

軍隊アリシステムにおける利他行動による 探索空間の分割とエージェント数の関係に 関する一考察

The Observation for the Relation between a Division of the Search Space and the Number of Agents by Altruism Behavior in Army Ant System

上本 拓也

Takuya Uemoto

県立広島大学大学院

総合学術研究科経営情報学専攻

Email: yslius7221@gmail.com

市村 匠

Takumi Ichimura

県立広島大学

経営情報学部経営情報学科

Email: ichimura@pu-hiroshima.ac.jp

原 章

Akira Hara

広島市立大学大学院

情報科学研究科知能工学専攻

Email: ahara@hiroshima-cu.ac.jp

Abstract—An army ant is known to perform the altruism behavior that sacrifices its own benefit and aims the best benefit of group. Such a new ethology is the scientific and objective study of animal behavior. Especially, army ant based multi agent system employs the swarm intelligence technology. In this system, the agents build the bridge using thier own bodies on the obstacle such as a ditch. We find the characteristic pattern that the agents search for the shorter path from the nest to the food while other agents cross the bridge. In this paper, we observed ant behaviors around the feeding spots under the environment with 3 spots. According to the search, 2 or more groups were appeared and each group explored the subspace around the feeding spots. We explain the characteristic relation between the number of agent and the dividing search space.

I. はじめに

群知能とは、個々の知能レベルは高くないが、群れを形成し、群全体で1つの目標を達成するための高い能力を実現する現象をコンピュータを用いて模倣する知能技術の1つである [1]。その手法にはアリコロニー最適化 (Ant Colony Optimization; ACO) があるが [2]、利他行動など、一般的なアリとは異なる行動をとる軍隊アリが知られている。利他行動とは、他の仲間の利益のために自己を犠牲にする行動である。軍隊アリは穴や溝などの障害物を発見すると、自らの身体を用いて橋を形成し、目的を達成するための最短経路を探索する。その軍隊アリの利他行動を、マルチエージェントシステム (Multi-Agent System; MAS) を用いて再現した研究がある [3]。

MAS とは、1つの課題を複数のエージェントの相互作用により解決することを目的としたシステムである。

文献 [3] では、現実の軍隊アリに近い挙動を示す軍隊アリ MAS を構築した。従来の研究では、エージェントがまいたフェロモンをそのまま知覚するという条件が設定されていたが、文献 [3] では、フェロモンが揮発性の物質であることを考慮し、空中に蒸発した後拡散するものとした。エージェントは空中に蒸発したフェロモンを知覚することが可能になった。また、各エージェントに個別の役割を持たせることで、役割を持たない設定と比較して、解の探索効率が向上していた [3]。

従来の研究では、エージェントの利他行動に関して観察するために、エサ場は1つで実験が行われた。本研究では、複数のエサ場がある軍隊アリ MAS を構築し、エサの大きさの比率やエージェント数を変えながら実験を行った。多目的を含む空間を部分空間に分割して並列処理を行う問題に対する一手法を提案することを目的とし、複数のエサ場がある環境でのエージェントの挙動を観察した。エージェント数によって探索する集団の数や規模に変化が見られたのでここに報告する。

II. 軍隊アリ MAS

A. シミュレーション環境

Swarm ライブラリを Java 言語で利用し、文献 [3] と同じ環境を構築した。シミュレーションは図 1 のように、縦と横それぞれ 100 マスのフィールドで行われる。フィールドの中央には巣 (Nest) を配置し、エージェントは巣から出現する。巣の上側を除く 3 方向に、幅が 3 である溝を配置する。エージェントは溝を渡ることはできないが、他のエージェントが利他行動により橋 (Bridge) を形成することで、溝を渡ることが可能となる。巣から見て、溝を越えた先にエサ (Food) を配置し、

すべてのエサが巣に運ばれるとシミュレーションは終了する。

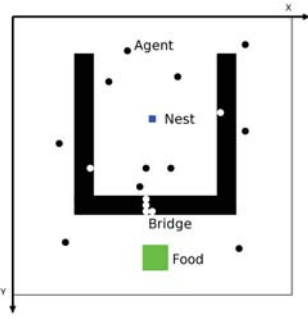


図 1. シミュレーション環境

B. エージェント

現実の軍隊アリがエサの探索活動において役割分担を行うことから、本シミュレーションでは役割分担を取り入れる。本シミュレーションは2種類のエージェント、メジャーエージェントとマイナーエージェント、に役割を割り当てた。

