

Introduction to the BRIDGE Project: Quantum Mathematical Education — Developing Quantum Talent through a Mathematical Approach

Hiroyuki ochiAI (落合啓之)

Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University
(九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所)

Mini workshop: Foundation of Quantum Programming
2026 September 28, @ C502

Purpose of this talk この講演の目的

Introduction to some IMI activities related to quantum information.

量子情報や量子アルゴリズムに関する活動の報告

- Upcoming Event, December 17-18, 2026.
- Division of advanced optimization and quantum mathematics
- BRIDGE project (main topic of this talk)

Disclaimer: A part of this slide is bilingual.

英語が得意でない方々向けに一部を日英表記しています。

12月に予定しているイベント

- December 17-18, 2026. 今年末
- at IMI, as well as a webinar; 対面とオンラインのハイブリッド
- One of IMI joint research, 2026a034 共同利用
- Representation theoretic approach to quantum error correction and human resource development of quantum computing
- Organizer: Yasuyoshi Yonezawa 米澤康好
- The program will be released soon
Speakers will include from NVIDIA, SoftBank, RIKEN etc.

inside IMI, established 2026 April. 今年度発足

- Division of advanced optimization and quantum mathematics
<https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/en/department/opt-qmath/>
- 先端最適化・量子数理研究部門
- Waki (leader), Anai, [Ochiai*](#), [Sato*](#), [Kitagawa](#), Kira*, Kim
- Division of International Affairs 国際連携展開部門
- Cesana*(leader), Kajiwara*, Nguyen*, Sato*, Gaina, Tagami*

BRIDGE 正式名称と位置付け

- “Quantum Mathematical Education — Developing Quantum Human Resources through a Mathematical Approach,” for which the Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University, is responsible, within “Development and Trial of a Quantum Human Resource Education Ecosystem” (with QST, the National Institutes for Quantum Science and Technology, serving as the research promotion agency), one of the Cabinet Office’s BRIDGE initiatives.
- 内閣府 BRIDGE 施策のうち、
「量子人材教育エコシステムの開発と試行」(QST(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)が研究推進法人)の
中の、
九州大学マス・フォア・インダストリ研究所が担当する、「量子数理教育 — 数学的アプローチによる量子人材育成 —」

- gate-based quantum computers ゲート型量子コンピュータ
- creating algorithms 量子アルゴリズムの作成
- usually pre-supposes a certain amount of knowledge of quantum mechanics as physics
通常は、量子物理学の知識をベースとして理論展開
- → people who are not familiar with quantum theory have difficulty encountering quantum algorithms
量子論に馴染みのない人にとって参入障壁（入りづらい）
- e.g., mathematician 数学者や数学科出身の学生

Necessity 必要性の観点

- Some well-known algorithms specific to gate-based quantum computers rely on mathematics.
ゲート型量子コンピュータ固有のアルゴリズムには、数学が使われている部分がある
- Those who have not studied mathematics systematically may also find this part difficult
量子アルゴリズムの理解に数学が有効
- Shortage of human resources with expertise in quantum computing is expected in the future
今後、量子コンピュータに携わる人材の不足が予想される
- → Need recruit and develop talent from diverse backgrounds
多様な背景をもつ人材を登用し、育成する必要がある

Sufficiency 十分性の観点

- Many introductory books on quantum algorithms for beginners start with a detailed explanation of quantum mechanics.
量子アルゴリズムの多くの初学者向け入門書は量子論の丁寧な説明から入る
- → The lengthy preliminaries can be discouraging, causing readers to give up before they even get to the main subject.
前置きが長く、本題に入る前に挫折
- Hypothesis: Quantum algorithms can be understood to some extent without first learning quantum mechanics
仮説：量子アルゴリズムの理解は量子論抜きでもある程度可能
- an accessible entry point for mathematicians
数学者に入りやすい入り口
- → Demonstration 実証実験してみよう。

Quantum Computer vs classical computer

- Keep the physical (quantum-mechanical) approach to a minimum and, as far as possible from a mathematical viewpoint, organize the ideas behind algorithm design. In doing so, we have paid attention to creating an environment in which even those who do not sufficiently understand physics can think about algorithms. 物理学 (量子力学) 的なアプローチを最小限に留める。できるだけ数学的な観点から、アルゴリズム作成の考え方を整理する。量子を十分理解できていなくても、アルゴリズムを理解できるような環境を構築。
- This corresponds to the fact that, even for algorithms on classical computers, one can write programs if one understands a computer language and basic logic, without knowing anything about the physical motions inside a computer. これは、古典コンピュータのアルゴリズムにおいても、コンピュータ内部の物理的動きを全く知らなくても、コンピュータ言語と基本的な論理さえ分かれば、プログラムが書けることに対応している。

- qubit 量子ビット $\rightarrow$ vector
 - gate ゲート $\rightarrow$ (unitary) matrix
 - circuit 回路 $\rightarrow$ product of matrix $\rightarrow$ group 群
 - measurement 測定 $\rightarrow$??
-
- I'm also a beginner for quantum information 私自身も初心者
 - $\rightarrow$ So, I can understand what beginners think about.
 - Start 2018. 量子アルゴリズムの講義を最初にした
 - この10年、色々な本で勉強したり、講演を聞いたり
 - 2022 March- Quantum Computing System Center
(concurrent)
九州大学量子コンピューティングシステム研究センター兼任

