



船井情報科学振興財団 第三回報告書 (2023年6月)

大西 由吾 | Yugo Onishi



Massachusetts Institute of Technology, Physics PhD

Massachusetts Institute of Technology (MIT)の Physics Ph.D. Program に在籍中の大西由吾です。昨年秋から留学を始めましたが、早いものでもう春学期の授業も終了し、PhD 一年目も終わりに差し掛かっています。

ボストンは三月ごろまで東京基準で冬の寒さでしたが、4月ごろから暖かくなったので研究が煮詰まったときや気分を変えたいときにはキャンパスの周りを散歩したり外でのんびり考えたりしています。理論系のいいところはオフィスの外でも研究ができる場所ですね。上の写真はMITのキャンパスにあるKillian Courtでぼんやりしていた時に撮った写真です。

もう三回目になるこの報告書をどんなスタイルで書こうか、いまだに決めかねています。今回は前回の報告書(2022年12月)以降あったことや考えたことを雑多に書いていこうと思います。

- 冬休み

MIT は 12 月 20 日頃まで授業や期末試験があり、その後は 2 月ごろまで冬休みだった。留学生活最初の三か月は刺激的だったが、相変わらず英語は下手なのでいろいろと疲れもあったし、何よりボストンは寒かったので、実家に帰ってゆっくりしたいと思った。幸い 12 月初めに MIT での初めての仕事をまとめてプレプリントを出せていたので、東大の方々とその論文に関連した議論もできればと思った。ありがたいことに、修士課程でお世話になっていた永長研を訪問しその論文に関するセミナー・議論をするという形で、航空券代も負担していただけることになった。ありがとうございました。航空券が安くなる時期を狙って航空券を買ったら、なんだかんだ一か月も実家に居座ることになってしまった。その間、東大の古巣の研究室の方々と日本の友人らと三か月ぶりに（日本語で）話すことができてとてもおびのびできた。が、おびのびしすぎてその間 MIT での研究の方は全然進んでいなかったの、次から日本に帰るときはその間研究は進まないものと思って予定を組もうと思った。

- 大学院留学説明会@東大

米国大学院学生会の主催する大学院留学説明会の東大会場の会場責任者になった。前回 2022 年夏の回の東大会場責任者は FOS 同期の伊藤さんで、その伊藤さんからやってみないかと言われたのだった。登壇者探しにはとても苦労して、最後は伊藤さんに泣きついてどうにかしてもらったが、説明会そのものはうまくいったように思う。説明会後の懇親会で僕の出身の東大理工の学生さんが大学院留学を考えていると話しに来てくれて、説明会をやった甲斐があったと思えた。

- UC Berkeley での研究会

東京からボストンに戻る飛行機は、サンフランシスコ経由の便をとっていた。ちょうど東京からサンフランシスコに着く日に、UC Berkeley で研究会があるから参加して 12 月初めに出したプレプリントに関してポスター発表しろと指導教官の Liang Fu 教授に言われ、日本でポスターを作って持って行った。（ポスター印刷の際には東大博士課程でもお世話になった森本研の方々に助けていただいた。ありがとうございました。）

以前にも書いたが、UC Berkeley は大学院出願の際 MIT の他に僕が合格した二校のうちの一つである。研究会では、もし Berkeley に行ったら師事したいと思っていた Joel Moore 教授にも会うことができた。出願から丸一年たっていたが、僕のことを覚えていてくれたらしくかなり嬉しかった。Moore 教授には Fu 教授に紹介してもらったのだが、その後 Fu 教授に僕が Berkeley と MIT でどちらに行くか悩んでいたことを話したら、笑いながら MIT を選んだのは Good job だと言われた。

- 西海岸

西海岸にまともに行ったのは初めてだったので、Berkeley にいる FOS 同期の伊藤さんや、Stanford で同じく FOS 同期の藤田くんにもいろいろと案内してもらった。藤田くんにはさらに研究会後一泊家に泊めてもらった。ありがとうございました。研究会の間の宿には、Berkeley のキャンパスのすぐ近くにあった Airbnb が安かったので使ったが、後から聞くと非常に治安の悪いところだったらしい。どこまで本当か知らないが、人がどこそこでさらわれたとか誰かが銃で撃たれたとかいった話はそんなに珍しくもないらしい。西海岸怖い。



(上段左) UC Berkeley にあったノーベル賞受賞者専用の駐車場。(上段中央)APS March Meeting にいたアインシュタインと。(上段右) Caltech にて。(下段左) ロサンゼルス街の街並み。グリフィス天文台より。(下段右) ボストンの New England Aquarium にて。

- 春学期

1 月末にボストンに戻ってきたが、やっぱりボストンは寒かった。その後すぐに春学期が始まった。春学期は Condensed Matter Theory 専攻の学生は必修の Theory of Solids2 をとり、さらに Senthil 教授の講義 Strongly Correlated Systems in Condensed Matter Physics という講義を聴講した。どちらも面白かったが、特に後者の授業で出てきた Topological order の話が面白かった。Toric code やら fractional excitation やら、単語を聞いたことはあったがまともに勉強したことはなかったので、いい機会だった。

- APS March Meeting@ラスベガス

3 月には世界最大の物理学会である APS March Meeting がラスベガスであり、参加した。March Meeting に参加するのも、ラスベガスに行くのも初めてだったのでワクワクしながら行った。これだけ大きな学会への参加も初体験だったので面白かったが、なにより日本から来ていた友人や、メールだけでやり取りしていた海外の研究者とも話す機会があって充実していた。せっかくラスベガスに来たので、カジノでビビリながらちょっとだけブラックジャックで遊んだりもした。一瞬で僕の 100 ドルは消え去っていった。

