

GA を用いたアメーバ様運動による組織的行動

北海道工業大学 ○佐賀 勇哉, 川上 敬, 中川 嘉宏, 木下 正博

要旨

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いた組織的行動の仕組みに関する基礎研究としてアメーバ様運動のモデル化について考察する。ここでは、環境の変化に適応するアメーバエージェントの行動生成について議論する。

1. はじめに

近年、生物をモデルとした様々なシステムや人工物等が注目を集めている。その中の一つとして注目されているのが変形菌・真正粘菌と呼ばれる生物である。粘菌は巨大なアメーバ型生物でありながら、迷路の最短経路を探し出す計算能力を持っていることが実験により報告されている。また、経済性や耐故障性、効率等の多目的に最適化されたネットワーク構造を作り出すことも分かっており、粘菌の輸送ネットワークは既存の鉄道ネットワークよりも輸送効率が良いことやアクシデントに強い可能性が示されている。

本研究では細胞性粘菌やアメーバの細胞運動を生物モデルとし、遺伝的アルゴリズムを用いたエージェントをコンピュータ上でシミュレーション実験を行い自然的アメーバの動きを近似するエージェントの構築を目的とし考察する。

2. アメーバ

アメーバとは、単細胞で基本的に鞭毛や繊毛を持たず、仮足で運動する原生生物の総称である。また仮足を持つ生物一般や細胞を指してこの言葉を使う場合もある。ギリシャ語で「変化」を意味する。アメーバは基本的に鞭毛や繊毛を持たないが、移動の際は細胞内の原形質流動によって、進行方向へ細胞質が流れるに従い、その形を変えるように動いていく。この運動をアメーバ運動という。アメーバ類は原形質流動によって移動し、そのため外見が変わり続けるため、「一生のうち二度と同じ形を取らない」などと言われることもある。しかし、一般に言われるようなまったくの不定形ではなく、おおよその形は属や種によって決まっている。大きく分けると三つの型があり

- ① 幅広い仮足を常に一つだけ出すもの。
- ② 2~数個の仮足を出すもの。
- ③ 多数の細い棒状の仮足を出すもの。

環境条件や状況によって型を変えるものもあるので、これらの違いが違いであるとは必ずしも言えない。

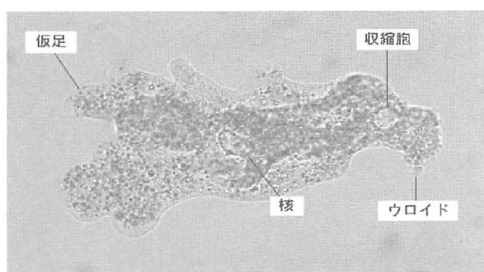


図1 アメーバ

3. 細胞性粘菌

細胞性粘菌とは、変形体と呼ばれる栄養体が移動しつつ

微生物などを摂食する”動物的”性質を持ちながら、小型の子実体を形成し、胞子により繁殖するといった植物的あるいは菌類的性質を併せ持つ生物である。また、分類的には変形菌類に属しているが、変形菌類のいわゆる変形体が核分裂を繰り返しながら細胞質は分かれぬ多核体であるのにたいして、この仲間は生活環を通して細胞の構造を失わない。単細胞のアメーバとして増殖し、それが集まって一時的に外見的にも変形他のような構造をとる。しかし、この場合にも細胞が集まっただけで融合することはなく、移動して子実体に変化するまでの一時的な構造にとどまる。細胞の集合はここに含まれる群の特徴であるが、これを変形体に相同と考えたのがこの群を変形菌類と見なした理由である。各アメーバエージェントが個性を失わないまま集まるのを社会的な行動と見なし、これらを社会性のアメーバ(social amoeba)と呼ぶこともある。

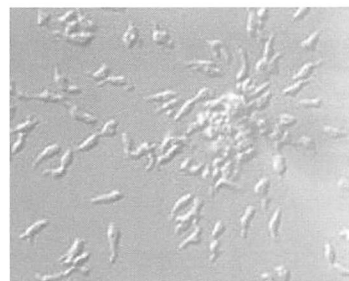


図2 細胞性粘菌

4. アメーバ様運動

生物は、光や化学物質など外界からの刺激を敏感に受容し、適切な行動を取っている。単細胞生物においてすら、刺激受容の鋭敏さ、伝達の速さや判断的確さは驚くほどである。アメーバ運動は、哺乳類など様々な高等動物の細胞から単細胞動物である自由生活性のアメーバまで、多くの真核生物にみられる運動である。動物細胞では、免疫担当細胞の一部である好中球、多形核白血球、マクロファージなど、また中枢神経系のグリア細胞の一部がアメーバ様の運動を行うことが知られている。

これまで解析されている多細胞生物における細胞の運動パターンは主に3種類であると考えられている。第一に、ひとつの細胞が基質の上で伸展し、周囲の細胞との接着にいたるまで移動していく単細胞運動(single cell movement)と呼ばれるものである。第二に、細胞が集団として基質上で相互作用をしながら動いていく、いわゆる集団的運動(collective motion)と言われるもの、そして第三は、単細胞が形を自由に変えながら動くいわゆるアメーバ様運動(amoeboid movement)である。これらの細胞運動の中には走化性のように方向性を持ったものとそうでないものがある。

