

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00503

研究課題名（和文）現実世界の競争に近い複雑なゲームに対するヒューリスティック手法の適用

研究課題名（英文）Applying heuristics to complex games close to real-world competition

研究代表者

保木 邦仁（Hoki, Kunihito）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：00436081

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：行動の選択肢が多く、状況や状態遷移を部分的にしか観測できない、現実世界における競争により近いゲームにおいて、既存ヒューリスティック手法の大規模化を達成することにより、競争に勝つ人工知能技術の開発を目指した。そして、囲碁、麻雀、大貧民、チェス、デジタルカーリングなどを題材にして人工知能の研究を行い、この目的を実現する新規アルゴリズムを開発し、論文としてこれらの成果を発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ゲームに勝つ人工知能の作成はランドチャレンジの側面を持つ。研究成果の公開は、科学技術発展の指針となり、これが社会への貢献となる。また、デジタルゲームにおいて人工知能が一定の強さを獲得できるのであれば、デジタルゲームのエンターテインメント性向上に貢献し得る。さらに、本研究は、経済活動や政治活動などに代表される実世界の競争における人工知能開発に向けての足掛かりとなることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Aiming to develop competitive artificial intelligence by achieving the scale-up of existing heuristics in games that are close to competition in the real world, where there are many options for actions, and situations and state transitions can only be partially observed. This research was carried out by using Go, Mahjong, a card game, chess, digital curling, etc., provided a new algorithm to realize the aim, and was published in several papers.

研究分野：人工知能応用

キーワード：ゲーム人工知能 機械学習 ヒューリスティック探索

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

知能を実現することは、情報学の大きな目標の一つである。しかし、知能には様々な側面があるということを見ると、この目標はしばしば曖昧なものとなる。このような背景の中で、パズルやボードゲームなどの思考能力を競うゲームが注目されてきた。ゲームは、知能実現という難しい課題に挑戦するための目標を、我々に提供するからである。

多項式時間アルゴリズムが知られていないような難しい問題でも、ヒューリスティック手法（発見的な方法）により解決されることが多い。実際、組み合わせの数が問題の大きさに対して爆発的に増加するような最適化問題や制約充足問題なども、問題固有の性質や知識を利用することによって、解の下限値を推定したり、近似解法を洗練するなどしたりして、解の探索が大幅に効率化される。例えば、近年の SAT ソルバーは大規模な制約充足問題の多くを高速に解くことが可能である。ヒューリスティック手法が有効なのはゲームにおいても同様であり、これによってパズルゲームの最短解や、アクションゲームの近似解が得られる。

思考力を競う二人確定完全情報ゲームの人工知能技術もまた、ヒューリスティック手法の進歩とともに発展を続けている。二人不確定完全情報ゲームではバックギャモンで世界チャンピオンレベルの強さを獲得した。更に、2015 年には遂に、二人不完全情報ゲームの二人ポーカー（テキサスホールデムのヘッズアップかつリミテッド）でパーフェクトプレイの非常に良い近似が得られたと報告された。

その一方で、人工知能の性能が人知に及ばないゲームも存在する。19 路の囲碁ではモンテカルロ木探索法が一時発展し、人工知能はアマチュア県代表クラスの強さを獲得した。2012 年には囲碁プログラム Zen が 4 子の置き碁で日本棋院プロ棋士の武宮正樹九段に勝利した。しかし、ここ数年囲碁プログラムの性能は伸び悩み、人間トップレベルには現状では及ばない。

人工知能が人知に敵わないようなゲームは、不完全情報ゲームにおいては、さらに数多く存在する。戦争を模倣した戦略シミュレーションゲームではしばしば、人工知能の弱さを補うために、人間プレイヤーと NPC 間で、ゲームのルールや初期状態が不平等に設定されている。

### 2. 研究の目的

行動の選択肢が多いゲームの人工知能を研究し、熟達者のプレイ記録からヒューリスティック手法を構築・適用して人知の強さを追求する。

研究が比較的進んでいる二人確定完全情報ゲームの行動選択肢数は、オセロが 10、チェスが 20、将棋が 80 程度である。学術的背景から、ルール上許される行動の選択肢が多いゲームほど、研究が困難になるという歴史的傾向が見て取れる。選択肢数の観点から比較すると、二人不完全情報ゲームは研究が遅れて、二人ポーカーの行動の選択肢数はたったの 3 である。

本研究では、このような組み合わせの数の増加がもたらす困難を、大規模なゲーム固有の知識を活用することにより緩和する。既存ヒューリスティック手法の適用可能な探索空間、パラメタ空間及び部分問題サイズを拡大して、ゲーム人工知能全体の統合的な最適化を行うことが、本研究で期間内に行おうとすることである。

### 3. 研究の方法

強い人工知能を開発するために、適用可能な探索空間、パラメタ空間及び部分問題サイズを拡大し、ゲームプログラム全体を統合的に最適化する（図 1 参照）。この目標を、各ゲーム固有の性質を考慮して、既存ヒューリスティック手法を構成する誤差関数、コスト関数、報酬、優劣評価関数及び数値的反復法の性質を調査し、これらを改善することにより達成する。本計画では複数のカテゴリから題材とするゲームを選び、多方面からの検討を進める。本研究は主に代表者により遂行されるが、各ゲーム固有の技術やプログラムコードの提供を 3 名の分担研究者が行い、計画の実施を加速する。また、本研究に関する実験は大学院生 2 名により重点的に行われる。