メジャーエージェントには、群全体を見守る役割を割り当てた。フェロモンをまきながらランダムウォークを行い、マイナーエージェントを引きつけながらフィールド内を探索する。エサを発見しても運ぶことなく、利他行動も行わない。

マイナーエージェントには、餌を運ぶ役割と橋を形成する役割を割り当てた。ランダムウォークで探索活動を行い、周囲1マス以内にフェロモンを知覚すると、もっともフェロモン量が多いマスへ進む。マイナーエージェントには探索活動において3つの状態があり、条件によって異なる状態へと遷移する。3つの状態と状態遷移の条件を以下に示す。

Search)

ランダムウォークで探索活動を行っている状態である。エサを発見すると *Return* 状態へ遷移する。次節で説明する利他行動を行う条件を満たすと *Altruism* 状態へ遷移する。

Return)

エサを持っている状態で、動いている間はフェロモンをまき続ける。*Return* 状態のエージェントはフェロモンの影響を受けない。巣の場所は知っているものとし、*Return* 状態ではフェロモンの影響を受けずに巣がある方向へ進む。進む方向に溝があり、進めない場合は溝を迂回する方向へ進む。巣に戻り、エサを離すと *Search* 状態になる。*Return* 状態では利他行動を行う条件を満たしても利他行動は行わない。

Altruism)

利他行動として橋を形成している状態である。この状態ではマスの移動はできない。次

節で説明する利他行動をやめる条件を満たすと *Search* 状態になる。

C. 利他行動

軍隊アリは溝や穴などの障害物に遭遇すると、自らの体を用いて穴を埋めて橋を形成する。自分のためではなく他の集団のための行動を本研究に取り入れた。本研究では利他行動を溝に入って橋を形成しようとする行動として定義した。エージェントが利他行動を始める条件とやめる条件について説明する。

エージェントが利他行動を始める条件を以下に示す。

- 1) エージェント k を中心とした 5×5 マス以内に、他のエージェントが n 個以上存在する。
- 2) 周囲1マス以内に溝がある。

以上の条件を同時に満たすと利他行動として溝に入るものとした。条件として周囲のエージェント数は考慮したが、フェロモン量は考慮していない。エサを見つける前はフェロモンがほとんどまかれておらず、フェロモンを条件とすると利他行動が行われなくなってしまいうためである。本論文では $n = 2$ とした。

エージェントが利他行動をやめる条件には、*Lioni* らによって定義されたアリが集団から抜け出す確率 [4] を用いている。この確率は集団が大きいほど抜け出しにくくなる。本研究ではこの確率を基に、エージェント i が利他行動をやめる確率 P_i を式 (1) のように定義する。

$$P_i = \frac{a}{1 + bX_i^2} \quad (1)$$

$$b = \min\{\eta(\log(\text{pheromone}_{(x,y)} + 1)) + \epsilon, 1\} \quad (2)$$

ここで a は周囲の状況に関係なく溝から抜け出す確率で本論文では 0.4 と設定し、 X_i は周囲にいるエージェント数である。 b はフェロモンに関するパラメータであり、 η は 0.125、 $\text{pheromone}_{(x,y)}$ は地点 (x, y) の周囲1マス以内で知覚できるフェロモン量の最大値である。周囲にいるエージェント数だけでなくフェロモン量に応じたパラメータを取り入れたのは、*Return* 状態のエージェントが近くにいる場合に利他行動をやめにくくするためである。これにより、*Return* 状態のエージェント付近の溝にエージェントによる橋が形成され、巣からエサまでのより短い経路を形成できると考えられる。

D. フェロモン

フェロモンは軍隊アリを含むほとんどのアリが用いるコミュニケーションツールである。そのため、軍隊アリ MAS を構築する上で、フェロモンの導入はもっとも重要な項目の1つである。フェロモンは揮発性の物質であるため、時間経過に伴って蒸発する。蒸発したフェロモンは一定の比率で周囲に拡散するものとし、エージェントは蒸発したフェロモンに影響を受けるものとした。

