

水温の急変がオイカワの遊泳特性に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○緒方亮

九州工業大学大学院 正会員 鬼束幸樹

1. はじめに

魚は変温動物であり水温に応じて魚体温が変化するため、魚にとって適切な水温の確保は極めて重要である。また、発電所の冷却水路に取り込まれた魚が放水口から放出されるまでの間に昇温によるショックを受け、約7割が死亡する¹⁾との報告があることから、水温の急変が魚に及ぼす影響は大きいと考えられる。しかし、水温が急変した際の魚の行動特性は明確には解明されていない。本研究では、水温の急変がオイカワ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に実験装置の概要を示す。実験には内径 $D=1.83\text{m}$ 、高さ 0.25m の円形プールを用いた。表-1に実験条件を示す。実験には水温 20°C で週間飼育した平均体長 $\bar{B}_L = 70\text{mm}$ のオイカワ(*Opsariichthys platypus*)を用いた。プール水深を 0.05m に、実験時の水温を10, 15, 20, 25, 30°C の5通りに設定しており、飼育時の水温差はそれぞれ-10, -5, 0, +5, $+10^\circ\text{C}$ であった。ケース名は実験時のプール水温に応じて表-1に示すように命名した。内径 0.15m 、高さ 0.2m の円筒金網をプールの中心に設置し、円筒金網内にオイカワを1尾挿入して馴致したことを確認した後に円筒金網を取り除くと同時に、プール上方に設置した画素数 1440×1080 のビデオカメラでオイカワの遊泳挙動を撮影速度 30fps で実験時間 $T=300\text{s}$ 間撮影した。上記の実験を各ケースで30回、合計150回行った。実験後、動画を 0.4s 刻みに分割し、得られた位置情報より解析を行った。屈折角度 θ は図-2に示すようにオイカワの尻尾と頭部を結んだ線と進行方向とが成す角度と定義した。

3. 実験結果および考察

オイカワの尾びれの振動回数 n_t を実験時間 T で除した単位時間当たりのオイカワの尾びれの振動数 n_t/T を算出した。図-3に実験水温と尾びれの振動数 n_t/T との関係を棒グラフで、各ケースにおける標準偏差の範囲をバーで示す。馴致水温 20°C よりも実験水温が高い25, 30°C の場合は、水温の上昇に伴い尾びれの振動数が増加している。一方、馴致水温 20°C よりも実験水温が低い10, 15°C の場合は、水温の低下に伴い尾びれの振動数が減少している。図-3の標準偏差に着目すると、実験水温が低い10, 15°C の場合は、実験水温が高い20, 25, 30°C の場合に比べて標準偏差の値が小さく、尾びれの振動数のばらつきが小さくなることが確認される。

各ケースにおける実験時間 300s 間のオイカワの総遊泳距離 L の平均値 $\bar{L}$ を平均体長 $\bar{B}_L$ で除した体長倍総遊泳距離 $\bar{L}/\bar{B}_L$ を算出した。図-4に実験水温とオイカワの体長倍総遊泳距離 $\bar{L}/\bar{B}_L$ との関係を棒グラフで、各ケースにおける標準偏差の範囲をバーで示す。馴致水温よりも実験水温が高くなるにつれて総遊泳距離は増加し、馴致水温よりも実験水温が低くなるにつれて総遊泳距離は減少している。また、実験水温が低い10, 15°C の場合は実験水温が高い20, 25, 30°C の場合に比べて標準偏差の値が小さく、オイカワの総遊泳距離のばらつきが小さい。

オイカワの 10° ごとの屈折角度のデータ数 n_θ を 0.4s ごとのデータ総数 N で除し、オイカワの屈折角度 θ の絶対値 $|\theta|$ の頻度 $n_{|\theta|}/N$ を算出した。図-5にオイカワの屈折角度の絶対値 $|\theta|$ の頻度分布を示す。10, 15, 20, 25, 30°C の全ケースにおいて屈折角度の絶対値 $|\theta|=10^\circ$ における頻度が最も高くなっている。また、実験水温の上昇に伴い、屈折角度の絶対値 $|\theta|=10^\circ$ における頻度が減少している。図-6に実験水温とオイカワの屈折角度の標準偏差 $\sigma_{|\theta|}$ との関係を示す。実験水温の上昇に伴い、オイカワの屈折角度の標準偏差が増加している。以上より、馴致水温から負の温度差が増加

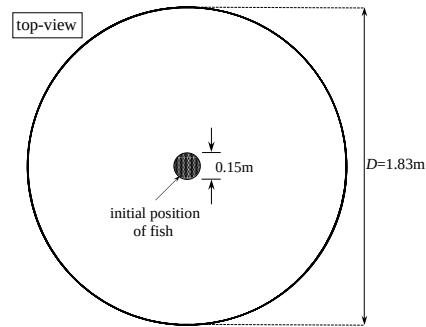


図-1 実験装置

表-1 実験条件

case name	water temperature of acclimation	water temperature of experiment
C-10	20°C	10°C
C-15		15°C
C-20		20°C
C-25		25°C
C-30		30°C

