

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03337

研究課題名(和文) 人間の意思決定の深層モデル化に基づくヒューマンコンピューテーション基盤の構築

研究課題名(英文) Human Computation Foundations Based on Deep Modeling of Human Decision Making

研究代表者

小山 聡 (Oyama, Satoshi)

北海道大学・情報科学研究院・准教授

研究者番号：30346100

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：ヒューマンコンピューテーションとは、計算機だけでは十分な性能を実現することが難しく、人間の認識や判断などの意思決定を必要とする課題を、人間を計算資源の一部として捉えることによつて、計算機と人間の両方の能力を組み合わせるというアプローチである。本研究では、計算機の側に深層学習等の最新の機械学習技術を導入することで、ヒューマンコンピューテーションの性能を改善した。さらに、人間の関与するヒューマンコンピューテーションにおいては、機械学習のブラックボックス性が制約になるため、説明性・解釈性の向上に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最近の大規模言語モデルに基づく人工知能の急速な発展に伴い、人間と人工知能を代替的に考えるのではなく、それぞれの長所を活かして協働して問題解決に取り組むというヒューマンコンピューテーションのアプローチの重要性が再認識されている。本研究で取り組んだヒューマンコンピューテーションの性能向上や説明性・解釈性の向上は、今後一層重要性を増すと予想され、その学術的意義や社会的意義は大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：Human computation is an approach that combines the abilities of both computers and humans to solve problems that are difficult to achieve sufficient performance with computers alone and require human recognition and judgment, by considering humans as part of the computational resources. In this study, by introducing state-of-the-art machine learning techniques such as deep learning on the computer side, we have improved the performance of human computation. Furthermore, in human computation, where humans are involved, the black box nature of machine learning is a limitation, so we worked to improve its explanatory and interpretability.

研究分野：人工知能

キーワード：ヒューマンコンピューテーション 深層学習

### 1. 研究開始当初の背景

人間と計算機が協力して問題解決を行うヒューマンコンピューテーションは Luis von Ahn らによって提唱された新しいサービス設計の枠組みであり、人工知能分野だけではなく、CHI (Computer-Human Interaction) や CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) の分野にもまたがる境界領域であるが、2013 年からは AAAI の主催による国際会議 HCOMP が米国で毎年開催されるなど、その重要性は広く認識されていた。一方、国内においても、Lancers などの日本のクラウドソーシングサービスを利用した研究が盛んであり、研究代表者らが発起人となりクラウドソーシング研究会を設立したり、2013 年より毎年人工知能学会でオーガナイズドセッションを開催したりするなど、研究が盛んになりつつあった。これまで国内では Amazon Mechanical Turk (AMT) のような Web API を備えたクラウドソーシングプラットフォームが利用できないといった制約があったが、AMT が利用可能となったこともあり、クラウドソーシングを利用したサービスの開発が加速されることが期待されていた。

一方、深層学習も様々なタスクに応用され、従来の機械学習モデルを上回る性能を示していた。従来の機械学習アルゴリズムは比較的データ数が少ない状況での利用を想定していたため、過学習を避けるために比較的単純な仮定に基づくモデルを用いていた。しかし、大量のデータが入手可能ないわゆるビッグデータの時代になり、深層ニューラルネットワークのような複雑なモデルを用いて、複雑なデータから複雑さを保ったまま学習することが可能となった。最初は画像分類などの従来の機械学習で扱われた問題を中心に扱っていたが、近年では囲碁やビデオゲームの AI など、従来の機械学習では取り扱いが困難な問題においても成果を挙げていた。

本研究はこれらの 2 つの研究領域の共通部分に位置づけられるが、国内外においてもこのような研究を扱った例はほとんどなかった。

### 2. 研究の目的

ヒューマンコンピューテーションとは、計算機だけでは十分な性能を実現することが難しく、人間の認識や判断などの意思決定を必要とする課題を、人間を計算資源の一部として捉えることによって、計算機と人間の両方の能力を組み合わせるというアプローチである。これまでのヒューマンコンピューテーションでは人間の意思決定のモデルに単純な仮定に基づく確率モデルを用いていたが、実際のデータや認知プロセスは複雑であるため性能向上に限界があった。一方近年、深層学習が様々な応用領域で従来の機械学習を上回る性能を示している。本研究の目的は、人間の複雑な意思決定をモデル化するための深層学習技術を開発し、高性能なヒューマンコンピューテーションを実現することである。

