

静止流体中を遊泳する魚群アユの遊泳特性

九州工業大学大学院 学生員 ○山本晃義
九州工業大学工学部 学生員 池野 慎
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

多く魚は群れで遡上を行うため魚群の研究が行われているが、魚群における各魚に働く個体間誘引力¹⁾を解明した研究はあまりない。本研究では、静止流体中を3尾もしくは5尾で遊泳するアユの遊泳特性を実験的に解明し、1尾および2尾の既往の研究^{2,3)}と比較を行うことで、個体間に働く誘引力を解明したものである。

2. 実験装置および実験方法

実験には養殖アユ 200 尾を用いた。アユは壁面選好性⁴⁾を持っており、アユと壁面との距離がある程度近いと遊泳特性に影響を与えると推測される。そのため3尾の実験に関しては、円形水槽内に高さ 0.4m の円形ダンボールパネル壁を設置することにより、半径 d を 1.15m, 1.05m, 0.95m, 0.85m および 0.75m の 5 ケースに変化させた。5尾の実験に関しては、3尾実験より水槽半径による普遍遊泳の差異が認められなかったため、半径 1.15m の 1 ケースのみで実験を行った。普遍遊泳の説明は3章(2)に記す。半径 1.15m, 高さ 0.4m のビニール製円形水槽に水深が 0.1m になるように水を挿入して静水させた。円形水槽中心に内径 0.3m, 高さ 0.2m の段ボールパネル製の筒を設置し、この筒内に任意のアユを3尾もしくは5尾挿入する。その後、筒を取り除くと同時に水槽の 3m 上方に設置されたビデオカメラでアユが壁面に到達するまでの様子を撮影する。ただし、5尾実験では初めて1尾が壁面に到達するまでの様子を撮影した。同様の計測を1ケース毎に100回行い、その遊泳軌跡を解析した。

3. 実験結果および考察

(1) アユの遊泳軌跡のモデル化

図-1に5尾の遊泳軌跡をトレースした一例を示す。これより、既往の研究^{2,3)}と同様に遊泳軌跡は直線部(branch)と屈折部(node)で再現できることが分かった。得られた遊泳軌跡を既往の研究^{2,3)}と同様にモデル化したものが、図-2である。遊泳距離を L , 屈折位置を N , 屈折角度を θ , branch 数を n_b , node 数を n_n とした。 θ は右回転を正、左回転を負とした。遊泳開始からの branch および node 番号を右上に添字 j で示す。3尾の実験に関しても同様に再現可能であった。5尾実験、3尾実験の魚はそれぞれ壁面に近い順番、壁面に到達した順番に I, II, III, IV, V および全魚合計を A と名付け、右下の添字で示す。また、データ番号を i で、 i 平均(全魚平均)を $\bar{}$ で、 j 平均(全遊泳平均)を $\overline{}$ で示す。

(2) 普遍遊泳状態の抽出

水槽中央から壁面に向かう様子を観察した結果、遊泳軌跡は既往の研究^{2,3)}と同様に初期遊泳、普遍遊泳および壁面効果遊泳に分離されると判断した。初期遊泳とは筒を抜き取った後にしばらく状況の急変に動揺しながら遊泳する状態、壁面効果遊泳とは壁面の存在を確認すると壁面に近づこうと遊泳する状態、普遍遊泳とは筒および壁面の影響を受けずに遊泳する状態のことである。既往の研究^{2,3)}と同様に初期遊泳を $1 \leq j < 3$ の範囲、壁面効果遊泳を $n_b - 2 < j \leq n_b$ の範囲とした。従って、普遍遊泳は $3 \leq j \leq n_b - 2$ となり、 n_b が4以下の魚は普遍遊泳が存在しないと判断する。普遍遊泳を開始する node 番号を jS , 普遍遊泳を終了する node 番号を jP とする。

(3) 普遍遊泳の距離特性

図-3に5尾実験におけるIの普遍遊泳開始時($j = jS$), 普遍遊泳終了時($j = jP$)および両者の中間時($j = \text{int}((jS + jP)/2)$)の遊泳距離のヒストグラムを示す。普遍遊泳での遊泳距離の全魚平均値は次式となる。

$$\text{普遍遊泳の全魚平均遊泳距離} = \frac{1}{jP - jS} \sum_{j=jS}^{jP} \overline{L_i^j / B_L} \quad (1)$$

