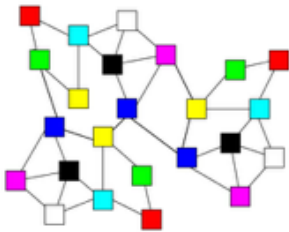


本研究室では、量子計算理論の研究を行っています。特に、

- (1) 量子計算を心の底から理解したい: 量子計算はなぜ古典より速いのか、量子計算は何ができて何ができないのか、といった、量子計算の原理的な問題に物理学と情報科学の両方からアプローチする。
 - (2) 量子計算は量子多体系のダイナミクスに過ぎない、という考えのもと、量子計算という切り口から、量子多体物理をこれまでにない新しい視点から研究する。
 - (3) 量子計算機が光や原子、固体等で実現されつつある今、量子計算機の実現・応用に理論的に貢献する。
- の3点を目指しています。これまで行ってきた研究テーマの例を以下に紹介します。

◆ テンソルネットワークと測定型量子計算

量子多体状態を記述する状態ベクトルは、次元が粒子数の指数関数的に増大するため、数値計算や解析的計算は非常に困難であることがよく知られています。近年、「テンソルネットワーク」という新しい概念が注目を集めています。これは、量子多体状態をテンソルのネットワークで記述するものであり、状態を効率的に記述できたり、量子多体系の見方に対して全く新しい視点を提供してくれたりします。測定型量子計算のテンソルネットワークによる記述は、量子多体系の物理的性質が量子計算の性能にどう繋がるかを分析しやすいため、物理と量子計算をつなぐ良い架け橋となります。実際、エンタングルメントや相関が量子計算に及ぼす影響や、量子計算と統計物理の分配関数との関係、トポロジカルオーダーと量子計算との関係等、多くの新しい結果を生み出してきました。



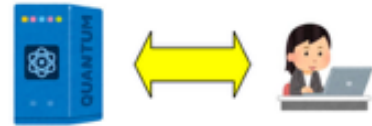
◆ 非ユニバーサル量子計算の量子スプレマシー

多くの量子ビットを自由自在に操り、任意の量子アルゴリズムを走らせることのできるような汎用量子計算機(ユニバーサル量子計算機)をつくるのはまだ難しく、すぐには実現しなさそうです。そこで、ユニバーサルでなくてもよいから、何か近い将来実現できる技術のみで、古典計算より高速な量子計算を実演しよう、という方向で研究がなされています。このように「弱い」量子計算が古典計算を上回ることを証明する研究は量子スプレマシーと呼ばれています。そのような弱い量子計算機の例として、例えば、one clean qubitモデルというものがあります。これは、一つの量子ビットのみが純粋状態で、それ以外は全て完全混合状態になっているものであり、もともとNMR量子計算のモデルとして提案されました。また、IQPモデルと呼ばれる、交換するゲートのみからなる弱い量子計算モデルと古典イジング分配関数の間に成り立つ面白い関係についても研究してきました。ユニバーサル量子計算機というのはある意味最も量子的な存在であるわけですが、それをどんどん弱めていったときに、どこまで行ったら古典計算になるのかを調べることは、量子と古典の境界はどこにあるのか、という長年にわたる理論物理学者たちの興味あるテーマに計算機科学の視点からアプローチする新しい研究ともいえます。



◆ クラウド量子計算と量子対話型証明系

量子計算機は高価で巨大なものですから、最初はクラウド的に運用されるだろうと考えられています。本研究室では、計算内容を秘密にしたままクラウド上で量子計算を行う方法(ブラインド量子計算)や、量子計算機を持たない利用者がクラウドの量子計算の正しさをチェックする方法(verification)等について研究しています。これは一見すると物理とは全く関係の無いテーマに見えます。ところが面白いことに、そのような方法の構築には、局所ハミルトニアンや量子誤り訂正符号といった、理論物理の概念やテクニックが大量にしかもとても賢いやり方で利用されているのです。逆に、このような研究は理論物理の深い理解にもつながります。例えば、量子対話型証明系と呼ばれるクラウド量子計算を抽象化した数理モデルは、量子の不思議な性質を解析するために、無駄なものをそぎ落として最適にチューンされた究極的なフィールドを提供してくれています。



研究内容に興味のある方はお気軽に
tomoyuki.morimae@yukawa.kyoto-u.ac.jp
までどうぞ。

量子計算理論の参考書:

- Nielsen and Chuang, Quantum Computation and Quantum Information
- Vidick and Watrous, Quantum proofs
- 観測に基づく量子計算 小柴、藤井、森前
- 量子計算理論 森前

