

静止流体中に照射した光の照度と色がウナギの遊泳特性に及ぼす影響

九州工業大学 学生会員 ○平田大成

九州工業大学大学院 正会員

鬼束幸樹

1. はじめに

ウナギ属魚類(*Anguilla*)は水力発電所のタービンの取水口などへの迷入も確認されており、個体数の減少の一因となっている。また、視覚情報は魚類の遊泳特性に及ぼす影響の一因であり、迷入防止の対策として光を用いた魚類の行動制御の研究が行われてきたが、ニホンウナギ(*Anguilla japonica*)等の底生魚を対象とした研究はほとんど行われていない。

本研究では、静止流体中で光の照度と色を変化させ、ニホンウナギ未成魚の遊泳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を示す。実験には内径 $D=1.00\text{m}$ 、高さ 0.30m の円形プールを用いた。プール中央を分割する仕切り板を水面より上に設け、bright areaとdark areaを作成した。最大全光束が4000lmの色を可変できるLED投光器で光をbright areaに照射した。表-1に実験条件を示す。dark areaの照度は約30lxで統一し、bright areaの照度を100, 500, 1000, 5000および10000lxの5通り、光の色をpurple, blue, green, yellow, orange, redおよびwhiteの7通りに変化させた合計35ケースの実験を行った。

内径0.20m、高さ0.20mの円筒金網をプール中心に設置した。円筒金網内に平均体長 $\overline{B_L}=200\text{mm}$ のニホンウナギ未成魚であるクロコウナギを1尾挿入し、馴致後、円筒金網を取り除くと同時に、プールの上方に設置した画素数1440×1080のビデオカメラを使用して撮影速度30fpsで3分間撮影した。上記の実験を、各ケースで15回、合計525回行った。撮影後、動画を0.5s刻みに分割し、ウナギの遊泳位置を解析し、ウナギの遊泳速度および屈折角度を算出した。屈折角度 $|\theta_b|$ は、bright areaにおけるある時間のウナギの頭部と体の中心を結んだ線とその0.5s後のウナギの頭部と体の中心を結んだ線がなす角度の絶対値と定義した。

3. 実験結果および考察

(1) ウナギの遊泳位置

ウナギのbright areaの遊泳時間 T_b を実験時間 T で除した T_b/T をbright area選択率と定義する。図-2に各色の照度とbright area選択率 T_b/T との関係を示す。全ての色において、0, 500, 1000lxではbright area選択率がほぼ40%を示しているが、5000, 10000lxの場合はbright area選択率が減少している。また、10000lxの場合orangeおよびredのbright area選択率が他の色に比べて顕著に低いことが確認される。つまり、ウナギは照度が増加するとbright areaを遊泳する割合が低くなり、特にorangeおよびredのケースでは明瞭な傾向がみられた。

ウナギがbright areaとdark areaとの境界を通過した回数をカウントして算出した平均移動回数を $\overline{N_m}$ と定義する。図-3に照度が10000lxの場合における光の色と平均移動回数 $\overline{N_m}$ との関係を示す。10000lxの条件下では、orangeおよびredのケースが他の色に比べて平均移動回数が少ないことが確認された。つまり、10000lxの場合、orangeおよびredは他の色よりもウナギのエリア間の移動回数が少ないことが確認された。また、図-2より10000lxの場合、orangeおよびredのbright area選択率が著しく低いことから、10000lxにおいてorangeおよびredのウナギの平均移動回数が小さいことが裏付けられる。

(2) ウナギの体長倍遊泳速度と停滞率

bright areaにおけるウナギの平均遊泳速度 $\overline{V_b}$ (m/s) を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した平均体長倍遊泳速度 $\overline{V_b}/\overline{B_L}$ (1/s) を算出した。図-4に各色の照度と平均体長倍遊泳速度 $\overline{V_b}/\overline{B_L}$ との関係を示す。照度の増加に伴い、ウナギの平均体長倍遊泳速度 $\overline{V_b}/\overline{B_L}$ が増加している。10000lxではorangeおよびredの平均体長倍遊泳速度が他の色と比べて速いことが判明した。

ウナギの遊泳位置より移動距離を求め、1s間の移動距離がウナギの平均体長 $\overline{B_L}$ 以下であるときを停滞と定義した。bright areaでウナギが停滞した時間 T_{st} を実験時間 T で除し、bright areaにおけるウナギの停滞率 T_{st}/T を求めた。図-5に照度が10000lxの場合における光の色とウナギの停滞率 T_{st}/T との関係を示す。orangeおよびredのケースでは

