

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04695

研究課題名（和文）一般化交換問題のためのゲーム理論的／アルゴリズム論的解法の提案

研究課題名（英文）Proposing Game-Theoretic and Algorithmic Solutions for Generalized Exchange Problems

研究代表者

東藤 大樹 (Todo, Taiki)

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：50708394

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、人間やAIを含む、利己的なエージェントが複数存在する環境のための、資源配分方式（アルゴリズム）の設計を行った。具体的には、生体臓器移植や空港の滑走路使用権の割当に適用可能な数理モデルである、一般化交換問題を提案し、望ましい結果を導くアルゴリズムの設計と、経済学と計算機科学の2つの視点からの解析を行った。人工知能分野の難関国際会議の会議録から10件、国際論文誌から2件の論文を出版したほか、本研究課題に係る招待講演を4件行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般化交換問題は、各プレイヤーの所有する財に制限を設けずに定義されており、実世界の様々な問題をモデル化可能である。特に、既存のアルゴリズムを拡張し、そのアルゴリズムが望ましい結果を導くための十分条件を解明したほか、利己的なエージェントが直面する計算問題の難しさを定量化した。本成果は、人工知能分野で最も権威ある国際論文誌の一つであるJAIRより出版済みである。さらに、プレイヤーの選好が特定の形式の相関構造を有する場合をモデル化し、高速で動作するアルゴリズムを設計した論文が、人工知能分野で最も権威ある国際会議の一つであるIJCAI-18の会議録より出版されている。

研究成果の概要（英文）：In this project, we proposed several resource allocation algorithms for the systems consisting of multiple self-interested agents, such as humans and AIs. Specifically, we proposed algorithms for a new model of resource allocation, so-called Generalized Exchange Problems, which can reflect natural features of practical situations, such as live-organ exchange and land-slot assignment in airports. We published 10 papers from top/second-tier international conferences in the field of artificial intelligence and 2 papers from premier international journals. The PI made four invited talks related to this project.

研究分野：マルチエージェントシステム

キーワード：資源配分 ミクロ経済学 ゲーム理論 アルゴリズム設計 理論計算機科学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

交換問題(物々交換)は、ゲーム理論・マーケットデザインにおける非分割財の交換のための基礎的モデルであり、米国の腎移植ネットワークを始め、リソースの再配分についての様々な応用事例が存在する。なかでも、1974年に開発されたトップトレーディングサイクルアルゴリズムは、シンプルな交換問題のための優れた解法として、広く研究されてきた。しかしながら現実には、複数のプレイヤーの選好間の相互作用や、特定のプレイヤーの所有不可財など、社会的に重要でありながらも、従来の交換問題のモデルでは記述不可能な事例が存在していた。

2. 研究の目的

本課題の目的は、一般化交換問題という新たな研究トピックを提案し、その解法と理論的特性について深く考察することである。従来の交換問題では、各プレイヤーの選好について徐々に拡張がなされてきた一方、参加者間の相互作用や交換の実現可能性についての議論が不十分で、現実には生じる様々な問題を扱う数理モデルとして不完全であった。本研究課題で提案する一般化交換問題は、現実には生じる様々な問題を可能な限りシンプルにモデル化する。一般化交換問題の解法として、分散型交換プロトコルと中央集権型交換メカニズムの二種類に着目し、アルゴリズム的特性(計算複雑性など)とゲーム理論的特性(均衡や誘因両立性)を吟味する。

3. 研究の方法

まず一般化交換問題の数理モデルを提案するとともに、分散型交換プロトコルと中央集権型交換メカニズムが満足すべきアルゴリズム的/ゲーム理論的性質について考察する。具体的には、分散型交換プロトコルについて、プロトコルにおける通信量、実行時間、およびナッシュ均衡を解析する。また、中央集権型交換メカニズムについては、実行時間、誘因両立性、および分割への耐性を解析する。平成29年度には、基盤となる数理モデルを構築し、プロトタイプとなる解法を提案する。平成30年度以降は、人員の再配置や生体臓器移植などの事例への応用を検討する。また、アルゴリズム設計の専門家との共同研究を行う。

