

開水路流の流速および横断速度勾配が魚の遊泳挙動に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員

○古川 輝

九州工業大学大学院 正会員

鬼東 幸樹

1. はじめに

近年、増水期の魚の挙動について多くの研究が行われている。角田ら<sup>1</sup>は台風に伴う魚類分布の変遷を調査し、洪水後にワンドの魚類生息密度が増加することを確認した。Delcourt & Poncin<sup>2</sup>は濁水状態では視覚対象物が網膜に写像されず対地速度の認知が困難であるため、洪水時の流速検出は感丘に依存すると推定した。一方、魚は体側両側の流速差に差異があると認識できるのか、および流速差の大きさと魚の挙動との関係は不明である。本研究では開水路流の横断速度勾配および流速を変化させ、オイカワ、カワムツおよびニホンウナギの遊泳特性に及ぼす影響を調査した。以後ニホンウナギをウナギと称す。

2. 実験装置および実験条件

図-1 に実験に用いた長さ 4.0m, 幅  $B=0.8\text{m}$  の水路の概要を示す。水路始端から下流方向に 0.5m までの領域を upstream area, 水路終端から上流方向に 0.5m までの領域を downstream area と命名した。upstream area 終端を  $x=0$  とし, 流下方向に  $x$  軸,  $x$  軸に直角上向きに  $y$  軸, 横断方向に  $z$  軸をとった。実験には平均体長  $B_L$  62mm( $\pm 8\text{mm}$ )のオイカワ, 平均体長  $B_L$  51mm( $\pm 9\text{mm}$ )のカワムツおよび平均全長  $T_L$  300mm( $\pm 19\text{mm}$ )のウナギを使用した。畜養水温および実験水温は  $20^\circ\text{C}$  とした。表-1 に実験条件を示す。水路中央( $z/B=0.5$ )の体長倍流速  $\bar{U}_m/B_L$  をオイカワおよびカワムツは 6, 7, 8 および 9(1/s)の 4 通り, ウナギは 2, 2.5 および 3(1/s)の 3 通りに変化させると共に, 横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$  をオイカワおよびカワムツは 2.5, 5.0, 7.5 および 10(1/(m·s))の 4 通り, ウナギは 0.675, 1.25, 2.50 および 3.75 の 4 通りに変化させた計 28 ケースの実験を, 各ケースで 15 回, 合計 660 回行った。ただし, ウナギについては平均全長  $T_L$  で示す。各ケースにおいて, 水路終端から 2.0m 上流の水路中央( $z/B=0.5$ )に直径 0.1m の円筒形金網を設置し, 1 尾の魚を放流した。1 分間の馴致後に金網を取り上げると共に実験を開始した。水路上部に設置したビデオカメラで 90s 間撮影し, 実験後 0.5s ごとに解析した。また, 図-2 に示すように  $0 \leq z/B < 0.33$  を低流速域(low velocity area),  $0.33 \leq z/B < 0.67$  を中流速域(middle velocity area),  $0.67 \leq z/B \leq 1.00$  を高流速域(high velocity area)と命名した。

3. 実験結果および考察

(1) オイカワ, カワムツおよびウナギのエリア別滞在率

魚が high velocity area, middle velocity area および low velocity area 内に存在するデータ数  $N_h$ ,  $N_m$  および  $N_l$  を総データ数  $N_{all}$  で除した値の平均を, 各エリアにおける魚の滞在率  $\bar{N}_h/N_{all}$ ,  $\bar{N}_m/N_{all}$  および  $\bar{N}_l/N_{all}$  と定義した。図-2(a)~(f)にオイカワおよびカワムツの体長倍流速  $\bar{U}_m/B_L$ , ウナギの全長倍流速  $\bar{U}_m/T_L$  とエリア別滞在率  $\bar{N}_h/N_{all}$ ,  $\bar{N}_m/N_{all}$  および  $\bar{N}_l/N_{all}$  との関係性を横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$ ,  $|d(\bar{U}_m/T_L)/dz|$  別に示す。図-2(a)より, オイカワは横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$  が 2.5(1/(m·s))において, いずれの体長倍流速  $\bar{U}_m/B_L$  でも low velocity area の滞在率が最大となっており, その比率が流速の増加に伴い増加している様子が観察される。また, high velocity area の滞在率が流速の増加に伴い減少している様子が観察される。図-2(b)においても同様な傾向が観察されるが, その傾向は横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$  が 2.5(1/(m·s))のケースよりも顕著となっている。図-2(c)より, カワムツもオイカワ同様に横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$  が 2.5(1/(m·s))において, いずれの体長倍流速  $\bar{U}_m/B_L$  でも low velocity area の滞在率が最大となっているが, その比率が流速の増加に伴い増加している様子は確認されない。図-2(d)においては, 横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/B_L)/dz|$  が 2.5(1/(m·s))の場合より, low velocity area の滞在率が増加する傾向が観察される。また, 図-2(e)より, ウナギは横断速度勾配  $|d(\bar{U}_m/T_L)/dz|$  が 0.675(1/(m·s))において, いずれの全長

