

マイノリティ・ゲームを用いた大規模シミュレーションにおける エージェント挙動の解析

Analysis of large-scaled minority game by agent-based simulation

増田 知昭*¹ 山田 隆志*¹ 山本 学*¹ 吉川 厚*¹ 寺野 隆雄*¹
Tomoaki Masuda Takashi Yamada Gaku Yamamoto Atsushi Yoshikawa Takao Terano

*¹東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

Agent-based simulation is often used to analyze various socio-economic systems. Some earlier studies suggest that the dynamics may depend on the number of agents, but few studies have investigated this issue. To tackle this, we take up the minority game and carry out computational experiments to analyze whether and how increments of agents affect the system dynamics. Our results have suggested that under specific experimental setups the game efficiency depends on the number of agents. In particular, the relationship between the number of agent and specific parameters may have affected the results.

1. 背景と目的

エージェント・ベース・シミュレーション (Agent-Based Simulation: ABS) は複数の主体が相互作用するモデルで用いられる。例えば災害時の避難をシミュレーション上で再現しようとすると、ABS では大量の人間の動きを再現するため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必要がある [加藤 11]。

その一方で、ABS の大規模化に関する基盤技術の研究も進展してきており、実際に大規模なシミュレーションも可能になってきている。更に、エージェント数の増加がシミュレーションの結果に質的な変化を与えることが示唆されている [山本 07]。だが、ABS においてエージェント数の大規模化が及ぼす影響について検討したものは少ない。

本研究は ABS のモデルであるマイノリティ・ゲーム (Minority Game, MG) [Challet 97] においてエージェント数の増加が結果にどのような影響を与えるのかを実験的に検討する。MG は系の持つ状態数が爆発的に増加していくモデルであり、金融市場の理論モデルとして用いられている [Challet 00]。系の状態数の増加とエージェントの増加の関係を明らかにするためにこのモデルを用いた。

山本らの研究 [山本 07] の対象はオークションであり、オークションは個別のエージェントが落札価格というエージェント全体で共有する情報に直接アクセスできるモデルである。従って、高い落札金額をつけるエージェントが一定確率で存在するならば、エージェント数を増やせば高い価格がついてしまう。しかし、MG は個別のエージェントが全体で共有する情報に直接的に作用するようなゲームではなく、その点でオークションとは異なっている。

2. マイノリティ・ゲームの説明

MG 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。

2.1 ゲームの設定

エージェント数が $2n + 1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 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対して $+1$ 、敗者となれば -1 とスコアリングする。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、効率性が最もいいのは勝者が n の場合である。

2.2 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、まず全てのエージェントに勝者の選択の履歴が与えられる。仮に履歴の長さが $m = 3$ とした時、直前までのゲームで 3 回前と 2 回前では 0 を選択したエージェントが少数派で 1 回前では 1 を選択したエージェントが少数派だったならば、履歴は 001 となる。

エージェントは図 1 のように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 001 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表 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 1 を選択する。

各エージェントの選択を集計し、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。

連絡先: 増田知昭, 東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻, 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 J2-1705, masuda@trn.dis.titech.ac.jp

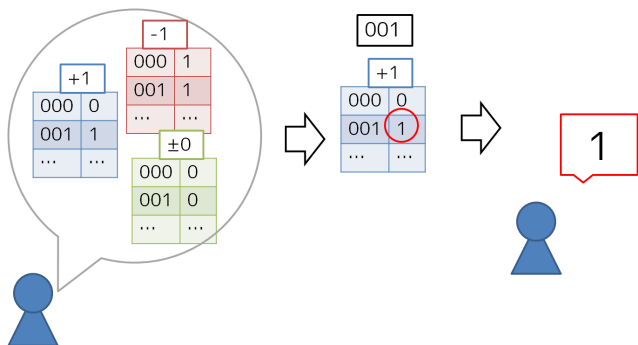


図 1: MG でのエージェントの意思決定

表 1: 戦略表の例

000	0
001	1
...	...
111	0

2.3 シミュレーションの目的

この MG では戦略表の取りうる状態数は履歴の長さを m とすると 2^m となるので、履歴の長をわずかに増やただけでも戦略表の取りうる状態数は爆発的に増加する。一方でエージェント数を線形に増やすので、状態数が爆発的に増える系でエージェント数の増加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。

