

自律個体の集団行動時におけるパターン形成

北海道工業大学 ○木暮直記, 川上敬, 中川嘉宏, 木下正博

要旨

本研究では、自然界に存在する生物などの体表面に現れる模様パターンに着目し、そのパターンが如何にして現れるのかについて、Agent-Based Modelingを用いたシミュレーションにより分析する。生物の動く原理を、環境などの外的要因含む多様な振動とそれが作り出すリズムによるものと仮定し、振動の周期を組み合わせる方法で要素集団の行動や形状のパターンが構築される過程の観察を行い、自然界における生命と比較した場合どのような差異が存在するかについて考察を行う。

1. はじめに

自然界における生命体は、自己組織化によって構成される生体各部の部品といった空間的パターンや生物の呼吸や心拍のような規則的な脈動をする時間的パターンなどといった様々なパターンを持っている。その中でも動物などの体表面に現れる模様パターンは動物の化学物質が脈動のリズムによって拡散することで表現したとされている。そのため、この模様パターンは生物の時間的パターンと空間的パターンを繋ぐ鍵となる可能性があり、ひいては生命を解き明かすための鍵にも成り得る。

しかし、自然に発生したものであれ、人工的に作成したものであれ、それがパターンと呼べるかどうかは人間の主観に影響される。しかし自己組織化とは外から何らかの操作を加えていないにも関わらず、自発的にパターンを形成することであり、そこに監督的なものは存在しない。

そこで本研究では、エージェント群が創り出す形状に対し、人の視点からではなくそれぞれの個体に自分と自分の周囲に存在する個体の状態から形状の評価を行わせ、その評価をもとにした判定により自己的にパターン性を有する組織を作る能力を獲得することを目的とする。

2. パターンの発生

生物の模様パターンが発生する要因として、その生物の細胞が胚の段階であるときに、色素等の化学物質が周期振動によって拡散することで構成されることが分かっている。周期振動とはリズムのことであり、生体組織では細胞の興奮サイクルとして現れるものである。細胞の興奮サイクルは待機状態→興奮状態→冷却状態の3つの状態から成り、興奮状態から次の興奮状態までの時間を1つの周期として扱う。この周期により生まれたリズムが化学物質の拡散を促し、空間的なパターンを表現する。全ての生物は、常に外部から情報が入り出ており、生体リズムはそれらの外的要因から生成される。これは種でのリズムではなくその個体が持つ独特のリズムである。

例えば、ウシA、ウシBといったそれぞれにある微妙な周期振動のゆらぎが挙げられる。生体リズムの生成には遺伝子のイントロンという部位が関わっていることが分かっている。各個体に違いがあるイントロンが同じ種の動物同士でも振動の周期に微小な差を生じさせ、その差によって各個体の化学物質の拡散に違いが表れ、その結果動物の表面には個体ごとにそれぞれ異なった模様が体现するのではないかと考えられる。

3. リズム関数

リズムを表すためには微分方程式を用いるが、 x とその

増加率(dx/dt)だけでは、リズムは生じない。リズムを生じさせるには x の増加率の増加率(d^2x/dt^2)が必要である。 x の増加率は自由度と呼ばれ、(dx/dt)は自由度1、(d^2x/dt^2)は自由度2である。自由度2ではグラフの曲がり具合を表している。また、自己組織化に深く関わる概念であるカオス現象は自由度3、もしくは自由度2の式に外力が加わることで発生する。本研究では、自然界におけるカオスの発生を周期的なリズムに外力が加わったものと仮定し自由度2の微分方程式をもとにする。その際、単純なリズムを発生させる場合は外力を加えない \sin 曲線を生成し、自然的な振舞いを目指す場合は必要に応じて適当な外力を加える。

4. 個体の振舞い

個体には核となる個体とそれ以外の複数の個体が存在する。両個体の共通している部分は、選択可能な行動とリズムを持つことである。個体は周囲8マスの何れかの近傍に移動、もしくはその場で待機するという9通りの行動を選択できる。リズムは時間ステップによって変化し、その変化するリズムに応じて個体は学習や環境の読み取りなどといった影響を及ぼす範囲を変化させる。

