

マルチエージェントシミュレーションの規模とモデルの複雑さの関係について

The relation between scale and model of multiagent simulation

大隅 俊宏^{1*} 今井 倫太²
Toshihiro Osumi¹ Michita Imai²

¹ 慶応義塾大学大学院理工学研究科

¹ Graduate School of Science and Technology, Keio University

² 慶応義塾大学理工学部

² Faculty of Science and Technology, Keio University

Abstract: In this study, we focus on the relation between scale and model of multiagent simulation. Small-scale multiagent simulation models are required to express more complex human states, to use them in robots or agents to understand or predict human internal states. On the one hand, large-scale models are also required expressiveness for more accurate simulation. However, there is a question. Does the complex structure model for small-scale simulation apply to large-scale? We constructed a multiagent model that can describe "scapegoat" based on "Socion theory". Then we investigated the relation between simulation scales and simulation results by using the model.

1 はじめに

本研究では、我々は人間関係を扱うためのマルチエージェントシミュレーションの規模とモデルの関係について研究を行う。将来、コミュニケーションロボットやエージェントの進化により人間がロボットやエージェントと触れ合う機会が増えると予想される。また、より高度なコミュニケーションを要求される状況においてもロボットが利用されるようになると考える。ロボットが人間の高度なコミュニケーションを理解したり推測したりするためには、人間のやり取りや内部状態をモデル化する必要がある[4]。そのため、小規模のマルチエージェントモデルにおいてはより高い表現力が要求されるようになる。一方で、大規模なシミュレーションにおいても、より正確なシミュレーションのために表現力の高さは重要である。

しかし、大規模なシミュレーションにおいては、エージェント自体のモデルや状態を複雑にしていくほど、計算量が膨大になってしまうという問題がある。また、小規模または大規模向けに設計されたモデルがもう一方の規模のシミュレーションで設計通りに機能しない問題も考えられる。

本研究では、少人数で起こっている事象を再現した

モデルにおいて、シミュレーション規模を大きさによるシミュレーション結果の変化を確認する。少人数で起こっている事象として、本人がいない際の陰口等によるスケープゴートをソシオン理論を用いてモデル化した。その上で、このモデルを用いたシミュレーションの規模を大きくしていった際の結果の変化を確認した。

2 ソシオン理論

ソシオン理論 [1][2] とは、エージェントベースのソーシャルネットワークのモデル理論である。ソシオン理論の特徴として、実際の間人間関係とは別にひとりひとりが想像した人間関係を自分自身の中に持っているという特徴がある。実際の間人間関係を C モード、ひとりひとりの人間が内部に持つ人間関係を P モードと呼ぶ(図 1)。そして、それぞれの人間は C モードではなく自分自身の P モードの情報に基づいて行動する。しかし、P モードは各自が想像した人間関係であるため、C モードとは完全に一致していない。ソシオン理論ではこの C モードと P モード間の不一致が人間関係における誤解やすれ違いの原因であるとしている。本研究では、各エージェントは互いに独立した P モードを 1 つ持つ。

ソシオン理論では各エージェントは自分以外のすべてのエージェントに対して、好き嫌いの感情を数値化

*連絡先：慶応義塾大学大学院理工学研究科
〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
E-mail: toshihiro@ayu.ics.keio.ac.jp

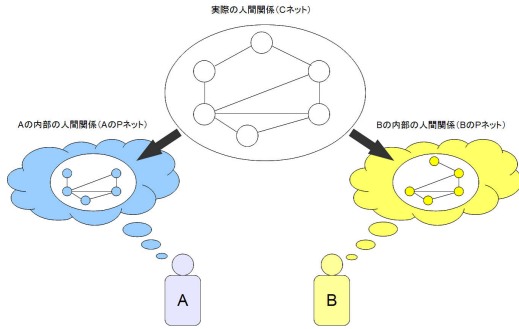


図 1: C-net and P-nets

したパラメータ, 好感度を持つ. 本研究では, 好感度は 0 を中立として -1 以上 1 以下で変化するものとする. C モードにおけるエージェント a_i のエージェント a_j に対する好感度は W_{ij} として表現し, エージェント a_k の P モードにおけるエージェント a_i のエージェント a_j に対する好感度は W_{ij}^k として表現する. P モードは C モードから独立して存在しているため, W_{ij} と W_{ij}^k が一致している保障はない. ただし, C モードのエージェント a_i の好感度とエージェント a_i の P モードの a_i が持つ好感度は同じであるため, $W_{ij} = W_{ij}^i$ である.

