



研究室 多元数理科学棟 404号室 (内線番号 2412)

電子メール legall@math.nagoya-u.ac.jp

ウェブページ <http://www.francoislegall.com/>

所属学会 情報処理学会, 日本数学会, ACM

研究テーマ

- アルゴリズム
- 計算複雑性理論
- 量子計算

研究テーマの概要

私の専門は理論計算機科学です。コンピュータを数学的に研究する学問ですが、実際はコンピュータをほとんど使わない理論的な研究が多いです。特にアルゴリズム、計算複雑性理論及び量子コンピュータの研究に取り組んでいます。

アルゴリズムに関して、主にグラフ・アルゴリズム（グラフ問題を解くアルゴリズム）と代数的アルゴリズム（代数的問題を解くアルゴリズム）を専門としています。代数的アルゴリズムにおいて、理工学のあらゆる場面で現れる代数的問題に対し、性能の良いアルゴリズムの構築を目指しています。具体的に、2つの構造（群など）の同型性判定や、線形や双線形関数の計算に必要な基本演算において、様々なアルゴリズムを構築してきました。代表的な結果として、理論計算機分野で最も重要な未解決問題の一つである「行列乗算の計算量」に取り組み、長年来出来なかった改良に成功しています（主要論文[6]）。

計算複雑性理論（計算量理論）の研究は、各種の計算モデルの計算能力の究明を目指すとともに、「これ以上の効率化は不可能である」という限界の証明も目標とするものであり、理論計算機科学の中心的な分野です。計算量理論の最も有名な未解決問題は「 $P \neq NP$ 予想」であり、クレイ数学研究所のミレニアム懸賞問題にもなっています。最近、私は特に分散計算の計算量に興味を持っています。

量子コンピューティングは量子力学の法則に基づく計算・通信パラダイムです。1994年に発表された量子計算多項式時間素因数分解アルゴリズムによって、既存のコンピュータを凌駕する能力を持つことが示されました。以来、研究分野としては数理から物理にまで多岐にわたる大きなテーマとなりました。量子計算において、私の代表的な成果は三角形発見問題の量子計算量の改良（主要論文[7]）です。三角形発見問題とは、与えられたグラフに対して、このグラフは三角形の部分グラフを持つか判定する問題であり、行列乗算、充足可能性問題や3SUM問題との関係が近年明らかになったことにより、最先端の計算量理論における中核的な役割を果たしています。量子計算の枠組みでも、三角形発見問題は15年前から研究されており、量子ウォークなどいくつかの強力な手法の導入により、三角形発見問題の量子計算量はグラフの頂点数 n に対して $O(n^{9/7})$ まで改良が成されましたが、この上限はタイトであり、それ以上改良はできないと推定されていました。しかしながらここで、組み合わせ論に基づく新しい手法を導入することにより、論文[7]では三角形発見問題の量子計算量をさらに $O(n^{5/4})$ とする改良に成功し、その仮説を完全に否定しました。

主要論文・著書

- [1] S. Gharibian and F. Le Gall. Dequantizing the Quantum Singular Value Transformation: Hardness and Applications to Quantum Chemistry and the Quantum PCP Conjecture. *Proceedings of the 54th ACM Symposium on Theory of Computing*, 19–32, 2022.

- [2] F. Le Gall. Average-Case Quantum Advantage with Shallow Circuits. *Proceedings of the 34th Computational Complexity Conference*, 21:1–21:20, 2019.
- [3] T. Izumi and F. Le Gall. Triangle Finding and Listing in CONGEST Networks. *Proceedings of the 36th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp. 381–389, 2017.
- [4] D. Doron, F. Le Gall and A. Ta-Shma. Probabilistic Logarithmic-Space Algorithms for Laplacian Solvers. *Proceedings of the 21st International Workshop on Randomization and Computation*, pp. 41:1–41:20, 2017.
- [5] H. Kobayashi, F. Le Gall and H. Nishimura. Stronger Methods of Making Quantum Interactive Proofs Perfectly Complete. *SIAM Journal on Computing*, Vol. 44(2), pp. 243–289, 2015.
- [6] F. Le Gall. Powers of Tensors and Fast Matrix Multiplication. *Proceedings of the 39th International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation*, pp. 296–303, 2014.
- [7] F. Le Gall. Improved Quantum Algorithm for Triangle Finding via Combinatorial Arguments. *Proceedings of the 55th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*, pp. 216–225, 2014.

受賞歴

- 2017, 科学技術への顕著な貢献2017（ナイスステップな研究者）
「高度情報化社会を支える高速計算アルゴリズムの開発」
- 2014, ISSAC 2014 Distinguished Paper Award

経歴

- 2006年 東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了
- 2006年 科学技術振興機構 ERATO-SORST 量子情報システムアーキ
テクチャ 研究員
- 2009年 東京大学大学院情報理工学系研究科特任講師
- 2012年 東京大学大学院情報理工学系研究科特任准教授
- 2016年 京都大学大学院情報学研究科特定准教授
- 2019年 名古屋大学大学院多元数理科学研究准教授
- 2022年 名古屋大学大学院多元数理科学研究教授

学生へのメッセージ

- 少人数クラスでは、理論計算機科学について研究します。特に量子情報および量子計算（開発途上にある量子コンピュータの数学的側面）を中心としますが、理論計算機科学に関する話題であれば基本的に好きなテーマ（例：アルゴリズムや計算量理論）を選んで良いです。
- 最初の数カ月は教科書を読んで勉強してもらいます。テーマによりませんが、以下のテキストから選ぶことが多いです。

- [1] 量子情報科学入門 石坂 智・小川 朋宏・河内 亮周・木村 元・林 正人 著 共立出版、2012年
- [2] 量子コンピュータと量子通信 1～3 ミカエル ニールセン (著), アイザック チャン (著), 木村 達也 (翻訳) オーム社、2004年

- その後、最近の研究論文をいくつか紹介するので、その論文を読んで、研究の最前線に触れます。最後に、興味のある未解決問題を選んで、オリジナルな研究に挑戦してもらいます。