

水温の変化がウナギの遡上特性に及ぼす影響

九州工業大学  
九州工業大学

学生会員  
学生会員

○峰下颯也  
本松七海

九州工業大学  
九州工業大学大学院

学生会員  
正会員

宮川智行  
鬼東幸樹

1. はじめに

ニホンウナギ(*Anguilla japonica*)は一生のうち海と河川を行き来する回遊魚であるが、河川に設置されたダムや堰によってウナギの遡上が阻害されている。そのため、魚道内部にブラシや凹凸等を配置したウナギ用魚道が活用されている<sup>1)</sup>。しかし、このようなウナギ用魚道を設置することは、海水の逆流の防止や水を貯蓄するといった堰や水門を設置する本来の目的と反しており、ウナギの遡上が見込まれる適切な時期に閉って開放することが好ましい<sup>2)</sup>。

ウナギの遡上特性に影響を与える要因の一つに水温が挙げられる<sup>3)</sup>。また、水門によって区切られた河川には水温差が発生することが考えられ、遡上前のウナギ未成魚が慣れた水温と遡上先の水温との差が遡上特性に及ぼす影響を検討することは、ウナギの遡上が見込まれる時期を決定する指標の一つになる可能性がある。

本研究は、ウナギ用魚道内の水温と、ウナギ未成魚の飼育水温を系統的に変化させ、ウナギ未成魚の遡上特性に及ぼす影響を検討した。ウナギ未成魚はウナギの一生のうちでも特に河川を活発に遡上し始める特性を有するため、本実験に用いた。

2. 実験装置および実験条件

図-1に本実験で用いた2つの水槽とウナギ用魚道の概要を示す。水槽は、長さ $L_x=0.5m$ 、幅 $B_z=0.5m$ 、高さ $H_y=0.5m$ に設定し、下流側水槽の水深を $h=0.2m$ とした。ウナギ用魚道は魚道幅 $B=0.3m$ 、魚道長 $L=1.0m$ 、側壁高さ $\Delta h=0.3m$ 、傾斜角 $\theta=10^\circ$ に設定した。遡上率を向上させるため、海外の文献<sup>1)</sup>を参考し、図-2に示すように直径 $D=15mm$ 、高さ $h_p=50mm$ のポリ塩化ビニル製突起物を $d=15mm$ の間隔で千鳥状に魚道内に配置した。また、流下方向に $x$ 軸、横断方向に $z$ 軸をとった。

表-1に実験条件を示す。平均体長 $\bar{B}_L=200mm$ のウナギ未成魚 $N=20$ 尾をそれぞれ10,15,20,25( $^\circ C$ )の4通りの水温で1週間飼育した。飼育水温に対してそれぞれ-5,0,+5( $^\circ C$ )の3通りの温度の水を一定の流量 $Q=80(ml/s)$ で上流側水槽に供給し、飼育したウナギ未成魚を下流側水槽に投入後、30分間の遡上実験を合計12通り行った。

実験の様子を魚道上部に設置した画素数 $1440 \times 1080$ 、撮影速度30fpsのビデオカメラを用いて撮影した。撮影後、0.5sごとに分割した画像を基にウナギ未成魚の遊泳位置を解析し、遡上数をカウントした。

3. 実験結果および考察

(1) 挑戦率

図-3に魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )と挑戦率 $n_c/N$ との関係を飼育水温 $T_a$  ( $^\circ C$ )別に示す。 $n_c$ は魚道下端部( $x=0$ )に進入したウナギの尾数である。魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )の増加に伴い挑戦率 $n_c/N$ が増加している。魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )が飼育水温 $T_a$  ( $^\circ C$ )より高い場合、ウナギの遡上意欲を刺激し、低い場合では低下させるためと考えられる。また、飼育水温 $T_a$  ( $^\circ C$ )の増加に伴い挑戦率 $n_c/N$ が増加する傾向にある。ただし、飼育水温 $T_a=20,25$  ( $^\circ C$ )の間では挑戦率 $n_c/N$ に大きな変化は見られない。飼育水温 $T_a=20$  ( $^\circ C$ )でウナギの遡上意欲の増加は止まると考えられる。