4. 研究成果

本研究課題は当初、2017年度~2020年度の4年間で実施する計画であった。しかしながら、より発展的な課題の遂行のため、科研費の前年度申請制度を利用し、本課題は2019年度末で終了とした。本課題に関しては、都合3年間の研究期間で、国際ジャーナル論文2件(うち、国際共著1件)、国際会議論文10件(うち、国際共著3件)、ならびに学会発表24件(うち、招待講演4件)の成果が挙げられている。また、計4カ国、5つの海外機関との国際共同研究を遂行した。

このうち、国内のマルチエージェントシステムに関する最大の学会会合である合同エージェントワークショップ&シンポジウム2019(JAWS-2019)で発表した2件の論文が、最優秀論文賞と優秀論文賞をそれぞれ受賞している。情報科学技術フォーラム2019(FIT-2019)では、共著学生による発表がFIT-19ヤングリサーチャー賞を受賞した。2019年度人工知能学会全国大会(第33回)では、共著学生による発表がJSAI-19全国大会優秀賞を受賞した。これらの研究成果により、研究代表者は2020年9月に、情報処理学会のシニア会員に選出されている。

以下、本研究課題の遂行中に得られた主要な成果について、簡単に説明する。

(1) **一般化交換問題のための解法と誘因解析** (フランスとの国際共同研究, 文献[2]) : 各プレイヤーが複数の財を所有する一般化交換問題に関して、プレイヤーの選好と交換ルールの設計可能性との関係を吟味した。特に、プレイヤーの選好が条件付き辞書的である場合に、望ましい再配分を与える解法を提案した。この解法は、従来よく知られていたトップトレーディングサイクルアルゴリズムの一般化となっている。さらに、提案した解法における各プレイヤーの虚偽選好表明の誘因について、計算複雑性の立場から議論を行った。詳細には、各プレイヤーが最適な虚偽選好を探索する問題が計算困難であることを示した。本成果は人工知能分野の一流国際ジャーナル *Journal of Artificial Intelligence Research* より出版されている。

(2) **サービス交換モデルのための解法** (フランスとの国際共同研究, 文献[4]) : 一般化交換問題における相関選好の特殊なケースとして、各プレイヤーの嬉しさが、自分が受け取る財のみでなく、自分が保有していた財を受け取るプレイヤーにも依存する状態を考え、この状態において望ましい再配分を探すことの困難性を示した。また、選好がさらに制限されている場合に、多項式時間で望ましい再配分を探す解法を提案した。本成果は、人工知能分野で最も権威ある国際会議の一つである、*International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2018)* の会議録より出版されている。

(3) **社会的意思決定の新たなモデル** (中国との国際共同研究, 文献[1]) : 副次的な成果として、社会的意思決定のための新たなモデルを提案し、意思決定アルゴリズムの設計と分析を行った。詳細には、複数の解を選ぶ問題において、各プレイヤーがそれぞれの解を一定割合ずつ使用するような状態を考え、使用割合および自分の希望する解についての虚偽表明が生じないような意思決定アルゴリズムを開発した。本成果は、人工知能分野で最も権威ある国際会議の一つである、*AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2018)* の会議録より出版されている。

(4) **ソーシャルネットワーク上での資源配分のための解法** (文献[3]) : 別の副次的成果として、非分割財を販売する形式の意思決定モデルにおいて、プレイヤーがソーシャルネットワーク上に分散しており、意思決定アルゴリズムに関する情報が、プレイヤー間の情報伝播のみによって広まる場合を考察した。従来誘因制約を満足すると考えられていた解法の不備を指摘し、代替となる解法を提案した。本研究は *AAAI 2020* の会議録より出版されている。

