

流速変化に伴う5尾のアユの遊泳特性に及ぼす影響

九州工業大学大学 学生会員 ○三原和也 白岡敏
九州工業大学大学院 正会員 白杵幸平 福田拓也
九州工業大学大学院 フェロー会員 鬼束幸樹
秋山壽一郎

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。兼廣ら¹⁾は各個体が遊泳速度と遊泳方向を群れの他の個体全てと一致させようと絶えず調整している3尾以上のグループが魚群であると示した。鬼束ら^{2,3)}は流水中において、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1尾および2尾を対象としており、流水中の魚群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、5尾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に示す長さ4.0m、幅 $B=0.8\text{m}$ 、高さ0.2mの長方形断面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 $\overline{B_L}=70\text{mm}$ 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に固定して流速 U_m を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値である体長倍流速 $U_m/\overline{B_L}$ を0~10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、5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30fps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50回、合計250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

鬼束ら^{2,3,4)}はアユが流水中を1尾、2尾および3尾で遊泳する場合、軌跡が直線(branch)と屈折(node)で表現できると述べた。本実験でも同様の傾向が確認されたため、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 T から対地距離 L_G および屈折角度 θ が図-2のように求められる。 θ は上方から観察した時の右回転を正、左回転を負と定義した。対地距離 L_G に流速を加味すると、遊泳距離 L_f が算出される。一方、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、対地速度に流速を加味すると、遊泳速度 V_f 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)}はアユが流水中を1尾あるいは2尾で遊泳する場合、遊泳開始から2branchまでは遊泳開始の履歴があると述べた。また、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ことを指摘した。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倍未満の領域を遊泳する場合を側壁遊泳と定義し、両エリアを普遍領域(universal area)および側壁領域(side-wall area)と呼称する。以下の解析では、普遍遊泳のみを対象とする。

(3) 普遍遊泳時の遊泳特性

図-3(a)~(d)に普遍遊泳における対地距離 L_G 、遊泳距離 L_f 、対地速度 V_G および遊泳速度 V_f を平均体長 $\overline{B_L}$ で除した値の頻度分布を流速別に示す。対地距離 $L_G/\overline{B_L}$ 、遊泳距離 $L_f/\overline{B_L}$ 、対地速度 $V_G/\overline{B_L}$ 、遊泳速度 $V_f/\overline{B_L}$ および屈折角の絶対値 $|\theta|$ 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、次式に示すガンマ分布を採用し、図中に曲線で示した。

$$f(L/\overline{B_L}) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \alpha^\lambda (L/\overline{B_L})^{\lambda-1} e^{-\alpha L/\overline{B_L}} \quad (1)$$

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

係数 α 、 λ は最小二乗法より算出した。

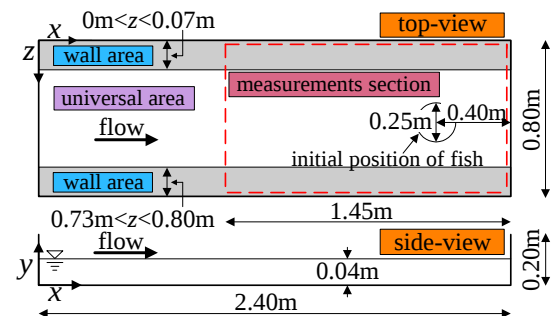


図-1 実験水路の模式図

表-1 実験条件

case name	C0	C1	C3	C5	C10
$\overline{B_L}$ (mm)	70				
h (m)	0.04				
U_m (m/s)	0	0.07	0.21	0.35	0.7
$U_m/\overline{B_L}$ (1/s)	0	1	3	5	10