3. 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の組み合わせで 30 回ずつ行った。

3.1 効率性の平均の変化

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

まず、履歴の長さが $2m = 2$ でエージェントの持つ戦略数が $s = 10$ の場合の効率性の変化とその 100 ステップ毎の移動平均 (Simple Moving Average; SMA) のグラフが図 2 である。この条件の下ではエージェント数を増減がそのまま効率性の上下に影響するわけではないことが分かる。一方で、ゲームが進むにつれて効率性も上がっている。

次に $2m = 6$ で $s = 10$ の効率性の変化のグラフが図 3 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。

図 4 は $2m = 10$ で $s = 10$ の場合の効率性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急激に上昇するようなことはないようである。

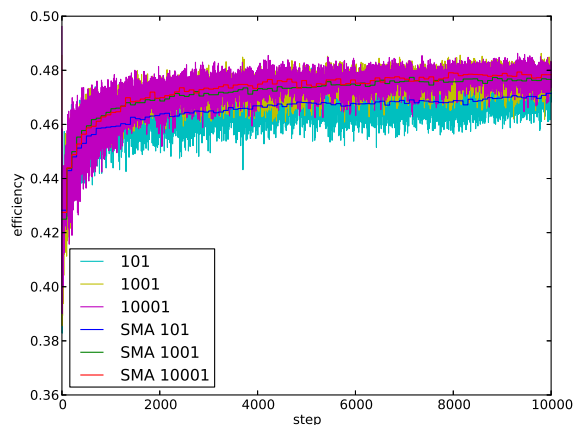


図 2: 効率の平均の比較 ($2m = 2, s = 10$)

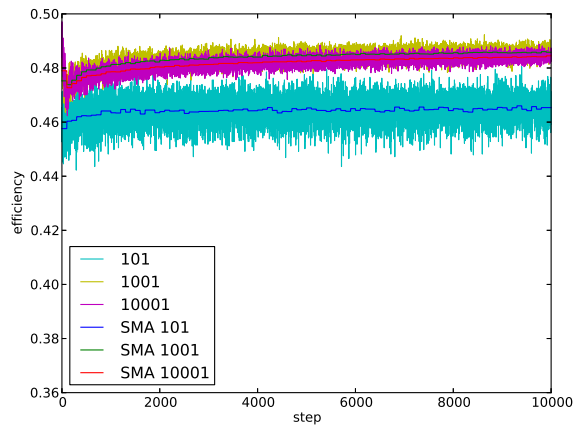


図 3: 効率の平均の比較 ($2m = 6, s = 10$)

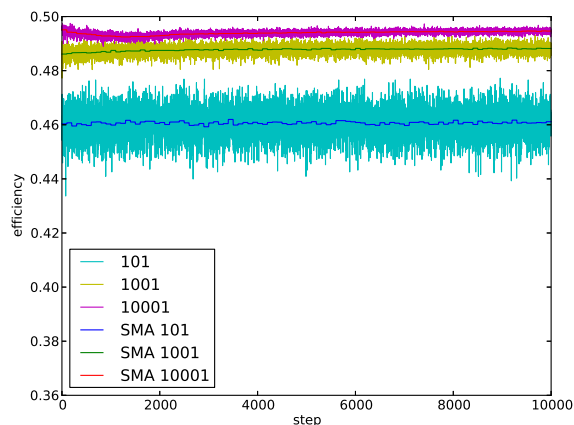


図 4: 効率の平均の比較 ($2m = 10, s = 10$)

3.2 最終状態での効率性の平均

最終状態での効率性の平均を示したのが図 5, 6, 7 である。横軸を履歴の長さ, 縦軸を効率性とし, エージェントが個別に持つ戦略数が 2, 3, ..., 10 それぞれの場合の最終状態である 10001 ステップ目のプロットしたものである。

101 エージェントの状態では履歴の長さが長くなると 10000 ステップでの効率性の平均は下降していく傾向が, 1001, 10001 エージェントになると履歴が長くなっていくと効率性は横ばいなし上昇している。

