

## 磁石のカイラリティを利用した自然旋光性の電場制御に成功

### 1. 発表者：

増田 亮二（東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 博士課程（研究当時））  
金子 良夫（理化学研究所創発物性科学研究センター 強相関物性研究グループ 上級技師）  
十倉 好紀（理化学研究所創発物性科学研究センター センター長／  
東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 教授／東京大学 卓越教授）  
高橋 陽太郎（東京大学大学院工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター 准教授  
／理化学研究所創発物性科学研究センター 創発分光学研究ユニット ユニッ  
トリーダー）

### 2. 発表のポイント：

- ◆らせん型に配列したスピンをもちいて自然旋光性を観測することに成功しました。
- ◆テラヘルツ帯で自然旋光性が著しく大きくなることを明らかにするとともに、電圧によって自然旋光性を制御することに成功しました。
- ◆小さな消費電力で光の偏光の制御、さらに不揮発性のカイラリティの記録・読み出しといったさまざまなデバイスへの応用が期待できます。

### 3. 発表概要：

東京大学大学院工学系研究科の高橋陽太郎准教授のグループは理化学研究所創発物性科学研究センターの十倉好紀センター長のグループと共同で、らせん型に配列したスピンを用いることでテラヘルツ帯（注1）に大きな自然旋光性が生じることを発見し、電圧による自然旋光性の制御に成功しました。

カイラリティは、右手と左手のように鏡像が重ならないという対称性の破れを表す概念で、生体分子から素粒子といったさまざまな階層に見られます。自然旋光性はカイラリティを持つ物質中を進む光の偏光が右手系と左手系で逆向きに回転する現象です。細菌学者としても有名なパストゥールは、自然旋光性を使うことで初めて光学分割と呼ばれる右手系と左手系のより分けを実現しています。通常物質では原子の空間配列によってカイラリティが生じますが、磁石の源であるスピンの配列が作るカイラリティの性質は知られていませんでした。

高橋陽太郎准教授らは、らせん型に配列したスピン構造を持つCuOを用いてテラヘルツ帯の透過光の偏光を測定しました。その結果、右巻きと左巻きのスピン配列が、それぞれ逆向きの偏光回転を示す、つまり自然旋光性を生じさせることを発見しました。さらに、電圧によって右巻きと左巻きのスピン配列を入れ替えることで、自然旋光性の電圧制御を実現しました。

今回の成果はカイラリティを持つスピン配列を使うと、電圧で光を制御できることを示しています。また、スピン配列由来のカイラリティを用いることで、電圧書き込み光読み取りの新しい低消費電力メモリの実現に役立つことが期待できます。

### 4. 発表内容：

<研究の背景>

カイラリティは右手と左手のように鏡像関係にあるものが同一にならないという性質を指しており、生物や分子、結晶などさまざまな物質でカイラリティが重要な役割を持っていることが知られています。カイラリティを持つ物質中を進む光の偏光は、右手系と左手系で逆向きに

回転します。これは自然旋光性と呼ばれるカイラリティにより生じる最も基本的な性質です。細菌学者としても有名なパスツールは、自然旋光性をつかって光学分割と呼ばれる右手系と左手系の物質のより分けに初めて実現しました。現在でも物質のカイラリティを制御することは重要かつ困難な課題の一つとして認識されています。従来の物質では、原子の空間的な配置が反転対称性を破ることでカイラリティが生じます。一方で、物質中の最小の磁石であるスピンの配列によってもカイラリティが生じることが知られていました。しかし、スピン配列のつくるカイラリティの基本的な性質は知られていませんでした。

#### <研究内容>

東京大学大学院工学系研究科の高橋陽太郎准教授らは、らせん型に配列したスピンに着目しました。右回りに配列したスピンと、左回りに配列したスピンでは異なるカイラリティを持ちます(図1)。このようならせん型のスピン配列を持つ物質は、マルチフェロイクス(注2)といった新しい機能材料としても注目を集めています。今回の研究ではCuOというマルチフェロイクスを用いて、スピン配列由来のカイラリティが自然旋光性を示すかどうかを検証しました。CuOの単結晶試料は理化学研究所で開発されたレーザーフローティングゾーン炉を用いて合成しました。スピンの光応答はテラヘルツ帯に現れるため、結晶中を進むテラヘルツ光の偏光を調べました。その結果、右巻きと左巻きのらせん型のスピン配列では、テラヘルツ光の偏光が逆向きに回転することがわかり、偏光回転角がテラヘルツ帯で増強されていることがわかりました。この実験から、スピン配列由来のカイラリティによって自然旋光性が生じることを実証することに成功しました。

マルチフェロイクス中のらせん型スピン配列は、電圧によって右巻きと左巻きを制御することが可能です。この性質を利用し、電圧パルスを印加することでカイラリティと自然旋光性の制御に成功しました(図2)。電圧を切った後でも自然旋光性は変化せず、不揮発なカイラリティが存在すること、逆向きの電圧を印加すると自然旋光性が反転することを示しました。これは、電圧によってカイラリティを書き込み、それを光で読み込むという実証実験にも成功したことを示しています。

