

# 大規模エージェント・ベース・シミュレーションの 特徴的な挙動の解析

増田知昭 山田隆志 山本学 吉川厚 寺野隆雄 (東京工業大学)

## Analysis of Characteristic Behaviors in Large-scaled Agent-based Simulation

\*T.Masuda, T.Yamada, G.Yamamoto, A.Yoshikawa and T.Terano (Tokyo Institute of Technology)

**Abstract**— Agent-based simulation is employed to analyze various socio-economic systems. Some earlier studies suggest that the dynamics may depend on the number of agents, but quite few studies have investigated this issue. To tackle this, we take up the minority game and implement computational experiments to analyze whether and how increments of agents affect the system dynamics. Our preliminary results seem to have that under specific experimental setup the game efficiency depends on the number of agents.

**Key Words:** Agent-based simulation, Large-scaled simulation, Minority game

### 1 背景

エージェント・ベース・シミュレーション (Agent-Based Simulation: ABS) は統計などマクロな視点で集団を見る観点から、個々の主体に立ち返ってエージェントと呼ぶ個性を持った主体がどう振る舞うかに注目するシミュレーションである<sup>1)</sup>。

ABS は複数の主体が相互作用するモデルで用いられる。例えば交通システムで渋滞の解析を行う交通流のシミュレーションがある。ここで大量の車をシミュレーション上に再現しようとする、計算コスト等の技術的な問題が発生し、それに対してエージェント数などのパラメータの縮尺を変えてシミュレーションする場合がある。

しかし、ABS の大規模化に関する基盤技術の研究において、エージェント数の増加はシミュレーションに影響を与えることが示唆されている<sup>2)</sup>。

### 2 目的

本研究では ABS においてエージェント数の増加がどのような結果をもたらすのかを明らかにする。そして、エージェント数が ABS のパラメータとしてどのような位置づけであるかを探る。

そのためにエージェント数の異なるシミュレーション結果の解析を行う。ここではエージェント数とエージェントの持つパラメータの関係に注目する。エージェントの持つパラメータはエージェントの個性が規定する ABS において重要な要素である。そこで、パラメータの取りうる状態数がエージェント数より大きくなっていくモデルを考える。すなわち、エージェントの個性が多様化していく状況を考える。これによりエージェントの構成がシステムにどのような影響を与えているのかを明らかにできる。そのモデルとしてここではマイノリティ・ゲーム (Minority Game)<sup>3)</sup> を扱う。

また、エージェント数の目標は 1 億程度とする。

### 3 扱うモデル

本研究ではマイノリティ・ゲームを扱う。マイノリティ・ゲームとは、エージェントの集団において各エージェントが意思決定をし、少数派になったエージェントが勝者となり、利得を得るゲームである。エージェ

ントの意思決定はエージェントの持つ戦略表により決定され、この戦略表はゲームで勝者となった選択の履歴に対応している。

このゲームでエージェント数を  $10^k + 1$  ( $k = 1, 2, 3 \dots$ ) と増加させていき、エージェント数の増加によってゲームの挙動がどのように変化していくのかを観察する。

#### 3.1 ゲームの設定

エージェント数が  $2n + 1$  である集団がある。この集団では勝者の選択の履歴を共有する。履歴の長さ  $m$  は一定で、逐次更新される。ここでエージェントは二者択一をする。ただし、各エージェントは  $s$  個の戦略表を持つ。戦略表はある履歴に対して次の選択を規定したものである。戦略表には各々にスコアがあり、二者択一の際には戦略表の中で最もスコアが高いものを用いる。スコアはゲームの勝敗で決まる。勝者となれば用いた戦略表に  $+1$ 、敗者となれば  $-1$  とする。また、戦略表はゲームの開始時にランダムに与え、ゲーム中に変更はできない。更に、エージェントは同じ戦略表を複数持っていたとしてもよい。

また、ゲームの効率性を勝ったエージェントの割合とする。即ち、エージェント数を  $2n + 1$  とすると、効率が最もいいのは勝者が  $n$  の場合である。

#### 3.2 ゲームの流れ

ゲームでは  $(0, 1)$  の二者択一とする。ゲームの流れとしては、まずエージェントに履歴が与えられる。 $m = 3$  で直前までのゲームで  $0$  を選択したエージェントが  $3$  回連続で少数派だった場合、履歴は  $000$  となる。エージェントは自分の戦略表の中で最もスコアが高いものを選び、そこで履歴が  $000$  の場合にマッチする戦略に基づいて意思決定をする。例えばあるエージェントにおいて Table 1 が最もスコアの高い戦略表だとすれば、エージェントは  $0$  を選択する。これを集計し、各エージェントは戦略表にスコアをつける。更に履歴を更新する。これを定めたステップ数だけ繰り返す。

