

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12260

研究課題名（和文）学習者の振る舞いを模倣する模倣学習エージェントを用いた教育システムの開発

研究課題名（英文）The Development of educational system using imitation learning agent which imitates learner's behavior

研究代表者

植野 雅之（UENO, Masayuki）

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：50300348

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人工知能技術を用いて、人間のゲーム戦略を模倣する「模倣学習エージェント」を構築しました。人間のリバーシの対戦記録から機械学習により人間に似た戦略を持つエージェントを作ることができます。さらに、模倣学習エージェントにXAI技術（説明可能AI技術）を適用することにより、エージェントが学習した戦略を可視化しました。これにより、自分自身が盤面をどう評価しているかを、可視化することができました。この組み合わせによって人間がゲームを振り返る際に、自分の戦略を客観的に理解し内省する手助けとすることができます。さらにこの方法は、この事例に限らず他の教育的な場面で用いることができます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究の学術的意義は、人工知能技術である「模倣学習」と「説明可能AI」を組み合わせた方法を開拓したことにあります。模倣学習では人間の行動データから人間らしい戦略を学習できますが、その戦略の内容を可視化することは試みられていませんでした。本研究ではXAIの手法を適用して、戦略の可視化をおこなうことができました。

社会的意義としては、人間の内面を可視化し、自己理解を促進する新しい教育支援手段を提供できる点があげられます。自分の長所や課題を客観的に認識でき、学習効果を高めることが期待されます。AI技術を人間理解や成長の促進に活用する新たな手法と考えています。

研究成果の概要（英文）：In this study, we used artificial intelligence techniques to build an imitation learning agent that mimics human game strategies. The agent with human-like strategies can be created by machine learning from records of human reversi games. Furthermore, by applying XAI technology (Explainable AI technology) to the imitation learning agent, we visualized the strategies learned by the agent. This allowed us to visualize how they themselves evaluate the board. This combination can help humans to objectively understand and introspect their own strategies when reflecting on the game. Furthermore, this method can be used not only in this case but also in other educational settings.

研究分野：教育システム学

キーワード：模倣学習エージェント 模倣学習 XAI 戦略ゲーム 可視化

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 知識情報処理などの人工知能技術を教育システムに生かす試みは、知的教育システム(ITS)研究として古くからおこなわれてきたが、初期のITS研究では、人間の教師を機械に置き換えることを目指すものが多く、実現が困難で限定的な成功に留まっていたため、機械知と人間知の非対称性を越えて刺激を与える教育エージェント(Pedagogical Agent)の研究が進められていた。

(2) 技術的には、画像認識や自然言語処理において大きな進展が見られており、機械学習・AI技術が実用的な新技術として広く認識されるに至った。また、AlphaGoの成功により、機械学習と強化学習への関心が高まっていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究の第一の目的は学習者の振る舞いやスキル、思い込みを反映させた学習エージェントである「模倣学習エージェント」を開発し、その効果を検証することである。まず、技術的にこの「模倣学習エージェント」がどこまで可能であるかを検証するため、リバーシといった論理的ボードゲームをターゲットとして、棋譜からの学習がどこまで可能かを検証する。

(2) 第二の目的は模倣学習エージェントを用いた学習支援機能の開発である。当初は模倣学習エージェントに新たなルールを追加的に教示することにより、パフォーマンスを改善するといったことを想定していた。

3. 研究の方法

(1) プロトタイプの開発と検証

模倣学習エージェントを構築する機械学習システムを開発し、そのパフォーマンスを検証する。

4. 研究成果

(1) リバーシを対象として、模倣学習エージェントを構築するためのシステムを構築した(図1)。リバーシ環境としては、y-tetsu氏により、公開されているPythonで書かれたオープンソースのコードを用いている。棋譜収集フェーズでは、この環境下で被験者とこの環境に搭載されているゲームAIとを対戦させ、棋譜データを収集する。模倣学習エージェントを構築する学習では、OpenAI財団が提供していた強化学習ライブラリであるStable-baseline3と強化学習環境gym上で逆強化学習アルゴリズムであるGAILやAIRLなどを用いている。評価フェーズでは、同じリバーシの環境下で同一のゲームAIとを対戦させることにより、評価をおこなっている。