(2) 遡上成功率

図-4に魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )と遡上成功率 $n_m/n_c$ との関係を飼育水温 $T_a$  ( $^\circ C$ )別に示す。 $n_m$ は魚道上端部( $x=1.0$ )に到達したウナギの尾数である。飼育水温 $T_a=10,15,20$  ( $^\circ C$ )については魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )の増加に伴い、遡上成功率 $n_m/n_c$ が増加している。一方、飼育水温 $T_a=25$  ( $^\circ C$ )の場合では魚道内水温 $T_f$ が $25$  ( $^\circ C$ )から $30$  ( $^\circ C$ )へ増加すると遡上成功率 $n_m/n_c$ が低下している。各ケースにおいて飼育水温 $T_a$  ( $^\circ C$ )および魚道内水温 $T_f$  ( $^\circ C$ )を除く変更条件はないため、魚道内水温 $T_f$ が $25$  ( $^\circ C$ )以上の場合、遡上を成功させる要因であるウナギの運動能力などが制限を受けた

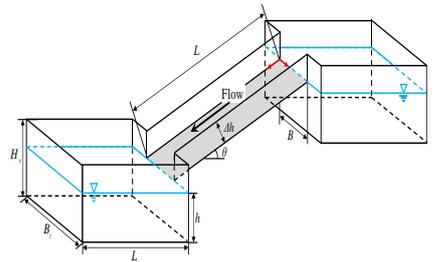


図-1 実験に用いたウナギ用魚道の概要

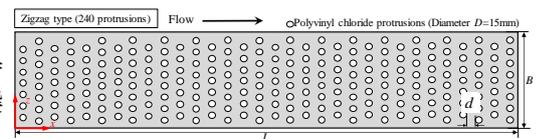


図-2 魚道内に設置した突起物の配置図(平面図)

表-1 実験条件

water temperature of acclimation $T_a$ ( $^\circ C$ )	water temperature in fishway $T_f$ ( $^\circ C$ )					
	5	10	15	20	25	30
10	a10-5	a10-10	a10-15			
15		a15-10	a15-15	a15-20		
20			a20-15	a20-20	a20-25	
25				a25-20	a25-25	a25-30

