

ウグイの魚群行動特性と 1/f ゆらぎ

木更津工業高等専門学校 正会員 石川 雅朗
木更津工業高等専門学校 学生会員 ○小木曾淳弥

1. はじめに

そよ風の強弱、樹木の年輪、心臓の鼓動、せせらぎの音の波形など自然に存在し人々が心地よいと感じる現象において「1/f ゆらぎ」が確認されている¹⁾。「1/f ゆらぎ」は、単純な物理運動である調和振動とランダムに発生する現象が、どちらが優位に作用することなくせめぎ合うことで発生する現象と考えることができる(図-2)。このことから魚群行動について、個体相互作用を考えた基本的な3つの行動規則(衝突回避、平行運動、求心運動)にランダム性を加えれば、魚群行動を計算シミュレーションによって再現できると考えられる²⁾。本研究では個体相互作用による群れ行動モデルのひとつである個体ベースモデルにランダムな行動選択と向流性モデルを加えたモデルを構築し、魚群行動を計算シミュレーションによって再現し、パワースペクトル解析を適用して、再現した魚群行動に「1/f ゆらぎ」を見出し、構築したモデルの妥当性を検討することを目的として実施するものである。

2. 実験方法

魚群行動に「1/f ゆらぎ」が確認されるかを調べるために、パワースペクトル解析を適用する。評価指標には魚群半径を用いる。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、(2.1)式のように定義する。各々の供試魚、仮想魚の位置座標データから魚群の重心を求めて、重心から各魚の距離の二乗を求める。その距離の相乗平均を魚群半径と定義する。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。

魚群半径は、観察実験から得られた、もしくは個体ベース魚群行動モデルから出力された位置座標データから算出する。パワースペクトル図の作成にあたって、高速フーリエ変換を適用するために、総データ数を2の乗数倍である1024に定めた。個体ベースモデルはCreg W.Reynoldsが構築した計算シミュレーションであ

り、鳥の群れを視覚化し、再現することができる³⁾。このモデルに向流性モデルを加え、魚群行動に適応させたモデルを構築し、計算シミュレーションを実施する。計算時間間隔0.05秒で計算し、1秒間隔で個体の位置座標を出力する。

観察実験では体長約10cmのウグイを10尾放流し、天井部に取り付けたカメラを用いて、無人の状態で撮影する。このビデオ映像の歪みにアフィン変換を適用し、歪みを除去する。供試魚頭部の位置座標を1秒間隔で測定する。撮影時間は20分(1200秒)である。

領域形状は、矩形(0.8m×1.8m)の動水水路に、ユニットを配置して避難場所となるプール部を設置する(図-1)。同じ条件で観察実験と、個体ベース魚群行動モデルによる計算シミュレーションを行う。計算シミュレーションに用いる流速分布については、観察実験で計測された実測値を用いた場合と、その流速ベクトルの方向はそのままに流速値のみを5倍にした場合の2ケースについて計算シミュレーションを行う。

$$Rfs = \sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2 / N} \quad (2.1)$$

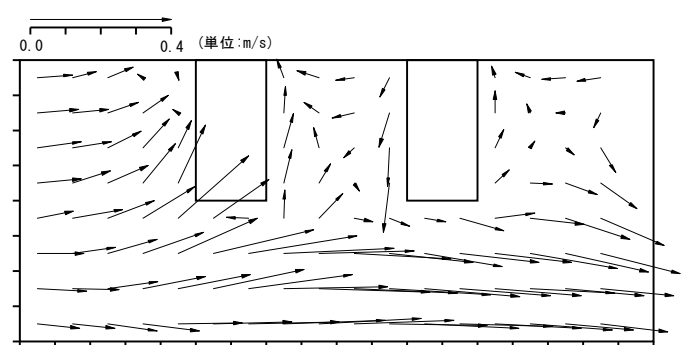


図-1 領域形状と流速分布図。 矩形(0.8m×1.8m)の水路である。避難場を形成するためのユニット(0.4m×0.2m)は図に示すように配置する。図中の矢印は流速のベクトルを表している。

キーワード 1/f ゆらぎ 個体ベースモデル 魚群行動 魚群半径 ウグイ

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 小木曾淳弥 TEL080-6762-2349 E-mail: iecce_knk@hotmail.co.jp