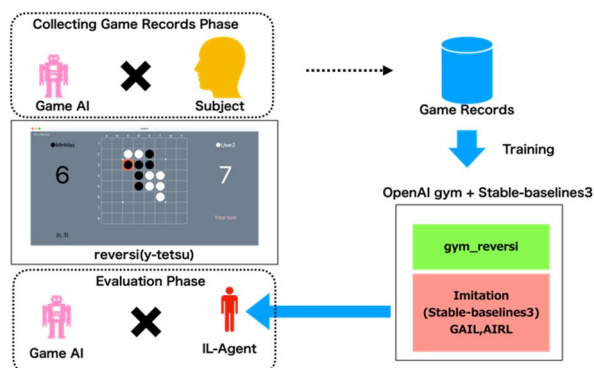


図1 模倣学習エージェントの構築

(2) 模倣学習エージェントのパフォーマンス

実用性を考慮して、30程度の棋譜データからどの程度のパフォーマンスが得られるかを検証した。パフォーマンス評価では、棋譜収集のために利用したゲームAI(リバーシ環境に実装されていたもの)を利用した。パフォーマンスは表1のようになる。なお、被験者自身の対戦成績はMinMax以外は圧勝(ほぼ負けなし)、MinMaxとは互角という結果であるため、あまり良くない結果にはなる。一方で互角のMinMaxだけの棋譜からの学習をおこなったケースでは、必ずしも良くない結果が得られており、棋譜の多様性が結果に影響を与えることが示唆される。

表1 模倣学習エージェントのパフォーマンス

IL-Agent	Greedy	SlowStarter	Table	MinMax
GAIL Algorithm (Training Epoch=100K x 10)	62%	57%	25%	25%
AIRL Algorithm (Training Epoch=20K x 60)	39%	44%	14%	64%

表 2 模倣学習エージェントのパフォーマンス(MinMax との棋譜のみ)

<i>IL-Agent</i>	<i>Greedy</i>	<i>SlowStarter</i>	<i>Table</i>	<i>MinMax</i>
AIRL Algorithm (Training Epoch=20K x 60)	31.0%	39.0%	25.0%	51.0%

(3) 模倣学習エージェントの盤面評価の可視化

模倣学習エージェントが持つ盤面評価を可視化することができるのではないかと考え、XAI(Explainable AI)技術の一つとして知られるLIMEアルゴリズムを適用することで可視化を試みた。単純に適用した場合には各手に対応した評価マップとなるため、その意味を解釈することはかなり難しいが、これらをそれぞれの出現確率を重みとした荷重平均をとることで統合化することで模倣学習エージェントが持つ盤面評価マップを生成することができた。この結果を序盤、中盤、終盤のリバーシの実際の盤面に対して計算したものが図2のようになる。なお、対比のため、ゲームAIのGreedy(できるだけ多くを返す手を選択するAI)の棋譜から学習させた模倣学習エージェントから得られたマップも示している。リバーシでは、角は一度置かれてしまうと返すことができないため、角につながる手を指さないようにすることが定石とされているが、Greedyはこの定石を考慮しないAIであるため、B5の部分を高く評価してしまっているが、この定石を理解している人間の被験者では評価しない結果となっている。