### 3. 研究の方法

- (1) 本研究では、人間による評価や判断と機械学習を組み合わせることが効果的な応用領域として、推薦システムや教育システム、オークション、フェイクニュース検出などを取り扱った。これらの問題に対して、深層学習などの最新の機械学習技術を導入することで、既存手法に対する性能向上を図ることに取り組んだ。
- (2) 特に人間の関与するヒューマンコンピューテーションにおいては、機械学習のブラックボックス性が制約になるという問題意識に基づき、機械学習の説明性や解釈性の問題に取り組んだ。
- (3) 訓練データや評価用データとしては、既存のベンチマークデータに加えて、必要に応じて商用のクラウドソーシングサービスを利用して収集した実データを用いることで、提案手法の実データにおける有効性を実証した。

### 4. 研究成果

- (1) 対象に対する総合的な評価だけでなく、複数の観点からの評価が与えられた多基準評価データにおいて、複数の人からの評価値の統合や評価値の予測を行う際に、深層ニューラルネットワークを用いる方式を提案した(図 1)。異なる構造の深層ニューラルネットワークモデルと他の既存モデルを、実データにおける評価値統合 および評価値予測の実験によって評価した。その結果、まず各観点の評価値を予測し、それに基づいて総合評価値を予測する深層ニューラルネットワークモデルが、他のニューラルネットワークモデルや既存モデルよりも優れていることが明らかになった[Morise et al. 2022]。

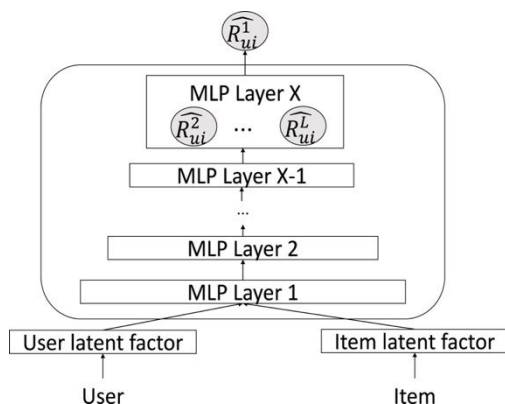


図 1 ニューラルネットワークを用いた多基準評価の統合モデル

- (2) 人間が利用するシステムの信頼性を高めるためには、人間がその挙動について理解できる必要があるが、深層学習を用いたシステムはブラックボックスであり、その挙動の説明が一般に困難である。そこで、人間が書いた評価文を訓練データとして用いて、多基準評価データに対してその評価の理由を説明する文を自動生成する方式を、再帰ニューラルネットワークの一種である LSTM にアテンション機構を導入したモデルで構築した[Suzuki et al. 2018]。さらに、知識グラフとレビュー文を用いて推薦理由を説明する手法を提案した。知識グラフ上でユーザとアイテムを結ぶパスを提示することで、ユーザがアイテムの推薦理由を理解することを支援した。知識グラフ上での探索にランダムウォークを利用する方法を導入したことで、ユーザとアイテム間のメタパスレベルの類似度を推薦に活用することを可能とした[Suzuki et al. 2020]。
- (3) 知識グラフを用いた説明では、グラフ上の最短経路を説明として用いる方法が一般的であったが、対象となるアイテム間に経路が存在せずに説明が生成できない場合や、経路が長すぎて説明の解釈性が低下する場合があるといった課題があった。本研究では、知識グラフとランダムウォークを用いる推薦においては、全てのアイテム間にレポートによる正の遷移確率が存在することを利用し、到達確率の最も高い経路を探索により発見し、それを説明として用いることで、従来手法の課題を解決した[Muto et al. 2022]。
- (4) 特徴量の 2 次の交互作用に基づく機械学習による予測モデルである Factorization Machine において、モデルの解釈性を向上するために、従来の特徴レベルのスパース性を達成する特徴選択ではなく、交互作用レベルのスパース性を達成できる正則化スキームを提案し、人工データおよび推薦システムなどの実データにおいて有効性を確認した[Atarashi et al. 2021]。
- (5) タスクの難しさを評価することはヒューマンコンピューションや教育への応用において重要な課題である。数学パズルに解答するタスクにおいて、人間の解答から項目反応理論で推定したタスクの難易度を正解として用いて、深層ニューラルネットワークで難易度を予測するモデルを学習した。その際、問題の異なる特徴表現を用いて学習したモデルを、さらに統合して用いるモデルが、個々の特徴表現だけを用いたモデルよりも優れた予測精度を示すことを明らかにした[Sekiya et al. 2019]。
- (6) 複数の人間が参加するシステムにおいては、参加者が利己的に振舞っても全体として望ましい結果が得られるようにする必要がある。そのようなルールを設計する方法はメカニズム設計と呼ばれ、オークションや投票システムなどを対象に研究されてきた。これまでメカニズム設計は研究者が理論的な考察に基づいて行ってきた。しかし、複雑なシステムにおいて最適なメカニズムを設計することは容易ではなく、そのようなメカニズムが知られていないシステムも多い。そのため最近、深層学習を用いて自動的にメカニズム設計を行う研究が行われている。本研究では、架空名義入札とよばれる不正行為に頑健なオークションメカニズムを深層学習を用いて自動設計する手法を提案した[Sakurai et al. 2019]。
- (7) 複数の参加者がどのようにしてチームを形成し協力関係を構築するかは、人間の意思決定の仕組みを理解する上で重要な課題であり、これまで被験者を使った実験によってモデル化されてきた。本研究では、クラウドソーシングを用いて収集したデータから、ニューラルネットワークを用いて参加者の意思決定をモデル化する研究を行い、被験者実験による結果と類似の結果が得られることを確認した[Sakurai & Oyama 2019]。
- (8) ヒューマンコンピューションにおいて人間にタスクを依頼する際には、その意図を明確に説明することが作業結果の品質向上に不可欠である。例えば、よく似た 2 つのクラスの画像の分類を作業者に依頼する場合、ある画像がなぜクラス A ではなくクラス B であるのかを、明確に説明できることが重要である。反事象的画像説明はこのような説明を具体的な画像を用いて実現する方法であるが、既存の方法は生成される画像に不自然さが残るといった課題があった。そこで本研究では、深層生成モデルを用いて、より自然な反事象的画像説明を生成する方法を開発した。生成した画像説明をクラウドソーシングで作業者に提示する実験を行い、作業品質が向上することを確認した[Zhao et al. 2020]。
- (9) 深層生成モデルを用いて画像を生成する際、利用者が望む画像が生成されるように出力を制御可能であることが望ましい。そこで、教師なし学習であるクラスタリングと組み合わせ、人間に理解しやすい潜在特徴が自動的に獲得できる方法を提案した。提案手法は、データに全くラベルが与えられていない教師なし学習と、一部のデータにラベルが与えられている半教師付き学習の両方の問題設定において、新規データのラベルを潜在特徴として精度よく推定することができ、さらにこのラベルを変更することで、出力する画像を変化させることができる。文字画像およびファッション画像のデータセットにおいて提案手法の有効性を検証した[Toda et al. 2020]。
- (10) 深層学習を用いたマルチモーダルフェイクニュース検出における説明性・解釈性を改善するために、画像とテキストのペアに加えて DBpedia から得た外部知識を活用するモデルを提案した。Fakeddit データセットにおける評価実験において、深層学習による判断根拠の可視化と外部知識の提示により、説明性・解釈性の向上が期待できることを確認した。[田邊他 2023]。