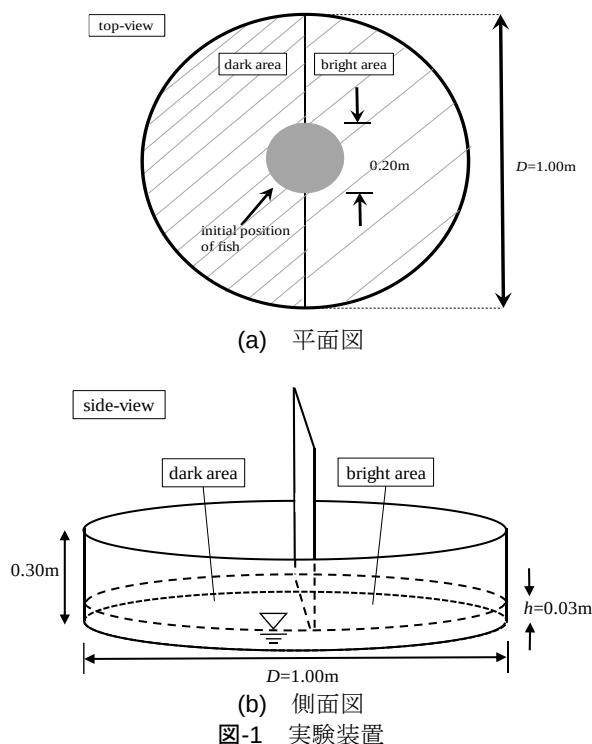


図-1 実験装置

表-1 実験条件

illuminance(lx)	100	500	1000	5000	10000
purple	I100-p	I500-p	I1000-p	I5000-p	I10000-p
blue	I100-b	I500-b	I1000-b	I5000-b	I10000-b
green	I100-g	I500-g	I1000-g	I5000-g	I10000-g
yellow	I100-y	I500-y	I1000-y	I5000-y	I10000-y
orange	I100-o	I500-o	I1000-o	I5000-o	I10000-o
red	I100-r	I500-r	I1000-r	I5000-r	I10000-r
white	I100-w	I500-w	I1000-w	I5000-w	I10000-w

他の色と比べ、停滞率は小さな値を示している。したがって、照度の高い10000lxでは、orangeおよびredは他の色よりもbright areaの停滞率が小さいことが判明した。

(3) ウナギと側壁との体長倍距離

bright area におけるウナギとプール側壁との距離 $\overline{d_{wb}}$ を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した体長倍距離 $\overline{d_{wb}}/\overline{B_L}$ を算出した。図-6 に照度と、ウナギと側壁との体長倍距離 $\overline{d_{wb}}/\overline{B_L}$ との関係を近似直線で示す。全ケースにおいて照度が増加すると体長倍距離 $\overline{d_{wb}}/\overline{B_L}$ が増加している。また 10000lx では色による体長倍距離 $\overline{d_{wb}}/\overline{B_L}$ の差異が大きく、orange および red のケースでは他の色より体長倍距離は大きい。

一般に魚類は側壁付近の遊泳を好む側壁選好性を有している²⁾。図-6 より、照度が増加するとウナギとプール側壁との距離が大きくなり、ウナギはプール側壁から離れて遊泳していることがわかる。特に orange および red では顕著な傾向がみられた。以上より、照度が増加すると、bright area ではウナギとプール側壁との距離は増加し、照度 10000lx の場合 orange および red が他の色と比べてウナギとプール側壁との距離が大きくなることが判明した。

(4) ウナギの屈折角度

図-7に照度とbright areaにおけるウナギの屈折角度 $|\theta_b|$ との関係を近似直線で示す。全ケースにおいて100, 500, 1000lxでは屈折角度 $|\theta_b|$ は10-15°付近を示しているが、照度が5000, 10000lxと増加するに伴い屈折角度が増加している。10000lxではorangeおよびredは他の色よりも屈折角度が著しく大きいことがわかる。また、図-6より照度が増加するとウナギとプール側壁との体長倍距離が増加することから、ウナギは照度が低い場合はほぼ屈折せずプール側壁に沿って遊泳し、照度が高くなると進行方向を大きく屈折させながらプール側壁から離れて遊泳したと推測される。以上より、照度が増加すると、bright areaにおけるウナギの屈折角度は増加し、照度10000lxの場合orangeおよびredは他の色と比べて屈折角度が大きくなることを判明した。

