

リラクサー誘電性と関係する新規起源の超常磁性

強磁性と強誘電の二つの秩序構造が共存する物質群はマルチフェロイック物質と呼ばれ、近年盛んに研究されている。これまでの研究により、多くのマルチフェロイック物質は螺旋磁気構造などの特異な磁気構造を起源とする強誘電性を持つ事が明らかになった。この方向での物質開発が進められている一方で、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。

最近、大阪大学基礎工学研究科の左右田特任研究員(現在、東京大学物性研究所助教)・若林准教授らの研究グループは、リラクサー誘電体 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ に対して中性子散乱実験などを行い、その結果リラクサー誘電性と密接に関係する超常磁性を発見した。これは、室温以上で観測される新たな誘電性と磁性の関係であり、新規起源の電気磁気効果の可能性も期待される。この研究の中性子実験は、東京大学・物性研究所・中性子科学研究施設の共同利用研究課題によって行われた。この研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2011 年 4 月号に掲載された。

広い温度領域で大きな誘電率を示すリラクサーと呼ばれる物質群は、非常に大きな圧電効果を示し、かつ低誘電損失、小さな温度係数をもつ理想的な圧電・誘電材料として知られており、コンデンサーやアクチュエータなど広い分野で利用されている。一方、基礎研究分野では、なぜこのような巨大な圧電・誘電応答が発現するのかという異常の起源、メカニズムの解明に向けて様々な研究が長年にわたり行われてきた。現在、リラクサー特有の現象をすべて説明するような定説は未だ存在しないものの、リラクサー特性の起源は基本的には本質的な不均質構造が生み出す現象として理解されている。この不均質性をもたらすミクロな構造として、Polar Nanoregion (PNR) と呼ばれる“自発分極を持ちながらランダムな方向を向いた数ナノメートルスケールの局所領域”(図 2)の存在が広く認識されており、リラクサーの微視的な機構を解明する上で最も重要な概念であると考えられている。

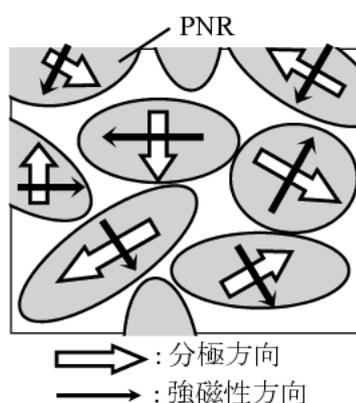


図1 polar nanoregion (PNR)とPNRによって誘起されるナノ磁気ドメイン。ナノドメイン内では Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用によって分極と垂直方向に強磁性磁化が向く。

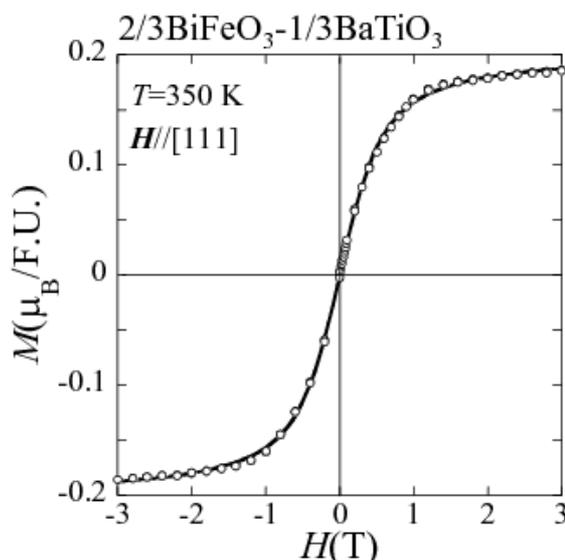


図2 $2/3\text{BiFeO}_3-1/3\text{BaTiO}_3$ において 350 K で測定した磁化の磁場依存性。曲線は超常磁性の理論曲線。

本研究では、磁性イオンをもつリラクサー誘電体に注目している。磁性イオンをもつリラクサー誘電体の研究例は非常に少ないものの、そういった物質が全く無いわけではない。(1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃は数少ない磁性イオン(Fe³⁺)を持つリラクサー的誘電体であり、この系で磁性と誘電性に関係があれば非常に面白い物理が期待できる。

BiFeO₃とBaTiO₃の2:1の混晶である2/3BiFeO₃-1/3BaTiO₃単結晶に対する中性子散乱実験の結果、PNRに対応すると思われる核散漫散乱が800 K以下で観測され、PNRの大きさは8 nm程度と見積もられた。中性子磁気散乱の結果から、T=200 K~500 Kの範囲で温度上昇とともに一繋がり磁気ドメインが小さくなっていき、8 nm程度まで小さくなって縮小が止まる様子が観測された。この結果は誘電性を担うPNRの一つ一つが磁気ドメインを構成している事を示唆する。(図1)このような構造からは超常磁性が期待される。磁化曲線に対するランジュバン関数でのフィッティングは非常によく実験結果を再現(図2)し、この物質の磁性はPNRサイズと等しい8 nm程度の平均磁気ドメインサイズを持つ超常磁性である事が確認された。これによってリラクサー誘電性と関係する新規起源の超常磁性を明確なものにしている。これらの結果は、電場による超常磁性の制御といった新規電気磁気効果の可能性も示唆しており、今後大きな展開も期待される。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) No.4, p. 043705

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/80/043705> (3月25日公開済)

<情報提供：左右田 稔(東京大学物性研究所)>