#### 3.3 シミュレーションの目的

このマイノリティ・ゲームでは戦略表の取りうる状態数が履歴の長さを  $m$  とすると  $2^m$  となるので爆発的に増加する。一方でエージェント数は線形に増やすの

Table 1: Example of strategy table

000	0
001	1
⋮	⋮
111	0

で、状態数が爆発的に増える系でエージェント数がシミュレーション結果にどのような影響を及ぼすのかを明らかにできる。これは集団の多様性の観察に役立つ。

#### 4 実験

エージェント数を  $10^k + 1$  ( $k = 2, 3, 4$ ), 履歴を  $2m$  ( $m = 1, 2, \dots, 7$ ), エージェントの持つ戦略数を  $2, 3, \dots, 10$  と変化させて実験を行った。試行回数はそれぞれ 10 回ずつである。

今回は特に履歴の長さが 10, エージェントそれぞれが持つ戦略数が 10 の場合に注目した。先に述べた通り、戦略表の取りうる数がエージェント数に比べて急激に増大するモデルを観察したいという目的がある。そこで履歴が 10 ならば、戦略表の取りうるパターンは  $2^{2^{10}}$  である。

戦略表とエージェントの組みで考えても約 10000 しか空間に戦略が存在しないため、十分な値であると考えた。

##### 4.1 効率性の平均の変化

実験をした中で、履歴の長さが  $m = 2, 6, 10$  で戦略数が  $s = 10$  のものを取り上げる。

履歴の長さが  $m = 2$  でエージェントの持つ戦略数が  $s = 10$  の場合の効率の変化が Fig. 1 である。101 エー

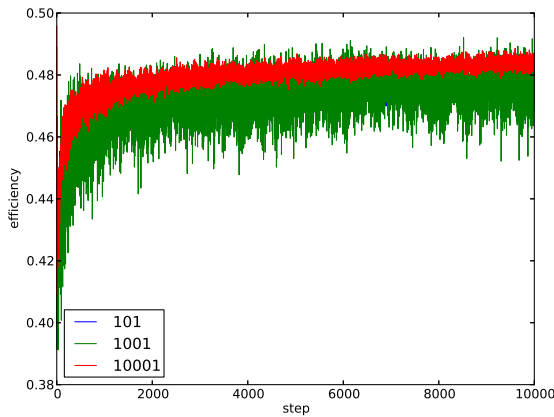


Fig. 1: Comparison of change in the average of efficiency ( $m = 2, s = 10$ )

ジェントの時の状況が見られないので、これらを 2 つに分けたものが Fig. 2 と Fig. 3 である。この条件の下ではエージェント数の増減がそのまま効率性の上下に影響するわけでもないことが分かる。また、ゲームが進むにつれて効率性が上がっている。

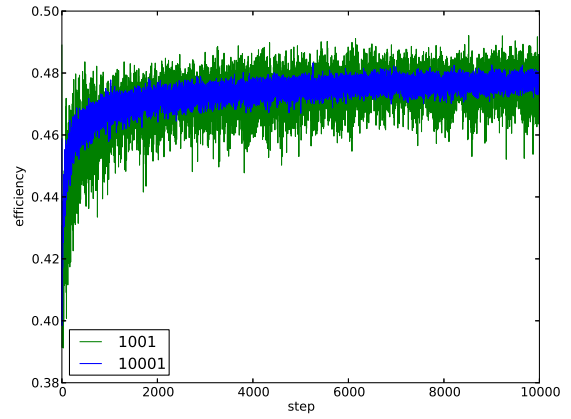


Fig. 2: Comparison of change in the average of efficiency ( $m = 2, s = 10$ )

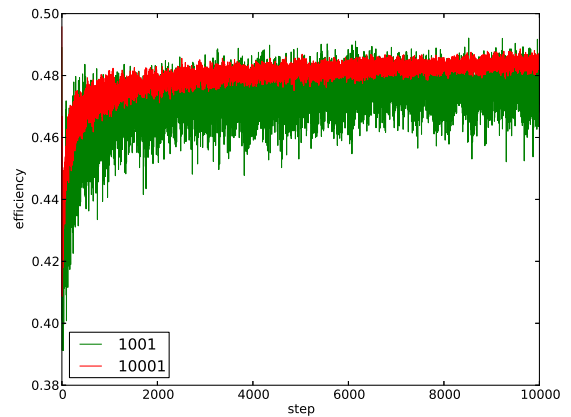


Fig. 3: Comparison of change in the average of efficiency ( $m = 2, s = 10$ )

