

蟻の採餌行動のモデルとシミュレーション

第 4 巻

—採餌行動の最適化への応用—

大和久正敬 (沼田 一道 助教授, 山本仁志 助手)

1. はじめに

哺乳類をはじめ、鳥、魚、昆虫など動物には多数の個体が集まり群れとして行動するものが数多く見られる。これらの集団的行動においては、往々にして統制のとれた目的的な振る舞い—群れにとって都合のよい行動パターン—の形成—が観察される [1]。本研究では特に、アリやハチ、シロアリといった個々は知能を持たない社会性昆虫が、周辺の局所的情報をもとに周囲の蟻や環境と相互作用しながら行動するだけで、集団全体として最適な餌場から餌を獲得するようになる (巣穴に最も近い餌場を見出す) 現象に注目する。

個々の固体 (アリ) が知能を持たないのに、群れ全体としては最適な採餌行動に導かれるというこの原理は「Ant system」と呼ばれ、組み合わせ最適化問題の発見的解法に応用されている [4]。簡単な (精度の低い) 局所探索を多数回、相互に影響し合うように動作させることで、精度の高い解を発見しようとする Ant system は、「メタ戦略」の 1 つとして活発に研究が進められている。Ant system はアリの採餌行動にヒントを得たフィクションであり、そこでのフェロモンの役割と現実のアリ集団におけるフェロモンの機能がまったく同じであるという保証はない。

2. 目的

本研究では、Ant System の基本となるフェロモンモデルの働きを現実の蟻の行動と解探索を行う蟻の行動のシミュレーションを通して明らかにする。まず現実の蟻が、「素早く」「多くの」餌を獲得するための行動原理を明らかにする。つぎに、「最寄り餌場を集団が発見する」場合の行動原理と条件を明らかにする。これらの実験を通じて、Ant System におけるフェロモンの条件設定について知見を得る。

3. Ant System

Ant System は、蟻の巣から餌までの行列ルートがフェロモンの情報によって定まるメカニズムにヒントを得た最適解探索の戦略であり [4]、 NP - 困難な組み合わせ最適化問題を解くのに利用されている。ランダムな位置 (解の要素) から出発して局所的な評価に基づき実行可能解を逐次構築していく構成的解法 (ランダム化欲張り法) を基本とする。この構成的解法を多数 (回) 実行し、得られたそれぞれの解の構成要素に、解の良さに対応した得点 (これがフェロモンである) を蓄積していき、そして、このフェロモンの情報によって修正された局所的評価を用いて解構築を繰り返し、基本となる構成法の制度向上を期待する方法である。

シミュレーションにおいては、個々の蟻 (構成法) を「エージェント」と呼ぶ。エージェントは自分の環境を知覚し (局所的評価を行い)、自分の目標を達成するような自律的な行動を取る。エージェントの行動は環境 (フェロモン) に影響され、環境 (フェロモン) はエージェントの動作により変化する。

る。

4. 蟻の採餌行動のモデル

蟻の採餌行動を忠実にモデル化し、シミュレーションを行って期待通りの動作をするかどうか確認する。ここでの蟻の振る舞いは Ant System とは別である。

図1に採餌行動のモデルを示す。

トレイル濃度とは、蟻が餌を発見してその際に地面にまくフェロモン（トレイルと呼ぶ）の濃さを表し、シミュレーション上のフィールドのある1点 x,y 座標にある今のトレイル濃度を表す式である。蒸発フェロモンとは、トレイルから蒸発した空間にあるフェロモンの濃さを表し、シミュレーション上のフィールドのある1点 x,y 座標にある今の空間フェロモン濃度を表す式である。時間 t におけるトレイル濃度を N_t とすると N_t の時間変化は式(1)で表現できる。ここで α はフェロモン蒸発率を表す。フェロモン蒸発率とは、シミュレーション1期ごとにフェロモンの初期値 ($coust=100$) から引かれていく数値を表す。次に時間 t における蒸発フェロモン濃度を D_t とすると $N(t)$ の時間変化は式(2)で表現できる。ここで D は座標 x,y のフェロモン量を表し、 $D_{x,y}$ の初期値 γ をフェロモン初期値パラメータとする。 β はフェロモン残存率を表し、フェロモン残存率は、1ターンごとにフェロモンの残る率を決定する数値である。