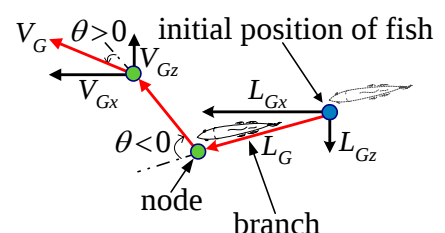


図-2 遊泳軌跡の模式図

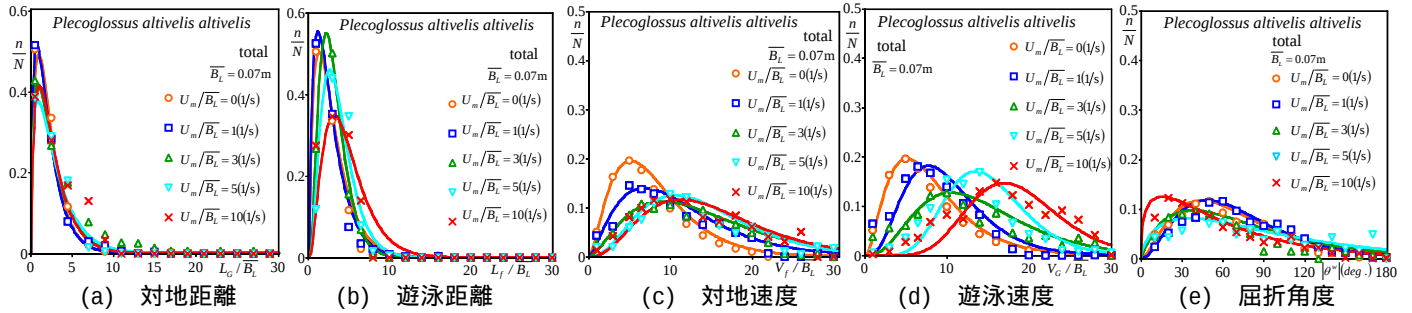


図-3 普遍遊泳時の遊泳特性

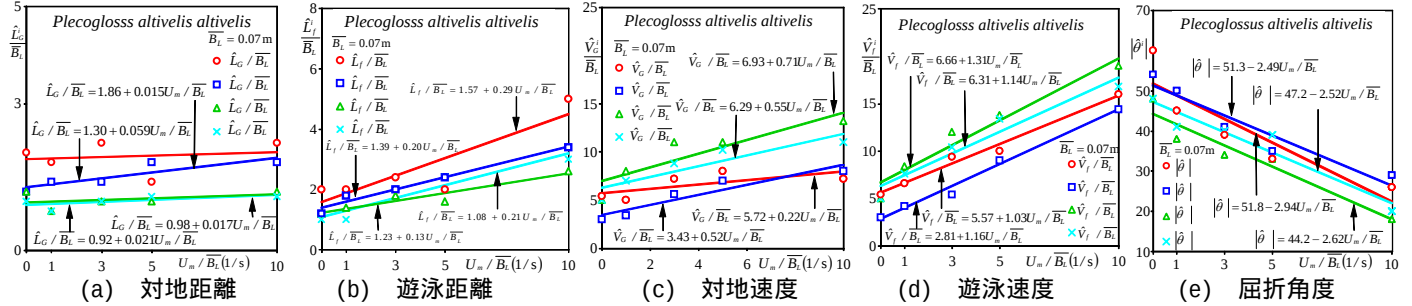


図-4 最頻値と流速変化との関係

図-3(a)～(d)に示す対地距離 L_G 、遊泳距離 L_f 、対地速度 V_G 、遊泳速度 V_f の最頻値は流速の増加と共に増加している。図-3(e)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。

(4) 最頻値と流速変化との関係

図-4(a)～(e)に対地距離 L_G/B_L 、遊泳距離 L_f/B_L 、対地速度 V_G/B_L 、遊泳速度 V_f/B_L 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-4(a)に示した対地距離 L_G/B_L は、流速の増加に対してほとんど変化がない。一方、図-4(b)に示した遊泳距離 L_f/B_L の最頻値は、流速の増加に伴い増加している。従って、アユは流速が変化しても対地距離を一定に保とうとするため、流速の増加と共に遊泳距離が増加すると判断される。また、対地距離 L_G/B_L 、遊泳距離 L_f/B_L は尾数の増加に伴い最頻値の減少が認められる。これらは、尾数の増加に伴い成群力が増すため、最寄りの他個体から離れすぎると個体間距離を縮めようと屈折するためと考えられる。

図-4(c)、(d)に示す対地速度 V_G/B_L 、遊泳速度 V_f/B_L の最頻値は流速の増加と共に増加傾向にあり、尾数の増加に伴い最頻値の増加が認められる。これらは、尾数の増加により成群力が強くなり、遊泳中に他個体から離れた時にアユが他個体に接近しようと対地速度および遊泳速度を増加させたためと考えられる。また、5尾の最頻値が3尾の最頻値に近い値となっている。これは、2尾以下では魚群でなく、3尾と5尾では個体間距離を一定に保とうとする魚群特性が働いたためと考えられる。

図-4(e)に示す屈折角の絶対値 $|\theta|$ の最頻値は流速の増加と共に減少傾向にあり、1尾および2尾アユの値よりも小さい。これは、魚群形状を保つために魚向の変化が緩慢になったためと考えられる。

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5尾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) 流速の増加に伴い対地距離、遊泳距離、対地速度、遊泳速度が増加し、屈折角度は減少する。
- (2) 尾数の増加に伴い対地距離と遊泳距離が減少し、対地速度と遊泳速度が増加する。これは、2尾よりも5尾の方が成群力が強く、遊泳中に他個体から離れた時にアユが他個体に接近しようとするためと考えられる。一方、単独あるいは2尾と比べて5尾で遊泳するアユの屈折角度は減少する。これは、魚群形状を保つために魚向の変化が緩慢になったと考えられる。
- (3) 普遍遊泳時の遊泳特性において、5尾の最頻値が3尾の最頻値に近い値となっている。これは、2尾以下では魚群でなく、3尾と5尾では個体間距離を一定に保とうとする魚群特性が働いたためと考えられる。

参考文献

- 1) 兼廣春之、鈴木誠、松田皎：タイリクバラタナゴの群サイズによる行動特性、日本水産学会誌、第51巻、2号、pp.1977-1982、1985。
- 2) 鬼束幸樹、秋山壽一郎、竹内光、小野篤志：流速変化による単独アユの遊泳特性、水工学論文集、第54巻、pp.1309-1314、2010。
- 3) 鬼束幸樹、秋山壽一郎、竹内光、大西浩史：流速変化による2尾のアユの遊泳特性、水工学論文集、第55巻、pp.1441-1446、2011。
- 4) 鬼束幸樹、秋山壽一郎、三原和也、白岡敏：流速変化によるアユの魚群の遊泳特性、水工学論文集、第56巻、2012(掲載決定)