

# 役割分担と利他行動を導入した軍隊アリの マルチエージェントシミュレーション

## The multi-agent simulation of the army ant by introducing division of roles and an altruism

道園 佳明

Yoshiaki Douzono

県立広島大学大学院

総合学術研究科経営情報学専攻

Email: y.zono0721 @ gmail.com

原 章

Akira Hara

広島市立大学大学院

情報科学研究科

Email: ahara @ hirosshima-cu.ac.jp

高濱 徹行

Tetsuyuki Takahama

広島市立大学大学院

情報科学研究科

Email: takahama @ info.hirosshima-cu.ac.jp

**Abstract**—This paper presents a multi-agent simulation inspired from army ants. There is the characteristic called an altruistic behavior in an army ant. For example, a bridge is covered using its body and action of the self-sacrifice of the chain construction which helps search of friend's food is seen by passing other ants to the opposite shore. The action was mounted using the agent who took in the ecology of the army ant. In addition to research, division of roles was introduced conventionally, and the still more efficient action was shown. The purpose of this study is to understand this biological behavior by creating a computer simulation.

### I. はじめに

マルチエージェントシミュレーション (Multi-Agent Simulation:MAS) とは、複数のエージェントに同時進行的に各々のルールを実行させ、それらが相互作用することで現れる集合的なふるまいを分析するためのシミュレーション手法の1つである。この手法を用いて、予想される動きをシミュレーションさせ、大規模な交通管理や災害避難誘導などのシステムの改良に利用した例もある [1]。このように実際の人を用いて実験するのではなく、シミュレーションにより状況を分析し、解決困難な問題に対処している。軍隊アリには利他行動と呼ばれる特性がある。例えば、自らの身体を使って橋をかけ、他のアリを対岸に渡すことで、仲間の餌の探索を手伝うチェーン構築といった自己犠牲の行動が見られる。しかしそのメカニズムは解明されていない。マルチエージェントシステムを用いて、軍隊アリの利他行動とみられる挙動が見られたのでここに報告する。

### II. 環境設定

#### A. シミュレーション環境

マルチエージェントシミュレーションシステムを作成するために Swarm ライブラリを用いた。これは

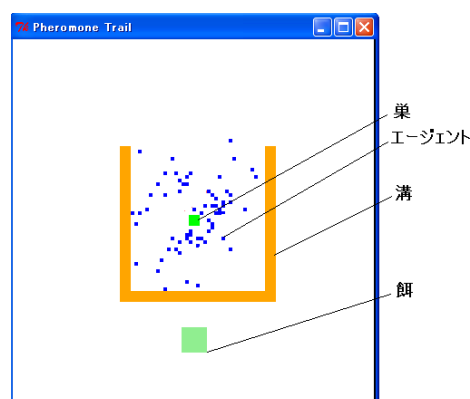


図 1. シミュレーション環境

Objective-C または Java 言語で利用することができる。本実験では Swarm ライブラリを用い、既存の論文 [2] と同じ環境に構築した。

図 1 はシミュレータのスクリーンショットである。X 軸に 100 マス、Y 軸に 100 マスの 2 次元平面環境である。中央に巣を配置し、そこからエージェントを生成する。巣の周りに溝を配置し、溝は通行不可のマスとして定義した。なお溝は利他行動を行うことで通行可能となる。

#### B. フェロモン

フェロモンは分泌されると蒸発し拡散する。このようにしてフェロモンを分泌したアリの近くに他のアリが進むことを促進させ、遠いアリは引き続き餌の探索に当たらせる仕様とした。なお、餌を発見したエージェントがフェロモンをまく。

$space(x, y, t)$  をある地点  $(x, y)$  における  $t$  ステップ目の space フェロモン濃度であるとする。すると  $t+1$  ステップにおける  $(x, y)$  のフェロモンの拡散による濃度変化は式 (1) で表すことができる。 $ground(x, y)$  は  $(x, y)$  における ground フェロモン濃度である。蒸発による

Space フェロモン濃度変化を式 (2) に示す．また， $DR$  は拡散率であり， $ER$  はフェロモン蒸発率である．

$$\begin{aligned} Space(x, y, t + 1) = & Space(x, y, t) \\ & + DR\{Space(x, y + 1, t) \\ & + Space(x, y - 1, t) \\ & + Space(x + 1, y, t) \\ & + Space(x - 1, y, t) \\ & - 4(Space(x, y, t))\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Space(x, y) = & Space(x, y) + \\ & (ER \times ground(x, y)) \end{aligned} \quad (2)$$