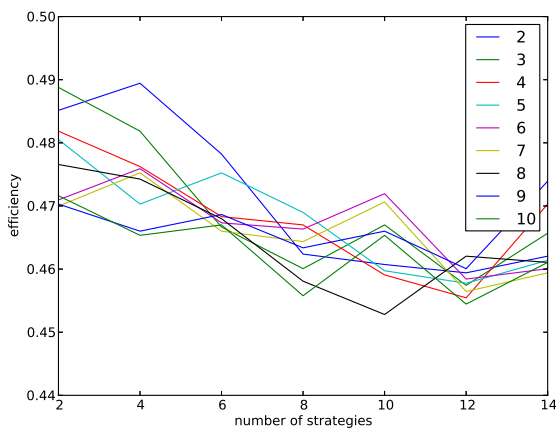


図 5: 101 エージェントの場合の最終状態での効率性の平均

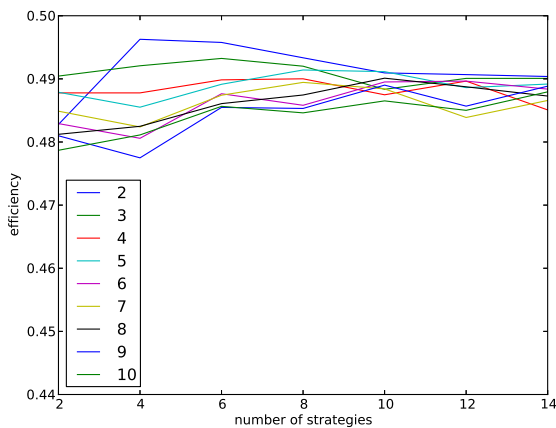


図 6: 1001 エージェントの場合の最終状態での効率性の平均

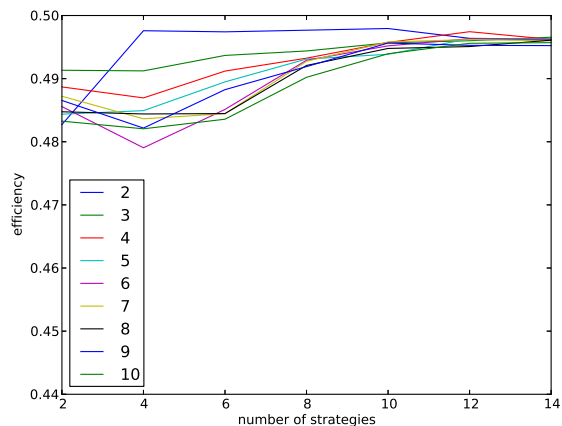


図 7: 10001 エージェントの場合の最終状態での効率性の平均

3.3 効率性の標準偏差の変化

次に $2m = 10, s = 10$ で効率性の標準偏差の変化を見てみる。図 8 はでエージェント数が 101 の場合の効率性の標準偏差の変化のグラフ, 同様に図 9 はエージェント数が 1001, 図 10 はエージェント数が 10001 の場合である。これらのグラフから各エージェント数が増加すると標準偏差の変化の傾向も変わっている可能性があること分かる。

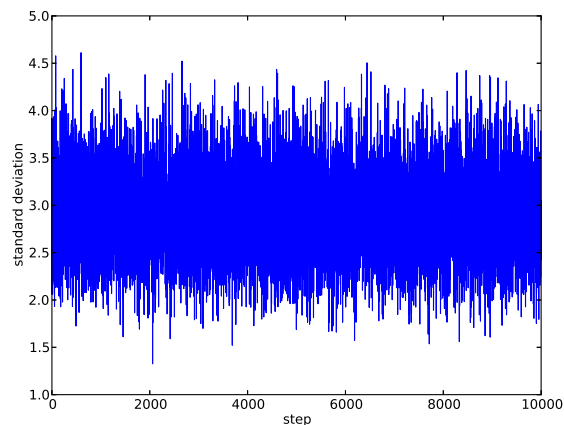


図 8: 効率の標準偏差 (101 agents)

