

キラルな磁性体における非相反なマイクロ波伝搬

空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた物質においては、電磁波の速度や吸収係数が進行方向の正負で異なる非相反性が生じる場合がある。特にマイクロ波領域では磁気双極子相互作用にもとづく非相反性を利用したアイソレータやサーキュレータが広く普及している。本研究はキラル磁性体 CuB_2O_4 のマイクロ波伝搬を詳細に測定することで、従来のマイクロ波非相反性に加え電気磁気効果に由来する非相反性を同時に観測し、その分類を行った。これによりマイクロ波領域における電気磁気効果と非相反性に関して新たな視点をもたらすものと期待される。

空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた系では、電磁波の屈折率が進行方向の反転で大きく異なることがある。このとき電磁波の速度や吸収係数が進行方向の反転で変わる。非相反性と呼ばれるこの効果は 1997 年 Rikken らによって可視光領域の電磁波において初めて観測された。Rikken らはキラル分子(右手と左手の関係のように鏡像がもとと重ならない分子)において、光の吸収係数が磁場の正負で異なることを見出した(図 1a)。その後現在までに、X 線~THz の幅広い周波数帯において非相反性が観測されている。

これまで非相反性が観測されたのは、磁性強誘電体やキラル磁性体といった空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた物質群である。一方、波長が cm オーダーに達するマイクロ波(~GHz)領域においては、マイクロ波導波路中の非対称な位置に(空間反転対称な通常の)強磁性体を配置することで回路全体として非相反性を示すことが知られていた。この効果は、強磁性体中の古典的な磁気双極子相互作用が回路の非対称な位置で働いた結果、マイクロ波に非相反性が生じたものである。回路の非対称性と強磁性体の磁化で、実効的に空間反転対称性と時間反転対称性を同時に破っているとみなすことも出来るが、上記で述べたような物質中での光の非相反性とは明らかに起源が異なる。このような古典的な非相反性は、現在ではアイソレータやサーキュレータと呼ばれるマイクロ波素子として広く普及している。

ごく最近、キラル磁性体中の電気磁気効果によってマイクロ波の非相反性が発現することが報告された。この結果により、マイクロ波領域でも、磁気双極子相互作用に由来する非相反性に加えて、高周波領域と同様な物質の対称性の破れに由来する非相反性が共存するらしいことが分かった。マイクロ波物質科学の発展や非相反素子工学への展開を考えると、これら二つの非相反性が質的にどのように異なるかを明らかにすることは重要である。しかしこれまで、これら二つのマイクロ波非相反性を同時に観測したものはなく、それらがどのように寄与しているか、また如何に分類できるかは不明であった。

最近、東京大学大学院総合文化研究科のグループは、空間反転対称性の破れたキラル磁性体である CuB_2O_4 を用いて、マイクロ波の非相反伝搬を詳細に測定した。その結果、古典的な磁気双極子相互作用に由来する非相反性と電気磁気効果に由来する非相反性を同時に観測し、分離することに成功した。

対象物質である CuB_2O_4 は、これまでも近赤外領域において巨大な非相反性が観測されてきた。この物質は磁化の向きを変えることで磁気点群が系統的に変わり、磁場を回転するとキラリティが

右手系から左手系へと切り替わる特徴がある。本研究は磁場方位を回転しながらマイクロ波測定を行うことで、古典的な磁気双極子相互作用に由来する非相反性と電気磁気効果に由来する非相反性を分離した。図1(b)に示す通り、電気磁気効果に由来する非相反性の角度依存性だけを抽出すると、磁性とキラリティが合わさったことによって $\cos\phi\cos2\phi$ に比例する特徴的な振る舞いが観測された。さらに、この振る舞いは物質対称性に由来する電気磁気効果の理論計算と一致することが示された。これらにより、磁気双極子相互作用とは異なる電気磁気効果に由来するマイクロ波非相反性の性質が明らかになった。

これらの成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2017 年 2 月号に掲載された。

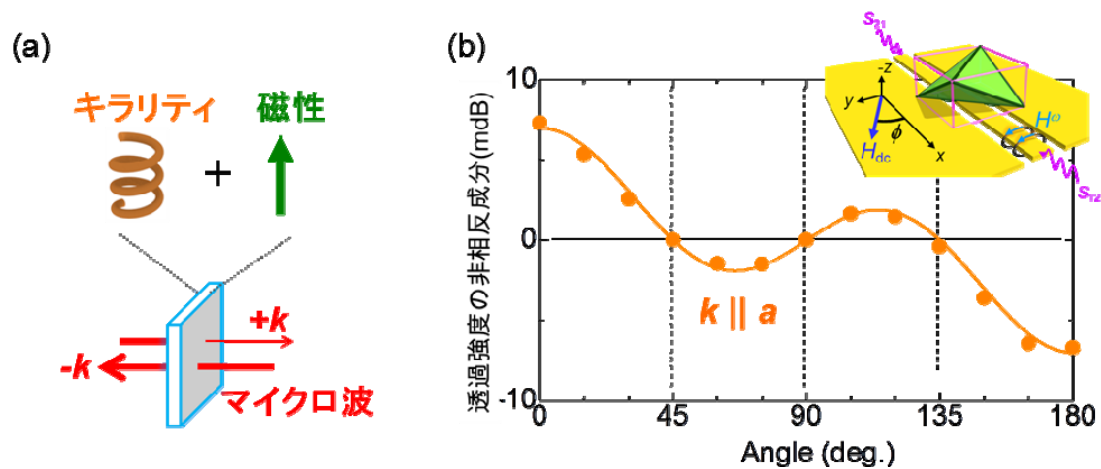


図 1. (a) キラル磁性体におけるマイクロ波非相反性（磁気キラル効果）の概念図。(b) CuB_2O_4 におけるマイクロ波非相反性の磁場角度変化。特徴的なのは非相反信号が 45° , 90° , 135° を境に反転していることである。中でも 45° と 135° は右手系 $\leftrightarrow$ 左手系へのキラリティ反転に対応する。

原論文(1 月 17 日公開済)

[Microwave Magnetochiral Effect in the Non-centrosymmetric Magnet \$\text{CuB}_2\text{O}_4\$](#)

[Yoichi Nii, Ryo Sasaki, Yusuke Iguchi, and Yoshinori Onose: J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 024707 \(2016\).](#)

問合せ先：新居 陽一（東京大学大学院総合文化研究科）