

博士学位論文要旨

不完全情報ゲームにおける攪拌に関する研究

博士後期課程 情報科学研究科 2018841002 井手 広康

「テーブルゲーム」とは、ボードゲーム、カードゲーム、タイルゲーム、ダイスゲームなど、複数のプレイヤーがテーブルを囲んで行うゲームのことである。以下、これらのテーブルゲームのことを「ゲーム」と呼ぶ。

ゲームは「完全情報ゲーム (Games with Perfect Information)」と「不完全情報ゲーム (Games with Imperfect Information)」に分類することができる。

完全情報ゲームには、チェス、オセロ、囲碁、将棋などのボードゲームがある。一方、不完全情報ゲームには、トランプ、かるた、花札、UNOなどのカードゲーム、麻雀やドミノなどのタイルゲーム、バックギャモンやモノポリーなどのダイスゲームがある。以下、これらのゲームにおいて使用される駒、カード、牌 (タイル)、サイコロなどを総称して「オブジェクト」と呼ぶ。

完全情報ゲームと不完全情報ゲームでは、プレイヤー同士がオブジェクトのやり取りを繰り返し、ゲームの勝敗を決めるということは共通している。しかしプレイヤーに与えられる情報量が異なる点で、完全情報ゲームと不完全情報ゲームには明確な違いがある。ここで「情報」とは、ゲームにおいてプレイヤーがオブジェクトから直接的 (表面的) に得られる文字、数字、記号などの一次情報を指す。これに一次情報の組み合わせから間接的 (推測的) に得られる二次情報は含まない。以下、「情報」とは二次情報ではなく一次情報を意味するものとする。

完全情報ゲームは、“各プレイヤーはゲームに関するすべての情報を把握することができる”という特徴をもつ。つまり各プレイヤーにはゲームに関するすべての情報が与えられるため、ゲーム開始前にオブジェクトを攪拌する必要はない。例えば、将棋では二人のプレイヤーはすべての駒の情報を把握することができる。したがって駒を攪拌させる必要は無く、ゲーム開

始前に駒を盤上の決められた位置に配置するだけでよい。

一方、不完全情報ゲームは、“各プレイヤーはゲームに関するすべての情報を把握することができない”という特徴をもつ。つまり各プレイヤーにはゲームに関する一部の情報しか与えられない。また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、ゲーム開始前にオブジェクトを攪拌する必要がある。カードゲームではシャッフル（カードを混ぜ合わせる）ことによるカードの攪拌が必要である。またタイルゲームでは洗牌（牌をかき混ぜること）による牌の攪拌が必要である。ただし実際にテーブルを囲んで行われるゲーム（以下、「アナログゲーム」と呼ぶ）と、コンピュータ上でプレイするゲーム（以下、「デジタルゲーム」と呼ぶ）とでは、次のようにオブジェクトの攪拌方法が大きく異なる。

アナログゲームでは、人間あるいは機械による「操作」によってオブジェクトを攪拌する。例えば、トランプでは人間によるシャッフル、麻雀では人間あるいは機械（自動で洗牌する機械で「全自動麻雀卓」と呼ばれる）による洗牌が上記の「操作」に該当する。ただしシャッフルや洗牌はいずれも同じ動作の繰り返しに過ぎず、攪拌の方法や繰り返す回数によってオブジェクトの状態は大きく変動する。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。つまりアナログゲームにおいて、オブジェクトの攪拌はきわめて重要な作業である。しかし現在のところ、アナログゲームにおけるオブジェクトの攪拌を取り扱っている文献は非常に少ない。

デジタルゲームでは、オブジェクトの攪拌に乱数が用いられることが多い。例えば、トランプではデッキ（一組のカードの束で「山札」とも呼ばれる）の各カードに対して乱数を割り振り、乱数の昇順に従ってカードを並べ替えることで攪拌が可能である。また麻雀では、すべての牌に対して乱数を割り振り、牌を乱数の昇順に従って牌山（牌が積み重ねられた山のこと）に積み上げることで攪拌が可能である。このようにデジタルゲームでは、乱数を用いることでアナログゲームと比較して容易にオブジェクトを攪拌することができる。ただし乱数を使用した場合、実際にはオブジェクトをコンピュータ上でかき混ぜる操作はしていない。しかしオブジェクトの並び替えを行うという観点では、アナログゲームにおけるオブジェクトの攪拌と同じ「操作」といえる。

不完全情報ゲームにおいてオブジェクトが偏りなく攪拌された状態を、コンピュータ上で乱数を使用してオブジェクトが攪拌された状態と同等であると見なす。以下、この状態を「完全攪拌状態」と呼ぶ。つまり乱数を使用してオブジェクトを攪拌した状態と、ある「操

作」によって攪拌した状態とを比較し、両者に相違ない場合に完全攪拌状態と判定する。本研究の目的は、不完全情報ゲームにおいてオブジェクトが攪拌された状態を評価し、完全攪拌状態となる条件を明らかにすることである。

本論文は、序論および結論を含む4つの章で構成されている。

第1章では、まず本研究で使用する「ゲーム」という用語を定義する。次にプレイヤーに与えられる情報量という観点から、ゲームを完全情報ゲームと不完全情報ゲームに分類する。次に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する。次に不完全情報ゲームの研究における本研究の位置付けを説明した後、本研究の目的を述べる。次にシャッフルと洗牌の関連研究に関して説明する。最後に本論文の構成を示す。

第2章では、シャッフルによるカードの攪拌に焦点を当てる。本研究では、シャッフル手法としてヒンズー・シャッフル、リフル・シャッフル、ディーラー・シャッフルを取り上げる。これらのシャッフルの組み合わせによってカードが攪拌された状態を評価する。なお評価指標には、本研究独自の「シャッフルの収束率」を用いる。さらにデッキが完全攪拌状態となるシャッフルの条件を明らかにする。

第3章では、全自動麻雀卓を使用した洗牌による牌の攪拌に焦点を当てる。従来、洗牌は手作業で行っていたが、現在では時間短縮のため全自動麻雀卓を使用することが一般的である。本研究では、全自動麻雀卓をマルチエージェントモデルとしてモデル化し、牌の攪拌をマルチエージェント・シミュレーションにより再現する。マルチエージェントモデル及び実物の全自動麻雀卓によって牌が攪拌された状態を評価する。なお評価指標には、本研究独自の「牌の攪拌率」を用いる。さらに牌山が完全攪拌状態となる洗牌の条件を明らかにする。

第4章では、第2章および第3章におけるシミュレーション結果の分析から得られた知見と成果をまとめる。これらの知見と成果を踏まえて、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今後の研究課題と展望を述べる。