トレイル濃度
$$N_{x,y,t} = N_{x,y,t-1} - \alpha \quad (1)$$

フェロモン濃度
$$D_{x,y,t} = D_{x,y,t-1} + \frac{1}{4} \{ D_{x,y-1,t-1} + D_{x,y+1,t-1} + D_{x-1,y,t-1} + D_{x+1,y,t-1} \} \times \beta \quad (2)$$

4.1 蟻の局所的な動き

蟻の局所的行動ルールは [3] に従い、以下の通りとした。

探索：フェロモンや餌場を探してランダムに移動する

誘引：大気中のフェロモン濃度の高い方へ向かって移動する

追跡：トレイル*を巣と逆に辿っていく *トレイルとはフェロモンがまかれた道を指す

輸送：フェロモンを地上に分泌しながら餌場から巣まで餌を運ぶ

帰巣：フェロモンを分泌せず餌場から巣へ帰る

図2は上記のモデルをフローチャート化したものである。

5. 実験

5.1 実験1



図1 フェロモン誘引

t = 時間
 α = フェロモン蒸発率
 β = フェロモン残存率

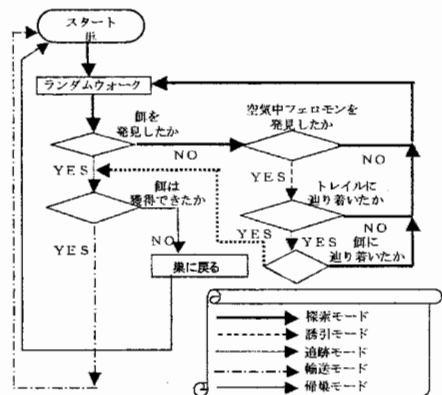


図2 採餌行動の流れ

第一の実験では、Ant Systemの基本であるフェロモンによるアリの採餌行動が可能かを実証するためモデルをシミュレータにより実装する。続いて、フェロモンの働きが、アリの集団行動のパターン生成を出現させるのかを確認する。実験にはMASシミュレータを用いた。(Multi Agent Simulator 日本語版 ユーザマニュアル, 2000) 図2, 図3はMASシミュレータ実行画面であり、多数に配置

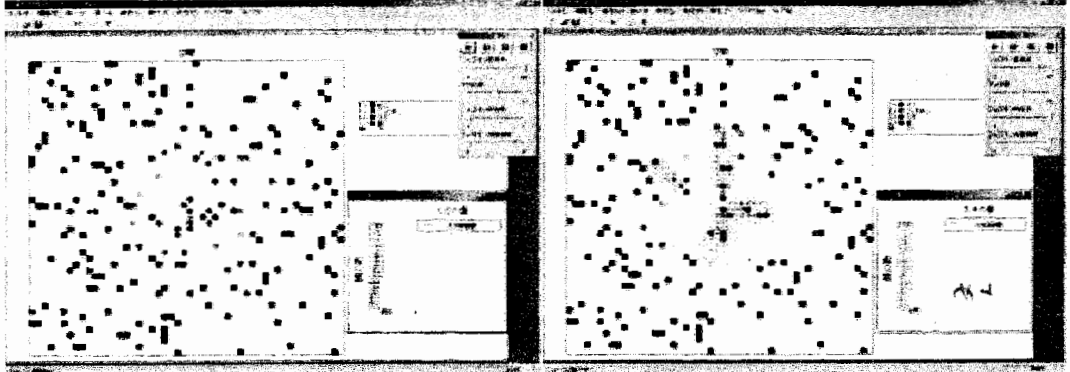


図2 フェロモンなし

図3 フェロモンあり

されているのが餌、その中心にあるのが巣、黒い点が蟻、図3で枝の様に見えるのがフェロモンである。そのフェロモンの周りに沿って広がるのが空間フェロモンを表す。右側にあるコントロールパネルによって様々な環境設定を行う事が可能である。