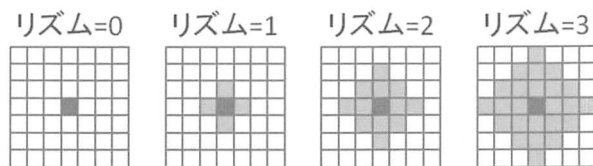


Fig.1 リズムに対応した個体影響範囲の遷移

核となる個体とそれ以外の個体の異なる点は行動選択の方法にある。核となる個体は自分以外のすべての個体との距離の総和を算出することができ、その数値が小さくなるように行動する。核以外の個体はリズムによる影響範囲を持ち、移動後の範囲内にある他個体との総距離の大きさを評価を行ない学習する。範囲は左上、左下、右上、右下の4つに分けられる。範囲の大きさが10であるとき、他個体との最適な距離は範囲の最も外側であるとして、範囲内の個体との総距離が大きくなる行動の価値を大きくする方法で学習を行う。

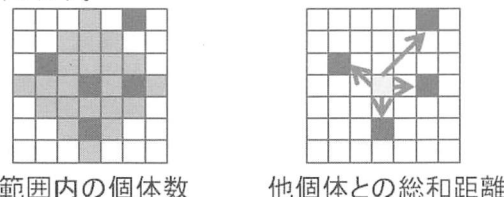


Fig.2 各個体の行動評価方法

5. 実験と考察

リズムによる学習範囲の変化により、個体全体の形状の変遷を観察する。以下に実験を行った環境を示す。

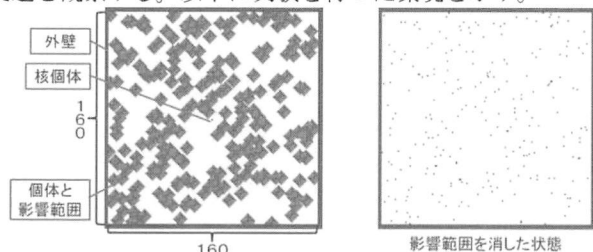


Fig.3 シミュレーション環境の初期状態

160×160のフィールドに、個体の発生率を1%と設定した。上記の図では計243体の個体がフィールド上に存在する。個体を中心に発生している菱形がその個体の影響範囲である。個体のもつ0から10までの11段階のリズムにより大きさが変動する。リズムはsin曲線であり、次の式(1)で生成される。(1)式において、 y をリズムとする。(T=周期, t =単位時間, A=振幅, ϕ =位相)