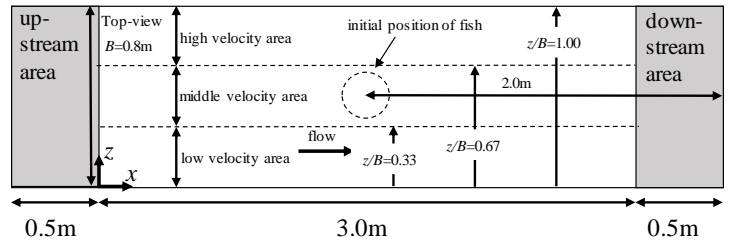


図-1 実験水路  
表-1 実験条件

Case name		Transverse velocity gradient $ d(\bar{U}_m/B_L)/dz $ (1/(m·s))							
		0.675	1.25	2.50	3.75	5.00	7.50	10.0	
Mean velocity at centerline of the channel	<i>Anguilla japonica</i>	2	C2-0.675	C2-1.25	C2-2.50	C2-3.75	-	-	-
		2.5	C2.5-0.675	C2.5-1.25	C2.5-2.50	C2.5-3.75	-	-	-
		3	C3-0.675	C3-1.25	C3-2.50	C3-3.75	-	-	-
$\bar{U}_m/B_L$ (1/s)	<i>Opsariichthys platypus</i>	6	-	-	C6-2.50	-	C6-5.00	C6-7.50	C6-10.0
		7	-	-	C7-2.50	-	C7-5.00	C7-7.50	C7-10.0
$\bar{U}_m/T_L$ (1/s)	<i>Nipponocypris temminckii</i>	8	-	-	C8-2.50	-	C8-5.00	C8-7.50	C8-10.0
		9	-	-	C9-2.50	-	C9-5.00	C9-7.50	C9-10.0