5. 1. 2 実験方法

Ant Systemの基本となるフェロモンモデルの実装を行い、フェロモンという概念が機能するか、フェロモンに誘引されるか、フェロモンがあるとないとで蟻達のうごきにはどのような変化があるかどうかを読み取る。

5. 1. 3 実験結果

フェロモンがあるときに、他の蟻はそのフェロモンを発見すると誘引されて餌場へと移動していった。そのため、餌を効率的に集める事ができた。しかし、ないときでは、自力で餌を発見しないといけないのでなかなか餌が発見できずに効率が悪かった。

図2は500ステップ*後の実行画面で図2がフェロモンを発生しない時、図3はフェロモンを発生させてるときの実験画面である。発生しているときとしていないときでは餌の残りの配置に大きな違いが図から読み取れる。*蟻が行動を1回行うことを1ステップとする。

結果から、Ant Systemの基本であるフェロモンによるアリの採餌行動が可能なが確認できた。

5. 2 実験2

実験1によりフェロモンの有効性が確認できたので、次にAnt systemの一番重要な最短経路への誘引を実験すべく、巣からの最短な餌場へすべての蟻が誘引されるモデルを製作、それと共に他の餌の配置を換えても誘引されるかを実験する。

5. 2. 1 実験方法

任意の異なる3つの餌配置を設定し、その配置の違いによる影響を調べる。最も近い餌場の距離は6とする。下の数値は巣からの距離を表し、yは餌場からの距離を表す。xの範囲は0~5である。

表1 実験結果

	$y=3x+6$	$y=1/2x^2+6$	$y=6x^{1/2}+6$
ステップ合計	1588	2005	1381
平均	79.4	100.25	69.05
偏差平方和	39571.2	44548.25	11092.35
分散	1978.56	2227.4125	554.6175
標準偏差	44.48100718	47.19547118	23.55031847

- ① {6.9.12.15.18.21. $y=3x+6$ }
- ② {6.7.8.11.14.19. $y=1/2x^2+6$ }
- ③ {6.12.14.16.18.20. $y=6x^{1/2}+6$ }

5. 2. 2 実験結果

②のように最短な餌場とその他の餌場が近いと分散が大きくなり、時間がかかりかかってしまうことがわかった。③のように最短な餌場から次に近い餌場が離れていると、分散や時間が他の配置よりも小さくなった。このことにより、最短な餌場からある一定の距離がないとフェロモンによる誘引が有効に機能しないことが実験結果により確認できた。

6. まとめ

Ant Systemの基本となるフェロモンモデルを実装し、群を観察すると結果としてすべての蟻が最適な餌場に集中するという現象が発見、確認することができた。

今回2つの実験（フェロモンの有効性、最短餌場への誘引）によりフェロモンによる最適解への誘引の有効性、最適解と準最適解との関係がシミュレーションで確認でき、結果からAnt Systemが適した問題、不適切な問題が確認できた。本実験では、ランダムウォークによって餌を集めるアリをモデル化し、フェロモンがあることによって集団行動のパターンが生成されることを確認した。最適解と準最適解がある一定以上の距離がある時の問題を解くうえでは、Ant Systemはとても適しておりこれは今後このアルゴリズムを使って解く問題に対して活用できる結果と考える。

7. 今後の課題

今回は最短な餌場への誘引しか実験で行っていないが、距離は関係せずに餌の価値が判り遠くの餌に価値があった場合にもAnt Systemの原理で発見、誘引出来るかを実験で行えれば、Ant Systemのさらなる可能性が広がると考える。

参考文献

- [1] E.ボナボー, G.セロラス: “群れが生み出す知能”, 月刊日経サイエンス, pp.18~26, 2000.
- [2] 榎構造計画研究所: “Multi Agent Simulator 日本語版 ユーザマニュアル”, 2000.
- [3] 中村 真里 車谷 浩一: “蟻の採餌行動の数理モデルについて”, 日本ファジィ学会誌, Vol. 11, No 4, pp.553-560, 1999.
- [4] 柳浦 睦憲, 茨木 俊秀: “組み合わせ最適化—メタ戦略を中心として—”, 朝倉書店, 東京, 2001.