

# 逆ベイズ推論を内包するコンピュータ大富豪ゲームの創造的アルゴリズム Creative Algorithm in Computer "Daihugou" Game Inspired by Inverse Bayesian Inference

井深 綾乃<sup>†</sup> 笹井 一人<sup>†</sup>  
Ayano Ibuka Kazuto Sasai

## 1. はじめに

共創は、「異なる背景や目標に向かって単独の行動主体では生み出せない価値を、複数の行動主体間の共同により生み出す行為」[1]を指す。つまり、共創とは創造的行為であり、従来の科学が用いてきたような客観的観測に基づく分析行為とは異なる。AI と人間の相互作用において、共創を考えることは、今後ますます AI が普及する社会において、創造的行為が維持されるために重要な課題である。

近年では、確率的推論の発展によって、チェスや将棋といった完全情報ゲームに加えて、ブラックジャックなどの不完全情報ゲームに対しても効果的なモデルが開発されてきた。2016 年には Alpha Zero がプロ棋士に勝利、2017 年には Liberatus がポーカーのプロに圧勝するなど様々な成果を上げている。その一方で、これらのゲーム AI は、勝利するという共通した目的の達成に対して、合理的な戦略を選択するために、ゲームをプレイすることの楽しさや新しい状況の創発などが置き去りにされている。このような問題こそむしろ、共創を生み出す上で、重要な課題である。

郡司ら[2]は、人間の創造性を加味した推論モデルとして、ベイズ-逆ベイズ(Bayes-Inverse Bayesian, BIB)推論を提案している。これは従来のベイズ推論を拡張し、非定常環境下における意思決定プロセスを反映させたものであり、生物の群れの行動や人間の行動選択パターンなどに内在する、臨界的な性質を再現することで、生物学的行動について一定の説明性を有している。

本稿では、創造性を含んで、人間と共創的な相互作用を行う AI を目指して、この BIB 推論モデルを適用した、有名なカードゲームである大富豪をプレイするエージェントのアルゴリズムを提案し、その実験結果について議論する。

## 2. コンピュータ大貧民

### 2.1 大富豪(大貧民)とは

大富豪(大貧民)[3]とは、複数人でプレイするトランプゲームである。初めに手札が配られ、その中から 1 枚または複数枚のカードを場に提出するというを繰り返し、手札を早く無くすことを競う。ゲームの特徴として、1 試合が終わると 1 位から順に、大富豪、富豪、平民、貧民、大貧民というように階級がつけられ、これは次ゲームへ持ち越しとなる。また、ゲーム開始時に大富豪、富豪に有利となるカード交換が存在する。このような特徴から大富豪は、カードを資産、順位を格差として現実の格差社会のシミュレーションとして捉えることもできるゲームである。

### 2.2 コンピュータ大貧民大会

電気通信大学では毎年、大富豪をプレイするプログラム同士を対戦させる、コンピュータ大貧民大会(UEC-da)[4]が

開催されている。処理時間に制限を設けるライト級と制限を設けない無差別級の 2 つの部門で様々なアルゴリズムの研究がなされている。統一ルールや各種プログラム、開発環境が公開されており、本稿ではこの環境を用いて実験を行った。(なお、詳細なルールについては公式ホームページをご覧ください。)

ここでは、コンピュータ大貧民大会で過去に使用されたプログラムの中から本研究に関係するものを紹介する。

#### 2.2.1 switch2

2022 年度のライト級優勝プログラムである。過去大会の優勝プログラムを参考にした計 6 つの戦略を持つ。試合中に各戦略の勝率を計算し、勝率が高い戦略を絞りこむ。

#### 2.2.2 kou2

2014 年及び 2015 年のライト級優勝のプログラムである[5]。ヒューリスティック戦略を用いており、手札評価値やしぼりに関する戦略、場を流せそうな組の判断を取り入れたアルゴリズムである。

## 3. BIB 推論モデルの応用

### 3.1 BIB 推論とは

BIB 推論[2]とは前述のとおり、ベイズ推論と逆ベイズ推論を組み合わせた手法である。ベイズ推論は、ベイズの定理から得られた計算結果を次の事後確率として用いる手法であり、仮説を  $h$ 、観測によって得られたデータを  $d$  とすると事後確率は以下となる。

$$P(h|d) = \frac{P(h)d}{P(d)} \quad (1)$$

ここで、ある時点  $t$  における事後確率を  $t+1$  における事前確率とすると、式は以下となる。

$$P(h)^{t+1} = P(h|d) \quad (2)$$

これを繰り返すことにより、得られた観測事象を基にした確率モデルを推定する。事前確率を更新することで、予め定義された仮説モデルの下で高い推論を可能にしている。

逆ベイズ推論は、推定を行う時点で最も確率の低い仮説  $h_{min}$  を過去のデータ分布で置き換える。  $P(d)$  を有限の長さを持つ観測データの確率分布とすると式は以下となる。

$$P(d|h_{min}) = P(d) \quad (3)$$

ベイズ推論の過程にこれを内包することにより、静的な環境における推定には揺らぎが生じるが、動的な環境の変化に対して、柔軟に対応できる推論モデルとなる。

<sup>†</sup> 茨城大学 Ibaraki University

### 3.2 コンピュータ大貧民への適用手法

2022 年度 UEC-da ライト級優勝プログラム「switch2」をベースプログラムとして使用した。本研究では、switch2 の戦略の選定方法に対して BIB 推論を適用する。ゲームを開始し手札交換が終了したとき BIB 推論モデルに基づき使用する戦略を決定する。また、ゲームが進み順位が決定されたとき、事後確率を計算しデータを更新する。このとき、事後確率の更新回数、観測データは試合の順位によって決定する。1 試合におけるゲームの流れを図 1 に示す。

