

魚道隔壁に設置された潜孔内の魚の行動特性

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	学生会員	森悠輔
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

魚類等の遡上および降下を助けるために一般に魚道が設置される。日本の既設魚道の多くは階段式魚道である¹⁾。階段式魚道の隔壁には、切欠きおよび潜孔が設けられる。これまで、潜孔内での遡上特性を検討した研究は、アイスハーバー型魚道を対象として数例行われているだけである。本研究では、階段式魚道の隔壁に設置した潜孔内の流速を段階的に変化させ、潜孔内流速の変化が遡上および降下特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験装置および実験条件

プール長 $L_x=0.9\text{m}$ 、プール幅 $B=0.8\text{m}$ の3つのプールを隔壁厚 $\Delta x=0.2\text{m}$ 、落差 $\Delta y=0.15\text{m}$ で連結させた階段式魚道を実験に用いた。また、上流から2番目の隔壁において、第1プール底面および右岸側壁に接する水平な潜孔を設置した。潜孔底面から鉛直上向きに y_0 軸を、潜孔右岸壁から横断方向に z_0 軸をとる。平均体長 \bar{B}_L がそれぞれ約83mm、約78mmであるオイカワ、カワムツを実験に用いた。両魚種の平均体長の約80mmに対して3倍、7倍、10倍、13倍の潜孔内流速を設定した。表-1に実験条件を示す。ここで U_m は潜孔内断面平均流速である。側壁、上部に設置したビデオカメラおよび潜孔出口より0.7m上流側に設置した水中カメラを用いて魚の挙動を60分間撮影した。潜孔入口、出口において、 y_0 、 z_0 軸方向にそれぞれ3のメッシュを取った合計9点の流速3成分を、3次元電磁流速計を用いて0.05s間隔で25.6s計測した。

3. 実験結果および考察

(1) 潜孔内流速が魚の遡上および降下に及ぼす影響

オイカワの遡上、降下は単体のものと連続的なものが確認された。連続的な遡上、降下は長くても6秒以内であった。図-1(a)にC3におけるオイカワの6秒ごとの遡上数 n_6 、降下数 n_{6d} の時間変化を示す。潜孔内流速の低下に伴い、遡上、降下数は増加している。また6秒間に2尾以上が遡上、降下する頻度も増加しており、C3において最大値はそれぞれ11尾、9尾にも達する。アユには周囲のアユが遡上を開始するとつられて遡上を開始する追従性があることを中村¹⁾は指摘した。本研究では潜孔内を遡上、降下するオイカワに追従性があることが明らかとなった。

図-1(b)にカワムツに関して図-1(a)と同様な図を示す。流速の変化に伴う遡上、降下数の顕著な変化は観察されない。また、6秒間に2尾以上が遡上、降下する例が全ケースでほとんどない。そのため、流速に関わらずカワムツには追従性が無いと判断される。

追従性を詳細に検討するため、潜孔入口にある魚が進入して1秒以内に別の魚が潜孔入口に進入した場合を連続遡上と定義する。連続降下は出口における同様の定義とした。図-2(a)に U_m とオイカワの遡上数 n 、連続遡上数 n_1 および連続遡上率 n_1/n との関係を示す。流速の低下に伴いオイカワの遡上数、連続遡上数および連続遡上率は増加している。C3ではそれらの数が最大となり、連続遡上率 n_1/n は0.8以上となる。これは、遡上したオイカワの8割以上は追従性により誘発されて遡上したことを意味する。降下についても遡上特性と類似した結果となった。図-2(b)にカワムツに関して図-2(a)と同様な図を示す。遡上、降下数に潜孔内流速の変化に伴う顕著な