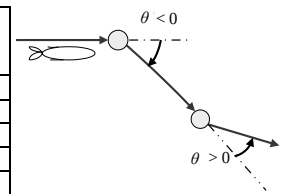


図-2 屈折角度の模式図

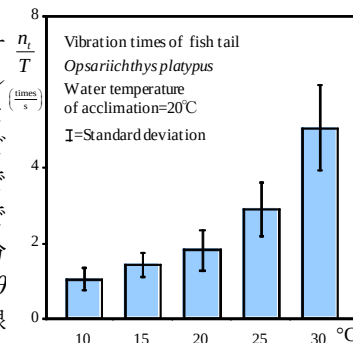


図-3 尾びれの振動数

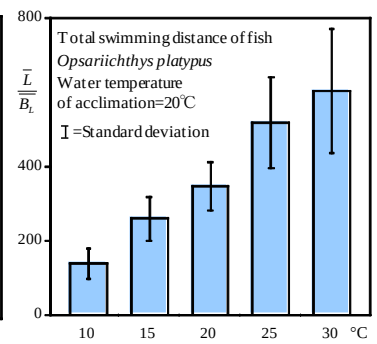


図-4 オイカワの総遊泳距離

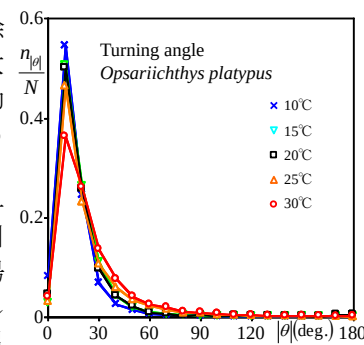


図-5 オイカワの屈折角度

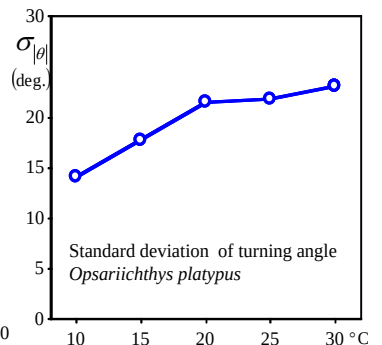


図-6 屈折角度の標準偏差

すると屈折角度のばらつきが減少するのに対し、馴致水温から正の温度差が増加すると屈折角度のばらつきが増加することが判明した。

オイカワの0.4sごとの遊泳位置より求めた遊泳速度 V_s (m/s) をオイカワの平均体長 $\overline{B_L}$ で除した体長倍遊泳速度 $V_s/\overline{B_L}$ (1/s) を算出した。図-7に実験水温と体長倍遊泳速度 V_s の最頻値 $\hat{V}_s$ を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値 $\hat{V}_s/\overline{B_L}$ との関係を示す。水温上昇に伴いオイカワの遊泳速度の最頻値が増加しているのに対し、水温低下に伴い最頻値が減少している。

オイカワの体長倍遊泳速度 $V_s/\overline{B_L}$ ごとのデータ数 $n_{V_s/\overline{B_L}}$ を0.4sごとのデータ総数 N で除し、頻度幅0.1(1/s)ごとの体長倍遊泳速度の頻度 $n_{V_s/\overline{B_L}}/N$ を算出した。図-8に各ケースにおけるオイカワの体長倍遊泳速度 $V_s/\overline{B_L}$ の頻度分布を示す。ただし、 $5(1/s) \leq V_s/\overline{B_L}$ の頻度は微少であったため、表示していない。10, 15, 20, 25, 30°Cの全ケースにおいて体長倍遊泳速度 $0.2 \leq V_s/\overline{B_L} \leq 0.6(1/s)$ の範囲でオイカワの遊泳速度頻度が高くなっている。特に、10°Cのケースでは他のケースに比べて最も頻度が高く、次に15°Cのケースの頻度が高い。また、25, 30°Cと実験水温が高いケースでは、実験水温が低い10, 15°Cのケースではほとんど観察されない $2 \leq V_s/\overline{B_L} \leq 5(1/s)$ の範囲における頻度が確認される。以上より、馴致水温から負の温度差が増加すると遊泳速度が低下するのに対し、馴致水温から正の温度差が増加すると遊泳速度が増加することが判明した。これは、魚体内の化学変化速度は温度に依存し、一般に体温が10°C上昇すると化学変化速度が約2倍になるというQ₁₀の法則²⁾からも裏付けられる遊泳行動である。

オイカワの遊泳位置より移動距離を求め、1s間の移動距離がオイカワの平均体長 $\overline{B_L}$ 以下である場合を停滞と定義した。オイカワが停滞した時間 t_s を実験時間 T で除し、オイカワの停滞率 t_s/T を求めた。図-9に実験水温とオイカワの停滞率との関係をプロットで、各ケースにおける標準偏差の範囲をバーで示す。水温が高い25, 30°Cのケースでは停滞率は小さく、水温が低い10, 15°Cのケースでは停滞率は大きな値を示している。以上より、馴致水温よりも実験水温が高いとき停滞率は小さくなり、馴致水温よりも実験水温が低いとき停滞率は大きくなることを判明した。図-3からオイカワの尾びれの振動数が最も少ないことが判明したことから10, 15°Cにおいてオイカワの停滞率が大きいことが裏付けられる。標準偏差に着目すると、水温が高い25, 30°Cの場合は停滞率のばらつきが大きい、水温が低い10, 15°Cの場合は停滞率のばらつきが小さい。

