

流速変化が2尾のアユの遊泳特性に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生員 ○大西浩史, 宇佐川学司
九州工業大学大学院 学生員 竹内光
九州工業大学大学院 正会員 鬼束幸樹
九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山壽一郎

1. はじめに

河川環境の維持, 保全のためにも魚が遡上しやすい魚道や迷入しにくい取水口の設計が望まれており, 魚の挙動を把握することが必要である. 鬼束ら^{1,2)}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示した. このような実験的研究に加え, 数値計算のよる魚の挙動の研究も多く行われている. しかし, 計算に用いられるモデル定数や仮定を検証した実験はほとんど存在しない. そのため流水中の魚の遊泳特性を解明することが求められている. 鬼束ら³⁾は流水中を単独で遊泳するアユの挙動を解析し, 流速の増加に伴い遊泳速度および遊泳距離が増加することを解明した. 群れアユには互いに引き付けあう個体間誘引力が働く. そのため2尾で遊泳するアユの遊泳特性は単独の特性と異なると考えられる. 本研究はアユの平均体長の0~10倍の5段階で流速を変化させて, 2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に固定して体長倍流速を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3m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, 2尾のアユを挿入する. アユを水路内で5~10秒間馴致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2尾とも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.

なお, 先に水路始端に到達した個体をfirst, 続いて到達した個体をsecondと呼称する. 上記の実験を各ケースで2尾ともに100回水路始端に到達するまで行った. 解析に用いたデータは水路始端に到達したものとし, 各ケースで100個の計500個とした. また, 各流速においてfirstおよびsecondアユに有意差はなかったため, 以降ではfirstとsecondアユのデータを合算(total)して解析する.

3. 実験結果および考察

(1) アユの遊泳軌跡のモデル化

本実験においても既往の研究¹⁻³⁾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確認されたため, 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 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¹⁻³⁾はアユが静止流体中を1尾あるいは2尾で遊泳する場合, および流水中を1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, 本実験でも同様な傾向が観察された. 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-3(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 $\overline{B_L}$ で除した値の頻度分布を流速別に示す.

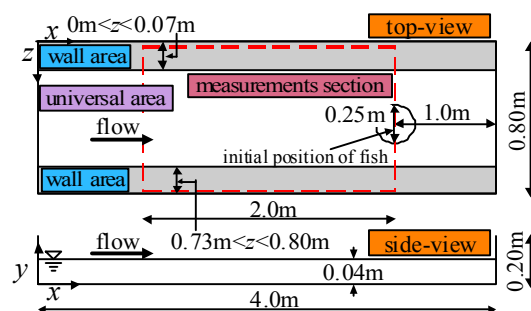


図-1 実験水路の模式図

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	0.70
$U_m / \overline{B_L}$ (1/s)	0	1	3	5	10

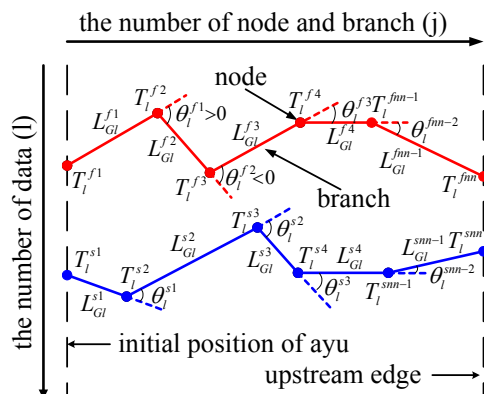


図-2 遊泳軌跡の模式図

図-3(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、次式に示すガンマ分布を採用し、図中に曲線で示した。

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

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

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 は微増している。

図-3(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-3(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-3(c)に示す屈折角の絶対値 $|\theta|$ の最頻値は流速変化による差異はほとんど見られない。

(4) 壁面効果遊泳時の遊泳特性

図-4(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。

壁面効果遊泳時においても普遍遊泳時と同様にガンマ分布を採用し図中に曲線で示した。図-4(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が微増している。図-4(c)に示した屈折角の絶対値 $|\theta|$ は全体的にデータのばらつきが大きく、曲線の裾が高値方向に伸びている。これより壁面効果遊泳は至ってランダムであることが確認できる。

