

プロパースクリュー磁気構造におけるマルチフェロイックスの起源

磁石で代表される磁性体、コンデンサーなどで使用される誘電体では、それぞれ、原子スケールの磁気モーメント(スピン)、電気分極が巨視的スケールの秩序構造が出現している。二つの秩序構造が共存するのがマルチフェロイックス物質であり、電場による磁気秩序の変化、逆に、磁場によって電気分極の方向が変化するという新奇な物性を示すことから、最近、精力的な研究が行われている。2003 年、木村らによってペロブスカイト型マンガン酸化物 TbMnO_3 のマルチフェロイックスが発見された。その磁気秩序は図 1(a)に示すサイクロイダル磁気構造であり、最隣接の二つのスピンの軌道相互作用を介して電気分極を誘起するとするスピントレントモデル(あるいは逆 Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用モデル)でこのマルチフェロイックスはよく説明されることが明らかになっている。しかし、サイクロイダル磁気構造ではなく、プロパースクリュー磁気構造(図 1(b))をもつ三角格子系の CuFeO_2 や CuCrO_2 においてもマルチフェロイックスが観測され、その発現機構に興味を持たれていた。2007 年、有馬は、低対称の結晶構造とプロパースクリュー磁気構造をもつ系において、Fe、Cr の d 軌道と酸素の p 軌道との混成 (d - p hybridization)を起源としたマルチフェロイックスが出現することを理論的に指摘した。

最近、大阪大学の左右田氏・廣田氏らの研究グループは、大阪大学の木村氏らの研究グループと共同で、三角格子系 CuCrO_2 に対するプロパースクリュー型マルチフェロイックスに d - p hybridization モデルが適用できることを明確なものとした。日本原子力研究開発機構の JRR-3 研究炉を使った物性研共同利用の実験結果である本研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌 Journal of Physical Society of Japan (JPSJ) の 2009 年 12 月号に掲載される。

図 1. (a)サイクロイダル磁気構造と(b)プロパースクリュー磁気構造。磁気秩序の伝播方向(点線矢印)がスピンスパイラル面(円板)に対して、(a)では平行、(b)では垂直である。

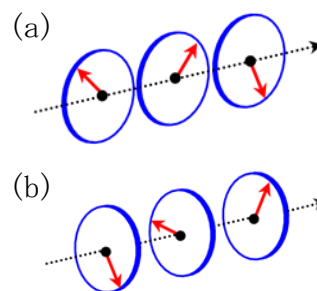
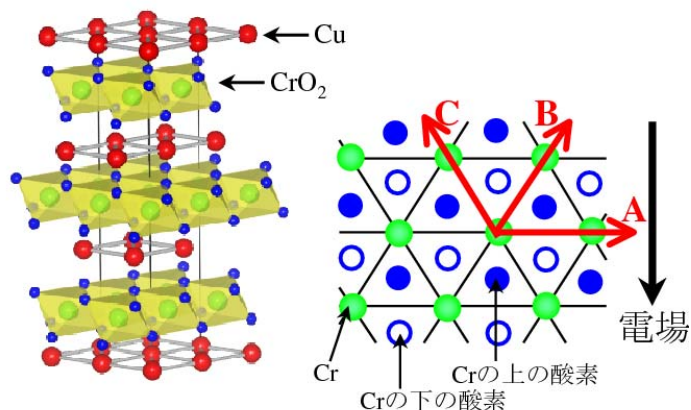


図 2. デラフォサイト結晶構造。右図は、Cr が形成する三角格子とその上下にある酸素の位置関係を示す。

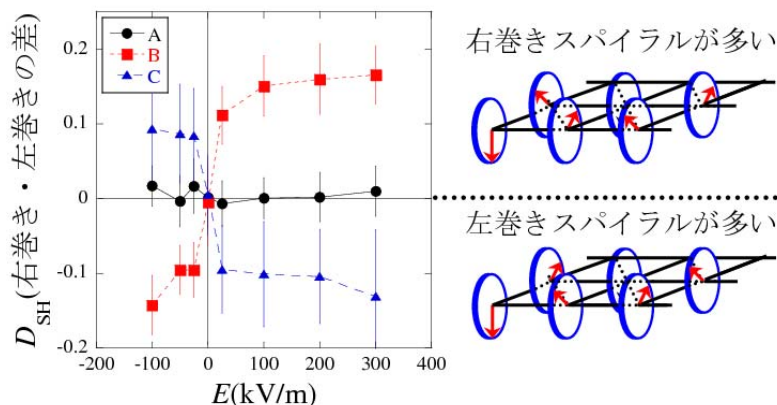


図 3. 電場印加時の右巻き・左巻きスパイラル磁気構造の差。図 2 に示す A、B、C 方向に伝播ベクトルをもつスパイラル磁気構造の右巻き・左巻きの差を観測している。電場方向も図 2 に対応する。

本研究で詳細な偏極中性子回折実験を行った CuCrO_2 のデラフォサイト結晶構造を図 2 に示す。まず、その回折スペクトルの解析から、その磁気秩序が、スピンスパイラルの周期が結晶の周期と不整合なインコメンシュレイト・プロパースクリュー磁気構造であることを確認した。さらに、電場を図 2 に示す方向にかけたときに（この方向の電気分極が出現する）、観測された spin helicity（スピンスパイラルの回転が右巻きか左巻きか）の差 D_{SH} の結果が図 3 である。電場方向と垂直である A 方向の D_{SH} は電場の正負(向き)によらずほぼゼロであるが、B, C 方向の D_{SH} は電場の向きによって符号が異なり、しかも、両者の D_{SH} の正負は電場の値によらず逆になっている。以上のようなマルチフェロイックス特性は、*d-p hybridization* モデルに基づいて、さらに、Cr 三角格子の上下にある酸素配置や磁気ドメイン構造などのすべてを考えることによって、説明されることが分かった。

本研究の成果は、プロパースクリュー型マルチフェロイックスの起源を明らかにしたもののとして多くの研究者の注目を集めている。サイクロイダル型、プロパースクリュー型両方の強誘電性の起源が明らかになったことで、マルチフェロイックスの電場・磁場制御による応用を含めて、研究に新たな発展が現れることが期待される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) No. 12, p. 124703.

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/78/124703> (11 月 25 日公開済)

＜情報提供： 左右田 稔（大阪大学）＞