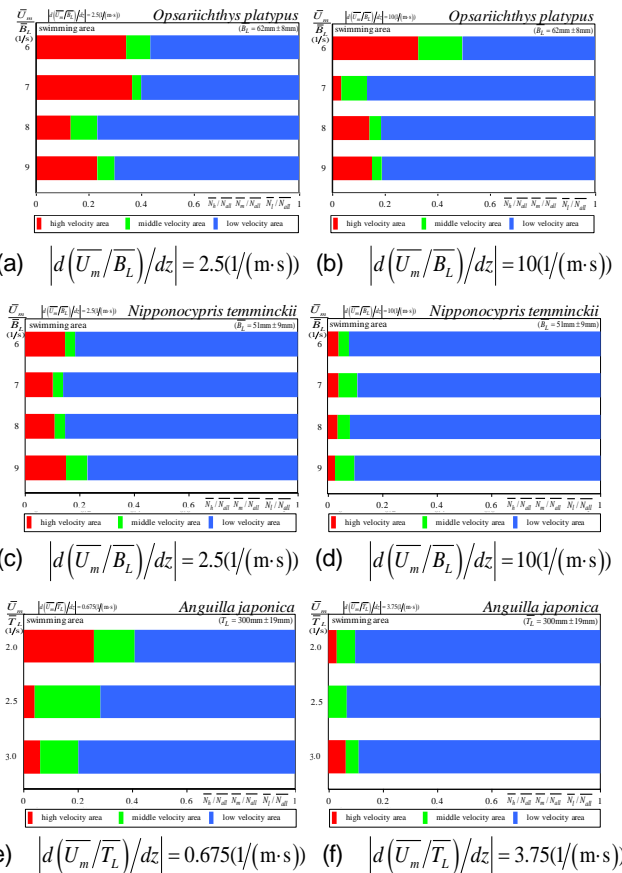


図-2 エリア別滞在率

倍流速  $\overline{U_m}/\overline{T_L}$  でも low velocity area の滞在率が最大となっており、その比率が流速の増加に伴い増加している様子が観察される。図-2(f)においては、横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  が 0.675 (1/(m·s)) の場合より、low velocity area の滞在率が增加するが、その他の傾向は確認できない。以上より、横断速度勾配の増加に伴い高流速域をあまり遊泳せず、低流速域を頻繁に遊泳することが示された。

(2) オイカワ、カワムツおよびウナギの低流速選好率

middle velocity area 内から low velocity area 内に移動した尾数  $N_{ml}$  を middle velocity area 内に 0.5s 以上滞在した尾数  $N_{mm}$  で除した値を低流速選好率  $N_{ml}/N_{mm}$  と定義した。図-3 にオイカワ、カワムツおよびウナギの横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$ 、 $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  と低流速選好率  $N_{ml}/N_{mm}$  との関係を示す。図-3 より、すべての魚種において横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$ 、 $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  の増加に伴い低流速選好率  $N_{ml}/N_{mm}$  が増加している様子が観察される。また、横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$ 、 $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  が 2.5 (1/(m·s)) において、オイカワおよびカワムツの低流速選好率  $N_{ml}/N_{mm}$  が 0.6~0.7 程度の値を示しているのに対し、ウナギは 0.8 程度の値を示している。以上より、横断速度勾配の増加に伴い高流速を忌避する傾向が顕著になり、ウナギはオイカワおよびカワムツと比較すると低流速選好率が高いため、より低流速を選好する傾向が高まることが示された。

(3) オイカワ、カワムツおよびウナギの横断方向対地速度

魚の横断方向対地速度が高流速域から低流速域へ向かう負の遊泳時間を全遊泳時間で除した値を  $r_n$  と定義し、実験開始から 5s までとそれ以降に分離して解析を行った。図-4 にオイカワ、カワムツおよびウナギの遊泳初期 ( $0 \leq t \leq 5s$ ) および遊泳後期 ( $5 < t \leq 90s$ ) の横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$ 、 $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  と横断方向対地速度の負率  $r_n$  との関係体を長倍流速  $\overline{U_m}/B_L$ 、全長倍流速  $\overline{U_m}/\overline{T_L}$  別に示す。図-4(a) より、オイカワは遊泳初期 ( $0 \leq t \leq 5s$ ) では横断方向対地速度の負率  $r_n$  が全ケースで 0.5 を上回っている。また、横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$  の増加に伴い負率  $r_n$  が増加すること、および同一横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$  において、体長倍流速  $\overline{U_m}/B_L$  の増加に伴い負率  $r_n$  が増加することが認められる。これは、遊泳初期 ( $0 \leq t \leq 5s$ ) では、横断速度勾配および流速の増加に伴い選択的に低流速方向に遊泳することを意味する。一方、図-4(b) より、オイカワは遊泳後期 ( $5 < t \leq 90s$ ) では、負率  $r_n$  が横断速度勾配および体長倍流速の変化に関わらずほぼ 0.5 程度の値を示している。これはオイカワが現在の遊泳位置から平均的には移動しないこと、現在の遊泳位置に滞在せず、中流速域に侵入した場合も再度低流速域を選好し移動するためと考えられる。また、図-4(c), (e) より、カワムツおよびウナギは遊泳初期 ( $0 \leq t \leq 5s$ ) では横断方向対地速度の負率  $r_n$  が全ケースで 0.5 を上回っているが、横断速度勾配  $|d(\overline{U_m}/B_L)/dz|$ 、 $|d(\overline{U_m}/\overline{T_L})/dz|$  の増加および体長倍流速  $\overline{U_m}/B_L$ 、 $\overline{U_m}/\overline{T_L}$  の増加に伴い負率  $r_n$  が増加する傾向は確認されない。一方、図-4(d), (f) より、カワムツおよびウナギは遊泳後期 ( $5 < t \leq 90s$ ) では、オイカワ同様負率  $r_n$  が横断速度勾配および体長倍流速の変化に関わらずほぼ 0.5 程度の値を示している。以上より、横断速度勾配および流速の増加に関わらず魚は速やかに低流速域方向に選好し遊泳して低流速域に到達すること、およびそこに滞在する傾向が高まることが示された。

