

船井報告書2025前半

妹尾歩

今年も、公私ともにいろいろなことがありました。

6月分の報告書を出せていなかったのも、今回は前半と後半、二つ分をまとめてアップロードしようと思います。構成はこんな感じです。

前半

- ・1～3月: 初めて自分主導で進めたプロジェクトの実験データ取得 @コロラド
- ・4～9月: 結婚、そして論文のデータ解析とサブミット @日本

後半

- ・4～9月: 日本の量子系スタートアップでのインターン @日本
- ・10～12月: 新しい実験の立ち上げに参加 @コロラド

それでは、まず前半から書いていきます。

プロジェクトについて

今回、初めて自分が主導して進めることができた実験プロジェクトは、結果的に本当に学びの多いものになりました。そしてちょうど最近、12月に Nature Physics へのアクセプトがほぼ確定しました。このプロジェクトで得た経験は、どこかに残しておくことが自分にとってとても大切だと思うので、ここにしっかり書いておこうと思います。

まず強く感じたのは、

「当初の目的が達成できなくても、何かを突き詰めることで、目的以上に広がりのある発見が得られる」

という、まさに科学の醍醐味でした。

このプロジェクトは、オーストリアの理論チームが新しく開発した、量子多体系に適用できる Quantum Optimal Control の手法を使って、GHZ状態という二つの量子状態が重ね合わさった状態の大きさを世界記録を狙おう、というところからスタートしました。昨年10月から、1～2週間に一度のペースでミーティングを重ねながら、少しずつ準備をしていきました。

ただ、現実はその簡単ではありませんでした。大きく二つの問題が立ちはだかりました。

1. 1つ目は、実験途中のさまざまな不完全性によって原子が失われ、その結果、測定の精度に1%あたり数%レベルの誤差が出てしまうことです。N個の原子を使う実験では、この誤差が $N \times \text{数}\%$ にまで増幅されるので、無視できません。
2. 2つ目は、GHZ状態を作る途中で、原子を捕まえているレーザーの位置が揺れてしまい、せっかくコンピュータで最適化したパルスが、あまり効果を発揮しないという問題でした。

当時の世界記録は、中国のグループによる60量子ビットのGHZ状態で、僕たちの分野での記録はハーバードの20個でした。でも、上の2つの理由から、最低限の目標である20個に到達することすら厳しい状況でした。

それでも、僕たち実験チームも、理論チームも諦めませんでした。最終的に、1つ目は実験側から、2つ目は理論側から、突破口が見えてきました。

1. まず1つ目について。僕たちの原子の性質を生かして qubit mapping を行い、原子ロスを見分けられる測定手法を開発・適用しました。これによって、ロスが起こらなかった実験データだけをポストセレクトできるようになり、実効的な測定のフィデリティを大きく向上させることができました。
2. 2つ目については、理論チームが原子位置の不確定性を最適化の中に組み込むことで、これまでとは質的にまったく異なるパルスを開発してくれました。

この二つの進展のおかげで、分野の最高記録タイとなる20個のGHZ状態までは到達することができました。

でも、本当に面白かったのはここからです。

GHZ状態の生成そのものは、最終的に論文の中では最後の1枚の図に収まる程度の扱いになり、むしろ1のために開発した技術が論文のメインピックへとシフトしていきました。具体的には、

1. loss detection によって、これまで見えなかった現象 (non-Hermitian physics) が観測できたこと
2. loss detection によって、分野記録タイとなる2量子ビットゲートを実現できたこと
3. qubit mapping によって、量子コンピューティング、量子シミュレーション、Quantum Metrology をつなぐ可能性を示せたこと

といった成果につながりました。

さらに、理論チーム側の発見も大きく広がっていきました。

彼らは、数値計算で見つけたパルスの形が、もっと単純な状況では何に対応するのかを解析的に理解しようと突き詰め、その結果、この手法が僕たちの系だけでなく、より一般的にさまざまな系で類似の状況が現れることまで示しました。そして、この内容は僕たちの実験論文とは別に、理論論文として出版する方向になりました。こちらはまだ査読中ですが、これもインパクトのある結果になったのではないかと思います。

こうして、当初の目的とは違う部分が主眼となった[実験論文](#)と、そこから派生した[理論論文](#)の二つが生まれたこのプロジェクトは、結果としてとても成功だったと感じています。初めてのファーストオーサー論文で、こんな経験ができたことは、これからの自分にとって本当に大きな財産になると思います。理論家含め全員の知識を総動員して問題を解決していくのは本当に楽しいです。

日本一時帰国

この実験のデータは3月までに取り終え、その後3月中旬から半年間、日本に帰ることにしました。論文の執筆とデータ解析は日本で進めました。日本に戻った理由は、主に次の4つです。

1. 僕のプロジェクトの後に、別のラボメイト主導のプロジェクトが予定されていたこと。
2. しばらく論文執筆がメインの仕事になるので、場所にあまり依存しなかったこと。
3. コロラドで出会った妻と結婚することになり、結婚後しばらく二人で日本に住む期間を持ちたかったこと。
4. 日本の量子系スタートアップでインターンをして、大学院とは違う経験をしてみたかったことです。

以上が、今年前半の振り返りです。

次回は、スタートアップでの経験と、アメリカに戻ってから関わっている新しいプロジェクトについて書いていこうと思います。