

客員准教授を経験して

日本原子力研究開発機構・J-PARC センター 稲村 泰弘

2021 年度の 1 年間、物性研究所にて客員准教授として採用いただきました。中島多朗准教授にお声がけいただきこの機会を頂けたこと、大変感謝しております。また小濱芳允准教授をはじめとする関係者の皆様にもお礼申し上げます。

中島多朗准教授と活動させていただくのは、今を遡ること 5 年ほど前の J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) の中性子散乱実験装置にて、准教授の課題実験における相談を受けたところから始まります。

MLF におけるこれまでの私の仕事のひとつとして、多くの中性子散乱装置で使用されるデータ収集系システムとそのデータ処理のソフトウェア開発があります[1-3]。MLF は核破砕型中性子発生源を持ち、25 Hz で様々な波長の中性子が同時に発生しますが、これらの様々な異なる波長(エネルギー)をもつ中性子は試料に照射・散乱されて検出器にて検知されます。中性子発生から検知されるまでの時間は中性子の波長によって異なりますので、それを利用して散乱中性子の波長を分別します(Time-of-flight, TOF 手法)。このデータ収集システムとして MLF ではイベント記録型のデータ収集方式が採用されています。これは測定試料にて散乱された中性子が、「いつ」「どこの」検出器で検出されたかを逐次記録しておくものであり、特に空間的のみならず時間軸に対しての分割に優れた手法となります。記録される時間情報は「中性子発生時刻情報(絶対時刻情報)」と「中性子発生後検出器で検知されるまでの差分時間(TOF)」であり、前者は経過時間に対するデータ分割に、後者は散乱中性子の波長(もしくはエネルギー)の分別に使用されます。また検出器も試料からの中性子を広い範囲で検知するために多数並べられていますので、先の時間情報も含め MLF にて測定される中性子の測定データは従来の施設の装置に比べかなり大きくなります。しかしながら、これまでの散乱中性子の情報(検出器位置や波長から計算される運動量遷移やエネルギー遷移)に絶対時間軸が加わることにより、大きなアドバンテージ、例えば試料に加えられた磁場・電場・圧力などに対する応答反応をより厳密に取り出すことを可能とする利点があります。

私は MLF 稼働初期からデータ収集システムから出力されるデータに対し、上記に示したような圧倒的な利点を活かした測定やデータ処理ができるように、コードやソフトウェアなどの開発を進めてきました。特に世界最高水準の強度を持つ中性子源から生み出される大強度の中性子を用いることで、より精密な測定に加えて多様な条件での高効率な測定の実現も期待されています。例えば短時間で変動する外場(磁場、電場、温度等)に対する試料の応答反応の観測では、一度の変化では十分な統計精度を得られないため何度も同じ測定を繰り返す必要があります。しかし自在な時間分割の手法の実現により、1つの測定中に連続的に外場変化を繰り返すだけで統計精度の高い多彩な状態のデータを個別に取り出すことが可能となります。このようなストロボスコピック測定と呼ばれる先進的測定手法も MLF にて実現してきました[4]。

最初に中島准教授が提案された測定は、このストロボスコピック手法の活用をより進めていきたいと考えていたタイミングであり、まさに渡りに船、大変興味をそそられ興奮したのを記憶しています。中島氏の MLF の線源及び中性子測定手法の深くて確かな理解をベースとした提案で、急加熱急冷により発現するカイラル磁性体における準安定な磁気スキルミオン相の状態を時系列に追跡する測定するものでした。10 秒に一度繰り返されるパルス電流により発生する 1.2 秒という短時間の急加熱急冷の温度変化の途中で起きている試料内部の構造変化を追うというものです。この測定提案に対し、加熱急冷に使用されるパルス電流のトリガー信号を中性子散乱データと同期させてデータ収集システムに組み込み、そのデータを正しく処理するためのシステムの提案と処理コードの開発を行いました。結果、実験は非常な成功を収めてインパクトのある成果となり[5]、私にとっても長らく抱いてきた測定手法を実現できたこと、それが良い成果につながったことが大変嬉しかったことを記憶しています。