3 スケープゴートについて

本研究では, スケープゴートを誰かを積極的に負好感度の対象とすることでその人を生贄として他の人と仲良くなる行為と定義する. 例えば, 普段は仲良しであった関係において, ある人がいない状況でその人の陰口をたたくことでその人を生贄にして他の人との関係をより強固にすることなどが該当する. スケープゴートはグループや集団によるいじめに発展しやすいため, 本研究ではいじめの定義を用いてスケープゴートが起こっている状態を定義する. いじめの定義については [5] におけるグループによるいじめと同様の定義を用いる.

3.1 グループによるいじめの定義

[5] ではクラス内の対人関係について「友人」と「排斥」の 2 つに着目し, 友人リンクと排斥リンクから構成された対人ネットワークによっていじめを定義した. あるエージェント a_i は別のエージェント a_j に対して, 好感度 W_{ij} が以下の条件を満たすとき, 友人リンクまたは排斥リンクのどちらかのリンクを張る.

- a_i の a_j に対する好感度, W_{ij} が友人閾値より大きいとき, a_i から a_j に対して友人リンクを張る

- a_i の a_j に対する好感度, W_{ij} が排斥閾値より小さいとき, a_i から a_j に対して排斥リンクを張る

友人リンクと排斥リンクは一方的に張られるものであり, a_i から a_j へのリンクと a_j から a_i のリンクは独立している. 本研究では, お互いに友人リンクを張っているエージェント同士を友人と定義し, 友人リンクのみで構成されている 3 人以上のエージェントの塊をグループとして定義する.

上記によって構築された対人関係ネットワークにおいて, あるエージェント a_x について, 1 つ以上のグループの全員から a_x に対して排斥リンクが張られているとき, a_x へのいじめが発生していると定義する.

3.2 スケープゴートの定義

本研究では, スケープゴートが起こっている状態を下記のように定義する.

- ネットワーク内にグループによるいじめが発生している状態である.
- 上記の状態においてネットワーク内の C モードの好感度の正負の状態が変わらない状態が 5 ターン以上維持されている.

スケープゴートはある人を生贄に, 自分の地位を落とすことなく人間関係の状態を安定させようとする行為であると考えられるため, 本研究では, 5 ターン以上安定して人間関係が維持されていることをスケープゴート成立の条件とした.

4 スケープゴートモデル

人間は主に他の人間と会話を通じて, 誰が誰を好きか, 誰を嫌いかという情報を得ていると考えられる. また, 得られた情報の影響を受けながら他人への好感度を変化させることで人間関係を構築していくと考えられる. そこで本モデルでは, 会話相手から自分への好感度や話題対象への好感度の情報を得る. また得られた情報をもとに好感度更新のルールに基づいて自身の好感度を更新していく. ここでは, 本研究における会話相手の選択方法や好感度更新のルールについて説明する.

4.1 会話相手と話題対象の選択と P モードの更新

本モデルでは, 自分以外の全エージェントからランダムに会話相手を選択する. また, 会話相手との会話で

話題にあげる人物として自分と会話相手以外の全エージェントからランダムに話題対象となるエージェントを選択する。

会話相手と話題対象を選択後、エージェントとその会話相手はお互い好感度と話題対象への好感度の情報を交換し、お互いのPモードを更新する。

エージェント a_i が会話相手として a_j を、話題対象として a_k を選択した場合、 a_i は a_j から a_i への好感度 W_{ji}^i を式1で、 a_j から a_k への好感度 W_{jk}^i を式2で更新する。また、会話相手 a_j は a_i から a_j への好感度 W_{ij}^j を式3で、 a_k への好感度 W_{ik}^j を式4で更新する。各式において δ は実数区間 $[-1,1]$ の一様分布の乱数であり、 α_1 はコミュニケーションによる伝達のゆらぎの大きさを表している。