### C. 軍隊アリの状態

シミュレーション内で軍隊アリを再現するために 3 つの状態を生成した．

- Search** 餌を探索している状態．巣と離れた方向に進む条件により Altruism 状態となり，餌を見つけると Return 状態となる．
- Return** 餌を巣へ持ち帰る状態．巣へ戻ると Search 状態となる．
- Altruism** 利他行動をしている状態．条件により Search 状態となる．

### D. 餌探索のアルゴリズム

#### (1) 餌の探索

周囲 1 マスに餌があるか探索する．餌があれば Return 状態へ遷移する．

#### (2) フェロモンの探索

周囲 2 マスにフェロモンがあるか探索する．フェロモンがあれば (4) に進む．なければ (3) へ進む．

#### (3) 他のエージェントの探索

周囲 2 マスに他のエージェントがいるか探索する．他のエージェントが  $n$  以上いれば (4) へ進む．それ以外は (7) へ進む

#### (4) 溝の探索

周囲 1 マスに溝があるか探索し，条件によって利他行動を行う．Altruism 状態へ遷移する．条件を満たさない場合 (5) へ進む．

#### (5) フェロモン情報に基づき移動する

フェロモンの値が高いマスへ進み (1) へ進む．周囲にフェロモンがない場合，進む予定のマスに他のエージェントが溝があった場合は (6) へ進む．

(6) ランダムなマスに溝や他のエージェントがいないことを確認し，そのマスへ進み，(1) へ進む．なお，その方向に進む確率を設定した．そうでなければ，進むことの可能なマスへ進み，

(1) へ進む．また，周囲のマスが他のエージェントが溝のみの場合はその場に停止する．なお，反復した際に周囲のマスが他のエージェントが溝が無いマスが 1 つでもある場合は，解除されランダムウォークを行う．

### III. 利他行動の条件

本シミュレーションでは，巣と餌場の間に溝のある環境を設定し，その溝の上で自らがチェーンの一部になることを利他行動と定義する．アリが利他行動をとるための条件として，以下の 4 通りの方法を考え，各方法による餌の探索効率やエージェント群の振る舞いについて検証する．

方法 1 近傍状況判断による利他行動

方法 2 フェロモン判断による利他行動

方法 3 Lioni の公式による利他行動

方法 4 役割分担を導入した利他行動

次に 4 手法を以下で説明する．

#### A. 近傍状況判断

1) 利他行動の参加条件:

- 餌を探索するエージェントは周囲 1 マスに溝があり，かつ周囲 2 マス内に他のエージェントが  $n$  以上いると利他行動を始める．

2) 利他行動の終了条件:

- チェーンの一部となっている状態で周囲 2 マスに， $n$  以下の他のエージェントを感知できなかった場合，チェーンから抜ける．

#### B. フェロモン判断

1) 利他行動の参加条件:

- 餌を探索するエージェントは周囲 1 マスに溝があり，かつ周囲 2 マスにフェロモンを感知すると利他行動を始める．

2) 利他行動の終了条件:

- チェーンの一部となっている状態で周囲 2 マスにフェロモンを感知できなかった場合，チェーンから抜ける．

#### C. Lioni の公式

利他行動のメカニズムについて Arnaud Lioni は実際の軍隊アリを用いて実験を行い，利他行動に参加する確率と離れる確率を導いた．それを起用した手法である．なお  $C$  は定数， $X$  はチェーンに参加しているエージェントの数を示す．この公式はチェーンに参加しているエージェントの数が多ければ，チェーンに参加しやすくチェーンから離れにくいという点が特徴である．

1) 利他行動の参加条件:

$$P_e = C_{e_0} + \frac{C_{e_1}X}{C_{e_2} + X} \quad (3)$$

2) 利他行動の終了条件:

$$P_s = C_{s_0} + \frac{C_{s_1}X}{C_{s_2} + X^v} \quad (4)$$

#### D. 役割分担

軍隊アリは狩りの際、役割分担を行う。その特性を用いた提案手法が役割分担による利他行動である。これは巣の周りにメジャーエージェントと呼ばれる、列を作る役のエージェントを配置し、餌の探索と利他行動を行う役のマイナーエージェントを餌の探索へ導く。シミュレーションにおいて、以下のようにエージェントに役割分担を行った。

##### メジャーエージェント

フェロモンをまきながら移動し、マイナーエージェントをひきつけ、集団で餌を探索させる。餌を見つけても巣へ持ち帰らず、マイナーエージェントの誘導を続ける。また、利他行動は行わない。

