

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－イスラエル共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「人間を系に含むマルチエージェントレジリエント最適化」
2. 研究期間：2017年1月～2020年3月
3. 主な参加研究者名：  
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	横尾真	教授	九州大学	研究統括
主たる共同研究者	東藤大樹	助教	九州大学	社会選択
主たる共同研究者	櫻井祐子	主任研究員	産業技術総合研究所	最適化
研究参加者	Ilan Nehama	学術研究員	九州大学	社会選択
研究参加者	Haihan Yu	学術研究員	九州大学	被験者実験
研究期間中の全参加研究者数			5名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Sarit Kraus	Professor	Bar-Ilan University	研究統括
主たる共同研究者	Noa Agmon	Associate Professor	Bar-Ilan University	機械学習
研究期間中の全参加研究者数			2名	

## 4. 国際共同研究の概要

本研究は人工知能技術をベースに、人間を系に含むレジリエントマルチエージェント最適化技術の確立を目指すものである。具体的には、最適化における目的関数が予め与えられていない状況で、関連する複数の人間の選好を自動的に獲得し、利害関係の調整を行い、環境の動的な変化に対応するための、種々のコア技術を開発すると共に、それらを統合したプロトタイプシステムの開発を行う。これにより、最適化技術の適用分野が格段に拡大し、例えば、災害復旧における資源割当問題（支援物資やボランティア等の限られた資源を複数の避難所に対して、差し迫った必要性や道路状況の変化等に対応して適切に割り当てる問題）への適用といった成果が期待できる。本研究で日本とイスラエルが交流を通じて相互に取り組むことで、両国の関連分野の研究者が本研究で開拓された先駆的な研究領域に参入してくることが予想される。その結果、特に両国の若手研究者間での共同研究が活性化することが期待できる。

## 5. 国際共同研究の成果

## 5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

本国際共同研究を通して、両国の研究チームそれぞれが、人間を系に含むレジリエントマルチエージェント最適化に関する国際影響力の高い研究成果を数多く挙げることに成功した。特に、理論的成果にとどまらず、被験者実験まで含めた、提案アルゴリズムに関する包括的な分析を行っており、提案アルゴリズムを実用に供するための足がかりを得た。また、両国の研究チーム間で、PI 以外の若手研究者を含む国際共著論文を執筆するなど、国際交流が加速しており、本プロジェクト開始時に掲げた目標を達成できたと言える。

本国際共同研究の期間中に、両チーム合計で、19 件の論文を執筆している。このうち、計算機科学領域で共通認識となっている国際会議ランキングにおいて、A\*（上位 4%以内）の最難関国際会議のプロシーディングから、共著論文を含む合計 15 件の論文を出版しているなど、両チームの研究成果が国際コミュニティにおいて非常に高く評価されている。このほか、ランキング A（上位 5~18%）の難関国際会議のプロシーディングスから 1 件、ランキング B（上位 19~44%）の難関国際会議のプロシーディングスから 3 件の論文を出版している。

#### 5-2 国際共同研究による相乗効果

国際共同研究を円滑に進めるために、定期的なオンラインミーティングのほか、国際会議における現地ミーティングや、相手国の学生の短期滞在の受け入れを行うなど、綿密なコミュニケーションを取ることを心がけた。特に、本プロジェクトでは各国の研究チームの強みがそれぞれに異なっていたため、研究成果や技術・知識・データの共有を円滑に行う体制を構築することで、共同研究を効率的に実施することに成功した。

#### 5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

国際共同研究を通して、 $\Sigma_2^p$  完全問題の高速な近似解法の確立、という新たな研究課題を発見した。これは計画段階では全く検討されていなかった問題であり、本プロジェクトにおける国際共著論文の執筆段階で初めて着想に至った本共同研究の最も大きな副次的成果である。ゲーム理論と最適化に関する深い理解を必要とする本問題は非常に挑戦的である一方で、（災害など、自然を含む）敵対者が存在する状況での最適化問題という、現実的にも要請の高い数理モデルでもある。

