

MERIT 長期海外派遣報告書

東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 求研究室

MERIT コース 5 期生 博士課程 1 年

ミシエンコ ピョートル

概要

2017 年 6 月 5 日から 7 月 31 日にかけて、ドイツ・ケルン大学のサイモン・トレブスト教授が主宰する研究室に滞在し、三次元格子上的キタエフ模型における量子スピン液体と常磁性状態の間の有限温度相転移に関する共同研究を行った。また、一連の研究成果について、2017 年 7 月 17 日から 21 日にかけてチェコ・プラハで開催された国際学会 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2017 (SCES 2017) にてポスター発表を行った。サイモン・トレブスト教授とは、主指導教員の求教授が数年来の知り合いであることに加えて、私自身も 2017 年 2 月 20 日から 22 日にかけて東京大学物性研究所で開催された国際学会 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems 2017 (TPFC 2017) にてポスター発表した際に議論する機会をもち、私のこれまでの研究内容に興味を持って頂いたことが今回の長期海外派遣を通じた共同研究を行うきっかけとなった。

1. ドイツでの研究

サイモン・トレブスト教授の研究室では、磁性体に現れる奇妙な量子状態の一つである量子スピン液体に関する理論研究が行われている。量子スピン液体は、強い量子揺らぎのために絶対零度まで磁気秩序が抑制されて現れる新しい量子状態で、基礎物理学的

な興味だけでなく、近年では量子計算への応用といった観点からも興味を集めている。とりわけ最近では、厳密な量子スピン液体を基底状態において示すキタエフ模型に対する研究が盛んである。この模型は、スピン軌道相互作用の強い磁性絶縁体の良い記述を与える可能性があることから、実験と理論の両面からの研究が急速に進展しつつある稀有な模型である。サイモン・トレブスト教授の研究室では、キタエフ模型を様々な三次元格子上に拡張してそれらの基底状態を網羅的に調べることによって、種々の量子スピン液体の分類を行ってきた。それによってキタエフ模型の基底状態における普遍的な性質が明らかになり、新規量子スピン液体に関する新たな知見も数多く得られている。

一方で、私が所属する求研究室では、キタエフ模型の有限温度の性質を大規模数値計算によって研究している。その中で、私は修士課程において、三次元格子上のキタエフ模型が示す有限温度の性質に関する研究を行ってきた。ハイパーハニカム格子における先行研究で見出された量子スピン液体と常磁性状態の間に生じる新規な有限温度相転移に着目し、その普遍性を調べる目的で、他の三次元格子上のキタエフ模型の研究を行っている。先行研究を遥かに超える大規模な数値計算を行うために、計算手法の改良を行い、世界最大規模の数値計算を可能にした。この新しい手法をハイパーオクタゴン格子と呼ばれる三次元格子上のキタエフ模型に適用することで、ハイパーハニカム格子の場合と同様の相転移が生じること、またその転移温度が基底状態の性質と強く結びついたものであることを明らかにした。

今回の長期海外派遣では、サイモン・トレブスト教授の研究室の持つ基底状態に関する知見と、私が開発した新しい数値計算技術を融合し、三次元キタエフ模型に関する共同研究を推進することを目的とした。ドイツ滞在期間中には、まずそれぞれの持つスキルに関する情報交換から初めて、これまで有限温度の性質が調べられていない興味深い三次元格子に着目し、それらに対する大規模数値計算に着手した。ドイツ滞在中には東京大学—ケルン大学間で TV 会議システムによるミーティングも行うことで共同研究を加速し、滞在期間中に予備的な計算結果を得ることに成功した。例えば、幾何学的な制約条件から有限温度相転移が現れない可能性がある場合を見出しており、帰国後も緊密に連絡を取り合うことでその詳細を検討中である。さらに、10 月からはサイモン・ト

レブスト教授の研究室の博士課程の学生が求研究室に長期滞在する予定になっており、交換留学的な形で継続的な共同研究を進めていくこととなっている。

2.ドイツでの生活

私が今回滞在したのはドイツの大都市の一つであるケルンである。ケルンはドイツの北西に位置する極めて歴史の長い都市である。そのケルンの中でも最も古く最も有名な建物はケルン大聖堂である。ケルン大聖堂は約 600 年かけて建築されたゴシック様式の世界でも数少ない巨大な教会で、ケルンの象徴となっている。私はケルン大聖堂を毎日眺めて電車通学していたが、毎日見ても見飽きないものであった。また、ケルンの気候は穏やかで、私が滞在した二ヶ月間のほとんどが快晴であった。ケルン中心部には公園なども多く生活しやすい落ち着いた環境で、研究に専念することができた。



ケルン大聖堂

今回の受け入れ先のケルン大学はケルンの中心部に位置している。ケルン大学にはキャンパスと言えるものがなく大学の建物が街中のあちこちに散らばっており、一部はケルンの中心部を半周する形で囲う巨大な公園内に含まれている。ケルン大学への交通アクセスは極めて良く、あらゆる方向から辿り着くことが可能である。通学とケルンの探検を組み合わせることも可能であり、私はあらゆる経路を試した。ケルン大学自体は近代的な建物のみで構成された設備の良い大学であった。さらに、ケルン大学の学生は英語に堪能であり、コミュニケーションに困ることは一切なかった。

また、私が住んでいたのはケルンの中心部から少し外れたところであったため、ドイツの田舎の雰囲気も十分に経験することができた。通学には片道約 40 分掛かったが、そのおかげでドイツでの生活をより充実したものにするすることができた。特にドイツの田舎は都会よりも一層美しく、電車から外を眺めるだけで楽しむことができる。毎日通過するケルン大聖堂を楽しむと共に、車内のアナウンスを聞くことでドイツ語の能力も成長した。

最後にケルン大学での研究に関して述べる。サイモン・トレブスト教授の研究室ではいつでも誰とでもディスカッションができる環境になっており、困った時にはいつでも質問や議論を行うことができた。また、同じ建物の研究室や関連研究を行っている研究室と繋がりが強いため、とても良い研究環境だった。こうした研究環境は、私が所属する求研究室や物理工学専攻にも見られるものであるため、ドイツにいてもシームレスな環境で効率良く研究を進めることができた。

この様にケルン滞在は生活面でも研究面でもためになる経験となった。実際、共同研究はこれからも遂行されることが期待できるため、近い将来またケルンに行くことを希望している。

3. チェコでの研究成果発表

ドイツでの滞在期間中に研究発表のためにチェコ・プラハにも一週間滞在した。プラハではこれまでの修士課程における研究内容と共にドイツでの研究成果も踏まえたポスター発表を行い、今後の研究に役立つディスカッションを数多く行うことができた。

謝辞

この度の長期海外派遣の機会を下さった MERIT プログラム、長期海外派遣の派遣先として受け入れて下さったサイモン・トレブスト教授と研究室の方々、特に協力し合って共同研究を行った同期のティム・エッシュマン、沢山のディスカッションをして下さったマリア・ハーマンスとケビン・オ・ブライアン、そして長期海外派遣にあたり様々な面でご支援下さった指導教員の求幸年教授と助教の加藤康之様にこの場をお借りして深くお礼を申し上げます。