3. 結果

魚群行動観察実験から得られた位置データと、計算シミュレーションから得られた位置データから、それぞれ魚群半径を求め、パースペクトル図化した(図-2)。

ある時間において起こった現象が、次の行動に影響を与える現象を、自己相関をもつ現象という。パースペクトル図において、傾きが大きくなるほど、単調な現象となり、自己相関が強くなる。反対に、傾きが小さくなるほど、ランダム性の現象となり、自己相関が弱くなる。この図に「 $1/f$ ゆらぎ」の傾向があれば、魚群の群れの形成に関して規則が存在するといえる。

観察実験では、「 $1/f \sim 1/f^2$ ゆらぎ」の関係が低周波領域で確認された。撮影された動画では、魚が自由に遊泳しているのが確認されたことから、魚は自己の意思で行動しているといえる。実測流速データでの計算シミュレーションでは、「 $1/f \sim 1/f^2$ ゆらぎ」の関係が低周波領域で確認された。シミュレーションは視覚化が可能であり、こちらも自由に遊泳しているのが確認された。流速値を単純に5倍にして、計算シミュレーションを行った場合は、傾きが小さくなった。視覚化された映像を見ると、仮想魚は流速に負け図-2の右縁に集中しているのが確認された。

観察実験・計算シミュレーションの結果を見ると、両方に「 $1/f \sim 1/f^2$ ゆらぎ」が確認された。魚群の行動は単純なランダム行動ではなく、規則的な要素を含む行動と考えられる。

4. 考察

魚群行動を基本的な行動規則とランダム性を組み合わせたモデルで再現することができた。魚群行動は典型的な複雑適応系のひとつと考えられ、予測できない現象と表現されることが多い。しかし、個々の個体の行動は逐次に予測することができないが、ある程度の観測期間に対して本研究のようにパースペクトル解析を適用して「 $1/f$ ゆらぎ」の有無を確認することで、その再現性を検証することが可能となる。

実現象の魚群行動についても、同じ条件を揃えても現象を再現することはできない。計算シミュレーションモデルにおいても逐次の行動ステップを再現するのではなく、ある程度の期間における評価指標のゆらぎの状態を合わせられれば妥当性のあるモデルと考えることができる。

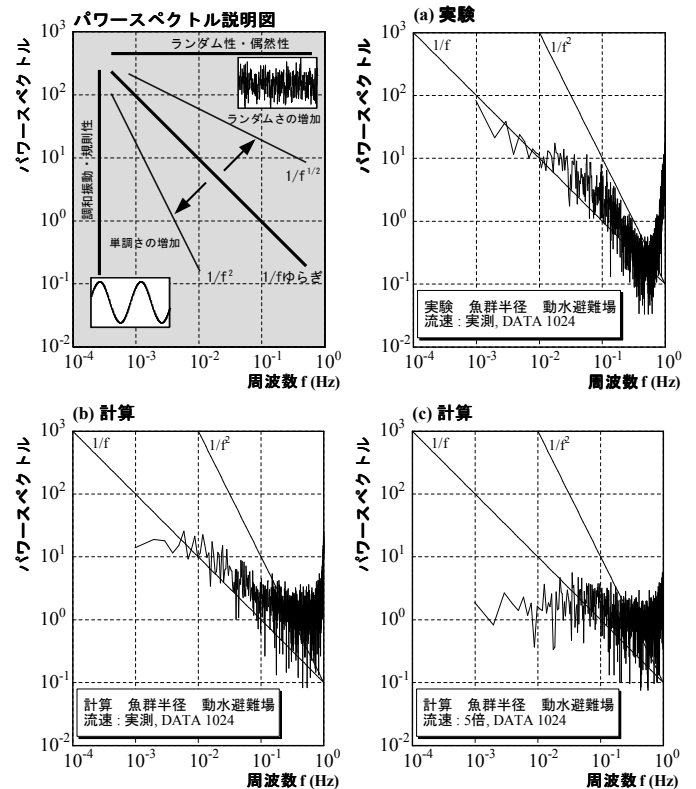


図-2 パースペクトル図。説明図を左上に掲載する。(a)が観察実験から得られたデータで解析を行った結果である。(b)(c)は個体ベース魚群行動モデルを用いて出力したデータで解析を行った結果である。(b)の流速は(a)と同等である。(c)の流速は(b)より5倍速い流れになっている。

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) 武者利光：「NHKライブラリー79ゆらぎの発想」日本放送協会出版会，東京，1998。
- 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 2001;7, pp. 315-320。
- 3) Creg W. Reynolds: Flocks, Herds, and Schools, A Distributed Behavioral Model, The Proceeding of SIGGRAPH' 87, Vol. 21 (4), pp. 25-34, 1987。