

日本中性子科学会奨励賞を受賞して

中性子科学研究施設 益田研究室 左右田 稔

この度、私が研究している「中性子散乱による磁性と誘電性の新奇関係の研究」の成果に対して、第14回日本中性子科学会奨励賞を頂きました。私は名古屋大学修士課程の頃より、中性子散乱を用いて磁性、強相関電子系物質の研究を行ってきており、現在も中性子散乱による固体物理学の研究を継続しております。しかし、2011年の東日本大震災以降、日本原子力機構のJRR-3での実験ができなくなり、中性子散乱実験のマシントime確保のため、J-PARC、海外施設での中性子研究を行うことになりました。海外中性子施設での実験を頻繁に行うことができたのは、東京大学における大学共同利用旅費による海外実験支援プログラムのサポートのおかげであります。この場を借りて深く感謝申し上げます。また研究成果は、特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」のポストドクとして大阪大学に所属していた頃に行っていた研究と、東京大学物性研究所益田研究室で行っている研究によって得られたものです。益田隆嗣先生、廣田和馬先生、木村剛先生、若林裕助先生をはじめとして数多くの方との共同研究であり、深く感謝申し上げます。

電気と磁気の交差相関が、近年精力的に研究されており、電場印加による磁性の変化、磁場印加による誘電性の変化といった電気磁気効果は、基礎・応用両面において重要な研究テーマとなっています。大きな電気磁気効果を示す物質として、(反)強磁性と(反)強誘電が共存するマルチフェロイックスが精力的に研究されており、多くのマルチフェロイック物性がサイクロイダル磁気構造などの特異な磁気構造を起源とする事が明らかになっています。我々も以前より中性子散乱を用いたマルチフェロイックス研究を行っており[1]、螺旋スピンの右巻き・左巻きカイラリティーが電場によって制御可能である事を直接的に明らかにしてきました。スパイラル磁気構造起源のマルチフェロイック物質に対する物質開発が進められている一方で、我々は新たな誘電性と磁性の関係を探索することも重要であると考え、磁性と誘電性の新奇関係を探索しています。研究では、構造と磁性をともに観測できる中性子散乱の特徴を生かし、弾性・非弾性中性子散乱実験、偏極中性子回折実験等を行

い、磁性と誘電性の新奇関係を解明しました。その結果、(1)プロパースクリュー磁気構造を持つマルチフェロイック物質の起源解明、(2)磁性イオンを持つリラクサー誘電体における特異な超常磁性、(3)スピン・ネマティック相互作用起源の磁気異方性といった研究において新たな磁性と誘電性の関係性を発見することに成功しました。下記には、それぞれの研究で明らかになった特異な磁性と誘電性の関係について簡単に述べます。

(1)プロパースクリュー磁気構造を持つマルチフェロイック物質の起源解明

サイクロイダル磁気構造を持たないマルチフェロイック物質 CuCrO_2 に注目し、電場中・磁場中偏極中性子回折実験を行うことによって発現機構を解明した研究です。プロパースクリュー磁気構造をもつ CuCrO_2 に対する電場中偏極中性子回折実験[2]を行った結果、低対称性結晶構造におけるスピン依存 d - p 混成モデルで CuCrO_2 の強誘電性が説明可能であることを明確にしました。spin helicity だけではなく、磁気ドメイン、酸素配置(結晶構造ドメイン)を全て考えることで実験結果を説明できます。さらに磁場中偏極中性子回折実験[3]を行った結果、磁場印加によりプロパースクリューからサイクロイダル磁気構造に変化することがわかり、この系の強誘電性と磁性の関係をより明確なものにできました。

(2)磁性イオンを持つリラクサー誘電体における特異な超常磁性

磁性イオンをもつリラクサー誘電体(リラクサー磁性体)において、polar nanoregion (PNR)を起源とする新奇超常磁性を発見した研究です。この研究では、単結晶を用いた中性子回折実験を行うことで、PNR に起因する核散漫散乱と短距離磁気秩序を同時に直接観測できます。ペロブスカイト格子系のリラクサー磁性体 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ では、磁気相関長が PNR によって制限されるため、磁気ドメインもナノサイズの大きさを持ち、そのナノ磁気ドメインが超常磁性の振舞いを示すことを明らかにしました。[4] さらに、三角格子をもつリラクサー磁性体 LuFeCoO_4

においても PNR 起源のナノ磁気ドメインが超常磁性を示すことを明らかにできました。[5] 結晶構造の異なるリラクサー磁性体において、ともに PNR 起源の超常磁性が観測されており、構造に不均質を持つリラクサー磁性体における磁性・誘電性の関係という新たな研究分野を開拓した研究となっています。

(3) スピン・ネマティック相互作用起源の磁気異方性

マルチフェロイック物質 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ における磁気異方性がスピン・ネマティック相互作用に起因するものであることを発見した研究です。 $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$ では、Co サイトのスピン四極子(スピン・ネマティック)は電気分極と等価となり、誘電的性質をスピン・ハミルトニアン of 枠組みの中で解析することが可能となります。この研究において、磁化で観測された磁気異方性や中性子散乱測定での磁気異方性ギャップをスピン・ネマティック相互作用によって定量的に解析することに成功しました。[6] さらに、スピン・ネマティック相互作用に起因する電気磁気効果も明らかにすることができました。[7] これは、連続的にスピンの方向を電場で制御できる新規電気磁気効果であります。

上記で述べた 3 つの研究は、磁性と誘電性について多方面より注目し、それぞれ異なる新奇関係を発見した研究成果です。基礎・応用両面において重要なテーマであり、マルチフェロイックス分野だけでなく、磁性・誘電性の両研究分野を大きく進展させるものであると期待しています。

- [1] M. Soda, T. Ishikura, H. Nakamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 087201 (2011).
- [2] M. Soda, K. Kimura, T. Kimura, M. Matsuura, and K. Hirota, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78**, 124703 (2009).
- [3] M. Soda, K. Kimura, T. Kimura, and K. Hirota, *Phys. Rev. B* **81**, 100406(R) (2010).
- [4] M. Soda, M. Matsuura, Y. Wakabayashi, and K. Hirota, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, 043705 (2011).
- [5] M. Soda and T. Masuda, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 034713 (2016).
- [6] M. Soda, M. Matsumoto, M. Månsson, S. Ohira-Kawamura, K. Nakajima, R. Shiina, and T. Masuda, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 127205 (2014).
- [7] M. Soda, S. Hayashida, B. Roessli, M. Månsson, J. S. White, M. Matsumoto, R. Shiina, and T. Masuda, *Phys. Rev. B* **94**, 094418 (2016).