

Nakatani ARIP プログラム 修了報告書

(所属) 東京科学大学 理学院 物理学系

(滞在先) ハーバード大学 Philip Kim 研究室

後藤 充希

この度、Nakatani ARIP プログラムを通して、2025 年 2 月から 4 月の間、私はハーバード大学 Philip Kim 研究室（アメリカ・マサチューセッツ州ケンブリッジ）に訪問し、研究させていただきました。二次元遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）二重層系を舞台としたボース・フェルミ混合系の物理、とりわけ励起子（ボソン）と電子（フェルミオン）の相互作用およびそのクロスオーバー現象の観測に取り組みました。

1. 現地での生活と研究室の様子

今回私の滞在先は、アメリカ東海岸マサチューセッツ州ケンブリッジです。ハーバード大学はボストン近郊に位置し、チャールズ川を挟んで MIT と向かい合うように立地しており、世界中から集まる研究者たちが日常的に交流する、非常に刺激的な環境でした。滞在中は研究室に近いエアビーを借り、徒歩で通勤しました。2 月から 3 月にかけては想像以上に寒く、ヒートテックを一枚しか持参しなかったことを到着早々後悔しました。

Philip Kim 研究室は凝縮系物理・ナノスケール物理を専門とし、二次元材料やファン・デル・ワールスヘテロ構造の研究において世界をリードしています。PI の Kim 先生は韓国をバックグラウンドに持ち、研究室にはアジア系のメンバーも多いですが、さまざまな国籍・バックグラウンドを持つ学生・ポスドクが在籍しています。研究室は複数のプロジェクトが並行して走っており、3~4 人単位のサブグループに分かれて活動しています。週に一度、PI と各サブグループで集まり、実験データの解釈を中心に議論するミーティングが開かれており、私も毎回参加しました。

研究室の文化として特に印象に残っているのが、物理学科図書館で毎日 15 時頃から約 1 時間開かれるコーヒーブレイクです。コーヒーやスナック、フルーツが並び、研究室の垣根を超えてさまざまな研究者が集まって雑談・議論をする場になっていました。日本の研究室文化との違いを肌で感じるとともに、ここでの何気ない会話がアイデアを生むこともあり、アメリカの研究文化の豊かさを実感しました。

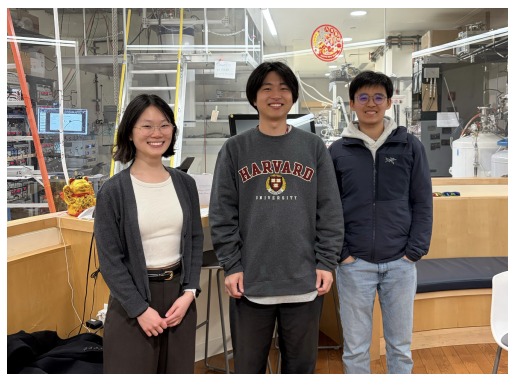


図 1 研究室メンバーと（Philip Kim 研究室にて）

2. 現地の研究

2.1 研究背景

近年、二次元遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）をはじめとするファン・デル・ワールス物質は、励起子絶縁体・トリオン液体・トポロジカル超伝導など多彩な量子相を示すプラットフォームと

して注目されています [1–4]。Philip Kim 研究室では、こうした二次元物質を用いた量子デバイスの作製と、その光学・電気的特性の精密測定を通じて、量子多体物理の探索を進めています。

2.2 研究概要・手法・結果

私が主に取り組んだのは、グラフェンおよび六方晶窒化ホウ素 (hBN) の薄層フレークをスコッチテープ法によって単離し、デバイスを作製する工程です。作製したデバイスに対してフォトルミネッセンス (PL) 測定を行い、エネルギーの空間分布と量子物性のマッピングを取得しました。さらに共振器の温度依存性・容量依存性の解析を行い、 $\tanh$ フィッティングによって密度と共振周波数の対応関係を導出しました。

滞在の大半はデバイス作製と測定の習得に費やされましたが、世界トップレベルの実験物理が「繰り返しの試行錯誤」によって支えられていることを直に体感できたことは、私にとって何よりの収穫でした。

