

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)
日本－フランス共同研究
終了報告書 概要

- 1. 研究課題名：「量子インスパイアード人工知能における問題エンコーディング」
- 2. 研究期間：令和 4 年 2 月 ～ 令和 6 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	今井浩	教授	東京大学	メンター
研究参加者	Vorapong Suppakitpaisarn	特任准教授	東京大学	理論的および実験的な研究
研究期間中の全参加研究者数			2名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Jin-Kao Hao	Full Professor	University of Angers	QUBOおよびメタヒューリスティックに関する支援
研究期間中の全参加研究者数			1名	

4. 国際共同研究の概要

量子アルゴリズムの思考から提案された量子インスパイアードアルゴリズムがいくつかあり、それらのアルゴリズムが制約なし二次形式二値変数最適化（QUBO）など人工知能システムも使われている。本研究で、問題エンコーディングの観点からそれらの人工知能システムの性能を改良した。Vorapong Suppakitpaisarn 特任准教授を、QUBO の研究で数十年の実績を持つフランスの Angers 大学の Jin-Kao Hao 教授のもとに派遣した。Hao 教授は QUBO に関するメタヒューリスティックなアプローチの研究で世界トップ研究者として知られており、Suppakitpaisarn 特任准教授の近似アルゴリズムの専門知識と Hao 教授の技術を組み合わせることで、両者の強みを活かした研究が展開された。

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

本プロジェクトには量子インスパイアードアルゴリズムの最速な実装方法を提案した。具体的に、Graph Sparsification 手法を用いて最大カット問題のエンコーディングを改良した。クラウドサービスに問題を発信するときに通信コストを削減することができた。具体的に、Spielman と Srivastava の手法が最大カット問題に適用可能であることを理論的に検証し、実験的にこの手法により通信コストが 60%-95%削減することができると確認している。査読を経て the 15th Metaheuristics International Conference (MIC 2024): Quantum Metaheuristic for Operations Research の論文集に採択された。

5-2 国際共同研究による相乗効果

本プロジェクトは東京大学大学院情報理工学系研究科の教育活動・国際化活動に貢献した。渡航研究者の Suppakitpaisarn 特任准教授が本研究科の国際担当教員であり、本国際交流の参加に得た経験を活かし、現在、AI・量子計算のグローバル研究コミュニティをリードする研究者育成プログラムを開発している。また、本プロジェクトの成果により、

Suppakitpaisarn 特任准教授は、フランスとシンガポールが主催する量子最適化に関する国際研究プロジェクトに参加して、量子最適化コミュニティでの活動を継続している。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

フランス側の PI である Hao 教授は東京大学大学院情報理工学系研究科に数少ないプロジェクトベースラーニング（PBL）の講義を行われ、学生はその PBL 講義で分野の第一人者から最新の研究を細かく学ぶことができた。参加学生の中には量子インスパイアードアルゴリズムを扱う企業への就職を希望する学生もいた。そのため、Hao 教授の研究が将来的に日本の産業界に影響を及ぼす可能性がある。

本プロジェクトの成果により、ソルボンヌ大学との連携を強化し、その成果を教育活動に活かしている。量子情報に関する国際教育プログラムを開発中であり、ソルボンヌ大学と東京大学間でのダブルディグリーの可能性も検討している。

Suppakitpaisarn 特任准教授は、Angers 大学に渡航中にフランス側の PI である Hao 教授や、Hao 教授の学生を含む Angers 大学の教員・学生と積極的に交流した。この交流は今後も続けることで Hao 教授と合意した。

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

1. Project title : 「Problem-Encoding for Quantum-Inspired Artificial Intelligence」
2. Research period : February 2022 ~ March 2024
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Hiroshi Imai	Professor	The University of Tokyo	Mentor
Collaborator	Vorapong Suppakitpaisarn	Specially-Appointed Associate Professor	The University of Tokyo	Theoretical and experimental works
Total number of participants throughout the research period: 2				

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Jin-Kao Hao	Full Professor	University of Angers	Support related to QUBO and metaheuristics
Total number of participants throughout the research period: 1				

4. Summary of the international joint research

Several quantum-inspired algorithms proposed from quantum algorithm concepts are used in artificial intelligence systems, including for unconstrained quadratic binary optimization (QUBO). In this research, we improved the performance of these artificial intelligence systems from the perspective of problem encoding. Specially-Appointed Associate Professor Vorapong Suppakitpaisarn was dispatched to work under Professor Jin-Kao Hao at the University of Angers in France, who has decades of experience in QUBO research and is known as a leading global researcher in metaheuristic approaches to QUBO. By combining Associate Professor Suppakitpaisarn's expertise in approximation algorithms with Professor Hao's techniques, research leveraging the strengths of both was conducted.