##### マイナーエージェント

ランダムウォークにより餌を探索する。フェロモンが周囲1マスにあれば、影響されてフェロモン量が多いマスへ進む。餌を見つくとフェロモンをまきながら巣へ持ち帰る。また、条件により利他行動を行う場合がある。

1) 利他行動の参加条件:

- 餌を探索するエージェントは周囲1マスに溝があり、かつ周囲2マスにフェロモンを感知すると利他行動を始める。

2) 利他行動の終了条件:

- チェーンの一部となっている状態で周囲2マスにフェロモンを感知できなかった場合、チェーンから抜ける。

#### IV. 直進性の導入

提案手法におけるランダムウォークは他の手法と異なり、方向性をもつ仕様とした。これは軍隊アリの直進性を表現している。つまり進行方向を考慮し、エージェントに対し、前方3マスの中からランダムで選択し、進む場所を確定する。図2は従来のランダムウォークの例で図3は提案手法のランダムウォークの例である。矢印の方向に進んで来たエージェントの次の進むマスは塗られたマスである。なお、この塗られたマスへそれぞれ進む確率は同じである。

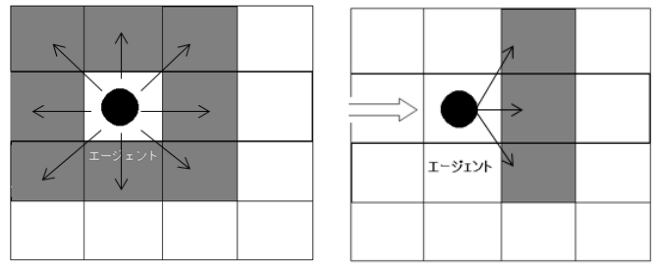


図2. ランダムウォークの例1 図3. ランダムウォークの例2

#### V. 実験及び考察

エージェントの数を100とし、餌49個を全て巣に持ち帰るのに、Step数がどれ程必要か検証する。なお実験は各々の手法で5回試行する。図4、図5は実行画面の様子である。表Iは実行結果を示す。

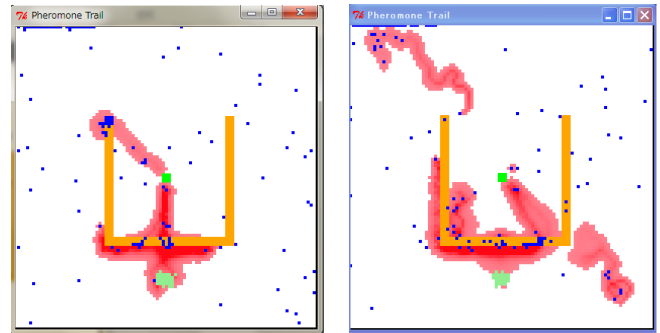


図4. 方法2の挙動の様子 図5. 方法4の挙動の様子  
表I  
全ての餌を採り終えるSTEP数

利他行動条件	最良値	最悪値	平均
近傍状況	1008	2088	1259.0
フェロモン	1017	1149	1074.2
Lioni	849	1255	1088.2
役割分担	582	905	712.0

表1より、役割分担を導入した利他行動が最も効率良く餌を探索することが分かった。従来研究では、フェロモン判断による利他行動が最も良いとされていた。しかしこの方法では、フェロモンはエージェントが餌を持ち帰るときだけ分泌されるため、餌の探索の際利他行動が行われなかった。役割分担を導入した方法は、探索中にフェロモンを分泌することで、その問題を解消し、餌の発見前から利他行動を誘引した。よってこのような結果が得られた。

次に時間経過と共に、利他行動がどのくらい行われているか説明する。図6から図9はそれぞれ近傍状況判断による利他行動、フェロモンによる利他行動、役割分担による利他行動、Lioniの公式による利他行動の時間経過と共に利他行動をしたエージェントの数を示している。