次に  $m = 6$  で  $s = 10$  の効率性の変化のグラフが Fig. 4 である。エージェントの増加によって効率性が向上している傾向があると取れる。こちらもステップ数の増加とともにゲームの効率性が上がっている。ただし、上昇のトレンドは異なるように見える。

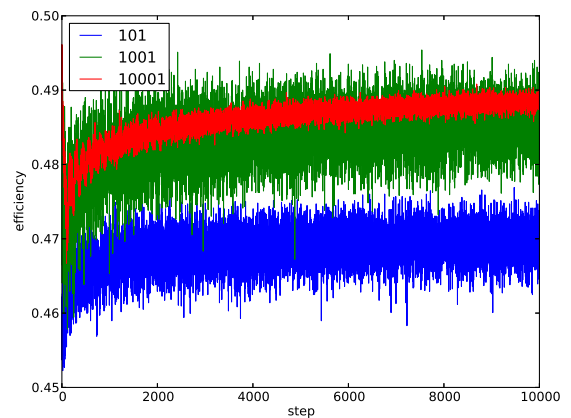


Fig. 4: Comparison of change in the average of efficiency ( $m = 6, s = 10$ )

Fig. 5 は  $m = 10$  で  $s = 10$  の場合の効率の変化を示している．エージェントが増えれば効率性も上がるようになっていように思われる．一方，ステップ数が増加してもゲームの効率性が必ずしも上昇していないようである．

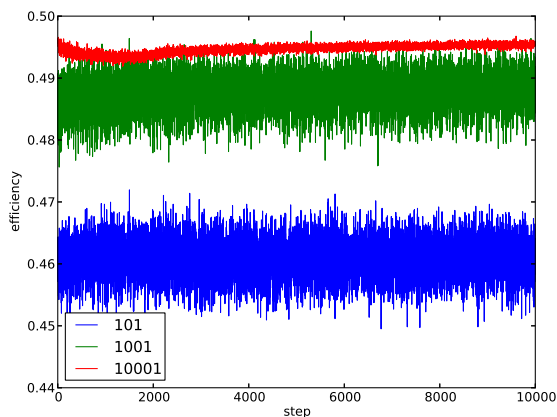


Fig. 5: Comparison of change in the average of efficiency

そこで，特にエージェントが 10001 の時に注目したグラフが Fig. 6 である．初期において大きく効率性が落ちているのが分かる．

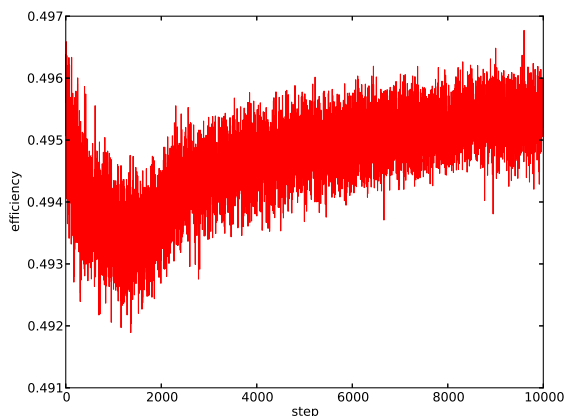


Fig. 6: Comparison of change in the average of efficiency ( $m = 6, s = 10, 10001$ agents)

#### 4.2 効率性の変化の分散

次に  $m = 10, s = 10$  で効率性の分散を見てみる．Fig. 7 はエージェント数が 101 の場合の効率性のグラフ，同様に Fig. 8 はエージェント数が 1001，Fig. 9 はエージェント数が 10001 の場合である．各エージェント数毎にこれらのグラフは数が増加すると分散の傾向も変わっている可能性がある．特にこちらも 10001 エージェントにおいて傾向が変わったように思われる．

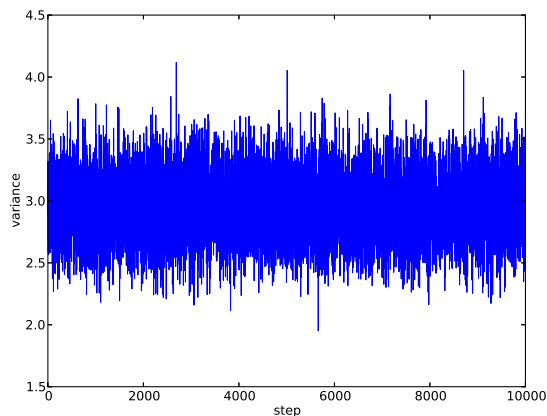


Fig. 7: Variances of game efficiency (101 agents)

