

# 交替磁性体のカイラルマグノン

浅井晋一郎 〈東京大学物性研究所 asai.shinichiro@issp.u-tokyo.ac.jp〉

Liu Zheyuan 〈東京大学物性研究所 zheyuanliu@issp.u-tokyo.ac.jp〉

益田隆嗣 〈東京大学物性研究所 masuda@issp.u-tokyo.ac.jp〉

21世紀の現代文明は計算機と情報通信技術に支えられている。これらの基盤であるエレクトロニクスは電子の電荷を利用するが、電荷移動に伴う発熱によって性能向上は限界に近づいている。そこで注目されるのが、電子の磁石としての性質であるスピンを活用するスピントロニクスである。その一分野であるマグノニクスでは、電子スピンの集団励起であるマグノン（スピン波）を情報担体として用い、低消費電力かつ高速な計算・通信の実現が目指されている。

従来のマグノニクスは**強磁性体**を主な舞台として発展してきた。強磁性体のマグノンは特定の掌性（**カイラリティ**）をもち、電流を用いずにスピン角運動量を運ぶため、ジュール熱を生じることなくスピン情報を伝達できる。このとき、マグノンが担うスピン角運動量の流れはマグノンスピン流、あるいは単に「マグノン流」と呼ばれる。また、強磁性体のマグノンは、電磁波でアクセス可能な波数ゼロ近傍がGHz帯に限られる。現在のマグノニクス技術はこの領域を主要な動作領域としているが、低周波領域への限定は、高速化や高集積化の観点からは制約ともなり得る。

一方近年は、より高周波で動作し、かつ有限磁化をもたず漏れ磁場を生じない反強磁性体への関心が高まっている。反平行にスピンの整列する反強磁性体では、波数ゼロ近傍のマグノンがTHz帯に位置し、超高速なスピンドYNAMICSを実現できる。しかし反強磁性体のマグノンは、左回り・右回りの二つのカイラリティをもつモードが同一エネルギーで縮退し、互いに打ち消し合うため、マグノン流として直接利用するには必ずしも理想的とは言えない。

こうした課題を解決する磁性体として、2022年に第三の磁性相として提案された**交**

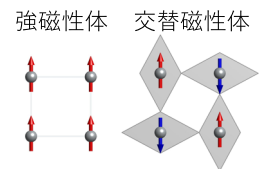
**替磁性体**がある。従来の反強磁性体では、時間反転操作 $T$ と結晶の並進操作 $t$ の結合対称性 $Tt$ が保存され、スピン反転と並進操作によって磁気構造は元と一致するため、二つのマグノンモードは縮退し、電子バンドでもスピン縮退が保たれる。一方、交替磁性体は、配位子場の低対称性などにより磁気副格子が並進や反転ではなく回転（回映）操作で結びついた磁化ゼロの共線的磁性体（スピンの同一方向の軸に沿って反平行に配列した磁性体）として定義される。この場合、スピン反転と並進操作を施しても元の磁気構造とは一致せず、強磁性体と同様に $Tt$ 対称性が破れており、相対論的スピン軌道相互作用をもたなくても電子バンドにスピン分裂が生じる。マグノン励起においても左回り・右回りのモードが異なるエネルギーをもつ（カイラル分裂）ため、カイラリティを有する**カイラルマグノン**が現れ、マグノン流は実空間で相殺されずに存在できる。一方で、反強磁性体と同様に有限磁化をもたないため、メモリデバイスのダウンスケールに有利である。

代表的な交替磁性体候補物質として注目されている $\alpha$ -MnTeでは、電子バンドのスピン分裂など $Tt$ 対称性の破れに起因する数多くの量子現象が報告されている。本研究では、当該物質に対して中性子非弾性散乱実験による磁気励起の測定を行い、マグノンモードの分裂を観測した。得られたスピンハミルトニアンに基づく計算から、この分裂が交換相互作用に由来すること、および分裂したモードが各々異なるカイラリティを有するカイラルマグノンであることを示した。これにより、 $\alpha$ -MnTeが交替磁性体であることをマグノン励起の観点から検証した。

## 用語解説

### 強磁性体と交替磁性体：

強磁性体：全てのスピンの方向に整列し、有限磁化を有する磁性体。交替磁性体：副格子が空間回転（回映）操作で入れ替わる磁化ゼロの磁性体。時間反転・並進の結合対称性 $Tt$ が破れている。



### カイラリティ：

本稿で用いるカイラリティは、マグノンが担うスピン角運動量ベクトルの向きに対応して定義される回転の方向を指す。

### カイラルマグノン：

カイラリティを有するマグノンのこと。強磁性体のマグノンは、マグノンが担う角運動量の向きが一意に定まるため、カイラルマグノンである。反強磁性体では、異なるカイラリティをもつ二つのマグノンモード（下図）が縮退して存在するため、カイラルマグノンは存在しない。交替磁性体では、対称性の破れにより縮退が解け、カイラルマグノンが現れる。図中の細い矢印は歳差運動するスピン、太い矢印はマグノンが担うスピン角運動量、楕円状の矢印はカイラリティを示している。マグノンによりカイラリティが左方向に運ばれている様子が描かれている。