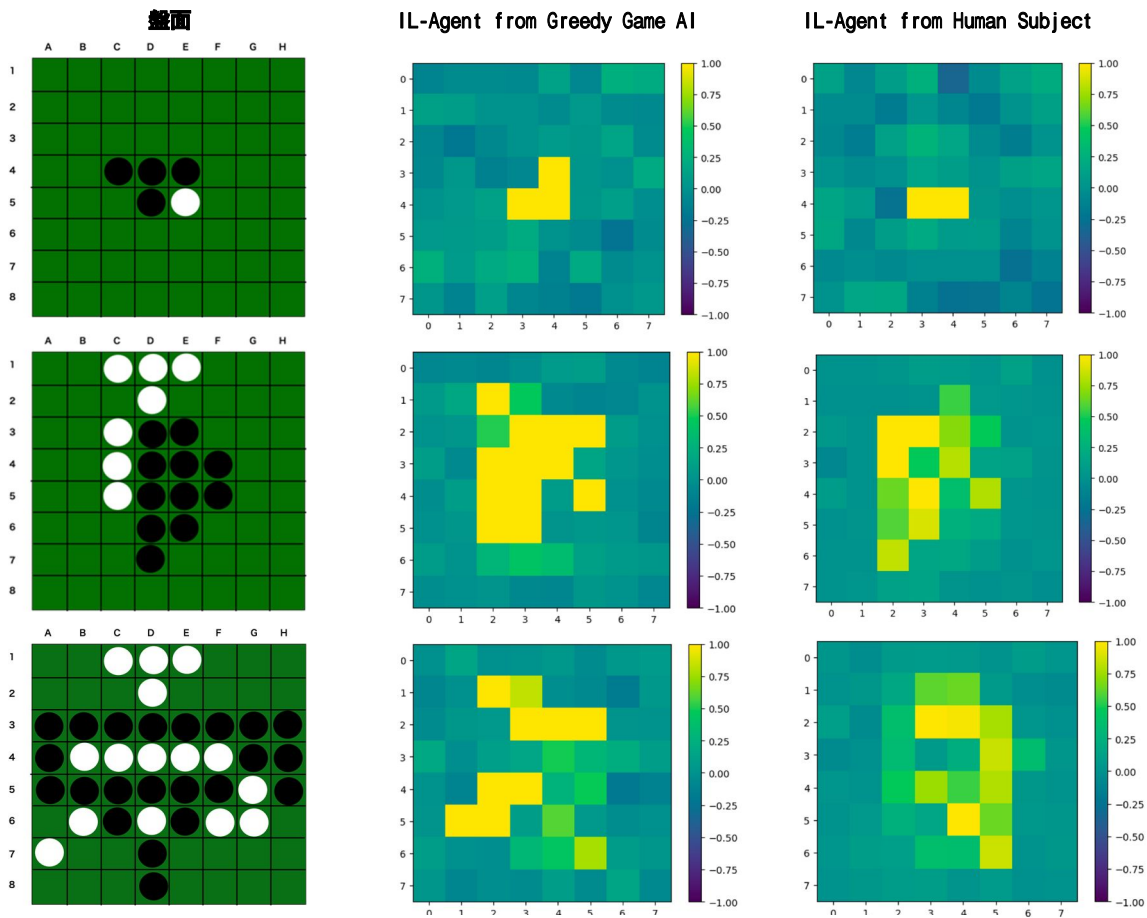


図 2 模倣学習エージェントから生成した盤面評価マップ(白手番)

