

# 船井情報科学振興財団

## 2021 年秋季 留学報告書

2021 年 12 月 20 日

2019 年度奨学生 黒岩広大

2019 年 9 月より、University of Waterloo の量子計算研究所に所属しております黒岩広大です。今年の 8 月まではコロナウイルスの影響で日本に一時帰国しており、リモートでの研究生活を送っていましたが、ようやくカナダに戻る事が叶いました。この半年は、7 月半ばには日本からオンラインでの修士論文の審査を終えて 9 月から同大学の数学専攻の博士課程に進学し、また私生活でも結婚という大きな変化を迎えました。研究・プライベートともに大きなイベントが多かった 2021 年下半期ですが、本報告書で皆様に報告できたらと思っております。

### Ph. D コースへの進学

さて、前回の報告書を執筆した 2021 年 6 月には、修士論文の発表・審査を控えており、その準備に追われておりました。修士論文審査までは指導教官の先生のアドバイスをいただきながら、論文とプレゼンテーションを繰り返し修正し続ける生活を送っていました。修論審査に際しては審査委員の指名やスケジュールの調整などしなければならないことも多く、そうした事務的な部分が思っていた以上に大変でストレスがたまることも多かったです。なかなか落ち着いて他に興味がある研究プロジェクトのことを考えることができない期間になってしまったのでストレスフルではあったのですが、先生方や大学に審査を申し出てスケジュールの調整を行うというのは非常に良い経験・練習になったのかなと思います。なかなかスケジューリングや連絡などがスムーズにいかないときに自分のメンタルをうまくコントロールする大切さも実感し、以前よりも（良くも悪くも）図太くなったのかなと思っています。笑

審査自体は発表も質疑応答もスムーズに進み、先生方とは今後の展望に関する議論もでき、お褒めの言葉をいただけて非常にいいものになったのかなと思います。一カ所数式の誤植があったのを指摘されたときは背筋が冷えましたが、単なる誤植ですぐに修正が効く箇所だったので何とか耐えました。何回もチェックしたつもりではありましたが、やはり

見直すときに「ここは大丈夫だろう」という油断があつてはならないと改めて痛感しました。現在このプロジェクトについては指導教官と論文の形にまとめており、ジャーナルへの投稿を目指して現在鋭意執筆・修正中です。

前回の報告書でもお書きしました通り、9月からはウォータールー大学の数学専攻量子情報コースの博士課程 [Faculty of Mathematics, Department of Combinatorics and Optimization (Quantum Information)] に進学いたしました。指導教官は変わらず Debbie Leung 先生で、先生のご指導の下研究に取り組んでいます。また、博士課程出願と同時に応募をしていた Perimeter Institute for Theoretical Physics という研究機関にも Ph.D. 学生として採択していただきました。理論物理の有名・優秀な研究者が多く集まる本研究機関で研究できることを非常に嬉しく思っております。この機会を自身の研究生活に最大限活かせるよう、積極的に行動していけたらなと思っております。

## 研究について

修士論文執筆後、研究については次の3つのプロジェクトを進めていました:

1. 量子計算における Barren Plateau の理論解析
2. 量子コンピューターを用いた分子シミュレーションの新手法提案 (QunaSys Inc. との共同研究)
3. 量子情報処理における「不可逆性」の定量化

一つ目の研究は現状の量子コンピューターの応用に関する理論です。量子計算において、現状実現しうる量子コンピューターはまだ規模が小さくエラー訂正ができない、ある意味で不完全なものです。ただ、この不完全な量子コンピューターを何とか利用して、効率のいい計算をしようと「Variational Quantum Algorithms」と呼ばれるアルゴリズムが提案されてきました。これはパラメータで特徴づけられる量子状態を用意してそのパラメータに対する最適化をすることで所望の結果を得るというアイデアなのですが、先行研究で、Barren Plateau (最適化が進まなくなってしまう状態) と呼ばれる現象が現れてしまうケースがあることがわかっています。現在私たちは先行研究よりも緩い条件でもこの Barren Plateau が現れてしまうのではないかと、エラー訂正ができないことによるノイズはどれくらいこの現象を助長/軽減するのか、というテーマで研究を行っております。この研究は他大学の Ph.D. 学生、ポスドク研究員の方との共同研究になっており、アイデアを議論しどんどん研究の輪が広がっていく楽しさを感じています。

