

# より安定的な移動マルチエージェント

## More Stable Moving Multi-Agents

塩谷 勇 †

Isamu Shioya†

### 1 はじめに

本稿では複数のエージェントの振る舞い(マルチエージェント)について挙動の解析を行う。複数のエージェントの振る舞いはエージェント間の局所的な相互作用が全体の振る舞いを決めるために解析が容易でない。本稿では各エージェントが自律的に周辺の状態に応じて確率的に移動する移動エージェントを仮定し、各移動エージェントが確率的であるが平均的に移動する状況の振る舞いについて報告を行う。

単一エージェントの振る舞い、ゲームの完全競争市場などの解明は、様々なモデルを仮定した研究が行われてきた。今日の科学の多くの成果は単一エージェントまたはその全く逆の完全競争市場を基礎としている。マルチエージェントのモデルの解析は、非線型の解析と類似点が多い一方で数値解析やモンテカルロ法などの理論計算の裏付けに基づいた解析も困難な上に、モデルの妥当性さえも疑問視されている。

この現状からマルチエージェントの挙動を、エージェント数が無限の極限として近似的に扱うアプローチが物理学など現象をミクロなモデル化からマクロな現象を解析する研究として行われてきた。本稿のアプローチはエージェント数が有限として境界条件を含めたより詳細な理論計算と実験から指数関数や多項関数の枠組みでなくてマルチエージェント固有の新しい特性が研究成果として期待できる。

統計力学で扱う現象は原子や電子などのミクロな振る舞いのモデルを仮定してマクロな振る舞いを統計の観点から解析する研究がされている。物理学に於いては Ising モデルが用いられており、セルの間の相互作用がある一定のセルの範囲に限定されたと仮定して単純化している。フラクタルやゲーム理論も相互作用が発点にある。これらの議論は指数関数と多項関数で記述する世界の関係のようにより本質的な議論をする上での近似であり本質的な論点を述べていない可能性がある。本稿ではベースのモデルとして、簡潔なモデルでオブジェクトの個数が少ない状況でのマルチエージェントの振る舞いの解析の出発点である。

すでにマルチエージェントの各エージェントが確率的に移動する状況でエージェント間に相互の作用がある場合の振る舞いについて Sen[1], Rustogi[2], 石塚ら [3] の先行研究があり、慣性(時間遅れ対応する)と協調の関係について absorbing 状態に至る経過時間を実験的に求める有用な結果が得られている。しかし、本稿はこれらのモデルとほんの少しの違いが全く目的の異なるモデルを表現しており、結果も異なる。

本稿ではマルチエージェントの安定的な振る舞いにつ

いて石塚ら [3] のモデルをわずかに変更し、マルチエージェントの協調時間の研究からエージェントに速度を与えることでより安定なモデルが存在することを理論計算と実験結果の両面から示す。

### 2 マルチエージェントのモデル

石塚ら [3] と同様に直線状のリソース  $[1, 2, \dots, n]$  上に各移動エージェントが配置されていると仮定する。各エージェントのリソース  $i$  からリソース  $j$  への移動確率  $p_{i,j}$  はウィンドウ幅  $w(w \geq 0)$  によって (2.1) の重み  $f_{i,j}$  を確率 1 で正規化したものとする。エージェントは同期して移動する。

$$f_{i,j} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j, r_i < r_j \\ 1 - \frac{1}{1 + \gamma \exp\left(\frac{\text{move}(r_i - r_j, i, j) - \alpha}{\beta(|i-j|^2 + 1)}\right)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

$r_i$  は各リソース上のエージェント数、 $\alpha, \beta, \gamma$  は定数。

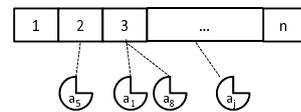


図 2.1 マルチエージェントのリソース。

ここでは  $\alpha = 5, \beta = 2, \gamma = 1$  とする。上記の重み関数は石塚ら [3] のモデルの変更であるが、全く異なる目的のモデルであり、完全に同期して動き続けること、確率的に左または右に平均速度  $\text{move}(r_i - r_j, i, j)$  によって移動することである。ただし、各エージェントが両端に達すると反転して進む。move は右に移動しているときは  $\text{move}(x, i, j) = s * x (i < j)$  or  $x (i \geq j)$ 。左の移動も同様に定義できる。この過程はランダムな方向の選択で Markov 条件を満たす。

### 3 3-3 モデルの解析

リソース数 3, エージェント数 3 でスピード  $s$  のマルチエージェントの状態は 10 通りあり(図 3.1)、136 通りの推移確率の計算から無限時間後の推移を計算した結果が表 3.2 である。ただし、 $w = 1$  とする。各状態からの

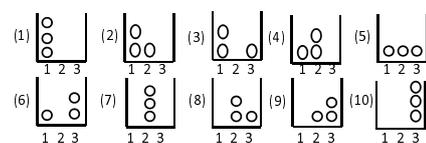


図 3.1 リソース 3, エージェント 3 のときの状態。

† 法政大学理工学部創生科学科, Hosei University

表 3.2 状態からの遷移確率 (理論計算)。

state	$s = 1$	$s = 3$
(1)	0.00183795	0.002380631
(2)	0.088910183	0.056893048
(3)	0.097921592	0.069179073
(4)	0.108320591	0.106450769
(5)	0.400416751	0.517587349
(6)	0.097921592	0.069179073
(7)	0.005602617	0.012605608
(8)	0.108320591	0.106450769
(9)	0.088910183	0.056893048
(10)	0.00183795	0.002380631

