

非弾性中性子散乱実験の新規手法の実証実験に成功

— 中性子により視覚化された原子運動情報を自在にズームイン・アウト —

あらゆる物質は原子により構成されているが、物質内部の原子と原子の間は様々なエネルギーで結びつきつつ微小な運動（ダイナミクス）をしており、これらの原子運動が高温超伝導や巨大磁気抵抗などといった、物質が発現する特異な機能と深く関わっている。こうした物質固有の原子間の距離とエネルギーに関する情報は、非弾性中性子散乱実験と呼ばれる実験手法を通じて視覚化することが可能である。さらに、中性子そのものが磁石の性質を持っていることから、物質の内部の原子磁石（スピン）間のダイナミクスに関する情報も得ることができる。このように、非弾性中性子散乱実験は物質の研究を進める上で極めて重要な情報をもたらすが、実際には観測強度が非常に微弱で測定効率が低いという致命的な問題があり、研究の更なる進展が阻まれていた。

最近、日本原子力研究開発機構J-PARC (Japan Proton Accelerator Complex) センターの研究グループは、高エネルギー加速器研究機構と東北大学の協力のもと、非弾性中性子散乱実験の測定効率を飛躍的に向上させる実験手法を提案し、J-PARCのパルス中性子源に設置された中性子実験装置「四季」を使った実証実験に成功した。この研究成果は、日本物理学会が発行する英文誌「Journal of the Physical Society of Japan」の2009年9月号に掲載される。

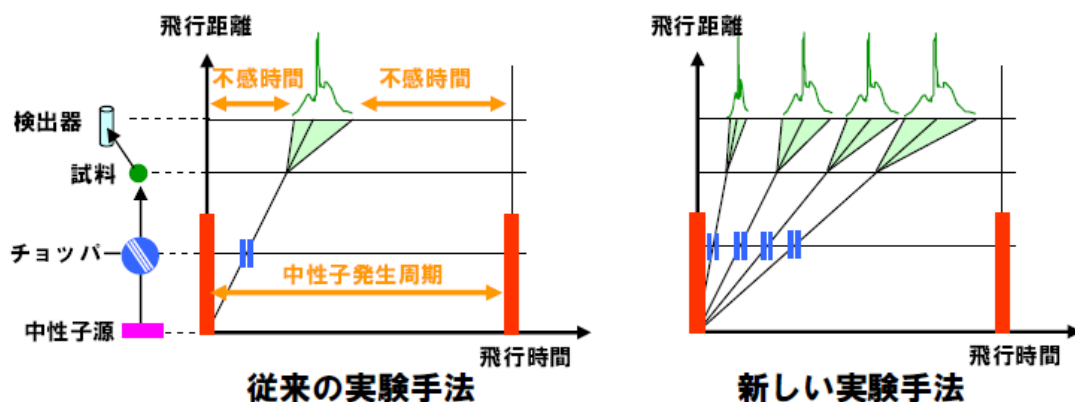


図 1. パルス中性子源における非弾性中性子散乱実験。複数の入射エネルギーを同時に利用する新しい実験手法では不感時間を劇的に減少させることができる。

パルス中性子を使った非弾性中性子散乱実験では、チョッパーと呼ばれる高速回転体を使って、試料に導く中性子ビームのエネルギー（入射エネルギー）を選択する。チョッパーには中性子を透過させるスリットが設けられており、回転のタイミングを調整することで、入射エネルギーを自由に選択することができる。試料に導かれた中性子ビームは試料中の原子やスピンの運動にエネルギーを与える（または受け取る）ことで、その進行速度を変える。この散乱過程は非弾性散乱と呼ばれ、中性子が検出器に到達した時刻を正確に計測することで原子やスピ

ンの運動のエネルギーが分かる。従来の非弾性中性子散乱実験では、チョッパーが複数の入射エネルギーを透過できなかったこと、および大量のデータを処理することが困難であったことから、ある一つの入射エネルギーのみを測定に利用していた。この方法では、検出器に中性子が到達しない時間（不感時間）が非常に長いことが明らかである（図1）。この欠点を改善するため、本研究グループはチョッパーの構造に工夫を凝らし、J-PARCで開発された最新のデータ解析システムを活用することにより、一回の測定の中で複数の入射エネルギーを同時に利用して不感時間を減少させる実験手法を提案した。図2はCuGeO₃という物質中でのスピンの運動を今回提案された新たな実験手法で測定した結果であり、1回の測定で4種類の入射エネルギーを使ったデータが得られた。図の横軸と縦軸はそれぞれスピンの運動が持つ運動量（位置情報）とエネルギーを表している。入射エネルギーが小さくなるに従って、観測範囲がズームインされるとともにデータの分解能が上がっており、広い範囲を概観するような測定から狭い範囲を詳しく調べるような測定まで同時に行うことに成功している。

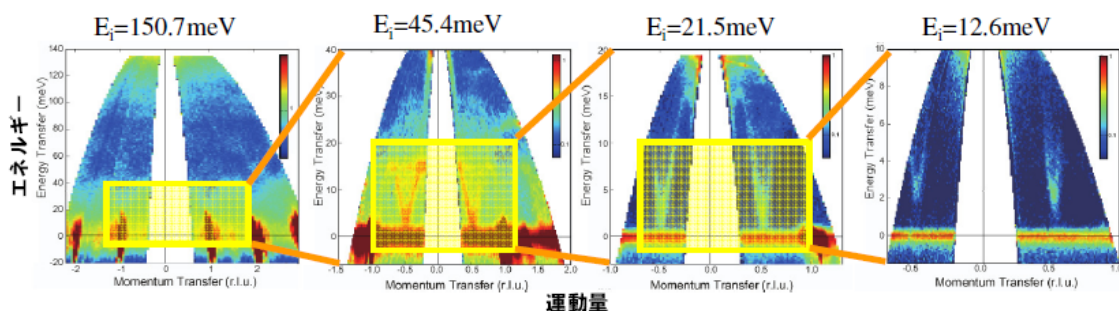


図2. 「四季」で測定された非弾性中性子散乱データ。4種類の二次元像が1回の測定で得られた。

本研究で実証した実験手法を用いれば、世界中の衛星写真を自由にズームイン・アウトするインターネット地図検索のように、物質内部における原子(あるいはスピン)ダイナミクス全体像と詳細を一挙に捉えることができる。その結果、新現象の発見に至るプロセスは極めて迅速になり、機能性材料の最適化設計といった応用面での研究開発にも大きく貢献することが期待される。本実証実験は、18kWのビームパワーの元、330分間の測定時間で行ったが、近い将来J-PARCのビームパワーが最終目標の1MWに到達した場合には、図2のデータは5分程度で取得可能となる。J-PARCの世界最大級のビームパワーと相俟って、本実験研究が中性子による物性研究の全く新しいフロンティアを切り開くことが予見される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) No. 9, p.093002

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/78/093002/> (9月10日公開)

<情報提供： 中村充孝、梶本亮一 (日本原子力研究開発機構 J-PARC センター) >