

f 電子系 Eu 化合物における磁気スキルミオン格子の形成

本論文では、キラルな結晶構造をもつ EuPtSi について単結晶中性子回折実験を行い、ゼロ磁場及び磁場誘起相である A 相の磁気構造を明らかにした。ゼロ磁場では結晶構造を反映したキラルならせん磁性を示すが、磁場下の A 相では、周期長は保ちながら印加磁場に垂直散乱面にピークが移動し、6 回対称の磁気散乱パターンへと変化することが示された。この結果は、磁気スキルミオンの典型物質である MnSi の振る舞いと酷似している。A 相の特徴的な安定領域、ホール抵抗の増大と合わせて考えると、EuPtSi が f 電子系で初となる磁気スキルミオン格子を持つ物質であることを示している。

「スキルミオン」は、数百オングストロームの大きさを持ち、粒子的な性質を有する渦状のスピ集合体で、微小電流での駆動など高性能の磁気記憶デバイスとしての可能性を有することから、基礎的な興味のみならず、応用面からも高い注目を集めている。磁気スキルミオンの実現は、掌性を有するキラルな結晶構造を持つ MnSi での発見を皮切りに、同じ空間群 $P2_13$ に属する B20 型金属化合物 MnGe, FeGe, $\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Si}$ から、絶縁体の Cu_2OSeO_3 や GaV_4S_8 などに拡がりを見せている。また多くの物質が発見されるに伴い、秩序状態や外場への応答にも多彩な特性が見出されている。一方でスピンを担うイオンについては、主に 3d 系の遷移金属元素に限られてきた。

最近、MnSi と同様の $P2_13$ に属する立方晶化合物 EuPtSi の純良単結晶が育成され、その詳細な磁気特性が報告された。EuPtSi では Eu イオンは 2 価が安定で、7 個の f 電子が磁性を担う、軌道磁気モーメントを持たない $S=7/2$ のスピン状態を取る。ゼロ磁場では $T_N = 4$ K の反強磁性秩序を示すが、興味深い点は、磁場を [111] 方向に印加した際に、有限温度領域でのみ安定化する磁場誘起秩序相 (A 相) の存在が見出されたことである (図 1 (a))。A 相では、ホール抵抗の増大も観測され、スキルミオンの一つの特徴であるトポロジカルホール効果の可能性も示唆されたことから、A 相の起源に高い注目が集まっていた。

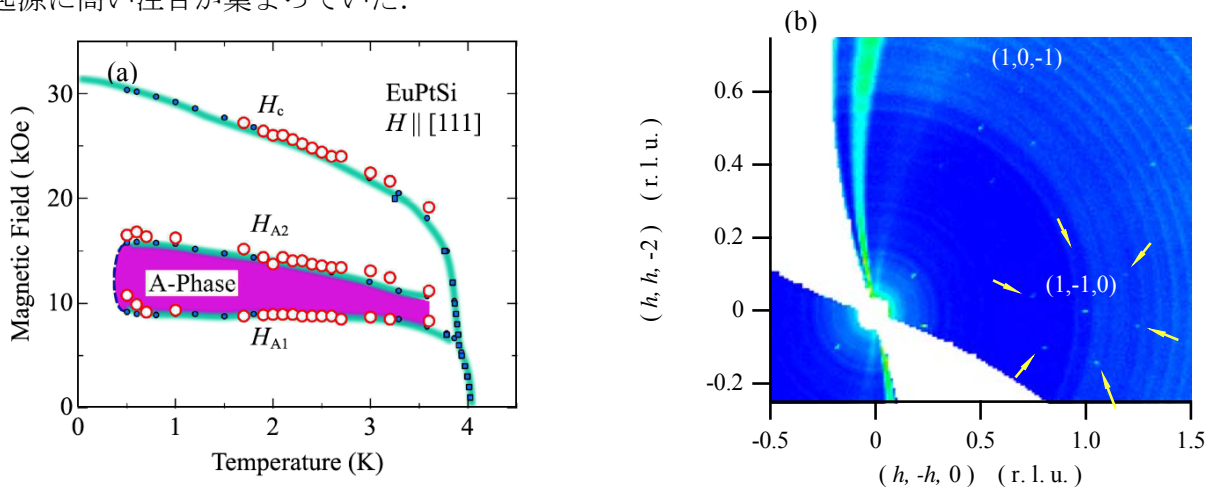


図 1 (a) EuPtSi の $B \parallel [111]$ における磁気相図。 (b) A 相、磁場垂直な散乱面における中性子散乱強度。黄色矢印は、 $(1, -1, 0)$ 周りに観測される 6 回対称の磁気散乱パターンを示している。原点、 $(1, 0, -1)$ 周りにも同様のピークが観測されている。

最近、日本原子力研究開発機構物質科学研究センターのメンバーを中心とする国際研究グループは、EuPtSiの磁気構造の微視的情報を得るために単結晶中性子回折実験を行った結果、磁場誘起のA相で、磁気スキルミオン形成を強く示唆する6回対称の磁気散乱パターンが磁場に垂直な散乱面に現れることを初めて明らかにした。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2019 年 1 月号に掲載された。

磁気スキルミオン格子の典型物質である MnSi では、ゼロ磁場で 180 Å と非常に長周期のキラルならせん磁性が安定化する。ここに 0.2 T 程度の磁場を印加すると、転移点直下のごく狭い温度領域で、らせん磁性と同じ周期長をもつ磁気スキルミオン格子が実現する。スキルミオン格子の形成は、中性子小角散乱において磁場に垂直な面内で観測される 6 回対称の磁気散乱パターンに基づき提案された。他のスキルミオン格子を持つ化合物においても、中性子散乱で観測されるこの 6 回対称の磁気散乱パターンは一つの指標とされている。

本研究による単結晶中性子回折実験から、EuPtSi は、ゼロ磁場がキラルならせん磁性であることが報告された。さらに A 相に入ると、周期長は変わらず、磁場垂直な散乱面の 6 回対称散乱パターンに変化することが見出された(図 1(b))。これらの振る舞いは、MnSi の観測結果と酷似している。特徴的な A 相の存在領域、ホール抵抗の増大を合わせて考えると、EuPtSi の A 相でも磁気スキルミオン格子が形成されていることを示している。一方、EuPtSi の周期長は MnSi と比べて約 1/10 と大幅に短く、3~4 格子程度のサイズに留まっている(1 単位胞辺り 4 つの Eu イオンを含む)。また A 相の安定領域についても、EuPtSi では比較的広い温度範囲に存在し、特定の印加磁場方向でのみ現れる異方性を有する点が、等方的で転移点の極く近傍にのみ存在する MnSi とは対照的である。f 電子系である EuPtSi における磁気スキルミオン格子の発見は、新たな物質系はもとより、安定領域・異方性等多様な特性の発見へと繋がるもので、今後のさらなる研究の発展に貢献することが期待される。

原論文

[Unique Helical Magnetic Order and Field-Induced Phase in Trillium Lattice Antiferromagnet EuPtSi](#)
Koji Kaneko, Matthias D. Frontzek, Masaaki Matsuda, Akiko Nakao, Koji Munakata, Takashi Ohhara, Masashi Kakihana, Yoshinori Haga, Masato Hedo, Takao Nakama, and Yoshichika Ōnuki, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88** (2019) 013702.

問合せ先：金子耕士（日本原子力研究開発機構物質科学研究センター）

辺土正人（琉球大学理学部）

大貫惇睦（琉球大学理学部）