

二国間交流事業 セミナー報告書

令和5年3月22日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 ・
国立情報学研究所
[職・氏名]
教授 ・根本 香絵
[課題番号]
JPJSBP220219001

1. 事業名 相手国: シンガポール (振興会対応機関: NUS) とのセミナー

2. セミナー名

(和文) 人工知能、高速計算と量子物理の融合による新しいアプローチの創出

(英文) Crossroads of Artificial Intelligence, High-Performance Computing and Quantum Physics

3. 開催期間 2023年2月20日～2023年2月22日 (3日間)

4. 開催地(都市名)

東京

5. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

National University of Singapore ・ Associate Professor ・ Yap Roland

6. 委託費総額(返還額を除く) 608,316 円

7. セミナー参加者数(代表者を含む)

	参加者数	うち、本委託費で渡航費または 日本滞在費を負担した場合*
日本側参加者等	27 名	0 名
相手国側参加者等	20 名	0 名

参加者リスト(様式B2)の合計人数を記入してください。該当がない箇所は「0」または「-」を記入してください。

* 日本開催の場合は相手国側参加者等の日本での滞在費等を負担した場合、相手国開催の場合は日本側参加者等の渡航費を委託費で負担した場合に記入してください。

8. セミナーの概要・成果等

- (1) セミナー概要(セミナーの目的・実施状況。第三国からの参加者(基調・招待講演者等)が含まれる場合はその役割とセミナーへの効果を記載してください※。関連行事(レセプション、見学(エクスカージョン)その他会合(別経費の場合はその旨を明記。))などがあれば、それも記載してください。各費目における増減が委託費総額の50%に相当する額を超える変更があった場合には、その変更理由と費目の内訳を変更しても計画の遂行に支障がないと考えた理由を記載してください。)

本セミナーでは、量子情報の発展により多角的に展開されている量子多体物理に代表される複雑な現象の解析および理解と、近年急速に発展したコンピュータ科学が非自明に融合した新しい分野の創出を目指し、シンガポールと日本における最先端研究を共有することで新しい展開を生み出すことを目的とした。

本セミナーは、量子情報科学における新しい研究発展をもとに、量子多体物理とAIに関連する諸分野との本格的な融合によって初めて可能となる新しい学術領域の創成へ向け、次の3つの問い：

1. 物理系へマップできる最適化問題とはどのような特徴をもつのか
2. どのような多体問題が機械学習アルゴリズムを用いて効率的に解くことができるのか
3. 量子物理系に潜む非自明な最適化問題を見いだす

を指針として、新しいアプローチと具体的な問題を明らかにすることを目標とし、それぞれの最新の研究成果を共有するとともに、学際的な議論を行なった。本セミナーは、日本側にとってはコロナ禍以降初めての若手研究者が交流する本格的な機会となった。また、このセミナーを出発点として、機械学習と複雑系物理との新しい分野創成を目指した研究協力を基礎付けることができた。ポスターセッションは、若手研究者が議論の中心になり、セミナーに主体的に参加、活躍することができた。

途中、2つの招待講演をはさみ、議論の幅を広げることができた。一つは、Debabrota Basu 研究員(Inria, France)が、オンライン参加で「Lille Learning theory and dynamical systems」について講演を行なった。2つ目は、最新の実験についての招待講演を理科大の佐中准教授にお願いした。最近の物理的な発展を挟むことで、物理的な実現性について議論する機会となった。

セミナーのプログラムは以下の通りの役割分担で企画した。

第一日目:最適化及びモデル・問題と物理系間のマッピング

講演の部: シンガポール側は機械学習の観点から量子情報科学の最近の進展についてのレビューを行い、アダプティブ量子トモグラフィのような機械学習の量子プロトコルや制御への有用性を具体的に示す。日本側は、量子制御に関連した新しい最適化手法について紹介し、量子シミュレーションの観点から様々な最適化問題を議論する。

討議の部: 討議の部では、まず講演の部の内容について、多角的に議論し、今後の議論の基礎を共有する。

ポスターセッション: 若手研究者を中心にポスター発表を行う。

第二日目:多体物理と機械学習アルゴリズム

講演の部: シンガポール側はニューラルネットワーク量子状態のスケーラビリティについてのトランスファー学習の研究成果について紹介する。日本側は、簡単な多体系の代表であるスピン列を用いた量子シミュレーションに関する研究成果を紹介する。

討議の部: 講演では、目的を同じにしながら、異なるアプローチが提示されているため、それぞれのアプローチの特徴や利点について十分に議論する。

運営会議: 討議の部での内容を整理し、今後の共同研究の進め方について議論する。

第三日目:量子物理系に内在する複雑性と非自明な最適化問題

講演の部: シンガポール側は物理系の中にある未知のパラメータについての推定と機械学習について、レビューと最近の研究成果について説明する。日本側は、時間結晶とその複雑性についての研究成果を紹介する。