表-1 実験条件

U_m/\bar{B}_L	13	10	7	3
case name	C13	C10	C7	C3

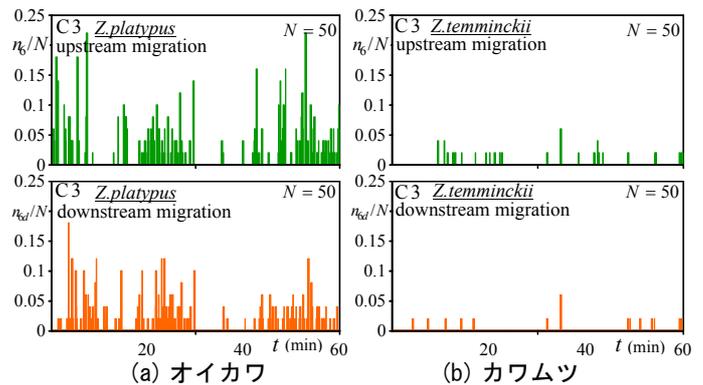


図-1 遡上(上段)・降下(下段)の時系列

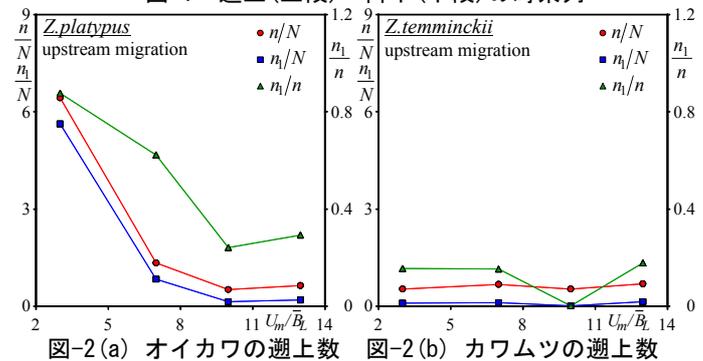


図-2(a) オイカワの遡上数 図-2(b) カワムツの遡上数

変化は認められない。また、図-2(b)より連続遡上率 n_1/n は0.17程度の一定値であり、オイカワの値に比べ低いことが理解できる。降下についても同様な結果となった。

(2) 潜孔内における魚の遡上経路

図-3(a)にC3における遡上するオイカワの潜孔入口、出口の通過位置を示す。潜孔入口の通過位置はC13, C10では潜孔中心部付近に集中するが, C7, C3では底面付近にも分布する。一方, 潜孔出口の通過位置は全ケースで潜孔中心部付近に集中している。図-3(b)にカワムツに関して図-3(a)と同様な図を示す。潜孔入口, 出口の通過位置は全てのケースで半水深から底面に集中している。なお, 泉ら²⁾はアイスハーバー型魚道に設置された潜孔内を遡上するアユおよびウグイの約60%は潜孔底面隅角部を通過することを示している。

(3) 潜孔内における魚の遊泳速度

図-4に U_m とオイカワの遡上時遊泳速度 v_f との関係を示し, 平均値を実線で示した。図-4より U_m の増加に伴い, 遡上時遊泳速度の線形的な増加が確認でき, その最大値は約27に達している。従来, 魚の突進速度は体長の約10倍が定説¹⁾であった。近年, オイカワの突進速度はおおよそ体長の20~30倍という結果が得られており³⁾, 本研究結果は妥当と考えられる。図-5にカワムツに関して図-4と同様な図を示す。オイカワの結果と定性的にも定量的にも類似した結果となった。図-6に U_m とオイカワの降下時遊泳速度 v_{fd} との関係を示す。図中, 白抜きおよび塗潰しプロットはそれぞれ魚向が下流および上流向きを表し, 両者の平均値を点線および一点破線で示した。図-6より下流向き遊泳速度の絶対値は流速の増加に伴い増加するものの, C13においても体長の10倍程度であり, 最大遊泳速度を用いずに流れの移流を利用していると判断される。一方, 上流向き遊泳速度は流速変化による影響は見られず, その絶対値は体長の約0~3倍を示す。これは, 巡航速度程度またはそれ以下で遊泳しながら流れに押し流されていることを意味する。図-7にカワムツに関して図-6と同様な図を示す。図-7より, 下流向きカワムツの遊泳速度の絶対値は流速に影響を受けず, 3以下と確認される。図-6よりオイカワの絶対値がC13で約10であることを考慮すると, カワムツはオイカワと異なり流れに乗って降下すると判断される。上流向きで降下するカワムツの v_{fd}/B_L の絶対値についても約3以下となっており, 流れに乗って降下すると判断される。