(5) 最頻値と流速変化との関係

図-5(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を示した。

図-5(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、普遍遊泳の方が壁面効果遊泳よりも高い値を示している。図-5(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若干の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伴う明確な変化は確認されない。壁面効果遊泳においてはデータが大きくばらついているため、最頻値が一定に近い値をとったと考えられる。

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2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) 流水中を遊泳する2尾のアユの挙動も単独アユと同様に直線と屈折によって表現できる。
- (2) 流速の増加に伴い遊泳距離、遊泳速度が増加する。また、普遍遊泳時の遊泳距離、遊泳速度は壁面効果遊泳時よりも高値を示す。
- (3) 普遍遊泳と比較して壁面効果遊泳は至ってランダムであることがわかった。これは側壁により屈折方向が制限され、アユ同士が見失いにくくなり個体間距離が保ちやすくなるため、壁面近傍における往復運動が増えたことが原因だと考えられる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 竹内光, 小野篤志: 流速変化が単独アユの遊泳特性に及ぼす影響, 水工学論文集, 第54巻, pp.1309-1314, 2010.

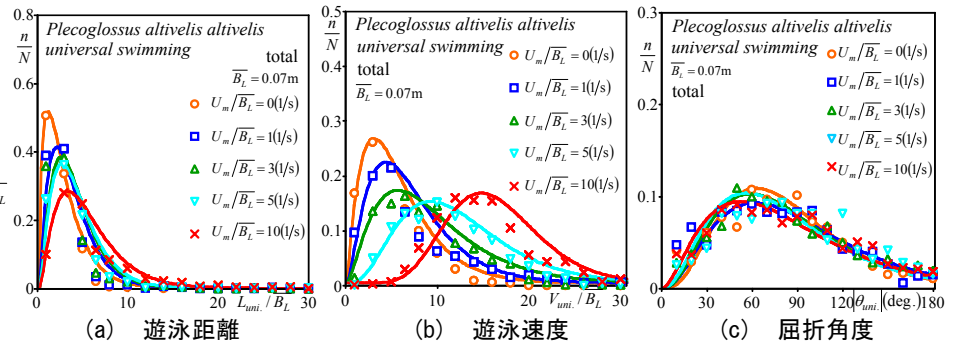


図-3 普遍遊泳における流速変化に伴う遊泳特性の変化

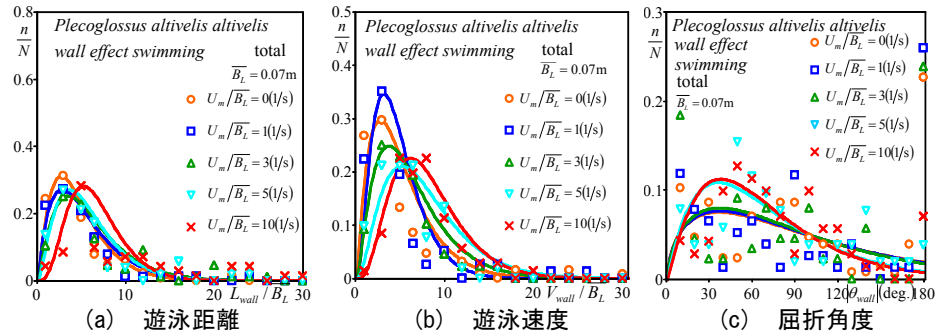


図-4 壁面効果遊泳における流速変化に伴う遊泳特性の変化

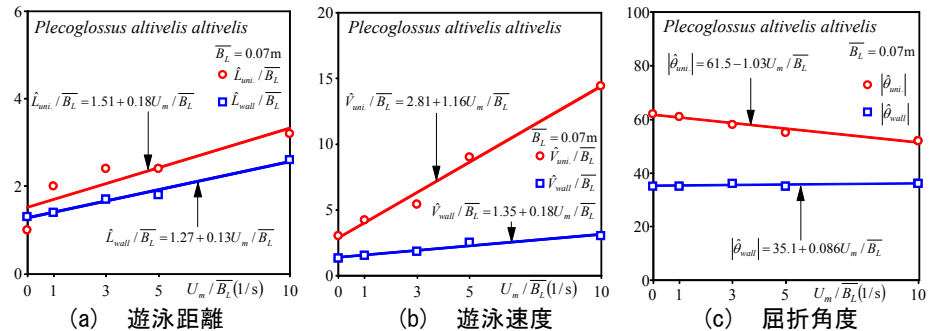


図-5 最頻値と流速変化との関係