この挑戦的な研究テーマに関して、未解明の課題をすでに明確化しており、その課題の解決に向けて、協働関係を継続することとなっている。各国代表者は本プロジェクト以前からの知己であったが、これまで共同研究・共著論文の執筆には至っていなかった。本プロジェクトの実施によって、新たな共同研究が開始され、引き続き協働関係が継続することで、両国のマルチエージェントシステムコミュニティの結びつきが強化された。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
Japan – Israel Joint Research Program  
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「 Resilient human-in-the-loop multiagent optimization」
2. Research period : January 2017 ~ March 2020
3. Main participants :  
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Makoto Yokoo	Professor	Kyushu University	PI
Co-PI	Taiki Todo	Assistant Professor	Kyushu University	Social Choice
Co-PI	Yuko Sakurai	Senior Scientist	AIST	Optimization
Collaborator	Ilan Nehama	Postdoctoral Researcher	Kyushu University	Social Choice
Collaborator	Haihan Yu	Postdoctoral Researcher	Kyushu University	Experimental Economics
Collaborator				
Total number of participants throughout the research period:				5

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Sarit Kraus	Professor	Bar-Ilan University	PI
Co-PI	Noa Agmon	Associate Professor	Bar-Ilan University	Machine Learning
Co-PI				
Collaborator				
Collaborator				
Collaborator				
Total number of participants throughout the research period:				2

4. Summary of the international joint research

This project aims to establish resilient, human-in-the-loop multiagent optimization technologies where the objective function in an optimization problem is not given beforehand. We will develop core technologies including learning the preferences of the humans involved, balancing their conflicting interests, and dealing with dynamic changes. We hope that this project will bring about a paradigm shift in optimization research; from the optimization in a closed environment to optimization in an open environment including humans, machines and a possible adversary. In the long run, we expect other researchers of related fields in Israel and Japan to join the new research domain pioneered by this project. As a result, we anticipate that the research cooperation between Israel and Japan, in particular, among young researchers, will be revitalized.

## 5. Outcomes of the international joint research

### 5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

During this project, each team obtained several significant research contributions on resilient human-in-the-loop multiagent optimization. In particular, we conducted comprehensive analysis of proposed algorithm for multi-agent optimization, including both theoretical guarantee and lab experiments, which will be a first building block for applying it in practice. Furthermore, we have written an international joint research paper that involves non-PI young researchers. In sum, we believe that we successfully achieved the initial objective of this project.

We have published 19 scientific papers from international conference proceedings in total. Among them, 15 papers are published from top-tier international conferences, which are ranked A\* in the CORE ranking, including a joint paper between Japan and Israel teams. Also, 1 paper is published from an A (top 5-18%) conference, and 3 papers are published from B (top 19-44%) conferences.

### 5-2 Synergistic effects of the joint research

We conducted close communications between Japan and Israel teams, by having regular skype meetings and face-to-face discussions at international conference. We also accepted a student from Bar-Ilan university as a short-term visitor to Kyushu University. Furthermore, since each team has its own strength in this project, we well-prepared for seamless sharing of techniques, knowledge and data, which enabled us to conduct efficient research collaboration.

### 5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

We have discovered, during the project, a new research direction; designing fast approximation algorithms for  $\Sigma_2^P$ -complete problems. The finding of this innovative direction, which is one of the greatest side effect of the project, had not been considered at the initial stage of this project and just discovered through the progress in this joint research. It is quite challenging because of its requirement of deep knowledge on both game theory and optimization, and at the same time very practical since it can model various realistic situations where we need to solve an optimization problem considering the strategy of an adversary (say, Nature).

We two teams are going to keep working on this challenging direction after the end of this project and have already clarified the tasks to be solved. Even though the PIs had been known each other before the project was launched, there have been no joint publication. This project enhanced a new collaboration and strengthen the connection of multi-agent systems research communities in the two countries.

## 国際共同研究における主要な研究成果リスト

## 1. 論文発表等

\*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文)

・査読有り: 発表件数: 計 1 件

1. Anisse Ismaili, Noam Hazon, Emi Watanabe, Makoto Yokoo, Sarit Kraus. Complexity and Approximations in Robust Coalition Formation via Max-Min k-Partitioning. Extended Abstract. In Proc. AAMAS-19: 2036--2038, 2019.

