

## 審査結果の要旨

デジタル化が進行する中、モバイルデジタルゲームや音楽聞き放題サービスなど、1人で楽しむ娯楽が増えている。一方で、人と関わり合いながら時間を過ごす体験の価値が見直され、複数のプレイヤーが、実際にテーブルを囲みコミュニケーションをとりながら楽しむアナログ型の「テーブルゲーム」が再注目されている。

テーブルゲームは、各プレイヤーがゲームに関する全ての情報を把握できるか否かによって、チェス、将棋などの「完全情報ゲーム」と、トランプ、麻雀などの「不完全情報ゲーム」に分類される。不完全情報ゲームでは、各プレイヤーに与える情報に偏りが無い状態にするため、ゲーム開始前に、カードや牌などのオブジェクトを攪拌する。攪拌は、カードゲームではシャッフル（カードを混ぜ合わせる）であり、タイルゲームでは洗牌（牌をかき混ぜること）と呼ばれる。なお、ここでの「情報」とは、プレイヤーがオブジェクトから直接的に得る文字、数字、記号などの一次情報を指し、一次情報の組み合わせから推測される二次情報は含まれない。

これらの攪拌は、攪拌の方法や繰り返す回数によってオブジェクトの位置や配布状態に大きな影響を与える。加えてオブジェクトの攪拌が十分に行われていなければ、各プレイヤーに与える情報に大きな偏りが生じ、ゲームの勝敗に大きな影響を及ぼす可能性がある。不完全情報ゲームにおいて、オブジェクトの攪拌はきわめて重要な作業である。

このような背景から、申請者は、不完全情報ゲームのうち、人が攪拌するトランプと、機械（全自動麻雀卓）が攪拌する麻雀に焦点を絞り、それらの攪拌について論じている。具体的にはシャッフルと洗牌によってカードおよび牌が攪拌された状態を評価するとともに、完全攪拌状態となる条件を明らかにしている。

以下に申請論文の構成と内容について述べる。

申請論文は序論および結論を含む4つの章で構成されている。

第1章「序論」では、本研究で使用する「ゲーム」という用語を定義し、ゲームが完全情報ゲームと不完全情報ゲームに分類されることを述べた上で、不完全情報ゲームの特性について説明している。次に不完全情報ゲームにおいて不完全な情報を作り出す方法として、シャッフルと全自動麻雀卓による洗牌について説明し、本研究の目的を述べている。またシャッフルおよび洗牌に関連する主な研究を俯瞰し、不完全情報ゲームの研究を進めていく上での課題を説明している。

第2章では、シャッフルによるカードの攪拌に関する評価を行い、同じシャッフルを繰り返した場合と、複数のシャッフルを組み合わせた場合に、完全攪拌状態となる条件について分析している。前者ではリフル・シャッフルを繰り返した場合の7回、後者では5回のシャッフルの組み合わせでデッキが完全攪拌状態になることを明らかにしている。さらにシャッフルを3回組み合わせた場合に、急激に攪拌の状態が向上するという「カットオフ現象」をシャッフル結果から確認している。

第3章では、全自動麻雀卓による牌の攪拌に関する評価を行い、完全攪拌状態となる条件について分析している。マルチエージェントモデルによるシミュレーションの結果、牌山の一部において牌に偏りが生じており、完全攪拌状態ではないことを明らかにしている。また他の主要な全自動麻雀卓における牌の攪拌手法を調査し、マルチエージェントモデルが適用可能な範囲を示している。他機種であっても牌の攪拌手法が同じものに対して、マルチエージェントモデルが適用できる可能性を検証している。さらに牌の攪拌率を向上させる方法として、ドラムに空回転（牌を取得しないドラムの回転）を加えることを提案している。シミュレーションの結果、ドラムに4つの空回転（0, 1/4, 2/4, 3/4）をランダムに加えたとき、牌山が完全攪拌状態となることを明らかにしている。

最後に、第4章「結論」では、本研究で得られた不完全情報ゲームにおけるオブジェクトの攪拌に関する知見をまとめるとともに、今後の研究課題について述べている。

以上の構成と内容により得られた本研究の成果は、不完全情報ゲームにおけるシャッフルと洗牌によってオブジェクトが攪拌された状態を評価するとともに、完全攪拌状態となる条件を示したことである。この条件は、不完全情報ゲームの攪拌における公平性を定量的に評価することに活用できる成果である。また、効率的な疑似乱数生成アルゴリズム開発につながる手がかりも与えている。

以上より、本論文は学位を授与するに十分な内容を持つものであると判断される。