$$W_{ji}^i = W_{ji}^j + \alpha_1 \delta \quad (1)$$

$$W_{jk}^i = W_{jk}^j + \alpha_1 \delta \quad (2)$$

$$W_{ij}^j = W_{ij}^i + \alpha_1 \delta \quad (3)$$

$$W_{ik}^j = W_{ik}^i + \alpha_1 \delta \quad (4)$$

4.2 話題対象に対する好感度の更新

エージェントと会話相手は、話題対象への好感度をハイダーのバランス理論 [3] のPOXモデル (図2) に基づいて更新する。

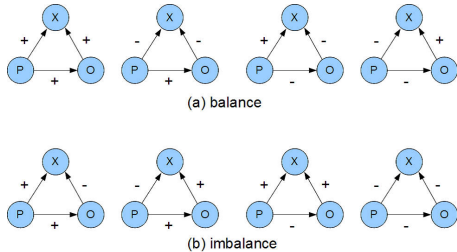


図 2: POX の 8 パターン

エージェント a_i が会話相手として a_j を、話題対象として a_k を選択した場合、 a_i は a_k への好感度 W_{ik}^i を式5で更新し、 a_j は a_k への好感度 W_{jk}^j を式6で更新する。各式において δ は実数区間 $[-1,1]$ の一様分布の乱数であり、 α_2 は好感度更新時のゆらぎの大きさを表している。

$$\Delta W_{ik}^i = W_{ij}^i \cdot W_{jk}^i + \alpha_2 \delta \quad (5)$$

$$\Delta W_{jk}^j = W_{ji}^j \cdot W_{ik}^j + \alpha_2 \delta \quad (6)$$

4.3 スケープゴート戦略

本モデルでは、本人がいない状況での陰口等によるスケープゴートをスケープゴート戦略としてモデル化する。本戦略では、エージェントは会話相手との関係をより強固なものにするために、話題対象となったエージェントへの好感度を下げることでスケープゴートにしようとする。

ある自分をスケープゴートにするためには、少なくとも自分は会話相手から好かれている必要があると考え、エージェント a_i がスケープゴート戦略を実行する前提条件は、会話相手 a_j から自分への好感度 W_{ji}^i が話題対象への好感度 W_{jk}^i よりも高く、かつ正の値であることとする。

スケープゴート戦略実行時、エージェント a_i は話題対象 a_k への好感度 W_{ik}^i を σ に更新する (式7)。それを受けて会話相手は自身のPモードの a_i の a_k への好感度 W_{ik}^j を式4で更新する。その上で、話題対象 a_k への好感度 W_{jk}^j を式6で更新する。

$$W_{ik}^i = \sigma \quad (7)$$

4.4 話題対象に関する噂相手の選択とPモードの更新

本モデルでは、話題対象となったエージェントが他者をどう思っているかという情報をやり取りするため、エージェントは自分と会話相手、話題対象以外の全エージェントからランダムに噂相手を選択する。エージェントと会話相手は話題対象の噂相手への好感度に関する情報をお互いに交換する。

エージェント a_i が会話相手として a_j を、話題対象として a_k を、噂相手として a_l を選択した場合、 a_i と a_j は話題対象 a_k の噂相手 a_l への好感度をそれぞれ式8、式9で更新する。

$$W_{kl}^i = \begin{cases} W_{kl}^j + \alpha_1 \delta & (W_{kl}^i = 0) \\ W_{kl}^i + \alpha_1 \delta & (W_{kl}^j = 0) \\ \frac{W_{kl}^i + W_{kl}^j}{2} + \alpha_1 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (8)$$

$$W_{kl}^j = \begin{cases} W_{kl}^i + \alpha_1 & (W_{kl}^j = 0) \\ W_{kl}^j + \alpha_1 & (W_{kl}^i = 0) \\ \frac{W_{kl}^i + W_{kl}^j}{2} + \alpha_1 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (9)$$

4.5 噂相手に対する好感度の更新

エージェント a_i と会話相手 a_j は、話題対象 a_k の噂相手 a_l への好感度の情報の更新を受けて、噂相手 a_l への好感度を更新する。噂相手 a_l への好感度は自分、話

題対象 a_k , 噂相手 a_l 間のバランス理論によってそれぞれ式 10, 式 11 で更新する.

$$\Delta W_{il}^i = W_{ik}^i \cdot W_{kl}^i + \alpha_2 \delta \quad (10)$$

$$\Delta W_{jl}^j = W_{jk}^j \cdot W_{kl}^j + \alpha_2 \delta \quad (11)$$

5 シミュレーション実験

本論文では, 少人数のシミュレーションにおいてスケープゴートモデルが成り立っていることと, エージェントの人数が増えシミュレーション規模が変化した場合の結果の変化を確認するためにシミュレーション実験を行う.

