

## 拡張ベイズ推論を用いた多資源マイノリティゲームにおける多様性の創造 Creating diversity in Multi-Resource Minority Games using extended Bayesian Inference

岡野 龍樹<sup>†</sup>  
Tatsuki Okano

笹井 一人<sup>†</sup>  
Kazuto Sasai

### 1. はじめに

持続可能な社会システムの実現のためには、進化的な理由から多様性が重要である。社会システムのモデルとして、資源分配の観点を含むマイノリティゲーム (Minority Game, MG) がある。MG とはある 2 択の選択において少数派の選択をしたプレイヤーが勝者となるゲームモデルであり、この MG を拡張したモデルとして多資源マイノリティゲーム (Multi-Resource Minority Game, MRMG) がある。MRMG は MG における選択肢となる資源の種類を増やしたものであり、Huang ら[1]によってモデルが構築されている。このモデルは、 $N$ 人のエージェントが正方格子ネットワークを構築し、隣接するエージェント(以下、隣人)と情報交換を行って入手した情報を参考に、 $k$ 種の選択肢となる資源から 1 つを選択する。あるゲームステップ  $t$  において、資源  $s$  を選択したエージェント総数  $n_s$  が資源の許容量  $n_c$  以下、つまり  $n_s \leq n_c$  であれば、その資源を選択したエージェントは勝者となる。勝敗決定後、各エージェントは隣人と情報交換を行い、次のゲームステップに備える。各エージェントの行動選択には、資源選択と、資源を選択するための方法である戦略選択がある。戦略選択について、Huang らのモデルには 3 種の戦略があり、1 つ目は隣人からの情報を参考に前回のゲームステップで少数派であった資源を確率的に選択する少数優先戦略、2 つ目は全  $k$  種の資源からランダムに 1 つの資源を選択するランダム戦略、3 つ目は前回そのプレイヤー自身が選択した資源を選択する継続戦略である。エージェントは  $p$  の確率で少数優先戦略を選択し、 $1-p$  の場合は  $m$  の確率でランダム戦略を、 $1-m$  の確率で継続戦略を選択する。そして、選択した戦略に従ってそのステップで選択する資源を決定する。

Huang らの研究では、上記の MRMG モデルを実装し、シミュレーションを行った結果として資源の特徴的なグループ化現象が確認されている。しかし、このグループ化現象は戦略を決定するパラメータ  $p, m$  が特定の値の場合にしか発生しない。このため、シミュレーション毎にパラメータが固定されている場合、あるシミュレーションにおいて、複数の特長的なグループ化が発生するという動的なグループ化は確認できない。この点で、エージェントやシミュレーション全体の多様性を十分に表現できていない。

パラメータを調整し、多様性を創造するモデルとして、郡司ら[2]が提案する拡張ベイズ推論(Bayesian and Inverse Bayesian inference, BIB)がある。このモデルはベイズ推論と逆ベイズ推論を組み合わせたモデルであり、郡司らの研究[3]において多様性の創造に成功している。

このため、MRMG モデルに郡司らが提案する拡張ベイズ推論モデルを適用することにより、戦略を決定するパラメータをシミュレーション中に合理的に変化させ、動的なグループ化を発生させることを試みた。

<sup>†</sup> 茨城大学 Ibaraki University

### 2. 拡張ベイズ推論の MRMG への適用

#### 2.1 拡張ベイズ推論とは

拡張ベイズ推論(Bayesian and Inverse Bayesian : BIB)とは郡司らが提案する、ベイズ推論と逆ベイズ推論を組み合わせた推論モデルであり、郡司らの先行研究[3]において多様性の創造に成功している。ベイズ推論は観測結果からどの仮説が正しいかを推論することにより、推論の精度を高めることができ、逆ベイズ推論は既存の仮説の一部を新しい仮説に入れ替えることにより、環境変化にも素早く適用することができる。これらを組み合わせた拡張ベイズ推論は、ベイズ推論によって一定の合理性を保ちながら、逆ベイズ推論によって環境変化に適応して推論モデルを柔軟に変更し、エージェントに多様性を実現することが可能である。