<引用文献>

- [1] C.K.K.Fong, M.Li, P.Lu, T.Todo, M.Yokoo. **Facility Location Games with Fractional Preferences**. Proc. AAAI 2018: 1039-1046 (2018)
- [2] E.Fujita, J.Lesca, A.Sonoda, T.Todo, M.Yokoo. **A Complexity Approach for Core-Selecting Exchange under Conditionally Lexicographic Preferences**. J. AI Res. 63: 515-555 (2018)
- [3] T.Kawasaki, N.Barrot, S.Takanashi, T.Todo, M.Yokoo. **Strategy-Proof and Non-Wasteful Multi-Unit Auction via Social Network**. Proc. AAAI 2020: 2062-2069 (2020)
- [4] J.Lesca, T.Todo. **Service Exchange Problem**. Proc. IJCAI 2018: 354-360 (2018)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Todo Taiki、Iwasaki Atsushi、Yokoo Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Competitive Auctions and Envy-Freeness for Group of Agents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of COCOON-2019	6. 最初と最後の頁 541--553
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-26176-4_45	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 Okada Nodoka、Todo Taiki、Yokoo Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 SAT-Based Automated Mechanism Design for False-Name-Proof Facility Location	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of PRIMA-2019	6. 最初と最後の頁 321--337
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-33792-6_20	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 Kawasaki Takehiro、Barrot Nathanael、Takanashi Seiji、Todo Taiki、Yokoo Makoto	4. 巻 34
2. 論文標題 Strategy-Proof and Non-Wasteful Multi-Unit Auction via Social Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of AAAI-2020	6. 最初と最後の頁 2062--2069
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1609/aaai.v34i02.5579	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 Taiki Todo、Nodoka Okada、and Makoto Yokoo	4. 巻 1
2. 論文標題 False-name-proof facility location on discrete structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of ECAI-2020	6. 最初と最後の頁 227--234
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/FAIA200097	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 Taiki Todo and Makoto Yokoo	4. 巻 1
2. 論文標題 Split manipulations in cost sharing of minimum cost spanning tree	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of ECAI-2020	6. 最初と最後の頁 219--226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/FAIA200096	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 Fujita Etsushi, Lesca Julien, Sonoda Akihisa, Todo Taiki, Yokoo Makoto	4. 巻 63
2. 論文標題 A Complexity Approach for Core-Selecting Exchange under Conditionally Lexicographic Preferences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Intelligence Research	6. 最初と最後の頁 515--555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1613/jair.1.11254	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 Ihara Takamasa, Tsuruta Shunsuke, Todo Taiki, Sakurai Yuko, Yokoo Makoto	4. 巻 158
2. 論文標題 Strategy-proof Cake Cutting Mechanisms for All-or-nothing Utility	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fundamenta Informaticae	6. 最初と最後の頁 41--61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/FI-2018-1641	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 Yuho Wada, Tomohiro Ono, Taiki Todo, Makoto Yokoo	4. 巻 1
2. 論文標題 Facility Location with Variable and Dynamic Populations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of AAMAS-2018	6. 最初と最後の頁 336--344
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 Lesca Julien, Todo Taiki	4. 巻 1
2. 論文標題 Service Exchange Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of IJCAI-2018	6. 最初と最後の頁 354--360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24963/ijcai.2018/49	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 Nehama Ilan, Todo Taiki, Yokoo Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Manipulations-resistant Facility Location Mechanisms for ZV-line Graphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of AAMAS-2019	6. 最初と最後の頁 1452--1460
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 該当する

