

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03299

研究課題名（和文）自己組織化クラウドソーシングのためのメカニズム設計

研究課題名（英文）Mechanism Design for Self-Organized Crowdsourcing

研究代表者

櫻井 祐子（Yuko, Sakurai）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：10396137

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,500,000円

研究成果の概要（和文）：クラウドソーシングは、人間と計算機を融合することでどちらか単独では解決できない問題の解決を試みるヒューマンコンピューテーションを実現する手段の一つである。クラウドソーシングは、不特定多数の人々に作業を委託する仕組みであるが、品質制御など技術的課題が未だ多い。そこで、本研究では、匿名環境下での大規模な組織化の基盤技術として、マルチエージェントシステムのゲーム理論的アプローチを基に自己組織化クラウドソーシングという新たな基盤を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ChatGPTの出現に伴い、人工知能技術が我々の日常生活に与える影響は日々広がっている。人間が人工知能とどのように共生していくかは重要な課題であり、ヒューマンコンピューテーションの概念は今後も重要なフレームワークとなりえる。本研究では、クラウドソーシングにおいて、従来よりも大規模に人々が連携したり、共同作業を行うための基盤技術として、チーム編成に関する研究や人々の意見集約に関する研究などに取り組んだ。ヒューマンコンピューテーションにおける基礎基盤の構築を行った本研究はの学術的および社会的意義は大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：Crowdsourcing is a service of achieving human computation by combining human and computer efforts to solve problems that cannot be solved by either alone. Crowdsourcing involves outsourcing tasks to a large number of unspecified individuals, but there are still many technical challenges, such as quality control. Therefore, in this research, we have constructed a new foundation for self-organized crowdsourcing using a game-theoretic approach in a multi-agent system as a foundational technology for large-scale organization in an anonymous environment.

研究分野：人工知能

キーワード：マルチエージェントシステム ゲーム理論 クラウドソーシング メカニズム設計

## 1 . 研究開始当初の背景

クラウドソーシングは不特定多数の人々に作業を委託する仕組みであり、仕事の発注側には必要に応じた労働力調達的手段を、働き手には場所や時間に囚われない働き方を提供する場である。また、クラウドソーシングは人工知能技術だけでは解決が難しい課題に対して人間の知を組み合わせることで解決を図るヒューマンコンピューテーションのプラットフォームでもある。計算機科学分野をはじめとした学術領域でその利用は急速に広がっている。しかしながら、複数の労働者のチーム編成問題や作業品質制御の問題などから、画像のタグ付けや翻訳など、マイクロタスクと呼ばれる、単独のワークで実行可能なタスクが主流であった。

## 2 . 研究の目的

本研究の目的は、インターネット上において、多数の人々が自律的に協力することで個人では実行不可能な大規模かつ複雑な作業を効率的に行うためのメカニズム設計技術を確立することである。クラウドソーシングは不特定多数の人々に作業を委託する仕組みであるが、品質制御やセキュリティなど技術的課題が未だ多く、個人もしくは少人数でのチーム作業に留まっている。そこで、本研究では、匿名環境下での大規模な組織化の基盤技術として、マルチエージェントシステムのゲーム理論的アプローチを基に、( 1 ) 安定な組織形成のためのチーム編成技術、( 2 ) データに基づく作業品質制御技術の研究を主に行うことで、参加者らが自律的に協力し良い作業品質を導く、自己組織化クラウドソーシングという新たな基盤を構築する。

## 3 . 研究の方法

本研究では、マルチエージェントシステムにおけるゲーム理論的アプローチと最適化手法を基に、( 1 ) 安定な組織形成のためのチーム編成技術、( 2 ) データに基づく作業品質制御技術の研究を行う。

### ( 1 ) 安定な組織形成のためのチーム編成技術

協力ゲーム理論における安定性をはじめとした概念と、マルチエージェントシステムにおける最適技術を融合して、安定な組織形成のためのチーム編成技術の確立を行う。具体的には、複数のエージェントらが協力する状況において、社会として最適になるようにチームをどのように構成すべきか、また、エージェントらがチームから逸脱する誘因をもたないようにどのようにチームを構成すべきか、という2つのアプローチによって実現する