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 3件）

1. 著者名 Hiroki Morise, Kyohei Atarashi, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara	4. 巻 119
2. 論文標題 Neural Collaborative Filtering with Multicriteria Evaluation Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Soft Computing	6. 最初と最後の頁 108548-108548
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.asoc.2022.108548	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 Kyohei Atarashi, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara	4. 巻 22
2. 論文標題 Factorization Machines with Regularization for Sparse Feature Interactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Machine Learning Research	6. 最初と最後の頁 1-50
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kyohei Atarashi, Satoshi Oyama, and Masahito Kurihara	4. 巻 E103.D
2. 論文標題 Link Prediction Using Higher-Order Feature Combinations across Objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1833-1842
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2019EDP7266	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 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 0件/うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Kaname Muto, Satoshi Oyama, Itsuki Noda
2. 発表標題 Explainable Recommendation Using Knowledge Graphs and Random Walks
3. 学会等名 The 6th IEEE Workshop on Human-in-the-Loop Methods and Future of Work in BigData (IEEE HMDData 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Ota, Yuko Sakurai, Satoshi Oyama
2. 発表標題 Coalitional Game Theoretic Federated Learning
3. 学会等名 The 21st IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Shinoda, Yuko Sakurai, Satoshi Oyama
2. 発表標題 Sample Complexity of Learning Multi-value Opinions in Social Networks
3. 学会等名 The 24th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田邊 耕太, 野田 五十樹, 小山 聡
2. 発表標題 外部知識及び可視化の利用によるマルチモーダルフェイクニュース検出の説明性改善
3. 学会等名 第37回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武藤 要, 野田 五十樹, 小山 聡
2. 発表標題 知識グラフの埋め込みとランダムウォークによる説明可能な推薦アルゴリズム
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 篠田 正人, 櫻井 祐子, 小山 聡
2. 発表標題 ソーシャルネットワーク上での意見傾向推定のために必要なサンプル数の評価
3. 学会等名 第36回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武藤 要, 野田 五十樹, 小山 聡
2. 発表標題 知識グラフとランダムウォークを用いた推薦アルゴリズムの検証
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 和矢, 小山 聡, 野田 五十樹
2. 発表標題 日本語のフェイクニュースデータセット作成
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Toda, Kyohei Atarashi, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2. 発表標題 Unsupervised Feature Learning for Output Control of Generative Models
3. 学会等名 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 21st International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Suzuki, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2. 発表標題 A Framework for Recommendation Algorithms Using Knowledge Graph and Random Walk Methods
3. 学会等名 The 4th IEEE Workshop on Human-in-the-loop Methods and Future of Work in BigData (HMData 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wenqi Zhao, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2. 発表標題 Generating Natural Counterfactual Visual Explanations
3. 学会等名 Doctoral Consortium at the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Oyama
2. 発表標題 Machine Learning with Higher-Order Feature Interactions
3. 学会等名 2021 International Symposium on Big-Data, Cybersecurity and IoT (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井 祐子, Guo Mingyu, 小山 聡
2. 発表標題 協力ゲームに基づく教師なし/半教師ありデータ価値評価
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ryota Sekiya, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2 . 発表標題 User-Adaptive Preparation of Mathematical Puzzles Using Item Response Theory and Deep Learning
3 . 学会等名 The 32nd International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kyohei Atarashi, Akimi Moriyama, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2 . 発表標題 A Personalized Affect Response Model for Online News Articles
3 . 学会等名 The Fifth Linguistic and Cognitive Approaches To Dialog Agents Workshop (LaCATODA 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuko Sakurai, Satoshi Oyama, Mingyu Guo, Makoto Yokoo
2 . 発表標題 Deep False-Name-Proof Auction Mechanisms
3 . 学会等名 The 22nd International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuko Sakurai, Satoshi Oyama
2 . 発表標題 Analysis of Coalition Formation in Cooperative Games Using Crowdsourcing and Machine Learning
3 . 学会等名 The 32nd Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence (AI 2019) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年



