

船井情報科学振興財団 第六回報告書 (2024 年 12 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。PhD 三年目の秋学期が終了しました。

今学期は授業を一つ履修した他は、出張も前学期に比べて少なく落ち着いた学期になりました。今学期・来学期はリサーチアシスタントをもらったので、TA などの義務も特になく研究に集中できています。

- 今年の総移動距離

今年は飛行機にたくさん乗ったので、飛行機による総移動距離を計算してみた。距離は実際のフライト距離ではなく、各地点間の直線距離を計算し、足しあげた。結果は以下の通り:

- Boston-Seattle: 4,000.09 km (x2)
- Boston-Taiwan: 12,533.13 km
- Taiwan-Tokyo: 2,215.82 km (x2)
- Taiwan-Minnesota: 11,434.31 km
- Minnesota-Boston: 1,888.12 km
- Boston-Zurich: 6,015.41 km (x2)
- Zurich-Naples: 863.17 km (x2)
- Boston-Tokyo: 10,791.30 km (x2)
- Boston-Cairo: 8,717.05 km
- Cairo-Bilbao: 3,353.01 km
- Bilbao-Boston: 5,395.01 km
- Boston-London: 5,264.44 km (x2)
- Boston-Portugal: 5,131.83 km (x2)
- Boston-Tokyo: 10,791.30 km (年内予定)

以上を合計すると、122,676.05km(地球約 3.06 周分)となる。Boston-Tokyo/Taiwan の片道で地球を半周位しているのかと思ったが、意外にも 1/4 周くらいしかしていなかった。



図 1. 12月20日のMIT. 3年目にしてようやくボストンの積雪を体験。

- 授業 (Quantum Computation)

今学期は Quantum Computation という授業を履修した。量子力学の原理を活用して計算を行う計算機、いわゆる量子コンピュータ上でのアルゴリズムに関する入門的な授業である。私の専門(物性物理)外の授業だが、MITの物理学科ではPhDの取得要件に自身の専門外の科目(Breadth subject)を二科目履修する必要がある、Quantum Computation は私の二つ目の Breadth subject になる(一つ目は一年前に履修した Plasma Physics)。私は先学期に Qual も合格したので、この科目の単位が取れば、あとは PhD Thesis さえ書けば PhD を取得できることになる。

本授業を教えていたのは、Prof. Peter Shor である。彼は、量子コンピュータを用いて素因数分解を高速に行うアルゴリズム、いわゆる Shor のアルゴリズムを提案したことで非常に有名だ。Shor のアルゴリズムはおそらく量子アルゴリズムの中で最も有名かつ応用上重要なアルゴリズムで、現在量子コンピュータが実用上役に立つと信じられているのは、ほとんど Shor のアルゴリズムがあるからだと思う。素因数分解は応用上非常に重要で、特に暗号技術や電子署名といった技術は、巨大な数の素因数分解が通常のコンピュータでは事実上行えないことを利用して成り立っている。したがって、量子コンピュータが完成すれば、Shor のアルゴリズムを使ってこれらのセキュリティを簡単に突破できてしまうというわけである。本授業で扱うトピックの中にも Shor のアルゴリズムが含まれているので、アルゴリズムを考案した本人からアルゴリズムを教わることができる。

実は日本での学部生時代、一度Shorのアルゴリズムを授業で勉強したことがあるのだが、全然わからなかった記憶がある。何やら計算をして、どうやら素因数分解ができるらしい、ということの数式的に追いはしたのだが、結局どうして量子コンピュータを使うと素因数分解を効率よくできるのかは理解できずじまいだった。せっかく MIT に来たのだから、この際本人から教わってもう一度勉強してみようと思いついたのである。

講義は量子力学の基礎から始まり、量子テレポーテーションや量子フーリエ変換、位相推定アルゴリズムなどの基本的な量子アルゴリズム、および Shor のアルゴリズムや基本的な量子エラー訂正までカバーされている。Peter Shor の [講義ノート](#) はオンラインで公開されているので、興味がある方は見てほしい。特に Shor のアルゴリズムの解説は Lecture 21 にある。“How did I discover the factoring algorithm?” からアルゴリズムの解説が始まり、アルゴリズムのキーとなるアイデアが明快に説明されている。ようやく私もアルゴリズムのアイデアを理解することができてとても満足した。

- 研究

今学期は、6月ごろに投稿した論文 [“Topological bound on structure factor”](#) が PRL にアクセプト・出版された。また、12月初めにその続編となるプレプリント [“Geometric bound on structure factor”](#) を新しく arXiv に出した。この新しい論文では、Structure factor と呼ばれる物理量が電子の量子状態の幾何学的な性質に直接関係していることを利用して、非自明な不等式を導出したという内容である。興味のある方はぜひご覧ください。

気づくと、共著も含めて出版論文が13本になっていた。学部の卒業研究も含めると研究を始めて6年目

なので、一年あたり2本程度のペースということになる。共著も含んでいるので少しずるいが、我ながらそこそこ頑張っているのではないだろうか。なお、現在投稿中の論文がすべて出版されれば、私が筆頭著者の出版論文がちょうど10本になるので、何かしらお祝いをしようかな。