4. おわりに

本研究では、開水路の横断速度勾配をオイカワおよびカワムツでは 2.5~10.0 (1/(m·s))、体長倍流速を 6~9 (1/s) に変化させ、ニホンウナギでは横断速度勾配を 0.675~3.75 (1/(m·s))、全長倍流速を 2~3 (1/s) に変化させ、オイカワ、カワムツおよびニホンウナギの遊泳特性に及ぼす影響について検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 横断速度勾配の増加に伴い、オイカワ、カワムツおよびニホンウナギは速やかに低流速方向に移動し、そこに滞在する。また、そこに滞在せず、中流速域に侵入した場合も再度低流速域を選好し移動する。したがって、高流速域をあまり遊泳せず、低流速域を頻繁に遊泳する傾向が高くなる。
- (2) オイカワは横断速度勾配の増加に伴い、流速の増加による低流速域における滞在率の増加傾向はより顕著となった。
- (3) ニホンウナギはオイカワおよびカワムツと比較して、より低流速を選好する傾向が高くなる。

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) 角田ら：応用生態工学，第22巻，第1号，pp.35-49，2019。
- 2) Delcourt & Poncinm: Rev. Fish Biol. Fisher., Vol.22, No.3, pp.595-619, 2012。

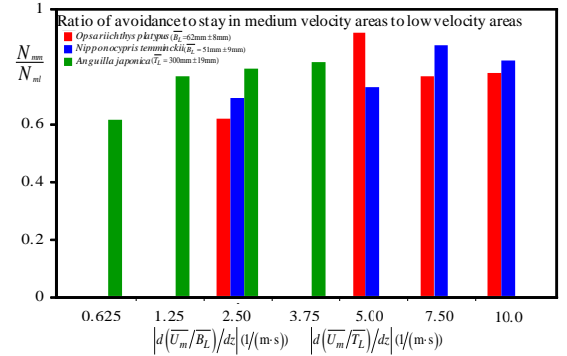
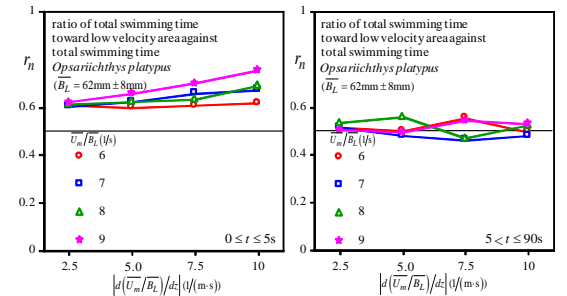
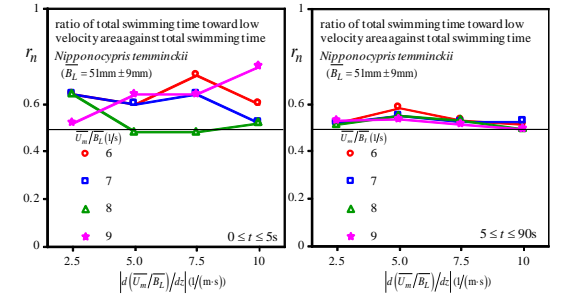


図-3 低流速選好率



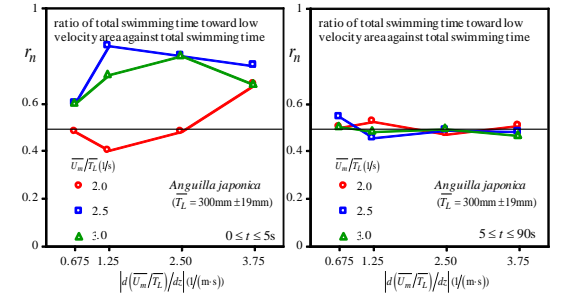
(a) 0 ≤ t ≤ 5s

(b) 5 < t ≤ 90s



(c) 0 ≤ t ≤ 5s

(d) 5 < t ≤ 90s



(e) 0 ≤ t ≤ 5s

(f) 5 < t ≤ 90s

図-4 横断方向対地速度