

# 小集団での創造的な意思決定における個人の意向の エージェントベースモデリングによる推定

## Agent-based Modeling Estimation of Personal Intentions in Small Group Creative Decision-Making

椎久 翔太<sup>†</sup>, 竹内 勇剛<sup>†</sup>  
Shota Shiiku, Yugo Takeuchi

<sup>†</sup> 静岡大学  
Shizuoka University  
shiiku.shota.19@shizuoka.ac.jp

### 概要

一般に小集団における意思決定過程では、成員それぞれに自分の意見や考えを明示的に表明できる機会が多くあり、その分、多数決による採決や一部の特定の人物に最終的な決定を委任することが多い大集団の場合と比較して、成員による妥協や新たなアイデアの提案など複雑かつ創発的な相互作用が生じている可能性がある。ところがこのような相互作用系をモデリングした研究は今日まであまり注目されてきていない。これまで、集団における意思決定過程のモデリングには既存の選択肢から結論を導く MCGDM (Multi-Criteria Group Decision-Making) などのマルチエージェントシステムを用いたさまざまな試みがなされてきたが、小集団で多く観察される成員による妥協や新たなアイデアの提案といった創造的な側面を十分に反映したものではなかった。そのため、小集団における意思決定後の各成員が得られた結論に基づく事項に対してどのような態度や行動を示すのかについての予測は困難である。本研究は、小集団の意思決定の過程において個々の成員がその過程での相互作用とその結果に対する満足度を変数として、それを報酬系に組み込んだ強化学習モデルの構築を通して、各成員がその集団が得た結論に対してポジティブな態度で受け入れ、同時に意思決定に際して結論に至るまでに要する時間を短縮させる効果を与えることを明らかにした。

**キーワード：**意思決定過程、マルチエージェントシステム、小集団、ABMS、MCGDM、満足度、強化学習

### 1. 序論

個々の意思決定と比べて、集団における意思決定は複雑な過程を経ることがしばしば必要である。しかしながら、集団意思決定の中で、コミュニケーション

を通じて意思決定者間で意見を共有することで、個々の状況よりも高品質な意思決定が可能となる。小規模な集団では、大規模な集団と比較して、高いコミュニケーション密度により効果的に意見や方向性の調整が可能である。しかし、大規模な集団では、自身の見解や態度が周囲の状況の変化によって変化する同調行動の影響が大きく、数の圧力によって自身の意見を表明する機会が減少してしまう。このため、より深い議論が必要となる重要な状況では、小規模な集団での意思決定が行われることが多い。しかし、不可避のジレンマなどで見られるように、意思決定の際の拠り所となる価値観の多様化により、合意形成の難しさも増している [1]。これらの問題に対する解決策として、意見の集約やそれに基づく提案を行うといった意思決定支援システムの導入が提案されている [2]。意思決定支援システムは、通信、計算、および意思決定支援テクノロジーを組み合わせることで、人々の集団による構造化されていない問題の定式化と解決を支援する [3]。

集団のコミュニケーション問題に対する解析手法として、相互作用の蓄積の分析を数理的に行うために、エージェントベースのモデリングとシミュレーション (ABMS) が頻繁に利用される。ABMS は、図 1 に示す通り、共有環境内でのエージェント間の動的なアクション、反応、および相互通信プロトコルを呼び出す計算モデルの一種であり、エージェントの設計とパフォーマンスを評価し、新たな行動と特性に関する洞察を導くことが可能である [4]。シミュレーションの視点から見ると、個々のコンポーネントの機能は、非常に基本的な「if-then」反応ルールから、より洗練された認知的に豊かな行動モデルにまで及んでいる。