フェロモンは図2のような確率分布に基づいて拡散する。図3はフェロモンが拡散する方向と、それぞれ

の方向に対する拡散率を表しており、そのマスの空間は r_A 、上下左右のマスは r_B 、対角方向のマスは r_C である。それぞれのマスのフェロモン量にマスに対応する拡散率をかけることで、拡散するフェロモン量を表すことができる。それぞれの拡散率は、図2の立体的に表された確率分布の体積計算により $r_A : r_B : r_C = 0.788 : 0.043 : 0.010$ とした。フェロモンの蒸発量は、地上にあるフェロモン量に蒸発率 r_e をかけることで表している。フェロモンの拡散と拡散の更新式を以下に示す。

$$\begin{aligned} space_{(x,y)}(t+1) &= r_A * space_{(x,y)}(t) \\ &+ r_B (\sum_p space_{(i_p,j_p)}(t) - 4space_{(x,y)}(t)) \\ &+ r_C (\sum_q space_{(i_q,j_q)}(t) - 4space_{(x,y)}(t)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (x_{i_p}, y_{i_p}) &= \{(x, y+1), (x, y-1), (x+1, y), (x-1, y)\} \\ (x_{i_q}, y_{i_q}) &= \{(x+1, y+1), (x+1, y-1), \\ &\quad (x-1, y+1), (x-1, y-1)\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$space_{(x,y)}(t+1) = space_{(x,y)}(t) + r_e * ground_{(x,y)}(t) \quad (4)$$

$$ground_{(x,y)}(t+1) = (1 - r_e)ground_{(x,y)}(t) \quad (5)$$

ここで $space_{(x,y)}(t)$ は t ステップ目の地点 (x, y) の空間にあるフェロモン量、 $ground_{(x,y)}(t)$ は t ステップ目の地点 (x, y) の地上にあるフェロモン量、 $\sum_p space_{(i_p,j_p)}(t)$ は上下左右のマスから拡散してくるフェロモン量、 $\sum_q space_{(i_q,j_q)}(t)$ は対角方向のマスから拡散してくるフェロモン量を表す。

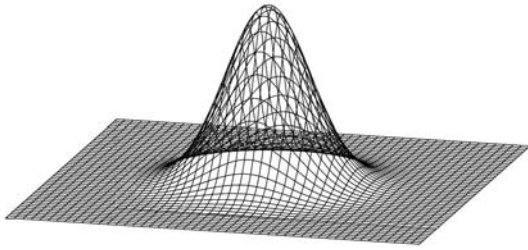


図2. 拡散率を求めるための確率分布

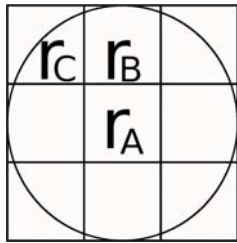


図3. 拡散する方向に応じたフェロモンの拡散率

III. 複数のエサ場を用いた実験

複数のエサ場を持つ環境で、利他行動を取り入れたエージェントが集団でどのように探索を行うかを観察するために実験を行った。

図4のように、フィールドを4個のエリアに分割し、そのうちの3個のエリアにエサを置く。エサが置かれたエリアをそれぞれ A, B, C とし、各エリアにいるエージェント数を検証する実験を行った。環境設定として、エサの大きさの比率とマイナーエージェント数を変更した環境を設定した。エサの大きさの比率に関して、 $(A:B:C) = \{(2:1:1), (1:2:1), (1:1:2), (4:2:1)\}$ の4通りの設定を行った。これは、エサの大きさや場所によってエージェントの集団の形成のしやすさを観察するためである。次に、マイナーエージェントの数には $\{30, 40, 50, 60, 80, 100, 120\}$ の7通りの設定を行った。メジャーエージェントの数は3と設定した。エージェント数によって形成される集団の数が増えるかどうか、すなわち探索空間の分割が行われるかどうかを観察する。

