

時系列フラクタル解析による群行動評価

3S-3

○新地辰朗*

西村治彦**

北添徹郎*

*宮崎大学

**兵庫教育大学

1. はじめに

鳥, 魚, バクテリアなどにみられる群行動は, 種を保存し, また環境に適応するための自己組織化現象として興味深いものである. この群行動のコンピュータシミュレーションモデルは, 複雑でばらつきのある集団行動に内在する自律的メカニズムの理解を目指すものである.

本研究では, 実際の魚群行動の生態的観測結果から推察される行動モデル¹⁾に基づき, 各個体の相互作用を通してコンピュータ内に創発される多様な群行動パターンを定量的に評価するものである. その際, 刻々と移動する魚の位置座標を成分とする時系列データをもとに群行動に対するフラクタル解析を行う.

2. 魚群シミュレーション

魚は主に眼と側線から情報を得ながら次の行動を決めるとされ, 各魚が感知した近傍の魚との位置関係に応じて自分の行動を調節する数理行動モデルが知られている²⁾. このモデルでは図1に示すように, ある個体(黒)が注目した相手の魚(白)との距離 r により, 個体(黒)の進行方向は,

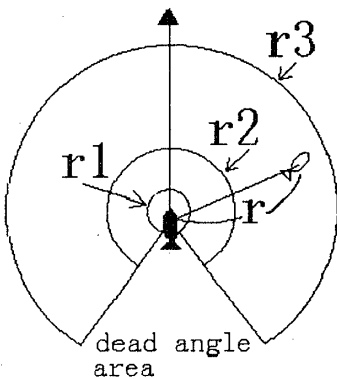


図1 魚の行動決定領域

相手の魚(白)との距離 r により, 個体(黒)の進行方向は,

- i) repulsion($r < r1$): [対象の魚と衝突しないように間合いを取ろうとする],
- ii) parallel orien-

tation($r1 \leq r < r2$): [対象の魚との距離を一定に保つために, 並進しようとする],

iii) attraction($r2 \leq r < r3$):

[対象の魚に近づこうとする],

iv) searching($r > r3$ or dead angle area):

[感知できる範囲以内に行動を協調しようとする相手が見つからず, 探索のためにランダムに方向を変える],

という4種類のいずれかに決定される. このように各個体毎に次に展開すべき行動が決めるだけで, 全体の動きを直接規定する規則はないにも関わらず, 結果として群が自己組織的に形成される.

行動決定領域を定義する同心円の半径をそれぞれ $r1=0.5BL$, $r2=2.0BL$, $r3=5.0BL$ (BL : 魚の体長) とし, 5匹の魚による群行動の軌跡を示したものが図2(a)(b)である. 図2(a)は別々に行動していた5匹が徐々に群を形成しながら図中右上方に進む様子を50(simulation)step分示したも

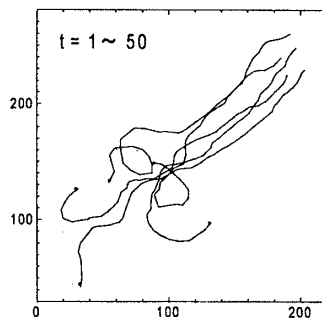


図2(a)群化の様子

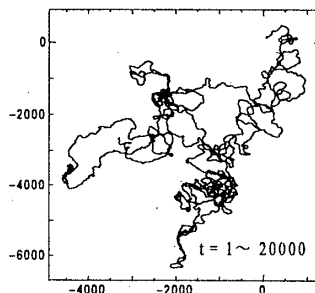


図2(b)魚群の行動軌跡

のであり, この群の動きを20000step(1step=0.5[s]とした場合, 10000秒間)分示したのが図2(b)である.

このように図1に示す行動決定領域による進路決定により, 各個体が各自に適した距離と角度が保たれ, 群を形成し, さらに群行動を維持する. なお, 本シミュレーションにおける各個体の速度の大きさは, ガンマ分布に従いながら確率論的に変化するものとしてい

Fractal Analysis of Temporal Data for Schools

Tatsuro SHINCHI*, Haruhiko NISHIMURA**,

and Tetsuro KITAZOE*

*Miyazaki Univ. , **Hyogo Univ. of Education

る³⁾.