ABMS を使用した研究は、複雑な意思決定プロセスをシミュレートし、さまざまな視点や意思決定手法を組み込むことで、集団意思決定の領域に大きな貢献を

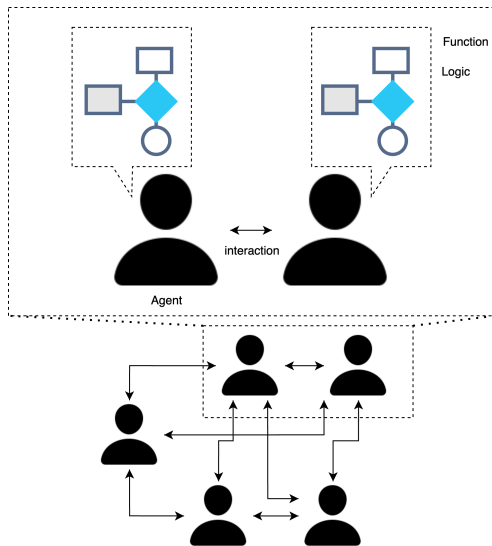


図1 ABMSによるエージェント間インタラクション

している。しかしながら、これまでに研究されてきた多くの手法は、問題空間を絞り込み、意思決定への収束を促進することを目的としていた。しかし、集団の議論においては、収束よりも集団が下した決定に満足できるかどうか重要である。従って、議論されている問題空間を広げたり、問題を再考したりすることで、適切に議論をまとめることが可能である。特に、難航している議論に対しては、新しい意見を生み出すことが有効である。問題空間を敢えて増やすことは計算コストを増加させるが、小規模な集団では、密なコミュニケーションを通じて問題空間を調整することが可能であると考えられる。さらに、意思決定において重要なことは、決定を実行し、持続することである。しかし、多くの意思決定に関する研究では、意思決定後に発生する行動については触れられていない。個人の意向を決定に反映させることは、その後の行動に影響を及ぼす可能性があるため、この視点も重要である。本研究では、上記の観点を考慮し、個人の意向を最大限に反映できる意思決定過程を構築する。

## 2. 集団における他基準意思決定

本研究では、ABMSを用いて小集団の意思決定をシミュレーションすることによって個人の意向をより反映した決定を行う意思決定過程を構築する。

意思決定を行う対象となる問題について、 $T$ 人の意思決定者が存在し、各意思決定者 $t_j$ は $M$ 個の選択肢と $L$ 個の基準を持つと仮定する。ここで、 $j$ は1から $T$ まで、 $a_l$ は選択肢( $l$ は1から $M$ まで)、 $e_i$ は基準( $i$ は1から $L$ まで)を表す。これを他基準集団意思決定問題(MCGDM)と呼び、複雑な意思決定過程をモ

デル化することができる[5]。本研究における意思決定過程では、1章に示すように満足度の最大化を行う。実際に想定する意思決定過程を図2に示す。小集団における意思決定では密な議論が可能になり、その中で交渉や妥協が生じる可能性があり、それらを通して集団としての決定に意向を反映することができる。一般的にMCGDMに関する研究は、選択肢の数は固定であり、議論を通してその中で集団として順位づけを行うものがほとんどである。実験では、議論の過程で新たな視点やアイデアを創発させることを通じて議論を活性化させる。これにより、各意思決定者の個人的な意向がより反映され、図2に示すような意思決定過程が形成されることをシミュレーションする。

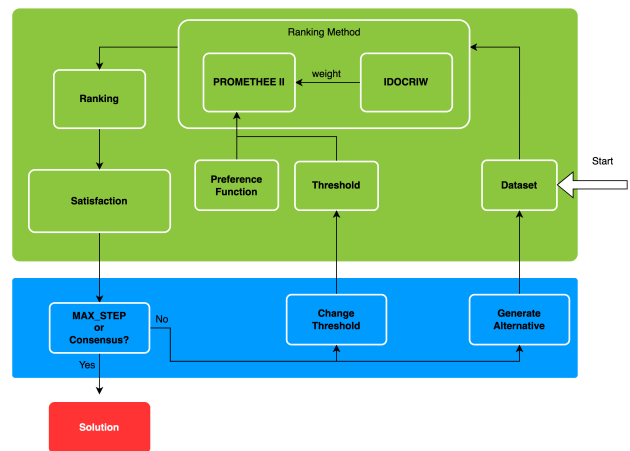


図2 意思決定の流れ

## 3. シミュレーション実験

本研究では、複数のエージェントで形成される小集団に対して、シミュレータ上で集団意思決定のシミュレーションを行い、エージェント間の議論の過程で新たな意見を創発させることで、意思決定者の意向を十分に反映できる意思決定過程の構築を目標とする。

本研究で提案する手法では、意思決定者の意向を決定に反映するために、式1で示す個人の満足度であるPSI(The Personal Satisfaction Index)を考慮する。PSIは各意思決定者の個人的な満足度を数値化し、これを基に最終的な意思決定を行う。ここで、 $d_i$ は個人の意見と集団の意見の順位の差、 $m$ は選択肢の数である。PSI値は $-1$ から $+1$ である。満足度は個人と集団の選択肢の順位の差から導出され、順位及び順位づけに関係するパラメータをエージェント間の議論によって調節する。

$$PSI_{igm} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^m d_i^2}{M^3 - M} \quad (1)$$

また、集団満足度 GSI(The Group Satisfaction Index) は PSI の加重合計によって表される。個人満足度だけを考慮すると、自分本位な議論になってしまう恐れがあり、少なからず集団満足度も考慮すべきであると考えられる。満足度の導出には個人が選択肢に対して優先順位を持つ必要があり、本研究では主観客観の統合手法である IDOCRIW で重み付けをし、Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation(PROMETHEE II) で順位づけを行う。

