

## 河川魚類の遊泳能力の算定と凹凸部における個体群行動

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○桑原 真吾・稲川 啓太

同上

正会員 和田 清

水圏域環境研究会 寺町 茂

## 1. はじめに

近年、洪水時の避難場所や幼生・稚魚の生育場としての効果を期待して、河川や農業用水路の岸部にワンドなどの凹凸部を人工的に設けることが行われている。しかし、これらの効果や設置間隔の指針などについては十分な検討がされていないのが現状である。本研究では、河川や農業用水路に生息する一般的な魚類の遊泳能力を定量的に評価すること、その際に測定した遊泳能力曲線を用いて農業用水路における避難場所の設置間隔について検討すること、その避難場所内における微小な凹凸部の大きさが個体群行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的として室内実験および現地調査を行った。

## 2. 魚類の遊泳能力の測定実験

## (1) 実験方法

射流から常流へと変化した場所ごとに流速が異なるアクリル製2次元水路(幅3cm×高さ25cm×長さ2m)において、一定の流量(1.13~1.15 L/s)を流し、対象魚類を30分間遊泳させた。魚類の行動をビデオカメラにより撮影し、動画計測ソフトウェア(Move-Tr/2D)により魚類の位置座標の時系列データを求めた。また、水路の詳細な流速分布は、トレーサー粒子を流してビデオカメラで撮影し、同ソフトウェアによって単位時間当たりの変位量として流速値に換算することにより求めた。この解析データをもとに、位置座標と流速を対応させ、遊泳速度と時間の時系列から魚類の遊泳能力を評価する。なお本簡易手法は、魚類が遊泳速度を選択できる点において、流速分布が一様なパーソナルタンクを用いた強制的な遊泳方法とは異なっている。

## (2) 実験結果

魚類15種類23尾について実験・解析を行った。得られた遊泳速度の時系列データから、最大遊泳速度とその持続時間に着目して、並び替えをすることにより得られる簡易的な遊泳曲線を図-1に示す。同図から、遊泳能力は魚種によって異なり、近縁種であっても最大遊泳速度に優れた種や全体的に持続時間が長い種が存在する。また、体長(Br)から算定される突進・巡航速度よりも遊泳能力がかなり小さな種も存在する。

遊泳曲線を積分した値は、遊泳に使用したエネルギーの量に比例していると考えられ遊泳能力を評価する目安となる。また、曲線により描かれる図形の図心を求めることで、遊泳速度と遊泳持続時間の代表値とする図心の位置は遊泳能力曲線の形状を表し、魚種ごとの遊泳曲線の特性を示すことができると考えられる。そこで、積分値、図心(TG・UG)、平均遊泳速度 $\bar{U}$ 、遊泳持続時間、体重などを変数としてクラスター分析によるグルーピングを行った。その結果、図-2のように魚種・生息環境によって分類され、遊泳能力は個体差よりも魚種差の影響を大きく受けていることが示された。魚種間の差には積分値が大きく影響を与え、同一魚種であってもエネルギーをどのように使うかによって、個体差が発生するものと考えられる。

## 3. ワンドの設置間隔と遊泳能力

本巣市屋井地区の農業用排水路は、水路幅1.6mの直線水路であり、微小ワンドが間隔30mで配置されている。平成17年8月6日~12日にこの水路を対象として魚類採捕調査や流速・水深・水温・ワンド間隔の測定などを行った。水路直線部の流速は34~50 cm/s程度であり、カワムツB・オイカワ・ヤリタナゴ・アブラハヤなどの魚種が確認された。

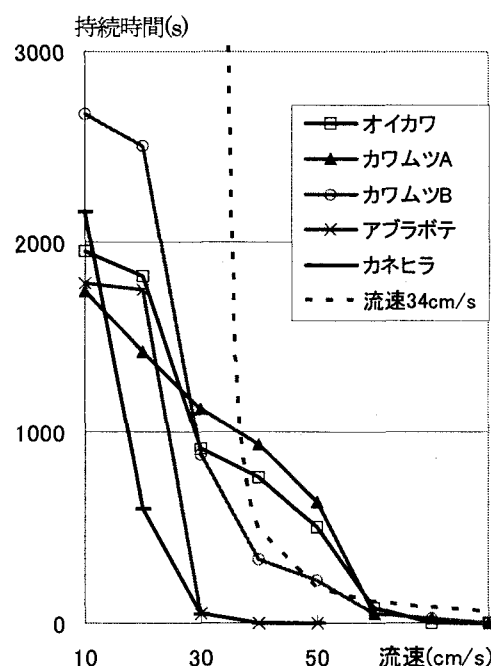


図-1 測定した遊泳能力曲線

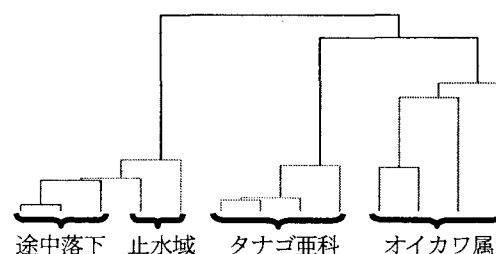


図-2 クラスター分析による分類

また、同水路にて同年 11 月 21 日にタグ付け調査(オイカワとヤリタナゴ各 50 尾にリボンタグ)を実施し、水路に放流してその後の定位する位置を目視観測により把握した。放流から 2 分経過後、放流地点にとどまったオイカワのうち微小ワンドの内部に定位したものは全体の 9% (46 尾中 4 尾) であり、残りの 91% は木杭の後流部や勾配が変化する上流端などに定位した。ヤリタナゴは、全体の 45% (47 尾中 21 尾) が微小ワンドの内部に定位し、人の接近などにより、遊泳している個体の約 40% が微小ワンドに逃げ込んだ。