体長倍遊泳速度 $V_s/\overline{B_L}$ (1/s) が $2 \leq V_s/\overline{B_L} \leq 4$ の場合を維持速度(Cruising speed)³⁾と定義する。図-10にオイカワの維持速度と維持速度以上の遊泳速度の選択比率を示す。10, 15, 20, 25, 30°Cの全てのケースにおいて維持速度の選択比率が維持速度以上の遊泳速度よりも大きな値を示している。30°Cのケースでは、10, 15, 20, 25°Cのケースよりも維持速度以上の遊泳速度を選択する比率が大きい。維持速度では疲労が蓄積しない血合筋のみを使うのに対し、維持速度以上の遊泳速度では血合筋に加え、疲労が蓄積する普通筋の両者を使用する³⁾。また、魚は攻撃・逃避・急流遡上などの緊急時以外には普通筋を使わない³⁾。今回の実験では、馴致水温より10°C高い30°Cの場合に維持速度以上の遊泳速度の選択比率が最大となっている。以上のことから、30°Cのケースにおいてオイカワは血合筋に加え普通筋を使用して高速遊泳し、逃避行動をとったと考えられる。また、図-3, 4より、オイカワの尾びれの振動数および総遊泳距離が最も高いことが判明したことから30°Cにおいてオイカワが逃避行動をとったと考えられる。

4. おわりに

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 馴致水温から実験水温が低下すると、オイカワの遊泳速度、総遊泳距離、尾びれの振動数、および屈折角度のばらつきが減少する。馴致水温から実験水温が上昇すると、オイカワの遊泳速度、総遊泳距離、尾びれの振動数、屈折角度のばらつき、維持速度以上の遊泳速度を選択する比率が増加し、オイカワが逃避行動をとることが判明した。
- (2) 馴致水温から実験水温が上昇するとオイカワの停滞率が減少し、馴致水温から実験水温が低下するとオイカワの停滞率が増加することが判明した。

参考文献

- 1) 海洋生物環境研究所：大規模発電所取放水影響調査(取水生物影響調査)報告書，2004。
- 2) 渡部終五：魚類筋運動の温度馴化，比較生理生化学，Vol.9, No.1, pp.12-21, 1992。
- 3) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995。

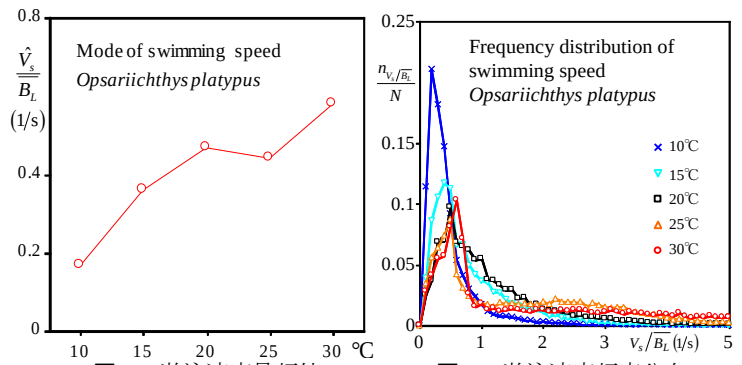


図-7 遊泳速度最頻値

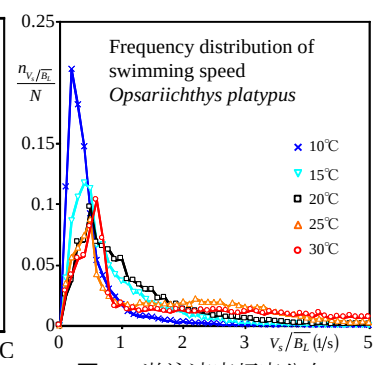


図-8 遊泳速度頻度分布

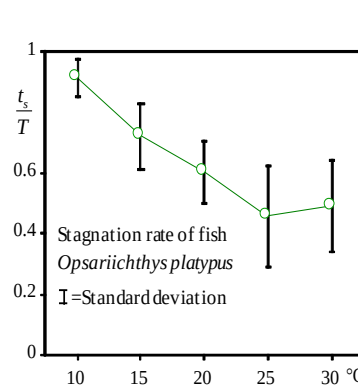


図-9 オイカワの停滞率

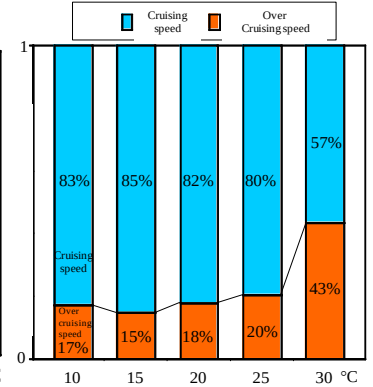


図-10 オイカワの維持速度
選択比率