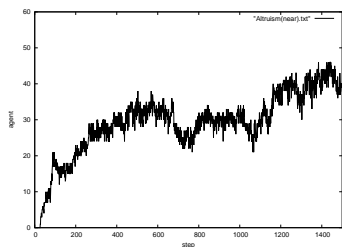


図 6. 近傍状況判断による利他行動

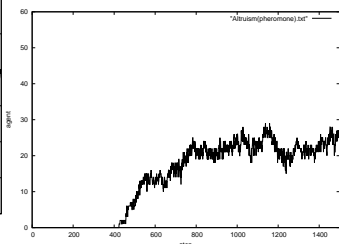


図 7. フェロモンによる利他行動

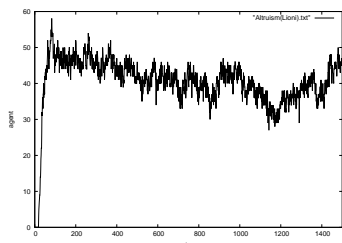


図 8. Lioni の公式による利他行動

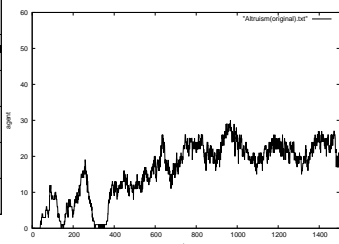


図 9. 役割分担による利他行動

近傍状況判断はシミュレーションが始まるとすぐに利他行動を始めたことが分かる。利他行動をするエージェントの数が右肩上がりをしていくが、中盤の 1000Step あたりで下がっている。これは、それまで巣と餌場を繋ぐ道が最短経路ではなく、少しずれた場所にチェーンを構築しており、これを最短経路へ修正したためである。近傍状況判断による利他行動の場合は、様々な場所で利他行動をしているため、多くのエージェントが利他行動を行っており、時間経過と共に最適な場所にチェーンを構築するということが分かった。

近傍状況判断による利他行動に対しフェロモンによる利他行動の場合は利他行動するまで時間が掛かっている。餌を見つけフェロモンを分泌しなければ、利他行動ができないからである。また利他行動を行っているエージェントの数はおよそ 20 前後で安定している。フェロモンによる利他行動の場合は、巣と餌場を繋ぐ最短経路でチェーンを構築している場合が多い。そのため 1 つのチェーンの大きさは、エージェントの数が 20 前後でも有効だと言える。

Lioni の公式による利他行動は他の手法と大きく異なった結果となった。シミュレーションが始まると、エージェントは四方八方に移動する。その移動した先に溝があれば式 (2.1) の確率でチェーンになる。そのため多くのチェーンを構築している。巣と餌場を繋ぐチェーンが構築されても、他の場所にチェーンを構築している様子が見られた。

役割分担による利他行動の場合は、始めに大きな波がある。メジャーエージェントのフェロモンの影響を

受け利他行動を始めるエージェントがいたが、そのフェロモンはその場に長い間漂っていないため、チェーンを構築した後すぐに崩れた。しかししばらくすると巣と餌場の間にチェーンが構築され、フェロモンによる利他行動と同じ数値に安定した。

## VI. おわりに

本研究により、軍隊アリの生態を取り入れると、軍隊アリに似たような挙動を示すことが判明した。また 4 つの手法において、それぞれ最短経路を構築する確率は異なるが、巣と餌場をつなぐ最短経路の構築に成功した。これは軍隊アリが最終的に最短経路に集まることを示している。つまり、シミュレーションではいくつかのグループにより利他行動が行われているが、最終的にグループに属しているエージェントの数が多いうグループに、他のグループが吸収されてしまうという現象が起こった。これが軍隊アリの利他行動のメカニズムの要素でないかと考えられる。

今後の課題として餌の動的変化など、自然界の軍隊アリが生息している環境を設定することで更なる利他行動のメカニズムの解明に繋がりたい。

## 謝辞

本研究にあたって、丁寧にご指導、ご教授頂いた県立広島大学経営情報学部市村匠准教授に深く感謝致します。また、広島市立大学情報科学部知能システム研究室の方々には研究に対する意見をいただきました。そして研究室で有意義な時間を過ごせたことを心より感謝しております。

## 参考文献

- [1] 中島悠, 椎名宏徳, 山根昇平, 山本晃成, 石田亨, 大規模マルチエージェントシミュレーションのためのプラットフォーム構築, AWS User Group - Japan2004,2004
- [2] Hiroyuki Ishiwata, Nasimul Noman, and Hitoshi Iba“ Emergence of Cooperation in a Bio-inspired Multi-agent System”, The Japanese Society for Artificial Intelligence 2010, pp 364-374, 2010.
- [3] レイ・ノース, アリと人間, 晶文社,2000
- [4] A.Lioni,“ Chain formation in oecophylla longinoda”, Journal of Insect Behavior, Vol.41, No.5, pp.678-696,2001

## 問い合わせ先

〒 734-8558  
 広島県広島市南区宇品東一丁目 1 番 71 号  
 県立広島大学大学院  
 総合学術研究科経営情報学専攻  
 道園 佳明  
 Email: y.zono0721 @ gmail.com