

個体ベース魚群行動モデルによるウグイの遡上降河行動

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○布施 龍一
木更津工業高等専門学校 正会員 石川 雅朗

1. はじめに

堰やダムなどの河川横断構造物を建設する場合に、魚の遡上降河経路を確保するため魚道を設置する。魚道の客観的な設計方法は確立されていない。多くの既往魚道は類似の実施例をもとに専門家の経験や知見にもとづく判断を加えて設計されている^{1~2)}。石川らは個体ベースモデルに向流性モデルを加えた個体ベース魚群行動モデルを構築し、システム工学的な魚道設計方法を提案している³⁾。

室内魚群行動観察実験によって供試魚（個体）の位置座標データを測定し、魚の遡上降河経路と向流性を定量的に評価した。

2. 方法

室内実験水路（L10m×W0.8m×H0.6m）に、供試魚の体長約10cmのウグイ *Tribolodon hakonensis* 10尾を放流して魚群行動観察実験を実施した。水路はアクリル製ユニット（L0.1m×W0.4m×H0.2m）6個を0.4m間隔で水路中流部右岸側に配置し、避難場スペースを有した魚道を模した平面形状とする。水理条件は、水深を0.15mとして、流量は $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ （ケースA）と $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ （ケースB）の2ケースとする。魚群行動の観察は天井部に設置した4台のカメラを用いて無人の状態で行う。観察時間は20分間とする。流速は水深

0.09m(6割水深)において、縦横0.05m間隔で電磁流速計により測定した⁴⁾。20分間の観察結果をもとに、供試魚の遡上行動と降河行動を判別するため、魚群重心の位置座標を10秒間隔で求める。なお、魚群の重心は観察者の判断により決定した。この結果から連続した遡上行動、あるいは降河行動が明らかな期間を特定した。その期間を対象にして、1秒毎に静止画を抽出して魚の位置座標を供試魚別に読み取る。魚の向流性を定量的に把握するために進行角 θ を定義した（図-1）。

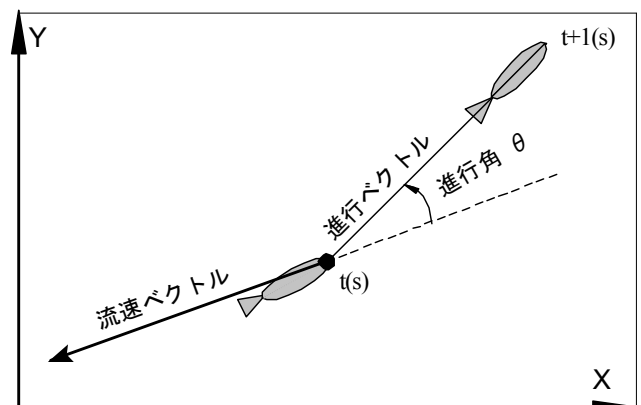


図-1 進行角定義図。現時刻の位置から次時刻の位置へのベクトルを進行ベクトルとする。進行ベクトルと供試魚の位置する場所の流速ベクトルがなす角度を進行角 θ と定義する。

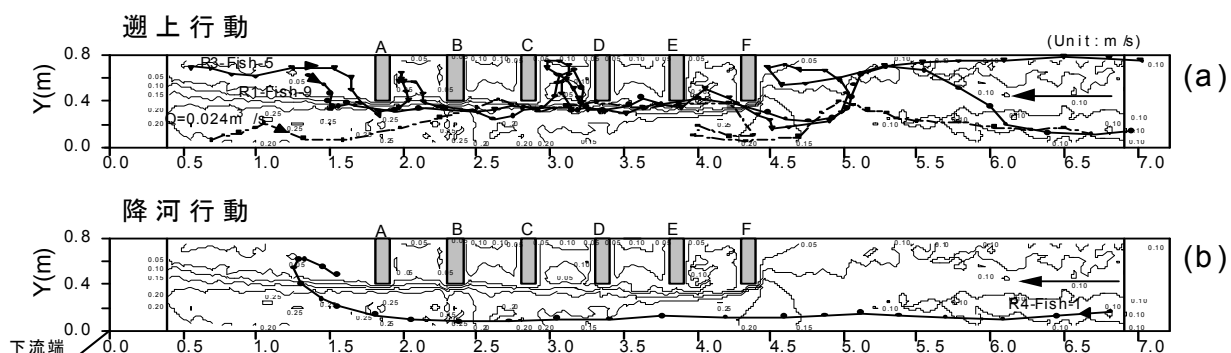


図-2 遡上降河経路図。太線は経路を表している。(a)に遡上経路、(b)に降河経路を示した。等流速線は流量が $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ 時のケースである。最大流速0.26m/sを、ユニットA付近で確認した。ルート1における個体番号9の魚(R1-Fish-9と示す)、R3-Fish-5は流量が $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ 時の遡上経路であり、それぞれ機会が別の遡上行動である。点線で表した経路は流量 $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ 時の遡上経路である。0.024 m^3/s 時には最大流速0.61m/sをユニットF付近で確認した。R4-Fish-1は流量が $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ 時の降河経路である。

キーワード 魚群行動、魚道、ウグイ、遡上降河、向流性

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市木更津清見台東2-11-1 布施龍一 TEL090-9311-1932

