

流速変化が魚群内におけるアユの遊泳特性に与える影響

九州工業大学工学部 学生会員 ○高山輝貴
 九州工業大学大学院 学生会員 関強志
 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

近年、魚の生息域や行動特性を考慮した河川構造物の設計が望まれているため、魚の挙動を把握することが必要である¹⁾。

アユには追従性があり、河川内では魚群で行動する。そのため、魚群内でのアユの挙動を解明する必要がある。そこで本研究では、アユの尾数を5尾とし、体長倍流速を2~10の5段階に系統的に変化させて魚群挙動を解明した。

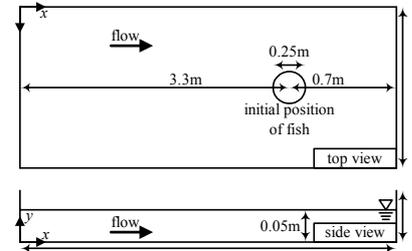


図-1 実験装置模式図

表-1 実験条件

\bar{B}_L (m)	0.07				
h (m)	0.05				
N	5				
U_m / \bar{B}_L (1/s)	2	4	6	8	10

2. 実験装置および実験条件

図-1に示す長さ4.0m、幅0.8m、高さ0.2mの底面が白色で側壁が透明な水路を実験に用いた。流下方向にx軸、鉛直方向にy軸、横断方向にz軸をとる。実験条件は表-1に示すように、水深を0.05mに、用いるアユの尾数を5尾に固定し、体長倍流速を2~10の範囲で5段階に設定した。アユの平均体長 \bar{B}_L は70mmである。水路始端から3.3m下流の水路中央に直径0.25mの円形金網を設置し、5尾のアユを挿入する。アユを挿入してから5~10秒馴致させ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。全てのアユが水路始端に到達、または全てのアユが水路終端から流出した時に撮影を終了した。ただし、撮影開始から1分以上経過しても水路内に魚群が定位している場合は1分で撮影を中止した。上記の実験を各ケースで100回、合計500回行い、計測後、全てのアユの遊泳位置を0.2sごとに抽出した。ただし、金網を取り上げた直後に1尾以上が水路終端から流出した場合は、魚が意図的に降下したのではなく、金網を除去した影響で降下したと考え、解析から除外した。

3. 実験結果および考察

(1) 魚群挙動の分類

観察の結果、魚群の挙動は図-2に示す5つのタイプに分類されることが分かった。

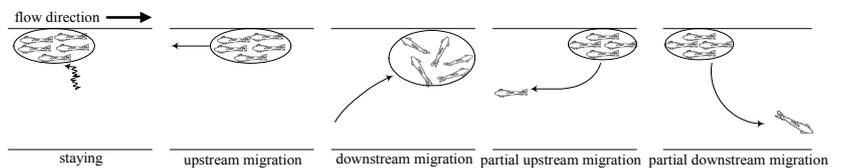


図-2 魚群の遊泳挙動タイプ

a) 魚群停滞タイプ (staying type)

流水中において初期尾数を維持した状態で魚群を形成して遊泳しているが、対地速度がほぼゼロの状態では停滞しているタイプ。

b) 魚群遡上タイプ (upstream migration type)

初期尾数を維持した状態で魚群を形成して遊泳し、水路始端まで遡上するタイプ。

c) 魚群降下タイプ (downstream migration type)

初期尾数を維持した状態で魚群を形成して遊泳し、水路終端から流出するタイプ。

d) 部分遡上タイプ (partial upstream migration type)

魚群を形成して遊泳し、対地速度がほぼゼロの状態では長時間停滞しているが、一部の魚だけが魚群から抜けだし、単独で水路始端まで遡上するタイプ。

e) 部分降下タイプ (partial downstream migration type)

魚群を形成して遊泳し、対地速度がほぼゼロの状態では長時間停滞しているが、一部の魚だけが魚群から抜けだし、単独で水路終端から流出するタイプ。

図-3に各実験ケースにおける各タイプ数 n が有効実験数 n_s に占める割合と尾数

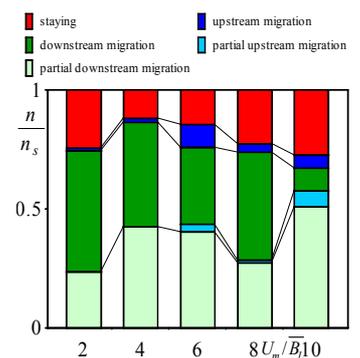


図-3 各挙動タイプの割合

N との関係を示す。魚群遡上率、部分遡上率は流速の増加に伴い若干増加している。これらはアユに走流性があるためと考えられる。また魚群降下率は減少しており、魚群停滞率および部分降下率は増加している。これらの理由については後に考察する。