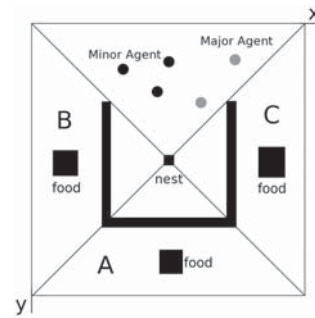


図4. 複数のエサ場とそれぞれのエサが置かれたエリア

IV. 実験結果

図5は実験結果の一部である。横軸はすべてのエサを運ぶまでのステップ数、縦軸は各エリアにいるエージェント数を表しており、このグラフから利他行動と集団行動の関係を観察した。

図5(a)(A:B:C=1:2:1)にあるように、エージェント数が30個の環境ではエージェントが集団として1つのエリアにとどまらず、フィールドを縦横無尽に歩いた。エサを発見したエージェントがフェロモンをまいてもエージェントが集まらず、利他行動による橋が形成されないため、集団での探索が行われなかったのではないかと考えられる。

エージェント数が40個と50個の環境では図5(b)(A:B:C=1:1:2)のように、1つのエリアを集団で探索する挙動が見られ、エサが大きいエリアにエージェントが集まった。図5(b)では、エリアCで利他行動による橋の形成が見られ、巣とエサの間に直線的な経路が構築された。図5(b)で示す試行ではエリアCのエサが一番大きく、他の試行でもエサが大きいエリアから探索が開始される傾向が見られた。

エージェント数が60個を越えると2つの集団が形成され、図5(c)(A:B:C=1:2:1)のように2つのエリアを同時に探索する挙動が見られた。図5(c)のエリアB、エリアCに利他行動による橋が形成され、巣とエサの直線的な経路が構築された。また、エリアBにはより多くのエージェントが集まり、大きな集団として探索

が行われた。エリア B のエサが他のエリアに比べて大きく、多くのエージェントをひきつけることができたためだと考えられる。

エージェント数が 120 個の環境では図 5(d)にあるように、3つのエリアにエージェントが集まった。すべてのエリアの溝で利他行動による橋が形成され、3つのエリアのエサが同時に探索された。

V. おわりに

複数のエサ場がある環境下で、エージェント数を変化させながらシミュレーションを行った。エージェント数が 30 個の環境ではエージェント数が少ないため、利他行動によって橋を形成しても維持することができず、すぐに消滅した。エージェント数が 40 個を越えることで巣とエサを直線的に結ぶ経路を構築できるほどの橋が形成された。これにより、エージェントはエサを効率よく運ぶことができるようになった。

エージェント数が 60 個を越えると 2つ、120 個を越えると 3つの集団に分かれ、探索フィールドを分割して探索が行われた。エージェント数の増加が集団数の増加と関係していることが分かった。また、2つの集団の形成に関して、エサが大きいエリアにはより大きな集団が形成されることが分かった。

集団の探索に関して、集団の中には利他行動を行うエージェントとエサを運ぶエージェントに分かれた。集団として効率良く探索を行うためには、それぞれの役割を持つエージェントが偏ることなく存在する必要がある。プログラムに特別な設定を施していないにも関わらず、エージェントが探索を行っていく上でこのような集団での探索が行われた。‘個’の挙動に明確な定義を与えなくても集団的な行動がシミュレーションを通して見られ、エージェント数という環境が集団の形成に影響を与えることが分かった。

今後の課題として、本論文で示した挙動のルール化を行い、ネットワーク上でコミュニティを形成するアルゴリズムを表した手法の提案などに適用していきたいと考えている。

参考文献

- [1] Beni, G., Wang, J.: Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems, Proceed. NATO Advanced Workshop on robots and Biological Systems, Tuscany, Italy (1989)
- [2] Dorigo, M.: Optimization, Learning and Natural Algorithms, Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano (1992)
- [3] Takumi Ichimura and Yoshiaki Douzono: Altruism Simulation based on Pheromone Evaporation and Its Diffusion in Army Ant Inspired Social Evolutionary System, Proc. SCIS-ISIS 2012, pp.1357-1362 (2012)
- [4] J.L.Deneubourg, A.Lioni, C.Derain: Dynamics of Aggregation and Emergence of Cooperation, The Biological Bulletin, vol. 202(2002)

