

マーカー型アリ群知能

米澤保雄[†] 松田浩^{††}

近年では電子機器の小型化や精密化に伴い、従来では専用機器であったものを複数の機能を有する多機能機器への展開が進歩している。このような多機能機器化はシステム全体の複雑度を従来に比べて飛躍的に増大させており、その複雑度の増大が工学システム構築の困難さを生むにまで至っている。このような一つのシステムへの機能集約の方法論に対する対抗策は分散型であり、その自然界でのモデルは行動型知能と呼ばれる群知能である。本論文ではアリ集団の集餌行動をモデルとして、その集餌行動を形成する行動ルールの抽出並びにシミュレーションによる知能制御性の検討を行った。更に、アリ行動に伴うフェロモンのマーカーを集団全体の共有情報として付加する事が、集餌行動の効率性を向上させる事をシミュレーションによって明らかにした。

Swarm Intelligence Generated with Ants Behavior by Marking Action

YASUO YONEZAWA[†] and HIROSHI MATSUDA^{††}

At recently, function of several machine are in progress against multiple mechanism in according to micro- and restriction of several devices. These multiple-function machinization are generated to increase the structural complexity of machine devices. For the increased of structural complexity, more multiple functional systems are difficult with construction for large system complexity. The problem driven with increased complexity for concentrating of functional devices are solving with parallel distribution of several multiple functional devices. In this paper deals with the group collective intelligence at population dynamics generated with behavior rule and communication of individual ant, we presented that the marking by ants behavior are effected as the determination factor of total action plane.

1. はじめに

集団挙動を持って社会を形成しているアリ、蜂並びに魚類や鳥類などは一個体では高度な知能を持っておらず、本能や反射行動に基づく学習で行動を起こす生物である¹⁾。

しかしながら、これらの生物の集団挙動全体の観察からは知能的と判断される動作を示し、行動型知能を持つ生物として知られている。

本論文では、以上に述べた様な個々の生物個体では知能性を持たないが、集団としての社会性知能を有する生物集団の知能(群知能)生成に言及する。本研究では、大規模な巣造営や運営を成している代表としてアリに着目し、アリ行動アルゴリズム化とその制御と

目されるフェロモンなどによるマーキングの効果について検討して、分散型知能生成の基礎を抽出することを試みる。

既に、我々は蜂の集密行動や巣分け挙動をモデルとした分知能を検討し、蜂巣内の情報伝達のダイナミクスが「集密場所」や「巣分け」の高速な判断を行うという創発機能を呈することを明らかにしてきた経緯を持つ^{2),3)}。過去の研究では蜜蜂が持つ行動ルール並びに情報伝達の時間的な配置が蜂行動の次期判断を得る情報処理を高速に行えることを示したが、本研究では、アリの統制が取れた、効率的な集団挙動をモデルとして、その知的な集団制御を生成するアリ集団モデルからアリ型群知能の生成機構を抽出し、更に、アリ行動におけるマーキング動作がいかなる効率化を成すかについて言及する。我々の研究はロボット集団の分散型知能制御を目指しており、その基盤となるための集団を構成する個々のロボットが必要とする制御命令のモデルが得られる事を示す。

[†] 茨城大学工学部システム工学科

Department of Systems Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University

^{††} 茨城大学大学院理工学研究科システム工学専攻

Major of Systems Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

2. アリの行動

高等動物などは多くの機能を一個体に集約するように発展していると見受けられ、その典型的な機能システムは知的で高度な情報処理を行っている複雑構造としての脳である。それに対して、社会性昆虫などでは、個々では高度な知能性を示すことはないが、集団挙動によって高等動物などに匹敵する知能性を呈するという分散型知能である。社会性昆虫が集団挙動によって知能性を呈することは動物行動学の分野で広く知られるが、その知能性の生成は集団を構成する個体の行動によるものである。本研究では、アリ集団挙動の既知の知見から個々のアリの行動を抽出し、行動ルールとしてアルゴリズムを構成する。

2.1 アリの集団挙動

様々な社会が各々役割を持つことで成り立っているように、社会性昆虫も同様にそれぞれの個体が分担した役割に沿って行動する。本項では、アリ集団の挙動をモデル化し、集団になることで知能性を生成する各々の行動ルールに着目する。

