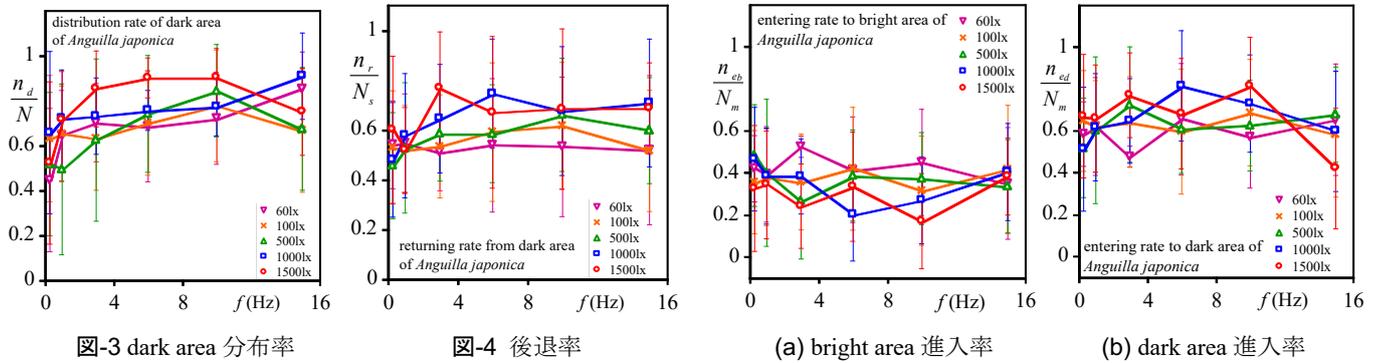


図-3 dark area 分布率

図-4 後退率

(a) bright area 進入率

(b) dark area 進入率

図-5 進入率

$N_s$ とする。また、境界付近に到達した1s後にbright areaに進入せずdark areaに引き返した状態を後退したと定義し、後退した回数を $n_r$ とする。図-4に点滅周波数と後退率 $n_r/N_s$ との関係を照度別に示す。照度500lx以上では、点滅周波数の増加に伴い後退率 $n_r/N_s$ が増加した。さらに、照度1000lx以上では、点滅周波数が0.3~1Hzから3~6Hzに増加すると後退率 $n_r/N_s$ が急激に増加し、6Hz以上で高い値を維持する傾向がある。一方、照度100lx以下では、後退率 $n_r/N_s$ は点滅周波数の変化によらず概ね一定値を示した。また、同一点滅周波数においては15Hzで例外が見られるものの、照度の増加に伴い後退率 $n_r/N_s$ は増加傾向を示した。以上より、照度1000lx以上かつ周波数3Hz程度以上のとき、ニホンウナギの光を忌避する挙動が顕著に表れることが判明した。

(4) 進入率

dark areaとbright area間を移動した回数を求め $N_m$ を求め、dark areaからbright areaに進入した回数を $n_{eb}$ 、bright areaからdark areaに進入した回数を $n_{ed}$ とし、それぞれの進入率 $n_{eb}/N_m$ と $n_{ed}/N_m$ を求めた。図-5(a), (b)に点滅周波数とそれぞれの進入率 $n_{eb}/N_m$ と $n_{ed}/N_m$ の関係を照度別に示す。図-5(a)より、点滅周波数の変化によるbright area進入率に顕著な傾向はなかったが、照度の増加に伴い同一点滅周波数におけるbright area進入率に減少傾向が見られた。一方で、図-5(b)より、点滅周波数の変化によるdark area進入率に顕著な傾向はなかったが、照度の増加に伴い同一点滅周波数におけるdark area進入率に増加傾向が見られた。また、図-5(a), (b)より、全ケースにおいてdark area進入率の方がbright area進入率より大きな値をとった。以上より、ニホンウナギは大きな照度を嫌い、忌避することが判明した。

4. おわりに

本研究では、点滅周波数および照度を系統的に変化させ、ニホンウナギ(平均全長 $\bar{L}_l = 300\text{mm}$ )の忌避特性に及ぼす影響を解明した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 断続光の点滅周波数および照度が高いケースになるにつれて、断続光を忌避し暗いエリアを遊泳する頻度が増加する。
- (2) 断続光の照度が1000lx以上の場合、点滅周波数が0.3~1Hzのケースから3Hz以上のケースになると、暗いエリアから明暗の境界付近に近づくが暗いエリアに引き返す割合が急激に増加する。つまり、断続光の照度が1000lx以上かつ点滅周波数が3Hz以上のとき、ニホンウナギの光を忌避する挙動が最も顕著に表れることが判明した。
- (3) 明暗の境界を行き来する場合、断続光の照度の増加に伴い、暗いエリアへ進入する割合が増加する。また、断続光の照度および点滅周波数の変化に拘らず、暗いエリアへ進入する割合の方が明るいエリアへ進入する割合より大きな値をとる。つまり、ニホンウナギは大きな照度の断続光を避け、暗いエリアに忌避することが判明した。

謝辞: 本研究で用いた実験魚を無償提供していただいた株式会社丸翔に謝意を示す。

参考文献

- 1) 井田徹治:ウナギ地球環境を語る魚, 岩波書店, 2007.