第２回海外留学報告（博士課程１年目を終えて）

髙橋拓豊
DPhil in Condensed Matter Physics, University of Oxford
Max Planck Graduate Center for Quantum Materials
２０２１年8月２５日

２０２０年１０月より、オックスフォード大学の博士課程（Condensed Matter Physics）と、マックスプランク研究所の大学院生プログラム（Quantum Materials）に在籍している高橋拓豊です。博士課程１年目の生活を以下に振り返ります。

1. 研究生活

私は物性物理学を専門としており、物質の磁石的性質を研究しています。私たちが日常的に使う磁石は、スピンと呼ばれる非常に小さい棒磁石が途方もない数集まってできています。これら小さい棒磁石をクローズアップして観察すると、熱や量子力学的効果によって向きが小さくゆらいでいるのが見えるはずなのですが、どれほどの速さでどのようにゆらいでいるかは詳しくわかっていません。小さい棒磁石たちの動的な性質を明らかにすることで、一部の物質が示す特殊な磁石的性質への理解を深めることが私の目標です。より専門的な言い方をすれば、フラストレート磁性相におけるスピンダイナミクスの研究になります。

私の所属研究室（http://davis-group-quantum-matter-research.ie/）は、独自にデザインした装置を用いた高水準の物質測定を強みとしています。しかし困ったことに、教授が２年前に米国からオックスフォードに移ってきて間もないため、測定特化の研究室にもかかわらずまだ測定装置がありません。私の博士課程の最初の仕事は、高水準の測定装置を作りあげることです。

新型コロナの影響による大幅な遅れもあり、研究生活・内容は事前の想定と少し違った形になりましたが、結果的には２年目からの本格的な測定開始に向けて良いスタートがきれました。

A. 新しい環境への適応

最初の３か月（１０月—１２月）は、環境への適応に多くのエネルギーを使いました。後述のコースワークやラボでの安全対策に関するトレーニングをこなしながら、物品購入システムの使い方や部品を海外から購入する際の税関手続きなども習得する必要がありました。特に時間がかかったのは、教授との英語での議論が高頻度で起こる環境に慣れることです。出願過程では面接の度に事前に関連単語を確認するなど練習していましたが、議論の度に練習していては研究が進まないので、要点を落とさぬよう最低限のシミュレーションだけして臨むように切り替えました。

研究プロジェクトについては、教授とポスドクが設計した走査型顕微鏡の構造の理解にまずは力を注ぎました。低温技術や低振動技術が複合したデリケートな装置のため、各々の部品の役割を理解して完璧に組み立てる必要があります。最も重要な測定プローブ部分は私がオリジナルで設計するため、それをいかに装置に組み込むかにも考えを巡らせました。

ロックダウン中でも物理学科の建物は閉鎖することなく、必要な作業があればオフィスやラボに常に行くことができました。しかし、週の半分はテレワークを余儀なくされたり、外注している装置の部品製作や輸送が大幅に遅れたりと、パンデミックの影響は大きかったです。

B. 具体的な研究１：走査型顕微鏡の組み立て

１月―３月には、走査型顕微鏡（写真１）の組み立てを進めました。1 台目の装置はポスドク達が既に途中まで組み立てており、2 台目の組み立てを私がプロジェクトリーダーとして指揮しました。作業の半分は私ともう１人の PhD 学生で行いましたが、残りの半分は安全規則などにより、建築、機械加工、木工、ヘリウム管理、など専門の技術職員の助けが必要でした。装置内部の仕組みに精通していない彼らが正確に仕事を行えるように指示を出すことは難しく、英語力の不足も相まって意思疎通に苦労しました。初めの頃は懸命に話しても相手にしてもらえていない感覚があり苦しかったのですが、やがて冗談を挟めるほどに互いに打ち解けてきて、追加の面倒な作業なども快く引き受けてもらえるようになって自信がつきました。自らも作業に参加しながら、相方の学生と１０人ほどの学科職員のスケジュールを管理するのは忙しかったですが、プロジェクトマネジメントの良い経験になりました。

写真１：組み立てた走査型顕微鏡

C. 具体的な研究２：3He 冷凍機の設計

諸々のトラブルにより走査型顕微鏡の建設は一時停止せざるをえず、プロセスが全体で半年ほど遅れることになりました。それに従い、簡易的ながら本格的な測定も行えるような 3He 冷凍機を自ら設計して作るように計画を変更しました。もとの走査型顕微鏡と比べると性能が落ちてしまう点は非常に残念なのですが、その道４０年のベテランである指導教員から細かくコメントをもらいながら装置を設計する貴重な経験が得られたと前向きに捉えています。3D モデリングのための CAD ソフトウェアの使い方に精通し、冷凍機内部での熱の流れをコントロールするための細かいトリックなど多くの学びを得ました。

設計には３月―６月の長い時間を要しました。大学附属の小工場に製作を外注し、今は設計した部品が届くのを待っています。不具合を地道に潰しつつ部品を組み上げていくのが次の作業です。２年目のうちに最初の測定を始められる段階に達せるよう、全力を尽くす所存です。

D. Transfer of Status（１年目の進度確認）

オックスフォードでは、博士課程１年目の生徒は Probationer Research Student（見習い研究生)と呼ばれており、1 年目の終わりまたは 2 年目の初めに行われる進度確認会 Transfer of Status を経て初めて DPhil Student（博士候補生）に認定されます。Transfer of Status と仰々しい名前がついていますが、１年目の成果と 2 年目以降の研究計画をまとめたレポート（5000 words）と 20 分間の審査会があるのみで、極端に手を抜かなければ全員が合格できる制度のようです。