#### 2.2 拡張ベイズ推論を適用した MRMG モデル

これまでの研究[4]では、まず、MRMG に拡張ベイズ推論を適用するにあたり、多様性実現のため、エージェントの行動選択肢を増やすことを狙い、エージェントの戦略として新たに多数優先戦略を追加した。多数優先戦略とは少数優先戦略の対となる戦略であり、隣人の情報を参考に、前回勝利した資源は次のステップでは人気になると考え、あえて前回のステップで多数派だった資源を確率的に選択する戦略である。この戦略と前述した MRMG の 3 種の戦略を合わせた 4 戦略を用い、ベイズ推論/BIB で戦略を推論する戦略ベイズモデルと、資源を推論する資源ベイズモデルの 2 種類のモデルを作成した。

##### 2.2.1 戦略ベイズモデル

戦略ベイズモデルは、選択する戦略をベイズ推論/BIB により決定するモデルである。学習データとなる観測データは隣人の勝率によって異なり、あるステップにおける隣人全体の勝率が低ければ安定した少数優先戦略を、隣人全体の勝率が高ければ逆張りとして多数優先戦略を観測データとして入力し、その戦略を選択しやすいように仮説の確率を更新する。各ステップにおいて、戦略はベイズ推論/BIB により確率的に決定し、決定した戦略に従って選択資源を決定する。

##### 2.2.2 資源ベイズモデル

資源ベイズモデルは、選択する資源をベイズ推論/BIB により決定するモデルである。学習データは各ステップで隣人が選択した資源であり、これによって局所的なエージェントの選択資源分布を作成する。戦略は戦略決定パラメータか、戦略ベイズと同様に隣人の勝率によって決定し、決定した戦略に従い、ベイズ推論/BIB で選択資源を決定する。

### 3. 個々のエージェントの多様性についての分析

これまでの研究で、前章で紹介した拡張ベイズ推論を適用した MRMG モデルのシミュレーションを行った。シミュレーション条件のうち、エージェントが構築するネット

ワークは, Huang らの研究では正方格子ネットワークのみであったが, ネットワークの違いとグループ化現象との関係について調べるため, 正方格子ネットワークに加えて, ランダムネットワーク, スモールワールドネットワーク, スケールフリーネットワークの4種類のネットワークでシミュレーションを行った. また, 拡張ベイズ推論の効果を確認するため, 戦略ベイズモデルと資源ベイズモデルのそれぞれについて, ベイズ推論単体を行うモデルと, 拡張ベイズ推論を行うモデルのシミュレーションを行った.

結果として, 一部条件において動的なグループ化を確認することができたが, 他の条件については動的なグループ化を確認できなかった. また, 結果分析項目として, 全エージェントの選択資源の推移の分析により, エージェント全体の多様性は確認できているが, 個々のエージェントの多様性に関しては分析できていない.

このため本稿では, これまで作成した MRMG モデルを, エージェント数 $N$ などのシミュレーション規模を拡大して追試することで, これまで発生しなかった条件についても動的なグループ化を発生させることを目指し, 結果分析項目として, 各エージェントの選択戦略の推移や各エージェントにおける特定の戦略の連続選択回数など, 個々のエージェントに注目した結果分析を行い, 個々のエージェントについても多様性が創造されているかを分析する.

#### 4. おわりに

本稿ではこれまでに作成した拡張ベイズ推論を適用した MRMG モデルについて, 一部シミュレーション条件を変更して追試を行うとともに, 結果分析項目として新たに選択戦略の推移などについても確認する. これにより, エージェント全体だけでなく, 個々のエージェントについても多様性が創造されているか分析する.

本発表では, これらのシミュレーション結果について議論する.

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K12143 の助成を受けたものです.

#### 参考文献

- [1] Z. G. Huang, J. Q. Zhang, J. Q. Dong, L. Huang, Y. C. Lai, “Emergence of grouping in multi-resource minority game dynamics”, *Scientific Reports*, Vol. 2, No. 703 (2012)
- [2] Y.P.Gunji, S.Shinohara, T.Haruna, V.Basios, “Inverse Bayesian inference as a key of consciousness featuring a macroscopic quantum logical structure”, *Biosystems*, Vol.152 (2017)
- [3] Y. P. Gunji, T. Kawai, H. Murakami, T. Tomaru, M. Minoura, S. Shiohara, , “Lévy Walk in Swarm Models Based on Bayesian and Inverse Bayesian Inference”, *Computational and Structural Biotechnology Journal*, Vol. 19 (2021).
- [4] Tatsuki Okano, Kazuto Sasai, “Application of Bayesian and Inverse Bayesian inference in Multi-Resource Minority Game”, *Proc. of the AROB-ISBC-SWARM* (2024).