

個体ベースモデルを用いた2次元魚群行動モデル

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○市川 恭平
 木更津工業高等専門学校 学生会員 中野 知実
 木更津工業高等専門学校 正会員 石川 雅朗

1. はじめに

産業構造の変化，都市開発の進行，気候変動に伴う流出の変化などによる，魚類生息環境の劣化から，現在の内水面漁業は種苗放流事業によって支えられている．魚類生息場の改善，魚道の改良・新設による成長段階に応じた最適な生息場への魚類の自由な移動経路の確保などによって，内水面における様々な魚類の再生産を促し，持続可能な水産資源を確保することは重要である．適切な魚類生息場の改善を行うには，生息場環境の現状を把握し，実施される施策による魚類現存量の変化を事前に評価する必要がある．

石川らは，レイノルズの個体ベースモデル¹⁾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て動水場における魚群行動を再現し，生息場改善効果の客観的な評価方法を提案している²⁾．このモデルは2次元モデルのため，水深変化が著しい河川に適用するためにはモデルの3次元化を図る必要がある³⁾．3次元化に伴いモデルの改良を行っていくうえで，開発環境は開発効率や今後の拡張性に大きく関わる．

本研究では，PASCAL(Delphi4)で開発された石川らの2次元モデルを実装したソフトウェアを，新たな開発環境Visual Studio 2013(C#)を用いて製作した．C#は自動メモリ管理など応用機能を多数搭載した拡張性の高い開発環境である．将来，複雑な3次元モデルの実装ソフトウェア開発を行うためには，開発環境の変更が必須で必要となる．

2. 個体ベース魚群行動モデル

Reynold の個体ベースモデル(Individual Based Models, IBM)は，個体相互の局所的な相互作用規則から大域的な行動パターンを表現するモデルである¹⁾．石川らはReynold のモデルを魚類に適用するために，個体相互間の行動規則に，個体の流れに対する行動モデル(向流性モデル)を加えた個体ベース魚群行動モデルを提案

して，それを実装するソフトウェアを開発した．モデルの2つの基本行動規則の詳細について次に示す．

(1) 個体相互間の基本行動規則

個々の仮想魚は自分に最も近い仮想魚との距離に応じて順に，衝突回避，並行運動，求心運動，ランダム運動の行動をとる．当該個体の背後，死角に位置する他の仮想魚は認識対象外とした(図-1)．

(2) 流れに対する基本行動規則(向流性モデル)

流速に対する基本行動規則を図-2に示す．

- (a) 仮想魚の遊泳速度が流速より大きい場合
 流速ベクトルに対して仮想魚は定位するものとし，進行方向の決定は $\pm 10^\circ$ の範囲でランダムに選択する．
- (b) 仮想魚の遊泳速度が流速より小さい場合
 隣接する流速ベクトルを探索し，最も流速値の小さい方向に動くか，あるいは，流速と遊泳速度の差分をもって下流方向へ移動する．どちらの行動をとるかはランダムに選択する．

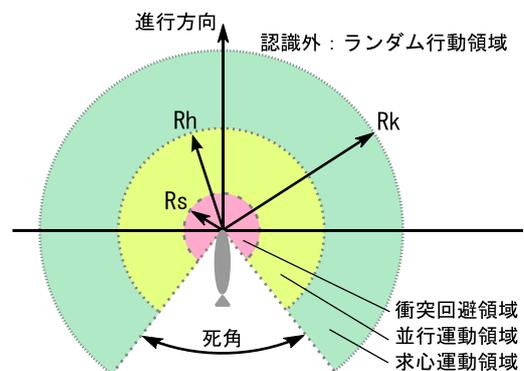


図-1 個体相互間の基本行動の選択領域

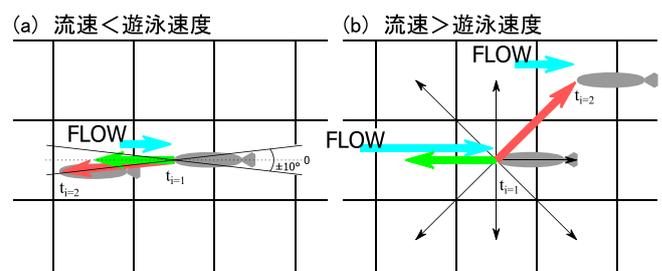


図-2 流れに対する基本行動規則

キーワード 個体ベースモデル，2次元，魚群行動モデル，C#，魚群半径

連絡先 〒277-0043 千葉県柏市南逆井 6-18-6 TEL 080-6782-4599 E-mail : nyakosyan@gmail.com

3. 評価指標とモデルの検証方法

モデル検証の評価指標は魚群半径を用いた⁴⁾。魚群半径は魚群の広がり具合を定量的に把握するための評価指標であり、(3.1)式で定義される。魚群を構成する個体の位置座標から魚群の重心を算定し、重心と個体との距離 r_i の二乗を求めその相乗平均として定義される。ここで、 Rfs : 魚群半径, N : 総個体数, r_i : 魚群重心と各個体との距離とする。

$$Rfs = \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2 / N} \quad (3.1)$$