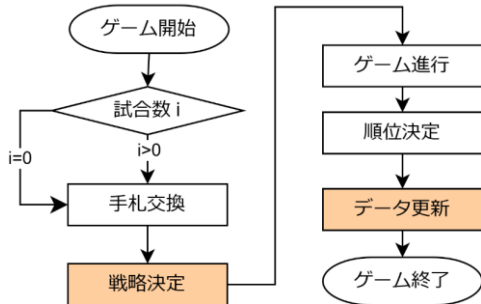


図 1 大富豪におけるゲームの流れ

### 3.3 結果と考察

UEC-da サーバ公式プログラム[4]を使用し、ベイズ推論を用いたプログラム「Bayes」、BIB 推論を用いたプログラム「BIB」、「switch2」、「kou2」、公式提供プログラム「default」を対戦させた。試合を 5000 回とし、勝率、事後確率の変化を調査した。

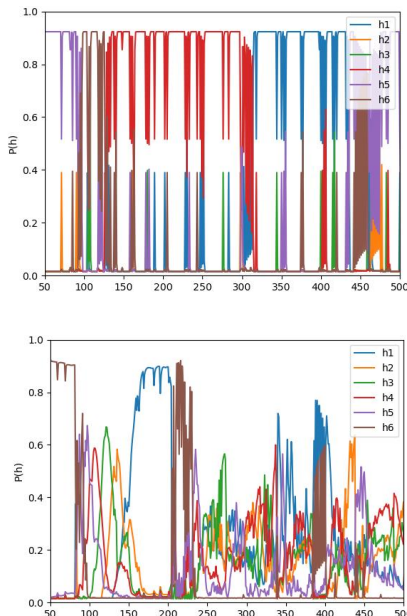


図 2 Bayes の事後確率の変化(上)と BIB の事後確率の変化(下)

図 2 に Bayes、BIB を用いた事後確率の変化を示す。このとき、試合回数  $50 < t < 500$  の範囲で、時間経過に伴う複数の仮説  $h_1$  から  $h_6$  の確率  $P(h)$  の推移を表している。ベイズ推論が観測データを扱い推論精度を高める都合上、試合数が 50 回以降の結果をグラフとして表示した。

Bayes について、全体を通して 1 つの仮説が 0.9 を超える割合で支持され、他の仮説はほぼ 0 に近い値を取ることが分かる。また BIB について、 $t < 80$  および  $150 < t < 200$  において特定の仮説が 0.9 の割合で支持され続けている。一方で、 $t < 220$  において、各仮説間の競合が激しく複数の仮説が交互に高い仮説を示すパターンが見られる。

以上のことから、ベイズ推論を用いる場合には、ある特定の仮説が継続的に支持されやすいことが分かる。また、今回使用したプログラムの場合、短期間で仮説の信頼性が固まる傾向があることが分かる。一方で、BIB 推論を用いた場合にはある時点ではベイズ推定と同様に特定の仮説を支持し続けるが、ある時点では異なる仮説が選択されるという一定でもランダムでもない挙動が確認された。これは、人間があるときには「思い込み」によって根拠が不十分な場合でも物事を信じ、あるときには「ああでもない、こうでもない」と思い悩む人間らしさを表現できたのではないかと。BIB 推論はこの意味で、単なる分析や予測を超えて、創造性を実現ができるアルゴリズムだといえる。

また、本実験において Bayes と BIB は勝率について有意な差は見られなかった。これは、両手法が同程度の性能を持つ可能性を示唆している。ただし、今回異なるアルゴリズムを混合して対戦を行っているために、相性などの複雑な要因が生じてしまい、単純な比較はできない。発表では、より詳細な勝率のデータや戦略の強さによる影響も踏まえて議論する。

## 4. おわりに

本稿では、人間の創造性を表現するアルゴリズムとして BIB 推論を用い、コンピュータ大貧民のプログラムに適用した。実験の結果、BIB 推論はベイズ推論とは異なる動的な仮説選択のパターンを示し、人間らしい「創造性」を表現できる可能性を示した。BIB 推論は、人間と AI が共創していくなかで、創造性を付加することができるアルゴリズムとして今後の応用が期待される。今後も BIB 推論のさらなる可能性を追求していきたい。

### 参考文献

- [1] 清水博, “共創とはどんなことだろうか-共創とその思想”, 計測と制御, Vol.51, No.11(2012)
- [2] Gunji, Y.-P., Shinohara, S., Haruna, T. and Basios, V., “Inverse Bayesian inference as a key of consciousness featuring a macroscopic quantum logical structure,” Biosystems 152, 44–65 (2017)
- [3] 杉浦 淳吉, “トランプのルールを応用したゲーミング・シミュレーションによる社会的課題の理解”, シミュレーション&ゲーミング, Vol. 24, No. 1 (2014)
- [4] “UEC-da2023-UEC 標準ルールについて”, [https://flute.ushizuokaken.ac.jp/daihinmin/2023/document\\_rules.html](https://flute.ushizuokaken.ac.jp/daihinmin/2023/document_rules.html), 閲覧日 2024/06/14
- [5] 田頭幸三, 但馬康宏, “コンピュータ大貧民におけるヒューリスティック戦略の実装と効果”, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 11, pp.2403-2413 (2016)