

# Boids モデルを用いた粒子の自己組織化についての研究

増井 美悠 (指導教員：オベル加藤 ナタナエル)

## 1 はじめに

個々の要素が合わさることによって、個々の性質からは予想できない性質が全体に現れる系のことを「複雑系」といい、鳥の群れなどがその例としてあげられる。群れの行動や構造をシミュレーションするためにコンピュータモデルを使った研究が数多く行われてきたが [3]、その多くが群れの動きを再現することまでにとどまっており、その動きの仕組みは未だ解明されていない。本研究では群れの1つひとつの要素を粒子に置き換え、単純で再現度の高い運動法則を適用してシミュレーションを行い、その結果の中で粒子が興味深い運動パターンを見せる場合のパラメーターの特徴の共通点を見つけることを目的とする。

### 1.1 Boids モデルについて

Boids モデルは、「凝集 (cohesion)」「分離 (separation)」「整列 (alignment)」という3つのシンプルな相互作用ルールで粒子を制御する群れのシミュレーションモデルである [2]。このようにルールが単純であるにもかかわらず、エージェントは鳥の群れのような興味深いフォーメーションを形成することができる。しかし、Boids モデルは生物の群れの行動の研究や群ロボットの開発のため群れの行動を再現することを目的として用いられる事が多く、群れの自己組織化そのものの仕組みはまだ解明されていない。

- 分離 (Separation)
  - － 近くの粒子と衝突しないように距離を取る。
- 整列 (Alignment)
  - － 近くの粒子と向きを揃える。
- 結束 (Cohesion)
  - － 近くの粒子とまとまるように移動する。

## 2 方法

本研究では Boids モデルの運動ルールを元にプログラムを作成し「凝集 (cohesion)」「分離 (separation)」「整列 (alignment)」のパラメーターの値を変化させながらシミュレーションを実行した。その際、凝集 (cohesion) のパラメーターにランダムなノイズ (asymmetry) を加えた。これは、生物学において左右非対称性が珍しいことや、物理学において対称性の破れがいくつかの現象や性質を説明づけていることを踏まえ、群れの行動パターンの原因または結果の中に存在する非対称性が興味深いパターンを生み出す上で重要な役割を果たすという仮説を立てている nishikawa2018 [1] に着想を得た。シミュレーションした後はその結果を比較し、特徴的な構造・運動パターンが現れた回の3つのパラメーターの組み合わせを確認した。その後、今度は3つのパラメーターがタイムステップに伴って自動的に変化するプログラムを作成し実行した。3つのパラメーターの計算式とそれ以外の固定パラメーターは次の通りである。

### 1. COHESION :

$$\text{texdirection} + \text{asymmetry})$$

ここで、*direction* は近隣の群れの中心から現在の粒子へのベクトルである。

### 2. ALIGNMENT :

$$\text{textmean\_vel} - \text{velocities}[i])$$

ここで、*mean\_vel* は近隣の粒子の速度の平均である。

### 3. SEPARATION :

$$\text{sum}_j \frac{\text{pos} - \text{positions}[j]}{d_{ij}^2}$$

ここで、*d<sub>ij</sub>* は粒子 *i* と *j* との間の距離である。

パラメータ	値
粒子の個数	500
空間サイズ	100
ステップ数	200
近隣の半径	10
非対称性の係数	0.2

## 3 結果

以下の図 1 から 3 はパラメータ COHESION の値を 10.0 から 4.0、2.0 へと変化させていった結果である。粒子の形を丸ではなく三角形で表すことで、その粒子の進行方向を表現している。COHESION の値が小さくなればなるほど、粒子は数か所へと密集し、三角形のような群れを形成している。パラメータ ALIGNMENT、SEPARATION についても同様に、それぞれ 0.5~2.0、1e-6~1e-10 の範囲で変化させてシミュレーションを行った。その結果、ALIGNMENT の値が小さい場合は粒子は密集することなく乱雑な状態のままだが、値を大きくしていくと群れができ始め、2.0 を超えたあたりから完全に整列してしまい動きがあまり見られなくなることがわかった。