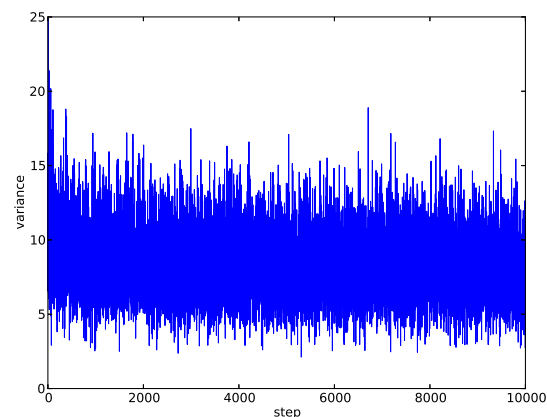


Fig. 8: Variances of game efficiency (1001 agents)

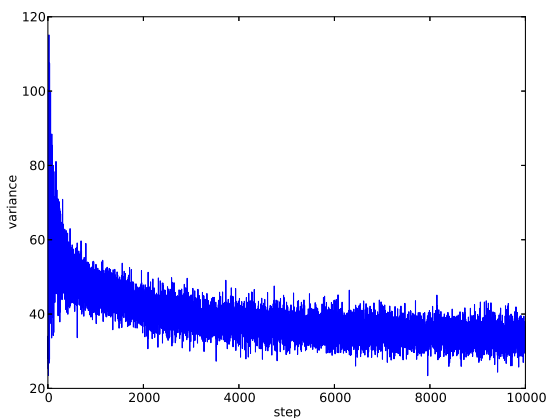


Fig. 9: Variances of game efficiency (10001 agents)

## 5 考察

今回示したのは履歴の長さが  $m = 2, 6, 10$  で各エージェント持っている戦略表の数が  $s = 10$  の場合であった．ここではエージェントの増加によって効率性の平均が変化することが示唆された．また，エージェント数によって効率の分散も変化するようである．これには 2 つの理由が考えられる．1 つはエージェント数の増加のさせ方に依存するもの，もう 1 つは各パラメータの関係に依存するものである．それぞれについて検

討する．

### 5.1 エージェント数の増加のさせ方

今回はエージェントの増加をほぼ 10 倍ずつとしたが、この幅が大きかった可能性がある．マイノリティ・ゲームにおいては 101 から 1001 への変化と、1001 から 10001 の変化では大きく意味合いが異なる可能性がある．戦略数の状態数は  $2^{2^{10}}$  とエージェント数に比べて十分に大きいものとしたため、約 10 倍にするという影響は小さいと予想していたが、10 倍にする間に変曲点のようなものがあることも考えられる．

これは、101, 201, ..., 901, 1001, 2001, ..., 10001 と変化させていくことで確認することができると思われる．

### 5.2 パラメータ間の関係

エージェントの増加に対して固定した履歴の長さやエージェントの持つ戦略表の数の 2 つのパラメータがゲームに作用した可能性もある．パラメータは 3 つしかないので、エージェント数と一方を固定すれば、他方のゲームに対する影響は明らかにできる．

履歴に関しては戦略表に影響するパラメータであり、かなり影響が大きいことが予想される．今回はシステム内のあるパラメータの状態数が大きなモデルとしてマイノリティ・ゲームを扱っているため、目的とはややそれるが、戦略表の状態空間をエージェントでおおよそ満たせるようになればまた結果が変わる可能性がある．

## 6 まとめと今後の展望

今回は系の状態数とエージェント数の関係が ABS に及ぼす影響を明らかにするモデルとしてマイノリティ・ゲームを扱った．そこである特定の条件の下ではエージェント数がゲームの効率性に影響を与えていることを示唆した．しかし、まだ境界条件にはなっていない．

そこで、述べたようにエージェント数の増加のさせ方を変える、エージェントの持つパラメータの状態数の増加のさせ方を変えるなどの観点での分析が可能である．また、エージェントは戦略表にスコアをつけているので、これを学習と捉えれば、内部でどのように学習が為されているか観察もできる．更に、戦略の状態数は爆発的に増えたとしても、実質的にはいくつかのパターンとなっている可能性もある．

今後、このゲームに関して精査を行い、エージェント数がシステムの挙動に与える際の条件を明らかにする．

更に、他のゲームでも大規模化とその結果の解析を行う．これにより、大規模化が系にどのような影響を及ぼすのかを明らかにする．

### 参考文献

- 1) 寺野隆雄: KISS の原理を超えて: 人工知能学会誌 18-6, 710/715 (2003)
- 2) 山本, 田井, 水田: 1 億エージェントを用いたエージェントベースシミュレーションの実現への考察, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J90-D-9, 2423/2431 (2007)
- 3) Challet, Zhang: Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game. Physica A 246, 407/418 (1997)