< 引用文献 >

y-tetsu, "reversi", <https://github.com/y-tetsu/reversi>
 DLR-RM, "stable-baselines3", <https://github.com/DLR-RM/stable-baselines3>
 marcotcr, "lime", <https://github.com/marcotcr/lime>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masayuki UENO, Tomoyuki TAKAMI	4. 巻 1
2. 論文標題 Visualizing Human Game Strategies with Imitation Learning and XAI for Learning Environments	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of ICT Application Research	6. 最初と最後の頁 14-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32188/ijiar.1.1_14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 U. Masayuki and T. Tomoyuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Visualization of Game Strategies from Imitation Learning Agents	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 616-617
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE59613.2023.10315659	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 Masayuki UENO, Tomoyuki TAKAMI	4. 巻 1
2. 論文標題 Learning Environment to Develop a Community of Players for Unknown Board Game	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference on ICT Application Research	6. 最初と最後の頁 79-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32188/iar.1.0_79	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ueno, M., Takami T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Learning Support by Visualizing Game Strategies From Imitation Learning Agents	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 588, 589
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/GCCE56475.2022.10014419	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 Ueno, Msayuki., Takami Tomoyuki.,	4. 巻 1
2. 論文標題 Construction of an Imitation Learning Agent Using Game Records of Unspecified Players	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE53005.2021.9622055	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 UENO Masayuki; WADA Shinjiro; TAKAMI Tomoyuki	4. 巻 1
2. 論文標題 A Virtual Play Environment and Game Strategy Analysis System Using Imitation Learning Agents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 690-691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE50665.2020.9291746	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 Masayuki Ueno, Shinjiro Wada, Tomoyuki Takami	4. 巻 1
2. 論文標題 The Education Environment for Strategy using the Imitation Learning Agent that Mimics the Behavior of Human Player	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)	6. 最初と最後の頁 45-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE46687.2019.9015289	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18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 植野 雅之, 高見 友幸
2. 発表標題 人間が持つゲーム戦略の模倣学習とXAIによる可視化
3. 学会等名 ゲーム学会第22回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Masayuki UENO, Tomoyuki TAKAMI
2. 発表標題 Visualization of Game Strategies from Imitation Learning Agents
3. 学会等名 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masayuki UENO, Tomoyuki TAKAMI
2. 発表標題 Learning Environment to Develop a Community of Players for Unknown Board Game
3. 学会等名 The first International Conference on ICT Application Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植野 雅之, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントからのゲーム戦略の可視化に基づく支援
3. 学会等名 ゲーム学会第21回合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植野 雅之, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントによるゲーム戦略学習
3. 学会等名 教育システム情報学会第48回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植野, 高見
2. 発表標題 模倣学習エージェントの性能評価について
3. 学会等名 ゲーム学会第20回合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植野, 高見
2. 発表標題 模倣学習エージェントからのゲーム戦略の可視化と支援機能
3. 学会等名 ゲーム学会第21回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masayuki UENO, Tomoyuki TAKAMI
2. 発表標題 Learning Support by Visualizing Game Strategies From Imitation Learning Agents
3. 学会等名 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植野 雅之, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントからの説明可能なAI技術による支援機能の可能性
3. 学会等名 ゲーム学会第20回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植野 雅之, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェント構築のための機械学習実装
3. 学会等名 ゲーム学会第19回合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ueno, Msayuki., Takami Tomoyuki.,
2. 発表標題 Construction of an Imitation Learning Agent Using Game Records of Unspecified Players
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 UENO Masayuki; WADA Shinjiro; TAKAMI Tomoyuki
2. 発表標題 A Virtual Play Environment and Game Strategy Analysis System Using Imitation Learning Agents
3. 学会等名 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植野 雅之, 和田 慎二郎, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントによるゲーム戦略学習環境
3. 学会等名 ゲーム学会第18回合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植野 雅之, 和田 慎二郎, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントを用いたゲーム戦略学習システムの支援機能と模倣学習
3. 学会等名 ゲーム学会第19回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 UENO Masayuki, WADA Shinjiro, TAKAMI Tomoyuki
2. 発表標題 The Education Environment for Strategy using the Imitation Learning Agent that Mimics the Behavior of Human Player
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植野 雅之, 和田 慎二郎, 高見 友幸
2. 発表標題 人間プレーヤーを模倣する模倣エージェントによる教育的対戦環境
3. 学会等名 ゲーム学会第17回合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植野 雅之, 和田 慎二郎, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントを用いたゲーム戦略学習環境の構想
3. 学会等名 教育システム情報学会第44回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植野 雅之, 和田 慎二郎, 高見 友幸
2. 発表標題 模倣学習エージェントを用いた教育的対戦環境とプレイ戦略分析システム
3. 学会等名 ゲーム学会第18回全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>「学習者の振る舞いを模倣する模倣学習エージェントを用いた教育システムの開発」 https://mulab.osakac.ac.jp/page_20191029025556</p>
--

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	高見 友幸 (TAKAMI Tomoyuki) (50300314)	大阪電気通信大学・総合情報学部・教授 (34412)	
研究分担者	和田 慎二郎 (WADA Shinjiro) (70321114)	ブール学院短期大学・秘書科・教授 (44434)	令和2年度まで。 所属するブール学院短期大学が閉学に伴い、教員から職員へと立場の変更があり、科研費受領資格を喪失したため。

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------