

流速変化が単独アユの遊泳特性に及ぼす影響

1. はじめに

魚がすみやすい川づくりを推進するには、各魚種の生息域や行動特性を把握し、これらを考慮した河川構造物の設計が必要である。二瓶ら¹⁾は1尾および2尾のタイリクバラタナゴの魚体各部の加速度等を定量的に示した。鬼束ら^{2,3)}は静止流体中において、1尾および2尾で遊泳するアユの遊泳軌跡を直線と屈折でモデル化し、遊泳速度や遊泳距離を定量的に評価した。以上のように魚の挙動が解明されつつあるが、そのほとんどは静止流体中を対象としており、流水中の魚の挙動は実験的にほとんど解明されていない。本研究は流速を系統的に変化させて、単独で遊泳するアユの挙動を解析したものである。

2. 実験装置および実験条件

図-1に示す水路を実験に用いた。流下方向に x 軸、 x 軸に直角上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとる。平均体長 $\bar{B}_L = 70\text{mm}$ の養殖アユ (*Plecoglossus altivelis altivelis*) を実験に用いた。実験条件は表-1に示すように、水深 h を 0.04m に固定して体長倍流速を $0 \sim 10$ の範囲で5段階に設定した。各ケースで水路始端から 2m 下流の水路中央 ($z/B = 0.5$) に直径 0.25m の円形金網を設置し、1尾のアユを挿入する。アユが落ち着いたことを確認した後に金網を取り上げ、水路上部に設置した画素数 1440×1080 、撮影速度 30Hz のビデオカメラで撮影を開始する。撮影終了はアユが水路始端に到達あるいは水路終端から流出した時とした。上記の実験を各ケースで 100 回、合計 500 回行った。

3. 実験結果および考察

(1) アユの遊泳軌跡のモデル化

図-2にアユの遊泳軌跡をトレースした一例(C10)を示す。これより、既往の研究^{2,3)}と同様に遊泳軌跡は直線(branch)と屈折(node)で再現できることがわかったため、撮影後に全アユの遊泳軌跡における全ての屈折位置と時刻を読み取った。連続する屈折位置から対地距離 L_G および屈折角度 θ が図-3のように求められる。 θ は右回転を正、左回転を負と定義した。また、対地距離と流速から、遊泳距離 L が算出される。一方、上記の対地距離と遊泳に要した時間から、対地速度 V_G が算出され、さらにこれらの対地速度に流速を加算すると、遊泳速度 V が算出される。

(2) 普遍遊泳と壁面効果遊泳の分離

鬼束ら^{2,3)}は静止流体中を1尾あるいは2尾で遊泳するアユは遊泳開始から2branchまでは遊泳開始の履歴があると述べ、本研究でも同様な傾向が見られた。一方、多くのアユは直接水路始端に到達せずに、一度側壁近傍に接近した後に壁面に沿って遡上する。観察の結果、側壁との距離が体長の1倍未満になると遊泳特性が変化すると判断された。そのため、アユが遊泳開始から3branch以上かつ側壁から体長の1倍以上離れた領域を遊泳する場合を普遍遊泳、アユが側壁から体長の1倍未満の領域に進入した後の遊泳を壁面効果遊泳と定義した。

(3) 普遍遊泳時の遊泳特性

図-4(a)~(c)に普遍遊泳における遊泳距離 L 、遊泳速度 V および屈折角の絶対値 $|\theta|$ を平均体長 \bar{B}_L で除した値の頻度分布を流速別に示す。

図-4(a)に示す遊泳距離 L はいずれのケースも低値が高頻度で、高値方向に裾をもつ形状を示すため、次次に示すガンマ分布を採用し、図中に曲線で示した。

$$f(L/\bar{B}_L) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda (L/\bar{B}_L)^{\lambda-1} e^{-\alpha L/\bar{B}_L} \quad (1)$$

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\lambda-1} dx \quad (2)$$

表-1 実験条件

case name	C0	C1	C3	C5	C10
\bar{B}_L (mm)	70				
h (m)	0.04				
U_m (m/s)	0	0.07	0.21	0.35	0.70
U_m/\bar{B}_L (1/s)	0	1	3	5	10

