

## 計算科学アライアンス 海外派遣報告書

工学系研究科物理工学専攻 求研究室 修士2年

梶原葵

渡航先: Trends in MAGnetism 2025、バーリ、プーリア州、イタリア共和国

派遣期間: 2025年8月30日~2025年9月8日

申請者は、計算科学アライアンスの海外派遣プログラムを利用し、イタリア共和国プーリア州バーリにおいて開催された国際ワークショップ Trends in MAGnetism (TMAG) 2025 に参加した。この会議は、イタリアの研究団体 Petaspin が2020年より主催している国際学会である。ここでは、磁性研究の最新動向が幅広く議論され、スピントルク技術、トポロジカル磁性、さらには磁性体の医学的応用に至るまで多様なトピックが取り上げられる。今回の参加者は100名余りであり、会議は一般参加者による口頭発表とポスター発表、ならびに招待講演から構成された。



参加者による口頭発表の様子。会場はバーリのオペラハウス、ペトゥルツェッリ劇場上階の“Circolo Unione”

本会議において、申請者は“Spin current generation via topological spin textures”というタイトルでポスター発表を行った。発表内容は、磁気スキルミオンに代表される二次元的なトポロジカル磁気構造における電場誘起スピン流生成に関する理論研究である。スピン流とはスピン角運動量の流れであり、それを利用することで、強磁性体の磁化反転を磁場による従来手法と比べて、より高速かつ省電力に実現できることから、情報キャリアとしての応用が期待されている。申請者らは、多彩な相転移や量子力学的位相に由来する特異な量子輸送現象が現れるという特徴をもつトポロジカル磁性体に注目し、新たなスピン流生成源としての可能性を理論的に検討した。具体的には、面直磁化をもつスキルミオン結晶、面内磁化をもつバイメロン結晶、さらに正味磁化をもたないメロン結晶を対象とし、線形応答理論に基づきスピン流生成を解析した。その際、波数空間におけるハミルトニアンを厳密対角化し、スピン伝導度テンソルの計算には数値積分を用いた。また、磁気空間群に基づく対称性解析も行い、数値結果との整合性を検証した。重要な成果として、ラシュバ型スピン軌道相互作用の存在下では、バイメロン結晶において磁化方向とは異なるスピン偏極をもつスピン偏極電流が生成されること、さらにメロン結晶においては正味磁化がゼロであっても特定の電子フィリングにおいて面直方向に巨大なスピン偏極電流が生じうることを示した。発表には多くの参加者が訪れ、活

発な議論を行うことができた。特に本会議の性格上、実験研究者の参加比率が高く、理論研究者だけでなく、スピントロニクスや二次元物質の実験を専門とする研究者からも関心を寄せられた。中には、ポスターを撮影したいと申し出る実験家もあり、関心の高さがうかがえた。候補物質や具体的な測定手法に関する質問が寄せられたほか、電子フイリングの制御に電場を用いる可能性についての提案なども得られ、自身の研究に関して新たな視点を得る貴重な機会となったとともに、第一原理計算など、より実験に近い数値的研究への関心と意欲を一層高める契機ともなった。

会議 3 日目にはドイツのハレ大学の研究者である Börge Göbel 氏と議論を行った。Göbel 氏は、トポロジカル磁性体に関する理論的研究で先駆的な成果を挙げており、本会議では磁気スキルミオンや磁気ホップフィオンなどにおける軌道流生成に関する招待講演を行っていた。申請者らの研究と手法的にも対象的にも極めて近く、双方がトポロジカル磁性体における角運動量の輸送現象を扱っている点で共通していたことから、講演後に個別の時間をいただき、研究内容を紹介しながら意見交換を行った。Göbel 氏の創発磁場が引き起こす電子の回転運動とホール運動の組み合わせによる軌道ホール効果の説明は、直感的にも理解しやすく非常に興味深いものであった。また、申請者らの研究において、磁化がゼロでありながら正味の創発磁場を持つメロン結晶によってスピン流が生成されるという結果に対して特に関心を示され、軌道流においても興味深い振る舞いが現れるのではないかという意見もいただいた。論文が完成した際には送付するよう依頼され、軌道流に関する今後の研究において連携の可能性についても言及された。研究内容の近い研究者との間で有意義な議論を交わし、今後の研究展開に資する国際的なつながりを得る重要な機会となった。

他にも多数の興味深い講演があり、積極的に参加した。特に印象に残ったのは、Olena Gomonay 教授による、交替磁性体候補物質  $\text{Mn}_5\text{Si}_3$  薄膜に関する発表である。発表では、交替磁性的な異常ホール効果や非平衡ダイナミクスに関する実験結果が紹介されたが、なかでも特に印象的であったのは、本物質が示す特異な磁気構造である。 $\text{Mn}$  イオンが形成する 3 つの副格子のうち、2 つは反強磁性的に秩序する一方で、残る 1 つでは磁気モーメントの期待値が 0 となるという特徴的な構造を示すという点に強く関心を持ち、講演後に直接質問を行った。これに対し、バルク物質における磁気構造解析の実験結果の蓄積があり、その構造が実験的に支持されていること、さらに共線的磁気構造を仮定した第一原理計算の結果とも整合することが示された。一方で、そのような非自明な磁気構造を安定化させる物理機構については未解明の部分が多いとのことであった。交替磁性を研究対象の一つとして見据えており、その安定化機構にも関心をもって申請者にとって、本講演は非常に刺激的であった。

計算科学アライアンスのサポートにより本会議に参加することができ、非常に刺激的な経験を得ることができた。本会議で得られた知見や海外研究者との国際的なつながり

を活用しつつ、今後も数値計算を通じて物質科学の発展に貢献していきたいと感じた。  
最後に、このような貴重な機会を提供していただいた計算科学アライアンス関係者の皆様に深く感謝申し上げたい。