

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第	号
------	-------	---

氏 名 木谷 裕紀

論 文 題 目

Algorithmic Analyses of Card-Discarding Type Games
(手札消費型ゲームに対するアルゴリズム論的解析)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学教授 小野 廣隆

委 員 名古屋大学教授 柳浦 睦憲

委 員 名古屋大学准教授 大舘 陽太

娯楽ゲームの数理的特性に関しては組合せゲーム理論分野で古くから研究されており、例えばニムと呼ばれる石取りゲームをはじめとする不偏ゲームの一部のゲーム群についてはその代数的構造の美しさから必勝プレイヤー判定に関する多くの研究がある。また、将棋や囲碁などのボード型のゲームに関する計算論的な研究により、多くが **PSPACE** 困難、**EXPTIME** 困難であることがわかっている。昨今の機械学習技術などを活用したゲーム AI 開発の妥当性はこの計算困難性に基づくものである。このように娯楽ゲームに対する数理的解析は上述の 2 つのゲーム群に対するものが多数を占めており、必勝プレイヤー判定が容易なゲームは簡潔性・抽象性から娯楽性に乏しく、娯楽性に富むゲームは計算論的に極端に難しいのが現状である。

本論文は、これらのいずれにも属さないカード型ゲームに対して、必勝プレイヤーの存在性、必勝判定の容易性・困難性についてアルゴリズム設計の観点から解析したものである。取り上げたゲームはいずれも実際に広く遊ばれている、大貧民、ババ抜き、七並べを数理モデル化したものであり、それぞれ異なる特性を持っている。

大貧民に関する研究では、ルールを簡潔化した単貧民を分析している。単貧民はカードの順序構造を利用したゲームである。得られた結果は大きく分けて二つあり、第一に、二人完全情報ゲームの設定では、手札情報を元に構築されるグラフの不変量を計算することにより必勝プレイヤーの判定が可能であること、またそれが線形時間で計算可能であることを示している。第二に、完全情報ではない状況を部分的に情報が得られるオラクルモデルの下で定式化し、オラクルの能力の強弱とオラクル利用の回数により完全情報と同等の判定ができる場合、あるいは原理的に不可能である場合の分類などに成功している。ババ抜きに関する研究では、完全情報化した多人数ババ抜きを分析している。ババ抜きはカードのペア構造を利用したゲームである。2 人プレイヤーでの完全情報ババ抜きでは簡単に必勝プレイヤーが判定できることがわかるが、3 人以上のプレイヤーでは妨害の概念が生まれるため判定は自明ではない。ここでは 3 人の場合の必勝プレイヤー判定、また 4 人の場合、最善の行動がババを引くことである局面が存在することにより、千日手が起こりうることを示している。七並べに関する研究では、これを一般化したグラフ七並べを定義し、その二人完全情報ゲームにおける必勝プレイヤー判定を論じている。通常七並べを単純に拡張した木七並べでは、必勝プレイヤー判定を行う多項式時間アルゴリズムが存在するが、より一般化したグラフでは **NP** 困難になること、またトンネルルールと呼ばれる比較的広く採用されている特別ルールの下では **PSPACE** 完全になることを示している。

これらはいずれも自然であるにもかかわらずこれまで研究されてこなかったカード消費型ゲームに対してアルゴリズム論的な解析を与えたものであるだけでなく、これまでの組合せゲーム理論が対象としてこなかった多人数ゲーム、部分情報型設定への拡張に取り組んだ意欲的な研究であり、その結果の非自明性も含め、高く評価できる。以上から、木谷裕紀氏から提出された論文"Algorithmic Analyses of Card-Discarding Type Games"を博士（情報学）の学位を授与するに値するものと認める。