

# 船井情報科学振興財団

## 2021 年春季 留学報告書

2021 年 6 月 30 日

2019 年度奨学生 黒岩広大

2019 年 9 月より、University of Waterloo の物理学専攻量子情報コースに所属しております黒岩広大です。昨年コロナウイルスの影響で日本に緊急一時帰国し、未だリモートでの研究生活となっています。7 月半ばにオンラインでの修士論文の審査を控え、この 8 月によりやくカナダの研究所に戻る目途が立ちました。また、9 月から同大学の数学専攻の博士課程に進むことが決定いたしました。今回の報告書では今後の進路について、また現在の研究について書いていきたいと思っております。

### 今後の進路について

さて、本報告書を執筆している 2021 年 6 月 30 日現在、私は修士論文の発表・審査を 2 週間後に控えており、現在鋭意準備中です。修士論文の内容については「研究について」の章で後述します。また、修論審査までの準備については、審査が無事終わった後、次回の報告書でご報告もかねて詳しくお書きしたいと考えております。

無事修論審査が終わった際には、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)] に進むことが決定いたしました。自身の研究の内容や今後の興味の方向性などを考慮し、博士課程進学に際して物理学専攻から数学専攻に転籍することとしました。所属する専攻に変化はありますが、これまでと同様に、Debbie Leung 先生のご指導の下、日々懸命に研究に取り組んでいきたいと考えています。博士課程に進んでも研究に対しての基本姿勢が変わるわけではなく、これからより一層気を引き締めて研究を進めていく所存です。また、進学に際して同時に、修士入学の時から目指していた、ウォータールー大学近くにある Perimeter Institute for Theoretical Physics という研究機関に Ph.D. 学生として採

択していただきました。今後より一層充実した環境で研究が続けられることを嬉しく思います。

進路については、物理学専攻から数学専攻への転籍、他の大学との比較など悩むことが非常に多かったのですが、最終的には上記のような形で決定しまして、これから頑張っていこうと思っております。この場をお借りして、ご相談に乗ってくださった方、アドバイスをくださった方に御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

## 研究について

前回の報告文でもお書きした通り、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. 量子通信におけるデータのエラーと通信レートのトレードオフに関する研究。
2. 量子リソースについての研究。
3. QunaSys Inc.での量子アルゴリズムの研究。

一つ目の量子通信のトレードオフの研究については、得られた結果を修士論文にまとめ、修論審査後にそれらの結果を論文として再編成して発表するつもりです。具体的には、

- あるセットアップの量子通信の通信レートがエラーに対して不安定であることを指摘し、その不安定さを利用して、ごく小さなエラーを意図的に混入させることで従来よりも効率よく情報を送るプロトコルを提案し、
- 通信レートの不安定さの原因となっていた量子状態の構造を、量子通信路の観点から考察し、「量子通信路によって近似的に量子状態が保持される際に現れる構造」を理論的に構築した

という内容になっています。修論には書ききれなかった内容や、修論で得た知見からさらに発展させて量子情報処理に活かせるようなアイデアがあるので、そちらについても今後の研究でまとめていきたいと考えています。

二つ目の量子リソースの研究については、以前 Quantum より発行された私のリソースの論文で解析していない内容について、さらなる理論的なアプローチした論文を今年の3月に arXiv に投稿しました。現在 Physical Review A の Letter として査読を受けています。

本論文によって、「リソースの良い定量化とは何か」という問いについての新たな知見を、広く物理学的重要性のある一方、一般的な解析が難しかったリソースについて示せたと考えています。現在は無事に発行できることを祈るばかりです。

三つ目の量子アルゴリズムの研究について、これは日本帰国中に行っている QunaSys という量子ソフトウェアスタートアップでのインターン中の研究になります。前回の報告書で言及した、「近い将来実現されうる（不完全な）量子コンピューターで、分子の運動などをシミュレーションする際に使われるテクニックを理論的に厳密に分析した」論文は無事 Physical Review Research で発行することができました。また、他企業との共同研究の輪も広がり、現在は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。理論的にもシミュレーションでも良い結果が得られたため、本年の 12 月に学会で発表、また近いうちに論文として発表する予定です。

コロナウイルスでリモートでの研究を続けており、複数のプロジェクトに取り組んでいたため予定やメンタルの管理に苦心しましたが、周囲の方の支えのお陰で、有意義な研究活動が送れていたように感じます。カナダに戻り、研究所に戻った後も弛まず研究に邁進していきたいと思っています。

## 授業について

もうすでに必要な授業の履修は終わっておりますが、冬学期には“Convex Optimization”という、研究に深く関わる数学の授業を履修していました。

### Convex Optimization

私の研究において非常に重要な道具となる、「凸最適化」について取り扱った授業です。もともとは博士課程で数学専攻に進むか、そのまま物理学専攻に進むかを考えていた際、自分が本当に数学専攻に向いているのかを授業で試してみる意味合いもあって受講しました。実際授業を受けてみると今まで自分が用いていた数学的な道具の背景が理論的に整理されて、非常に学ぶところが多くある授業でした。最終的な成績も良く、数学的議論を丁

寧に飲み込みながら修了できたため、今後の進路の指針としても、また研究対象への理解を深める意味でも大変受講して良かった授業でした。実質この授業が、私が修士課程で受けた最後の授業になりそうです。

## 生活・カナダ帰国準備について

コロナウイルスの感染拡大状況や研究所の再オープンの動向を踏まえ、帰国の時期を考えていたら、いつの間にか日本帰国から 1 年が経ってしまっていました……。幸いにして日本からリモートで研究ができてはいましたが、ここでようやくカナダに戻る目途がしつかりと立ったことを嬉しく思っています。具体的にしなければいけないのは

- 航空券の手配
- 入国に際しての PCR 検査の陰性証明書の準備
- カナダ到着時の self-quarantine の準備
- 大学への各種連絡

で、お金がかかったりスケジュールがなかなか決まらなかったりと、準備で大変なことは多くありますが、今は研究所に戻れることを心待ちにしながら準備を進めています。

ワクチンについてはカナダ入国後に受けるつもりです。政府指定のワクチンを受けてしまえば、この夏以降はカナダへの出入りが（ある程度）自由になるようなので、学会参加や国際交流なども徐々にコロナ禍以前のものに戻っていけばよいと考えています。

ひとまずは、残り少ない日本での生活を（修論準備に追われながら）謳歌して、向こうでの生活に備えていきたいと考えています。

## おわりに

コロナウイルスの影響を受け、帰国や研究に不安を抱えながらの半年間でしたが、進路についても研究についても生活についても、なんとか自分なりに頑張ってやって来れたと思っています。船井財団の皆様には、このような状況で支援をしてくださることへの感謝の気持ちでいっぱいです。またいずれ財団の皆様、そして奨学生の皆様とお会いできる機会を楽しみに、これからも研究に精一杯精進してまいります。