(2) 各魚群タイプの形状

初期尾数を維持した状態の魚群は、魚群停滞、魚群遡上および魚群降下タイプなので、ここではこれら3つのタイプの魚群挙動を解析する。

石川²⁾の定義した魚群半径を2次元に拡張すると次式となる。

$$R_x \equiv \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{x_{fi} - G_x\}^2}{N}} \quad (1.a)$$

$$R_z \equiv \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \{z_{fi} - G_z\}^2}{N}} \quad (1.b)$$

ここに、 R_x 、 G_x 、 x_{fi} はそれぞれ x 方向の魚群半径、魚群重心の x 座標、任意 i の魚の x 座標であり、 z についても同様である。図-4(a)～(c)に平均値 \bar{R}_x 、 \bar{R}_z を平均体長 \bar{B}_L で除した値および両者の比 \bar{R}_x/\bar{R}_z と体長倍流速 U_m/\bar{B}_L との関係を示す。図-4(a)より \bar{R}_x/\bar{B}_L は全タイプで流速の増加に伴い増加している。一方、図-4(b)より \bar{R}_z/\bar{B}_L は増減の傾向は確認できない。したがって、図-4(c)では各タイプのいずれも \bar{R}_x/\bar{R}_z が増加傾向にある。タイプ別に見ると、魚群遡上タイプは x 方向に、魚群降下タイプは z 方向に大きくなり、魚群停滞タイプは両者の中間的な魚群形状を示すことが確認できる。

石川²⁾の定義に従い 0.2s ごとに各魚の間隔を算出してその平均値を瞬間個体間距離 \tilde{D}_f とした。従って、5尾の場合は 10 距離の平均となる。各ケースにおいて時間平均値 \bar{D}_f を算出し、さらに、平均値 \bar{D}_f および標準偏差 D'_f を算出した。図-5 に 3 タイプの \bar{D}_f/\bar{B}_L および D'_f/\bar{B}_L を示す。図-5(a)より、各タイプとも流速の増加に伴い個体間距離が増加する傾向を確認できる。この結果は、図-4(a)、(b)で流速の増加に伴い魚群半径は x 方向に大きくなり、 z 方向は増減しないことから確認できる。また、平均値 \bar{D}_f は魚群遡上タイプが他のタイプよりも大きいことが確認できる。これは、魚群形状が流下方向に細長いことが原因である。一方、図-5(b)より個体間距離の標準偏差は各タイプとも流速の増加に伴い増加傾向が確認できる。これについても後に考察する。また、標準偏差 D'_f は魚群遡上タイプが他のタイプよりも大きいことが確認できる。これは、遡上時に魚体の相対位置がぶれるほど激しく尾鰭を揺らすことが原因と考えられる。

(3) 魚群の行動特性

魚群重心から左岸および右岸の近い方の壁面までの瞬間距離を \tilde{L}_w とし、各ケースにおいて時間平均 L_w を算出した。図-6 に平均値 \bar{L}_w を平均体長 \bar{B}_L で除した値と体長倍流速 U_m/\bar{B}_L との関係を示す。図-6 より流速の増加に伴い壁面に近づくことが分かる。これは、アユが水流に流されることを避けるために流速の遅い壁面に近づいた結果と考えられる。また、壁面に近づくことと乱れ強度が大きくなるため図-5(b)で流速の増加に伴い個体間距離の標準偏差が大きくなったと考えられる。図-7 に魚群停滞タイプの 1 分間での対地移動距離 L_G の平均値 \bar{L}_G を平均体長 \bar{B}_L で除した値と体長倍流速 U_m/\bar{B}_L との関係を示す。図-7 より流速の増加に伴い移動距離が減少していることが分かる。これは、図-6 より流速が速いほど壁面近傍を选好するので、流速の増加に伴い各魚の z 方向への移動の自由度が減少し、 z 方向への移動が減少するためだと考えられる。図-6、図-7 より遅い流速においてアユは流される危険性が低く水路内を動き回ることによって z 方向の移動距離も増加すると考えられる。この際に流下方向に対して各魚の魚体が斜めになる。そのため魚体側面に水流の影響を大きく受け、流下方向へ移動するので遅い流速で魚群降下タイプが増加したと考えられる。逆に、流速が速くなるほど、アユは水路を動き回りにくくなるため魚群停滞タイプが増加すると考えられる。また、一部のアユが 1 分間流速に耐えきれず流出するケースが増加するため、部分降下タイプも増加したと考えられる。

