

## 船井情報科学振興財団 第3回報告書

2023 年度奨学生

ETH Zürich, Department of Physics

宇都 隆宏

ETH Zürich の宇都です。早いもので博士課程を開始してから一年が経ちました。現在は二週間ほど休暇をとり、日本での時間を楽しみながらこの報告書を執筆しています。本報告書では、ここ半年の出来事を振り返ります。

### 1 Aptitude colloquium

5 月末に Aptitude colloquium (アメリカでの Qualifying exam に相当) を受験し、無事合格することができました。物理学科での colloquium の形式は、A4 で 4 ページほどの研究計画書を主査である指導教官と second advisor、exam chair に提出し、その内容について二週間後に口頭発表をするという流れになります。研究計画書の執筆に関しては、分量が少ないこともあり、特に苦勞なく書き上げることができました。執筆に際して、指導教官から言われた「常に大きな scientific goal を持ちなさい」というアドバイスは、汎用顕微システムを構築するプロジェクトに従事していることもあり、技術的なことばかりに目が向きがちであった自分の視座を改める良い機会となりました。口頭発表については、同僚のフィードバックにより内容をブラッシュアップできたこともあり、つつがなく終わることができました。ただ、この準備期間や口頭発表の質問対応を通して、まだまだ自分の分野に対する理解が不足していることを強く実感しました。試験後は、研究におけるインプットの時間を増やし、より深い物理の理解を持って実験に取り組むべく取り組んでいます。またプレゼン技術においても、まだまだ未熟であることを痛感しました。指導教官からも「結果が出次第、積極的に学会に参加してもらおう」とのありがたい言葉をいただいているので、引き続きグループ内での発表機会などを通して、プレゼン技術の改善にも取り組んでいきます。

### 2 研究

修士 2 年時に現在所属する研究室でインターンとして取り組んだ研究成果が Physical Review Letter にて出版されました\*<sup>1</sup>。PRL は憧れの雑誌の一つであったので、非常に嬉しく光榮に思います。論文中では、これまでインコヒーレントな効果によって測定が難しいとされていた層状物質 TMD における Exciton-Exciton interaction を Pump-Probe 法を用いて正確に測定したこと、電子をドーピングした時に現れる Exciton-Polaron 間の相互作用が exciton 間のそれに比べて最大 35 倍大きくなることを実験的に解明しました。また同時に bi-exciton の束縛エネルギーを正確に測定したことも報告しました。実験系の立ち上げから担当したプロジェクトが、論文として出版され業界に評価されたという経験は自信につながりました。指導教官を含む共著者の方々、特に毎日議論に付き合ってくれた co-first author の Bertrand に感謝したいと思います。

またこちらの研究の続きとして、単層 TMD から moiré に拡張した研究内容についても、共著として投稿しました\*<sup>2</sup>。この成果については、測定自体は担っていませんが、セットアップ構築と理論面でプロジェクトに携わりました。実験結果再現するための理論構築に際して理論家の方と活発に議論を行いました。この過程を通して moiré への理解を深めることができました。こういった理論家との活発な交流も所属研究室の強みなので、実験と理論の双方

\*<sup>1</sup> Uto, T.<sup>†</sup>, Evrard, B.<sup>†</sup>, Watanabe, K., Taniguchi, T., Kroner, M. and İmamoğlu, A., 2024. Interaction-Induced ac Stark Shift of Exciton-Polaron Resonances. Physical Review Letters, 132(5), p.056901.

\*<sup>2</sup> Evrard, B., Ghita, A., Uto, T., Adlong, H., Ciorciaro, L., Watanabe, K., Taniguchi, T., Kroner, M. and İmamoğlu, A., 2024. Nonlinear spectroscopy of semiconductor moiré materials, arXiv:2402.16630

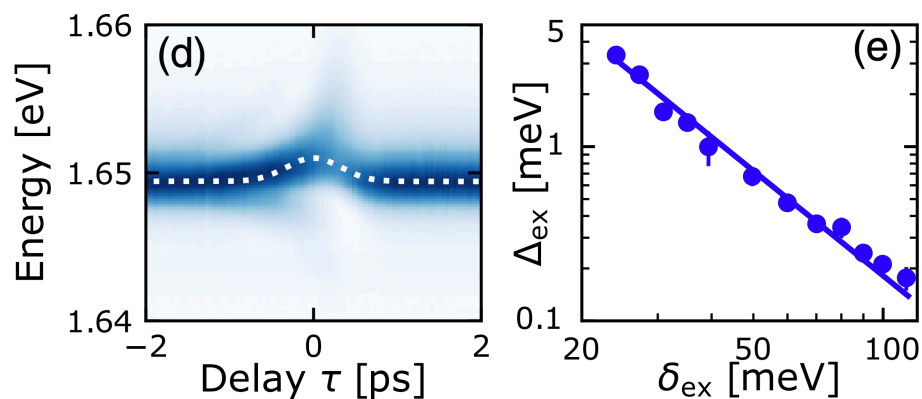


図1 (左) Pump 光によって Exciton の共鳴エネルギーがシフトする様子。この共鳴エネルギーのシフト量が、共鳴エネルギーと Pump 光のエネルギーの差である離調が小さい時には exciton-exciton 間相互作用に比例することを用いました。(右) 共鳴エネルギーのシフト量と離調の関係性。離調の逆二乗（相互作用に比例する項）を表す直線と傾きが一致していることがわかる。