3. 結果

図-2 は観察実験によって得られた魚の遡上経路と降河経路を示したものである。10 尾の魚は概ね群れをなして遡上、あるいは降河した。多少の差異はあるものの、同じ条件の場合、供試魚は同じ様な経路を遡上、降河している。図-2 には各ケースの典型的な経路を表示した。水路には図の右から左へ向かう方向に水が流れている。等流速線を図中に細い実線で示した。

図-2(a)に流量 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ の遡上経路を示した。比較するために $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ の場合の遡上経路を点線で併記した。流れが相対的に緩やかな $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ の場合も $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ の場合と同様に、ユニットを配置することによってつくりだされたユニット前面の緩やかな流れの部分で遡上していることが確認された。 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ の場合、魚はユニットに挟まれ緩やかな渦流が発生している避難部 2 か所を経由し、遡上していることが確認された。図-2(b)に流量 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ の供試魚の降河経路を示した。降河経路は遡上経路と異なりユニット前面の経路ではなく、左岸側水路壁に近い流れが相対的に速い部分を一気に降河していることを確認した。

図-3 は流れに対する進行角と流速の関係を示している。(a)図 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ 、(b)図は $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ の場合を示している。進行角 $\theta=0$ は魚が流れに立ち向かうことを意味している。進行角 $\theta=\pm\pi$ は魚が流れに押し流されたことを示している。 $Q=0.012\text{m}^3/\text{s}$ の場合、進行角の分布が中央 ($\theta=0$ 付近) に集まり向流性が確認されたが、広く他の角度にも分布していることが認められた。また、ヒストグラムと P 値から、その分布が正規分布であること認められた。 $Q=0.024\text{m}^3/\text{s}$ の場合は、進行角のほとんどが中央付近に分布し、魚の強い向流性が確認された。

4. 考察

室内実験による結果ではあるが、遡上経路と降河経路が異なることが確認された。良い魚道には、遡上、降河のどちらの場合にも魚の移動の容易さが求められる。魚群が遡上する場合と降河する場合の両方の特性を考慮して魚道設計を行う必要がある。

進行角の分布の分析により、流れが速い場合と緩い場合では魚の向流性に違いがあることが確認された。この傾向は現行の個体ベース魚群行動モデルでは考慮されていない。モデルの精度向上を図るためには、

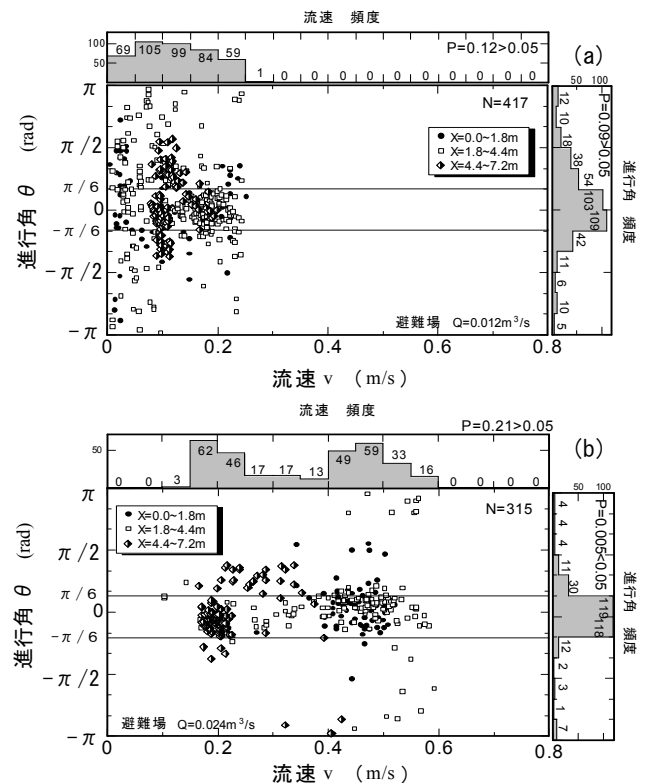


図-3 遡上行動の進行角散布図。(a)がケース A、(b)がケース B の図となり、N はデータ数、P は超過確立を表し正規分布であるかを示している。プロットの点は水路の下流 ($\sim 1.8\text{m}$)、ユニット部 ($1.8\text{m}\sim 4.4\text{m}$)、上流 ($4.4\text{m}\sim$) で区別し、魚のいた区間を示している。

流速に対応した向流性のアルゴリズムを加える必要がある。

謝辞：本研究に対して貴重な供試魚を提供していただいた千葉県内水面水産研究センターの梶山誠氏、ならびに尾崎真澄氏に対して記して深甚なる謝意を表する次第であります。本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金基盤研究 (C) 18560507 による。

参考文献

- 1) 中村俊六。「魚のすみよい川づくり 魚道のはなし 魚道設計のためのガイドライン」山海堂、東京、1995。
- 2) 石川雅朗。魚道の評価のための魚群行動モデルに関する研究。博士論文、東京水産大学、東京、2005。
- 3) 石川雅朗、足立恒、平野弘晃。個体ベースモデルによる魚類生息環境評価手法の構築。河川技術論文集 2001;7,315-320。
- 4) 小野敦子。室内観察実験におけるウグイの遡上行動特性。木更津工業高等専門学校、千葉、2005。