二つ目の研究については前回の報告書でも述べましたが、分子動力学法というシミュレーションを、量子コンピューターで（従来の手法より）効率的に行う方法を研究していました。半年前に考えていた手法をさらに改善し理論的な補強を加え、従来の方法よりも計算コストを大幅に削減することに成功し、先日学会で発表を行いました。現在論文投稿を目指して内容を論文にまとめています。

三つ目のテーマはより量子情報の基礎論に近い内容で、「量子情報における量子状態の変換とは何なのか」という根本的な問題にアタックするテーマになっています。量子情報処理では「エンタングルメント」などの量子特有の性質をリソースとして用いることが多々あるのですが、こうしたリソースの変換は一般に不可逆であることが知られています。つまり、熱力学で永久機関が作れないと同様、量子情報処理においてもリソースを変換するときには一般にある種のロスがあるのです。これは広く知られた事実ですが、「変換がどれくらい不可逆か」を示す尺度として未だに良いものは見つかっていません。この「不可逆性」の解析を行うというのが、現在私がこのプロジェクトで取り組んでいる内容です。非常にチャレンジングですがワクワクしながら取り組んでいます。本研究はオーストリアにいる共同研究者との研究ですが、先日この方がカナダに訪問に来てくださり、対面での議論も白熱しました。早く気兼ねなく対面での議論・セミナーができる生活に戻ってほしいものです。

また、研究とは少々異なるのですが、縁あって量子コンピューターの産業応用に興味がある企業の方とお話しする機会があり、量子技術のコンサルティングという形で事業のお手伝いをしております。量子技術が（場合によってはオーバーに）注目を浴びる現在、アカデミアにいる立場から誠実に、産業界にも少しでも貢献出来たらと考えています。また、日頃研究をする身としても、産業ではどういう事が期待されているのかを肌で感じるいい機会になると考えております。

今年も多くの方々に支えられながら、自分のやりたいプロジェクトに没頭することができました。忙しさで目が回ることもあります。今後も自分の興味の追及に全力で力を注いでいきたいと思っています。

## 私生活・カナダ帰国について

私事ではあるのですが、今回のカナダ帰国前の 2021 年 8 月に結婚をいたしました。妻はカナダ渡航前から付き合っていた方で、2 年前のカナダ初渡航時にはすでに将来的な結婚を考えていたのですが、Ph.D コースへの進学となる今回のカナダ帰国を機に結婚を決める形となりました。妻は来年 2 月ほどの移住を目指しており、今後は（ひとまず）夫婦でカナダ生活を送る予定です。妻の移住に際しては配偶者ビザの取得や妻の転職活動など大変なことも多いですが、何とか夫婦で頑張れています。今はカナダでの新婚生活が無事スタートできることを祈るばかりです。

そして 8 月上旬にカナダに戻ったのですが、カナダ帰国は案の定波乱が多いものになりました。私が到着した日が丁度カナダのコロナ規制が緩まる日で、各地から多くの飛行機が到着しており、空港中が騒然としていました。私の場合は到着時に飛行機内で 3 時間ほど待たされ、その後検疫で 1 時間ほどの列に並び、荷物を受け取ろうとした際には全到着便の荷物が完全に無分別に散乱しており、大混乱の中何とか空港を抜けました。その後は大学が確保しておいてくれたホテルで 14 日間の隔離生活となり、ビザ手続きやワクチンの手続きをしながらなんとか生活が落ち着いたという形になりました。

ワクチンを二回接種してからはコロナウイルスの規制にも特に悩まされることなく生活を送れ、研究所に戻れたり、友人と対面で会えたりなど、この一年ほどできていなかった「以前の生活」に近い生活を送れていたと思います。現在はオミクロン株の影響で再び研究所へ入るのに再び厳しい規制が加わってしまっており、状況がひどくならないことを祈るばかりです。

## おわりに

結婚や博士課程への進学、研究プロジェクトの拡大など、決断や転機が多かったこの半年で、過去一番大変だった半年になりましたが、なんとか 2021 年を走り抜けることができました。船井財団の皆様には本年も大変お世話になり、日頃より心から感謝しております。現在私が研究に没頭できているのも財団からの支援のお陰です。現在は財団の交流会などはすべてオンラインになっておりますが、いずれまた財団の皆様、奨学生の皆様と直接お話しできる機会を心待ちにしております。