においてレベルの高い物理学者を目指していきます。

博士課程から担当している新しいプロジェクトについても順調に進んでいます。開始当初は自分と指導教官だけのサブチームでしたが、新たにポスドク二人と博士学生二人が加わり、今や研究室内の一大勢力となっています。現在は技術的な課題に取り組む段階なので、新しい物理はありませんが、基幹技術の開発が進むなど着実にシステム完成に向けて歩みを進めることができます。また、このプロジェクトに関連してアイデアや進捗を共同研究先で発表したり、インフォーマルな会議(2月にドイツの Dresden に出張に行きました)で発表したりする機会をいただくことも増えてきました。先述したように、大きな scientific goal を見据えつつも、日々進捗を生んでいきたいと思ひます。

### 3 Teaching

先学期に引き続き、今学期も実験 TA を担当しました。ただ今学期担当した実験セットアップの不具合を解消するために毎週コツコツと取り組んでいましたが、(多少の改善は見られたものの) 想定通りの動きをするには至らず、いつの間にかセメスターが終わっていました。来学期は、指導教官の担当する大学院生向けの quantum optics の授業の TA を担当する予定です。補習や演習問題を解説する授業を行うことが主な業務で、指導教官いわく TA の経験が一番物理の理解につながるのとことなので、精力的に取り組みたいです。

また今学期は、semester project (日本での卒論に相当、期間は半年) の学生の指導も受け持ちました。優秀な学生だったので、最初の方の知識や技術の指導だけ行い、今は自立してプロジェクトに取り組んでくれています。今後研究室でも中堅ポジションに移行するにつれ、semester project や master thesis project を指導する機会も増えてくると思うので、どのようにモチベーションを維持してもらうかや、どの程度裁量を持たせるかの塩梅など、指導の仕方についても学んでいきたいと思ひます。

### 4 授業

今学期は、物理学科の授業と先学期に引き続きドイツ語の授業の二つを履修しました。前者については、指導教官の Atac と量子多体物理理論を専門とする Prof. Eugene Demler による "Selected topics in quantum many-body physics" という名前で、近年の多体物理のトピックについて、Feshbach resonance、polaron、moiré など幅広く扱われました。普段よく耳にするが実はしっかり勉強のしたことがないトピックについて、理解を深めることができました。ドイツ語についても、文法だけではなくリスニングや会話についてもバランスよく学習しました。今学期までで A1 レベルを終えたので、来学期は A2 に取り組むことになります。本業に支障をきたさない程度に、コツコツ取り組んでいきたいと思ひます。また、より実践的な部分の習得を目的に、language exchange を学期末に始めました。



図2 スイス南東部にある Davos のスキー場の写真。美しく荘厳な自然の中で行うスキーは格別です。



図3 大会中の写真です。研究室オリジナルTシャツを身にまとい、13.7km を走りきりました。

## 5 生活

日が長く快適な気候の夏とは対照的に、スイスを含めたヨーロッパの冬は曇りがちで日も短いです。そんな陰鬱な冬を楽しむために、新たな趣味としてスキーを始めました。スイスはアルプスに近いということもあり、スキー・スノーボードを嗜む方が非常に多いです。実際、Zürich から電車で最短1時間強のところにはスキー場があるなど、非常に馴染みがあるスポーツです。(スパルタな) 友達の助けもあり、この冬である程度滑ることができるようになりました。「郷にいれば郷に従え」ということで、夏はハイキングやBBQ、冬はスキーやチーズフォンデュといったように、引き続きスイスの美しい自然や文化を満喫していきたいと思います。

また、Zürich で開催される駅伝大会 SOLA (14人が合計で約120kmを走破する大会。1000チーム、約1万4千人が参加する大規模なイベント) に参加しました。ひょんなことから研究室チームのキャプテンを任されてしまい、メンバー集めやチームTシャツ作り、レース後のBBQの手配などをしました。自分自身も大会1ヶ月前に膝を痛めてしまうなどハプニングがありながらも、担当の区間を目標タイム通り走り切ることができました。来年もおそらくキャプテンを任されることになるので、今年よりも早いタイムで走りきれるようにコツコツ準備したいと思います。

ランニングに集中していたこともあり、筋トレのほう疎かになり身体が萎んでしまいました。こちらの方もコツコツ取り組んでいきます。

## 6 さいごに

今学期は、挑戦したいと思える多くのことを任せていただいた、チャンスももらった充実した半年でした。その一方でたくさんの仕事を並列で受け持ちすぎて、一つ一つの仕事の質が落ちてしまっていたように感じます。ルームメイトにも「TakaはNoということを知ったほうが良い」と度々言われますが、まさにその通りであるように思います。身近に、挑戦したい・やってみたいと思えることがたくさんあることは恵まれているとは思いますが、時間は限られているのでその中で優先順位をうまく付けること、さらに選んだ仕事については高い質を追求することを博士課程2年目の目標としたいと思います。引き続きのご支援をよろしくお願いいたします。