- 学会参加

今学期は前学期に比べると出張は少なかったが、それでも二つのワークショップに参加した。一つは New Hampshire で行われた [Northeast Quantum Forum 2024](#) で、指導教官の Liang Fu が Organizer の一人だったことと、ボストンから近いこともあり、私のグループの大半が参加した。

会場の University of New Hampshire へはボストンから車にして 1 時間程度で、同じグループ所属の同期学生の車に乗せてもらった。ワークショップは朝9時から始まるので、一日目の朝7時ごろにボストンを出て、8時過ぎに会場につく予定だったのだが、道を盛大に間違えて結局9時には少し遅刻してしまった。当日はとても天気が良く、気持ちのいいドライブではあった。



図 2. 10月10日, New Hampshire でのオーロラ

New Hampshire でのワークショップの最大のハイライトは、残念ながら研究ではなく、二日目の夜に起こったオーロラだった。この日 10月10日は非常に強い太陽嵐 (Solar storm) の影響で低緯度でもオーロラが見える日で、私は何も知らなかったのだがたまたま New Hampshire で見る事ができた。なお、写真だと鮮やかな赤色が見えているが、肉眼だとぼんやりとした赤いもやが見える程度であった。とはいえ、人生初のオーロラを見られてなかなか感動した。

もう一つの私が参加したワークショップは12月初めに Princeton University で行われた [“New Twists of Quantum Geometry”](#) で、電子の量子状態に表れる幾何学的な性質 (量子幾何) をテーマとする研究会である。このワークショップは、私が今までで参加した研究会の中で最も私の研究に直接関係しているワークショップで、論文上で見たことのあるいろんな人と話すことができとても楽しかった。逆に私自身の名前もいろんな人に知ってもらえていて、自分の論文がいろんな人に読んでもらえていることを実感できた。特に、他大の学生に自己紹介したとき「Onishi-Fu bound の Onishi か！」と言われたときは「自分の名前がついてる……！」と思って感動した。

- 雑感

最近 OpenAI の新しいモデル o3 が発表された。この新しいモデルは、プログラミングや数学・科学的な能力が非常に高く、例えば競技プログラミングと呼ばれる数理的な問題を解くためのプログラミング能力については、人間が参加するレーティングサイトでレート2700以上 (上位 0.1%以上) をたたき出したらしい。数学・科学的な知識についても、PhD-level Science Questions に 87.7% の正解率だっ

たとのことだ。この数字が実際どの程度のレベルを意味するのかは私には正直わからないが、少なくともコーディングに関しては確実に私よりレベルが高いし、物理の専門知識に関しても時間の問題なのかなという気がする。こうなると真剣に、いわゆるAIが存在する社会の中でどう仕事をしていくかを考えなくてはならないように思う。

これらの生成系AIに対する批判として、AIが出した回答が正しいかわからない、だからいわゆるプロフェッショナルな仕事には使えない、というものがある。確かに回答の正確性はアルゴリズム等によって保証されているわけではなく、ハルシネーションなどのリスクもある。しかし考えてみれば、AIが出した回答を何らかの別のシステムで正しいことをテストすれば、AI が仮にブラックボックスであったとしてもまったく問題ないはずである。実際のところ、人間がプログラムを書く場合にも本質的に人間という名のブラックボックスを使って本質的に同じことをしているように思う。もちろん人間が書いたコードは人間にとって理解しやすいものになるだろうが、結局そのコードの論理がすべて正しいという保証はどこにもない。実際人間が書くコードはバグを含みうるわけである。したがって、結局は様々なテストによってコードを検証し、実際に意図した挙動になっているか確認する他ないように思う。現状AIが書いたコードのほうが人間のコードより正しい確率が高いというだけであって、もしAIのコーディング能力が(ブラックボックスであるにせよ)今後も上がり続けるのなら、この関係はどこかで逆転する。というか、OpenAI の o3 のコーディング能力は、少なくとも一部の分野では、すでに大半の人間を超えているのだろう。

こうなると、AIが吐き出した回答を系統的・客観的にテストするシステムが重要になるように思う。このテストを人間がやることになるのか、そのテストのためのシステムが別に作られるのかわからないが、もしかするとこうしたテストシステムが最初に発達するのは、意外にも(?) 純粋数学の分野かもしれない。最近では現代の複雑化した数学の証明を効率よく検証できるようにするために、証明支援システムと呼ばれる、機械的に数学的な証明が正しいか検証できるシステムが開発されているらしい。最近ではこのシステムを使ったプロジェクトも進められていて、有名な数学者テレンス・タオによる[トーク](#)がYouTubeに上がっている。私は数学のことはなにもわからないが、とても分かりやすく面白かった。結局のところ、この雑感はこの動画をシェアしたくて書いただけなので、興味のある方はぜひ。

私の PhD 生活も2年半が過ぎ、折り返し地点に来ました。私は日本で修士課程を修了してから渡米したので、日本で博士課程に進んだ同期は次の三月で博士号を取得し、次のキャリアに進んでいきます。私自身もそろそろ博士号取得後の進路を真剣に考えつつ、今の最高の研究環境を楽しんでいきたいです。今後のことを考えるうえで、たくさんの先輩と話せる交流会の機会は大変ありがたいです。改めてサポートをいただいている船井財団に感謝申し上げます。