4. おわりに

本研究では、静止流体中で光の色と照度を変化させて、平均体長 $\overline{B_L}=200\text{mm}$ のニホンウナギ未成魚の遊泳特性に及ぼす影響について解明を試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 照度が増加すると、光が照射されたエリアをウナギが遊泳する割合は減少する。本実験条件内の照度 10000lx では、orange および red で光が照射されたエリアをウナギが遊泳する割合は極めて低くなる。
- (2) 照度が増加すると、光が照射されたエリアではウナギとプール側壁との距離は増加する。本実験条件内の照度 10000lx において、orange および red は他の色と比べてウナギとプール側壁との距離が大きくなる。

謝辞：本実験を実施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謝意を表する。

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。
- 2) 鬼束幸樹，秋山壽一郎，松田孝一郎，野口翔平，竹内光：単独で遊泳するアユの挙動に及ぼす側壁の影響，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.68, No.4, pp.661-666, 2012。

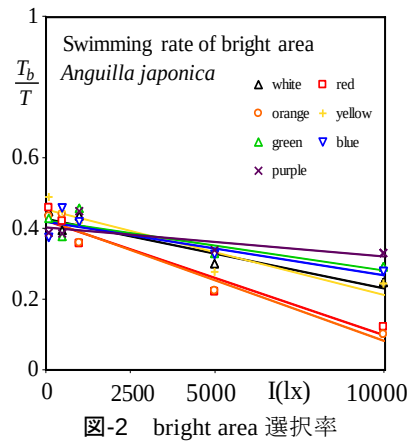


図-2 bright area 選択率

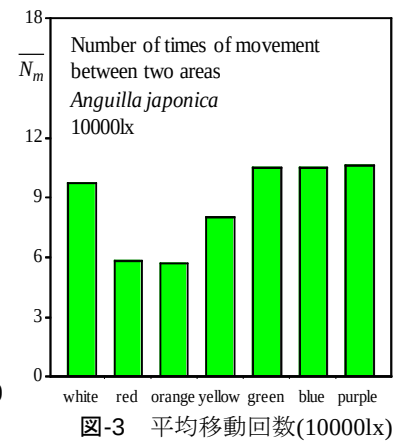


図-3 平均移動回数(10000lx)

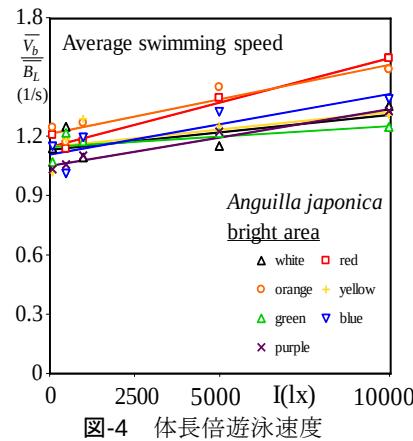


図-4 体長倍遊泳速度

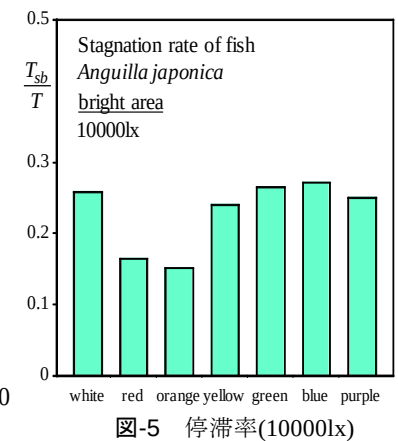


図-5 停滞率(10000lx)

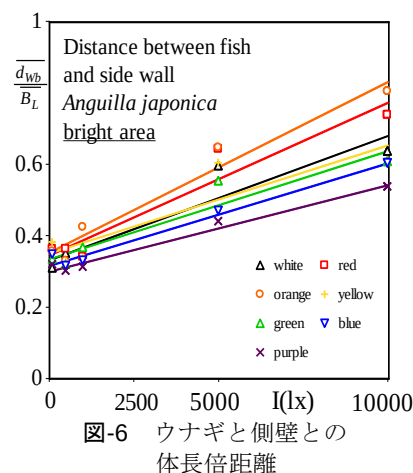


図-6 ウナギと側壁との体長倍距離

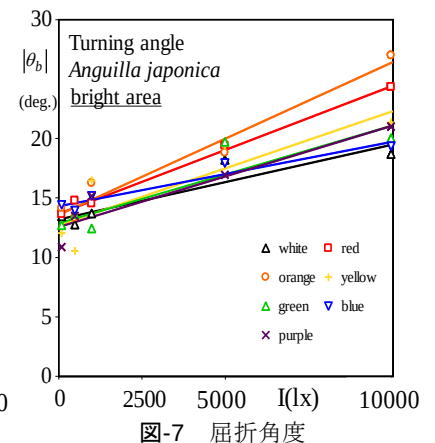


図-7 屈折角度