アリが集団を形成する利点は、数の効果、役割分担、相互利他などが既に考えられている⁴⁾。

(1) 数の効果

数の効果は個体数の増加によって作業時間を短縮するためである。ただし、全てのアリが最初から一斉に同様の行動をとるのではない。これは役割分担や利他行動が観測されている事実から理解できる。

(2) 役割分担

役割分担は、巣の内部において十分な母集合数を持つアリ集団において社会体制が整うことで主に観測される。集団の数が少ない段階においては特に限定した行動をとらず必要に応じて様々な行動パターンをとる。巣が成長すると各アリがそれぞれ自身の行動に主体となるパターンを設けるようになる。

(3) 利他行動

次に利他行動とは行為者の損失のもとに受け手に利益をもたらす行動のことを指す。更にこれは受け手の得る利益が行為者側にかかるコストを上回ることで相互作用する事で両者とも利益を得ることになる。

以上のようなアリの集団に見られる挙動の特徴⁵⁾をモデル化する。アリの挙動から学ぶことを考え、主要な行動パターンの一つである採餌行動⁶⁾に着目した。アリが巣を離れ未知の領域を探索し、餌の発見(目的)を満たすと次には探索行動からその餌を巣まで運ぶ帰巣行動に移る。この一連の動作が繰り返されていくと探索中のアリが次第に列を作り、巣と餌場を結ぶ輸送

経路が生成されると考えられる^{7),8)}。この採餌行動におけるアリの行動ルールは次の2つの方法が挙げられる。1つめはフェロモンマーカ―として知られる間接的な情報マーカ―を用いる方法である。このマーカ―を探索領域上に残しアリはマーカ―のある方へ向う傾向を示すと次第に集まる。2つめはアリ同士が探索中にであることでお互いの情報を直接比べ受け渡す方法である。この場合、探索領域上だけでなくアリが巣に戻ることで巣が情報センターの役割になるという見方であり、現に蜂群知能で検証している⁹⁾。

本研究において、各アリの持つ情報量、行動を決定するための条件を最小限必要なものだけに近づけるため前者のマーカ―を用いるパターンについて言及する。

3. モデルの条件

採餌行動をシミュレーションは以下の条件で行った。

(1) 巣に関する条件

- 探索領域の中心に巣を置く
- 初期探索アリと巣で待機する母集団に分ける
- 待機中のアリは帰巣した採餌アリに追従する
- アリの個体数は変化しない

(2) 餌に関する条件

- 餌場は複数箇所設置する
- 餌場が設置した場所から変化しない
- 餌場にある餌は集餌行動で減少する
- 餌場の餌が全部持ち去られると餌場は消滅する
- 餌場の設置は巣からの距離と置き方で決定される

(3) 行動ルールに関する条件

- 初期探索アリの行動はランダムを用いる
- マーカ―利用は餌場発見後とする
- アリは元いた場所(後ろ)へは動かない
- 自身の1歩先のマスのマーカ―の有無を調べる
- マーカ―のある方向を重視して移動方向を決定
- 距離を重視して移動方向を決定
- 各アリが探索領域を1歩進んだ状態を単位時間

移動方向決定に関しては、マーカ―使用モデルではマーカ―を、直接情報を受け渡すモデルでは巣と餌場の位置(距離と方向)を記憶しながら距離を、それぞれ比較して重み付けを行う。このとき情報源となるのは自身の近傍のみとする。

(4) マーカ―に関する条件

- マーカ―の置き方は間隔を取って置いていく
- 探索領域上に置いたマーカ―はなくならない
- マーカ―情報は同じマスに置くと加算する

(5) 接触による情報交換に関する条件

- 自身の場所と記憶している目標地の差で計算

4. データ

各アリが持つ行動ルールに基づき行動した分布とアリ集団が行動した分布の時間変化を比べる。パラメータに当たるものは前節に述べている通りである。ここではアリは未知の領域を探索することが前提とし、探索行動開始状態ではルールを持たない確率依存のランダムウォークモデルを利用した¹⁰⁾。アリが餌場を発見し、帰巢行動をとることによってマーカー等の情報源が利用される事としてシミュレーションを行った。餌場と巣の配置は、マップ中心が巣であり、(30, 30), (70, 30), (30, 70), (70, 70)の4箇所に餌場を設置した。なおマップは移動回数を濃度で表し、回数が多い場所程濃く表している。