また、3つのパラメータをタイムステップに伴い変化するようにしたコードのシミュレーション結果は 4 に示してある。3つのパラメータすべてが最も小さい値を取るとき (timestep=50) に、粒子は密集し、それぞれのパラメータが大きい値を取るときに散らばっている様子がわかる。

## 4 まとめと今後の課題

本研究ではシミュレーション結果の”興味深さ”を1つ1つ自分の目で判断し、そのパラメーターの確認もすべて手作業で行った。しかし、パラメーターの組み合わせが非常に多いため作業に時間がかかることが課題として挙げられる。このモデルをより包括的に探究するためには遺伝的アルゴリズムなどを用い、自動的にパターンを探索する必要があると考える。

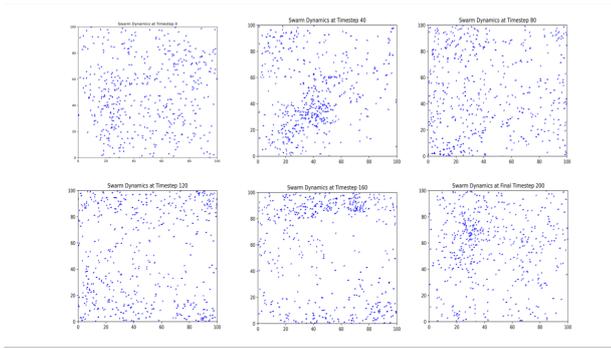


図 1:

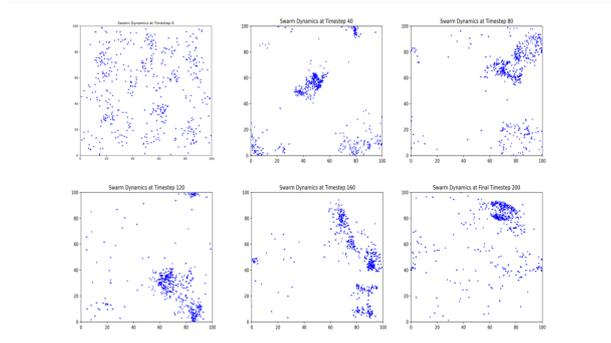


図 2:

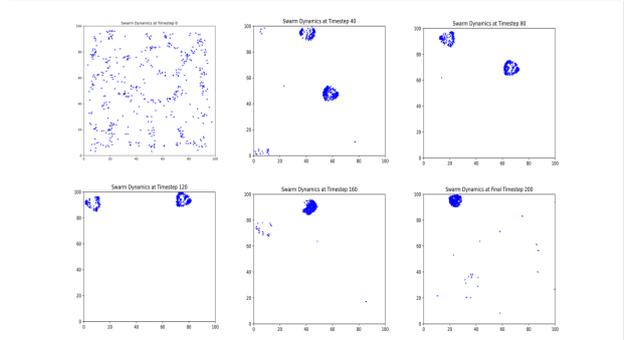


図 3:

## 参考文献

- [1] Nishikawa, N., Suzuki, R. and Arita, T.: Exploration of Swarm Dynamics Emerging from Asymmetry (2018).
- [2] Reynolds, C.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, *Comput. Graph.*, Vol. 25, pp. 25–34 (1987).
- [3] Schmicke, T., Stefanec, M. and Crailsheim, K.: How a life-like system emerges from a simple particle motion law, *Sci. Rep.*, Vol. 6, p. 37969 (2016).

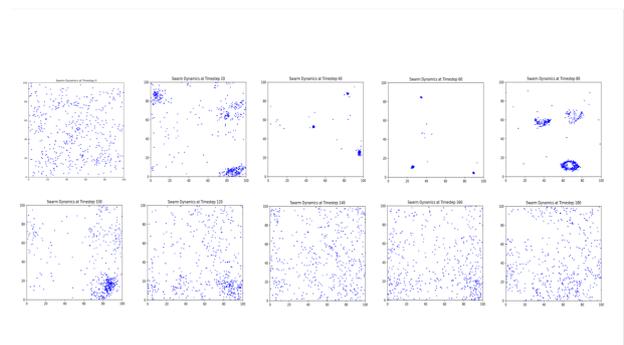


図 4: cohesion, alignment, separation を  $\sin$  により周期的に変化させた場合のシミュレーション結果