

5-5 中性子で捉えた f 電子スピンの特異な渦 — f 電子化合物で初めての磁気スキルミオン格子形成を発見 —

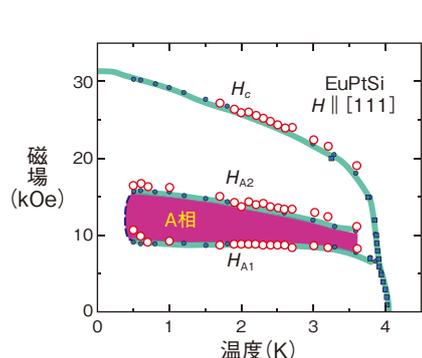


図5-13 EuPtSiの磁気相図
磁場で誘起されるA相は有限磁場、温度でのみ存在します。

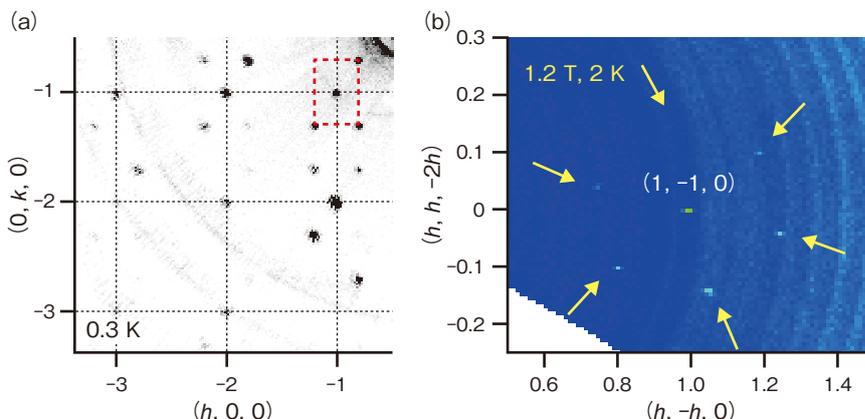


図5-14 EuPtSiの中性子散乱強度マップ (a) ゼロ磁場、(b) 1.2 T
ゼロ磁場で各格子点周りに見える長方形の磁気散乱パターンは、磁場誘起のA相にあたる1.2 T、2 Kでは六角形へと変化しています。

数十 nm の大きさを持ち、粒子的な性質を有する渦状の巨大スピン集合体“磁気スキルミオン”は、高性能記憶デバイスとしての可能性から、基礎・応用両面で高い注目を集めています。磁気スキルミオンは、結晶が右巻き、左巻きの区別(掌性)を持つ MnSi での発見を皮切りに、同種の結晶構造を持つ金属化合物 MnGe、FeGe、絶縁体の Cu_2OSeO_3 などに拡がりを見せるとともに、物質例の増加に伴い、多彩な特性も見いだされてきています。一方主役であるスピンの担い手は、主に 3d 系遷移金属元素に限られ、4f 電子系希土類元素では報告がありませんでした。

最近、同種の結晶構造を持つ EuPtSi の純良単結晶が育成されました。EuPtSi では、7 個の 4f 電子を持つ Eu イオンが磁性を担います。ゼロ磁場では 4 K で反強磁性秩序を示しますが、興味深い点は磁場を特定方向に印加した際に有限磁場・温度領域でのみ安定化する磁場誘起秩序相 (A 相) の存在です (図 5-13)。この中間領域でのみ現れる秩序相は、MnSi の磁気スキルミオン相の持つ特徴の一つです。そこで私たちは、EuPtSi の A 相について調べるために、単結晶中性子回折実験を行いました。

中性子散乱は、スピン配列の観測に加え、その透過性から磁場や低温など特殊環境下での測定に優れています。実験は、オークリッジ国立研究所の高中性子束同位体生産炉 HFIR に設置された広角中性子回折計「WAND²」及び、J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) の BL18 に設置された特殊環境微小単結晶中性子構造解析装置「SENJU」で実施しました。

MnSi では、中性子小角散乱で観測された 6 回対称の

散乱パターンが磁気スキルミオンの決定的証拠となりました。一方 EuPtSi では、まずゼロ磁場の結果から、長方形のパターンで特徴づけられる、らせん磁性を示すことを明らかにしました (図 5-14 (a))。ここに 1.2 T の磁場を加えて A 相に入ると、長方形のパターンは一転し、MnSi の磁気スキルミオン相と同様、6 回対称の磁気散乱パターンへと変化することを見いだしました (図 5-14 (b))。

本研究で明らかにした EuPtSi の磁気散乱パターンの磁場変化は MnSi と酷似しており、EuPtSi の A 相で磁気スキルミオン格子が形成されることを強く示唆するものです。一方でその周期長を見ると、MnSi では小角散乱を使わないと格子と磁気反射が分離できないほど両者が近いのに対し、EuPtSi では通常回折実験で分離できる程度に格子と磁気反射は離れています。格子と磁気反射の距離は、磁気秩序の周期長に反比例することから、MnSi では 18 nm と長周期であるのに対し、EuPtSi ではその 1/10 にあたる 1.8 nm と極端に短くなっています。また、比較的広い温度範囲に存在する EuPtSi の A 相の安定領域も、転移点のごく近傍にのみ存在する MnSi と対照的です。 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、多様な特性の発見へとつながるもので、今後のさらなる研究の発展に貢献することが期待されています。

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C) (No.16K05031) 「量子ビームの相補利用でみる多様な秩序変数による量子臨界現象」の助成を受け、日米協力中性子散乱事業の枠組みのもと実施されました。

●参考文献

Kaneko, K. et al., Unique Helical Magnetic Order and Field-Induced Phase in Trillium Lattice Antiferromagnet EuPtSi, Journal of the Physical Society of Japan, vol.88, issue 1, 2019, p.013702-1-013702-5.