表 3.3 各セル上のエージェント数の平均と分散 (理論計算)。

speed	$s = 1$	$s = 3$
cell 1, mean $m_1$	0.9858363	0.9525033
cell 1, variance $v_1$	0.3986543	0.3116688
cell 2, mean $m_2$	1.028327	1.094993
cell 2, variance $v_2$	0.2267854	0.225818
cell 3, mean $m_3$	0.9858363	0.9525033
cell 3, variance $v_3$	0.3986543	0.3116688
resource, mean	1	1
resource, variance $va$	0.4120937	0.3447643

表 3.4 各セル上のエージェント数の平均と分散 (実験)。

speed	$s = 1$	$s = 3$
cell 1, mean	0.962867	1.00076
cell 1, variance	0.489426	0.460477
cell 2, mean	1.08247	1.10298
cell 2, variance	0.55276	0.568136
cell 3, mean	0.954667	0.896267
cell 3, variance	0.478662	0.441494
resource, mean	1	1
resource, variance	0.510227	0.49772

遷移確率をスピード  $s = 1$  と  $s = 3$  のそれぞれについて計算すると、表 3.2 なる。状態 (1) や (10) の確率は低く、最も安定している状態 (5) の確率が高い。表 3.2 から、理論上の各リソース上のエージェント数の平均と分散を求めると表 3.3 なる。

初期状態 (5) から初めて 1000 ステップまでの実験結果を表 3.4 に示した。エージェント数が 3 の平均を求めている理由からと推測されるが、理論的な計算と少し異なる上に、対称となっていない。なお乱数は Mersenne twister を用いている。

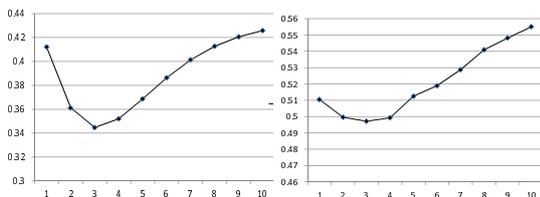
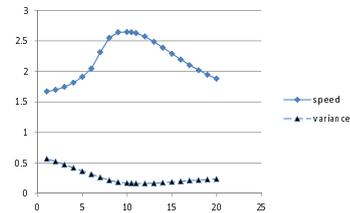


図 3.5 各スピードに対する分散 (理論と実験)。

理論と実験の両面から、 $s = 3$  の場合の方が分散が小さくなる ( $s = 1$  は実際の平均スピードが 0 に相当)。スピードが無くても、スピードがありすぎても、分散が大きくなり、適度な速度の場合に分散が小さくなる (図 3.5

は理論と実験から)。慣性  $\alpha$  に対して分散が最小にあるスピードを理論計算から求めた (図 3.6)。 $\alpha = 10$  付近で分散が最小になる。そのときのスピードも同じ付近で最大になるが、図から明瞭でないが少し差がある。

図 3.6 理論計算による  $\alpha$  に対する最小の分散 (下) と、それに対応するスピード (上)。

## 4 むすび

マルチエージェントの動作の解析を行った。各エージェントの移動がスピンとすると、分散とエントロピーが概ね同様な傾向を示すことから、確率的に移動するオブジェクトがスピンを持つ理由がより安定であるからとも推測できる。このスピンは方向がランダムな選択の場合にも、野球のボールのように同じ方向への回転スピードを持つ場合 (境界では反転すると仮定する) にも分散が小さくなる。従って、エージェントがランダムな動作で相互作用がある環境ならば自然な流れが発生してエネルギーを取り出せる可能性があり、熱力学の第 2 法則に矛盾するようになってしまう。実際の環境は宇宙空間のような超低温ならばより効果が期待できると推測されるが、この現象の観測の可能性を検討したい。鳥谷部ら [4] の研究ではランダムな動作を制御しており、相互作用を考慮していないが、本研究は自然な相互作用から発生する。本稿では閉じた境界のある系であるが、[2] と同じリング状の形状の場合の解析についても別の機会に報告をしたい。また、セルとエージェントが多いケース、 $w \neq 1$  のケースについての報告も別の機会にしたい。

## 参考文献

- [1] Sandip Sen, Shounak Roychowdhury and Neeraj Arora, Effects of local information on group behavior, Proc. 2nd Int. Conf. on MAS, AAI, 1996.
- [2] Sudhir K. Rustogi and Munindar P. Singh, Be Patient and Tolerate Imprecision: How Autonomous Agents can Coordinate Effectively, 6th IJCAI, 1999.
- [3] 石塚、岩沼、マルチエージェントシステム分散協調問題における時間遅れと知識量の関係、IEICE, D-I, J86-I, 2, 117-120, 2003.
- [4] S. Toyabe, T. Sagawa, M. Ueda, E. Muneyuki, and M. Sano, Experimental demonstration of information-to-energy conversion and validation of the generalized Jarzynski equality, Nature Physics, 6, 988, 2010.
- [5] I. Shioya and T. Miura, An Accelerated Coordination of Stochastic Multi-Agents by Moving Speed, International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), 2012.