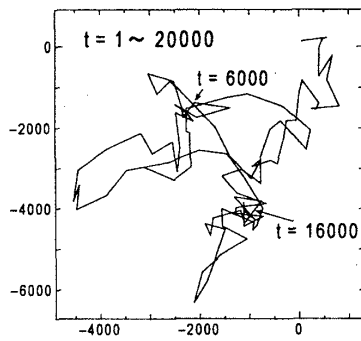


図3(a) 200step 間隔の軌跡トレース

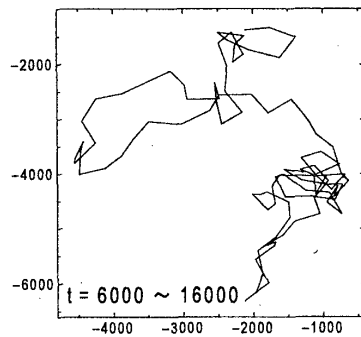


図3(b) 100step 間隔の軌跡トレース

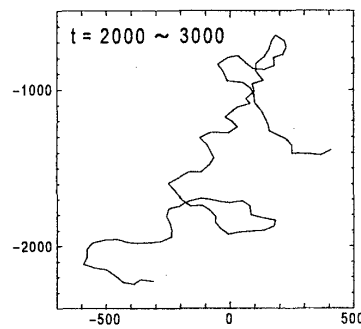


図3(c) 10step 間隔の軌跡トレース

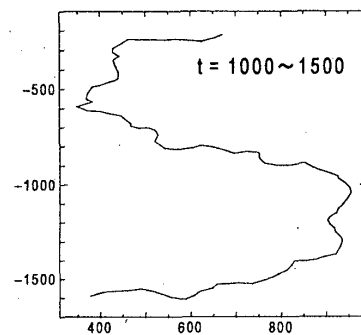


図3(d) 5step 間隔の軌跡トレース

3. 群行動の時系列フラクタル解析 3.1 群行動軌跡の時間粗視化・細視化

図2(a)の複雑に入りこんだ群行動の時間発展構造に対して、行動軌跡の始点から200step間隔(100区間)でその位置座標をトレースしたのが図3(a)であり、その部分区間(t=6000~16000)を100step間隔で再トレース(1/10細視化)したのが図3(b)である。図3(a)(b)の両者は観測スケールが違

うにも関わらず同様の構造パターンを持ち、スケールに依存しないフラクタル性が示唆される。次に、10step間隔及び5step間隔でそれぞれ100区間の軌跡トレースを行ったのが

図3(c)と図3(d)であるが、図3(a)(b)と比較して単純な構造を示している。

3.2 時系列フラクタル解析

図3で示した様相の異なる群行動軌跡パターンの複雑さを評

価するために、基準スケール長 k で粗視化した軌跡長 $\langle L(k) \rangle$ を、

$$\langle L(k) \rangle = \frac{1}{k} \left[\sum_{i=1}^{T-k} \sqrt{(x_{i+k} - x_i)^2 + (y_{i+k} - y_i)^2} \cdot \frac{T}{(T-k)k} \right] \quad (1)$$

と定義する⁴⁾。ただし、 x_i, y_i は時間 t における魚の位置座標を表す時系列データ、 T はシミュレーションの全時間、 $T/((T-k)k)$ の項は粗視化で生じるデータ数の違いを補正するための

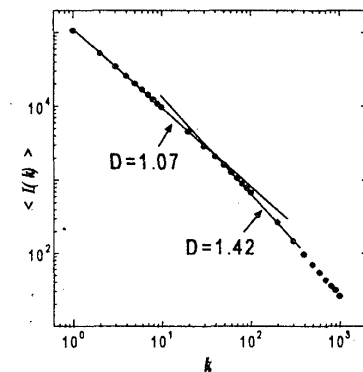


図4 群行動のフラクタル次元となり、図3(a)(b)及び(c)(d)における複雑さの違いは、それぞれフラクタル次元1.42, 1.07として定量化できることが明らかになった。

4. おわりに

本研究で群行動に対して行ったフラクタル解析は、群内の全個体を対象にするベクトルフラクタル解析へ拡張可能であることを確認しており、今後は群を構成する個々の長期的振舞いと群全体の動向の両面から群行動に対する理解を深めたい。その際、魚以外の集団行動⁵⁾にも検討の範囲を広げ、群行動のメカニズムとその特徴について明らかにしてゆきたい。

<参考文献>

- 1)I.Aoki, An Analysis of the Schooling Behavior of Fish: Internal Organization and Communication Process, Bull. Ocean. Res. Inst. 12, pp.1-65(1980)
- 2)B.L.Partridge, The Structure and Function of Fish Schools, Sci. Am. 246, pp90-99(1982)
- 3)I.Aoki, A Simulation Study on the Schooling Mechanism in Fish, Bull. of the Japanese Society of Scientific Fisheries, pp.108 1-1088(1982)
- 4)西村治彦, 新地辰朗: 1次元セルオートマトンの時系列フラクタル解析, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.4, pp.787-796(1995)
- 5)Reynolds, C.W.: Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model, Comp. Graph., 21(4), pp.25-34(1987)

ものである。

$\log \langle L(k) \rangle$ と $\log k$ 間にみられる直線関係を調べた結果が図4である。図中の直線の傾きが時間粗視化レベル k に対するフラク

タル次元(D)となり、図3(a)(b)及び(c)(d)における複雑さの違いは、それぞれフラクタル次元1.42, 1.07として定量化できることが明らかになった。