

MERIT 長期海外派遣報告書

工学系研究科 物理工学専攻

十倉・藤岡研究室

博士後期課程 3年

柴田 基洋

MERIT 長期海外派遣プログラムにより、ドイツ共和国西部に位置するノルトライン・ヴェストファーレン州、ユーリッヒに 2015 年 3 月 8 日より 6 月 1 日まで約 3 ヶ月滞在し、Dunin-Borkowski 先生の受入のもと、Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy with Electrons (以下 ER-C), Forschungszentrum で共同研究を行った。ER-C は電子顕微鏡の基礎研究と開発の功績でノーベル賞を受賞した物理学者 Ernst Ruska の名を冠した電子顕微鏡の分野で著名な研究機関であり、収差補正器を搭載した世界最高の分解能を誇る透過型電子顕微鏡(TEM)などを有している。研究手法は高分解能の TEM を用いた電子線ホログラフィーや走査透過電子顕微鏡を用いた観察・スペクトロスコピーなどの実験から、TEM 画像の解析・シミュレーションなどの解析や理論まで多岐にわたっており、様々な方面で顕著な成果を挙げている。

私自身は博士課程研究においてスキルミオンと呼ばれる磁気渦構造の実空間観察をローレンツ透過型電子顕微鏡法(LTEM)と呼ばれる手法で行ってきた。しかしながら、この手法は大まかな磁気構造を把握するためには有効で簡便である反面、分解能は低く定量的な解析が行えるデータは得ることができない。また、試料端付近では磁性以外の寄与が大きいため観察が困難である場合がある。一方で、Dunin-Borkowski 先生がご専門とされている電子線ホログラフィーは、高性能な TEM やバイプリズムと呼ばれる装置、高度な解析技術などが要求される代わりに LTEM に比べ非常に高分解能であるため、スキルミオンのようなナノスケールの磁気構造を定量的に分析することができる。そのため、以前から電子線ホログラフィーに関して興味を持っていた。

そこで今回の長期海外派遣では、LTEM を用いたスキルミオン観察では難しい、スキルミオンの内部構造の分析を ER-C の電子線ホログラフィーを用いた定量的な観察技術と画像解析技術により行わせていただこうと考えた。渡航に際してはこちらからプロジェクトとして Dunin-Borkowski 先生に「電子線ホログラフィーによるスキルミオンの定量的構造解析」を提案させていただいたところ、ご快諾いただいた。

実際の実験については他の滞在者の研究指導や講義などで多忙な中にもかかわらず、研究員の Kovacs 博士に面倒を見ていただいた。幸いにも日本で作製して持参した TEM 試料で問題なく電子線ホログラフィーが行えたため、渡航直後から速やかに実験を開始することができた。

実験に関しては持参した一部の試料の状態が芳しくなかったり、原因不明の現象が観測されたりするなど、一筋縄ではいかないこともあった。しかし、3 ヶ月という限られた期間の中で、十分に確保していただいたマシンタイムと Dunin-Borkowski 先生も交えた定期的なディスカッションにより、実験条件や解析方法を改善しながら臨機応変に進めていくことができた。Dunin-Borkowski 先生

にはディスカッションで実験についての建設的な提案を頂いたり、グループ内外を問わず研究内容に関係のある方々とのディスカッションを薦めていただいたりもした。そのおかげで、当初計画していなかったスキルミオンの三次元構造の再構成を目的とした、傾斜した一連のホログラムも取得することができた。

実験結果については更なる解析が必要であるが、電子線ホログラフィーの定量性を活かして、磁場と温度に対するスキルミオンの内部構造変化を調べることができたと考えている。また、傾斜した一連のホログラムについては、スキルミオンの三次元構造の再構成ができないか解析の専門家に相談して進めている。

滞在中には、研究交流の機会も多かった。ER-Cには、様々な国からの研究者がスタッフとして従事しているのに加え、共同研究や技術習得のため、様々な地域から研究者や私のような学生が頻繁に訪れていた。彼らとの会話で研究内容について話す機会もあったが、TEMという観測手法が同じであっても、観察対象とする物質や現象が全く異なっていて興味深かった。また、渡航期間にはER-Cが主催する収差補正電子顕微鏡に関する国際会議PICO2015が開催されたので、飛入り参加させていただいた。PICO2015には世界各国から研究者が一堂に会し、研究成果を発表・議論しており、顕微鏡研究の最先端を知ることができたとともに、食事の席などで様々な方々とお話することができた。日本からもMERITで副指導教員としてお世話になっている幾原先生をはじめ、著名な先生方や企業の方々もいらっしやっており、束の間の日本語での交流を楽しむことができた。更に、私の博士課程の研究内容についてセミナーとして紹介させていただく機会もいただくことができた。普段磁性体を研究対象としていない研究員の方々も含め多くの方に興味を持っていただけたようで有意義であったと思う。また、滞在を通して、仕事は決めた時間内で集中してきっちりこなしてプライベートを充実させる、という研究スタイルや作業の分担がはっきりしているなど、研究員の働き方について日本との違いを感じ、考えさせられた。

渡航前には英語の能力に関して不安を感じていたが、流暢とは言えないものの実際にコミュニケーションを取って大きな問題もなく共同研究を遂行できたり生活できたりしたことは、大きな自信になった。また、否が応にも英語を使わなければならない環境に身を置いたことで、日常会話を楽しむ中でコミュニケーションツールとして英語の重要性を痛感したり、聴き取れなかったり、うまく表現できなかったりして英語力の限界を感じることもあり、結果的に英語に対する学習意欲が高まった。

渡航した3月当初はまだ寒い日が続いていたが、日に日に日照時間が長く暖かくなっていき次第に過ごしやすくなっていた。現地の方々の話では、今年は例年になく好天候が続いたそうである。私にとっては海外での長期滞在も一人暮らしも初めてであったこともあり不安であったのだが、Kovacs博士には生活面でも度々気を遣っていただいたほか、実際に思わぬトラブルにも遭遇した際にもご対応いただき、困ることなく生活をすることができた。また、街中はドイツ語で溢れていて標識などには想像以上に英語は殆ど使われておらず困る場面もあったが、現地の方々の多くは英語に堪能であり親切な対応に度々助けられた。更に現地での交流の中で、世界的に興味を持たれ

ている日本文化について日本人である自分が知らないということがあり、もっと知見を広げておくべきだったと感じた。

共同研究の企画から遂行までグローバルな場で一人の研究者として研究を計画し遂行する貴重な経験ができ、大変有意義な三ヶ月となった。Dunin-Borkovski 先生がおっしゃっていたが、定量評価を強みとする電子線ホログラフィーの研究においては、得られたホログラムをどのように解析するのかという点が非常に重要である。今後も綿密に連絡を取り合い、実験データの解析を進め、論文などの形にまとめていき、プロジェクトの後も連絡を取り合っていきたいと思う。

謝辞

この度の長期海外派遣に関してご支援いただきました MERIT プログラム及び事務局の皆様に深く感謝申し上げます。また、受入先へのご紹介をいただきました MERIT の副指導教官の幾原先生、指導教官の十倉先生に心よりの御礼申し上げます。最後に受入を快諾していただき貴重な機会を与えてくださいました Rafal Dunin-Borkovski 先生、実験から生活面まで様々な面倒を見ていただいた Andras Kovacs 博士、生活や事務手続きでお世話になった ER-C のスタッフと事務局の方々、ER-C 滞在中に交流させていただいたすべての方々に心より感謝を申し上げます。