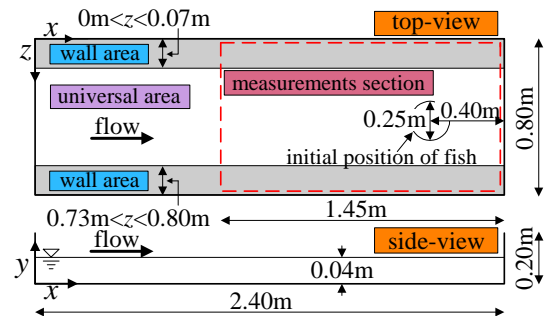


図-1 実験水路の模式図

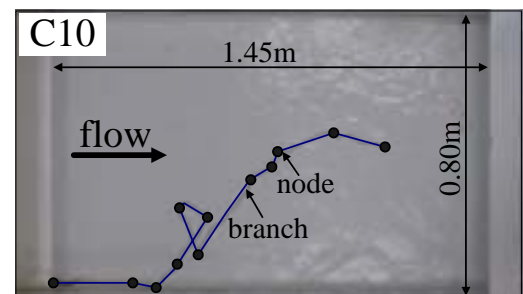


図-2 遊泳軌跡の一例(C10)

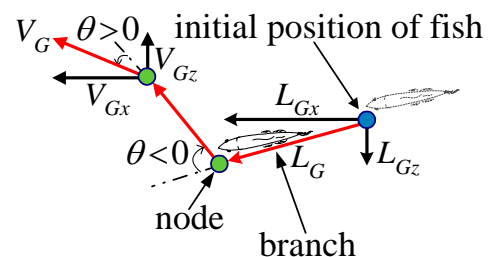


図-3 遊泳軌跡の模式図

係数 α , λ は最小二乗法より算出した。流速の増加に伴い遊泳距離 L は増加している。

図-4(b), (c) に示した遊泳速度 V , 屈折角の絶対値 $|\theta|$ においても頻度分布を再現する関数としてガンマ分布を採用し図中に曲線で示した。図-4(b) に示す遊泳速度 V の最頻値は流速の増加と共に増加している。図-4(c) に示す屈折角の絶対値 $|\theta|$ の最頻値は流速の増加に伴い減少が認められる。

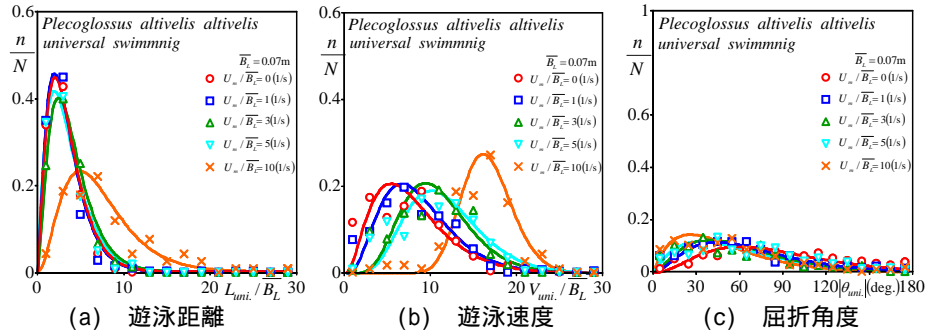


図-4 普遍遊泳における流速変化に伴う遊泳特性の変化

(4) 壁面効果遊泳時の遊泳特性
 図-5(a) ~ (c) に壁面効果遊泳における遊泳距離 L , 遊泳速度 V および屈折角の絶対値 $|\theta|$ を平均体長 \bar{B}_L で除した値の頻度分布を流速別に示す。