この過程を強化学習を用いて最適化し、意思決定者の意向が最大限反映される意思決定過程を構築する。実際には深層強化学習の手法の1つである DQN に改良を加えた Rainbow を用いる。シミュレーションの結果によって、反映された意思決定者の意向がふるまいへ寄与しているのかの評価を行い、意思決定者の内部状態が集団としての決定に反映され得る集団レベルを明らかにすることで、構築された意思決定過程が小集団において有用であると示されることが望まれる。

### 3.1 合意形成過程の構築

構築された意思決定過程の中で、エージェントが最適な意見や決定を見つけ出すために、各種パラメータの探索を行い、より良い合意形成が可能となる。エージェント数を変更して意思決定過程をシミュレーションすることで、個人の意向がふるまいに反映され得る限界点などを議論する上で重要である。また、PROMETHEE II では関心しきい値と無関心しきい値の2種類があるが、エージェントが無関心しきい値を下げることによって消極的な意思決定を行う可能性があるため、関心しきい値を操作可能にする。順位が変更される過程で満足度も変化していくことになる。100 ステップごとに1議論と定義し、問題空間とエージェントの重みを更新する。エージェントはこうのように、意見を許容するしきい値を変更することと、新しい選択肢を創発し、集団に提案することで議論を行う。

## 4. 集団意思決定における意見の創発

本研究では、個人の意向をよりよく反映するために、既存の選択肢に加えて、新たな意見や視点の創出を通じて合意形成を促進する。本研究において、意見の創発とは、エージェントが行う議論の中で合意形成に時間を要している問題の決定行列を操作することによって表現される。エージェントは議論の中で集団及び個人の意見の選好などから、エージェントが提案する意見となる配列を生成する。議論に一定のステッ

ブ数がかかっている場合に、エージェントが問題空間となる決定行列に意見を追加する。この流れを強化学習におけるエージェントの行動として設計し、創発した意見による意見の選好の変化によって議論を活性化させる。また、エージェントは自らが創発した意見による選好の変化を学習し、より満足度を満たす合意形成を行うための意見の提案を学習する。停滞している議論へ新たな意見を創発することで議論を活性化することで、既存の選択肢のみで行う議論よりも個々の満足度を満たすことが可能であると考えられる。実際には、Rainbow エージェントが創発する意見の最適化を行う。

エージェントは特定のステップで新たな意見を創発する。この新たな意見は、集団全体が最も低く評価している既存の意見と置き換えられる。これにより、議論が停滞または困難になった際に新たな視点を導入し、合意形成を促進する。ランダムなエージェントが新しく意見を創発して集団に提案する。その意見が議論中の問題空間に加えらることで創造的な意思決定ができるはずである。意見の創発によって、最初に与えられている選択肢よりも集団及び個人の意向を反映することができ、満足度を高くすることによって合意形成の質を向上させられる事が望まれる。

## 4.1 実験結果

100,000 エピソードの学習から得られた結果を示す。図3はエージェント数ごとの集団満足度の推移、図4に議論時間の長さを表している。橙色の線は創発あり条件における結果、青色の線は創発なし条件における結果を表している。意見の創発ありの条件の方が創発なしの条件に比べて集団満足度及び個人満足度が高く、新たな意見の創発によって満足度がより満たせるということがわかった。集団満足度は個人満足度の加重合計であるため、個人満足度が創発あり条件において高くなっていることを反映している。また、創発あり条件では議論にかかる時間も短くなっていることから、適切な意見の提案によって合意までに必要な議論が少なくなっていると考えられる。よって、エージェントが問題空間に新たな選択肢を提案するという行動は集団意思決定に有効にはたらいっていることがわかった。