4. おわりに

本研究は、開水路流においてアユの尾数を 5 で固定し、体長倍流速を 2～10 の範囲で 5 段階に設定し、魚群の行動特性を解明したものである。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 魚群の挙動は、①魚群で停滞するタイプ、②魚群で遡上するタイプ、③魚群で降下するタイプ、④魚群で停滞するが一部の魚が遡上するタイプ、⑤魚群で停滞するが一部の魚が降下するタイプ、の 5 つに分類される。
- (2) 流速が増加すると魚群降下タイプは減少するが部分降下タイプは増加することが確認された。これは、流速が増加すると水流に流されることを避け、 z 方向への対地移動距離が減少するため魚群での流出は減少するが、一部のアユが流れに耐えきれず流出するために生じたものと考えられる。

参考文献

- 1) 高嶋信博, 中村俊六: 魚道内のアユの挙動に関する実験的研究, 第28回水理講演会論文集, pp.353-358, 1984.
- 2) 石川雅昭: ウグイの魚群行動特性に関する実験的研究, 河川技術論文集, 第 6 巻, pp.101-106, 2000.

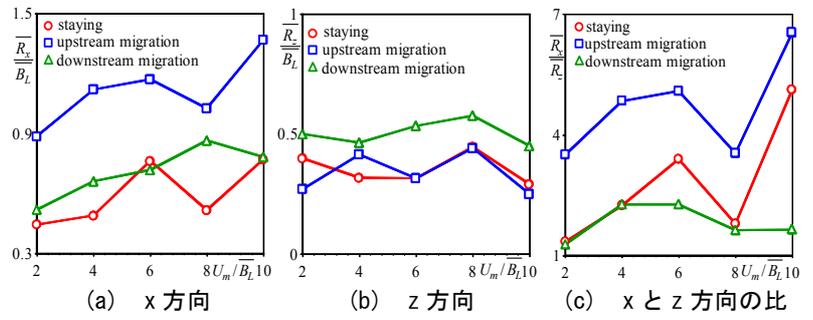


図-4 魚群半径

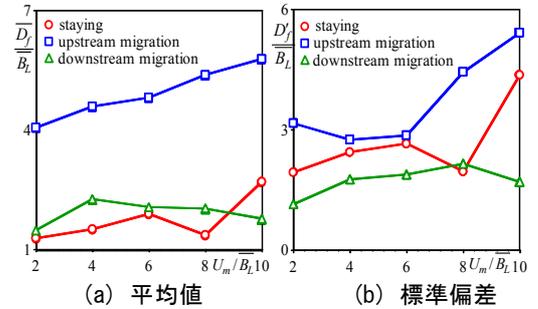


図-5 個体間距離

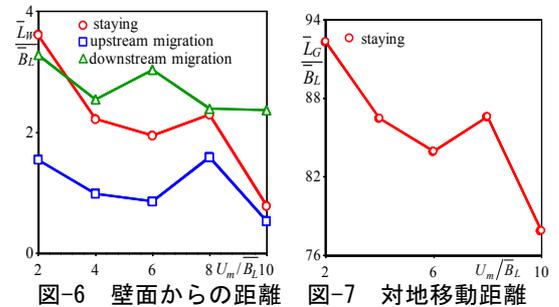


図-6 壁面からの距離

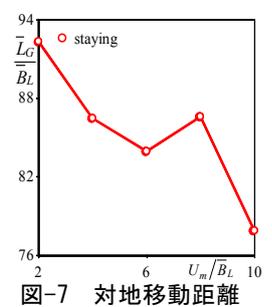


図-7 対地移動距離