5. アメーバ様運動の発現のための方法論

前述のように粘菌やアメーバの行動は環境の変化や自己の内部状態の様相によって、興味深い振る舞いをする。本研究では環境の形状に応じて変化する組織的行動を遺伝的アルゴリズムの手法を用いて発生させるシミュレーションを行う。具体的には java と遺伝的アルゴリズムで構築した複数のエージェントが階段状障害物を降下することで、アメーバ様運動の再現ができるか考察する。アメーバ様運動の再現には各エージェント同士が一定の距離を保ちつつ移動することが不可欠である。また、障害物という環境が変わることでエージェントの振る舞いがどのように変化するかも考察する。

6. 環境設定

エージェントの環境は図3のようになっており、55*55のマスの中で50体のエージェントが移動できるようになっている。移動する方向は上下左右の4方向をランダムに分ける。移動する先にエージェントがいる場合はその場で停止する。

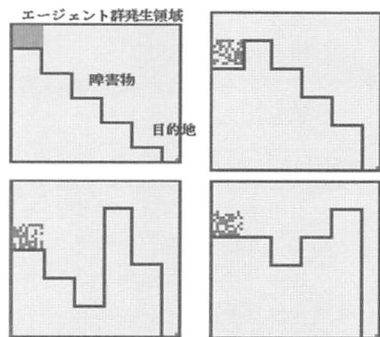


図3 アメーバの行動環境

エージェントの適応度は式(1)を用い目的地までの距離により評価される。

$$\text{fitness} = \sqrt{(x - px)^2 + (y - py)^2} + \frac{y}{y} \quad (1)$$

ここで座標(px,py)は目的座標(x,y)はエージェントの座標、yはy方向の抑制パラメータである。

7. シミュレーション実験

遺伝的アルゴリズムの適用は

- ① 行動の数値は各エージェントの構築時に決まる。
- ② 1000ステップを10回を1世代とする。
- ③ エリート選択により評価の高い個体を5体保存する。
- ④ 交叉は、一点交叉を評価が低いエージェントをランダムに選び行う。
- ⑤ 突然変異は、5%の確率で一番評価の低いエージェント2体に起きる。片方は新しく、もう片方は遺伝子座の一部が変異する。
- ⑥ 1000世代終了までこれを繰り返す。

初期状態から図4に示すように徐々に目的地へ移動するエージェント群が見られる。

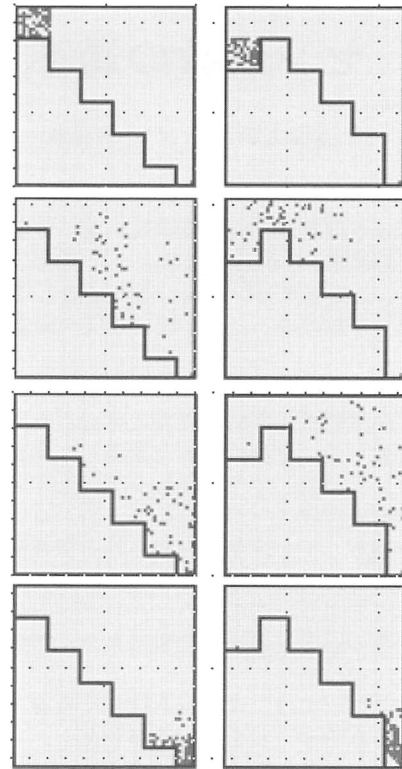


図4 シミュレーション実験

遺伝的アルゴリズムを適用することにより各エージェントの行動が近似していることが分かった。

8. おわりに

本研究では、アメーバの運動をモデルに組織的行動の構築を試みた。ここでは、ゴールまでの距離とy座標の位置により評価を与え行動の生成を行った。これにより個体間でのまとまりはなかったが辿る経路は近似しているため、個体間の距離を評価に組み込むことでよりアメーバ様運動に近づくと考える。また、階段状の障害物を降りるという目的が達成されていないためこれからの課題となっている。

改善点として、BOX2Dと呼ばれる物理エンジンを用い、「重力」を定義することで解決すると考える。また、細胞性粘菌にみられる走性性を参考に各個体に協同性を生み出し、個体同士の集団行動による相互作用を利用することで系として効率よく目的を達成できると考える。

参考文献

- [1]都甲潔、江崎秀、林健司、上田哲男、西澤松彦 著 「自己組織化とは何か」第2版
- [2]図1 「原生物の採取と観察」 <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/databook/m&m/2003/index.html>
- [3]図2 「動く細胞と場のクロストークによる秩序の生成」 http://sci-tech.ksc.kwansei.ac.jp/d_biosci/cross-talk/index.html
- [4]工藤雅則、横井浩史、嘉数侑昇：場形成情報を用いた粘菌の組織的行動モデル