各 j node における全魚平均遊泳距離 $\overline{L_i^j / B_L}$ を点線で、普遍遊泳区間における全魚遊泳距離を実線で示している。I 以外の魚も低値で高頻度を示し、高値方向に裾をもつ形状を示した。これは3尾実験の各魚および各ケースにおいても同様であった。つまり、普遍遊泳領域の遊泳距離は今回用いた水槽の半径および node 数に依存しないことおよび各魚の間に差異はないことを示唆する。そこで、この分布形状を再現するために、ガンマ分布を採用した。

$$f(L_i^j / B_L) = \frac{1}{\Gamma(\lambda_L)} \alpha_L^{\lambda_L} (L_i^j / B_L)^{\lambda_L - 1} e^{-\alpha_L L_i^j / B_L} \quad (2)$$

$$\Gamma(\lambda_L) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\lambda_L - 1} dx \quad (3)$$

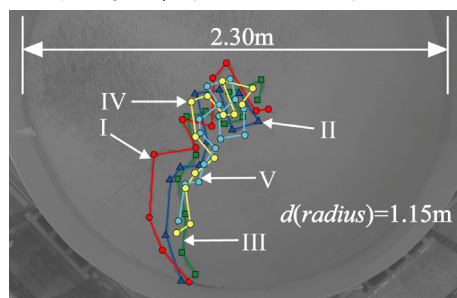


図-1 5尾遊泳軌跡

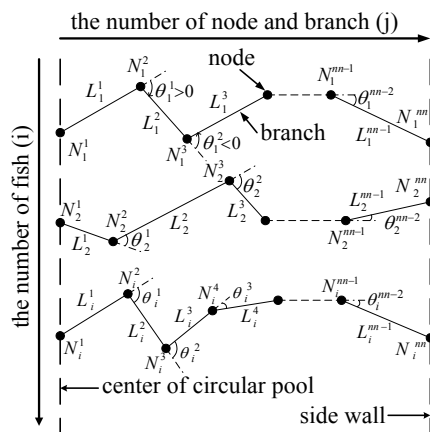
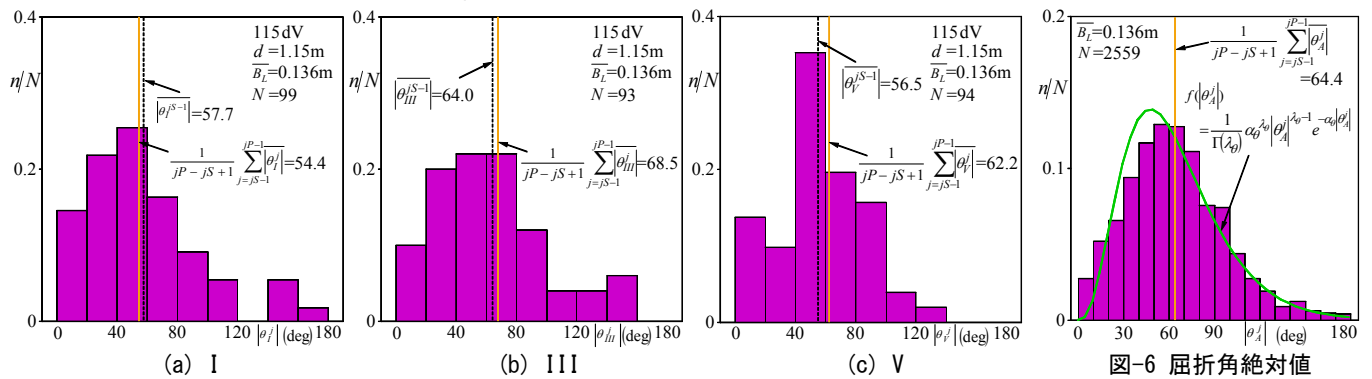
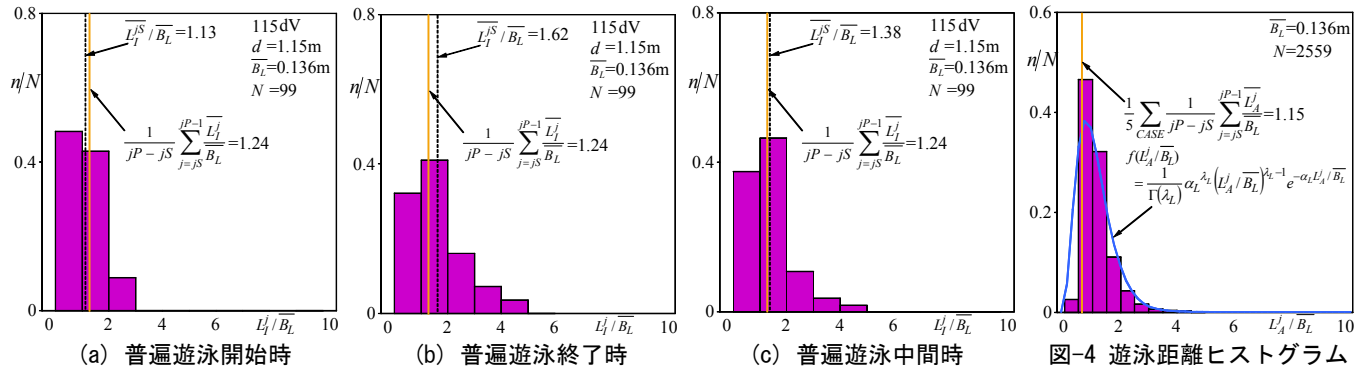
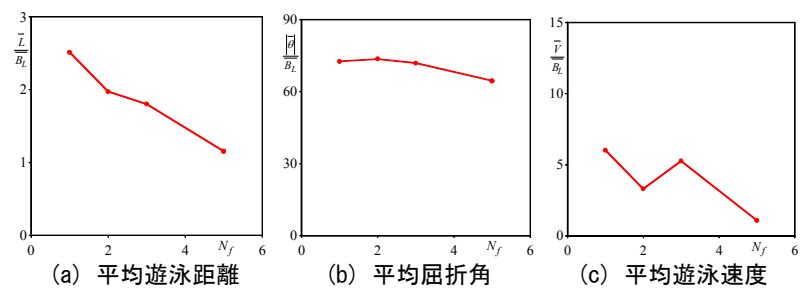