- Gordon Research Conference (GRC)

5 月末から 6 月の始めにかけて、ロサンゼルス近くで GRC という会議があったので参加した。GRC は APS March Meeting とは全く違い、大学院生や若手のポスドクが集まって皆で同じトークを聞く。ホテルの中に講演の会場もあるので、食事等も含めかなり長い時間を他の参加者と一緒に過ごすことになり、いろんな人と仲良くなれる。正直なところ、APS よりもはるかに GRC の方が知り合いも増えたと楽しむことができた。

GRC ではいろんな人にあったが、自分のボスが有名だといろんな人に覚えてもらいやすい気がする。顔を覚えてもらえるのはありがたい一方、逆に認識のされ方が「有名な人の学生」というだけだとそれはそれでどうなんだという気もする。

- ロサンゼルス観光

GRC でせっかくロサンゼルスに来たので、あちこち観光して回った。FOS 同期で Caltech にいる柳くんにも Caltech を案内してもらった。The Broad という美術館では草間彌生やグラフィティアートで有名なバスキア、コーラ瓶のアートで有名なアンディ・ウォーホルなどの作品を見られて面白かった。The Broad はなぜか無料なのでおすすめです。

- 二本目のプレプリント

GRC の期間中に MIT に来てから二本目の [プレプリント](#) を出すことができた。出す直前までかなりバタバタしていたが、面白い論文に仕上がったと思う。その内容をごく簡単に。

本論文で考えているのは結晶中の電子の振る舞いである。結晶中の電子はエネルギー分散と波動関数という二つの情報で特徴づけられる。エネルギー分散というのは電子がどんなエネルギーをとりうるかを表していて、波動関数というのは電子が実際にどんな状態をとるかという情報を持っている。最も簡単な結晶中の電子の理論は、エネルギー分散だけを用いて構成される。しかし、ここ 20-30 年の研究の進展で、波動関数の情報、特に quantum geometry や band topology と呼ばれる種類の情報が物性に非常に重要であることがわかっている。物性物理における近年の最もホットな分野の一つは、この quantum geometry/topology がどのように物性に現れるか、というものである。

しかし、通常これらのエネルギー分散と波動関数は、ある種独立に考えられていた。Quantum geometry を考える際には、エネルギー分散のことはあまり気にせず、逆にエネルギー分散のことを考えるときには quantum geometry はあまり考慮されていなかった。しかし、どちらも同じ電子に関する情報なのだから、この二つには何かしら関係があつてしかるべきだ。

今回出したプレプリントでは、quantum geometry がエネルギー分散にある種の制約を与えることを示した。具体的には、非自明な quantum geometry や band topology が存在するとき、エネルギーギャップに上限が存在することを示した。この結果は、quantum geometry/topology がエネルギー分散に一定の制約を与えることをおそらく初めて露わに示した例で、非常に重要な結果だと思う。

もう一つ面白いのは、この導出が、純粋に数学的な考察というよりは、物質の応答を考えることによって得られることである。いくつかのごく簡単な応答に関する計算を組み合わせるだけで、quantum geometry とエネルギー分散の間に非自明な関係を示すことができるというのは、それだけでも十分興味深いと思う。

- The Double Helix

Fu 教授に「うちのグループのメンバーは全員これを読まなきゃだめだ！」と力説されたので [The Double Helix](#) という本を読んだ。DNA の二重らせん構造の発見で有名な Watson 自身が、二重らせん構造の提案に至るまでの顛末を記した自伝のような本である。ノンフィクションでありながら、様々な試行錯誤を経て DNA の構造に近づいていく様はある種のミステリ的な要素もあって、研究者でなくても十分楽しめると思う。

よく知られている通り、DNA は二つのらせんからなり、それらはアデニン(A)・グアニン(G)あるいはシトシン(C)・チミン(T)と呼ばれる塩基のペアによって結び付けられている。生物が苦手な自分でも、中学だったか高校だったかの生物の授業で習った覚えがある。しかし、よく考えてみるとこの DNA の構造を同定するのはかなり難しそうだとわかる。結晶などの規則正しい構造であれば X 線散乱と呼ばれる方法で構造を求められるが、DNA はある意味“準”規則的である。らせんのように全体としては規則正しい構造を持っているものの、遺伝情報をコードする AGCT は非規則的に並んでいる。どのように非規則的な情報を(準)規則的な形で分子構造にまとめるか、というのは極めて非自明な問題である。多くの紆余曲折を経るものの、Watson らは最後にはシンプルで美しい二重らせん構造に行き着く。

Watson, Crick の二重らせん構造を提案した[論文](#)は、一ページしかないことで有名である。[ノーベル賞](#)の対象となった論文が、一ページでまとめられるシンプルなアイデアであったことは、いろいろと考えさせられるものがある。物理の理論をやっていると、様々な難しく数学的にも高度な理論を見かけるが、特に重要でその後多くの研究に影響を与えたような理論は、シンプルでわかりやすいものであることも多い。自身のアイデアを煮詰めきり、なるべくシンプルなエッセンスを抜き出す能力は、いい研究をするうえで最も重要かもしれないと思った。

以上、雑多にこの半年間あったことを振り返ってみました。思いつくままに書いていたら 4000 字以上書いてこんな量の文章を一体誰が読むのだろうとも思いますが、同時にこの半年間だけでもこれだけ充実した留学生活を送れているということでもあります。このような刺激的な留学生活を送れているのは、船井情報科学振興財団の支援のおかげです。ありがとうございます。

引き続き、研究に邁進しつつ、留学生活を楽しみたいと思います。