1. 著者名 Chi Kit Ken Fong, Minming Li, Pinyan Lu, Taiki Todo, Makoto Yokoo	4. 巻 1
2. 論文標題 Facility Location Games With Fractional Preferences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of AAAI-2018	6. 最初と最後の頁 1039--1046
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 Ono Tomohiro, Todo Taiki, Yokoo Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Rename and False-Name Manipulations in Discrete Facility Location with Optional Preferences	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of PRIMA-2017	6. 最初と最後の頁 163 ~ 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-69131-2_10	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24件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Taiki Todo
2. 発表標題 Mechanism Design with Uncertainty
3. 学会等名 CS Department Sub-Forum of the Third Mozi Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東藤大樹
2. 発表標題 人間を含むシステムの最適化 –公平性と動機付け–
3. 学会等名 2019年度 九州大学オープンイノベーションワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoji Wada, Kentaro Yahiro, Taiki Todo, and Makoto Yokoo
2. 発表標題 Achieving a Fair Matching under Partial Information
3. 学会等名 IJCAI-19 Workshop on AI for Social Good (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田凌司, 八尋健太郎, 東藤大樹, 横尾 真
2. 発表標題 部分的選好下における学校選択メカニズム
3. 学会等名 情報科学技術フォーラム2019 (FIT2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東藤大樹
2. 発表標題 マーケットデザインとゲーム理論
3. 学会等名 創発システムシンポジウム2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 東藤大樹
2. 発表標題 交換のマーケットデザイン
3. 学会等名 群体数理技術検討会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ilan Nehama, Taiki Todo, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Manipulation-resistant facility location mechanisms for ZV-line graphs
3. 学会等名 The 14th Conference on Web and Internet Economics (WINE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田勇歩, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 離散空間における施設配置問題の考察
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-2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田凌司, 八尋健太郎, 山口知晃, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 部分的選好下における学校選択メカニズム
3. 学会等名 2019年度人工知能学会全国大会 (第33回, JSAI-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田和夏, 和田勇歩, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 SAT Solver を利用した施設配置のメカニズムデザイン
3. 学会等名 2019年度人工知能学会全国大会 (第33回, JSAI-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiki Todo
2. 発表標題 Analysis of Incentive Ratio in Top-Trading-Cycles Algorithms
3. 学会等名 2019年度人工知能学会全国大会 (第33回, JSAI-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東藤大樹
2. 発表標題 動的施設配置メカニズムの設計と解析
3. 学会等名 第60回自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 和田勇歩, 小野友寛, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 変動の人口モデルにおける耐戦略的な施設配置メカニズム
3. 学会等名 FIT2017 第16回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuho Wada, Tomohiro Ono, Taiki Todo, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Facility Location with Variable and Dynamic Populations
3. 学会等名 The 11th Multidisciplinary Workshop on Advances in Preference Handling (MPREF-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田和夏, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 SATソルバーを利用した施設配置のメカニズムデザイン
3. 学会等名 Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization 2020 (SMASH20)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東藤大樹
2. 発表標題 Facility Location with Variable and Dynamic Populations
3. 学会等名 ゲーム理論ワークショップ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田和夏, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 SATソルバーを利用した施設配置のメカニズムデザイン
3. 学会等名 ゲーム理論ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田和夏, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 SATソルバーを利用した施設配置のメカニズムデザイン
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2019 (JAWS-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田凌司, 八尋健太郎, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 部分的選好下における学校選択メカニズム
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2019 (JAWS-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎岳洋, 高梨誠之, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 ネットワークオークションにおける戦略的操作不可性かつ非浪費性を満たすメカニズムの設
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2019 (JAWS-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤木亨, 東藤大樹, 横尾真
2. 発表標題 2人非対称情報オールバイオークションにおける均衡と逆転現象の解析
3. 学会等名 2018年度人工知能学会全国大会 (第32回, JSAI-2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田勇歩, 小野友寛, 富永優仁, 東藤大樹, 横尾 真
2. 発表標題 2次元格子空間上の施設配置問題におけるパレート効率性の考察
3. 学会等名 2017年度人工知能学会全国大会 (第31回, JSAI-2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ilan Nehama, Taiki Todo, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Manipulation-resistant facility location mechanisms for ZV-line graphs
3. 学会等名 The Seventh International Workshop on Computational Social Choice (COMSOC-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ilan Nehama, Taiki Todo, Makoto Yokoo
2. 発表標題 Manipulation-resistant facility location mechanisms for ZV-line graphs
3. 学会等名 The 14th Meeting of the Society for Social Choice and Welfare (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<https://taikitodo.github.io/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
イスラエル	バーイラン大学			
中国	香港城市大学	上海財経大学		
フランス	パリ・ドーフイン大学			
オーストラリア	ニューサウスウェールズ大学			