

船井情報科学振興財団

2024 年春季 留学報告書

2024 年 6 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。早いもので私の学位留学生活も 5 年目が終わろうとしています。カナダの大学院は修士・博士併せて（おおよそ）6 年ということで、いよいよ博士課程の生活も大詰めに差し掛かり、この先の進路がいよいよ現実的になる時期となりました。

今回も、この期間に取り組んできた研究や、参加した学会とワークショップ、プライベートでの旅行の思い出などをつらつらと書くことで留学報告とさせていただこうと思います。

目次

研究・博士課程卒業要件など	2
研究年越し, January 2024	2
QIP Conference 2024, January 2024	3
Ottawa Workshop, May 2024	4
Montreal 旅行, May 2024.....	6
おわりに.....	6

研究・博士課程卒業要件など

この半年間は進めていたプロジェクトがたくさん形になり、それに応じて、ありがたいことにセミナー発表の機会も多くいただけた期間となりました。研究に関しては、

- 「凸性」という数学上の仮定を排除した量子リソースの解析の仕事の出版
- 「無限次元での量子エンタングルメントの操作」を解析した仕事の論文化
- 量子コンピューターにおける現実的なノイズを解析した論文の出版決定
- 量子通信におけるエラーと性能のトレードオフを明らかにした仕事の出版決定

など多くの仕事が形になりました。それ以外にも新しいプロジェクトでの進展もあり、嬉しいことに非常に忙しく充実した時期となりました。

私が所属する量子情報研究所の博士課程では、卒業までに「主に量子分野のオーディエンス」と「主に分野外のオーディエンス」をターゲットにしたセミナーをそれぞれ行うことが求められています。ありがたいことに私が所属する理論物理研究所、Perimeter Institute でのセミナーや、量子情報研究所でのセミナーなどで発表する機会を何回かいただけて、理想的な形で卒業要件の一つをパスすることができました。残す卒業要件は、博士論文審査と、その前の Thesis proposal になります。実はつい先日 Thesis proposal を 1 か月後、7月にセットアップしたため、そちらに向けても精一杯準備していこうと思っています。

研究年越し, January 2024

昨年 12 月、日本にいる共同研究者との議論の際にこんな話を持ち掛けられました。

「黒岩くん、Generalized Quantum Stein's Lemma って興味ある？」

Generalized Quantum Stein's Lemma というのは私が普段研究を行っている量子情報理論分野の大きな未解決問題の一つです。私が主に取り組んでいるテーマの一つは「量子リソース理論」という分野で、量子力学的性質を情報処理におけるリソースであると捉え、その有用性や理論限界を定量的に解析するという研究を行っています。Generalized Quantum Stein's Lemma は量子リソース理論において、「有用な量子状態」を「役に立たない量子状態」から見分ける際の理論限界を示す「予想」です。実は 2010 年に一度証明が発表されたのですが、2023 年にその証明が間違っていたことが指摘され、現在量子リソース理

論、あるいは、より広く量子情報理論において最も注目されている未解決問題と言っても過言ではないでしょう。

さて、そんな **Generalized Quantum Stein's Lemma** ですが、私も当然問題としては知っていて、論文なども読んできたのですが、真面目に研究対象として取り組んだことはありませんでした。ですが、ちょうどその前まで取り組んできていたプロジェクトをまとめた論文が無事出版できることも決まっていた時期だったため、年末年始の休暇の時期を使って、その共同研究者の方と短期集中的に取り組んでみることに決めました。

というわけで、今年の年末年始はほとんど **Generalized Quantum Stein's Lemma** のことを考えて過ごす休暇になりました。日本とカナダという時差の壁はあったのですが、リモートの議論も長時間行い、さながら合宿のような雰囲気でした。その甲斐あって(?)か、既存の証明手法に新しいテクニックを組み合わせることで、**Generalized Quantum Stein's Lemma** の予想が成り立つことを示せた.....と思っていたのですが、なんと最終的に私たちの新証明に使った(先行研究の)補題に誤りが見つかってしまい、良い **observation** と部分的な結果は残せたものの、本当にこの予想が成り立つかどうかは再び闇の中となってしまいました。

まだまだ自分の力不足を痛感する結果となってしまいました。分野の大きな未解決問題にチャレンジし、小さいながらも解決に向けて貢献ができたことは非常に有意義だったと思います。いつかこうした大きな問題を解くことを目指して研究を続けていこう、という長期的な良い目標が自分の中に生まれました。

QIP Conference 2024, January 2024

毎年1月あるいは2月に、**Quantum Information Processing (QIP) Conference** という量子情報分野で最も大きい学会があります。今年は台北で開催され、私も(自分が発表者ではありませんでしたが)自分の仕事がいくつか採用されたため、はるばる参加してきました。