5.1 実験条件

全てのエージェントはシミュレーション開始時に第一印象として他のエージェントへの好感度を $[-1, 1]$ の一様分布の乱数で与えられる. シミュレーションは各エージェントが会話相手とコミュニケーションを 1 回ずつとるごとに 1 ターンとしてカウントし, 2000 ターン実行する. シミュレーション実験における各パラメータの値を表 1 に示す. 各エージェントは P_{sg} の確率でコミュニケーション時にスケープゴート戦略を実行する. シミュレーションにおけるエージェントの人数を 3 人から 15 人の範囲で設定し, スケープゴート戦略を実行する場合, スケープゴート戦略を実行しない場合, それぞれにおいて 100 回実行する.

表 1: 各パラメータの値

パラメータ	
α_1 好感度伝達時のゆらぎの大きさ	0.01
α_2 好感度更新時のゆらぎの大きさ	0.01
σ スケープゴート戦略実行時の好感度	-0.5
P_{sg} 各エージェントがスケープゴート戦略を実行する確率	0.3
友人閾値	0.4
排斥閾値	-0.4

5.2 評価基準

本シミュレーションでは, 以下の内容でシミュレーション結果を比較する.

- スケープゴートが成立していた合計ターン数

- スケープゴートが成立した回数

スケープゴートの判定は 3 節の定義を用いる. スケープゴートが成立していた合計ターン数は 2000 ターンのシミュレーション内で平均何ターンスケープゴートが成立していたかを意味している. また, スケープゴートが成立した平均回数は 2000 ターンのシミュレーション内で平均何パターンのスケープゴート状態が成立したかを意味している. 例えば, 一度スケープゴートの状態が成立した後, 2000 ターン終了時までその状態が維持された場合は成立した回数は 1 回としてカウントする.

6 結果

6.1 スケープゴートが成立していた合計ターン数

スケープゴートが成立していた合計ターン数の平均を図 3 に示す. スケープゴート戦略ありの場合は, エージェントが 3 人から 4 人の時は高い値となっていたが, 5 人以上になると急速に小さな値となり, 10 人以上についてはほぼ 0 に近い値となった. スケープゴート戦略なしの場合は, 3 人から 6 人までの間でスケープゴートが成立するターン数の増加が見られた. また 7 人以上については成立するターン数が減っていくが, 戦略ありの場合と比べて減少速度は緩やかであった.

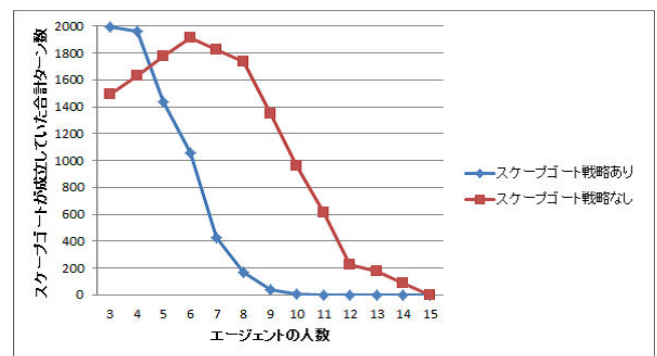


図 3: スケープゴートが成立していた合計ターン数

6.2 スケープゴートが成立した回数

スケープゴートが成立した平均回数を図 4 に示す. スケープゴート戦略ありの場合は, エージェントの人数が 5 人から 7 人までの間でスケープゴートが成立した回数が爆発的に多い値となった. また, 9 人以上については大幅に小さい値となった. スケープゴート戦略な

しの場合は、エージェントの人数に関係なく1を超えることはなかった。

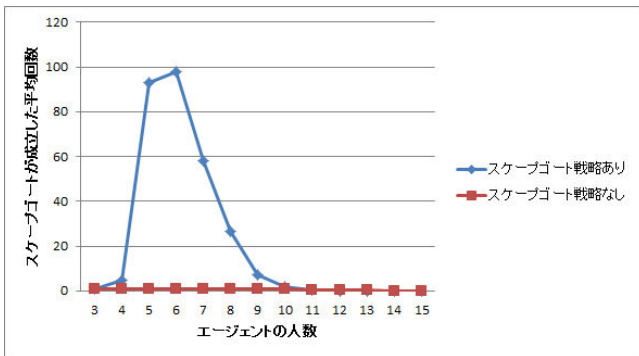


図 4: スケープゴートが成立した回数

7 考察

7.1 スケープゴートモデルについて

「スケープゴートが成立していた合計ターン数」について、スケープゴート戦略なしの場合は、エージェント人数が3人から6人にかけて合計ターン数が上昇している。これは、バランス理論だけによる好感度の操作では3人などの少人数でのシミュレーションにおいて、全員が仲良くなってしまふ可能性が高いためである。一方で、スケープゴート戦略ありの場合はエージェント人数が3人や4人の場合にスケープゴートが成立しているターン数が非常に多く、バランス理論だけでは全員が仲良くなってしまふような初期状態からでもスケープゴートが発生していると言える。