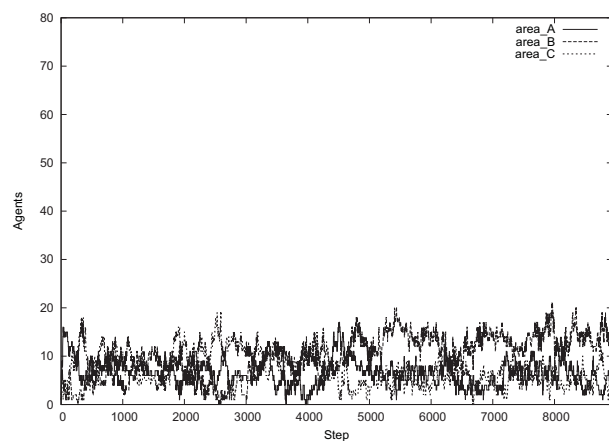
問い合わせ先

〒734-8558

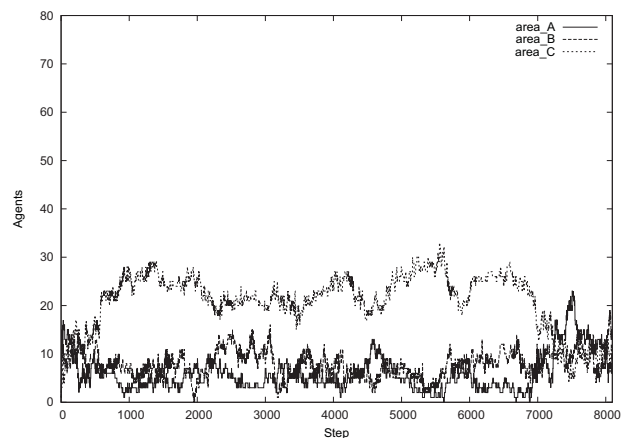
広島県広島市南区宇品東一丁目1番71号

県立広島大学経営情報学部経営情報学科

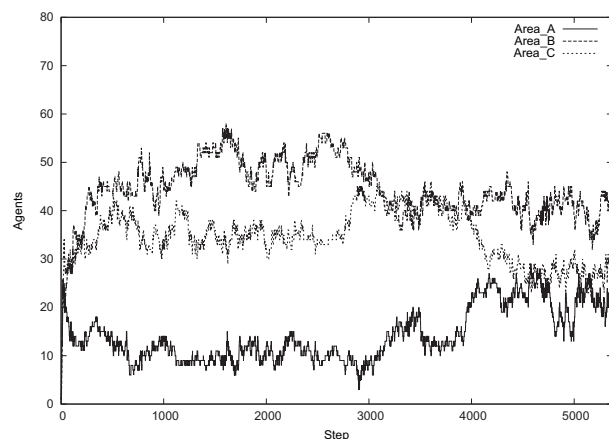
市村 匠



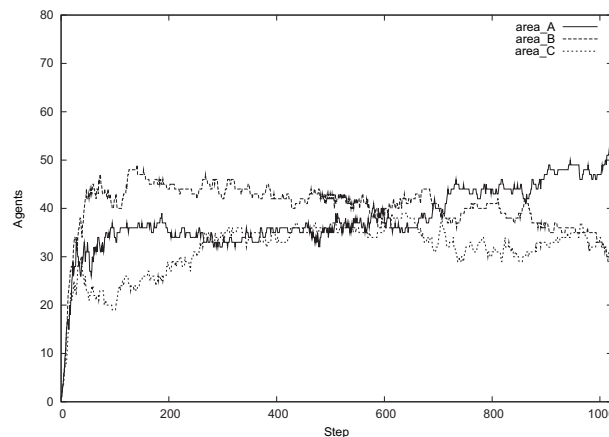
(a) エージェント数が 30 個, エサの比率 A:B:C=1:2:1



(b) エージェント数が 40 個, エサの比率 A:B:C=1:1:2



(c) エージェント数が 100 個, エサの比率 A:B:C=1:2:1



(d) エージェント数が 120 個, エサの比率 A:B:C=1:2:1

図 5. 実験結果