量子情報分野が近年ますます盛り上がっていることもあって、QIP も毎年規模が拡大しているのですが、今年も多くの参加者で賑わっていました。普段リモートで議論をしている共同研究者と実際に顔を合わせたり、久々に会う友人と近況を報告したり、また新しく知り合った人と議論で盛り上がり、など、今回も非常に得るものが多い学会になりました。



台湾の夜景。綺麗でした。

また、今回この学会に参加したのはポスドクの職探しの情報を得るためという目論見もありました。幸い興味を持ってくれた先生方とお話する機会をいただけて、非常に有意義な時間を過ごすことができました。自分のこの先の研究者としてのキャリアをどこで積んでいくのかと考えるとわくわくしますが、まずは目の前のことに集中して、無事卒業できるよう頑張らなければと気が引き締まりました。

Ottawa Workshop, May 2024

今年の4月上旬、私の大学のメールボックスに一通の怪しいメールが届きました。

「あなたの指導教官から推薦があったため、私たちのワークショップに招待します！」

怪しい。あまりに怪しすぎる。そう思った私はとりあえずネットでそのワークショップを検索してみることにしました。しかしそれらしいものはヒットせず。一応、指導教官に確認するも忙しいのか返信が返ってこず。これは SPAM だろうと思い放置することに決めました。

その数週間後、同じメールアドレスから、今度は私の指導教官に CC (!)が入ったりマインドのメールが届きます。これはさすがにと思いもう一度指導教官に確認したところ、

「ごめん！ 忙しくて手が回ってなかったんだけど、君をワークショップに推薦しといたんだった！」

なる返信が返ってきました。

かくして、急遽カナダの首都 **Ottawa** で開催される、量子情報理論のワークショップに参加し、トークをすることが決定しました。何でも今年初となる試みになるワークショップで、参加も完全招待制だったのもあってホームページなども公開していなかったらしく、検索しても何も引っかからなかったのはそれが原因だったようです。



ともかく、私自身初となる、**official** に **invite** されての学会発表ということで非常に気合が入りました。研究成果として

学会会場からの眺め。カナダらしくのどかです。

は、「無限次元における量子エンタングルメントの操作限界の特徴づけ」についての発表を行いました。この論文は一年以上かけて、北米東海岸、北米西海岸、ヨーロッパ、日本、と世界各国の共著者と仕上げた研究だったので、こうして形になり、成果を発表することができて苦勞が報われたような思いでした。当日も多くの人からポジティブなコメントをいただけて、議論も盛り上がり、非常に楽しい時間となりました。

最終日には **Ottawa** 市内を観光する時間もあつたのですが、ずっと行ってみたいと思っていたカナダ国立美術館を、カナダ生活 5 年目（パンデミックがあつたので実質 4 年目？）にしてついに訪問することができました。ヨーロッパの有名画家から、カナダの油絵画家、カナダの **Indigenous arts** など、様々な分野の作品が展示してあり、あつという間に時間が過ぎ去っていきました。到底数時間では楽しみ切れなかつたので、ぜひプライベートでまた訪問したいなあとも名残惜しい気持ちで **Ottawa** の街を後にしました。



カナダ国立美術館

Montreal 旅行, May 2024

5月、Ottawa の学会から帰ってきてすぐの週末に、妻と Montreal に旅行に行ってきました。実はこの旅行は昨年も企画していたのですが、そのときは急遽決まった私の学会の予定と被ってしまい、今回、一年越しでついに実現しました。Montreal はずっと旅行で行って見たかった街だったので非常に楽しみでした。

Montreal は非常に文化的な街で、Old Montreal と呼ばれるエリアを散歩していると多くの小さな雑貨屋やギャラリーが立ち並び、店主さんたちとコミュニケーションをとりながら買い物を楽しめて非常にいい時間を過ごせました。また、Montreal という街の名前の由来となった Mount Royal という山のハイキングにも行ったのですが、その日が天気が良かったこともあり山の上からの眺めが非常に晴れやかだったことが心に残っています。



Mount Royal から見る Montreal

夫婦で今後の進路などについて話す機会も多く設けられ、非常に良い旅行になりました。

おわりに

前回の報告書で私は「来年はいよいよ卒業・就職を考える年になる」と書いておりました。この半年はそれを実感した時間となり、自分がこれまでの大学院生活でやってきたこと（あるいはやってこなかったこと）と向き合いながら、自分は次どこで誰とどんな研究がしたいのかを一人で静かに考え、そしてそれを行動に移し始める期間になりました。自分の選択に後悔だけはしないよう悩みぬきたいと思っています。

最後になりますが、留学を始めてから変わらず支援を続けて下さる船井情報科学振興財団には深く感謝しております。この夏の交流会は前々から予定していた学会と重なってしまい皆様とお会いすることが叶いませんが、来年の夏の交流会では Ph.D を取得した姿を皆様にお見せできるように残りの留学生生活を駆け抜けて参ります。