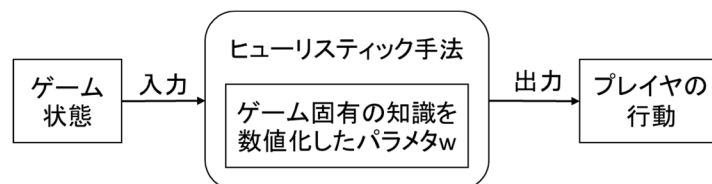


図 1 本研究におけるゲームプログラム概念図。パラメタ  $w$  を調整することにより、ヒューリスティック手法の出力を制御する。

#### 4. 研究成果

本研究で題材とするゲームは、複数のカテゴリから選んだ。

- ・二人確定完全情報 囲碁
- ・二人不確定完全情報 デジタルカーリング
- ・二人不完全情報 SF 戦争シミュレーション、サッカーシミュレーション 2D
- ・多人数不完全情報 人狼、大貧民

囲碁とSF戦争シミュレーション(スタークラフト)には人工知能よりも数段強いプロプレイヤーが多数存在し、熟達者のプレイ記録取得は容易である。デジタルカーリングとサッカーシミュレーション 2D では、それら自体にはプロプレイヤーは存在しないが、それぞれに対応する現実世界のゲームにおいてはプロ団体のゲーム記録が十分に存在する。人狼と大貧民に関しては、プロと呼べるほど熟達したプレイヤーを見つけるのは困難ではあるかもしれないが、ある程度強い人間のゲーム記録を採取して、これを熟達者のプレイ記録とする。

平成 29 年度は、囲碁、麻雀、大貧民、チェスを題材に選び、本研究計画を実行した。平成 30 年度は、前年度の研究内容を発展させるため、より多様なルールのゲームにおいて研究を行うために、デジタルカーリングを新たな題材として選び同計画を実行した。この研究成果は和論文誌(松井亮平, 保木邦仁, 強化学習法によるデジタルカーリングの初歩的な行動知識の獲得, 情報処理学会論文誌, 59(11), pp. 2063-2073, 2018)にて報告された。

概ね順調に進展してはいたが、ゲーム人工知能領域は現在激変期にあり、重要な研究発表が他の研究者らにより複数なされたため、研究計画に細かな変更の必要性が生じた。そして、一部の研究内容(麻雀人工知能)に平成 30 年度までの総括・発表が間に合わなかったものがあつたため 1 年間同研究を継続した。

継続した研究は、平成 31 年 4 月に arXiv 上で成果発表し(arXiv:1904.07491v1)、そして、結果をさらにまとめた原稿を現在海外ジャーナル論文誌に投稿中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松井亮平, 保木邦仁	4. 巻 59
2. 論文標題 強化学習法によるデジタルカーリングの初歩的な行動知識の獲得	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 2063 - 2073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 1)Yuki Sukenari, Kunihito Hoki, Satoshi Takahashi, Masakazu Muramatsu	4. 巻 215
2. 論文標題 Pure Nash Equilibria of Competitive Diffusion Process on Toroidal Grid Graphs	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 31-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 荒木伸夫, 保木邦仁, 村松正和	4. 巻 57
2. 論文標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた囲碁における1局の棋譜からの棋力推定	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 2365-2373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大西紘史, 保木邦仁
2. 発表標題 4人でプレイするBlokusのAIプレイヤーの強化学習
3. 学会等名 研究報告ゲーム情報学 (GI)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岡勇太, 保木邦仁
2. 発表標題 CFR法とQ学習法の格闘ゲーム人工知能への適用
3. 学会等名 研究報告ゲーム情報学 (GI)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田弾, 保木邦仁
2. 発表標題 Nメンズモリスのコマの配置の数の分析
3. 学会等名 研究報告ゲーム情報学 (GI)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保木邦仁
2. 発表標題 ゲーム人工知能の歴史～コンピュータ将棋と囲碁の躍進～
3. 学会等名 第13回情報科学シンポジウム, 東北学院大学 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Moyuru Kurita, Kunihito Hok
2. 発表標題 Method for Constructing Artificial Intelligence Player with Abstraction to Markov Decision Processes in Multiplayer Game of Mahjong
3. 学会等名 arXiv:1904.07491v1 [cs.AI] (プレプリント)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田直人, 保木邦仁
2. 発表標題 Watkins の Q ( ) 法に基づく Multiple Choice System のボスの強化学習
3. 学会等名 情報処理学会ゲーム情報学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原和人, 保木邦仁
2. 発表標題 大貧民の状態価値(期待順位)の強化学習
3. 学会等名 情報処理学会研究報告、2018-GI-39
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅原真, 保木邦仁
2. 発表標題 “Double-Fritz with boss” のボスをニューラルネットワークに置き換える研究
3. 学会等名 情報処理学会研究報告、2018-GI-39
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栗田萌, 保木邦仁
2. 発表標題 有向非巡回グラフで表現された1人麻雀の探索アルゴリズム
3. 学会等名 第22回ゲームプログラミングワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栗田萌、保木邦仁
2. 発表標題 麻雀1局の目的に応じた抽象化と価値推定からなるプレイヤーの開発
3. 学会等名 第22回ゲームプログラミングワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 栗田萌、保木邦仁
2. 発表標題 麻雀における他家の手牌と待ちの予測に基づく放銃確率推定
3. 学会等名 情報処理学会研究報告、2017-GI-38
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西野 順二  (Nishino Junji)  (00281030)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教   (12612)	
研究分担者	伊藤 毅志  (Ito Takeshi)  (40262373)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授   (12612)	
研究分担者	村松 正和  (Muramatsu Masakazu)  (70266071)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授   (12612)	