私は可能な限り早く測定装置を完成させることに主眼をおいて研究を進めていたため、どの物質を測ってデータから何を主張することを目指すかという具体的な研究計画については、いくつか粗いアイディアがあったのみで詳細を長らく詰めていませんでした。3He 冷凍機の設計が終わって部品が届くまで時間が空いたため、６月に教授と詳しい議論を始め、８月中旬の締め切りまでに 2 ヶ月弱で計画を練り上げました。比較的不足していると感じていた文献調査の量をこの機会に集中的に補うことができ、また、研究計画の書き方も学ぶことができました。

E.　その他：コースワーク

　既存理論を丁寧に学ぶ講義が多い修士課程に対し、博士課程は実践的なスキルを補助する講義が主でした。１０月―１２月には対称性の基礎（合計２０時間程度）と半導体の基礎（１０時間）の講義をとりました。いずれも試験はなく簡単な宿題とレポートのみで、必須でありながら学部で扱わない場合がある知識を確認する意図で設定されていると感じました。加えて１月―３月に、現代的な実験手法を１つ１つ教授が紹介するセミナー（１０時間）と、各々の学生が興味のある論文について 20 分程度で発表する Journal Club を受講しました。今年の講義は全てオンラインで行われ、同期の学生と直接親交を深める機会が減ってしまったことは残念でした。

F.　その他：学部の研究成果のまとめ

　本業と並行して、学部のときにマックスプランク研究所で行った研究成果の論文もこつこつと進めていました。遠隔で共著者とコミュニケーションを取ることに苦労し、事前の想定よりもはるかに長い時間がかかってしまいましたが、ようやく形にすることができました。プレプリントを arXiv（https://arxiv.org/abs/2107.10046）にアップロードし、現在論文雑誌に投稿中です。

2.　研究以外の活動

　オックスフォードの大学院生は、学科とカレッジの２つの枠組みに同時に所属します。学科は研究関連の事柄を統括するのに対し、カレッジは主に生活全般のサポートを担当します。宿泊施設や食堂での安価な食事の提供、サークル活動やイベントの多くがカレッジ主体で行われます。

　１０月初めは比較的パンデミックが穏やかだったため、規模を縮小しつつも多くのイベントが通常通り行われました。大学全体の入学式はオンラインになってしまいましたが、カレッジのウェルカムセレモニーやウェルカムディナーは行われ、オックスフォード独自の式服である Sub Fusc（写真２）を着て参加しました。Sub Fusc は重要な行事やフォーマルディナーと呼ばれる食事会の際に着用義務があり、特別感を出す象徴的なアイテムになっています。ディナーの際に大学から公式でワインがふんだんに振る舞われたことは文化の違いを感じて印象的でした。

　オックスフォードならではの課外活動に参加したいと思い、カレッジのボートクラブに所属しました。ボートはオックスフォード大学の重要な文化の一つで、ケンブリッジ大学との対抗戦やカレッジ対抗戦は多くの生徒が観戦して盛り上がります。テムズ川でボートを漕ぐのはたいへん気持ちが良く、良い気分転換になっています（写真３）。

写真２：Sub fusc を纏っての入学式

写真３：テムズ川でのローイング

１１月から３月まで長期のロックダウンがあり、カレッジの食堂での会話、少人数での散歩、研究室のメンバーとの会話を除いた社会的活動は数えるほどしかありませんでした。特に年末には多くの人が帰省してしまい、街からほとんど人がいなくなりました。比較的寂しい時期ではありましたが、カレッジ内の固定メンバーと毎日のように顔を突き合わせた結果、仲間内の強い結びつきができて悪いことばかりではなかったです。また、複数人で話しているときの速いスピードの会話に切り込むのは未だに難しいのですが、1 対 1 だと会話のテンポを調整できるので、集まりが少人数に制限されていたこの時期は会話しやすかったというメリットもありました。

４月以降はロックダウンが少しずつ緩まり、ワクチンを打ったことで感染リスクも比較的小さくなったため、遊びに出かける機会が増えました。カレッジの友人たちと一緒にトレッキングに行ったり（写真４）、研究室のメンバーと仕事終わりにパブにいったり、コミュニケーションの幅が広がったことを嬉しく思っています。ボートクラブの練習には週末しか参加できていませんでしたが、三軍としてカレッジ対抗戦に出場させてもらうことができました。オックスフォードから車で４０分の距離に Silverstone Circuit があり、７月に行われた Formula 1 グランプリを観戦できたことも良い思い出になりました。

今年は英国内外への旅行がほとんどできなかった点が唯一悔やまれます。１人でも新型コロナに感染してしまうと、研究室のメンバー全員が１０日間隔離せねばならず研究が完全に止まってしまうため、大きな旅行は可能な限り控えていました。来年はケンブリッジやエディンバラなど有名な都市を観光し、帰省中の友人たちの家を巡りながらヨーロッパ旅行もできればと考えています。そして何より、日本に帰省して久々に家族や友人たちとの時間を過ごせたらと思います。

写真４：カレッジの友人達と Cotswolds にて（右から２番目が筆者）