$$y = \sin\left(\frac{2\pi}{T} \times t\right) \times A + \phi \quad (1)$$

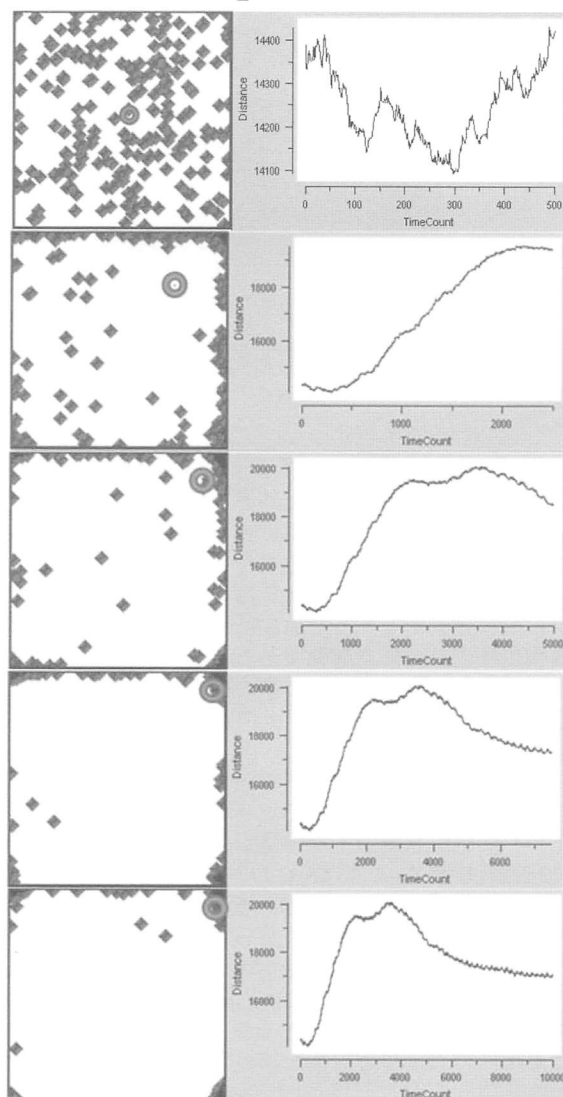


Fig.4 フィールドの遷移と総和距離グラフ

フィールドは外壁に囲まれているため、壁際の個体はいくつかの行動が制限される。その場合は待機行動が選択される。以上の環境で実験を行った。

Fig.5は500、2500、5000、7500、10000ステップのフィールド状態と核となる個体により算出された総和距離のグラフである。図中のフィールド上にある円は核となる個体の位置を示している。500ステップではFig.4の初期状態と比較してもフィールド、総和距離ともにほとんど差はないが、800ステップ付近から総和距離は上昇し始め、2000ステップ付近まで上昇し続けた。これは、学習が進むことで全体に分布していた個体がフィールドの端へと移動してしまったため、相対的に核となる個体とそれ以外の個体の距離が伸びてしまったためである。5000、7500とステップが経過するにつれ、フィールドの端にあった個体は何れかの隅へと集まっていき、10000ステップの頃には、ほとんどの個体が隅に集まった。効果の影響する範囲にいる個体が多くなるように学習するため、隅のような部分に個体が集約されていくと考えられる。また、ステップ4000付近から総和距離が短くなっているが、これは核となる個体が最も多く個体が集まっている右上の隅へと移動しているためである。ステップ7500以降では、ほぼ全ての個体が隅へと定着しているため、総和距離の変化は少ない。最終的には17000前後に落ち着いた。

この結果より、壁などにより閉じられたシミュレーション環境中において現在の学習方法では、隅の方などの個体が多く集まる部分に自然に集合してしまうことが分かった。核となる個体は総和距離に対し小さくなるよう反射的に行動を行うのみであり、他個体に大きく影響を与えるものではなかったため、個体群の核とは成り得なかった。また、リズムの状態に関連づけた学習により、リズムに依存する行動パターンを身につけることができた。下の図では、およそ200ステップごとに総和距離が増加したり減少したりという変化をしているが、これはリズムに依存した行動の変化によるものと思われる。

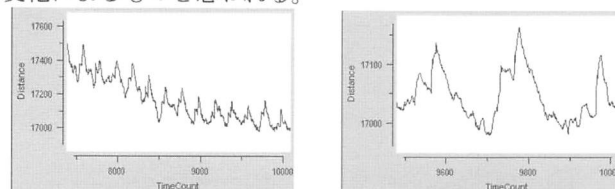


Fig.5 安定状態での総和距離グラフ

6. おわりに

今回の実験では、本研究の目的である個体に形状の評価を行わせる機能の搭載には至らなかった。しかし、リズムと環境の状態を読み取り、どのような行動を選択するかを学習する機能により、行動パターンを形成することやフィールドの端で群を形成するなどといった現象を発現させることができた。

今後は、空間の形状などといった環境の部分や行動選択における個体の条件や状態部分、特に核となる個体の学習や振る舞いを追加した多様な状況への対応、また行動価値を与える計算方法の改善を行い、より多彩且つ自律的な個体群のパターン形成を目指していく。

参考文献

- [1] 伊庭齊志, “複雑系のシミュレーション”(2007)
- [2] 都甲潔, 他, “自己組織化とは何か”(2009)
- [3] 加藤恭義, 他, “セルオートマトン法”(1998)