### ( 2 ) データに基づく作業品質制御技術

マルチエージェントシステムにおけるメカニズム設計の概念を応用し、クラウドソーシングに適合するメカニズム設計( ワークからへのインセンティブ設計 ) を検討する。具体的には、深層学習を用いたメカニズム設計の自動化の検討を行う。さらに、ワークからの作業結果を統合する手法について、投票ルールの検討や効率的な意見集約方法の検討を行う。

## 4 . 研究成果

### ( 1 ) 安定な組織形成のためのチーム編成技術

#### 提携構造形成問題に対する効率的なアルゴリズムの提案

自己組織化クラウドソーシングにおいて、複数のワークからが協力して作業を実行する際に、ワークらを適切に分割する必要がある。任意のエージェントの部分集合( 提携 ) に対して提携値が定められているとき、各エージェントは一つの提携に参加するという制約条件のもと、提携値の和が最大になるように、提携構造を決定する問題である。この問題はNP 困難であることが知られている。本研究では、エージェントらの関係性を考慮することでゲームが簡潔に表現される場合を対象に、効率的なアルゴリズムの提案を行い、国際論文誌に採択された。



安定性の分析：割り当てられたチームからワークらが逸脱しない条件の分析

図 1. 安定性の分析

**安定な組織形成における条件の分析**

自己組織化クラウドソーシングの安定性を保証するためには、複数のワーカーによってチームが構成されたとしても、ワーカーはそのチームから逸脱し、他のチームへ移動しようとする誘因が生じることは望ましくない。そこで、本研究では、ヘドニックゲームにおける安定性の分析を行い、人工知能に関する国際会議に採択された。

**(2) データに基づく作業品質制御技術**

**深層学習を用いたメカニズム設計の自動化**

クラウドソーシングはインターネット上での実施がほとんどであり、インターネットでは匿名環境となる。そのため、匿名環境特有の問題である一人のワーカーが複数のワーカーになりすまして作業をする、架空名義の問題が生じる。このような架空名義を用いても効果がないメカニズムの設計について深層学習を用いて自動化するなど、機械学習を用いることで、これまで人手で考案されてきたメカニズム設計の自動化を行った。これらの研究成果は、国際会議や国際論文誌に採択された。

$$\widehat{\mathcal{L}}(a^w, p^w) + \sum_{i \in N} \lambda_i \widehat{\text{rgt\_sp}}_i(a^w, p^w) + \frac{\rho}{2} \left( \sum_{i \in N} \widehat{\text{rgt\_sp}}_i(a^w, p^w) \right)^2$$

$$+ \sum_{i \in N} \mu_i \widehat{\text{fmp}}_i(a^w, p^w) + \frac{\sigma}{2} \left( \sum_{i \in N} \widehat{\text{fmp}}_i(a^w, p^w) \right)^2$$

$$\widehat{\text{rgt\_sp}}_i(a^w, p^w) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \max_{b_i \in V_i} u_i^w(v_i^{(l)}, (b_i, v_{-i}^{(l)})) - u_i^w(v_i^{(l)}, v^{(l)})$$

$$\widehat{\text{fmp}}_i(a^w, p^w) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \max_{b_{id_k} \in V_i} u_i^w(v_i^{(l)}, (b_{id_1}, \dots, b_{id_k}, v_{-i}^{(l)})) - u_i^w(v_i^{(l)}, v^{(l)})$$

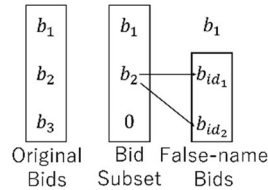


図 2. 架空名義に頑健なメカニズムの自動設計

**PAC 学習を用いた適切なサンプル数の予測**

ソーシャルネットワークの大規模化に伴い、どの程度の人がある特定の情報や意見を持っているかを確認したい場合、各人に確認することが非現実的であり、把握することは困難になっている。そこで、本研究では、PAC 学習 (Probably Approximately Correct Learning) の枠組みを適用し、人々が複数の意見を有する場合、どのような意見がどのような比率で拡散されているかを推定するのに必要なサンプル数を求めた。この研究成果は国際会議で発表した。