1. 発表者名 Takafumi Suzuki, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2. 発表標題 Explainable Recommendation Using Review Text and a Knowledge Graph
3. 学会等名 The 3rd IEEE Workshop on Human-in-the-loop Methods and Human Machine Collaboration in BigData (HMData 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Oyama
2. 発表標題 Crowdsourcing for Big Data Analytics
3. 学会等名 2019 Summer International Symposium on Big-Data, Cybersecurity and IoT (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田 和輝, 栗原 正仁, 小山 聡
2. 発表標題 変分オートエンコーダを用いた離散潜在特徴表現の学習に関する諸実験
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 崇史, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 レビュー文と知識グラフを用いた説明可能な推薦アルゴリズムに向けて
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 祐子; 小山 聡; Mingyu Guo; 横尾 真
2. 発表標題 深層学習を用いた架空名義入札に頑健なオークションメカニズムの自動設計
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takafumi Suzuki, Satoshi Oyama, Masahito Kurihara
2. 発表標題 Toward Explainable Recommendations: Generating Review Text from Multicriteria Evaluation Data
3. 学会等名 The Second IEEE Workshop on Human-in-the-loop Methods and Human Machine Collaboration in BigData (IEEE HMData 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森瀬 寛己, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 多基準評価値を用いた深層学習による推薦と評価値統合
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森山 皓未, 新 恭兵, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 ニュース記事に対する感情応答モデルの構築
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 崇史, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 効果的な推薦理由説明に向けてのユーザの嗜好を考慮したレビュー文生成
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 関屋 亮太, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 項目反応理論に基づく魔方陣パズルのユーザー適応的自動生成
3. 学会等名 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森山 皓未, 新 恭兵, 小山 聡, 栗原 正仁
2. 発表標題 読み手の個性を考慮したニュース記事の感情応答モデルの構築
3. 学会等名 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2019)
4. 発表年 2019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
研究協力者	篠田 正人  (Shinoda Masato)		

## 6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	櫻井 祐子  (Sakurai Yuko)		
研究協力者	Guo Mingyu  (Guo Mingyu)		
研究協力者	新 恭兵  (Atarashi Kyohei)		
研究協力者	森瀬 寛己  (Morise Hiroki)		
研究協力者	関屋 亮太  (Sekiya Ryota)		
研究協力者	森山 皓未  (Moriyama Akimi)		
研究協力者	鈴木 崇史  (Suzuki Takafumi)		
研究協力者	戸田 和輝  (Toda Kazuki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	趙 文琪  (Zhao Wenqi)		
研究協力者	山本 和矢  (Yamamoto Kazuya)		
研究協力者	武藤 要  (Muto Kaname)		

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			
オーストラリア	The University of Adelaide			