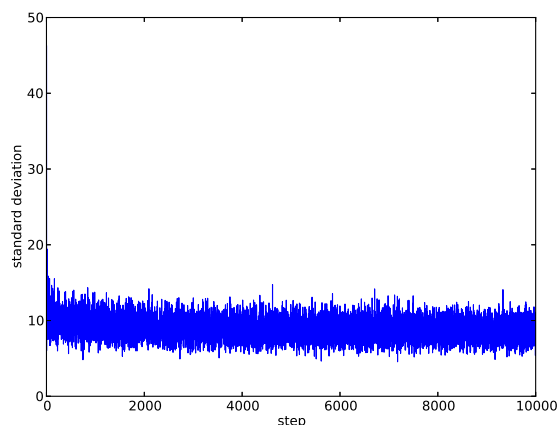


図 9: 効率の標準偏差 (1001 agents)

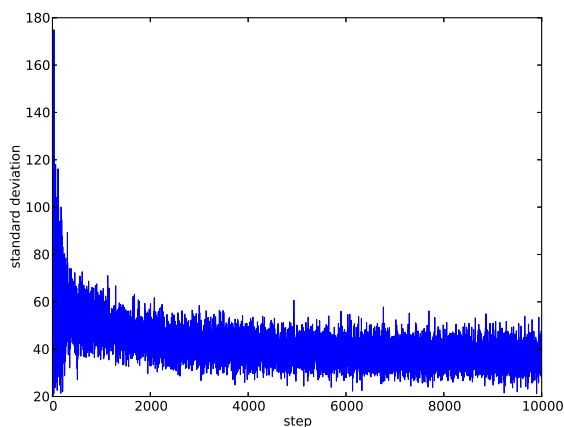


図 10: 効率の標準偏差 (10001 agents)

4. 考察

今回は MG において 3 つの点について検討した。まず履歴の長さが $2m = 2, 6, 10$ で各エージェント持っている戦略表の数が $s = 10$ の場合の効率性の平均の変化である。ここでは履歴の長さによるが、エージェントの増加によって効率性の平均が上昇していく場合が存在することが示唆された。また、履歴の長さとエージェント数が最終状態で効率性にどのような影響を与えるのか実験し、履歴の長さが伸びた場合にエージェント数が少ないと効率性が下がることが示された。更に、あるパラメータの下ではエージェント数によって効率性の変化の標準偏差も異なっていた。

これらの結果には 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。ここではそれぞれについて考察する。

4.1 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、この変化量が大きかった可能性がある。MG がゲーム自体の性質や他のパラメータとの関係においてエージェント数が一定数以上あると系の挙動が変化するような場合、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。

戦略表の状態数は $2^{2^{10}}$ とエージェント数に比べて十分に大きいものとした。そこでエージェント数を約 10 倍に増加させても、エージェントの集団が全体として持つ戦略表の組み合わせが戦略表の状態数を満たせず、その影響は小さいと予想していた。

しかし、実験の結果はそうではなく、エージェント数を約 10 倍にただで効率性の平均も分散も大きく変化した。MG のエージェント数において系の挙動が急に変化する変曲点のようなものがあれば、今回の結果につながりうる。

4.2 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とおエージェントの持つ戦略表の数の 2 つのパラメータがシミュレーションの結果に作用した可能性もある。

特に図 5, 7 は最終状態での効率は戦略数よりも履歴の長さの方が重要性が高いからこそ、どの戦略数も近い効率性になっていると考えられる。

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。また、戦略表はスコアリングされていくので、最終状態付近では使われる戦略表の固定化が起きている可能性がある。これらにより戦略表の数よりも履歴の長さの影響の方が相対的に強く、今回の実験のようにエージェント数と履歴の長さが結果に影響を与えたものと思われる。

5. まとめと今後の展望

本論文で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 MG を扱った。そこでエージェント数と履歴の長さというパラメータがゲームの効率性に影響を与えることを示唆した。

しかし、まだどのような境界条件で変化し得るのかは明らかになっていない。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必要がある。

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かを明らかにする。

参考文献

- [加藤 11] 加藤孝明, 宮川勇二: 荒川下流域の海拔ゼロメートル地帯における鉄道による広域避難の可能性の検討 (2011) 生産研究 Vol.63 No.4 495-499
- [山本 07] 山本学, 田井秀樹, 水田秀行: 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 (2007), 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J90-D-9, 2423-2431
- [Challet 97] D. Challet, Y.-C. Zhang: Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game (1997) Physica A 246, 407-418
- [Challet 00] D. Challet, M. Marsili, Y. Zhang: Modeling market mechanism with minority game (2000) Physica A 276 284-315