・査読無し: 発表件数: 計 0 件  
該当なし

\*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文): 発表件数: 計 13 件

・査読有り: 発表件数: 計 15 件

1. Kazunori Ota, Nathanael Barrot, Anisse Ismaili, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo. Core Stability in Hedonic Games among Friends and Enemies: Impact of Neutrals. In Proc. IJCAI-17: 359--365, 2017.
2. Aolong Zha, Kazuki Nomoto, Suguru Ueda, Miyuki Koshimura, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo. Coalition Structure Generation for Partition Function Games by Utilizing a Concise Graphical Representation. In Proc. PRIMA-17: 143--159, 2017
3. Kentaro Yahiro, Yuzhe Zhang, Nathanael Barrot, Makoto Yokoo. Strategyproof and fair matching mechanism for ratio constraints. In Proc. AAMAS-18: 59--67, 2018
4. Yuho Wada, Tomohiro Ono, Taiki Todo, Makoto Yokoo. Facility Location with Variable and Dynamic Populations. In Proc. AAMAS-18: 336--344, 2018.
5. Emi Watanabe, Miyuki Koshimura, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo: Solving Coalition Structure Generation Problems over Weighted Graph. In Proc. PRIMA-19: 338--353, 2019.
6. Nodoka Okada, Taiki Todo, Makoto Yokoo: SAT-Based Automated Mechanism Design for False-Name-Proof Facility Location. In Proc. PRIMA-19: 321--337, 2019.
7. Ayumi Igarashi, Kazunori Ota, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo: Robustness against Agent Failure in Hedonic Games. In Proc. IJCAI-19: 364--370, 2019.
8. Nathanaël Barrot, Kazunori Ota, Yuko Sakurai, Makoto Yokoo: Unknown Agents in Friends Oriented Hedonic Games: Stability and Complexity. In Proc. AAI-19: 1756--1763, 2019.
9. Ilan Nehama, Taiki Todo, Makoto Yokoo: Manipulations-resistant Facility Location Mechanisms for ZV-line Graphs. In Proc. AAMAS-19: 1452--1460, 2019
10. Oskar Skibski, Tomasz P. Michalak, Yuko Sakurai, Michael J. Wooldridge, Makoto Yokoo: Partition decision trees: representation for efficient computation of the Shapley value extended to games with externalities. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 34(1): 11, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10458-019-09429-7>
11. Kentaro Yahiro, Yuzhe Zhang, Nathanaël Barrot, Makoto Yokoo. Strategyproof and fair matching mechanism for ratio constraints. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 34(1): 23, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10458-020-09448-9>
12. Kentaro Yahiro and Makoto Yokoo: Game Theoretic Analysis for Two-Sided Matching with Resource Allocation. In Proc. AAMAS-20: 1548--1556, 2020.
13. Taiki Todo, Nodoka Okada, Makoto Yokoo: False-Name-Proof Facility Location on Discrete Structures. To appear in Proc. ECAI-20, 2020.
14. Takehiro Kawasaki, Nathanaël Barrot, Seiji Takanashi, Taiki Todo, Makoto Yokoo: Strategy-Proof and Non-Wasteful Multi-Unit Auction via Social Network. *AAAI* 2020: 2062-2069
15. Oskar Skibski, Takamasa Suzuki, Tomasz Grabowski, Tomasz P. Michalak, Makoto Yokoo: Signed Graph Games: Coalitional Games with Friends, Enemies and Allies. *AAMAS* 2020: 1287-1295

- ・査読無し：発表件数：計 0 件  
該当なし
- \*その他の著作物（相手側研究チームとの共著総説、書籍など）：発表件数：計 0 件  
該当なし
- \*その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）：発表件数：計 0 件  
該当なし

## 2. 学会発表

- \*口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）  
発表件数：計 0 件（うち招待講演：0 件）
- \*口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）  
発表件数：計 17 件（うち招待講演：0 件）
- \*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）  
発表件数：計 1 件
- \*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）  
発表件数：計 2 件

## 3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

該当なし

## 4. 研究交流の実績（主要な実績）

### 【合同ミーティング】

- 2017年1月28日～2月11日：人工知能関連の国際会議 AAAI-2017 に出席の際、相手国 PI Sarit Kraus 教授と研究打合せを行った
- 2017年6月22日～7月1日：イスラエルにて相手国 Sarit Kraus 教授とミーティングを行った
- 両国のチームメンバーを交えて skype ミーティングを平均年3回程度開催した。

### 【学生・研究者の派遣、受入】

- 2019年9月15日～19日：相手国の学生 Karin Sheri を九州大学に受け入れ、研究討議を行った

## 5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0 件

## 6. 受賞・新聞報道等

- 2017年度人工知能学会全国大会優秀賞，和田勇歩（九州大学大学院），2017/7/18
- 2017年度人工知能学会全国大会優秀賞，山口知晃（九州大学大学院），2017/7/18
- JAWS2017 IEEE Young Researcher Award，大田一徳（九州大学大学院），2017/9/16
- JAWS2019 優秀論文賞，渡部恵海（九州大学大学院）・横尾真，2019/9/10

## 7. その他

該当なし