図-2 模式図



5 尾実験の普遍遊泳における 5 尾合算の遊泳距離ヒストグラムを図-4 に示すと共に、実測値が式(2), (3)に最もフィットするように係数 α , λ を算出し、図中に曲線で示した。ガンマ分布によって普遍遊泳における魚の遊泳距離が再現されている。なお、平均値 λ/α および分散 λ/α^2 は 5 尾実験がそれぞれ 1.15 および 0.35 であり、3 尾実験がそれぞれ 1.80 および 1.41 であった。



(4) 普遍遊泳の屈折特性

図-5 に 5 尾実験における I, III および V の普遍遊泳中間時の屈折角絶対値のヒストグラムを示す。普遍遊泳での屈折角絶対値の全魚平均値は次式となる。

$$\text{普遍遊泳の全魚平均屈折角} = \frac{1}{jP - jS + 1} \sum_{j=jS}^{jP} |\theta_j^S| \quad (4)$$

各 jnode における屈折角絶対値の node 平均値 $|\theta_j^S|$ を点線で、普遍遊泳区間における全魚平均屈折角を実線で示している。これらの図面は遊泳距離と同様に高値方向に裾をもつ形状を示しており、普遍遊泳区間において差異は認められない。これは 3 尾実験の各魚および各ケースにおいても同様であった。そこで、5 尾実験の普遍遊泳における 5 尾合算の屈折角絶対値ヒストグラムを図-6 に示すと共に、図中にガンマ分布を曲線で示した。平均値 λ/α および分散 λ/α^2 は 5 尾実験がそれぞれ 64.4 および 1028 であり、3 尾実験がそれぞれ 71.8 および 1189 であった。

(5) 尾数変化による遊泳距離、屈折角および遊泳速度の変化

既往の研究^{2,3)}と本実験により得られた尾数 N_f に伴う普遍遊泳区間における平均遊泳距離、平均屈折角および平均遊泳速度を図-7 に示す。これより平均遊泳距離および平均遊泳速度は尾数の増加に伴い減少している。これは各魚に働く個体間誘引力が尾数の増加に伴い増加したためと考えられる。また、平均屈折角は尾数の増加に関わらずほぼ一定であることが示された。

4. おわりに

本研究では、アユの尾数の変化に伴う遊泳特性の変化を解明した。今回得られた知見は、数値計算により魚群の遊泳軌道を予測可能とする遊泳挙動解析に貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 三宮信夫, 松田皎: 魚群の行動のモデリング, 計測と制御, 第19巻, 7号, pp.704-707, 1980.
- 2) 鬼束, 秋山, 山本, 脇: 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, 秋山, 山本, 脇: 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, 2009(掲載予定).
- 4) 中村俊六: 魚道のはなし, 山海堂, 1995.