4.1 ランダム行動による集餌行動の結果

初期の探索アリの移動は乱数列を用いたランダムウォークで決定する。「数の効果」の検討の為、そこで初期探索を行うアリが1匹が移動した場合と初期探索を行うアリが50匹の場合の移動範囲分布を図1に示す。配置は前述の通りで、5000回移動させた状態を示す。

4.2 マーカーを用いた採餌行動の結果

マーカーを利用した採餌行動のシミュレーションにおいても、1匹のアリが一度餌場を発見し巣に戻るまではランダムウォークで探索行動を行う。その後の過程は近傍に置かれたマーカーの量によってその頻度差を重みとする。マーカーの重みが大きい方に優先して移動する。マーカーの置き方も間隔を変更する事で移動分布に与えた影響を調べた(図2)。配置は前述の通りで、2500から3000回までの500回で移動した状態を示す。

4.3 接触による情報交換を用いた採餌行動の結果

アリ同士が探索中に接触した場合や帰巢により巣で待機しているアリに餌場の情報を伝えた場合の探索行動について検討するため、この行動ルールを用いた時の移動分布を示す(図3)。配置は前述の通りで、2500から3000回までの500回で移動した状態を示す。

4.4 行動ルールの変化による採餌行動への影響

時間経過に対する行動ルールごとの採餌回数の変化を図4に示す。

5. まとめ

群知能による制御は、従来の感覚器、データ解析、解析結果からの予測、駆動という制御系の流れを分散させることで単純な系となる。これが従来の複雑な系と同様な挙動をするには、本論文で検討してきた各ア

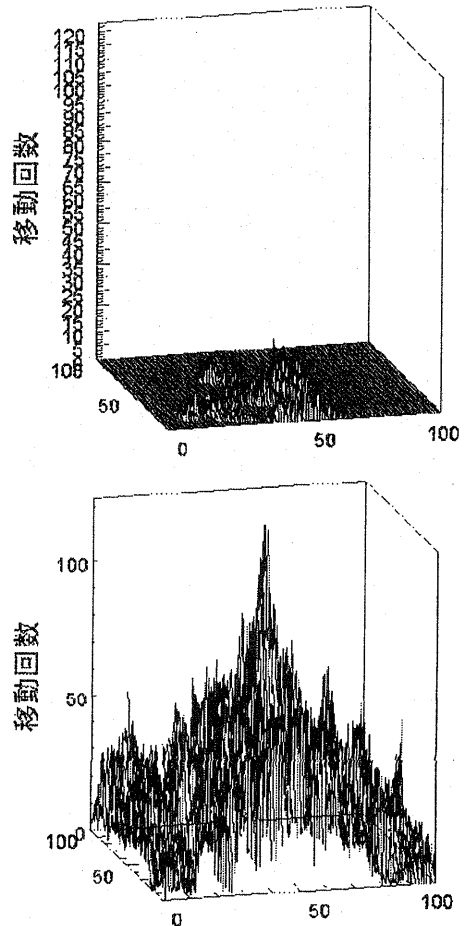


図1 (上)アリ1匹の移動範囲の分布
(下)アリ50匹の移動範囲の分布

Fig. 1 (Top) Distribution of moved area by single ant
(Bottom) Distribution of moved area by fifty ants

り間の相互作用が重要である。ここでは、相互作用とはマーカーによる又は、近傍アリへの直接の情報伝達である。

本シミュレーションの結果アリ集団が単に数を増やして探索を行うのではないことを図1より確認できた。探索アリの数を増やすという状態はランダムウォークが示すガウス分布への収束が早くなるだけであり、巣から近い部分を探索する点では有効である。ただし単位時間当たりの採餌回数に関し、採餌行動が繰り返されても向上することはない。これは餌場ごとの採餌状態も考慮することで確認できる。アリ集団が共通の情報源を持つことで発見した餌場に集まりやすくなることが図2より理解できる。興味深い点として、マー