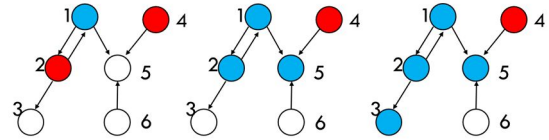


図 3. 意見伝播の例

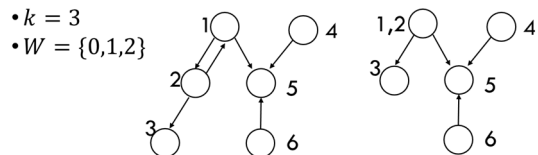


図 4. Natarajan 次元の例

**連合学習における学習品質制御**

連合学習 (Federated Learning) は複数のユーザーがデータを分散して有している場合を対象としており、クラウドソーシングに関係が深い学習モデルである。従来の連合では、各クライアントが異なる分布からデータを得たとしても、単一のグローバルモデルを学習していた。そのため、その結果、各ローカルモデルの性能が低下する可能性がある。このような問題に対処するため、本研究では、クライアントが連合を形成し、同じ連合に属するクライアントが連合に特化したモデル、すなわち連合モデルを共同で学習するフレームワークを提案した。この研究成果は国際会議で発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Guanhua Wang, Runqi Guo, Yuko Sakurai, Muhammad Ali Babar, Mingyu Guo	4. 巻 -
2. 論文標題 Mechanism Design for Public Projects via Neural Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems	6. 最初と最後の頁 1380 - 1388
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 該当する

1. 著者名 Guo Mingyu, Wang Zhenghui, Sakurai Yuko	4. 巻 36
2. 論文標題 Gini index based initial coin offering mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Autonomous Agents and Multi-Agent Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10458-021-09536-4	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 該当する

1. 著者名 Koshimura Miyuki, Watanabe Emi, Sakurai Yuko, Yokoo Makoto	4. 巻 27
2. 論文標題 Concise integer linear programming formulation for clique partitioning problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Constraints	6. 最初と最後の頁 99 ~ 115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10601-022-09326-z	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 太田 真人, 櫻井 祐子, 岡留 剛, 野田 五十樹	4. 巻 36
2. 論文標題 利用予定時間帯申告の導入による乗合運行台数の適正化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 AG21 ~ K_1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1527/tjsai.36-6_AG21-K	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 Liao Xiaojuan, Koshimura Miyuki, Nomoto Kazuki, Ueda Suguru, Sakurai Yuko, Yokoo Makoto	4. 巻 24
2. 論文標題 Improved WPM encoding for coalition structure generation under MC-nets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Constraints	6. 最初と最後の頁 25 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10601-018-9295-4	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 該当する

1. 著者名 Ueda Suguru, Iwasaki Atsushi, Conitzer Vincent, Ohta Naoki, Sakurai Yuko, Yokoo Makoto	4. 巻 32
2. 論文標題 Coalition structure generation in cooperative games with compact representations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Autonomous Agents and Multi-Agent Systems	6. 最初と最後の頁 503 ~ 533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10458-018-9386-z	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 該当する

1. 著者名 Sakurai Yuko, Kawahara Jun, Oyama Satoshi	4. 巻 11248
2. 論文標題 Aggregating Crowd Opinions Using Shapley Value Regression	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MIWAI 2018: Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 151 ~ 160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-03014-8_13	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 查 澳龍、越村 三幸、櫻井 祐子、横尾 真	4. 巻 J102-D
2. 論文標題 分割決定木を用いた分割関数ゲームの提携構造形成アルゴリズム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D 情報・システム	6. 最初と最後の頁 313 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2018JDP7037	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 Guo Mingyu, Wang Zhenghui, Sakurai Yuko	4. 巻 36
2. 論文標題 Gini index based initial coin offering mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Autonomous Agents and Multi-Agent Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10458-021-09536-4	査読の有無 無
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 8件)