開発したソフトウェアから時系列個体位置座標データを出力し、魚群半径の時系列データを算定した。次に、魚群半径の時系列変動を求め、パワースペクトル解析を適用してパワースペクトル図を作成した。計算シミュレーション結果との比較に用いた観察実験による魚群半径の時系列変動図を図-3に、魚群半径のパワースペクトル図を図-4に示す。計算シミュレーションのパワースペクトルが観察実験と同様な「 $1/f \sim 1/f^2$ ゆらぎ」を示していれば、本モデルの妥当性が確認される。

4. 結果

観察実験と本モデルでの計算シミュレーションの魚群半径の時系列変動を比較すると、魚群半径の広がりのピークの発生やその発生間隔は一致していないが、最大値は 0.792m, 最小値は 0.089m と、観察実験と概ね近い値となった。ピークを除いた平均的な魚群半径は観察実験・計算シミュレーションともに概ね 0.10m ~ 0.14m 程度であった。観察実験と本モデルのパワースペクトル図を比較すると、低周波域、高周波域ともに概ね同じ傾向が確認された。観察実験でのパワースペクトル図で見られる「 $1/f \sim 1/f^2$ ゆらぎ」の分布が本モデルでも確認され、本研究で開発したモデルの妥当性が確認された。

5. 今後の課題

本研究で開発したソフトウェアは個体相互間の基本行動規則のみを実装したものである。今後、向流性モデルを実装し、動水場におけるシミュレーションへの対応を図り実河川への適用可能なものとする必要がある。さらに、河川の水深変化が魚類生息場に大きく影響する現象の評価の精度向上を図るためにモデルの3次元化は急務である。

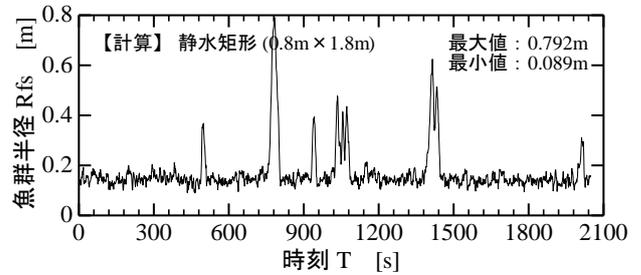
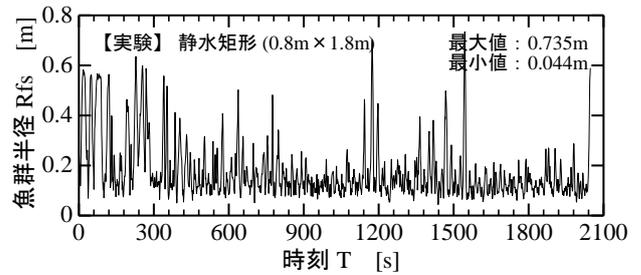


図-3 魚群半径の時系列変動図
(上 : 文献 2 より引用, 下 : 本モデル)

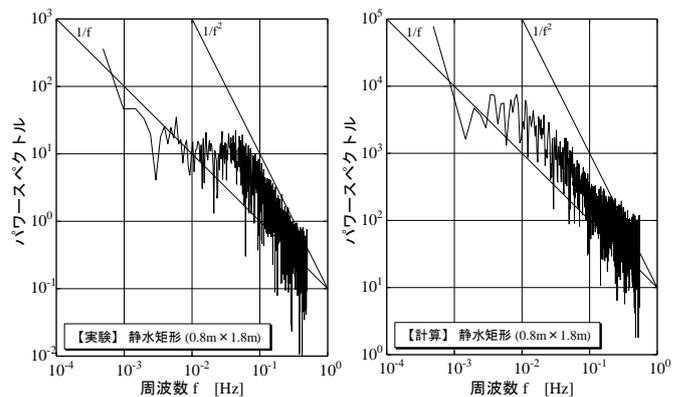


図-4 魚群半径のパワースペクトル図
(左 : 文献 2 より引用, 右 : 本モデル)

参考文献

- 1) Reynold C.W: Flock, Herds, and Schools, A Distributed Behavioral Model. The preceeding of SIGGRAPH '87, Vol.21(4), pp.25-34, 1987.
- 2) 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, 第 7 巻, pp.315-320, 2001.
- 3) 島村晃司, 後藤瞬平, 石川雅朗 : 室内観察実験によるウグイの 3 次元行動特性, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 CD-ROM, 第 42 回, 2015.
- 4) 石川雅朗 : ウグイの魚群行動特性に関する実験的研究, 河川技術に関する論文集, 第 6 巻, pp.101-106, 2000.