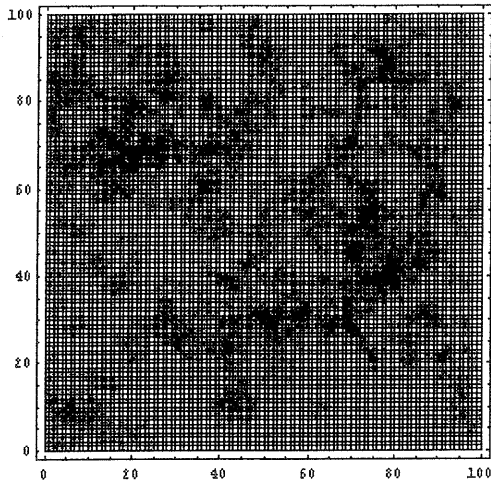


図2 マーカーを使用した探餌行動の移動分布
マーカー間隔5マスおき

Fig. 2 Distribution of moved area with marking
Marking distance 5

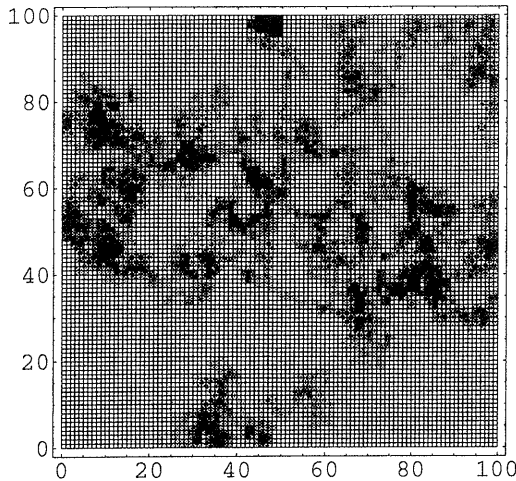


図3 接触時の情報交換を使用した探餌行動の移動分布
Fig. 3 Distribution of moved area with connection

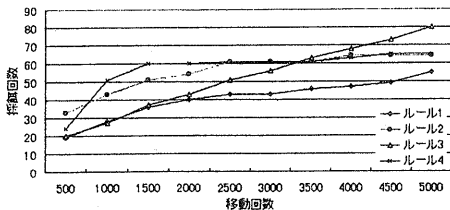


図4 行動ルールごとの採餌回数の変化
Fig. 4 Varing forage count in every rule

カーは使用する間隔と探索アリの数により集まり具合が変化するスケール依存性が図1及び図2から確認され、バランスを考慮しなければ有効とは言えない事が挙げられる。

共通な情報の利用が集団の行動をコントロールする上で重要である事は判明したが、先に述べたスケール依存性やアリ集合のタイミング等、本研究では十分に検討していない事の重要性を示唆している。本研究はルール主体の自律性を持った集団知能の構築が目的であるため、集餌によるエネルギーの移動に伴うエネルギーの消費をモデル拡張を今後検討する予定である。

謝辞 本研究の実施に当たり本学SVBL(複雑機能ロボットラボラトリー)の研究資金援助を受けた、ここに記して感謝の意を表する。又、群知能に関する議論を頂いたATR研究所の下原勝憲氏に記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 三浦宏文: 昆虫規範型ロボットと群知能, 計測と制御, Vol. 31, No. 11, pp. 1180-1184 (1992).
- 2) 中嶋正之監修: 複雑系の理論と応用, オーム社, (1998).
- 3) 米澤保雄, 田宮忠俊: 蜂の巣分け挙動を基礎とした創発性情報処理, 計測自動制御学会, Vol. 31, No. 1, (1995).
- 4) 今福道夫: 生物集団における群知能-動物集団の知能行動, 計測と制御, Vol. 31, No. 11, pp. 1185-1189 (1992).
- 5) Hoyt, E.: The Earth Dwellers, Adventures in the Land of Ants, Touchstone Books, (1997). (鈴木主税訳: アリ王国の愉快な冒険, 角川春樹出版会, (1997)).
- 6) 菅原研: 群れロボットの強調と群知能, 数理科学, Vol. 37, No. 5, pp. 69-75 (1999).
- 7) Collett, M., Collet, T. S., Bisch, S. and Wehner, R.: Local and Global Vectors in desert Ant Navigation, *NATURE*, Vol. 394, pp. 269-272 (1991).
- 8) Schweitzer, F., Lao, K., Family, F.: Active Random Walkers Simulate Trunk Trail Formation by Ant, *Biosystems*, Vol. 41, pp. 153-166 (1997).
- 9) Yonezawa, Y., Tamiya, T.: Emergent Information Processing in Collective Intelligence Modeled on Honeycomb Furcation, *Poster Presentations ALIFE*, pp. 163-168 (1996).
- 10) Kaye, B. H.: A Randomwalk Through Fractal Dimensions, *VCH*, chapter 5, pp. 171-178 (1989).
- 11) 長田正編: 自律分散をめざすロボットシステム, オーム社, (1993).