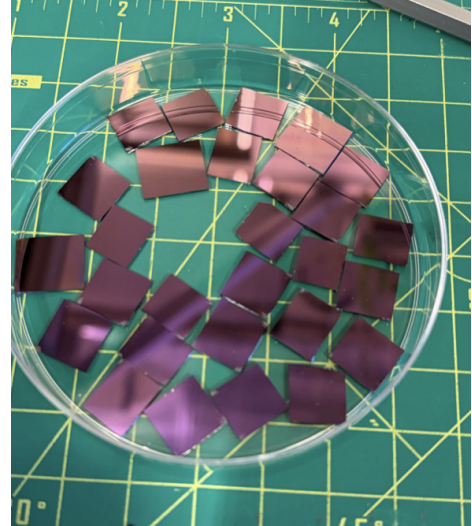


図2 切り出したシリコンウェハのチップ

2.3 研究の展望

私が参加したサブグループでは、磁場印加下や超低温域での測定によってトポロジカルな量子相の兆候を探ることが次のステップとして想定されていました。今回作製・解析したデバイスのデータは、その足がかりとなるものであり、励起子-トリオン混合系の物理の全体像を系統的に明らかにしていく上で重要な布石になるものと感じました。

3. 学んだことと今後の構想

Harvard の学生たちは、想像以上によく勉強していました。多くの学生が寮に住み、夜遅くまで勉強しています。私も寮の共用スペースで勉強するうちに自然と友人ができ、物理の話から将来の話まで、さまざまな会話を楽しみました。国際色が豊かで、「日本から来たんだ!」と言うだけで壁なく仲良くなれる環境は、改めてアメリカという国の開かれた雰囲気を感じさせるものでした。

研究の面では、Philip Kim 研究室の日常は想像以上に地味で泥臭いものでした。デバイスが思うように動かない、データの解釈が定まらない、そんな日々の繰り返しです。ある日、サブグループの PhD 学生にこう聞いてみました。「これ、かなり大変じゃない? 全然物理してる感覚くない?」返ってきた答えは明快でした。「うん。でも、こちとら 9 年やってるからね。」研究における忍耐力とは、IQ や GPA とは全く別の次元にある——それを言葉ではなく体感として理解した瞬間でした。

今回の滞在を通じて、分野への視野も大きく広がりました。もともとは基礎実験に漠然とした興味を持っていましたが、Philip Kim 研究室での経験を通じて、物性実験の面白さを強く実感しました。そして滞在中に会った PhD 学生 3 名、ポスドク 1 名、教授 2 名との対話を経て、自分なりの方向性が見えてきました。それは「物性実験を武器に、量子重力のテーブルトップ実験に挑む」という道です。理論先行で難解な量子重力の世界を、現実的な量子デバイス実験と繋げること。命綱を持ちながら、それでも危険な場所に飛び込む——それが今の自分には最も正直なキャリアの選択だと感じて

います。

滞在の最後には、帰国の途上で LA に立ち寄り、UCLA と Caltech を訪問しました。Caltech では Richard P. Feynman Lecture Hall を訪れ、物理学の歴史の重さを肌で感じました。また、素粒子物理学の世界的権威である大栗博司先生と偶然お会いするという予想外の出来事もあり、短い時間ながら貴重なお話を伺うことができました。Xing Fan 先生や John Doyle 先生など、異なる分野の第一線で活躍する研究者と直接対話できたことも、今回の滞在の大きな収穫です。

ちょうど帰国直前の 4 月 3 日、LA 滞在中に 21 歳の誕生日を迎えました。太平洋に面した海沿いで迎えた誕生日は、研究・生活・出会い、すべてが凝縮された 2 ヶ月間を振り返るのにふさわしい時間でした。

ARIP の fellow たちとの交流もまた、かけがえのないものでした。互いの研究や悩みを語り合う中で、自分だけが迷っているわけではないと気づき、同世代の仲間が存在が大きな支えになりました。この繋がりは、今後の研究者人生においても、きっと長く続くものだと感じています。



図 3 Caltech Richard P. Feynman Lecture Hall にて



図 4 LA 海沿いにて (21 歳の誕生日、4 月 3 日)

4. 謝辞

本研究にあたり多大なるご支援をいただいた Philip Kim 教授、ならびに研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。また、本インターンシップを支援してくださった中谷財団の皆様をはじめ、関係者の方々全員に深く感謝いたします。

5. 引用

1. Liguang Ma *et al.*, “Strongly Correlated Excitonic Insulator in Atomic Double Layers,” *Nature* **598**, 585–589 (2021).
2. Phuong X. Nguyen *et al.*, “Perfect Coulomb Drag in a Dipolar Excitonic Insulator,” *Science* **383**, adl1829 (2024).
3. Phuong X. Nguyen *et al.*, “An Equilibrium Trion Liquid in Atomic Double Layers,” *Science* (2025). DOI: 10.1126/science.adn5886
4. Jonas von Milczewski *et al.*, “Superconductivity Induced by Strong Electron-Exciton Coupling in Doped Atomically Thin Semiconductor Heterostructures,” *Phys. Rev. Lett.* **133**, 226903 (2024).