この強烈な成功体験のもと、更なる提案が持ち込まれたのが、物性研の小濱准教授らによって開発が精力的に進め



られているフラットトップ・ロングパルス磁場発生装置を活用した測定でした。これまで中性子で使用されていたパルス型強磁場は非常に短時間であり、25Hz で発生する中性子の波長分布に対し非常に狭い波長領域での測定しか行えず、非効率なものでした。この場合、広い波長空間の観測を行うためには何度も条件を変えて測定を繰り返す必要がありますが、今回のフラットトップ・ロングパルス磁場装置が MLF の中性子実験で使用できれば一度に広い範囲の測定が可能となり、限られた測定時間の中でこれまで実施できなかった測定が行えるようになります。

この測定の実現には、物性研側のメンバーと MLF 側のメンバーとの緊密な連携が必要で、私も一年間客員准教授としてポジションをいただき、積極的にプロジェクトに参加させていただきました。

コロナ禍の続く中、残念ながら柏キャンパスに赴くこともなくメンバーとはメールとネットワーク会議のみではありましたが、2022 年初頭の測定実施日に向けてプロジェクトを推進し、私自身も本手法の確立を目指し装置側の準備と測定データ処理コードの高度化を行いました。基本的な装置構成とデータ処理は前回のシステムと類似していますが、特に今回の手法では中性子発生タイミングと磁場発生タイミングが前回に比べよりシビアとなり、データ処理もさらに厳密性が求められるために、処理機能の検証には時間がかかりました。同時に汎用化に向けたシステムの簡略化も進めています。またデータ処理に加え、結果を即座に確認するための可視化も求められていたので、その開発も行い、実験当日を迎えました。一方、物性研より MLF に持ち込まれたフラットロングパルス磁場発生装置をビームライン装置(BL)で運用するための準備には、JAEA 渡辺氏と BL 担当 CROSS 大石氏に多大な貢献をいただきました。



実験当日は MLF 側メンバーに物性研から中島、小濱両准教授とその研究室の方々が集まり、コロナ禍がまだまだ続く中、密を避けるようお互い気をつけながらも多数のメンバーと一緒に作業するという、今となつては珍しい光景が広がりました。これらのメンバーを一手にまとめ上げられた中島准教授の手腕に改めて敬服した瞬間でもあります。この測定自体も実験にはつきもののトラブルにいくつも見舞われながら、結果、成功裡に終わることができたと考えています。

今回のプロジェクトにより私自身得られたものとしては、MLF のデータ収集システムの特徴を十二分に生かした測定手法と高い汎用性を持つデータ処理を高度に連携させることで、これまでになかった成果が生み出せることを確信できました。同時に MLF は共同利用施設であり、ユーザーのアイデア一つで大きく飛翔することが本当に可能なのだと実感した機会でもありました。今後もこの手法をより広く認知させ、多くのユーザーの求めるサイエンスに貢献できるよう活動したいと考えています。

最後に、この客員准教授に着任するという機会をいただいたこと、また繰り返しになりますが中島准教授をはじめとする関係者の方々へ深く御礼申し上げます。

- [1] Y. Inamura, et al, JAEA-Testing 2016-001, J-PARC 16-02 (DOI:10.11484/jaea-testing-2016-001).
- [2] Y. Inamura, et al, J. Phys. Soc. Jpn., **82**, SA031, 2013.
- [3] <https://mlfinfo.jp/groups/comp/ja/utsusemi.html>
- [4] T. Kawasaki, Y. Inamura, et al, J. Appl. Cyst. **51**, 630-634, 2018.
- [5] T. Nakajima, Y. Inamura, et al, Phys. Rev. B **98**, 014424, 2018.