

Theory of Multiferroics, Masahito Mochizuki (Univ. of Tokyo)

磁性強誘電体(マルチフェロイックス)では、電気磁気結合に由来した劇的な交差相関物性や動的現象、スイッチング現象が発現しており、物理学におけるチャレンジングな問題を提供すると同時に、磁化やそのダイナミクスの電場・光制御という応用上の可能性から注目を集めている[1,2]。ここ数年の理論研究の結果、多くのことが分かってきたので、特に今回は将来の革新的な発展へとつながる話題を選んで、展望と併せてお話ししたい。

[1] 物質: フラストレーション由来のスパイラル磁性を持つ強誘電体は、2003年のペロフスカイト TbMnO_3 の発見[3]を皮切りに、 LiCu_2O_4 , MnWO_4 , $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_4$ など続々と見つかっている[4,5]。その強誘電性発現の機構は、桂-永長らの理論によって解明された[6]。これらの物質が示す多彩な電気磁気現象は、フラストレーションによる有効的な交換相互作用エネルギーの減少の結果、従来は無視できたはずの小さな相互作用や異方性が相対的な重要度を獲得し、それらの競合・協調が引き起こす興味深い現象である。今回の講演では、Mnペロフスカイト(RMnO_3 : Rは希土類イオン)を例にとり、微視的モデルに基づいた「マルチフェロイックスの普遍的な物理の理解」と「実験に先駆けた興味深い現象の予言」についてお話しする。

[2] 電気分極フロップ: 「格子歪み」や「磁場」といった外部パラメータにより誘起される「電気分極フロップ」や「誘電転移」について、交換相互作用のみを考慮した単純な理論では理解できなかったこれらの現象が、DM相互作用と異方性の競合の結果起こっているということを議論する[7-9]。また、電気分極発現機構として、 S_xS 機構と $S \cdot S$ 機構の二つの機構について議論する[10,11]。

[3] マルチフェロイックドメイン壁と巨大誘電応答: 電気分極フロップが起こる閾値磁場での誘電率の発散的増大が、直交する電気分極を持つ二種類のスパイラル磁性ドメインのドメイン壁の運動に由来することを明らかにする[12]。また数値シミュレーションにより明らかになったMFドメイン壁の微視的内部構造とその電場駆動ダイナミクスを議論する。通常の強誘電体の atomic に薄い強誘電ドメイン壁に比べて、MFドメイン壁はハイゼンベルグスピンの性質を反映して分厚くなる傾向がある。特に、スパイラル磁性体では二種類のスパイラル磁性相間のエネルギー障壁が四次の異方性に比例するため小さく(強磁性体の場合は二次の異方性)、10-30原子に渡る厚みを持つ。このためドメイン壁の運動は、ピン留めを受けにくく低温でも非常に mobile である。このようなMFドメイン壁の性質は、高い集積性や微小外場に対する高速で巨大な応答という応用上の観点のみならず、その

外場応答のダイナミクスが興味深い基礎物理の問題を提供している。

[4] エレクトロマグノン: 電気磁気結合を通じた光の振動電場成分によるマグノン励起 (electromagnon)[13,14]を議論する。電場のエネルギースケールは磁場のそれに比べて非常に大きいため、エレクトロマグノンは従来の磁場誘起マグノンでは実現できない強励起が可能である。そのため興味深い非線形ダイナミクスや応答・共同現象が期待され、新しい「マグノン物理学」が切り開かれる可能性がある。

本講演では、 RMnO_3 において「tilting 歪みに由来する対称交換歪」あるいは「(S・S)起源の局所分極」を通じた光と磁気との相互作用[15]を考え、THz 周波数領域に特徴的な二つのピークを持つ吸収スペクトルや偏光選択則、その機構を明らかにする[16]。さらに興味深い現象の一例として、THz パルス光照射によるエレクトロマグノン強励起によりスピнкаイラリティを高速かつ自在に制御・操作する方法を理論的に提案する[17]。これは、光の振動電場成分による、ダイナミカルなポテンシャル構造の変調とスピンの慣性運動による現象である。

以上の研究は、ERATO-十倉 MF プロジェクト在籍時から始まった古川信夫先生（青学大理工）と永長直人先生（東大・工）との共同研究の成果である。また、十倉好紀先生（東大・工）をはじめ、ERATO-MF(JST), 理研 CMRG, 十倉グループの方々には、議論や実験データの提供、共同研究でお世話になっている。ここで感謝したい。

- [1] Y. Tokura, *Science* 312, 1481 (2006).
- [2] Y. Tokura, *J. Magn. Magn. Mater.* 310, 1145 (2007).
- [3] T. Kimura et al., *Nature (London)* 426, 55 (2003).
- [4] T. Kimura, *Annu. Rev. Mater. Res.* 37, 387 (2007).
- [5] Y. Tokura and S. Seki, *Adv. Mater.* 22 1554-1565 (2010).
- [6] H. Katsura, N. Nagaosa, A. V. Balatsky, *Phys. Rev. Lett.* 95, 057205 (2005).
- [7] M. Mochizuki and N. Furukawa, *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 053704 (2009).
- [8] M. Mochizuki and N. Furukawa, *Phys. Rev. B* 80, 134416 (2009).
- [9] M. Tokunaga et al., *Phys. Rev. Lett.* 103, 187202 (2009).
- [10] N. Furukawa and M. Mochizuki, *J. Phys. Soc. Jpn.* 79, 033708 (2010).
- [11] M. Mochizuki, N. Furukawa, N. Nagaosa, to be published in PRL.
- [12] F. Kagawa, M. Mochizuki et al., *Phys. Rev. Lett.* 102, 057604 (2009).
- [13] H. Katsura, A. V. Balatsky, N. Nagaosa, *Phys. Rev. Lett.* 98, 027203 (2007).
- [14] 最近のレビューとして N. Kida et al., *J. Opt. Soc. Am. B* 26, A35 (2009).
- [15] S. Miyahara and N. Furukawa, arXiv:0811.4082.
- [16] M. Mochizuki, N. Furukawa and N. Nagaosa, *PRL* 104, 134416 (2010).
- [17] 本学会講演 24pWJ-7