また、「スケープゴートが成立した回数」について、スケープゴート戦略なしの場合は、一度安定したネットワーク状態となってしまうとその状態を変化させるきっかけが存在しないため、エージェントの人数に関係なくスケープゴートが成立した回数はすべて1を下回った。一方で、スケープゴート戦略ありの場合は、5人から7人でのシミュレーションにおいて1回よりも明確に大きな値となった。これは、スケープゴート戦略によって、安定した状態においてもエージェントが新たなスケープゴートを作り出そうとすることでネットワークが再び不安定な状態に戻る可能性があるためである。

以上のことから、7人以下のシミュレーションにおいてはスケープゴート戦略を用いることでスケープゴートが表現できていると考えられる。

7.2 シミュレーション規模と結果について

本研究のスケープゴートモデルでは、7人から8人以下のシミュレーションではモデルがうまく機能していたと言える。しかし、エージェントの人数が9人を超える規模でのシミュレーションでは正常に機能しなかった。現実世界においては学校のクラスや組織等の大きなグループ内でもスケープゴートが発生することが多々あるため、完全なスケープゴートモデルはこのような大規模なシミュレーションにおいてもスケープゴートを再現できる必要があるが、小規模のシミュレーション向けに作られた本研究のスケープゴートモデルは大人数での環境のシミュレーションには使用できないことが分かった。

一方で、本研究のように複雑な内部状態を持つモデルを大規模な環境でも機能するように発展させると、計算量が爆発的に増加する可能性が高い。そのため、大規模なシミュレーションにおいては本研究のような内部状態を持つモデルを利用せず、代替モデルにて表現したい現象を再現した方が良い場合も多いと考える。小規模のシミュレーションにおいては観察したい事象が発生しているときに各エージェントがどのような内部状態にあるか分かるべきであるため、提案モデルのようにエージェントの内部状態は複雑であっても表現力が高い方が良いと考える。

8 まとめ

本研究では、我々は人間関係を扱うためのマルチエージェントシミュレーションの規模とモデルの関係について研究を行った。まず我々は、少規模なシミュレーションのためにソシオン理論を用いてスケープゴートを再現したモデルを構築した。その上で、小規模なシミュレーション向けに設計された本モデルについてエージェントの数を増加させていった際の結果の変化を確認する実験を行った。実験の結果、小規模のシミュレーション向けに作られた本研究のスケープゴートモデルはそのままでは大人数での環境のシミュレーションではうまく機能しないことが分かった。

小規模のシミュレーションにおいては各エージェントがどのような内部状態にあるか分かるべきであり、計算量についてもあまり問題にならないためモデルの内部状態を複雑にするアプローチに問題はないが、大規模なシミュレーションにおいては小規模向けのモデルを発展させるアプローチよりも、事象を再現するための代替モデルを検討した方が良いことが分かった。

参考文献

- [1] 藤澤 等, 小杉 考司, 藤澤 隆史, 渡邊 太, 清水 裕士, 石盛 真徳: ソシオン理論入門 心と社会の基礎科学, 北大路書房 (2006)
- [2] Amemiya, T., Fujisawa, H., and Yohji, K.: Theory of Socion, *22nd Internatinal Congress of Applied Psychology*, pp. 89-91 (1990)
- [3] Heider, F.: The Psychology of Interpersonal Relations, *Lawrence Erlbaum Associates* (1958)
- [4] Tondur, B.: A Theoretical Heider 's Based Model for Opinion-Changes Analysis during a Robotization Social Process, *Human-Robot Interaction, 2011 6th ACM/IEEE International Conference on* , pp. 269-270 (2011)
- [5] 田中恵海, 高橋謙輔, 鳥海不二夫, 菅原俊治: 学級のいじめ問題を題材とする工学的シミュレーションとその考察, *情報処理学会論文誌. 数理モデル化と応用* 3(1), pp. 98-108 (2010)