## 5. 総合議論

PROMETHEE II によって構築した意思決定モデルを Rainbow によって学習した結果より、創発ありの条

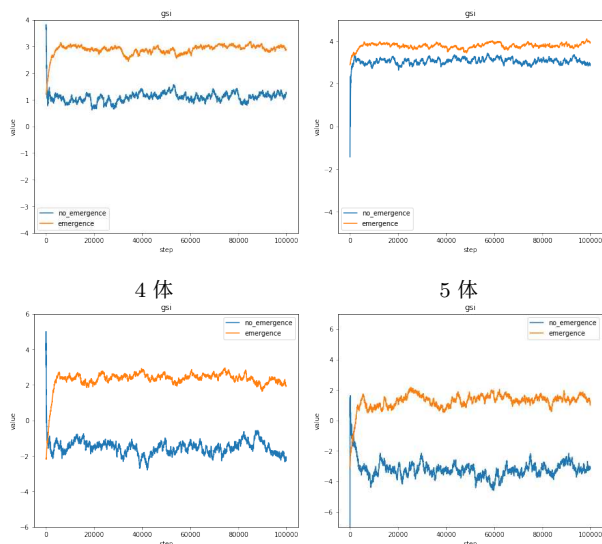


図 3 エージェント数ごとの集団満足度

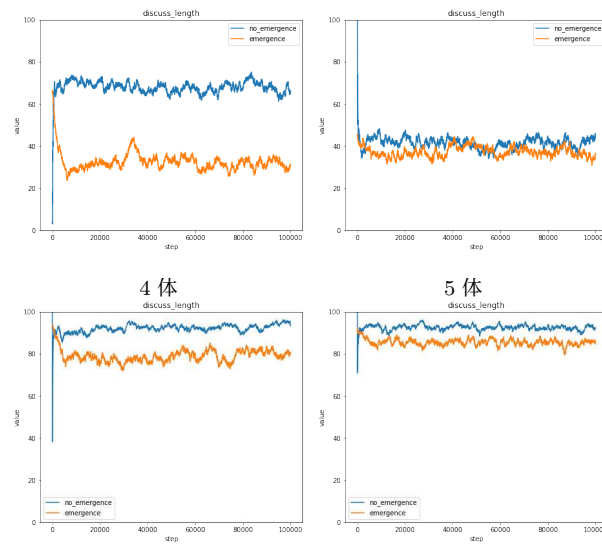


図 4 エージェント数ごとの議論時間

件の方が創発なしの条件に比べて集団満足度及び個人満足度が高く、既存の意見のみでなく、新たな意見による議論の活性化が意思決定者の意向をより反映することができることが示唆された。また、創発あり条件では議論にかかる時間も短くなっていることから、適切な意見の提案によって合意までに必要な議論が少なくなっていると考えられる。よって、エージェントが問題空間に新たな選択肢を提案する行動は集団意思決定に有効にはたらいっていることがわかった。創発なし条件について、エージェント 4, 5 体では集団満足度が正の値になっているが、6, 7 体では負の値になっている。今回実験したどのエージェント数でも、創発あり条件の集団満足度は正の値となっている。エージェント 5 体の場合では意見の創発に関わらず高い満足度を示しており、議論時間も他の条件に比べて短くなっている。このことから、集団の数が大きいほど合意に時間が掛かるとは言えず、同様に集団の数が小さいほど意向を通しやすいとは必ずしも言えないことがわかる。

以上の考察をまとめると、本実験の結果において以下のことが示唆された。

- (1) 新たな意見の創発によって、より意思決定者の意向を反映することができる
- (2) 意思決定者の意向を反映した意見の創発により合意までの時間は短縮される
- (3) 議論のコスト、意見の通しやすさは集団のサイズに比例するわけではない

シミュレーションの結果、小集団意思決定における新たな意見の創発によって、意思決定者がより集団に

自らの意向を反映できることが示唆されたという点は本研究の成果といえる。

今回の実験では検証できなかった手法やパラメータがあるため、引き続き検証を行っていく必要がある。創発された意見が問題空間にどう影響を与えているかの分析ができれば、小集団についてさらなる議論が可能になるであろう。今後はシミュレーションに基づく結果が現実世界にも適用可能であるかを実証するために、被験者実験によって背後のパラメータを議論するつもりである。シミュレーションの背後にあるパラメータを説明できれば、小集団において曖昧で複雑だった事象を数学的に議論できるようになるはずである。

## 文献

- [1] 福島俊一. 複雑社会における意思決定・合意形成支援の技術開発動向. 人工知能, Vol. 34, No. 2, pp. 131–138, 2019.
- [2] 山田善靖. 集団意思決定支援システム. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 33, No. 3, pp. 10–14, 1988.
- [3] Hiroki Sayama, Dene L Farrell, and Shelley D Dionne. The effects of mental model formation on group decision making: An agent-based simulation. *Complexity*, Vol. 16, No. 3, pp. 49–57, 2011.
- [4] Sameera Abar, Georgios K Theodoropoulos, Pierre Lemarini, and Gregory MP O'Hare. Agent based modelling and simulation tools: A review of the state-of-art software. *Computer Science Review*, Vol. 24, pp. 13–33, 2017.
- [5] Chao Fu, Wenjun Chang, and Shanlin Yang. Multiple criteria group decision making based on group satisfaction. *Information Sciences*, Vol. 518, pp. 309–329, 2020.