

第 22 回

中性子科学研究施設 眞弓研究室 助教 小田 達郎

このたび日本中性子科学会奨励賞を受賞することになり
光栄に存じます。共同研究者・利用実験施設の皆様に感謝
申し上げます。受賞テーマは「中性子共鳴スピンエコー分
光法の開発とその応用に関する研究」です。中性子スピン
エコー(Neutron spin echo; NSE)法は試料と相互作用した
中性子のエネルギー変化を調べることで、試料の微視的運
動の時間相関をピコ秒からマイクロ秒の時間スケールで観
測できる分光法です。中性子の微小なエネルギー変化を検
出するために、試料前後に配置された磁場中(歳差磁場)で
の中性子スピンの Larmor 歳差を利用する量子センシング
の一種です。NSE 装置でのスピントリッパーや歳差磁場
によるスピン操作は、NMR 緩和測定における $\pi/2$ や π パ
ルスの組み合わせ(パルスシーケンス)で起こる Hahn エコー
に相当します。試料前後で対称的な磁場をつくると入射中
性子の波長によらずに Larmor 歳差角の再収束が起こること
がポイントで、このため入射ビームの波長アクセプタンス
を広くとれるので高分解能分光($\Delta E/E \sim 10^{-5}$)が実現で
きます。そのためには広がりをもったビーム軌道に対する
磁場積分の高度な一様性が装置の技術的要求になります。
NSE 法は 1972 年にハンガリー出身の Mezei が発明し[1]、
フランスのラウエ・ランジュバン研究所(ILL)の研究用原
子炉に最初の装置が建設され、1978 年にはユーザー利用
が開始されました。装置提案書は数ページの簡潔なものだ
ったそうですが、当時 ILL の所長だった Mössbauer がそ
の重要性を見出して建設が承認されたそうです。現在では
世界で計 8 台程度の NSE 装置が稼働しています。

受賞テーマの共鳴スピンエコー法の開発は主に大強度陽子加速器実験施設 J-PARC のパルス中性子源に設置された共鳴型装置で実験を行ったもので、磁気共鳴スピントリップによってスピンだけでなくエネルギーについても重ねあわせをつくるというさらに興味深い量子状態操作を利用したものです[2, 3]。この装置の特徴を生かした利用として、物性研の中島先生が主導した磁気スキルミオンのダイナミクス観測実験が行われました[4, 5]。

私は 2021 年 9 月から眞弓研究室の助教として着任し、
中性子やX線散乱を用いた高分子の構造・ダイナミクス研
究を行うとともに、茨城県東海村にある日本原子力研究開

発機構研究用原子炉 3 号炉 JRR-3 に設置されたスピエンコー装置 iNSE の装置責任者を務めています。眞弓研着任前は主に中性子制御デバイスやそれらに応用したスピエンコー分光法の研究開発を行っていました。2021 年に JRR-3 が再稼働してから iNSE も復旧作業を進め、最近ではユーザー利用を再開しています。iNSE は Mezei 型と呼ばれる最初に提案されたタイプで、現在のところ共鳴型より良いエネルギー分解能が実現できる(=長い相関時間を測定することができる)ので高分子のダイナミクス研究に適しています。NSE 装置はスピン偏極器、スピンフリップパー、歳差磁場、スピン解析器、検出器など色々な技術的要素が絡んでいて一筋縄ではいかないところがありますが、中性子の量子的性質を利用したおもしろい手法でもあります。他の手法では観測が難しい独特の時空間領域をカバーする分光手法として、研究開発と高分子のダイナミクス研究の利用展開を進めたいと考えています。

参考文献

- [1] F. Mezei, Z. Phys. 255, 146 (1972).
- [2] T. Oda, M. Hino, H. Endo, H. Seto, Y. Kawabata, Physical Review Applied 14, 054032 (2020).
- [3] T. Oda, H. Endo, H. Ohshita, T. Seya, Y. Yasu, T. Nakajima, M. Hino, Y. Kawabata, Nuclear Instruments and Methods A 1012, 165616 (2021).
- [4] T. Nakajima, T. Oda, M. Hino, H. Endo, K. Ohishi, K. Kakurai, A. Kikkawa, Y. Taguchi, Y. Tokura, T. Arima, Physical Review Research 2, 043393 (2020).
- [5] S. Aji, T. Oda, Y. Fujishiro, N. Kanazawa, H. Saito, H. Endo, M. Hino, S. Itoh, T. Arima, Y. Tokura, T. Nakajima, Phys. Rev. B 108, 054445 (2023).