

スキルミオン物質 Cu_2OSeO_3 におけるマグノンの ボース—アインシュタイン凝縮

静岡大学理学部

(元 物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設小濱研究室 助教) 野村 肇宏

はじめに

研究対象の Cu_2OSeO_3 は絶縁体で初めて磁気スキルミオンが発見された物質である[1]。この物質ではカイラルな結晶構造(空間群 $P2_13$)に由来したジャロシンスキー—守谷(DM)相互作用と強磁性相互作用により、らせん磁性が基底状態となり、約 0.2 T でフェリ磁性状態となる(図 1)。磁気スキルミオンは mT オーダーの磁場で出現し、さらに電場による制御が可能であることから、応用上の観点から注目されている。加えて、マグノンやフォノンの非相反伝搬など、多彩な機能が発見された物質としても注目されてきた[2,3]。

Cu_2OSeO_3 を強磁場科学の観点から着目してみよう。図 1 インセットに示すように、磁性は結晶場の異なる Cu(1)サイトと Cu(2)サイトが担っており、 Cu_4 クラスタが弱く結合したブリージングパイロクロア格子を形成している。クラスタ内で強磁性ボンド(青)と反強磁性ボンド(赤)が共存しており、3-up-1-down の合成スピン $S = 1$ 状態が安定である。上述したらせん磁性や磁気スキルミオンは Cu_4 クラスタの合成スピンが傾角秩序したものである。フェリ磁性状態は先行論文によっては field-polarized state と表現されるが、実際は飽和磁化の半分で量子化された 1/2 磁化プラトー相に対応する。真の磁化飽和を観測す

るためには、 Cu_4 クラスタ内の反強磁性相関を破るだけの超強磁場をかける必要がある。本研究は Cu_2OSeO_3 の磁化飽和に至るまでの過程を明らかにすることを目的とした[4]。

超強磁場磁化測定

東京大学物性研究所で電磁濃縮法による 500 T までの超強磁場磁化測定を行った。磁化はファラデー回転法を用い、直線偏光の回転角から推定した。

測定温度 5 K における実験結果を図 2(a)に示す。磁化とは直接関係のない複数の寄与が存在するため、回転角を $\theta = \theta_{\text{NOA}} + \theta_{\text{MOA}} + \theta_{\text{BG}} + \theta_{\text{D}}$ と分解する。ただし、 θ_{NOA} は Natural Optical Activity、 θ_{MOA} は Magnetic Optical Activity、 θ_{BG} は線形なバックグラウンド、 θ_{D} は後述するドーム状の成分に対応する。このうち、 θ_{NOA} と θ_{BG} を差し引いた磁化に関連した結果を図 2(b)に示す。1 T 付近で 1/2 プラトー相に入り、180 T までの磁場領域で一定の回転角を示している。回転角は 180 T から増大し、230 T で極大をとった後、300 T 以上で一定値となる。後述する理論計算の結果から、300 T 以上は磁化飽和相に対応すると結論した。180—300 T の中間相では磁化は点線のように線形に増大するはずであるが、ドーム状の異常が余分に観測されている。

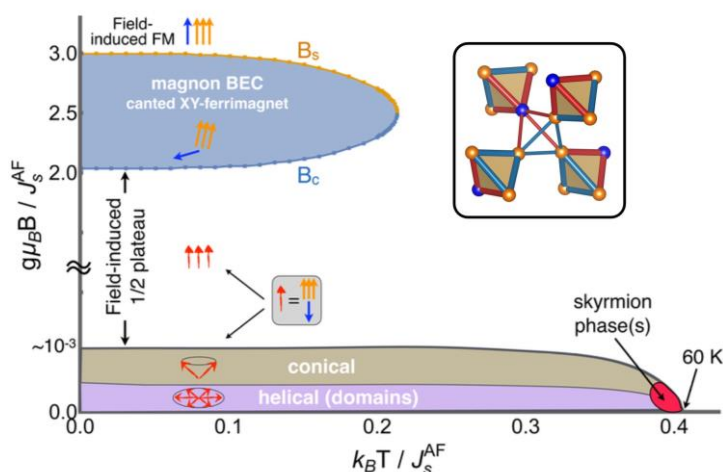


図 1 Cu_2OSeO_3 の磁場—温度相図とスピン模型(インセット)。

マグノンのボースーアインシュタイン凝縮

が凝縮する。これらは本質的に同一の物理現象とみなすことができるが、クラスター系物質におけるマグノンの BEC はこれまで十分に認識されてこなかった。今後、より広範な物質群においてマグノンの BEC が議論されることが期待される。

Cu_2OSeO_3 はこれまで低磁場領域の物性ばかりが着目されてきたが、超強磁場においても新たな物理現象の舞台となり得ることが明らかになった。研究開始時点では予想もなかった現象に出会えたことは非常に幸運であった。

参考文献

1. S. Seki, X. Yu, S. Ishiwata, and Y. Tokura, Science 336, 198 (2012).
2. S. Seki, Y. Okamura, K. Kondou, K. Shibata, M. Kubota, R. Takagi, F. Kagawa, M. Kawasaki, G. Tatara, Y. Otani, and Y. Tokura, Phys. Rev. B 93, 235131 (2016).
3. T. Nomura, X.-X. Zhang, S. Zherlitsyn, J. Wosnitzer, Y. Tokura, N. Nagaosa, and S. Seki, Phys. Rev. Lett. 122, 145901 (2019).
4. T. Nomura, I. Rousochatzakis, O. Janson, M. Gen, X.-G. Zhou, Y. Ishii, S. Seki, Y. Kohama, Y. H. Matsuda, Phys. Rev. Lett. 136, 076703 (2026).
5. 北川健太郎, 日本物理学会誌 80(8), 453 (2025).
6. V. Zapf, M. Jaime, and C. D. Batista, Rev. Mod. Phys. 86, 563 (2014).