Platform

- 90min $\times$ 8 lectures, fall semester 数学共創基礎 V
- 2024, 2025, (2026)
- M1, B4; approx. 20 math students, and 10 others (system info, economics) 受講生は修士 1 年生や学部 4 年生が主。
数学科 20 名、他 10 名程度
- Graduate Program of Mathematics for Innovation 九州大学マ
ス・フォア・イノベーション卓越大学院プログラム
- WISE= Doctoral Program for World-leading Innovative &
Smart Education, MEXT
卓越大学院プログラム
- Joint Graduate School of Mathematics for Innovation
連係学府 est. 2020

- Lecture Note, available on 九大 IMI の量子部門のページ
<https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/department/opt-qmath/>
- Kitagawa made an excellent LN. 講義ノートの作成は北川
- The note supplements points that could not be explained in detail in the lectures and also adds supplementary material for exercises. 講義で述べていない詳細も丁寧に補足されている
- It also substantially expands the related mathematical knowledge. 関連する数学的な概念や定理なども紹介
- The topics of lectures contain Shor, Grover, Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani, Simon's algorithms, Quantum error correction (stabilizer code), quantum teleportation, and universality. 講義ではいくつかの量子アルゴリズムの数学的な側面を取り扱った。
- This LN contains only Shor. Others will be to appear. In this sense, this LN would be 'of volume one'. 上記の講義録に掲載されている量子アルゴリズムはショアのアルゴリズムだけであるが、他のものは随時まとめて公開していく予定。

Notice 気づき

- Only 'finite-dimensional' Hilbert spaces arise.
出てくるヒルベルト空間は有限次元のもののみ。無限次元に伴う複雑な概念や性質はスキップして良い。
- Complex numbers are frequent, but complex variables are never.
複素数は積極的に使うが、複素関数は不要
- Schrödinger and Heisenberg are not necessary first time.
量子でいつも冒頭に解説される概念でも、アルゴリズムの最初の理解には必ずしも必要ないものもある。
- If one would want to state some quantum algorithm is faster than classical ones, he/she should know the computational complexity of classical algorithms
古典コンピュータよりも「速い」ことを議論するためには、古典コンピュータでの計算量の議論が必要。
- → pros/cons only with quantum algorithms
量子アルゴリズムだけを議論する長所と短所
- ← no pre-requisite on quantum physics and computer science

Weak point 短所

- No comprehensive introduction on quantum computers
この講義を聞いただけでは、量子コンピュータや量子アルゴリズムの数学的な側面以外がわからない。
- On quantum computers/algorithms, there are so many excellent surveys, books, video, pdf, articles, etc.
量子コンピュータについての動向を解説している動画などはたくさんある。そこを見てください。
- Some students realized this by themselves.
棲み分けしています。
- No good references in this attitude for further reading
この姿勢（量子を理解せずに量子アルゴリズムだけを理解しよう）で読みやすい文献や論文がまだない
- The fundamentals of quantum mechanics and computer science are best learned separately.
この学習方法で学ぶと、標準的な量子論や計算機科学の常識が身につかない。

- This BRIDGE will be 2028 March ちょうど中間：あと1年半
- We will go out from Kyushu University 九大以外での展開
- Math department in Japan 他大学の数学科での実践
- Other countries (different prerequisite) 日本以外での実践
- Company (different interest) 企業での数学人材育成
 - may know quantum 量子を知らない人材を想定しづらい
 - Modifications from the system design 制度設計の改変
- publication?
- movie??

A hidden purpose 副産物

- Classical example: vector analysis is a mathematical version of electromagnetism ベクトル解析は電磁気学の数学版
- Symplectic geometry is the mathematical framework underlying Hamiltonian mechanics
シンプレクティック幾何学はハミルトン力学の数学版
- wine ($\rightarrow$ distill $\rightarrow$) brandy ワインを蒸留してブランデー
- Kyushu has good Shochu 九州には良い焼酎がある
- Quantum algorithms serve as a rich ingredient of mathematics
量子で数学を学ぶ
- tensor product: non-trivial, computable than math approach
テンソル積の好例：非自明、計算可能、例豊富
math takes care of abstract, uniqueness/existence, universality
分業の妙味
- quantum Fourier $\rightarrow$ toy model of harmonic analysis
量子フーリエ変換：調和解析のおもちゃのモデル

Further examples of quantum-math correspondence

- Shor $\rightarrow$ finite commutative group アーベル群
- Grover $\rightarrow$ non-commutative group (Lie group) リー群
- universality $\rightarrow$ ergodic エルゴード性
- stabilizer code $\rightarrow$ Lagrangean subspaces of symplectic vector space over $\mathbb{F}_2$
スタビライザ符号は2元体上の線型空間上のラグランジアン部分空間と。
group theory (stabilizer, normalizer,...)
正規化群などの群論の概念の習得や習熟につながる
- practice 数学の実践経験

- Research Interest: Algebraic Analysis, especially, Representation Theory and Special Functions
専門は数学：代数解析学、特に、表現論や特殊関数論
- 1965 January: born 埼玉県に生まれる
- 1989 March: master, Univ Tokyo, math dept.
- 1989 April-, assistant, Rikkyo Univ., math dept. 助手
- 1998 April-, associate Prof, Kyushu Univ, math 助教授
through Tokyo Insti Tech., Nagoya Univ 東工大、名大を經由
- 2009 October-current, Kyushu Univ 現職



単著単行本、文庫本の解説、英語の単行本、
 $SL(2)$, H.Weyl:symmetry, CG,

翻訳
Gröbner basis