凹凸部が魚類の生息場として機能するためには、そこに生息する魚類が平水時に下流側のワンドから上流側のワンドまで遊泳することが必要である。そこで、測定した水路の流速と魚類の遊泳能力測定実験で測定した遊泳曲線を用いて、水路の流速と遊泳速度との相対速度を算出し、現在のワンド間隔 (30m) での移動に要する時間と到達できる魚種を把握した。

図-1 の破線は、水路の流速を実測値より 34cm/s と設定し、上流側へ 30m 遡上する場合の各遊泳速度での所要時間を示した線である。この線を超える、すなわち遡上が可能なものは 11 種 18 尾のうち 3 尾のみであった。特にタナゴ類は大きい流速での遊泳持続時間が短いため、平水時には遡上できずにその場所にとどまるか、出水時には流下することになる。このような考え方から、ワンド配置間隔を検討する際の目安が得られる。

#### 4. 凹凸部における個体群行動

##### (1) 実験方法

小型回流水槽 (パーソナルタンク) を用いて魚類個体群の実験を行った。観察部 (50cm×20cm×30cm) には、凹凸部内での個体群の形成が可能であることを基準として 4 パターンの休息部を設定した。水深は最狭部で 20cm、流速は最狭部において 60cm/s と設定しインバーターで制御した。この流速の値は、魚類の遊泳能力測定実験の結果より、数分程度の遊泳が可能であり凹凸部を避難場所として使用する頻度を多くする値とした。観察部の直下には鏡を設置し、3 次元的な個体群の移動を測定できるようにした。対象個体群は、オイカワ (体長  $8.3 \pm 0.9$ cm) 5 尾を 1 組とし、実験装置に対象魚を放流後 1 時間程度馴致し、行動を観察した。解析手順は以下のようなものである。デジタルビデオカメラにより約 30 分間撮影し、その映像をパソコンに avi 形式 (解像度 720×480、DV-Type2) で取り込んだ。取り込んだ動画を静止画に変換し、2 次元動画計測ソフトウェア (Move-Tr/2D) を用いて魚類の時間ごとの 3 次元位置座標を得た。

##### (2) 実験結果

流速を巡航速度の 1.5~2 倍程度に設定しているため、個体群は下流部にとどまる傾向にある。さらに、個体群による反発力よりも誘引力の方が大きく、個体群を離れても再び最下流部に戻ることが多いことが観察されている。図-3 に凹凸部のアスペクト比 2:1 パターン、図-4 にアスペクト比 1:1 パターンにおいてオイカワ 1 個体について得られた XY 方向 (平面 2 次元) の位置座標の分布を示す。

2:1 では最下流部の凹凸部内とその周辺、1:1 では下流部の側面付近において個体群を形成している。2:1 では凹凸部内で 5 尾の個体群全体が収まるスペースが確保されているが、1:1 ではそれが難しいために、個体群の位置が異なるものと考えられる。

得られた 3 次元位置座標の時系列データについてリアプノフ解析を適用すると、最大リアプノフ指数は 正の値となった。したがって、個体群の実験で得られた遊泳行動はランダム行動ではなく、カオス性を有していることが確認された。

#### 5. おわりに

以上述べたように、本実験結果より、オイカワやタナゴ等の魚種について簡易的に遊泳曲線を算定した。この結果を用いて農業用水路における微小ワンドの設置間隔を検討する際の目安が得られた。一方、凹凸部の休息部のアスペクト比と個体群行動の関係について定量的に評価し、遊泳行動が単なるランダム行動ではなく、ある秩序を伴ったカオス的な性質を伴った一面が示唆された。今後、個体群行動の時系列解析や複雑性について評価していく予定である。

参考文献: 1) 塚本勝巳: 魚から見た魚道設計, 砂防学会論文集 No.2, pp.5~21, 1991.

2) 野口和博: 魚の運動軌跡のカオス・フラクタル解析, 生体機能・情報処理シンポジウム 2005

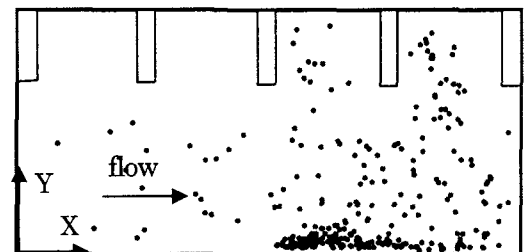


図-3 アスペクト比 1:1 での XY 座標分布

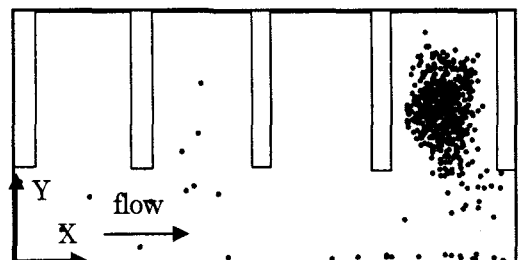


図-4 アスペクト比 2:1 での XY 座標分布