4. おわりに

本研究では隔壁に設置された潜孔内流速を段階的に変化させ, オイカワ, カワムツの遡上および降下特性と水理条件との関係を解析した。その結果, 以下の知見が得られた。

- (1) オイカワには潜孔通過時において追従性があること, およびその性質が流速の低下に伴い顕著になることを解明した。一方, 流速に関わらずカワムツに追従性が無いことが明らかとなった。
- (2) オイカワは高流速では潜孔の中心部を比較的直線的に, 低流速では底面付近から若干上昇しながら遊泳すること, カワムツは流速に関わらず半水深以下を直線的に遊泳することが明らかとなった。なお, 泉ら²⁾はアイスハーバー型魚道の潜孔内を通過するアユ, ウグイの60%は潜孔底面隅角部を利用することを明らかにしている。
- (3) 下流を向いて降下する際, オイカワには体長の10倍程度の遊泳速度で遊泳するものもいるが, カワムツはほとんど遊泳せずに流れに乗って移流する。一方, 上流を向いて降下する場合は, 両魚種共にほとんど遊泳をせず, 流れに乗って移流している。

参考文献

- 1) 中村俊六：魚道のはなし, 山海堂, 1995.
- 2) 泉完, 高屋大介, 工藤明, 東信行：水工学論文集, 第47巻, pp.763-768, 2003.
- 3) 鬼東幸樹, 秋山壽一郎, 飯國洋平, 山本晃義：水工学論文集, 第51巻, pp.1267-1272, 2007.

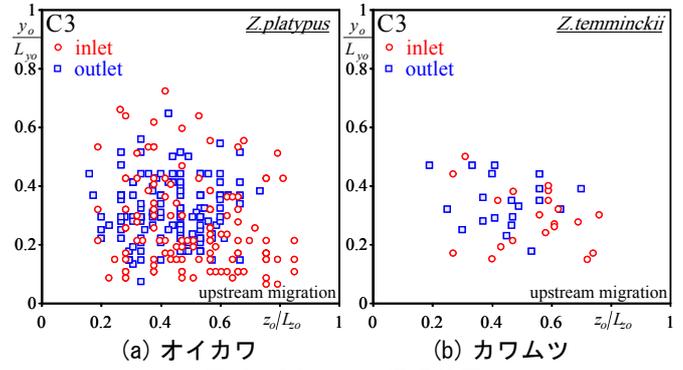


図-3 遡上時潜孔通過位置

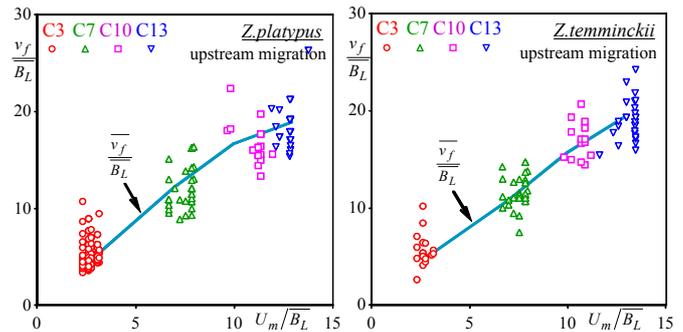


図-4 オイカワの遡上遊泳速度 図-5 カワムツの遡上遊泳速度

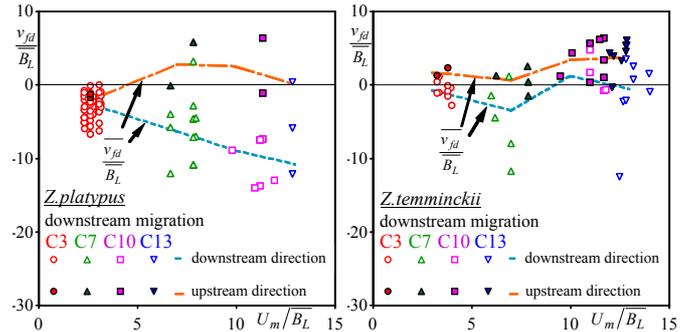


図-6 オイカワの降下遊泳速度 図-7 カワムツの降下遊泳速度