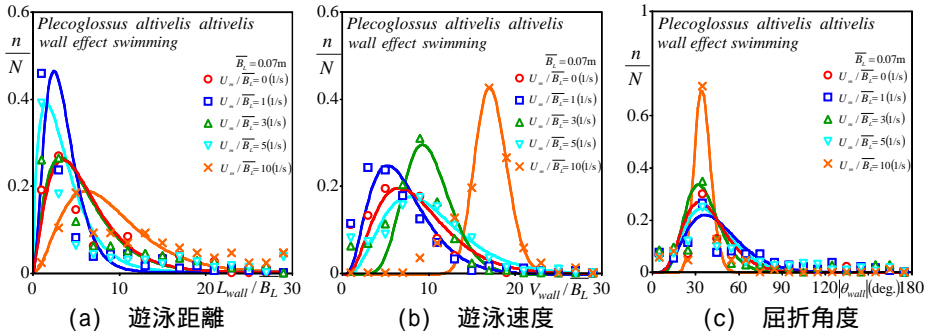


図-5 壁面効果遊泳における流速変化に伴う遊泳特性の変化

図-5(a) ~ (c) より、壁面効果遊泳時においても頻度分布は高値方向に裾をもつ形状を示すため、ガンマ分布を採用し図中に曲線で示した。図-5(a), (b) に示した遊泳距離 L , 遊泳速度 V に関しては流速の増加に伴い最頻値の増加が見られる。図-5(c) に示した屈折角の絶対値 $|\theta|$ は流速に依存せず一定である。

(5) 最頻値と流速変化との関係
 図-6(a) ~ (c) に遊泳距離 L , 遊泳速度 V および屈折角の絶対値 $|\theta|$ の最頻値と流速との関係を示すと共に、両者の関係を線形式で求めて図中に直線で示した。

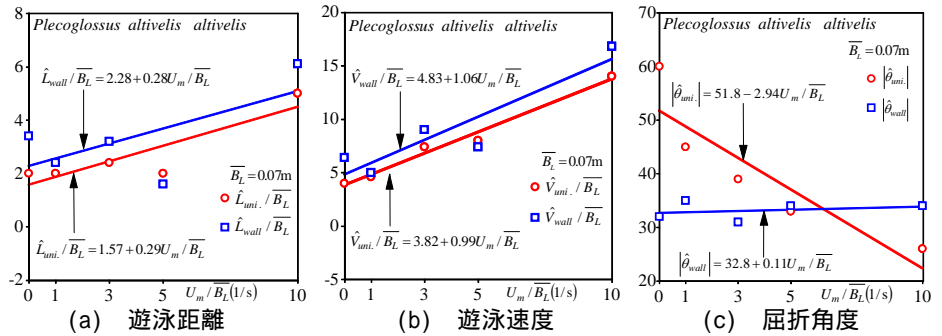


図-6 最頻値と流速変化との関係

図-6(a), (b) に示す遊泳距離 L と遊泳速度 V の最頻値は流速の増加と共に増加傾向にあり、壁面効果遊泳の方が普遍遊泳よりも高い値を示している。

図-6(c) に示す普遍遊泳における屈折角 $|\theta|$ の最頻値は流速の増加とともに減少傾向を示しているが、壁面効果遊泳の最頻値は流速の増加に関わらず一定である。これは、流速が増加しても屈折方向が側壁で制限され、側壁に沿って遡上するため最頻値が一定になるためと考えられる。

4. おわりに

本研究は、流速を系統的に変化させて流水中を単独で遊泳するアユの挙動を解析したものである。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 静止流体中だけでなく、流水中におけるアユの挙動も直線と屈折によって表現できる。
- (2) 流速の増加に伴い上流方向の対地速度が増加し、遊泳距離や遊泳速度が増加する。また、壁面効果遊泳時の遊泳距離、遊泳速度は普遍遊泳時よりも高値を示す。
- (3) 普遍遊泳において、流速の増加に伴い正の向流性を有するアユは上流方向に直進しようとするため、屈折角度が減少するが、壁面効果遊泳においては、流速の増加に伴う屈折角度の変化は見られない。

参考文献

- 1) 二瓶泰雄, 福永健一, 小澤喜治: 実際の魚体運動を反映した魚周辺の流動シミュレーション, 土木学会論文集, No.768/II-68, pp.55-66, 2004.
- 2) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 山本晃義, 脇健樹: 静止流体中を単独で遊泳するアユの遊泳特性, 水工学論文集, 第52巻, pp.1195-1200, 2008.
- 3) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 山本晃義, 脇健樹: 静止流体中を2尾で遊泳するアユの遊泳特性, 水工学論文集, 第53巻, pp.1219-1224, 2009.