

## 一軸応力で磁化と電気分極を選択的に生み出す

中島多朗 〈東京大学工学系研究科 taro.nakajima@ap.t.u-tokyo.ac.jp〉

徳永祐介 〈東京大学新領域創成科学研究科 y-tokunaga@k.u-tokyo.ac.jp〉

有馬孝尚 〈東京大学新領域創成科学研究科 arima@k.u-tokyo.ac.jp〉

物性研究における主要なテーマの一つは固体中の自由度が形成する様々な秩序である。その代表例としては磁気モーメントや電気双極子モーメントが強的に秩序した強磁性や強誘電性があげられる。これらの秩序の起源はそれぞれ独立したものであると考えるのが一般的であったが、この認識を大きく変えたのが2000年代前半のペロブスカイト型マンガン酸化物  $\text{TbMnO}_3$  におけるスピン起源の強誘電性の発見であった。この物質ではサイクロイド型磁気秩序の形成によって系の空間反転対称性が失われ、それがスピン軌道相互作用を通じて強誘電性を誘起することが明らかになった。これをきっかけとして磁気秩序と誘電的秩序が一つの物質内で共存する多重強秩序（マルチフェロイック）物質が多数報告され、今日まで盛んに研究されている。

これらの物質では、磁場によって電気分極を、電場によって磁化を制御するといった非共役な外場制御（交差相関現象の発現）が可能となる。特に磁場による電気分極の制御は  $\text{TbMnO}_3$  をはじめ数多くのマルチフェロイック物質において報告されてきた。これは強誘電性の起源となるスピン配列の対称性を、磁場印加によって容易に変化させることができるためである。しかし系全体の対称性は、磁性原子が持つスピンの方向だけでなく、その土台となる各原子の位置も含めて決定されている。我々はこの点に注目し、結晶構造の対称性に直接作用する「応力」によってマルチフェロイック性を制御できるはずだと考えた。

我々はまず磁性体  $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$  に対する一軸応力効果を研究した。この物質は、空

間反転対称性は破れているが電気分極を持たない正方晶の結晶構造を持ち、基底状態は  $a$  軸に平行/反平行にスピンの配列した単純な反強磁性秩序を示す。この状態に対して、 $ab$  軸が作る正方格子の対角線方向に磁場を加えると磁気モーメントの方向が  $c$  面内で  $45^\circ$  回転し、電場ゼロのもとでも  $c$  軸方向に電気分極が現れることが知られていた。我々はこの系に対して対角線方向に磁場ではなく一軸応力を加えることでスピンの方向を回転させ、電場も磁場も使わずに電気分極を誘起することに成功した。

次に  $\text{Dy}$  オルソフェライト ( $\text{DyFeO}_3$ ) について一軸応力下で磁化・電気分極測定を行った。この系は反転対称性を有する直方晶の結晶構造を持ち、基底状態で  $\text{Dy}$  と  $\text{Fe}$  の磁気モーメントが共に反強磁性秩序を示す。この状態で自発磁化/分極の発現を妨げているのは結晶の各主軸まわりの2回回転対称性であるが、 $ab$  軸が作る長方形の対角線方向に一軸応力を加えると、 $a, b$  軸に関わる回転対称性が同時に破れ、分極と磁化の両方が同時に  $c$  軸方向に生じることを明らかにした。

一軸応力は結晶の対称性を変える最も単純な方法であり、上手く使えば機能物性を生み出す有効な手段となることが期待できる。特にマルチフェロイック系のような複数自由度が絡み合ったケースでは、特定の対称要素を「狙い撃ち」するように一軸応力を加えることで、磁化や分極を選択的に生み出すことができる場合がある。皆さんが研究されている物質も、新たな機能を引き出すために「ひと押し」してみたいか

## —Keywords—

## 多重強秩序（マルチフェロイック）:

強磁性、強誘電性、強弾性等、固体中の強的な秩序が一つの物質の中に複数共存する状態（現象）を指す。磁性と誘電性の起源をそれぞれ独立に別の元素が担うような物質もこの範疇に含まれるが、本稿では特に磁気秩序による対称性の破れが強誘電性に結びつくものを取り上げる。前者、後者をそれぞれ Type-I, Type-II multiferroics と呼ぶ。