1. 発表者名 Guanhua Wang, Runqi Guo, Yuko Sakurai, Muhammad Ali Babar, Mingyu Guo
2. 発表標題 Mechanism Design for Public Projects via Neural Networks
3. 学会等名 The 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下 裕, 櫻井 祐子, 大西 正輝, 森嶋 厚行
2. 発表標題 メタ認知を活用したソーシャルネットワーク上の意見集約法の分析
3. 学会等名 2022年度 人工知能学会全国大会 (第36回)
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 2022年度 人工知能学会全国大会 (第36回)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 祐子, Mingyu Guo, 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 (JSAI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 越村 三幸, 廖 曉鵬, 渡部 恵海, 櫻井 祐子, 横尾 真
2. 発表標題 推移関係を表すSAT節の削減
3. 学会等名 第34回人工知能学会全国大会 (JSAI2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田 真人, 櫻井 祐子, 野田 五十樹
2. 発表標題 マルチエージェントシミュレーションを用いたMaaSにおける事前申告の効果分析
3. 学会等名 SMASH20 Summer Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田 真人, 櫻井 祐子, 野田 五十樹
2. 発表標題 公平性と効率性を考慮したタクシー配車アルゴリズムの提案
3. 学会等名 第35回人工知能学会全国大会 (JSAI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nathanael Barrot, Kazunori Ota, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Unknown Agents in Friends Oriented Hedonic Games: Stability and Complexity
3. 学会等名 The Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayumi Igarashi, Kazunori Ota, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Robustness against Agent Failure in Hedonic Games
3. 学会等名 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakurai Yuko, Kawahara Jun, Oyama Satoshi
2. 発表標題 Aggregating Crowd Opinions Using Shapley Value Regression
3. 学会等名 Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence (MIWAI2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大田 一徳, Nathanael Barrot, 櫻井 祐子, 横尾 真
2. 発表標題 エージェントの社会性を考慮した友達優先ヘドニックゲーム
3. 学会等名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018 (JAWS-18)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Kazunori Ota, Nathanael Barrot, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Impact of the Number of Neutrals on Stability Concepts in Friends Oriented Hedonic Games
3. 学会等名 Seventh International Workshop on Computational Social Choice (COMSOC-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野本 一貴、櫻井 祐子、岡本 吉央、横尾 真
2. 発表標題 エージェントの参加が不確実な場合のk分割問題
3. 学会等名 2018年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大田 一徳、Nathanael Barrot、櫻井 祐子、横尾 真
2. 発表標題 エージェントの社会性を考慮したヘドニックゲーム
3. 学会等名 2018年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Ota, Nathanael Barrot, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Impact of the Number of Neutrals on Stability Concepts in Friends Oriented Hedonic Games
3. 学会等名 THE AAMAS-IJCAI WORKSHOP ON AGENTS AND INCENTIVES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI^3) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Ota, Yuko Sakurai, Mingyu Guo, Itsuki Noda
2. 発表標題 Mitigating Fairness and Efficiency Tradeoff in Vehicle-Dispatch Problems
3. 学会等名 The 20th International Conference of Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Complex Systems Simulation (PAAMS2022) (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 of Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Riku Yoshioka, Yuko Sakurai, Satoshi Oyama, Masato Shinoda
2. 発表標題 Proposing a New Security Game with Reward and Penalty
3. 学会等名 IEEE International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2023)
4. 発表年 2023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	横尾 真  (Yokoo Makoto)  (20380678)	九州大学・システム情報科学研究所・教授    (17102)	

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
研究分担者	篠田 正人  (Shinoda Masato)  (50271044)	奈良女子大学・自然科学系・教授   (14602)	
研究分担者	松田 昌史  (Matsuda Masafumi)  (60396140)	日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・協創情報研究部・研究主任   (94305)	

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