#### <展望・社会的意義>

今回の研究ではスピン配列から生じるカイラリティが、テラヘルツ帯で自然旋光性を示すという最も基本的な性質を明らかにするとともに、スピン配列によって生じたカイラリティを電圧で制御し、光によって読み込むことが可能であることを実証しました。これは、スピン配列の持つカイラリティが、様々なデバイスの新原理として利用できることを示しています。例えば、電圧によって光の偏光の制御が可能となりますが、その際に流れる電流は微小でありカイラリティを反転させる時のみ電圧を印加するため、低消費電力の光制御デバイスとなり得ます。また、カイラリティを電圧で制御し、光で読み込むことができるため不揮発性メモリの新しい原理にもなり得ます。一般的に物質のカイラリティや自然旋光性の制御は現在でも研究の続く困難な課題の一つですが、今後はスピン配列を利用することでカイラリティをひとつの機能として用いたさらなる研究開発が進められることが期待されます。

#### 5. 発表雑誌:

雑誌名: 「Science」

論文タイトル: Electric field control of natural optical activity in a multiferroic helimagnet

著者：Ryoji Masuda, Yoshio Kaneko, Yoshinori Tokura, Youtarou Takahashi\*

## 6. 問い合わせ先：

<研究に関すること>

東京大学 大学院工学系研究科附属量子相エレクトロニクス研究センター・物理工学専攻  
准教授 高橋 陽太郎 (たかはし ようたろう)

<報道担当>

東京大学 大学院工学系研究科 広報室

理化学研究所 広報室 報道担当

## 7. 用語解説：

(注1) テラヘルツ帯

可視光とマイクロ波の中間に位置する光の帯域を指します。光の波としての周波数がテラヘルツ ( $10^{12}$  Hz) であることからこのように呼ばれています。将来の高速通信や様々なセンシング技術の実現が期待され、現在盛んに研究がおこなわれている帯域です。

(注2) マルチフェロイクス

自発的に強誘電や強磁性などの性質を示す物質をフェロイクスと呼びますが、複数の強的な性質が共存する物質をマルチフェロイクスと呼びます。特に、スピン配列に由来した強誘電性が生じる物質は代表的なマルチフェロイクスとして知られており、新機能材料として様々なデバイスへの応用が期待されています。

9. 添付資料：

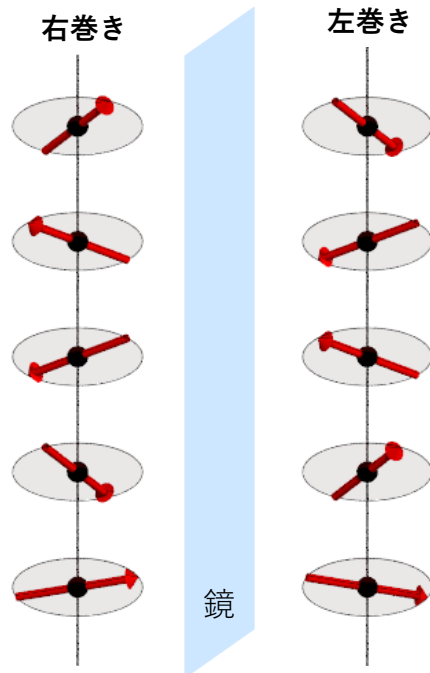


図1：最小の磁石であるスピン（赤矢印）が結晶中でらせん型に巻く配置を取ることで、カイラリティが生じる。右巻きと左巻きのらせん型スピン配列は互いに鏡像になっているが、それらが同一ではないというカイラリティの性質を持っている。

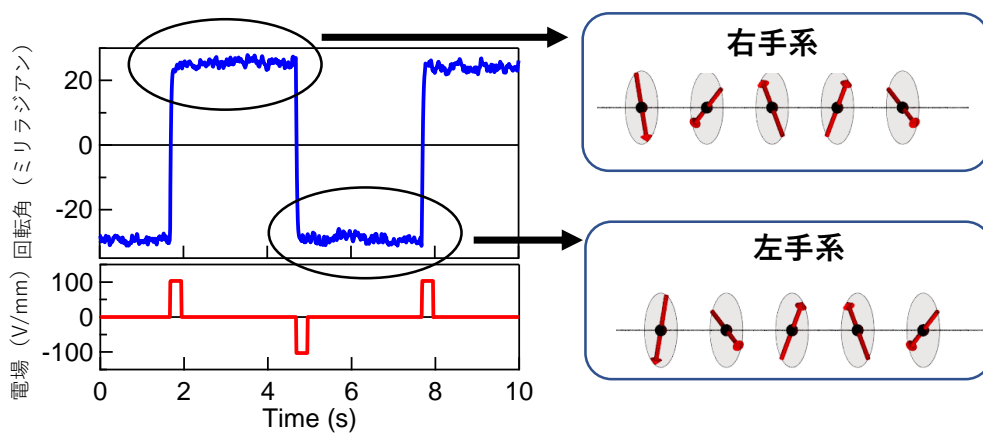


図2：電圧による自然旋光性の制御のデモンストレーション。結晶を透過したテラヘルツ光の偏光回転角（左上段）と電圧（左下段）。プラスの電圧（電場）をかけると、結晶中のらせん型スピン配列が右巻きになり、自然旋光性による偏光回転もプラスになります。マイナスの電圧をかけると、結晶中のらせん型スピン配列が左巻きになり、カイラリティの反転を反映することで自然旋光性の符号も反転します。電圧パルスが切れた後も自然旋光性の符号は保たれており、不揮発なカイラリティを電圧で制御できていることを示しています。