討議の部: 講演で提示された2つの方向性について討議を行う。

まとめの部: 最後に、本セミナー全体を通して明らかになったアプローチ、具体的な問題について整理し、これら新しい課題について、具体的な研究計画を練る。

セミナーの一部をオンラインで行う必要があったため、当初のプログラムの内容を変えずに、講演順番の入れ替えを行ったため、全体のプログラムとしては以下の通りである。

プログラム:

Day 1 : Program mapping and optimization

Opening : 9:30-10:00

Topics 1 : Machine learning approach to quantum information science (Singapore)

[morning session] 10:00-11:30 . Chair: Roland Yap

[Long talk, Virtual] Ng Hui Khoo, National University of Singapore Adaptive quantum state tomography with neural networks.

[Long talk, Virtual] Kwek LC, CQT, National University of Singapore Towards Chip-Based Quantum and Classical Neural Networks.

[Long talk] Arthur Strauss, CQT, National University of Singapore Leveraging Deep Reinforcement Learning for real-time context-aware Gate Calibration.

[afternoon session] 15:30 - 16:20 . Chair: Kaoru Sanaka.

[Short talk] Peres Casagrande Heitor, Singapore University of Technology and Design (SUTD) Complexity of spin configurations dynamics from unitary evolution plus periodic projective measurements.

[Long talk, Virtual] Kishor Bharti, IHPC, Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) Capacity and quantum geometry of parametrized quantum circuits.

Topics 2 : Optimization techniques to control quantum systems (Japan)

[afternoon session] 13:00 - 15:00 . Chair: Jun Suzuki.

[Short talk] Masako Kishida, National Institute of Informatics Temporal Deep Unfolding for Constrained Nonlinear Stochastic Optimal Control.

[Long talk] Hayata Yamasaki, University of Tokyo Quantum Machine Learning with Optimized Random Features: Applications of Exponential Speedup without Sparse and Low-Rank Matrices.

[Short talk] Li Peizhe, The Graduate University for Advanced Studies Performance of Rotation-Symmetric Bosonic Codes in a Quantum Repeater Scheme based on Cavity-QED.

[Short talk] Jianchao Zhang, The University of Electro-Communications QestOptPOVM: Numerical search for finding an optimal POVM for multiparameter estimation.

[Short talk] Kazuaki Murayama, The University of Electro-Communications Phase Diagram for Estimation Performance of Linear Regression Model with Sparse Bayesian Learning.

Scientific discussion session 16:20 - 17:30 . Chair : William Munro

[Invited speaker] 16:20 - 17:00 . Kaoru Sanaka, Tokyo University of Science Optical fiber-based single-photon emitter.

Poster session 17:30-18:30

Day 2 : Many-body physics and machine learning algorithms.

Topics 3: Scalability of quantum neural networks (Singapore)

[morning session] 09:30-10:30 . Chair: Christian Miniatura.

[Short talk, virtual] Dario Poletti, Singapore University of Technology and Design (SUTD) Block

Belief Propagation Algorithm for 2D Tensor Networks.

[Short talk] Zhang Wenxuan, Singapore University of Technology and Design (SUTD) Ground state search by local and sequential updates of neural network quantum states.

[Short talk] Wu Zheyu, Singapore University of Technology and Design (SUTD) Supervised Training of Neural-Network Quantum States in different phases of matter.

[afternoon session] 15:30–16:30 . Chair: Stephane Bressan.

[Short talk, virtual] Lu Jianlong, National University of Singapore Discovering Quantum Critical Points with Neural Networks Quantum States.

[Long talk, Virtual] Paolo Recchia, National University of Singapore the Stochastic Variational Method for Quantum Few-body Systems.

Topics 4: Quantum simulation (Japan)

[morning session] 11:00 – 12:00 . Chair: Victor Bastidas.

[Long talk] Akitada Sakurai, Okinawa Institute of Science and Technology Utilizing quantum dynamics for reservoir computing.

[Long talk] William J. Munro, NTT Basic Research Laboratories (BRL) Versatile NISQ processors.

[afternoon session] 13:30 – 15:00 . Chair: Mio Murao.

[Short talk] Aoi Hayashi, The Graduate University for Advanced Studies Quantum feature maps in quantum neural networks.

[Short talk] Satoshi Yoshida, The University of Tokyo Universal inversion of unitary and isometry operations: deterministic and exact algorithms.

[Short talk] Yoshiharu Minagawa, The University of Electro-Communications Phase Error Correction in OAM Qubits Encoding.

Discussions for future collaborations 17:00 – 18:00

Day 3 : Quantum complex systems and nontrivial optimization problems.

Topics 5: Estimation of unknown parameters in physical systems and machine learning (Singapore).

[afternoon session] 13:00 – 15:00 . Chair: Marta Estarellas.