5. Outcomes of the international joint research

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

This project proposed an improved implementation method for quantum-inspired algorithms. Specifically, we improved the encoding of the maximum cut problem using the graph sparsification technique, which enabled us to reduce communication costs when submitting problems to cloud services. We theoretically verified that Spielman and Srivastava's method is applicable to the maximum cut problem and experimentally confirmed that this method can reduce communication costs by 60%-95%. After peer review, our paper was accepted into the proceedings of the 15th Metaheuristics International Conference (MIC 2024): Quantum Metaheuristic for Operations Research.

5-2 Synergistic effects of the joint research

This project has contributed to the educational and internationalization activities of the Graduate School of Information Science and Technology at the University of Tokyo. Specially-Appointed Associate Professor Suppakitpaisarn, who serves as the international coordinator for the graduate school, has utilized his experiences from this international exchange to develop an educational program aimed at cultivating researchers who will lead the global research community in AI and quantum computing. Furthermore, as a result of this project, Associate Professor Suppakitpaisarn has continued his involvement in the quantum optimization community through participation in an international research project on quantum optimization, hosted by France and Singapore.

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

Professor Hao, the French PI, conducted one of the few project-based learning (PBL) lectures at the Graduate School of Information Science and Technology at the University of Tokyo, enabling students to learn detailed, cutting-edge research directly from a leading expert in the field. Some students who participated in the PBL lecture expressed interest in working for companies that deal with quantum-inspired algorithms, suggesting that Professor Hao's research might potentially impact the Japanese industry in the future.

The results of this project have strengthened the collaboration with Sorbonne University, which is being utilized in educational activities. An international education program on quantum information is currently under development, and the possibility of a double degree program between Sorbonne University and the University of Tokyo is being explored.

Specially-Appointed Associate Professor Suppakitpaisarn actively engaged with Professor Hao and other faculty and students from the University of Angers, including Hao's students, during his stay at Angers University. He has agreed with Professor Hao to continue this exchange in the future.

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）発表件数：計 1 件

・査読有り：計 1 件

1. V. Suppakitpaisarn and J. K. Hao, “Utilizing Graph Sparsification for Pre-processing in Max Cut QUBO Solver”, In the Proceeding of the 15th Metaheuristics International Conference (MIC 2024): Session on Quantum Metaheuristic for Operations Research, 2024. (採択済)

・査読無し：計 0 件

＊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 0 件

＊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

＊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

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 2 件（うち招待講演：1 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 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 0 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

1. Departmental Seminar, Department of Computer Science, University of Angers

主催者：Eric Monfroy 教授（Department of Computer Science・教授）

場所：Department of Computer Science, University of Angers, Angers, フランス

日程：2023 年 5 月 24 日

参加者：20 名程

2. 日仏情報学連携拠点（JFLI）Seminar

主催者：Phillipe Codognet 教授（CNRS・教授）

場所：東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻、東京、日本

日程：2024 年 2 月 27 日

参加者：10 名程

4. 研究交流の実績（主要な実績）

【メール交換】

・日本側のチームが月に 1 回程度、フランス側のチームに研究の進捗を報告し、フランス側からはそれに対する意見を受け取った。

【研究者の派遣・受入】

・2023 年 5 月～6 月、2024 年 2 月：渡航した研究者の Vorapong Suppakitpaisarn 特任准教授を 3 週間渡航し、様々な研究ディスカッションを通じて交流を強化した。

・2024 年 2 月：相手国側の PI である Hao 教授を日本側研究機関に 1 週間受け入れた。

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

特になし

7. その他

【JST さくらサイエンスプログラムによりインドから受け入れた学生向けの講演】

・2023 年 12 月 21 日：東京大学大学院情報理工学系研究科から JST さくらサイエンスプログラムでインド工科大学から学生を受け入れた際、来訪大学生・大学院生に本プログラムの国際共同研究の成果を紹介した。