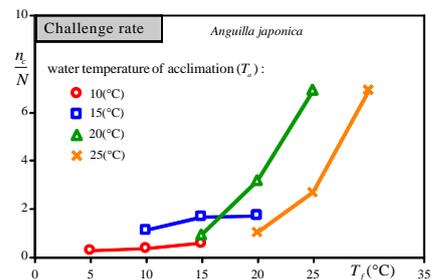


図-3 挑戦率

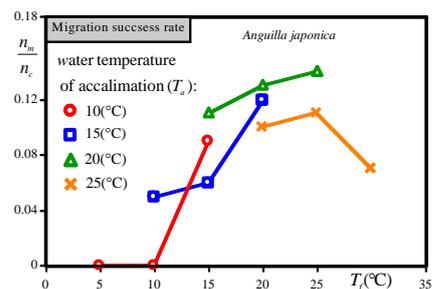


図-4 遡上成功率

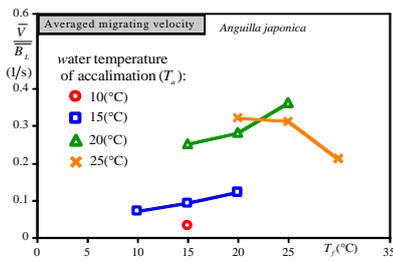


図-5 平均遡上速度

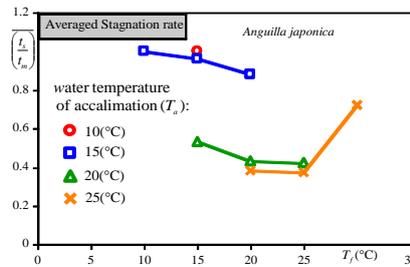


図-6 平均停滞率

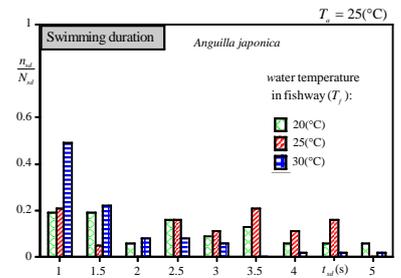


図-7 遊泳持続時間分布

可能性が考えられる。そこで、ウナギの運動能力について以下検討を行う。

(3) 平均遡上速度

図-5 に魚道内水温  $T_f$  (°C) と遡上したウナギ未成魚の平均遡上速度  $\bar{V}/B_L$  (1/s) との関係を示す。飼育水温  $T_a=15, 20$  (°C) については魚道内水温  $T_f$  の増加に伴い、平均遡上速度  $\bar{V}$  (1/s) が増加している。一方で飼育水温  $T_a=25$  (°C) においては魚道内水温  $T_f$  の増加に伴い、平均遡上速度  $\bar{V}$  (1/s) が減少している。水温の増加に伴い、摂取酸素量、活動代謝量および基礎代謝量が増加する一方、摂取可能な酸素量は減少する<sup>4)</sup>。また基礎代謝量は飼育水温の増加に伴い著しく増加する<sup>5)</sup>。水温の増加に伴い活動代謝量および基礎代謝量は増加するが、限られた摂取可能な酸素量のうち、基礎代謝量の占める割合が次第に増加し、遊泳に利用可能な酸素は減少する。したがって水温の増加に伴う遊泳速度の増加は次第に緩やかになりやがて減少する。また、飼育水温  $T_a$  (°C) の増加に伴い、平均遡上速度  $\bar{V}$  (1/s) が増加する傾向にあり、飼育水温  $T_a=15\sim 20$  (°C) の変化で特に顕著である。

(4) 平均停滞率

ウナギの体長倍瞬間速度が 0.25(1/s)未満の場合を停滞状態と定義し、遡上時間  $t_m$  における停滞時間  $t_s$  の割合を停滞率  $t_s/t_m$  として求めた。図-6 に魚道内水温  $T_f$  (°C) と平均停滞率 ( $t_s/t_m$ ) との関係を示す。飼育水温  $T_a=15, 20$  (°C) については魚道内水温  $T_f$  (°C) の増加に伴い、平均停滞率 ( $t_s/t_m$ ) が減少している。一方で飼育水温  $T_a=25$  (°C) においては魚道内水温  $T_f$  (°C) の増加に伴い、平均停滞率 ( $t_s/t_m$ ) が増加している。また、飼育水温  $T_a$  (°C) の増加に伴い、平均停滞率 ( $t_s/t_m$ ) が低下する傾向にあり、飼育水温  $T_a=15\sim 20$  (°C) の変化で特に顕著である。

(5) 遊泳持続時間分布

ウナギの体長倍瞬間速度が 0.25(1/s)以上の場合を遊泳状態と定義し、遊泳状態が持続された時間を計測した。図-7 に飼育水温  $T_a=25$  (°C) における遊泳持続時間  $t_{sd}$  (s) の分布を魚道内水温  $T_f$  (°C) 別に示す。魚道内水温  $T_f$  が 20(°C) から 25(°C) に増加した場合、頻度が高い持続時間  $t_{sd}$  (s) が長くなる傾向にある。25(°C) から 30(°C) に増加すると頻度が高い持続時間  $t_{sd}$  (s) が短くなる傾向にある。一般に遡上速度と遊泳持続時間は負の相関を示すことが知られている<sup>4)</sup>。3.(3) で述べたように、飼育水温  $T_a=25$  (°C) においては魚道内水温  $T_f$  (°C) の増加に伴い平均遡上速度  $\bar{V}$  (°C) は減少するため、遊泳持続時間  $t_{sd}$  (s) の増加が予想される。これに反して魚道内水温  $T_f$  が 25(°C) から 30(°C) に増加した場合では遊泳持続時間  $t_{sd}$  (s) が減少している。

4. おわりに

本研究はウナギの飼育水温とウナギ用魚道内の水温を系統的に変化させ、ウナギ未成魚の遡上特性に及ぼす影響を解明したものである。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 飼育水温および魚道内水温の増加に伴いウナギ未成魚の遡上意欲が増加する。
- (2) 魚道内水温 5(°C) から 25(°C) の範囲では、飼育水温および魚道内水温の増加に伴いウナギ未成魚の遡上成功率、平均遡上速度が増加し、停滞率は減少する。
- (3) 魚道内水温が 25(°C) から 30(°C) に増加するに伴い、ウナギ未成魚の遡上成功率、平均遡上速度および遊泳持続時間が低下し、停滞率は増加する。

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表す。

参考文献

- 1) Solomon, D.J. and Beach, M.H.: Fish pass design for eel and elver (*Anguilla anguilla*), R&D Technical Report W2-070/TR, 2004.
- 2) 太田丈夫：常陸川水門魚道構造について，水産土木，Vol.2, No.2, pp.33-35, 1966.
- 3) 中村俊六：魚道のはなし，山海堂，1995.
- 4) 会田勝美：魚類生理学の基礎，恒星社厚生閣，2002.
- 5) 山元憲一：ウナギの鰓におけるガス交換に及ぼす低酸素の影響，魚類学雑誌，34 巻，3 号，pp.368-372, 1987.