[short talk] Stephane Bressan, National University of Singapore Physics-informed Machine Learning.

[Short talk] Khoo Zi-Yu, National University of Singapore Predicting Hamiltonian Dynamics.

[Short talk] Felix Chavelli, National University of Singapore, Discovering Degrees of Freedom in Experimental Data.

[Short talk] Roland Yap, National University of Singapore Protein Structure Prediction in the HP Model with Deep Reinforcement Learning.

[Long talk] Christian Miniatura, Majulab/National University of Singapore Multifractal Properties of the CFS Peak.

[afternoon session] 16:00 – 17:00 . Chair: Kae Nemoto.

[Long talk ,virtual] Remmy Zen, Max Planck Institute for the Science of Light Transfer Learning for Neural Network Quantum States.

[Long talk, virtual] Debabrota Basu, INRIA Lille Learning theory and dynamical systems.

Topics 6: Complex dynamics and Floque systems (Japan).

[morning session] 10:00 – 11:30 . Chair: Akihito Soeda.

[Long talk] Marta Estarellas, National Institute of Informatics Analog quantum computing: a review.

[Long talk]Victor Bastidas, NTT Basic Research Laboratories (BRL) Quantum Simulation and synthetic physics with arrays of superconducting qubits.

[Long talk]Jun Suzuki University of Electro-Communications Nagaoka-Hayashi bound in multi-parameter estimation.

Discussions for future collaborations 17:00 – 17:30

Scientific discussion session 17:30 – 18:30

Management meeting (closed) 18:30 – 20:30

本セミナーはコロナの影響で延期されたため、準備会および整理会は大幅に規模を縮小して実施した。

(2) 学術的価値(セミナーにより得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

機械学習は、最近では量子制御などの解析に用いられているが、本セミナーでは、単純な機械学習の応用ではなく、量子物理現象や複雑な現象の原理や応用といった観点から、融合的に考察することで、複雑な物理現象への機械学習の新しいアプローチを切り出すことができた。物理側からは、機械学習の理解がより必要であり、学際的な共同研究が有効であることが強調された。また、複雑系の新しい理解に向けて、多体問題解析への機械学習の応用にとどまらず、フロッケ理論やリザーバー計算、またセルラーオートマトンや高階量子演算など様々な概念がそれぞれの研究発表で登場したことが特徴的であった。これらの多様な概念とその現象の背後に複雑性があり、複雑性を理解するというアプローチが、これらさまざまな応用や現象の理解への有効なアプローチであることが示唆された。

(3) 相手国との交流(両国の研究者が協力してセミナーを開催することによって得られた成果)

本セミナーのテーマは学際的であり、両国の研究者が協力してセミナーを開催することで、初めて新しい方向性が得られたものと考えている。一見異なる研究テーマにみえる発表でも、その後の密な議論を通して、共通の研究上の興味を見出し、新しい方向性を議論できたことは、本セミナーの大きな成果のひとつである。また、この機会を得たことで、今後の研究交流を企画することができた。共同で新しい研究分野を創成するという目的で今後も協力していくことになっており、継続的な若手の交流や海外からの若手研究者の獲得という点も本セミナー開催の成果のひとつである。

- (4) 社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

社会基盤となっている科学技術は、21世紀に入りますます高度化している。その中で、社会現象も複雑化しており、そのような複雑な現象の解明をどのように成しうるのかは、現代の社会や現代的な物理学上の大きな問題のひとつである。本セミナーはこのような複雑な現象に対して、近年急速に発展した機械学習の観点を融合したアプローチを提案するもので、現代的諸問題の理解と解決に向けた方法論を生み出さう。さらに、このような学際的な研究は、学問という文化の継承と発展において非常に重要な役割を持つ。また、新しい状況や現象に対して、人類が対峙していくための基礎的な文化を強化、発展させるものでもある。

- (5) 若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

若手がリアルで国際舞台での経験を積むことができた、コロナ禍では貴重な経験であったと考える。実際、セミナーでは若手、シニアを問わず議論が活発に行われ、若手研究者が主体的に参加することができ、研究者養成として意義が十分にあった。また、研究進展という点でも、新しいアイデアを持ち帰り、そこから議論も進んでおり、今後共同研究として進めていくことが期待できる。

- (6) 将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本セミナーでは、機械学習と複雑性にフォーカスした新しい学問分野の可能性を見出すことができたので、これを出発点に、今後さらにこのアプローチを発展させる予定である。例えば、機械学習の複雑な現象の制御への応用はこれまでも行われてきたが、この新しいアプローチでは、機械学習的手法を複雑系の新しい解析方法として用いることを具体的に示せる可能性がある。また、そのような可能性は、新しい機械学習の方法を生み出す可能性が高い。

- (7) その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果(論文発表等含む)があれば記載してください)